



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

CENTRO DE BIOCÊNCIAS

DOUTORADO EM BIOTECNOLOGIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO DA REDE NORDESTE EM BIOTECNOLOGIA

FRANCISCA JOYCE ELMIRO TIMBÓ ANDRADE

**APLICAÇÃO DA GALACTOMANANA DAS SEMENTES DE *Cassia grandis* E DA
FARINHA DE FEIJÃO-FAVA EM BOLOS ESPONJA E BOLOS SEM-GLÚTEN**

Recife
2018

FRANCISCA JOYCE ELMIRO TIMBÓ ANDRADE

**APLICAÇÃO DA GALACTOMANANA DAS SEMENTES DE *Cassia grandis* E DA
FARINHA DE FEIJÃO-FAVA EM BOLOS ESPONJA E BOLOS SEM-GLÚTEN**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação da Rede Nordeste de Biotecnologia - RENORBIO, Universidade Federal de Pernambuco/UFPE, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutora em Biotecnologia.

Área de concentração: Biotecnologia Industrial.

Orientadora: Prof^a. Dra Maria das Graças Carneiro da Cunha (Departamento de Bioquímica/UFPE).

Co-orientador: Prof. Dr. António Vicente (Departamento de Engenharia Biológica/ Universidade do Minho/UMINHO).

Recife
2018

Catalogação na fonte:
Bibliotecária Claudina Queiroz, CRB4/1752

Andrade, Francisca Joyce Elmiro Timbó

Aplicação da galactomanana das sementes de *Cassia grandis* e da farinha de feijão-fava em bolos esponja e bolos sem-glúten / Francisca Joyce Elmiro Timbó Andrade - 2018.

110 folhas: il., fig., tab.

Orientadora: Maria das Graças Carneiro da Cunha

Coorientadora: António Vicente

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. Centro de Biociências. Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia. Recife, 2018.

Inclui referências, apêndices e anexos

1. Galactomanana 2. *Cassia grandis* 3. Alimento funcional

I. Cunha, Maria das Graças Carneiro da (orient.) II. Vicente, António (coorient.) III. Título

572.566

CDD (22.ed.)

UFPE/CB-2019-057

FRANCISCA JOYCE ELMIRO TIMBÓ ANDRADE

APLICAÇÃO DA GALACTOMANANA DAS SEMENTES DE *Cassia grandis* E DA FARINHA DE FEIJÃO-FAVA EM BOLOS ESPONJA E BOLOS SEM-GLÚTEN

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação da Rede Nordeste de Biotecnologia - RENORBIO, Universidade Federal de Pernambuco/UFPE, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutora em Biotecnologia.

Área de concentração: Biotecnologia Industrial.

Aprovada em: 24/07/2018

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof^a. Dra. Maria das Graças Carneiro da Cunha
(Orientadora – Presidente) – Departamento de Bioquímica – CB/UFPE

Prof^a. Dra. Maria Tereza dos Santos Correia
(Examinador Interno – Titular) – Departamento de Bioquímica – CB/UFPE

Prof^a. Dra. Priscilla Barbosa Sales de Albuquerque
(Examinador Externo – Titular) - Grupo de Pesquisa Biomoléculas em Processos Biotecnológicos/CNPq

Prof^o. Dr. Wilson Barros Júnior
(Examinador Externo – Titular) – Departamento de Física/CCEN/UFPE

Prof^a. Dra. Ana Lúcia Figueiredo Porto
(Examinador Interno – Titular) – Departamento de Morfologia e Fisiologia Animal /UFRPE

Dedico este trabalho aos meus filhos *Rodrigo e Marcelo*, que mesmo com minha ausência em alguns momentos... foram pacientes e tentaram entender... vocês me inspiram a viver.

Ao meu esposo *Leonardo*, pelo amor, apoio, companheirismo, por cuidar tão bem de nossos filhos e por compreender a importância deste trabalho em minha vida.

Aos meus queridos pais, *Orlando e Clarinda*, pelo infinito amor, confiança e por permitir que eu nunca desistisse dos meus sonhos...

Essa conquista é nossa. Amo todos vocês!

AGRADECIMENTOS

A Deus, por mais essa conquista, por estar sempre me iluminando, guiando e me presenteando com amigos em forma de “anjos”, que tanto me ajudaram nesta caminhada ... não me canso de agradecer a presença Dele na minha vida.

À minha orientadora, professora Dra. Graça Cunha, pela considerável disposição, paciência e dedicação durante esta pesquisa. Por suas valiosas contribuições, por me proporcionar tanto aprendizado e, acima de tudo, por ter me dado essa oportunidade, aceitando o desafio de orientar-me à distância, mesmo sem me conhecer... Obrigada pelo carinho e confiança!

Ao meu co-orientador profº Dr. António Vicente, pelo apoio, confiança e atenção a esta pesquisa.

Ao profº Dr. Wilson Barros, por sua paciência, atenção e por desde o início acreditar que tudo daria certo. Obrigada pelo seu conforto e pela credibilidade nesta pesquisa.

À minha amiga Dra. Priscilla Albuquerque, por compartilhar tantos conhecimentos e experiências, pela disposição e carinho em contribuir para este estudo. Sua humildade, simplicidade e generosidade me encantam.

À minha amiga Dra. Daniele Teixeira, que não mediu esforços para me apoiar, ajudar e colaborar desde o início. Sempre com sugestões e palavras de incentivo nos momentos de desespero. Sou imensamente grata!

Ao profº Dr. Júlio Otávio, pela disponibilidade e colaboração para realização de parte dos experimentos.

À Embrapa Caprinos e Ovinos, nas pessoas de Dr. Antonio Egito e Lidiane Ximenes pela disponibilidade e presteza durante a realização da pesquisa.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará IFCE-campus Sobral, pelo apoio e incentivo à pesquisa.

Ao CETENE e LIKA, pela colaboração com a pesquisa, a esse em especial na pessoa de Rafael Padilha (setor de Microscopia Eletrônica), que me acolheu tão bem, com sua simpatia e prontidão. Muito obrigada!

À coordenadora do Programa de Pós-graduação da Rede Nordeste em Biotecnologia – RENORBIO - Ponto Focal UFPE, Profª Dra. Teresinha Silva, por todo apoio e atenção concedida durante o curso.

Aos “anjos” que Deus colocou em meu caminho Mirla Dayanny, Priscilla Albuquerque, Aline Peixoto e Jéssica Batista, saibam que foram peças fundamentais para essa conquista. Obrigada pelo apoio imensurável, pela hospitalidade, por compartilharem de tantos momentos... alegrias, lágrimas, desesperos, aconselhamentos, ensinamentos, passeios, emoções, lanches, compras, sorrisos etc, com vocês os meus dias longes de casa eram mais felizes e com certeza guardarei maravilhosas lembranças.

Às amigas Georgia Maciel, Leiliane Teles e Lidiana Correia, pela amizade, carinho e companheirismo; por estarem sempre torcendo pelas minhas conquistas.

Aos meus queridos alunos Carlota, Gil, Matheus, João, Andreia, Jamília e Geilson, pela dedicação e ombros dispostos. Vocês foram fundamentais!

À Samuel Barcelos, obrigada por sua criatividade e arte.

À tia Vilma, pela hospitalidade e carinho maravilhoso por mim.

À tia Vilany, por tanto amor, dedicação e acolhimento aos meus filhos nos momentos de minha ausência. Com a certeza de que você estaria por perto deles, as minhas viagens eram mais tranquilas. Minha eterna gratidão.

Aos colegas que fazem parte do Laboratório de Biotecnologia da UFPE, obrigada por toda ajuda e amizade, em especial ao Jose Roberto e George, que acompanharam mais de perto essa trajetória. O meu muito obrigada!

Aos meus queridos irmãos Jander, Bruna e Conceição, e demais familiares que sempre torceram e confiaram em mim.

A caminhada foi longa... são muitos a agradecer, mas deixo meus agradecimentos a todos que colaboraram com este trabalho, direto e indiretamente.

Posso, tudo posso, Naquele que me fortalece.
Nada e ninguém no mundo vai me fazer desistir.
Quero, tudo quero, sem medo entregar meus
projetos. Deixar-me guiar nos caminhos que
Deus desejou para mim[...] (TUDO...,2008).

RESUMO

A galactomanana extraída da semente de *Cassia grandis* possui características de gomas comerciais e um potencial de aplicação biotecnológica, principalmente para indústrias farmacêuticas e alimentícias, podendo atuar como agente estabilizante, espessante e emulsificante. Atualmente a tendência do setor de panificação e confeitaria é inovar com ofertas de opções mais saudáveis para atender às diversas preferências e necessidades dos consumidores. Assim, o presente trabalho teve como objetivo extrair a galactomanana das sementes de *C. grandis* e aplicá-la como substituinte de gordura em bolos esponja e como aditivo em bolo esponja sem glúten à base de feijão-fava, comparando-os às formulações dos bolos controles, respectivamente com margarina e uma pré-mistura comercial sem glúten. A galactomanana foi extraída por precipitação com etanol, enquanto xantana, pré-mistura sem glúten e feijão-fava foram obtidos comercialmente. Várias amostras do bolo esponja foram preparadas, onde uma concentração de 100% de gordura vegetal foi substituída por galactomanana em diferentes concentrações. Para os bolos esponja sem glúten, os efeitos da substituição da farinha de feijão-fava por galactomanana e/ou goma xantana foram avaliadas utilizando as gomas nas proporções de 0.5 e 1.0%. Propriedades como viscosidade, reologia, gravidade específica e microscopia das bolhas de ar foram avaliadas nas massas cruas, enquanto os bolos cozidos foram analisados quanto às características microscópicas, físico-químicas e sensoriais. Os resultados indicaram que a substituição total da gordura por 1,0% de galactomanana levou ao aumento do tamanho das bolhas de ar na massa, ocasionando maior volume específico do bolo. No entanto, a formulação com 75% de substituição de gordura e 1% de galactomanana apresentou características de comportamento reológico, microestrutura superficial e aceitação sensorial semelhante à formulação controle. Nos bolos sem glúten à base de farinha de feijão-fava, os hidrocolóides elevaram viscosidade, gravidade específica e incorporação de ar nas massas, mas não interferiram na coloração dos bolos. As amostras com ou sem a presença dos hidrocolóides apresentaram maiores teores de umidade, proteínas, lipídeos e cinzas, bem como melhor aceitação sensorial quando comparados com a referência comercial, mostrando ser uma opção de alimento sem glúten com alto valor nutricional. Esses resultados sugerem que a utilização da galactomanana extraída

das sementes de *C. grandis* é bastante promissora, tanto como substituto de gordura quanto como aditivo em bolos esponja sem glúten à base de feijão-fava, contribuindo na elaboração de novos produtos alimentícios com apelo funcional.

Paravras-chaves: Galactomanana. *Cassia grandis*. Bolos. Confeitaria. Alimento funcional.

ABSTRACT

The galactomannan extracted from the *Cassia grandis* seed has the characteristics of commercial gums and a potential of biotechnological applications, mainly for pharmaceutical and alimentary industries, being able to act as stabilizing agent, thickener and emulsifier. Currently the trend in the bakery and confectionery industry is to innovate, producing brands with healthier options to achieve the diverse preferences and needs of consumers. The objective of the present work was to extract galactomannan from the seeds of *C. grandis* and apply it as a substitute for fat in sponge cakes and as an additive in gluten-free of sponge cakes based on fava-bean flour (*Phaseolus lunatus* L.), comparing them to the formulations of the control cakes, respectively, margarine and a gluten-free commercial premix. Galactomannan was extracted by precipitation with ethanol, while xanthan, gluten-free premix and fava beans were obtained commercially. Several samples of the sponge cake were prepared, where a concentration of 100% vegetable fat was replaced with galactomannan in different concentrations. For the gluten-free sponge cakes, the effects of replacing fava bean flour by galactomannan and / or xanthan gum were evaluated using gums in the proportions of 0.5 and 1.0%. Properties such as viscosity, rheology, specific gravity and microscopy of the air bubbles were evaluated in the raw masses, while the cooked cakes were analyzed for microscopic, physico-chemical and sensorial characteristics. The results indicated that total fat substitution by 1.0% galactomannan led to an increase in the size of the air bubbles in the mass, causing a greater specific volume of the cake. However, the formulation with 75% fat substitution and 1% galactomannan presented characteristics of rheological behavior, surface microstructure, and sensorial acceptance similar to the control formulation. In gluten-free cakes based on fava beans, hydrocolloids increased viscosity, specific gravity, and air incorporation in the mass; however, they did not interfere in the cakes' colour. Samples with or without the presence of hydrocolloids presented higher levels of moisture, proteins, lipids, and ashes, as well as better sensory acceptance when compared to commercial reference, showing to be a gluten-free food option with high nutritional value. These results suggest that the galactomannan extracted from *C. grandis* seeds is very promising to be used as a substitute for fat as well as gluten-free sponge cake additive based on fava beans, contributing to the elaboration of new food products with functional appeal.

Keywords: Galactomannan. *Cassia grandis*. Cakes. Confectionery. Functional food.

LISTA DE FIGURAS

Revisão de Literatura

Figura 1–	a) Árvore, b) Fruto e c) Sementes da <i>Cassia grandis</i>	24
Figura 2–	Corte longitudinal de semente da família <i>Leguminosae</i> - representação dos constituintes (casca, endosperma e gérmen).....	26
Figura 3–	Estrutura da galactomanana clássica: (a) cadeia esquemática; (b) estrutura em bastão; (c) estrutura em bola cheia.....	27
Figura 4–	Diagrama esquemático de emulsões simples - emulsão óleo-em-água (O/A), emulsão água-em-óleo (A/O) e emulsões múltiplas - emulsão de óleo-em-água-em- água (O/A/A), emulsão de água-em-óleo-em-água (A/O/A) e emulsão de óleo-em-água-em-óleo (O/A/O)	47
Figura 5–	Micrografia da microestrutura da massa de bolo esponja com ampliação de 10x.....	48
Figura 6–	Texturômetro (TA-XT. plus Texture Analyser).....	53
Figura 7–	Curvas típicas geradas pelo texturômetro em análise de dupla compressão (TPA).....	53

Artigo I

Figura 1–	Linear strain regime rheology experiment where G' (elastic modulus) and G'' (viscous modulus) are recorded as a function of a small strain oscillatory frequency: triangles show the results for RF; squares show the results for F7.....	60
-----------	---	----

- Figura 2– Linear strain regime rheology experiment where G' (elastic modulus) and G'' (viscous modulus) are recorded as a function of a small strain oscillatory frequency: filled symbols represent G' and open symbols represent G'' . On each panel, one has a specific galactomannan concentration recorded as a function of fat percentage (see Table 1). The data for RF are reproduced in all panels for comparison..... 61
- Figura 3– Rheology experiment where G' (elastic modulus) and G'' (viscous modulus) are recorded as a function of temperature for a fixed strain oscillatory frequency: filled symbols represent G' and open symbols represent G'' . On each panel, one has a specific galactomannan concentration recorded for different fat concentrations (see Table 1). The data representing RF are reproduced in all panels for comparison..... 62
- Figura 4– Representative micrographs of the batters of the cakes (magnification 10×). RF – reference formulation (100% fat + 0% galactomannan), F1 (50% fat + 0% galactomannan), F2 (50% fat + 0.5% galactomannan), F3 (50% fat + 1.0% galactomannan), F4 (25% fat + 0% galactomannan), F5 (25% fat + 0.5% galactomannan), F6 (25% fat + 1.0% galactomannan), F7 (0% fat + 0% galactomannan), F8 (0% fat + 0.5% galactomannan) and F9 (0% fat + 1.0% galactomannan). CD = number of bubbles per square centimeter (cell density, cells per cm²); AF = percentage of the area of all bubbles/total area of the image..... 64
- Figura 5– Scanning electron microscopy images of the batters of the cakes. RF – reference formulation (100% fat + 0% galactomannan), F1 (50% fat + 0% galactomannan), F2 (50% fat + 0.5% galactomannan), F3 (50% fat + 1.0% galactomannan), F4 (25% fat + 0% galactomannan), F5 (25% fat + 0.5% galactomannan), F6 (25% fat + 1.0%

galactomannan), F7 (0% fat + 0% galactomannan), F8 (0% fat + 0.5% galactomannan) and F9 (0% fat + 1.0% galactomannan). PM – protein matrix; SG – starch granule; WSG – wrapped starch granule 66

Figura 6– Sensory evaluation of the cakes. RF – reference formulation (100% fat + 0% galactomannan), F4 (25% fat + 0% galactomannan), F6 (25% fat + 1.0% galactomannan), F7 (0% fat + 0% galactomannan) and F8 (0% fat + 0.5% galactomannan). Different letters indicate significant difference according to the Tukey test ($p < 0.05$)..... 67

Artigo II

Figura 1– Micrographs representative of the cake batters (magnification: 10×). Control formulation-C (100% fava bean flour-FF); G05 (99.5% fava bean flour-FF + 0.5% galactomannan-G); G1 (99% fava bean flour-FF + 1% galactomannan-G); GX (99% fava bean flour-FF + 0.5% galactomannan-G + 0.5% xanthan gum-X); X05 (99.5% fava bean flour-FF + 0.5% xanthan gum-X); X1 (99% fava bean flour-FF + 1% xanthan gum-X) and CR (commercial reference)..... 76

Figura 2– Sensory evaluation of cakes. Control formulation-C (100% fava bean flour-FF); G1 (99% fava bean flour-FF + 1% galactomannan-G); X05 (99.5% fava bean flour-FF + 0.5% xanthan gum-X) and CR (commercial reference). Columns with different heights indicate differences between treatments..... 79

LISTA DE TABELAS

Revisão de Literatura

Tabela 1– Definições dos parâmetros mecânicos de textura.....	54
---	----

Artigo I

Tabela 1– Cake formulations	58
Tabela 2– Effect of total or partial substitution of fat for galactomannan on specific gravity and in the distribution of air bubbles in cake batters.....	63
Tabela 3– Effect of substitution of fat per galactomannan in specific volume.....	64
Tabela 4– Texture Profile Analysis (TPA) of different formulations of the cake during storage.....	65
Tabela 5– Effect of substitution of fat per galactomannan on the color of the cake.....	67

Artigo II

Tabela 1– Cake formulations.....	73
Tabela 2– Viscosity, specific gravity and distribution of air bubbles in the gluten-free cake batter.....	74
Tabela 3– Average chemical composition of gluten-free cakes.....	76
Tabela 4– Effect of hydrocolloids on the specific volume of gluten-free cakes.....	77
Tabela 5– Texture analysis profile of gluten-free cakes during storage days.....	78
Tabela 6– Color of the crust and core of the gluten-free cakes.....	79

LISTA DE ABREVIATURAS

AACC	<i>American Association for Clinical Chemistry</i>
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AF	Fração da área total
<i>C. grandis</i>	<i>Cassia grandis</i>
DC	densidade celular
CMC	carboximetilcelulose
cryo-MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura congelada
DATM	Ésteres de ácido diacetil tartárico de monodiglicerídeos
FF	Farinha de feijão-fava
GMS	glicerol monoestearato
HPMC	dihidroxipropil metil celulose
M/G	manose/galactose
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
NaCl	cloreto de sódio
SSL	Estearoil-2-lactil lactato de sódio
TPA	Perfil de Análise de Textura

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	20
2	OBJETIVOS.....	23
2.1	OBJETIVO GERAL.....	23
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	23
3	REVISÃO DE LITERATURA.....	24
3.1	CASSIA GRANDIS.....	24
3.2	GALACTOMANANAS.....	26
3.3	APLICAÇÃO DE HIDROCOLÓIDES EM ALIMENTOS.....	28
3.4	INGREDIENTES NA FABRICAÇÃO DE BOLOS.....	32
3.4.1	Farinha de Trigo.....	33
3.4.2	Açúcar.....	33
3.4.3	Gordura.....	34
3.4.4	Leite.....	35
3.4.5	Ovos.....	35
3.4.6	Sal.....	35
3.4.7	Fermento químico em pó.....	36
3.5	SUBSTITUTOS DE GORDURA EM BOLO.....	36
3.6	GLÚTEN.....	40
3.6.1	Doenças relacionadas ao glúten.....	41
3.7	PANÍFICIOS LIVRES DE GLÚTEN.....	41
3.8	FEIJÃO-FAVA.....	43
3.9	LEGUMINOSAS COMO ENRIQUECIMENTO NUTRICIONAL EM PANÍFICIOS.....	44
3.10	PARÂMETROS DE QUALIDADE DO BOLO.....	46
3.10.1	Microscopia das bolhas.....	47
3.10.2	Reologia.....	49
3.10.3	Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) aplicada à análise de bolos.....	51
3.10.4	Análise de Perfil de Textura (TPA).....	51
3.10.5	Análise Sensorial.....	54
4	RESULTADOS.....	56

4.1	INFLUENCE OF CASSIA GRANDIS GALACTOMANNAN ON THE PROPERTIES OF SPONGE CAKES: A SUBSTITUTE FOR FAT.....	56
4.2	INFLUENCE OF HYDROCOLLOIDS (GALACTOMANNAN AND XANTHAN GUM) ON THE PHYSICOCHEMICAL AND SENSORY CHARACTERISTICS OF GLUTEN-FREE CAKES BASED ON FAVA BEANS (PHASEOLUS LUNATUS).....	70
5	CONCLUSÕES.....	82
	REFERÊNCIAS.....	83
	APÊNDICE A – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE).....	95
	APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO SENSORIAL SEMI-ESTRUTURADO.....	98
	APÊNDICE C – FICHA PARA TESTE DE ORDENAÇÃO.....	99
	APÊNDICE D – FICHA PARA TESTE DE ACEITAÇÃO.....	100
	ANEXO A – PARECER DO COMITÊ DE ÉTICA PARA PESQUISA COM SERES HUMANOS - UFPE.....	101
	ANEXO B – COMPROVANTE DA PLATAFORMA SUCUPIRA QUE EMITE O QUALIS B1 (ÁREA DE AVALIAÇÃO: BIOTECNOLOGIA) PARA A REVISTA FOOD & FUNCTION.....	105
	ANEXO C – TRABALHO APRESENTADO NO XXV CONGRESSO BRASILEIRO DE CIENCIA E TECNOLOGIA EM ALIMENTOS - CBCTA 2016.....	106
	ANEXO D – CERTIFICADO DA APRESENTAÇÃO NO II CONGRESSO INTERNACIONAL DE GASTRONOMIA E CIÊNCIA DE ALIMENTOS E PUBLICADO NO EBOOK GASTRONOMIA: DA TRADIÇÃO À INOVAÇÃO.....	107
	ANEXO E – TRABALHO APRESENTADO NO XX ENCONTRO NACIONAL E V CONGRESSO LATINO AMERICANO DE ANALISTA DE ALIMENTOS – ENAAL 2017.....	108
	ANEXO F – TRABALHO APRESENTADO NO XX ENCONTRO NACIONAL E V CONGRESSO LATINO AMERICANO DE ANALISTA DE ALIMENTOS – ENAAL 2017.....	109

ANEXO G - DIPLOMA DE HONRA AO MÉRITO DADO AO TRABALHO APRESENTADO NO XX ENCONTRO NACIONAL E VI CONGRESSO LATINO AMERICANO DE ANALISTAS DE ALIMENTOS- ENNAL 2017.....	110
---	------------

1 INTRODUÇÃO

Galactomanana é um polissacarídeo de reserva cuja principal fonte encontra-se no endosperma de sementes dedicotiledôneas, principalmente dos membros da família *Leguminosae*, onde a principal função das células endospermicas está associada à função de reserva energética (BUCKERIDGE, 2010). Contudo, também podem ser encontradas em fontes microbianas, especialmente em leveduras e fungos (GIMÉNEZ-ABINÁN et al., 2007).

As principais fontes vegetais de galactomananas para aplicações comerciais em produtos alimentares e não-alimentares vêm sendo obtidas de *Cyamopsis tetragonoloba* (goma guar), *Caesalpinia spinosa* (goma tara) e *Ceratonia siliqua* (goma de alfarroba) (CERQUEIRA et al., 2011).

Apesar de ser pouco explorada na literatura científica, a galactomanana extraída das sementes de *C. grandis*, uma árvore de pequeno a médio porte, pertencente à família *Leguminosae* e subfamília *Caesalpinioideae*, oriunda da região tropical e da América Central e oeste da Índia e amplamente difundida no Brasil, um país tropical, já foi reportada com as mesmas características de gomas comerciais e um potencial de aplicação biotecnológico, principalmente no que se refere à utilização de suas suspensões como revestimentos e géis úteis para indústrias farmacêuticas e alimentícias (ALBUQUERQUE et al., 2014). Por possuir o poder de aumentar a viscosidade dos alimentos, a galactomanana pode apresentar diversas aplicações na indústria alimentícia, como substituição à gordura ou ainda atuando como agente estabilizante, espessante e emulsificante em bolos sem glúten.

Os alimentos funcionais têm sido grandes aliados dos consumidores na prevenção de doenças ou que busquem alimentação saudável. Com isso os produtos naturais têm sido alvo de estudos para criação de novos ingredientes para indústria alimentícia.

O consumo e a comercialização de bolos estão adquirindo crescente importância entre os produtos de panificação, sendo um produto amplamente aceito por consumidores de diferentes públicos. Dentre as matérias-primas utilizadas para sua preparação estão as gorduras, que conferem características tecnológicas de qualidade, como sabor, umidade, maciez, incorporação de ar, etc. Por outro lado, sabe-se que dietas ricas em gordura podem ser uma das principais causas de aterosclerose e doenças cardiovasculares.

Independentemente do número de funções desempenhadas pelas gorduras em melhoria da qualidade organoléptica dos produtos, a tendência atual na área alimentar é a de reduzir os níveis de colesterol, satisfazer aos consumidores com dieta específica e restrições, como é o caso dos celíacos, ou que buscam uma melhor qualidade de vida. Estas exigências do mercado contribuem para o crescente número de estudos e o desenvolvimento de novos produtos que possam suprir essa necessidade.

Alguns polissacarídeos têm sido utilizados como substituição total ou parcial de gorduras em bolos, tais como: goma guar e xantana (ZAMBRANO et al., 2004), concentrados de β -glucano de cereais (KALINGA; MISHRA, 2009), hidroxipropilmetilcelulose (HPMC) e xantana, (SOWMYA et al., 2009; OH; LEE, 2017), inulina (RODRÍGUEZ-GARCÍA et al., 2012; ZAHN; PEPKE; ROHM, 2010), farinha integral de chia (PIZARRO et al., 2013), maltodextrina, inulina, oligofrutose e pectina cítrica (PSIMOULI; OREOPOULOU, 2013), mucilagem de chia (FELISBERTO et al., 2015, FERNANDES; SALAS-MELLADO, 2017), ingrediente derivado de linhaça (ESLAVA-ZOMEÑO; QUILES; HERNANDO, 2016) e derivado de quitosana (succinil-quitosana) (RIOS et al., 2018).

A grande maioria dos produtos de panificação tem a farinha de trigo como base para suas formulações. No entanto, há um grupo de indivíduos que sofrem de doenças como a doença celíaca, alergia, ataxia por glúten e sensibilidade ao glúten não celíaca. Estes distúrbios são desencadeados pelo consumo de frações de prolamina derivadas de trigo (gliadina), centeio (secalina) ou cevada (hordeína) (ROSELL; BAJERSKA; SHEIKHA, 2015).

Muitos produtos sem glúten disponíveis no mercado, quando comparados aos seus equivalentes provenientes de trigo, apresentam-se com baixa qualidade tecnológica, como baixo volume, cor ruim, esmigalhados e baixo valor nutricional, uma vez que são produzidos com farinhas e amidos refinados.

No entanto, com o intuito de melhorar as características físicas e sensoriais dos produtos de panificação e confeitaria, alguns aditivos são frequentemente incorporados nas formulações sem glúten, como: inulina, goma guar e fibra de aveia, emulsificantes, enzimas, carboximetilcelulose (CMC), alginato, carragenana e proteína de soro de leite (GULARTE et al., 2012; SCIARINI et al., 2012; SINGH et al., 2015; SINGH; KAUR; SINGH, 2016; HERRANZ et al., 2016; ALVAREZ et al., 2017).

Com o intuito de aumentar o consumo diário de leguminosas, bem como, a consciência em âmbito mundial dos muitos benefícios dos grãos, o ano de 2016 foi considerado pelas Nações Unidas o ano Internacional das leguminosas, as quais representam uma fonte alternativa de proteínas de baixo custo econômico e, além de ter o dobro das proteínas do trigo e o triplo do arroz, são também ricas em carboidratos complexos, micronutrientes, e vitaminas do complexo B, substâncias que as tornam partes essenciais de uma dieta saudável (FAO, 2016). Portanto, a inserção de leguminosas, a exemplo do feijão-fava, pode ser uma estratégia para melhorar o valor nutricional dos produtos livres de glúten.

O uso de leguminosas em panifícios foi avaliado anteriormente na forma de isolados proteicos, como: soja, ervilha e feijão (RONDA et al., 2011; MATOS; SANZ; ROSELL, 2014; SHEVKANI; SINGH, 2014; CAMPBELL; EUSTON; AHMED, 2016), bem como na utilização de suas farinhas em substituição parcial ou total à farinha de trigo, tais como, feijão, grão de bico, ervilha, soja e lentilha (DHEN, et al., 2016; HERRANZ, et al., 2016; CODA, et al., 2017).

Neste trabalho, a galactomananana das sementes de *C. grandis* foi extraída e aplicada como substituto de gordura em bolo esponja e como aditivo em bolo esponja sem glúten à base de feijão-fava (*Phaseolus lunatus*), sendo avaliadas as propriedades físicas, químicas, microestruturais e sensoriais dos bolos.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo deste trabalho foi extrair a galactomanana das sementes de *Cassia grandis* e aplicá-la como substituinte de gordura em bolos e como aditivo em farinha de feijão-fava para bolos sem glúten.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

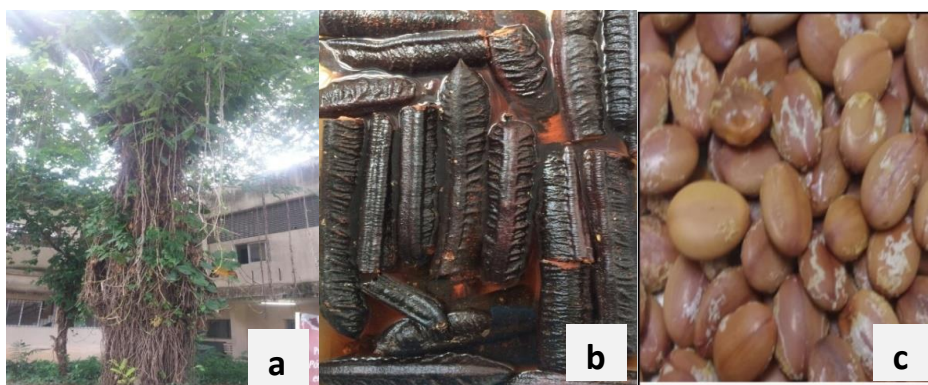
- Extrair a galactomanana proveniente das sementes de *C. grandis*;
- Elaborar formulações de bolo substituindo a gordura/margarina pela galactomanana;
- Analisar a influência tecnológica da galactomanana em substituição à gordura sobre a microestrutura, densidade e reologia das massas de bolo, bem como, nas propriedades físicas e microestruturais dos bolos após cozimento;
- Analisar sensorialmente as formulações de bolos esponja com as melhores características tecnológicas;
- Elaborar formulações de bolos esponja sem glúten à base de farinha de feijão-fava utilizando galactomanana e goma xantana como aditivos e analisar a influência desses hidrocolóides sobre a microestrutura, densidade e viscosidade das massas de bolos bem como, nas propriedades físico-químicas;
- Analisar as características sensoriais dos bolos esponja sem glúten à base de feijão-fava, após cozimento.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 CASSIA GRANDIS

O nome genérico *Cassia* é hebraico ou grego; o epíteto específico *grandis* significa grande. As árvores (figura 1a) maiores, na idade adulta, atingem dimensões próximas de 30 m de altura e 100 cm de DAP (diâmetro à altura do peito, medido a 1,30 m do solo). É a maior espécie brasileira do gênero *Cassia*, possui tronco cilíndrico e tortuoso. O fuste é geralmente curto, atingindo no máximo 8 m de comprimento, com ramificação cimosa e irregular. A copa é larga, com cerca de 8 m de diâmetro, apresentando esgalhamento grosso e ramos com lenticelas. As folhas são compostas, paripinadas, com 8 a 20 pares de folíolos oblongos, medindo de 3 a 6 cm de comprimento, finamente pilosos, arredondados ou obtusos no ápice. As flores são exuberantes, de coloração róseo-amarelada, raramente brancas e vistosas. O fruto (figura 1b) é um legume lenhoso indeiscente, cilíndrico, irregular, medindo de 11 a 60 cm de comprimento e 34 a 50 mm de diâmetro, com duas suturas longitudinais e nervuras salientes, grossas, que ligam as suturas. Quebrando o pericarpo, aparecem os septos circulares que separam as sementes, e uma massa preta, pegajosa e adocicada. O fruto maduro (figura 1c) é marrom-escuro externamente e contém 9 a 50 sementes, as quais são duras, ovais ou obovóides, aplainadas de um lado e carinadas do outro, brilhantes, castanho-amarelo-claro, com excisão no hilo, medindo até 1 cm de comprimento (CARVALHO, 2006).

Figura 1 – a) Árvore, b) Fruto e c) Sementes da *C. grandis*.



Fonte: Autor (2016).

Disseminado em regiões tropicais e subtropicais de todo mundo, o gênero *Cassia* consta com o maior número de representantes na subfamília *Caesalpinioideae* (AGARKAR; JADGER, 1999), correspondendo à cerca de 200 gêneros e mais de 2250 espécies (LEWIS et al., 2005). *Cassia* é um gênero amplamente distribuído em toda a Ásia, incluindo Índia, Maurícias, China, Leste da África, África do Sul, Estados Unidos, México, Antilhas e Brasil. No Brasil, encontra-se *C. grandis* no Amazonas, Amapá, Bahia, Maranhão, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Pará, Paraíba, Pernambuco, Rio de Janeiro, Roraima, Sergipe e Tocantins (CARVALHO, 2006).

As espécies de *Cassia* de maior importância são: *C. fistula*, *C. grandis*, *C. hirsutica*, *C. sieberiana*, *C. alata*, *C. tora*, *C. occidentalis*, *C. auriculata* e *C. nigricans* (AYO; AMUPITAN; ZHAO, 2007).

A *C. grandis* pode ser aproveitada de várias maneiras, tais como: madeira (na construção civil e energia), constituintes químicos (galactomanana - das sementes, resina - das cascas), alimentação animal, alimentação humana, produção de pólen, medicinal, artesanato, paisagismo, espécie recomendada para recuperação e restauração ambiental (CARVALHO, 2006). No entanto, na maioria das pesquisas desenvolvidas com espécies do gênero *Cassia*, *C. grandis* ainda é pouco explorada.

Na área da saúde, pesquisas indicam que a *C. grandis* atua no combate à anemia (TILLÁN-CAPÓ et al., 2004), diabetes (LODHA et al., 2010; PRADA et al., 2018), hemorragias nasais, enfermidades do fígado, infecção do trato urinário, histeria, resfriado e tosse (ROIG, 1974), vermes e parasitas intestinais (LENTZ et al., 1998), vírus da dengue (HERNÁNDEZ-CASTRO; DIAZ-CASTILLO; MARTÍNEZ-GUTIERREZ, 2015) e os extratos das folhas apresentam atividade antioxidante (MEENA et al., 2009), dentre outros.

Segundo Joshi e Kapoor (2003), as sementes de *C. grandis* podem ser consideradas como potenciais fontes de gomas comerciais por serem de fácil separação mecânica e superior em termos de índice de endosperma (50 a 55%) em comparação com fontes de gomas comerciais como gomas guar e dhaincha que contêm de 25 a 42% de endosperma.

3.2 GALACTOMANANAS

As sementes de muitas leguminosas são ricas em gomas e dessas fazem parte polissacarídeos do tipo galactomananas, que são polissacarídeos neutros, extraídos do endosperma de sementes de certas leguminosas. Esses polímeros são constituídos por um esqueleto formado por unidades repetidas de β -D-manose, ligadas entre si por ligações do tipo 1 $\rightarrow$ 4 e unidades de α -D-galactose ligadas à cadeia principal por ligações do tipo 1 $\rightarrow$ 6. O teor e a distribuição das unidades de D-galactose dependem da origem e da espécie de leguminosa, além das técnicas de extração utilizadas para a sua obtenção (CERQUEIRA et al., 2011; ALBUQUERQUE et al., 2014).

As galactomananas estão presentes em fungos, bactérias, algas, bem como, em sementes de plantas. As sementes exalbuminosas são constituídas por casca, endosperma e embrião (Figura 2) e responsáveis para executar funções de reserva de energia e hidratação (ALBUQUERQUE et al., 2016).

Figura 2 – Corte longitudinal de semente da família *Leguminosae* - representação dos constituintes (casca, endosperma e gérmen).

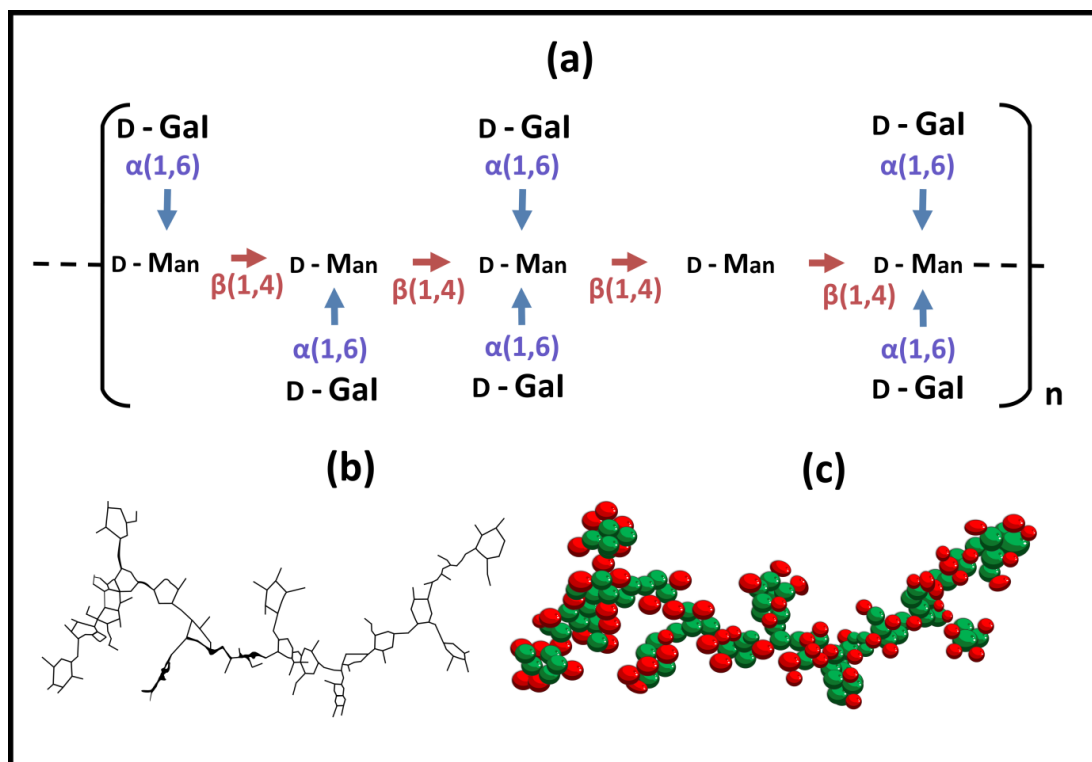


Fonte: Albuquerque et al. (2016).

As propriedades físico-químicas e a conformação de galactomananas (figura 3) são estritamente relacionadas com a relação manose/galactose (M/G), e a distribuição de galactose ao longo da cadeia principal é significativamente diferente para cada espécie. A razão M/G da goma de alfarroba é aproximadamente 4:1, a da goma de tara é cerca de 3:1, a da goma guar é aproximadamente 2:1, goma de feno-grego 1:1 (SECOUARD; GRISEL; MALHIAC, 2007), goma de vinal (*Prosopis ruscifolia*) 1:6 (BUSCH et al., 2015) e a da galactomanana das sementes de *C. grandis*, objeto desse estudo, é 2,44:1 (ALBUQUERQUE et al., 2014). Estas

diferenças na "microestrutura" influenciam fortemente as interações moleculares e as propriedades reológicas das soluções de galactomananas (MAO; CHEN, 2006). Em geral, a facilidade de solubilização das galactomananas aumenta com o conteúdo em galactose (SOUSA, 2010).

Figura 3 – Estrutura da galactomanana clássica: (a) cadeia esquemática; (b) estrutura em bastão; (c) estrutura em bola cheia.



Fonte: Adaptado de Teixeira (2001)

Tanto os pesquisadores como a indústria têm demonstrado grande interesse nas investigações sobre as galactomananas devido à capacidade de formar soluções viscosas em água em baixa concentração (MIRHOSSEINI; AMID, 2012), bem como a ausência de toxicidade, justificando assim sua ampla aplicação em diversas áreas, tais como nas indústrias têxtil, cosmética, alimentícia, farmacêutica, biomédica, de papel, mineração e refinaria de petróleo (SRIVASTAVA; KAPOOR, 2005). Em sua forma original ou mesmo modificadas, apresentam propriedades para obtenção de filmes (CERQUEIRA et al., 2013), revestimentos (CERQUEIRA et al., 2010), como espessantes/emulsificantes, modificadores reológicos (ALBUQUERQUE et al., 2014), carreadores de drogas (SINGH et al., 2014), bem como ação prebiótica e probiótica (MAJEED et al., 2018).

Galactomananas são assim empregadas pelas suas propriedades intrínsecas, sendo a mais amplamente utilizada na formação de viscosidade em soluções aquosas a baixas concentrações de 0,5 e 1,0% (NUSSINOVITCH; HIRASHIMA, 2014). As propriedades suplementares envolvem a sua interação sinérgica com gomas adicionais e o seu potencial para diminuir a sinérese.

3.3 APLICAÇÃO DE HIDROCOLÓIDES EM ALIMENTOS

Os hidrocolóides são um grupo heterogêneo de polímeros de cadeia longa. O grande número de grupos hidroxila (-OH) aumenta significativamente a afinidade para ligar-se a moléculas de água, tornando-os compostos hidrofílicos e são caracterizados por sua propriedade de formar dispersões viscosas (Saha; Bhattacharya, 2010). Trata-se de redes macromoleculares formadas a partir de polímeros hidrofílicos naturais ou sintéticos. O termo hidrocolóide abrange todos os polissacarídeos que são extraídos de plantas, algas marinhas e fontes microbianas, bem como as gomas derivadas de exsudatos vegetais e biopolímeros modificados produzidos pelo tratamento químico ou enzimático do amido ou da celulose. Além disso, a gelatina é a única proteína que pode ser categorizada corretamente como um hidrocolóide, devido a seu caráter hidrofílico único (Dickinson, 2009).

A grande maioria das aplicações dos hidrocolóides está associada à capacidade de modificar a reologia do sistema alimentar, nomeadamente o comportamento do fluxo (viscosidade) e a propriedade mecânica sólida (textura) (Saha; Bhattacharya, 2010).

Essas propriedades dos hidrocolóides contribuem para modificar as características dos alimentos, visto que, podem agir como espessantes, gelificantes, agentes texturizantes, estabilizantes, e emulsionantes, além disso, eles têm aplicações nas áreas de revestimento comestível e liberação de sabor. Alimentos formulados para obter baixos percentuais de gordura dependem principalmente de hidrocolóides para fornecerem qualidade sensorial. Além disso, os hidrocolóides estão atualmente encontrando aplicações crescentes na área da saúde por fornecerem fibra dietética de baixa caloria, entre muitos outros usos (NUSSINOVITCH; HIRASHIMA, 2014).

Os hidrocolóides são conhecidos pela capacidade do aumento de retenção de umidade nos produtos, ao mesmo tempo, seu potencial umectante depende da

estrutura química e das interações com os demais ingredientes alimentares (GOMEZ et al., 2007).

Rezaei et al. (2011) produziram iogurtes congelados contendo goma guar e goma arábica em diferentes concentrações e investigaram suas propriedades físico-químicas, sensoriais e de comportamento de fluxo e constataram que o iogurte congelado produzido com 0,5% de goma arábica apresentou melhores características físico-químicas e aceitação.

Molhos de caramelo espessados com combinações de amido de batata e goma xantana produziram boas propriedades reológicas, texturais e sensoriais. A melhora na textura acompanhou o aumento na concentração de goma de xantana; tal melhoria também foi observada nos molhos após armazenamento. Os molhos que receberam melhor avaliação sensorial foram os espessados com 0,3% de amido de batata e 0,02% goma de xantana (KRYSTYJAN et al., 2012).

Hayakawa et al. (2014) produziram 20 tipos de géis de diferentes hidrocolóides à base de k-carragenana, i-carragenana, goma de alfarroba, gelano, xantana, agar, pectina e gelatina como um modelo alimentar e avaliaram os perfis de textura para caracterizar a dificuldade alimentar usando avaliações sensoriais. O estudo revelou que a resistência à fratura, a viscosidade e a flexibilidade foram determinantes críticos da dificuldade alimentar.

Os testes de reologia de um hidrogel à base de galactomanana de sementes de *C. grandis* associado à k-carragenana revelaram uma maior organização dos polissacarídeos na matriz de hidrogel sobre o período de armazenamento com o módulo elástico sempre maior que o módulo viscoso, sugerindo possíveis aplicações na área médica e de cosméticos (SOARES et al., 2015).

O desempenho da xilana de bétula como hidrocolóide alimentar e fibra alimentar foi estudado em géis de leite com baixo teor de gordura (1,5% e 3% p/p). A textura dos géis e a capacidade de retenção da xilana foram comparadas com inulina, fruto-oligossacarídeo e xilo-oligossacarídeo. Os resultados revelaram que os géis de leite ácido enriquecidos com xilano (3% p/p) apresentaram melhor capacidade de retenção de água (mais de 2 vezes) e menor sinerese espontânea, firmeza e elasticidade quando comparados ao controle (sem hidrocolóides) ou as referências, revelando que a xilana melhorou a textura do gel de leite com baixo teor de gordura, e a lenta taxa de fermentação *in vitro* prever uma menor incidência de

desconforto intestinal em comparação com as referências comerciais (ROSA-SIBAKOV et al., 2016).

Filmes à base da galactomanana das sementes de *C. grandis* mostraram-se como uma estrutura promissora para a imobilização de biomoléculas, apontando para um número significativo de possíveis aplicações nas indústrias de alimentos e farmacêuticas (ALBUQUERQUE et al., 2017).

Diferentes formulações de soluções matriciais de quitosana e quitosana/tripolifosfato de sódio, incluindo β -caroteno, foram usadas como aditivos e revestimentos comestíveis em hambúrgueres. A incorporação de solução foi mais efetiva na oxidação lipídica e no crescimento microbiano do que sua utilização como aditivo na qualidade dos hambúrgueres no último dia de armazenamento (OZVURAL; HUANG, 2018).

A aplicação de hidrocolóides em panifícios vem sendo investigada em diversas pesquisas, seja como substitutos de ingredientes ou mesmo como aditivos/melhoradores. Gomez et al. (2007) avaliaram a qualidade de bolo de camada amarela, bem como o potencial retardamento do seu envelhecimento com a incorporação de hidrocolóides de origem e estrutura química diferentes, dentre estes, goma de alfarroba, goma guar e goma xantana. Os maiores bolos foram obtidos com goma xantana seguido por goma de alfarroba e, em geral, a presença dos hidrocolóides melhorou a pontuação sensorial pelos painelistas.

Semelhantemente, Ashwini; Jyotsna; Indrani (2009) introduziram diferentes hidrocolóides (goma arábica, guar, xantana, carragenana, HPMC) em bolos sem ovos. Os maiores volumes dos bolos foram obtidos com goma xantana seguido por goma de alfarroba. Entre os diferentes hidrocolóides testados, HPMC foi o melhor, uma vez que melhorou a qualidade de bolo sem ovos na formulação controle bem como na presença de emulsificantes.

Gomez et al. (2010) avaliaram os parâmetros de textura em bolos com a adição de goma xantana e emulsificante acompanhando a vida de prateleira durante 28 dias de armazenamento. Em ambas as formulações houve aumento da firmeza e mastigabilidade e redução da coesão, elasticidade e resiliência à medida que o tempo de armazenamento aumentou.

A adição de diferentes tipos de gomas (xantana, guar, goma de alfarroba e k-carragena) sobre a microestrutura de bolos de arroz sem glúten assados em fornos de infravermelho e convencional afetou tanto a fração de área do poro quanto

à porcentagem do número de poros dos bolos de arroz. A maior porcentagem de porosidade foi obtida com a formulação contendo goma xantana e pela combinação da xantana e goma guar (TURABI; SUMNU; SAHIN, 2010).

Estudos realizados para avaliar as características reológicas, microestruturais e de qualidade do bolo com a substituição do açúcar por esteviosídeo e sorbitol líquido, adição de emulsificantes comerciais, pó de semente de feno-grego desengordurado e hidrocolóides (goma arábica, xantana, goma guar, carragenana, CMC) revelaram que a presença do sorbitol diminuiu a viscosidade da massa, contudo a adição da goma xantana juntamente com o emulsionante (polissorbato-60) aumentou a viscosidade. Foi ainda observada melhoria da distribuição das bolhas de ar, coesão e escore de qualidade geral do bolo (MANISHA; SOWMYA; INDRANI, 2012).

HPMC e goma xantana também apresentaram potencial para melhorar as propriedades e qualidades tecnológicas de pães sem glúten (HAGER; ARENDT, 2013).

As condições de bolos congelados/descongelados adicionados dos hidrocolóides (CMC, goma alfarroba e goma xantana) foram investigadas sobre o tempo de armazenamento. O resultado revelou melhoria do volume e propriedades de textura, onde o maior volume específico e a menor dureza pertenciam ao bolo contendo 1% de CMC em 4 semanas de armazenamento congelado ou em 3 ciclos de congelamento (JIA et al., 2014).

Shao; Lin; Chen (2015) combinaram três tipos de farinhas de trigo e dois tipos de hidrocolóides incluindo CMC e xantana em bolos sem ovos, utilizando concentrado de proteína de soro de leite, óleo de soja e emulsificantes para substituir a proteína na clara de ovo e o óleo e a lecitina para substituir a gema de ovo. Os bolos sem ovos com hidrocolóides apresentaram maior viscosidade e gravidade específica em relação ao controle. A presença da goma xantana proporcionou bolos com a menor perda de atividade de água e firmeza. Os bolos preparados com CMC exibiram menor firmeza, mas tiveram maior elasticidade e resiliência.

Pesquisas significativas têm sido realizadas para avaliar o efeito da galactomanana em alimentos. Martins et al. (2010), ao incorporarem nisina em filmes de galactomanana de *Gleditsia triacanthos* para diminuir o crescimento de *L.*

monocytogenes em queijo ricota armazenado a 4° C, observaram redução na contaminação microbiana, quando comparada com as amostras sem revestimentos.

A composição ótima de revestimentos comestíveis de galactomananas de diferentes fontes (*Caesalpinia pulcherrima* e *Adenanthera pavonina*) foi avaliada por Cerqueira et al. (2009) com a finalidade de prolongar a vida de prateleira de cinco frutas tropicais. A concentração da galactomanana foi o fator mais importante, provando que os filmes podem ser adaptados para permitir o seu uso como alternativa à embalagem não-biodegradável (CERQUEIRA et al., 2013).

A galactomanana de *C. pulcherrima* parcialmente hidrolisada apresentou propriedades adequadas ao ser adicionada como fibra dietética alternativa após aplicação em bebidas lácteas fermentadas produzidas com leite de cabra e soro de leite de cabra (BURITI et al., 2014).

A galactomanana de sementes de alfarroba foi aplicada como revestimento comestível em frutos de laranja 'Valência Delta', visando avaliar o seu emprego para aumentar o tempo de prateleira dos frutos. O uso deste revestimento auxiliou na manutenção da firmeza e da coloração dos frutos, assim como reduziu a perda de massa nas diferentes temperaturas estudadas de $25 \pm 2^{\circ}\text{C}$ e $8 \pm 2^{\circ}\text{C}$ (MOURA NETO, 2016).

Salehi e Amin Ekhlās (2018) determinaram as propriedades reológicas e propriedades físicas e sensoriais de massas de bolo esponja formulado com goma de semente de sálvia (*Salvia macrosiphon*) (0, 0,5, 0,75 e 1,0%). As massas formuladas com gomas apresentaram comportamento pseudoplástico e tixotrópico (dependente do tempo), aumento da viscosidade aparente proporcional ao aumento dos níveis de goma. Os autores sugerem que goma de semente de sálvia selvagem a 1,0% seja usada em bolos de esponja para obter os bolos com volume aceitável, aparência, textura e aceitação total.

3.4 INGREDIENTES NA FABRICAÇÃO DE BOLOS

O bolo é um produto comestível assado, altamente apreciado pelos consumidores em todo o mundo, preparado à base de farinhas ou amidos, açúcar, fermento químico ou biológico, podendo conter leite, ovos, manteiga, gordura, agentes de aeração e outras substâncias alimentícias que caracterizam o produto. Os produtos de confeitaria devem ser preparados com matérias-primas sãs, limpas e

em perfeito estado de conservação (ANVISA, 2005). É caracterizado por ter um miolo denso e gosto doce. A sua qualidade depende principalmente dos ingredientes utilizados na formulação bem como sobre as condições prevalentes durante a sua preparação como, por exemplo, mistura e cozimento (CONFORTI, 2014).

Os ingredientes da formulação de bolos estão presentes para se obter uma boa qualidade no produto. O processo de mistura, a gordura e o açúcar são misturados, proporcionando aeração na massa. Na presença de emulsificantes, inúmeras pequenas bolhas de ar são incorporadas à massa por ação do batimento (CONFORTI, 2006).

As propriedades físicas dos bolos, tais como textura, volume, porosidade e cor são complexas e dependem de alguns fatores, dentre eles os ingredientes presentes na massa (GOMEZ et al., 2008).

3.4.1 Farinha de Trigo

A farinha de trigo especial para bolos e outros itens delicados de confeitaria deve ser extraída a partir de trigos com baixo teor de glúten ou com glúten de baixa qualidade, totalmente branca, com textura macia e sedosa (GISSLEN, 2011). Diferentemente da farinha de trigo para produção de pão (CAUVAIN, 2003). Essa farinha deve ser submetida a um processo de branqueamento rigoroso, que a torna hábil a carregar mais açúcar e gordura, bem como líquidos durante a mistura. O pH deve ser em torno de 5,2, o que a torna levemente ácida (CANELLA-RAWLS, 2012). De acordo com a Instrução Normativa nº 8, de 02 de junho de 2005, o teor de cinzas e proteínas para farinha de trigo (tipo 1) deve ser de 0,8 e 7,5%, respectivamente (BRASIL, 2005).

3.4.2 Açúcar

A denominação de “açúcar” normalmente é instituída à sacarose, um dissacarídeo de ampla utilização. Composta pelos monossacarídeos glicose e frutose, é bastante apreciada devido ao seu poder adoçante e consequente sabor agradável; além disso, trata-se de um produto que confere aparência, textura e estabilidade aos produtos de confeitaria (BENASSI; WATANABE; LOBO, 2001).

O açúcar também age competindo por água com as proteínas formadoras de glúten (da farinha de trigo), prevenindo assim a super-hidratação das proteínas durante a fase da mistura. Em consequência, é desenvolvido menos glúten e a massa fica menos rígida. Utilizado na proporção correta, o açúcar otimiza a elasticidade da massa, deixando-a mais suave, com produto final de textura macia e bom volume (FOOD INGREDIENTS BRASIL, 2009). Os açúcares também dão cor aos produtos, auxiliam na formação do creme, no método cremoso, e conferem a consistência da espuma no método espumoso (GISSLEN, 2011).

O açúcar na formulação de bolo (com concentrações de 55 a 60%) resulta em boa incorporação de ar, leva a uma maior viscosidade e estabilidade da espuma, afeta a estrutura e regula a gelatinização do amido, permitindo a expansão das bolhas de ar devido à pressão de vapor acumulada pelo dióxido de carbono e vapor de água antes da estruturação do bolo (KOCER et al., 2007).

3.4.3 Gordura

Muitos produtos de padaria requerem um teor de gordura relativamente elevado. O papel da gordura em bolos manufaturados e produtos de padaria em geral é muito importante, tanto do ponto tecnológico da visão como do ponto de vista sensorial (SOWMYA et al., 2009).

Normalmente, em misturas para bolos, são utilizados agentes emulsificantes e surfactantes, compostos responsáveis pela ligação da gordura com as moléculas de água. Para adquirir um produto final com textura e volume adequado, é necessário realizar a dispersão da gordura em meio ao batimento da massa (TIREKI, 2008). A principal função da gordura é prender o ar à massa durante a mistura. Quando o ar começa a se expandir, cristais de gordura adsorvidos migram para a mistura de interface ar-água e, deste modo, água-gordura contribuem para expansão de bolhas (KOCER et al., 2007; WILDERJANS et al., 2013).

As gorduras conferem propriedades de sabor, umidade, maciez, textura, sensação bucal, integridade estrutural, incorporação de ar, transferência de calor e aumento da vida útil em tortas, pães, massas e outros (MCCLEMENTS; DECKER, 2010; GISSLEN, 2011).

3.4.4 Leite

O leite pode ser utilizado de diferentes formas dentro da confeitaria: líquido, pó e condensado, sendo considerado nutritivo em todas as aplicações. O leite contribui para a textura, sabor, cor da casca, conservação, e valor nutricional dos produtos de panificação. O leite integral contém gordura que deve ser calculada como parte da gordura usada na massa, por isso, não se pode substituí-lo por leite desnatado, a menos que sejam feitos ajustes na formulação (GISSLEN, 2011).

O leite é um ingrediente estrutural e contribui para o escurecimento da crosta através das reações de escurecimento não enzimático, o que favorece a formação da cor da crosta e do aroma. O leite é um ingrediente que possibilita a valorização de massas de bolo, melhorando a qualidade nutricional do produto através do seu conteúdo rico em proteínas, vitaminas, sais minerais, açúcares e gorduras (INDRANI; RAO, 2008).

3.4.5 Ovos

Conforme Gisslen (2011), os ovos possuem alto valor nutricional, são ricos em proteínas, lipídeos e vitaminas e com diversas propriedades multifuncionais, tais como: estruturação (através da coagulação das proteínas), emulsificação de gorduras e líquidos (pela ação das gemas), crescimento/volume (ovos batidos incorporam bolhas de ar), amaciamento (gema), umidificação (os ovos são constituídos de 73% de água e deve ser calculada como parte de líquido na formula), cor (gema) e sabor.

Os ovos oferecem todos os aminoácidos essenciais, além de ser uma importante fonte de ferro, cálcio, fósforo, vitaminas A e D, tiamina e riboflavina (INDRANI; RAO, 2008).

3.4.6 Sal

Durante a mistura da massa, o sal auxilia no aumento de suas propriedades plásticas e melhora tanto a coesão quanto a elasticidade (CANELA-RAWLLS, 2012). O sal (cloreto de sódio) é utilizado para diminuir a doçura em bolos, realçar o sabor

dos outros ingredientes, diminuir a temperatura de caramelização da massa e auxiliar na obtenção da cor da crosta (CAUVAIN; YOUNG, 2000).

3.4.7 Fermento químico em pó

O fermento químico em pó é um agente de aeração, formulado com amido (diluyente inerte), um álcali (geralmente, bicarbonato de sódio) e um ácido (que age em baixas e/ou altas temperaturas), que quando dissolvidos, liberam dióxido de carbono, provocando a disseminação do gás por toda a massa de bolo (GISSLEN, 2011).

Existem dois tipos de fermento em pó: os de ação única e os de ação dupla. Os primeiros contêm somente sais ácidos de ação em baixas temperaturas, como fosfato cálcio e cremor tártaro. Os de ação dupla contêm dois sais ácidos: um que reage à temperatura ambiente, produzindo um crescimento rápido enquanto a massa é preparada, e outro que necessita de altas temperaturas (forneamento) para liberar o restante do gás, ocasionando o crescimento na etapa posterior de forneamento. Exemplos de sais ácidos de alta temperatura são pirofosfato ácido de sódio e fosfato ácido de sódio e alumínio (KÖKSEL; GÖKMEN, 2008; GISSLEN, 2011).

3.5 SUBSTITUTOS DE GORDURA EM BOLO

Importantes funções no organismo são desempenhadas pelas gorduras, tais como: prover energia, manter a temperatura do corpo constante, proteger os órgãos vitais, facilitar a absorção das vitaminas lipossolúveis A, D, E e K e promover o esvaziamento lento do estômago, resultando na sensação de saciedade devido à sua alta densidade energética (9 cal/g), eliminando a fome (THOMSON et al., 1999). Embora tenham grande importância nutricional e funcional para o organismo, estudos clínicos têm demonstrado que o consumo excessivo de gorduras, especialmente as saturadas e trans, está fortemente relacionada à obesidade e ao desenvolvimento de doenças cardiovasculares, *diabetes mellitus* tipo 2, e certos tipos de cânceres como cólon, mama e próstata (WHO, 2004).

As gorduras estão presentes na maioria dos alimentos para proporcionar sabor desejável, bem como textura e aparência. No entanto, existe a preocupação

dos consumidores por uma alimentação mais saudável. Isto tem impulsionado a indústria alimentar a desenvolver versões reduzidas de gordura em alimentos (HOEFKENS; VERBEKE; VAN CAMP, 2011), ou mesmo substituir por produtos que, diferente da gordura, não contribuem com valor calórico, mas desempenham as mesmas funções nos novos produtos elaborados (FELISBERTO et al., 2015).

As gorduras e emulsificantes atrasam a gelatinização do amido, retardando a transferência de água no grânulo de amido pela formação de complexos entre os lipídios polares e a amilose (fração linear do amido) durante o cozimento, melhorando, assim, textura, teor de umidade e sabor dos bolos, possibilitando inclusive a extensão do prazo de validade dos produtos alimentares (PIZARRO et al., 2013). As gotas de gordura nos alimentos têm influência direta nos efeitos de saciedade, no entanto, o desenvolvimento bem-sucedido de produtos com redução de gordura é um grande desafio, visto que a gordura desempenha múltiplos papéis na determinação desejável de atributos físico-químicos e sensoriais (WU; DEGNER; MCCLEMENTS, 2013).

As gorduras desempenham importantes funções para qualidade dos bolos, dentre elas: incorporação de ar durante o processo de mistura, revestimento das proteínas e partículas de amido e emulsificação dos líquidos da massa (KUMARI et al., 2011). No entanto, independentemente do número de funções desempenhadas pela gordura em melhoria da qualidade organoléptica dos produtos, a tendência atual é a de reduzir seu conteúdo, a fim de diminuir o custo total de produção e também satisfazer os consumidores com dieta específica, alguma restrição alimentar ou ainda os que buscam uma melhor qualidade de vida (MA; BOYE, 2013).

Para conseguir uma qualidade aceitável, faz-se necessária a promoção de mudanças na formulação original dos produtos alimentares, as quais podem estar relacionadas à incorporação de aditivos que venham a desempenhar a mesma função da gordura nos bolos. Essa qualidade desejável dos bolos pode ser atingida através do uso de emulsificantes e hidrocolóides, agentes coadjuvantes de tecnologia e geralmente reconhecidos como seguros (GRAS) (INDRANI; RAO, 2008).

A fibra dietética apresenta diversas aplicações na indústria de alimentos, podendo ser empregada em substituição à gordura, ao amido ou ainda atuando como agente estabilizante, espessante e emulsificante. Atuam sobre o controle da

textura, manutenção da característica da mistura e controle da mobilidade de água em produtos alimentícios (GUIMARÃES; FREITAS; SILVA, 2010).

Teixeira (2002) diz que a maior parte dos ingredientes que promovem a substituição parcial ou total das gorduras tradicionalmente usadas nos alimentos pode ser classificada em três principais classes: hidrocolóides, compostos de origem lipídica e compostos de origem proteica. Dentro do grupo dos hidrocolóides estão as galactomananas.

As galactomananas têm a capacidade de formar quelatos com íons metálicos, visando o enriquecimento dos alimentos com íons essenciais à dieta alimentar. Alguns monossacarídeos, tais como galactose e manose, presentes na estrutura da galactomanana, formam complexos com íons de ferro (III), sendo de grande interesse para as indústrias alimentícias (MERCÊ et al., 2001).

Há alguns anos, a literatura indicou que a dieta com goma guar prolonga o tempo do trânsito gastrointestinal, atraso do esvaziamento gástrico, aumento da glicemia pós-prandial e proporciona benefícios para a microflora do cólon (CUMMINGS et al., 1978).

O Guia Alimentar para população brasileira aponta para a necessidade de aumento do consumo de frutas, vegetais e alimentos integrais e para a redução do consumo de sal, açúcar e gordura (BRASIL, 2008). Portanto, pesquisas vêm sendo desenvolvidas para avaliar as propriedades tecnológicas de bolos com substitutos de gordura vegetal hidrogenada, tais como, derivados de lipídeos, fibras, hidrocolóides e enzimas.

Zambrano et al. (2004), ao estudar o efeito das gomas guar e xantana em bolos como substitutos de gordura, encontraram resultados que confirmam a possibilidade de obtenção de bolos com maior volume, características internas e aspecto geral similares e com redução do teor de gordura de pelo menos 50%, quando comparados com o padrão, se substituídos na formulação níveis iguais ou superiores a 29,80% de gordura.

Sowmya et al. (2009) produziram bolo substituindo a gordura por óleo de sésamo, hidrocolóides e emulsificantes. Os resultados mostraram que a redução de gordura por 50% de óleo de sésamo, HPMC e estearoil-2-lactil lactato de sódio-SSL) produziram bolos superiores nutricionalmente e com características de qualidade melhores do que o controle.

Borneo; Aguirre; León (2010) determinaram a aceitação global, características sensoriais, propriedades funcionais e teor de nutrientes de bolos usando chia (*Salvia hispanica* L) como substituto para o óleo e/ou ovos e demonstrou que o gel de chia pode substituir até 25% do óleo ou ovos em bolos, produzindo um produto mais nutritivo e com características sensoriais aceitáveis.

Zahn; Pepke; Rohm (2010) substituíram a gordura dos muffins por inulina e concluíram que é possível a substituição de até 50% da gordura por inulina, visto que os muffins apresentaram resultados semelhantes à amostra padrão. Já Rodríguez-García et al. (2012) conseguiram produzir bolos mais aceitáveis com substituição de até 70% de gordura por inulina.

Ao substituir a gordura de *muffins* de chocolate em 25, 50 e 75% por fibra de cacau, os produtos apresentaram-se com grande dificuldade em mastigar e deglutir quando o nível mais elevado de fibra de cacau foi adicionado. Foi relatado também certo grau de viscosidade e sabor amargo (MARTÍNEZ-CERVERA et al., 2011).

O efeito do óleo de girassol e óleo de coco, juntamente com emulsificantes (SSL e polisorbato-60) e hidrocolóides (goma guar e CMC), foi avaliado sobre as características de qualidade do bolo de libra e comparadas com a formulação controle, contendo gordura vegetal hidrogenada. A utilização dos óleos diminuiu a qualidade dos bolos. No entanto, a combinação com os emulsificantes e hidrocolóides produziu bolos com características de qualidade semelhantes à formulação controle (KUMARI et al., 2011).

Quando a gordura do bolo foi substituída em 35% a 100% por maltodextrina, inulina, oligofrutose, pectina cítrica e proteína microparticulada, os resultados revelaram que, em até 65% de substituição da gordura, as amostras apresentaram atributos de textura, físicos e sensoriais aceitáveis (Psimouli; Oreopoulou, 2013).

O efeito de diferentes concentrações de α -amilase maltogênica e gordura na qualidade tecnológica e sensorial de bolos foi estudada por Bedoya-Perales e Steel (2014). Esses autores concluíram que formulações com 20 g/100 g de gordura e 1000 mg/kg de α -amilase maltogênica (com base no teor de farinha) se mostrou uma alternativa para reduzir os níveis de gordura no produto testado.

A gordura de *muffins* foi substituída por isolado de proteína de soja, goma guar e pó de sementes de manjerição (*Ocimum basilicum*). Os resultados mostraram que a amostra contendo 10% de soja e 2% de manjerição em pó apresentou a maior

porosidade e a menor dureza em comparação com as outras amostras (BAZRAFISHAN; SHAFAFIZENOOZIAN; MOGHIMI, 2015).

Fernandes e Salas-Mellado (2017) produziram bolos de chocolate com substituição de 50% da gordura por mucilagem de chia sem afetar as características tecnológicas e físicas do produto. Contudo, Felisberto et al. (2015) conseguiram boas características tecnológicas em bolos de libra com substituição de 25% de gordura por mucilagem de chia.

3.6 GLÚTEN

O glúten não faz parte diretamente da formulação dos produtos de panificação. É formado por aproximadamente 80% das proteínas presentes na farinha de trigo, gluteninas e gliadinas, insolúveis em água. Essas duas proteínas, quando combinadas com a água e transformadas em massa, formam uma substância elástica e extensível denominada de glúten. Essas absorvem duas a três vezes seu peso em água durante o amassamento (GISSLEN, 2011). A interação da água com as proteínas promove, além da formação da rede de glúten, o desenvolvimento de um sistema coloidal complexo, que envolve a presença de lipídios, amidos, açúcares, minerais, demais proteínas, entre outros, sendo esta composição responsável pelo sistema viscoelástico da massa (BORGES et al., 2006).

Com a contínua mistura da massa, a distribuição de grânulos de amido permanece constante e os aglomerados de proteína tornam-se mais estendidos e coerentes, formando uma rede contínua, conferindo as suas propriedades viscoelásticas. O amido atua somente como um agente de enchimento. Devido à forma entrelaçada das proteínas formadoras do glúten do trigo, este é o único dentre os cereais em que a viscoelasticidade da sua massa permite a formação de bolhas de ar estáveis, que são essenciais para a expansão da massa (MACRITCHIE, 2016).

Nas formulações de bolo, o glúten é diluído juntamente com os outros ingredientes, tais como ovos, açúcar e gordura, formando uma massa viscosa, em vez de viscoelástica como a massa do pão. Conforme Donelson e Wilson (1960), o glúten funciona mais como agente espessante em bolos, enquanto em pães, funciona como agente estrutural.

3.6.1 Doenças relacionadas ao glúten

Existe um amplo espectro de transtornos causados pelo consumo do glúten por indivíduos que sofrem de doenças como a alergia ao trigo, doença celíaca (DC), dermatite herpetiforme, ataxia por glúten e sensibilidade ao glúten não celíaca. Cada desordem é caracterizada pela ativação de células T na mucosa intestinal incitada pelo glúten (FASANO et al., 2015). O único tratamento para distúrbios relacionados ao glúten consiste na dieta sem glúten, na qual os produtos alimentares devem conter menos de 20 ppm de glúten total (CODEX ALIMENTARIUS, 2008).

O uso de ferramentas sorológicas sensíveis para fins de triagem demonstraram que a DC é uma das patologias mais comuns, relacionadas aos distúrbios que afetam as populações em todo o mundo, com uma estimativa média de prevalência de 0,9% (LIONETTI; CATASSI, 2014).

O diagnóstico da DC é tem certa complexidade, visto que seus sintomas se assemelham a outras enfermidades, sobretudo as de caráter gastrointestinal. Além disso, a doença pode agir de forma oligossintomático ou assintomático e, ainda, pode apresentar períodos de latência. A falta de acesso a testes diagnósticos específicos, bem como, a de capacitação dos profissionais de saúde, também são fatores que impossibilitam a eficiência do diagnóstico (VOLPATO; SOUZA, 2017).

3.7 PANIFÍCIOS LIVRES DE GLÚTEN

No intuito por satisfazer as exigências dos consumidores, aliado a atingir uma ampla faixa de clientes, incluindo os mais preocupados com o valor nutritivo, os adeptos da alimentação “glúten free” e os alérgicos em especial as proteínas do glúten, a indústria de panificação e confeitaria, bem como pesquisas, que antes tinham por ingrediente de base estrutural a farinha de trigo, começam a ser foco de pesquisas com o objetivo da exploração de outras fontes alimentares que possam ser utilizadas como ingrediente na formulação (GULARTE, et al. 2012).

Alimentos livres de glúten, que apresentem boas características tecnológicas, mostram-se como um grande desafio para o setor, bem como para pesquisas, que vêm buscando inovação com o uso de hidrocolóides, enzimas e outras combinações como alternativas ao glúten.

Ao avaliarem os efeitos das gomas de xantana e guar sobre o armazenamento de bolos de arroz sem glúten cozidos em fornos diferentes, Samnu et al. (2010) constataram que ambos os hidrocolóides diminuíram a dureza, a perda de peso, a entalpia de retrogradação e a alteração nos valores de viscosidade dos bolos durante o armazenamento para ambos os tipos de fornos em comparação com a formulação de controle.

Peressine; Pin; Sensidoni (2011) investigaram os efeitos da adição de goma xantana e propilenoglicol sobre as propriedades reológicas e o desempenho panificável da massa sem glúten à base de arroz-trigo sarraceno em diferentes níveis de água. Os resultados mostraram que a adição de hidrocolóides melhorou o desempenho panificável da farinha de arroz-trigo sarraceno.

Ao avaliar o efeito de emulsificantes (ésteres de ácido diacetil tartárico de monodiglicerídeos - DATEM e SSL), enzimas (oxidase e α -amilase) e hidrocolóides (goma xantana, CMC, alginato e carragenana) sobre a reologia da massa sem glúten e propriedades térmicas e qualidade de pães à base de farinha de arroz, amido de mandioca e farinha de soja, Sciarini et al. (2012), concluíram que a incorporação dos aditivos utilizados não melhorou a qualidade tecnológica final do pão.

Pongjaruvat et al. (2014) relataram que o amido de tapioca pré-gelatinizado e a transglutaminase são ingredientes promissores úteis para melhorar a qualidade de pão à base de arroz de jasmim sem glúten.

Singh et al. (2015) avaliaram a Influência da incorporação do jamelão (*Syzygium cumini*) e goma xantana nos processos físico-químicos, antioxidantes e propriedades de *muffins* de arroz sem glúten e sem ovos. Os resultados indicaram que a goma xantana melhorou as características de qualidade dos *muffins* e que a farinha de jamelão pode ser usada com sucesso para preparar *muffins* livres de glúten e ricos em antioxidantes.

Concentrado de fibra dietética de bagaço de cenoura (BCF) (3, 6 e 9%) e goma xantana (XG) (0,5%) foram aplicados em *muffins* de arroz isentos de glúten e avaliadas suas propriedades físico-químicas. A incorporação de fibra e XG aumentou a viscoelasticidade da massa. A XG melhorou a aparência e o volume específico dos *muffins* de arroz preparado com e sem a fibra da cenoura. *Muffins*

preparados com a incorporação de 6% do BCF e XG foram os mais aceitos (SINGH; KAUR; SINGH, 2016).

Ao avaliar os efeitos de suplementação de arabinoxilanos de fibra de milho (MFAX) e lacase na reologia de massa e qualidade de pães sem glúten, Ayala-Soto; Serna-Saldívar; Welte-Chanes (2017) observaram que MFAX demonstrou potencial para melhorar a qualidade dos pães testados quando o nível ótimo de água foi utilizado; além disso, demonstraram que a lacase não teve efeito significativo na reologia da massa e qualidade do pão sem glúten.

Os efeitos da substituição parcial da farinha de arroz pela farinha de alfarroba (10%, 20%, 30%), goma xantana e goma guar foram avaliados em bolos sem glúten. Todas as massas de bolo apresentaram comportamento de redução de cisalhamento, enquanto as massas contendo as gomas exibiram viscosidades aparentes mais altas. Os bolos com 20% de farinha de alfarroba e goma xantana apresentaram menor dureza e maiores volumes específicos. A adição de goma guar teve um efeito negativo em todos os parâmetros de qualidade do bolo, exceto a perda de umidade (BERK; ŞUMNU; ŞAHİN, 2017).

3.8 FEIJÃO-FAVA

Fava, também conhecida como feijão-fava, é leguminosa de ampla distribuição no território nacional e presente em todos os biomas brasileiros, por ter a capacidade de crescer em várias zonas climáticas. Entretanto, é cultivada principalmente no Nordeste do Brasil, possuindo boa adaptação à região semiárida. É cultivada em quase todas as regiões do mundo, sendo muito consumida na América Latina, nos Estados Unidos da América, na Europa e na Ásia (EMBRAPA, 2017). O Brasil é o maior produtor e consumidor de feijão *Phaseolus* do mundo, com aproximadamente 3,2 milhões de toneladas ao ano (SNA, 2017).

O feijão-fava (*Phaseolus lunatus* L.) é uma das cinco espécies do gênero *Phaseolus* explorada comercialmente, fonte de proteína vegetal e a segunda leguminosa de maior importância do gênero (EMBRAPA, 2012). As propriedades nutricionais e agrônômicas da fava fazem dessa leguminosa uma excelente alternativa a outras fontes de origem animal ricas em proteínas (CODA et al., 2017).

De acordo com Multari; Stewart; Russell (2015) as leguminosas têm o potencial de apoiar a produção global de proteínas, substituindo parcialmente a carne e os produtos lácteos na dieta humana. Entre as leguminosas, o feijão fava é uma cultura valiosa. É uma rica fonte de proteínas, fibras e outros compostos não nutrientes considerados benéficos para a saúde. A Fava também tem potencial terapêutico, pois fornece a L-3,4-di-hidroxifenilalanina (L-DOPA), o precursor do neurotransmissor catecolamina, uma droga usada para tratar a doença de Parkinson (Ramya e Thaakur 2007).

Apesar de todas as vantagens nutricionais, o feijão-fava, assim como outras leguminosas, também possuem propriedades antinutricionais, como saponinas, inibidores de protease, α -galactosídeos e ácido fítico, que interferem na absorção e utilização dos minerais, tornam as proteínas indisponíveis e inibem enzimas digestivas. No entanto, tratamentos como imersão e tratamento térmico, fermentação com bactérias do ácido láctico e extrusão da farinha de feijão, são capazes de reduzir os componentes antinutricionais em até 100%, limitando assim quaisquer potenciais consequências prejudiciais (LUO et al., 2009; BATISTA; PRUDENCIA; FERNANDES, 2010; CODA et al., 2015).

O feijão-fava pode ser usado sozinho ou em combinação com outros alimentos para melhorar a qualidade e quantidade das proteínas fornecidas durante as refeições. Os países em desenvolvimento precisam incentivar a ingestão de leguminosas, principalmente onde o consumo de carne é escasso, pois fornece alguns aminoácidos essenciais de grande importância para o crescimento e restauração de tecidos corporais (MULTARI; STEWART; RUSSELL, 2015).

A conscientização dos consumidores para os possíveis benefícios à saúde, e os avanços técnicos na indústria alimentícia, tanto através da produção de isolados protéicos, como, pela inovação tecnológica nas preparações alimentares à base de feijão-fava, podem potencializar o uso dessa leguminosa, bem como, gerar maior valor agregado.

3.9 LEGUMINOSAS COMO ENRIQUECIMENTO NUTRICIONAL EM PANÍFICIOS

Percebe-se que a grande maioria dos produtos sem glúten disponíveis no mercado são de baixo conteúdo proteico, tendo como base arroz, milho, batata e

mandioca. Uma alternativa para a diversificação desses produtos é a incorporação de leguminosas, tais como feijão, lentilha, ervilha, fava, grão de bico e soja, que se caracterizam pelo seu elevado valor nutricional (ASIF et al., 2013).

O aumento do consumo diário de leguminosas, bem como a consciência em âmbito mundial dos muitos benefícios dos grãos, tornaram-se temas de grande relevância ultimamente. O ano de 2016 foi considerado pela ONU o ano Internacional das leguminosas, as quais representam uma fonte alternativa de proteínas de baixo custo econômico e, além de ter o dobro das proteínas do trigo e o triplo do arroz, são também ricas em carboidratos complexos, micronutrientes, e vitaminas do complexo B, substâncias que as tornam partes essenciais de uma dieta saudável (FAO, 2016).

No entanto, a inserção de leguminosas em panifícios, seja na forma de farinha ou isolados proteicos, pode ser uma estratégia para melhorar o valor nutricional e tecnológico em produtos de panificação sem glúten.

Ronda et al. (2011) investigaram a ação da proteína isolada de soja e proteína do trigo em proporções de 0%, 10% e 20% em massas de bolo com diferentes fontes de amido (arroz, milho, batata e trigo). Os autores concluíram que as massas feitas de amido de arroz e isolado de proteína de soja produziram comportamento reológico semelhante a massas com farinha de trigo e apresentaram características adequadas ao processamento e obtenção de produtos de alta qualidade.

Gularte et al. (2012) investigaram o possível impacto de diferentes legumes (grão de bico, ervilha, lentilha e feijão) em propriedades de qualidade, composição química, digestibilidade *in vitro* da proteína e hidrólise enzimática *in vitro* de amido em bolo de camada sem glúten. No geral, a incorporação de farinha de lentilha resultou nos melhores bolos sem glúten.

Pães com substituição de até 42% de farinha de trigo por farinhas de grão de bico, ervilha e soja, tendo como agentes estruturantes glúten e carboximetilcelulose (de 1 a 5% de substituição de farinha de trigo), proporcionaram valor nutritivo a pães sensorialmente aceitos (Angioloni; Collar, 2012).

Matos et al. (2014) investigaram o papel de cinco fontes de proteínas (soja, ervilha, clara de ovo, caseína e glúten vital de trigo) na reologia e na qualidade dos muffins sem trigo usando arroz farinha. Os resultados globais indicaram que tanto as

propriedades reológicas das massas e as características tecnológicas do *muffin* são dominadas pela presença do tipo de proteína utilizada nas formulações.

Shevkani e Singh (2014) avaliaram a influência de isolados de feijão, ervilhas e amaranto sobre as características de *muffins* sem glúten à base de amido. Os isolados de proteína de feijão resultaram em *muffins* mais firmes, mas, no geral, os resultados revelaram que todos os isolados de proteína testados podem ser utilizados com sucesso para preparar *muffins* sem glúten com características comparáveis às de glúten de trigo.

O enriquecimento de bolos com farinhas de soja foi usado para substituir 15% e 30% de amido em formulações de bolo de camada e esponja. Os autores concluíram que houve diminuição da dureza e envelhecimento do bolo durante o armazenamento, obteve-se uma forma mais plana e reduziu-se o volume específico, que pode ser minimizado se o tamanho de partícula da farinha de soja usada for mais fino (Dhen et al., 2016).

Herranz et al. (2016) avaliaram o efeito de três diferentes biopolímeros, proteína de soro de leite, goma xantana e inulina e suas misturas, nos processos reológico, físico e propriedades microestruturais de *muffins* sem glúten, substituindo a farinha de trigo por farinha de grão de bico. Os autores concluíram que a goma xantana sozinha (0,5 e 1%) ou combinada com inulina em massa tendo como base a farinha de grão de bico, poderia ser uma estratégia para produção de *muffins* sem glúten.

Os efeitos da substituição de 30% da farinha de trigo por farinha de feijão-fava nas propriedades do pão causaram uma ligeira diminuição de volume e maior dureza em relação ao pão de trigo. No entanto, quando a farinha de fava fermentada foi adicionada, aumentou-se o teor de proteína, maior digestibilidade proteica e reduziu-se o índice glicêmico (Coda et al., 2017).

3.10 PARÂMETROS DE QUALIDADE DO BOLO

Os atributos de qualidade do bolo são alto volume, uniformidade na estrutura do miolo, leveza e tolerância ao envelhecimento. Esses atributos dependem das fórmulas equilibradas, aeração (bolhas de gás/ar adquiridas durante a mistura

mecânica) e estabilidade das massas, bem como estágio inicial da temperatura do cozimento (GOMEZ et al., 2007).

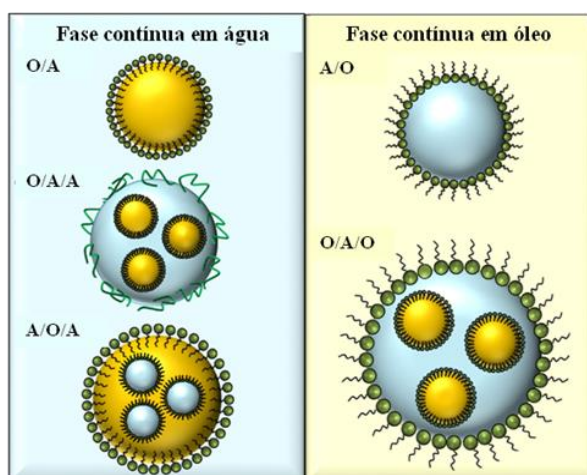
Para avaliação da qualidade do bolo, muitos parâmetros podem ser analisados, tais como medidas físicas, químicas, sensoriais e instrumentais, tanto na massa crua como no bolo pronto.

3.10.1 Microscopia das bolhas

A massa de bolos é uma emulsão complexa do tipo óleo-em-água (O/A), composta de bolhas de ar na fase descontínua e de uma mistura de ovo-açúcar-água-gordura na fase contínua, na qual as partículas de farinha são dispersas (SHELKE; FAUBION; HOSENEY, 1990).

Para McClements (2015), as emulsões são consideradas como óleo-em-água (O/A) quando o óleo forma a fase dispersa ou interna (gotas de óleo) e a água forma a fase contínua (por exemplo, leite e molhos); emulsões água-em-óleo (A/O) são aquelas formadas por água na fase dispersa, enquanto a substância que compõe o líquido envolvente é composta pela fase contínua ou externa (por exemplo, manteiga e margarinas) (Figura 4).

Figura 4 – Diagrama esquemático de emulsões simples - emulsão óleo-em-água (O/A), emulsão água-em-óleo (A/O) e emulsões múltiplas - emulsão de óleo-em-água-em- água (O/A/A), emulsão de água-em-óleo-em-água (A/O/A) e emulsão de óleo-em-água-em- óleo (O/A/O).



Fonte: Adaptado de Chung e McClements (2014).

Em muitos sistemas como massa de bolo ocorre a incorporação das bolhas de ar pela ação da gordura pelo método cremoso de batimento, momento em que as

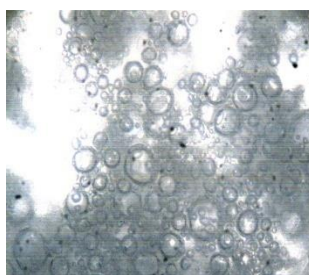
bolhas são aprisionadas na fase contínua da emulsão à temperatura ambiente em vez de permanecer na fase aquosa (WILDERJANS et al., 2013; RIOS et al., 2014).

O ar que está incorporado dentro das partículas de gordura serve como ponto de origem para a estrutura celular do bolo, onde o volume do bolo aumenta de três vezes e meia durante o assamento, as células de ar agem como suporte para estrutura da massa até que a força mecânica desenvolvida pela gelatinização do amido e a coagulação da proteína durante o assamento criem uma força suficiente para completar a formação da estrutura do produto (BENT; BENNION; BAMFORD, 2013).

Na distribuição do tamanho das partículas, o tamanho das bolhas de ar também desempenha um papel fundamental nas propriedades físico-químicas (CHUNG et al., 2013). A flutuação das bolhas depende do seu tamanho e é conhecido por ser inversamente proporcional à viscosidade da massa (SAHI; ALAVA, 2003). Em massa de bolo, é desejado que existam numerosas bolhas de ar de pequeno tamanho e uniformidade para um bolo com boa textura e volume (HICSASMAZ et al., 2003; JIA et al., 2014).

A microestrutura das emulsões pode ser caracterizada usando vários instrumentos de microscopia, por exemplo, microscopia óptica, fluorescência, confocal de varredura a laser, microscópio eletrônico de varredura e transmissão (MANISHA et al., 2012; PSIMOULI; OREOPOULOU, 2013; HAO et al., 2016; BARCENILLA et al., 2016; DHEN et al., 2016). A figura 5 ilustra uma observação em microscópio óptico de uma massa de bolo produzida com gordura vegetal hidrogenada.

Figura 5 – Micrografia da microestrutura da massa de bolo esponja com ampliação de 10x.



Fonte: autor (2016)

3.10.2 Reologia

A reologia é definida como o estudo da deformação e fluxo da matéria. Estes princípios podem ser aplicados a qualquer tipo de material que varia desde fluidos móveis como água, plásticos, sangue, tintas, cosméticos, solos, vidros, borracha, lubrificantes, bem como materiais cerâmicos, rochas e, claro, alimentos e bebidas (BOURNE, 2002).

A deformação em fluidos pode ser analisada submetendo-os a uma deformação contínua a uma taxa constante. Essa condição pode ser através da utilização de duas placas paralelas com o fluido colocado no espaço entre elas (*gap*), gerando um perfil de velocidades ao longo do fluido que, por sua vez, é igual à taxa de deformação ($\dot{\gamma}$) (TONELI; MURR; PARK, 2005).

Conforme Albuquerque et al. (2014), as soluções de galactomanana de *C. grandis* apresentaram comportamento pseudoplástico, ou seja, a viscosidade diminuiu com o aumento da taxa de cisalhamento, com um regime newtoniano para concentrações de até 1%. Os módulos de ganho e perda de energia aumentaram continuamente em função da frequência de oscilação, indicando a ausência de ligações permanentes características de um gel em concentrações mais baixas; a 2%, porém, o polímero transforma-se em um gel fraco. Os estudos de tensão e deformação permitiram uma avaliação mais precisa desta transição e indicaram que o ponto de gelificação ocorre a 1,6% (p/v).

Regime Newtoniano é baseado no princípio, que o fluxo de fluido é diretamente proporcional à força aplicada. A água é o fluido newtoniano mais conhecido (BOURNE, 2002).

Visando as diversas funções que os hidrocolóides têm dentro da indústria alimentícia, tais como espessante, emulsificante, moldador de filmes e revestimento, carreador de biomoléculas, dentre outras, pesquisas têm sido desenvolvidas na área de panificação e confeitaria com a finalidade de avaliar o comportamento de diferentes polissacarídeos, individualmente e em misturas, quando submetidos a diferentes condições de processo, visto que podem modificar a reologia e a textura de suspensões aquosas.

O comportamento reológico da massa de bolo é um fator importante na aferição do produto final, uma vez que determina não somente a incorporação inicial

das bolhas de ar, mas também a capacidade de retenção de ar na massa durante o cozimento (AHMAD; HASSAN; YUSOFF, 2016).

As mudanças estruturais que ocorrem nas massas de bolos podem ser investigadas através da avaliação das propriedades viscoelásticas lineares durante o aquecimento não isotérmico, tentando simular o comportamento reológico da massa durante o forneamento. Essa avaliação fornece informações mais autênticas sobre a gelatinização e também a cinética de reação do processo de gelatinização (HESSO et al., 2015; BARCENILLA et al., 2016).

Maior viscosidade aparente pode ajudar na retenção de ar na massa de bolo causando maiores volumes e melhor porosidade. Em baixa viscosidade aparente, as bolhas de ar facilmente sobem à superfície e o ar é perdido para a atmosfera (TURABI; SUMNU; SAHIN, 2010).

O efeito de goma xantana e HPMC sobre a estabilidade da espuma e as propriedades viscoelásticas de bolos esponjosos foi avaliado por Ahmad; Hassan; Yusoff (2016), os quais concluíram que módulos viscoelásticos baixos em massa relacionam-se com a expansão inadequada de bolhas devido à sua interação com amido e água e instabilidade da própria estrutura aerada, a qual não poderia reter a formação de gás. Já o módulo de alta viscosidade no final do aquecimento foi relacionado com a estrutura densa do bolo.

Singh et al. (2015), ao avaliarem a reologia da massa de *muffins* sem glúten e adicionada da polpa de Jamelão (*Syzygiumcumini*) e goma xantana, constataram aumento na viscoelasticidade da massa.

Herranz et al. (2016) avaliaram o efeito de três diferentes biopolímeros (proteína de soro de leite, goma xantana e inulina) e suas misturas nos processos reológicos de formulações de *muffins* sem glúten, substituindo a farinha de trigo por farinha de grão de bico. O uso do substituto da farinha de grão de bico e goma xantana (0,5 e 1%), isoladamente ou combinados com os outros biopolímeros, produziram notável melhoria nas propriedades viscoelásticas dos *muffins*, tanto a 25 °C quanto a 95 °C, resultando numa massa mais forte, elástica e estável quando comparada com a massa padrão.

3.10.3 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) aplicada à análise de bolos

A microscopia eletrônica de varredura (MEV) é usada para examinar superfícies. A amostra deve ser seca (MEV convencional) ou congelada (abaixo de – 80 °C, cryo-MEV). Uma camada espessa de metal (ouro), responsável pela condutividade elétrica, é pulverizada sobre a amostra para ser visualizada. As imagens geradas pela técnica de MEV possuem bom foco e intensidade e são relativamente fáceis de serem entendidas (PARK; ANTONIO, 2006).

As imagens obtidas nas análises por MEV vêm sendo investigadas por pesquisadores para avaliar o comportamento das interações de polissacarídeos com os outros ingredientes em massas de bolos.

Ashwini; Jyotsna; Indrani (2009) avaliaram a microestrutura da interação de hidrocolóides e emulsificantes em massas de bolos sem ovos e constataram que os grânulos de amido foram envolvidos por XA e HPMC. Manisha; Sowmya; Indrani (2012) também observaram através de MEV que a interação entre esteviosídeo, sorbitol líquido, hidrocolóides e emulsificantes em substituição de açúcar em bolos, produziram microestrutura dos grânulos de amido completamente envolvidos pela XA e galactomanana de feno-grego.

Foi possível observar através da MEV que o açúcar pode aumentar a porosidade de bolo esponja quando foram avaliados os efeitos dos ingredientes, incluindo açúcar, amido e HPMC (FARZI; SAFFARI; EMAM-DJOMEH, 2015).

Rodriguez-Garcia et al. (2012), ao substituírem a gordura do bolo por inulina, concluíram através da MEV que a estrutura do bolo se tornou menos desenvolvida.

Nos estudos de Dhen et al. (2016), a MEV foi conduzida com o objetivo de identificar as propriedades da farinha de soja de diferentes tamanhos de partícula. As imagens de farinha de soja grosseira exibiram estruturas compactas e mostraram uma superfície mais áspera, que podem estar relacionadas com o menor teor de gordura, assim como a grânulos de amido soltos.

3.10.4 Análise de Perfil de Textura (TPA)

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, a textura é definida como todas as propriedades reológicas e estruturais (geométricas e de

superfície) de um alimento, perceptíveis pelos receptores mecânicos, táteis e eventualmente pelos receptores visuais e auditivos (ABNT, 1993).

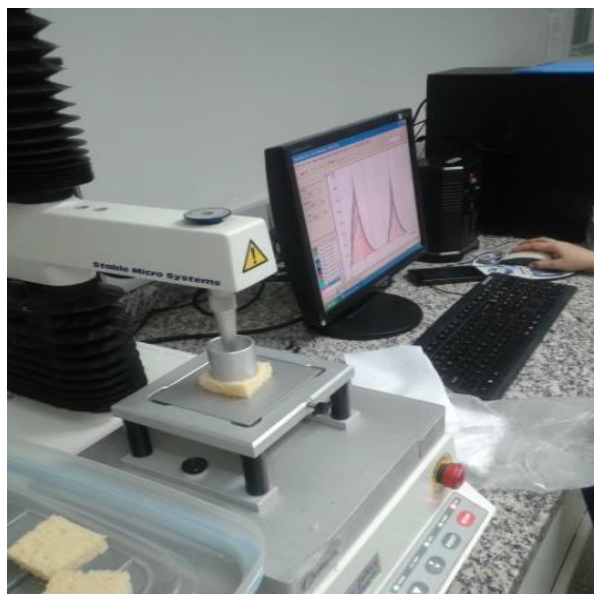
Embora não tenha uma definição inteiramente satisfatória de textura, Bourne (2002) diz com um elevado grau de certeza que a textura dos alimentos tem as seguintes características:

1. Trata-se de um grupo de propriedades físicas que derivam da estrutura do alimento;
2. Pertence ao subtítulo mecânico ou reológico das propriedades física. Propriedades ópticas, propriedades elétricas e magnéticas, temperatura e propriedades térmicas são propriedades físicas que são excluídas da definição de textura;
3. Consiste de um conjunto de propriedades e não uma única propriedade;
4. Textura é detectada principalmente pela sensação de toque, geralmente na boca, mas outras partes do corpo podem ser envolvidas (frequentemente as mãos);
5. Não está relacionado com os sentidos químicos de sabor ou odor;
6. A medição objetiva da textura pode ser representada apenas pelas funções de massa, comprimento e tempo, as quais podem ser representadas pelas letras M, L e T, respectivamente. A partir dessas grandezas podem ser definidas qualquer outra. Por exemplo, a força que pode ser representada por M^0LT^{-1} .

Estas características levam à seguinte definição: as propriedades de textura de um alimento, são sentidas principalmente através do toque, são relacionadas à deformação, desintegração e fluxo dos alimentos sob uma força e são medidas objetivamente por funções de massa, tempo e distância (BOURNE, 2002).

Conforme Szczesniak (2002), a classificação dos termos de textura para sólidos e semi-sólidos originou-se a partir do método de perfil e descrição de textura (TPA – *Texture Profile Analysis*), podendo ser usado também para medidas sensoriais. Com o método instrumental, o perfil de textura envolve a compressão do material de ensaio em pelo menos duas vezes e quantifica os parâmetros mecânicos registrados a partir da curva de deformação – força. O instrumento especialmente concebido para o teste de TPA é o Texturômetro (Figura 6).

Figura 6 – Texturômetro (TA-XT. Plus Texture Analyser)

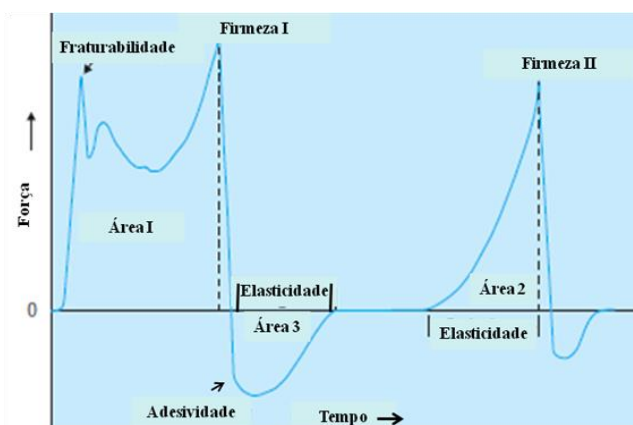


Fonte: Autor (2016).

O princípio do teste TPA simula uma 'mordida' na amostra de alimento de tamanho e forma padrão colocado na placa de base, sendo o alimento comprimido e descomprimido duas vezes por um prato ligado ao sistema de acionamento. Para imitar a ação de mastigação dos dentes, deve haver uma alta compressão (BOURNE, 2002).

A figura 7 ilustra as curvas típicas geradas pelo texturômetro para obter os parâmetros de dureza, coesividade, fraturabilidade, adesividade, elasticidade, gomosidade e mastigabilidade, e a tabela 1 apresenta suas respectivas definições.

Figura 7 - Curvas típicas geradas pelo texturômetro em análise de dupla compressão (TPA).



Fonte: Adaptado de BOURNE, 2002.

Tabela 1: Definições dos parâmetros mecânicos de textura.

Parâmetro	Definição
Firmeza	Altura do pico de força no primeiro ciclo de compressão (primeira mordida).
Coesividade	Proporção das áreas de força positiva sob as primeiras e segundas compressões ($A2 / A1$).
Fraturabilidade	Força da ruptura significativa na curva da primeira mordida.
Adesividade	Área de força negativa da primeira mordida ($A3$) representa o trabalho necessário para puxar o êmbolo de compressão para fora da amostra.
Elasticidade	Distância que os alimentos recuperam sua altura durante o tempo que decorreu entre o final da primeira mordida e o início da segunda mordida.
Gomosidade	Produto da Dureza x Coesão
Mastigabilidade	Produto da Dureza x Coesão x Elasticidade

Fonte: Adaptado de Bourne (2002)

Os resultados obtidos nas avaliações de cor e textura instrumentais podem ser correlacionados à percepção humana, permitindo a compreensão do significado dessas características na avaliação da qualidade sensorial do alimento (DE ANDRADE et al., 2007). A textura é um atributo de qualidade muito importante nos bolos, uma vez que pode ser usado para determinar a sua vida útil durante o armazenamento (WILDERJANS et al., 2013).

3.10.5 Análise sensorial

A análise sensorial é essencial para medir e interpretar as reações produzidas pelas características dos alimentos e a forma como são percebidas pelos sentidos humanos (ABNT, 1993).

Através das respostas transmitidas pelos indivíduos durante a avaliação sensorial, percebe-se as várias sensações que se originam de reações fisiológicas resultantes de certos estímulos; além disso, a análise sensorial também determina a interpretação das propriedades intrínsecas aos produtos. O estímulo é medido por

processos físicos e químicos e as sensações por efeitos psicológicos. As sensações produzidas podem dimensionar a intensidade, extensão, duração, qualidade, gosto ou desgosto em relação ao produto avaliado (INSTITUTO ADOLF LUTZ, 2008).

A análise sensorial pode ser aplicada para avaliar toda cadeia alimentar, desde a seleção da matéria prima a ser utilizada em um novo produto, o efeito de processamento, a qualidade da textura, o sabor, a estabilidade de armazenamento, a reação do consumidor, entre outros (TEIXEIRA, 2009). Pode ser realizada por métodos de avaliação diferenciados, dentre os quais podem ser destacados os métodos afetivos, os discriminativos e os descritivos. Os métodos afetivos ou subjetivos expressam a opinião dos avaliadores. E mede o quanto uma população gostou de um produto, para avaliar preferência ou aceitabilidade (DUTCOSKY, 2013).

A aceitação do produto pode ser avaliada em relação aos atributos de cor, aroma, textura, sabor e impressão global, utilizando escala hedônica estruturada de nove pontos, variando entre os termos hedônicos: “gostei extremamente” (escore 9) a “desgostei extremamente” (escore 1) (MEILGAARD; CIVILLE; CARR, 2007). A escala hedônica de 9 pontos é mais utilizada para estudos de preferência com adultos. O resultado deve ser avaliado estatisticamente por análise de variância (ANOVA) para saber se existe ou não preferência ou rejeição significativa. Para comparação entre as médias, o teste recomendado é o teste de Tukey (DUTCOSKY, 2013).

4 RESULTADOS

4.1 INFLUENCE OF CASSIA GRANDIS GALACTOMANNAN ON THE PROPERTIES OF SPONGE CAKES: A SUBSTITUTE FOR FAT



Artigo publicado na revista *Food & Function* (9:2456-2468, 2018)

Fator de Impacto 3.289

PAPER

Cite this: *Food Funct.*, 2018, 9, 2456Influence of *Cassia grandis* galactomannan on the properties of sponge cakes: a substitute for fatFrancisca Joyce E. T. Andrade,^{a,b} Priscilla B. S. de Albuquerque,^c José Roberto P. C. de Seixas,^d George S. Feitoza,^d Wilson Barros Júnior,^e Antônio A. Vicente^f and Maria das Graças Carneiro-da-Cunha^g  ^{a,d,g}

Here we have proposed to evaluate potential replacers of fat in sponge cake formulations. Our investigation consisted initially of monitoring the physical–chemical changes in sponge cake batters caused by gradually replacing the vegetable fat/margarine of a control sample (standard sponge cake recipe) with galactomannan extracted from the seeds of *Cassia grandis*. Several samples were prepared where a 100% concentration of vegetable fat was substituted with galactomannan in different concentrations. We then compared both microscopic and macroscopic characteristics of pure fat cake batter formulations and formulations with controlled fat/galactomannan mixtures. At this first stage, rheometry and optical microscopy were employed to characterize the rheological features and air bubble distribution in the batters. In the second stage, the effects of fat substitution with galactomannan, now for the final baked cakes, were also monitored. Scanning electron microscopy (SEM) and standard sensorial tests were performed in order to correlate the final color, texture, and taste characteristics of the final sponge cake and those characteristics obtained initially for the batter. According to the statistical analysis of the data, a 75% fat replacement with galactomannan at only 1.0% concentration was achieved, while successfully maintaining surface microstructure, sensory acceptance, and rheological behavior similar to the original formulation containing only fat. Regarding vegetable fat substitution with galactomannan, our results allow us to conclude that rheometry and bubble distribution tests on the initial batters are useful indicators of the final cake quality.

Received 23rd November 2017,
Accepted 14th March 2018

DOI: 10.1039/c7fo01864a

rsc.li/food-function

Introduction

Fats are present in most foods in order to provide them with taste, texture and appearance. In particular, they play important roles in the process of producing cakes, such as air

incorporation during the mixing process and coating of protein and starch granules, in addition to the fluid emulsification of the mass.¹ Nevertheless, the current trend is to reduce fat content in order to reduce the total cost of production while also satisfying consumers with specific diets or customers who are seeking a better quality of life.² One should note that the excessive consumption of saturated and *trans*-saturated fats is strongly related to obesity and the development of cardiovascular diseases.

Gums (complex carbohydrates) have been used as substitutes of fat due to their functional properties, playing an important role in the stability of many processed foods. Galactomannans are neutral polysaccharides extracted from the endosperm of the seeds of certain leguminous plants. These polymers consist of a skeleton composed of repeating units of β -D-mannose linked together by links of type 1 $\rightarrow$ 4 and α -D-galactose linked to the main chain by links of type 1 $\rightarrow$ 6. The content and distribution of the units of D-galactose depend on the origin and species of legumes, in addition to the extraction techniques used for obtaining it.^{3,4}

The galactomannan extracted from the seeds of *Cassia grandis* has the characteristics of commercial gums as it is a

^aRede Nordeste de Biotecnologia (RENORBIO), Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, Av. Prof. Moraes Rego, s/n, Cidade Universitária, 50670-420, Recife, PE, Brazil

^bEixo de Produção Alimentícia, Instituto Federal de Educação do Ceará – IFCE, Av. Dr. Guarani, 317, Derby Clube, CEP: 62.042-030, Sobral, CE, Brazil

^cLaboratório de Bioprocessos, Centro de Tecnologias Estratégicas do Nordeste (CETENE), Av. Prof. Luís Freire, 01, Cidade Universitária, 50740-540 Recife, PE, Brazil

^dDepartamento de Bioquímica, Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, Av. Prof. Moraes Rego, s/n, Cidade Universitária, 50670-420 Recife, PE, Brazil

^eDepartamento de Física, Universidade Federal de Pernambuco, Av. prof. Luís Freire s/n, Recife, CEP 50670-901 PE, Brazil

^fCEB - Centre of Biological Engineering, Universidade do Minho, Campus de Gualtar, 4710-057 Braga, Portugal

^gLaboratório de Imunopatologia Keizo Asami (LIKA), Universidade Federal de Pernambuco, Av. prof. Luiz Freire s/n, Recife, CEP 50670-901 PE, Brazil
E-mail: mgcc@ufpe.br, mgcc1954@gmail.com; Fax: +55 81 2126 8576;
Tel: +55 81 2126 8540

water-soluble or water-dispersible hydrocolloid, possessing suspending, dispersion, gelation and stabilizing properties. Thus, it has potential for biotechnological application, especially regarding the use of its suspensions as coatings and gels that are useful for pharmaceutical and food industries.³ Due to the ability to increase the viscosity of food, this galactomannan may have several applications in the food industry, as a replacement for fat or acting as a stabilizer, thickener and emulsifier.

Sponge cake is a type of a sweet bakery product characterized by its aerated and soft crumb structure; this structure determines its commercial functionality due to its liquid retention ability.⁵ The quality of the cake depends mainly on the ingredients used in the formulation, such as wheat flour, eggs, sugar, fat and aerating agents, as well as the mixing/baking conditions and the cooking/heating protocols.⁶

The additives used in the total or partial replacement of fat in cakes have been extensively evaluated, including guar gum and xanthan,⁷ concentrated β -glucan,⁸ hydrocolloids [hydroxypropylmethylcellulose (HPMC) and xanthan], as well as emulsifiers [glycerol monostearate (GMS) and stearyl-2-lactil sodium lactate (SSL)],⁹ inulin,^{10,11} maltodextrin, inulin, oligofructose, citrus pectin and microparticulated protein,¹² wholemeal flour of chia,¹³ and maltogenic α -amylase.¹⁴

The objective of this study was to investigate the methods for replacing the fat conventionally used in the formulation of sponge cake with the galactomannan extracted from the seeds of *C. grandis* and evaluate its effect on the physical and sensory properties of the produced cakes. The methodology that follows aims at correlating the mechanical properties of the batter as well as the final cake with the sensory characteristics demanded by consumers.

Materials and methods

Materials

Wheat flour (9.8% protein; Finna, Ceara, Brazil), granulated sugar of sugarcane (Estrela, Pernambuco, Brazil), whole milk powder (Itambé, Minas Gerais, Brazil), fat (vegetable margarine – 60% lipid; Puro Sabor, Ceara, Brazil), fresh whole eggs, baking powder (sodium bicarbonate, monocalcium phosphate,

calcium carbonate and chemically modified corn starch; Bigmix, Ceara, Brazil), salt (Mar e sol, Rio Grande do Norte, Brazil) and mineral water (Niêta, Ceara, Brazil) were purchased from a local market.

The pods of *C. grandis* were collected from the state of Pernambuco in Recife (Brazil) in August 2016. Absolute alcohol (96% in vol.) was obtained from Santa Cruz (Brazil) and acetone p.a. from Dynamics (Brazil).

Galactomannan extraction from the seeds of *C. grandis*

The galactomannan extracted from the seeds of *Cassia grandis* showed an extraction yield of $36 \pm 8\%$ and presented a mixture of 71.0% mannose and 29.0% galactose; no additional sugars were detected in the NMR spectra of this polysaccharide and the mannose/galactose ratio was 2.44:1, identical to that reported by Albuquerque *et al.*³ Briefly, the galactomannan extraction was conducted by performing an enzymatic inactivation of the seeds in distilled water [1:5 (w/v)] at 100 °C, followed by shell removal and endosperm and germ milling in 0.1 NaCl [5% (w/v)] solution at 25 °C. The product obtained was filtered in a printing screen of 90 and 110 thread type. The product was then precipitated with 46% (v/v) ethanol and washed with acetone [1:1 (p/v)]. The precipitated galactomannan was placed in an oven at 100 °C until reaching a constant weight after which it was finally powdered/sprayed and kept in a dry place for later use.

Cake preparation

The cake batters were prepared based on the weight of the flour, varying in vegetable fat margarine weight percentage (100%, 75%, 50%, and 0%) and galactomannan (0%, 0.5% and 1.0%) according to Table 1. These galactomannan concentrations were selected based on previous rheological studies performed by Albuquerque *et al.*³ since for concentrations below 1.5%, the rheological characterization exhibited Newtonian plateaus followed by shear thinning zones, while above this value, the system exhibited a behavior similar to that of a weak gel.

The mass application was prepared in a five-speed planetary blender (Arno BPA, Brazil), with a 3.5-liter volume capacity and

Table 1 Cake formulations

Ingredients ^a (%)	RF	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9
Wheat flour	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Sugar	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Fresh eggs	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Salt	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Powdered milk	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Baking powder	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Water	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55
Fat	43	21.5	21.5	21.5	10.75	10.75	10.75	—	—	—
Galactomannan	—	—	0.5	1.0	—	0.5	1.0	—	0.5	1.0

^a Basis of flour weight. RF – reference formulation (100% fat + 0% galactomannan), F1 (50% fat + 0% galactomannan), F2 (50% fat + 0.5% galactomannan), F3 (50% fat + 1.0% galactomannan), F4 (25% fat + 0% galactomannan), F5 (25% fat + 0.5% galactomannan), F6 (25% fat + 1.0% galactomannan), F7 (0% fat + 0% galactomannan), F8 (0% fat + 0.5% galactomannan) and F9 (0% fat + 1.0% galactomannan).

a globe type beater, by mixing sugar, fat, eggs and galactomannan at a speed corresponding to position 4 for 5 min and then adding the remaining dry and sifted ingredients, while adding water and mixing at speed in position 1 for another 4 min. The specific gravity was determined by mass spectrometry, and bubble microscopy and rheometry were conducted at this point.

A content of 500 g of each batter formulation (RF and F1–F9) was poured in uncapped cake templates and then baked in a preheated oven at 180 °C for 50 min. After cooling, the cakes were packed tightly in polypropylene bags and stored for five days at room temperature (28 ± 2 °C), with the cakes showing no noticeable deterioration to the naked eye. All cake formulations were prepared in three batches in triplicate.

Rheometry

For rheometry studies, each determination was carried out one time for each batch, that is, there were three true samples.

Viscoelastic properties of cake batters. All experiments were conducted on a stress controlled MCR 301 rheometer (Anton Paar, Austria). Unless specifically mentioned, all measurements were done at room temperature (25 °C). A circular parallel-plate sample cell, with 2 mm plate gap and 50 mm diameter, was employed. The task is to compare the mixture utilizing fat, galactomannan, and combinations of both. The goal is to check if galactomannan can work as a substitute for fat regarding its rheological properties.

In the second stage, we investigated the rheological response of the mixtures during the heating process. The idea here is to monitor the batter behavior upon heating. The comparison with the control samples is essential in order to confirm the effectiveness of galactomannan used as a substitute for fat at a temperature interval.

Two mechanical response parameters from the material are measured: the storage or elastic modulus, G' , reports on the amount of solid or elastic behavior present in the sample; and the viscous or dissipative modulus, G'' , reports on the amount of liquid viscous behavior present in the sample. The combination of these two parameters allows one to investigate the visco-elastic contribution of a more complex system. These responses can be followed as a function of experimenter control variables. Our study focuses on monitoring G' and G'' as functions of imposed stress oscillatory frequency variations and temperature variations. In order to make the visualization easier, we separated the elastic, G' , data from the viscous, G'' , data in different panels. The data for RF have been repeated in all panels in order to facilitate comparison.

Frequency sweep. The oscillatory measurements were conducted at the linear non-destructive regime maintaining a maximum strain of $\gamma = 0.1\%$. The oscillating frequency varied from 0.1 to 10 Hz where each data point had been acquired every 5 seconds for 150 s making a total of 30 data points per sweep.

Temperature ramp test (TRT). For the temperature ramp test, the system was kept in the oscillatory mode with strain at $\gamma = 5\%$ and oscillatory frequency fixed at a frequency of 10 Hz. The linear viscoelastic region was verified at room temperature

but not for the entire temperature interval, and the value of $\gamma = 5\%$ was chosen due to detection sensitivity limitations. The temperature ramp covered an interval from 25 to 100 °C, with a 2.4 °C min^{-1} rate corresponding to the 60 points collected.

Specific gravity of the batters

The specific gravity of the cake batters was determined at room temperature (28 ± 2 °C), with the aid of a known standard volume. The batter was transferred to a container and then weighed (Metra-20002N-China). The specific gravity was calculated by dividing the weight by the mass of an equal volume of water. The measurements were carried out in triplicate.

Batter air bubble microscopy

Cake batter microscopy was performed optically aiming at obtaining the distribution of air bubbles. A thin layer of the cake batter was spread on slides and covered with cover slips carefully. The slides were then observed in an optical microscope (OPTON-TIM-2005 B, Brazil) with a magnification of 10 $\times$. The distribution of the air bubbles was evaluated using software (Mias2008 Electronic Eyepiece) by analysing the fraction of the total area of the bubbles (AF) and the number of bubbles per square centimeter (cell density, CD). Five images were obtained per batch in triplicate.

Specific volume of cakes

The specific volume of the cake was calculated by the ratio between the volume and mass of each formulation of cake after 4 h of cooling to room temperature (28 ± 2 °C), through the methodology used for sesame seeds.¹⁵ The tests were performed in triplicate and the results were expressed in $\text{mL g}^{-1} \pm$ standard deviation (SD).

Texture profile analysis (TPA)

Texture profile analysis (TPA) was performed after 1, 3 and 5 days of storage, by the 74-09.01 AACC method,¹⁵ using a TA-XT Plus Texture Analyzer (Stable Micro Systems, Haslemere, UK). After the removal of the cake crust, samples of $40 \times 40 \times 20$ mm size were prepared. A cylindrical probe of 36 mm diameter was used in the dual compression test with a compression depth of 50% of its original height, at a rate of 1 mm s^{-1} with a 5 s delay between the two cycles, using a load cell of 2 kg and a trigger force of 5 g. The parameters firmness (maximum strength during the first cycle of compression, in N), springiness (recovery after a delay between compressions), cohesiveness (ratio between the area of positive force during the first and second compression) and chewiness (springiness $\times$ cohesiveness $\times$ firmness) were obtained from the TPA curves provided by the software from Stable Micro Systems. Twenty-four crumb pieces were used, eight per cake batch, and the results were expressed as mean $\pm$ SD.

Microstructure of the cake

The microstructure evaluation of the different cake formulations was carried out with a scanning electron microscope (SEM) EVO/LS15 (Zeiss, USA) at a 15 kV acceleration voltage

under vacuum conditions. Cake samples (size 20 × 20 mm) were previously degreased with hexane, lyophilized (L101, Liotop, Brazil), placed on stubs with carbon double-sided tape (8 mm × 20 mm) and subjected to gold coating using a Q150 T ES Coater (Quorum Technologies, UK). Analysis by the SEM technique requires electrically conductive samples; degreasing the samples is important since fat acts as a thermal insulator as well as an electrical conductivity inhibitor.

Color measurement

The color of the center core of the cake was determined according to the International Commission on Illumination (CIE) $L^*a^*b^*$ color system, using a digital colorimeter Colorium 2 (Color Delta, Brazil) previously calibrated with a measuring area of 13 mm diameter and optical geometry 45°/0°. Plastic cling wrap was used as a reference. The readings were recorded in at least six repetitions for each formulation (triplicate) in random positions. The results were calculated by the equipment into the Hunter Lab color scale. In this scale, L^* ranges from 0 (black) to 100 (white); a^* indicates the degree of greenness (for negative a values) and the degree of redness (for positive a results). Axis b^* also ranges from negative to positive values indicating, respectively, the degree of blueness to yellowness. The total color difference (ΔE^*) was calculated using eqn (1).¹⁶

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (1)$$

where ΔL^* , Δa^* and Δb^* are the difference between the two samples in L^* , a^* and b^* , respectively.

The interpretation of this result was based on the total color difference detectable by the human eye. According to Bodart *et al.*,¹⁷ the human eye only distinguishes a color difference if $1 < \Delta E^* < 3$. However, for some colors, mainly blues, ΔE^* values of 1 can be detected, but for other colors, such as red, the same ΔE^* may not be perceptible.

Sensory analyses

The acceptance test was carried out in individual booths, with 120 tasters, of both genders, with ages ranging from 18 to 60 years, recruited from among the students and staff of the Federal Institute of Education, Science and Technology of Ceara – IFCE, Brazil. The participants were regular consumers of cakes. The formulations of the cakes were served following a randomized block method. The samples were served at room temperature of approximately 28 °C, using plastic plates, odorless and encoded with triple-digit random numbers. During the test, water was served in order to wash the palate.

The cakes were evaluated with respect to acceptance in relation to the attributes of color, aroma, texture, taste and overall impression, using a hedonic scale structured in nine points, ranging from “enjoyed extremely” (score 9) to “dislike extremely” (score 1).¹⁸

Statistical analyses

The results were expressed as mean ± standard deviation, subjected to analysis of variance (ANOVA) and Tukey's multiple

comparison test. The statistical significance was established at $p < 0.05$ (Assistat Software Version 7.7, 2013, USA).

Results and discussion

Effect of fat replacement with galactomannan in cake batters

Rheology, specific gravity and air bubble microscopy report on parameters such as viscoelasticity, volume, texture, appearance, and other sensory properties that have a direct impact on the quality and costumers' acceptance of the cake.

Rheology. In order to investigate the viscoelastic mechanical changes caused by substituting fat with galactomannan in cake formulations, two cake batters were used as the control samples: the first one containing 100% fat (RF) and the second one containing only the basic cake ingredient formulation with no fat or galactomannan (F7) (see Table 1).

The oscillatory tests show both G' and G'' as a function of oscillatory stress frequency. The two reference formulations are depicted in Fig. 1. One can note that fat renders a more elastic, gel-like behavior with $G' > G''$ and a mild dependence of these moduli with frequency, for the batter RF. A crossing of these moduli is expected for higher frequencies.¹⁹ Sample F7 has both G' and G'' lower than that of RF, and behaves more like a liquid with some mild elastic contribution, the crossing for a more viscous behavior occurring at a lower frequency within the interval probed.

Fig. 2 shows G' and G'' as a function of oscillatory stress frequency for different concentrations of galactomannan, where, for each panel, the plots show the data for formulations with specific fat concentrations. Fig. 2(A) shows G' as a function of oscillatory frequency for a sample containing no galactomannan. The formulation depicted in Fig. 2(A) containing 50% fat in its composition does not show much difference

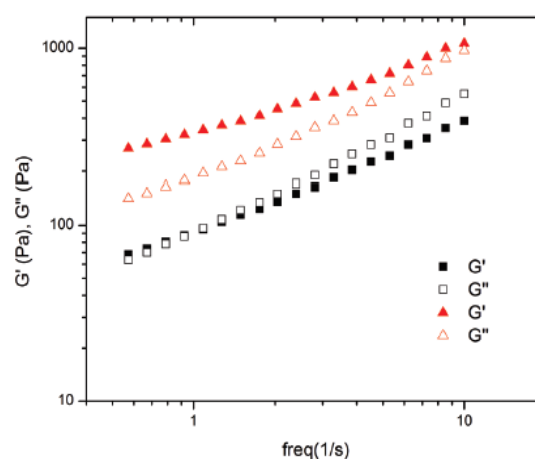


Fig. 1 Linear strain regime rheology experiment where G' (elastic modulus) and G'' (viscous modulus) are recorded as a function of a small strain oscillatory frequency: triangles show the results for RF; squares show the results for F7.

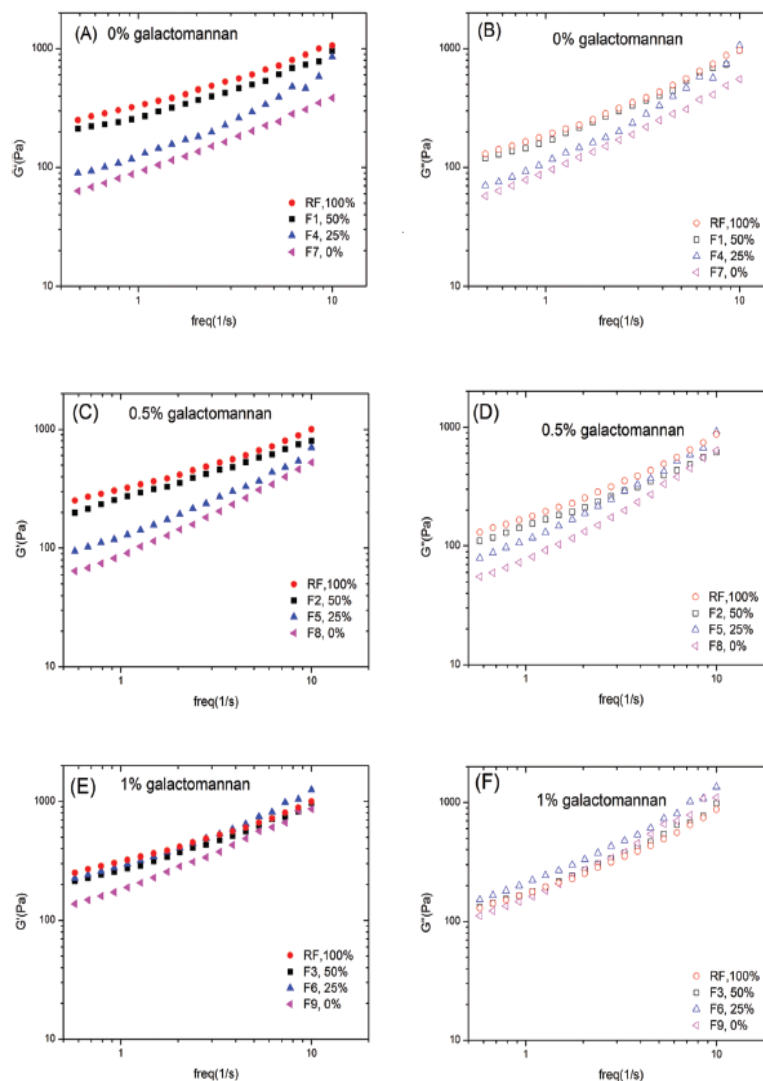


Fig. 2 Linear strain regime rheology experiment where G' (elastic modulus) and G'' (viscous modulus) are recorded as a function of a small strain oscillatory frequency: filled symbols represent G' and open symbols represent G'' . On each panel, one has a specific galactomannan concentration recorded as a function of fat percentage (see Table 1). The data for RF are reproduced in all panels for comparison.

in behavior when compared to the RF sample. However, for a reduction of fat content below 50% there is a remarkable change in the elastic modulus of the cake batter. As galactomannan enters the formulation (see Fig. 2(C) and (E)) there is a complete recovery of the elastic modulus G' for the sample containing 1% galactomannan in its formulation (see Fig. 2 (E)), reproducing the RF sample elastic behavior. It is important to note that, as the amount of galactomannan in the formulation increases, the influence of fat on the elastic modulus becomes negligible. Nevertheless, the sample containing 0% fat and 1% galactomannan (F9) is not capable of mimicking the elastic behavior of the RF sample at low frequencies. However, as the oscillatory frequency increases above 5 Hz, the G' for formulations containing 1% galacto-

mannan collapses into the RF sample G' independent of their fat concentration.

Upon examining now the viscous modulus, G'' , one notices a similar trend. We emphasize the similarity of the G'' behavior for samples containing 50% fat, with or without different levels of galactomannan addition, compared to the RF sample. For samples containing less than 50% fat, mimicking the RF sample behavior is only possible with galactomannan substitution. For 0.5% of galactomannan concentration, the recovery is partial due to discrepancies at low frequencies (see Fig. 2 (D)) in comparison with the RF sample (the curves diverge by more than two symbol distances). Again, for 1% galactomannan formulation, the viscous modulus is reasonably comparable to RF for the entire frequency interval.

Therefore, from the rheometry perspective, samples containing 0% fat exhibit a remarkable difference – two-fold variation in both G' and G'' moduli (see Fig. 2(C) and (D)) – in comparison with the RF sample. Nevertheless, a mild concentration of fat, 25% in our study, recovers the RF behavior to some acceptable levels (differences at the scale of the figure symbol size, as seen in Fig. 2(E)).

Fig. 3 shows the behavior of G' and G'' for a fixed oscillatory stress frequency as a function of temperature. These temperature ramping test experiments including several cake batters reveal typically three stages: (i) a first stage, up to 45 °C, where G' and G'' increase; (ii) a second stage from 45 °C to 80 °C where both moduli decrease; and (iii) a third stage above 80 °C where both moduli increase dramatically for all sample formu-

lations investigated. The steepness of each increase or decrease in moduli depends on the specific content of each sample.

Fig. 3(A) and (B) show the results for the samples containing no galactomannan. At the initial stage, up to 45 °C, there is an increase in G' and G'' for all samples. Nevertheless, to an initial interval, up to 30 °C, G' and G'' do not vary much as a function of temperature. However, these moduli vary substantially (4-fold variation) as a function of fat concentration. In Fig. 3(C) and (D), and also Fig. 3(E) and (F), the amount of galactomannan controls both G' and G'' values. The curves for different amounts of fat in each of these panels get closer and some overlap occurs as one increases the amount of galactomannan. Furthermore, as the temperature is increased for a given sample the concomitant increase in G' and G'' is higher

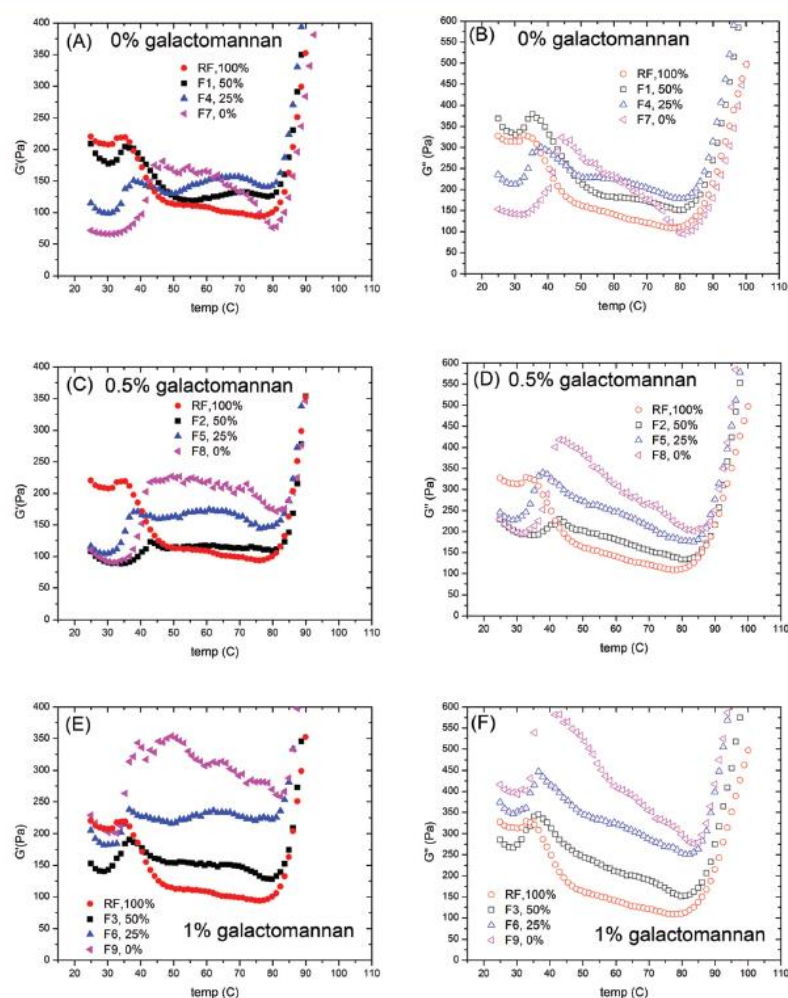


Fig. 3 Rheology experiment where G' (elastic modulus) and G'' (viscous modulus) are recorded as a function of temperature for a fixed strain oscillatory frequency: filled symbols represent G' and open symbols represent G'' . On each panel, one has a specific galactomannan concentration recorded for different fat concentrations (see Table 1). The data representing RF are reproduced in all panels for comparison.

when the amount of fat is lower. At this stage there is also a shift to higher temperatures for the point where G' starts decreasing. The temperature for the initial decay of G' is higher when the fat concentration is lower.

For the interval from 45 °C to 80 °C, the G' and G'' moduli decrease with different levels of steepness depending on the amount of fat. As one includes galactomannan into the formulation, there is a noticeable increase in the G' and G'' dependence on fat concentration when compared to the samples without galactomannan for the same temperature interval. This dependence is two-fold: (i) the G' dependence on temperature is reduced as one increases the amount of galactomannan; and (ii) the G' dependence on fat concentration increases as the amount of galactomannan is increased.

For the temperature dependence on galactomannan concentration, Fig. 3(E), for instance, shows an almost constant G' profile for sample F6. The temperature dependence reduction as a function of galactomannan concentration is not as noticeable for G'' . Nevertheless, the G'' dependence on fat concentration increases as a function of galactomannan content (see Fig. 3(D) and (F)).

The splitting in G' values and G'' values, as a function of fat concentration, for 1% galactomannan (Fig. 3(E)) is more pronounced than those for the samples with no galactomannan (Fig. 3(A)). This splitting actually improves upon increasing the galactomannan concentration as can be seen in Fig. 3(E) and (F) when compared to the lower galactomannan concentration samples depicted in Fig. 3(C) and (D). In fact, the splitting is higher for the lowest concentrations of fat, at 25%. When the fat concentration reduces to a value of 25%, the synergy fat/galactomannan becomes apparent with a steep increase in both G' and G'' around 40 °C. For the 40 to 80 °C interval, G' remains almost constant (see Fig. 3(E)), but G'' decreases substantially (see Fig. 3(F)). This decrease is a function of the amount of fat in the sample. The more fat, the lower the dependence on temperature during this interval.

The initial decrease in both moduli (set temperature above 35 °C) is probably caused by the melting of the fat resulting in a reduction of the liquid phase viscosity. Therefore, the higher the fat concentration, the steepest the moduli decay.

When considering temperatures above 80 °C, the abrupt increase in both G' and G'' is associated with the increase in consistency caused by protein denaturation and coagulation, and the starch gelatinization processes. We note that the results published elsewhere show the moduli levelling off for temperatures above 130 °C.²⁰ However, one can also notice a shift to higher temperatures for the point where the gelatinization process starts to occur, as a function of galactomannan concentration. This shift has also been observed in dynamic scattering calorimetry (DSC) studies conducted in different fat replacers by Psimouli and Oreopoulou (2013).¹² In addition to that, the initial steepness of the curves seen in our temperature ramping tests, at around 80 °C, is more pronounced as the concentration of galactomannan increases.

Cake batters: specific gravity and air bubbles. The specific gravity of the cake batters as a function of the total or partial

Table 2 Effect of the total or partial substitution of fat with galactomannan on specific gravity and on the distribution of air bubbles in cake batters

Formulations	Specific gravity (g mL ⁻¹)	CD	AF (%)
RF	0.92 ± 0.01 ^e	870.2 ± 16.91 ^a	37.9 ± 3.01 ^b
F1	1.01 ± 0.00 ^d	449.1 ± 18.56 ^b	26.3 ± 1.59 ^c
F2	1.03 ± 0.00 ^{cd}	439.8 ± 19.95 ^b	24.9 ± 0.77 ^c
F3	1.02 ± 0.04 ^{cd}	428.7 ± 2.66 ^b	25.3 ± 3.94 ^c
F4	1.04 ± 0.01 ^{bcd}	330.9 ± 14.18 ^c	24.4 ± 1.26 ^c
F5	1.09 ± 0.06 ^{abc}	321.1 ± 15.18 ^c	23.1 ± 0.74 ^{cd}
F6	1.10 ± 0.04 ^{ab}	317.1 ± 0.39 ^c	22.1 ± 1.22 ^{cd}
F7	1.13 ± 0.02 ^a	37.1 ± 15.79 ^e	17.9 ± 0.67 ^d
F8	0.92 ± 0.00 ^e	115.4 ± 9.49 ^d	38.2 ± 1.29 ^b
F9	0.91 ± 0.05 ^e	153.2 ± 21.14 ^d	50.0 ± 2.81 ^a

RF – reference formulation (100% fat + 0% galactomannan), F1 (50% fat + 0% galactomannan), F2 (50% fat + 0.5% galactomannan), F3 (50% fat + 1.0% galactomannan), F4 (25% fat + 0% galactomannan), F5 (25% fat + 0.5% galactomannan), F6 (25% fat + 1.0% galactomannan), F7 (0% fat + 0% galactomannan), F8 (0% fat + 0.5% galactomannan) and F9 (0% fat + 1.0% galactomannan). Different superscript letters indicate statistical difference according to the Tukey test ($p < 0.05$). CD = number of bubbles per square centimeter (cell density, cells per cm²); AF = percentage of the area of all bubbles/total area of the image.

substitution of fat with galactomannan is presented in Table 2. It is possible to observe an increase ($p < 0.05$) in the batter specific gravity for formulations with 50% fat reduction (F1–F3) and 75% fat reduction (F4–F6) with or without the presence of galactomannan, as well as in F7 (no fat and no galactomannan), which presented the highest specific gravity (1.13 g mL⁻¹), when compared with RF. It is observed that there was no significant difference ($p > 0.05$) when replacing the fat by 100% with galactomannan (F8 and F9), in relation to RF (0.92 g mL⁻¹). This can be attributed to the emulsifying action of the galactomannan, corroborating the results presented by Rodríguez-García *et al.* (2014), who introduced commercial emulsifiers in cake batters by fat replacement with inulin and observed a significant reduction in the specific gravity of the batter.²¹ Psimouli and Oreopoulou (2013),¹² in turn, used fat substitutes (maltodextrin, inulin, oligofructose, citrus pectin and microparticulated protein) in levels of 35 to 100%, and noted that for replacement above 65%, the specific gravity was significantly higher ($p < 0.05$) than that for a reference batter, indicating less air volume for the fat substitutes except for pectin.¹² The low specific gravity is desired in the cake batter, since it indicates that more air is incorporated into it.²²

The incorporation of air depends on the processes of aeration, as well as on physicochemical properties such as viscosity and surface tension, which are determined by the ingredients. A batter with low viscosity will fail to entrap sufficient air during mixing. This will contribute to reduced gas bubble liberation during baking causing a decrease in the volume expansion of the cake.²³ Fat increases the viscosity of the batter as well as acts as a bubble stabilizer by forming a film in the air-matrix interface.¹² The reduction in fat with or without the

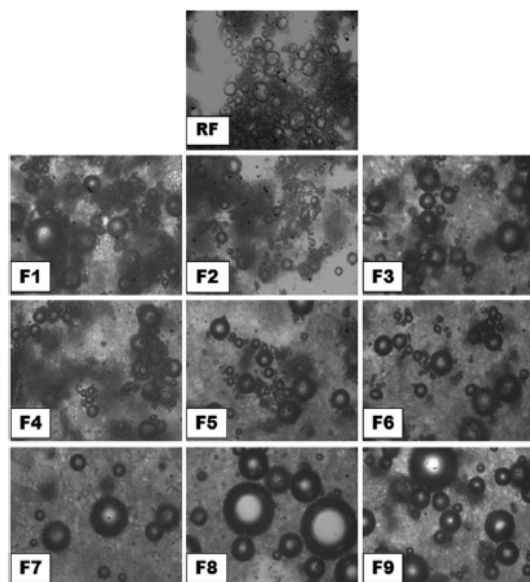


Fig. 4 Representative micrographs of the batters of the cakes (magnification 10 $\times$). RF – reference formulation (100% fat + 0% galactomannan), F1 (50% fat + 0% galactomannan), F2 (50% fat + 0.5% galactomannan), F3 (50% fat + 1.0% galactomannan), F4 (25% fat + 0% galactomannan), F5 (25% fat + 0.5% galactomannan), F6 (25% fat + 1.0% galactomannan), F7 (0% fat + 0% galactomannan), F8 (0% fat + 0.5% galactomannan) and F9 (0% fat + 1.0% galactomannan). CD = number of bubbles per square centimeter (cell density, cells per cm²); AF = percentage of the area of all bubbles/total area of the image.

presence of galactomannan altered the microstructure of the batters (Fig. 4), leading to a reduction of CD values when compared to RF (Table 2). The F7 sample, free of fat and galactomannan, showed a 95.7% CD reduction and a 52.8% reduction in the (AF) parameter when compared to the values of RF. However, it is possible to observe through the images (Fig. 4) and Table 2 that when galactomannan was added to fat-free formulations (F8 and F9), there was a significant increase ($p > 0.05$) of 211 and 312.93%, respectively, in CD values when compared to F7. These results demonstrate a correlation between the distribution in the number of bubbles per cm² and the concentration of galactomannan. There is a partial recovery of CD when galactomannan is added to the cake batter. This partial recovery agrees with the rheological results. From the rheology analyses, concentrations of 0.5 and 1.0% of galactomannan (F8 and F9) were sufficient to reproduce the RF sample behavior for oscillatory frequencies above 5 Hz (see Fig. 2(C and E)). On the other hand, the F7 sample (see Fig. 1) rheology is at variance with that of the RF sample. This poor performance is also corroborated by the lowest CD obtained for this sample.

Regarding AF values, all formulations with partial or total fat reduction with or without galactomannan, except F8, were statistically different ($p < 0.05$) when compared to RF. We also observed that F7 presented the lowest value of AF (17.9), repre-

sented a reduction of about 53% compared to the reference formulation (37.9); however when 0.5% of galactomannan was added (F8), this formulation presented a value of 38.2, very similar to the one of the reference formulation. For a 1% galactomannan (F9) incorporation there was an increase of 32% in AF in relation to RF, suggesting that the volume of gas increased due to the presence of galactomannan. This increase was also confirmed by the results of F8 and F9 for specific gravity (Table 2) and specific volume (Table 3). Similar results were reported by Rodríguez-García *et al.*,¹¹ whose replacement of 100% fat with inulin led to an increased distribution of large air bubbles in the batter of cakes.

Effect of the substitution of fat with galactomannan on the physico-chemical properties of cakes

Specific volume. The results of the specific volume of the different formulations (Table 3) were similar to the reference ($p > 0.05$) except for F8, which presented the highest value (2.69 mL g⁻¹) corresponding to an increase of 13.02% in relation to RF. The emulsifying action of the galactomannan was able to reproduce the effect of fat regarding volume expansion. In fact, emulsifiers increase the air volume that can be embedded in the mass by decreasing the surface tension of the aqueous phase.²⁴ This result corroborates the results of specific gravity and micrograph of air bubbles in that F8 presented a good aeration behavior. Zhou *et al.*²⁵ evaluated different types of fats and emulsifiers in cakes and concluded that the formulation that had the highest content of emulsifiers also exhibited the largest volume; however, the formulations were very fragile and difficult to handle. They also reported that the final volume of the cakes did not depend on the amount of air incorporated into the batter, but actually on the amount that could be maintained during the cooking stage. Sowmya *et al.*,⁹ determining the effect of hydrogenated fat replacement in cakes with sesame oil, hydrocolloids and

Table 3 Effect of the substitution of fat per galactomannan in specific volume

Formulation	Specific volume (mL g ⁻¹)
RF	2.38 $\pm$ 0.22 ^{bc}
F1	2.38 $\pm$ 0.11 ^{bc}
F2	2.25 $\pm$ 0.18 ^c
F3	2.29 $\pm$ 0.14 ^{bc}
F4	2.42 $\pm$ 0.18 ^{abc}
F5	2.23 $\pm$ 0.07 ^c
F6	2.33 $\pm$ 0.09 ^{bc}
F7	2.29 $\pm$ 0.14 ^{bc}
F8	2.69 $\pm$ 0.09 ^a
F9	2.55 $\pm$ 0.14 ^{ab}

RF – reference formulation (100% fat + 0% galactomannan), F1 (50% fat + 0% galactomannan), F2 (50% fat + 0.5% galactomannan), F3 (50% fat + 1.0% galactomannan), F4 (25% fat + 0% galactomannan), F5 (25% fat + 0.5% galactomannan), F6 (25% fat + 1.0% galactomannan), F7 (0% fat + 0% galactomannan), F8 (0% fat + 0.5% galactomannan) and F9 (0% fat + 1.0% galactomannan). Different superscript letters indicate statistical difference according to the Tukey test ($p < 0.05$).

commercial emulsifiers, observed that the dispersion of plastic fat globules in the batter and the ability to incorporate air were directly related to the volume of the produced cakes. The oil used did not have the ability to embed air; however, when 50% of fat was replaced with a combination of sesame oil, HPMC (0.5%) and commercial emulsifiers (0.5%), they obtained higher volumes when compared to the reference formulation.

Texture profile analysis (TPA). The textural characteristics of the different formulations were investigated through texture profile analysis in terms of firmness, springiness, cohesiveness and chewiness, during a five day storage period (Table 4). Firmness is commonly used to evaluate the softness and lightness of the cake, being related to the force required to compress it. The firmness of the F8 and F9 samples did not differ statistically from the result of RF ($p > 0.05$) during the entire interval; F9 remained stable from the 3rd to 5th day, extending by two days the softness of the product. Thus, replacing 100% of fat with 0.5 or 1.0% galactomannan contributed to the softness of the cake requiring less force to compress it. A similar result was observed by Psimouli and Oreopoulou (2013),¹² where 100% of fat was replaced with pectin, resulting in a firmness similar to a reference sample. According to the same authors, the reduction in firmness is associated with fat coating the protein and starch granules thus preventing hydration and formation of a continuous gluten–starch

network. The reduction in fat content and increase in firmness would therefore be justified in formulations containing fat and galactomannan. However, the formulations F8 and F9 maintained the same firmness as the RF sample. The different behavior observed for formulations F8 and F9 in relation to the formulations containing fat and galactomannan (F1–F6) is due to the galactomannan capacity to imprison large amounts of water. However, when associated with fat there is a reduction of the water activity due to the absorption of fat molecules.

Springiness is a measure of the recovering ability after compression. Most products normally lose their springiness over time. In this study, the probe compressed the samples smoothly without breaking. All cake formulations, except F4, exhibited similar springiness ($p > 0.05$) on the first day of storage. Over time, from the 1st to the 5th day, only F9 maintained the same springiness ($p > 0.05$), while the other formulations showed a reduction of this parameter.

Regarding the cohesiveness results, there was an irregular variation for batter with or without the addition of galactomannan on the first day of storage. Nevertheless, an increase in the values was observed on the 3rd day for the formulations containing galactomannan and no fat (F8 and F9). These results indicate that the high cohesiveness of these formulations has increased the energy required for the 2nd compression, corroborating the results from Rodríguez-García

Table 4 Texture profile analysis (TPA) of different formulations of the cake during storage

	Firmness (N)			Springiness		
	1 st day	3 rd day	5 th day	1 st day	3 rd day	5 th day
RF	7.14 ± 0.03 ^{deC}	11.18 ± 1.65 ^{deB}	12.50 ± 1.95 ^{deA}	0.85 ± 0.03 ^{ba}	0.81 ± 0.02 ^{bb}	0.79 ± 0.02 ^{dc}
F1	8.90 ± 2.21 ^{ceB}	14.84 ± 1.64 ^{ceA}	14.76 ± 2.49 ^{deA}	0.86 ± 0.03 ^{ba}	0.83 ± 0.02 ^{abB}	0.80 ± 0.07 ^{cdC}
F2	10.21 ± 1.26 ^{bcC}	15.95 ± 1.79 ^{ceB}	18.17 ± 1.69 ^{ceA}	0.86 ± 0.02 ^{abA}	0.83 ± 0.02 ^{abB}	0.81 ± 0.01 ^{cdC}
F3	8.69 ± 0.91 ^{cdC}	12.73 ± 1.11 ^{db}	15.00 ± 1.70 ^{deA}	0.86 ± 0.01 ^{abA}	0.83 ± 0.02 ^{abB}	0.82 ± 0.02 ^{bcB}
F4	9.85 ± 0.84 ^{bcC}	15.63 ± 1.81 ^{ceB}	18.32 ± 2.41 ^{ceA}	0.89 ± 0.01 ^{aa}	0.85 ± 0.02 ^{ab}	0.83 ± 0.01 ^{abcB}
F5	10.69 ± 1.24 ^{bcC}	15.12 ± 1.22 ^{ceB}	18.53 ± 1.62 ^{ceA}	0.87 ± 0.01 ^{abA}	0.84 ± 0.01 ^{abB}	0.82 ± 0.01 ^{bcB}
F6	10.67 ± 1.67 ^{bcC}	17.97 ± 2.17 ^{bb}	22.06 ± 2.23 ^{ba}	0.88 ± 0.01 ^{abA}	0.85 ± 0.01 ^{ab}	0.82 ± 0.02 ^{bcC}
F7	13.84 ± 1.09 ^{acC}	23.60 ± 1.81 ^{ab}	31.47 ± 2.54 ^{aa}	0.87 ± 0.01 ^{abA}	0.84 ± 0.07 ^{abB}	0.84 ± 0.06 ^{abB}
F8	6.48 ± 0.88 ^{ecC}	10.81 ± 1.11 ^{eb}	12.50 ± 0.92 ^{ea}	0.86 ± 0.02 ^{abA}	0.85 ± 0.02 ^{abB}	0.83 ± 0.02 ^{abB}
F9	6.43 ± 0.99 ^{eb}	10.94 ± 1.33 ^{ea}	11.13 ± 2.72 ^{ea}	0.86 ± 0.01 ^{abA}	0.85 ± 0.02 ^{aa}	0.85 ± 0.02 ^{aa}
	Cohesiveness			Chewiness (N)		
	1 st day	3 rd day	5 th day	1 st day	3 rd day	5 th day
RF	0.69 ± 0.03 ^{deA}	0.58 ± 0.01 ^{efB}	0.55 ± 0.04 ^{cdB}	4.21 ± 1.21 ^{fb}	5.37 ± 0.84 ^{fa}	5.44 ± 0.73 ^{fa}
F1	0.67 ± 0.03 ^{deA}	0.57 ± 0.04 ^{fb}	0.54 ± 0.06 ^{db}	5.25 ± 1.56 ^{defB}	7.07 ± 0.97 ^{deA}	6.45 ± 1.67 ^{efA}
F2	0.74 ± 0.07 ^{bcA}	0.59 ± 0.02 ^{defB}	0.55 ± 0.03 ^{cdC}	6.58 ± 1.00 ^{bcB}	7.91 ± 0.90 ^{cdA}	8.18 ± 0.84 ^{da}
F3	0.72 ± 0.09 ^{cdA}	0.59 ± 0.03 ^{efB}	0.55 ± 0.04 ^{cdC}	5.49 ± 1.12 ^{cdeB}	6.26 ± 0.78 ^{efAB}	6.81 ± 1.09 ^{ea}
F4	0.72 ± 0.04 ^{cdA}	0.65 ± 0.05 ^{abcB}	0.61 ± 0.07 ^{bcC}	6.35 ± 1.41 ^{bcdB}	8.63 ± 1.04 ^{bcA}	9.31 ± 1.68 ^{ea}
F5	0.75 ± 0.08 ^{abcA}	0.62 ± 0.03 ^{bcdeB}	0.59 ± 0.04 ^{bcC}	7.07 ± 0.95 ^{bcC}	8.04 ± 0.93 ^{cdB}	9.04 ± 1.18 ^{cdA}
F6	0.76 ± 0.07 ^{abcA}	0.62 ± 0.02 ^{cdeB}	0.57 ± 0.04 ^{bcdC}	7.18 ± 1.31 ^{bC}	9.51 ± 1.20 ^{bb}	10.43 ± 0.21 ^{ba}
F7	0.72 ± 0.05 ^{cdA}	0.64 ± 0.07 ^{abcdB}	0.59 ± 0.08 ^{bcC}	8.80 ± 0.94 ^{ac}	12.78 ± 2.34 ^{ab}	15.70 ± 2.19 ^{aa}
F8	0.79 ± 0.05 ^{aa}	0.68 ± 0.02 ^{ab}	0.64 ± 0.03 ^{ac}	4.53 ± 0.94 ^{efB}	6.29 ± 0.67 ^{efA}	6.74 ± 0.63 ^{ea}
F9	0.78 ± 0.05 ^{aba}	0.67 ± 0.01 ^{abB}	0.64 ± 0.04 ^{ab}	4.35 ± 0.47 ^{fb}	6.30 ± 0.75 ^{efA}	6.17 ± 1.48 ^{efA}

RF – reference formulation (100% fat + 0% galactomannan), F1 (50% fat + 0% galactomannan), F2 (50% fat + 0.5% galactomannan), F3 (50% fat + 1.0% galactomannan), F4 (25% fat + 0% galactomannan), F5 (25% fat + 0.5% galactomannan), F6 (25% fat + 1.0% galactomannan), F7 (0% fat + 0% galactomannan), F8 (0% fat + 0.5% galactomannan) and F9 (0% fat + 1.0% galactomannan). Means followed by the same uppercase and lowercase letters in column lines do not differ statistically between themselves according to the Tukey test ($p < 0.05$).

et al.,¹¹ where higher levels of fat replacement with inulin were used in cakes.

The results for chewiness are connected to the number of chews necessary for food swallowing. The chewiness behavior was dominated by the firmness of the samples and followed that same trend. In general, there was a reduction over the storage period with the formulations F1, F8 and F9 exhibiting similar behavior when compared to the RF sample ($p > 0.05$).

Analysis of the microstructure of cakes. Fig. 5 shows the micrographs of the surface structure of the cake core for different formulations. The micrograph of RF indicates that starch granules were jellified and involved a continuous hydrated matrix formed by the protein gluten network and other ingredients in the formulation such as fat. A similar trend, but with less uniformity, could be observed in F1, suggesting that the fat incorporated developed a smooth and continuous structure acting as a lubricant layer at the surface.

Upon reducing the fat content, for example in formulations F4 and F7 (with 75% and 100% substitution, respectively), the structure of the surface becomes irregular and depicts a separ-

ation between starch granules and the matrix surface. As reported by Rodríguez-García *et al.*,¹¹ this fact may be due to the lack of fat that acts as a lubricant, connecting and involving all the ingredients continuously. This lubricant layer confers elastic features that are also picked during the rheometry tests done in the batters.

From the formulations with 75% fat replacement and the incorporation of galactomannan in the cake (F5 and F6), one can observe that the starch granules showed smoother structures, *i.e.*, a lower degree of separation from the matrix surface when compared to the formulations with the same percentages of fat and the absence of galactomannan. In this case, the partial replacement of fat with galactomannan granted a thickening/elastic action similar to that expressed by formulation F6 on rheology tests (Fig. 2(C)) and sensory acceptance (Fig. 6). Kumari *et al.*¹ also observed that starch granules appeared to be involved with hydrocolloids when they studied the microstructures of cakes with hydrogenated vegetable fat replacement with vegetable oils, emulsifiers, guar gum and carboxymethyl cellulose.

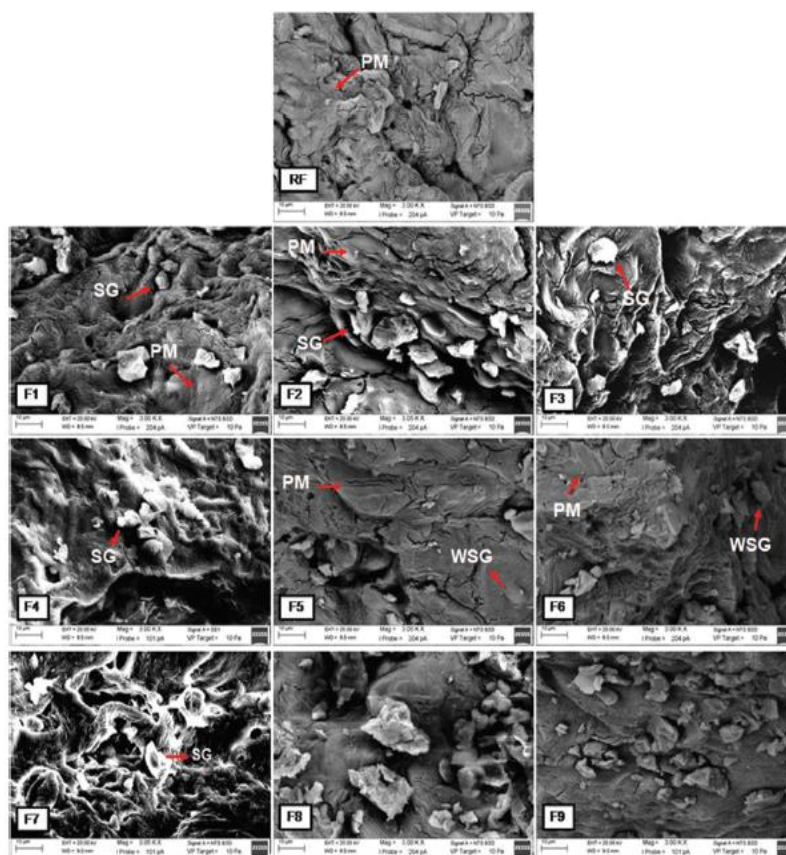


Fig. 5 Scanning electron microscopy images of the batters of the cakes. RF – reference formulation (100% fat + 0% galactomannan), F1 (50% fat + 0% galactomannan), F2 (50% fat + 0.5% galactomannan), F3 (50% fat + 1.0% galactomannan), F4 (25% fat + 0% galactomannan), F5 (25% fat + 0.5% galactomannan), F6 (25% fat + 1.0% galactomannan), F7 (0% fat + 0% galactomannan), F8 (0% fat + 0.5% galactomannan) and F9 (0% fat + 1.0% galactomannan). PM – protein matrix; SG – starch granule; WSG – wrapped starch granule.

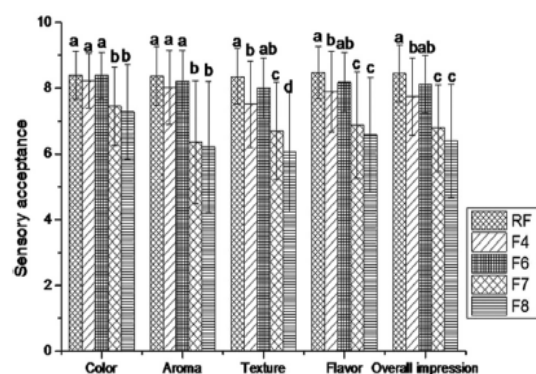


Fig. 6 Sensory evaluation of the cakes. RF – reference formulation (100% fat + 0% galactomannan), F4 (25% fat + 0% galactomannan), F6 (25% fat + 1.0% galactomannan), F7 (0% fat + 0% galactomannan) and F8 (0% fat + 0.5% galactomannan). Different letters indicate significant difference according to the Tukey test ($p < 0.05$).

Color. The effects of the substitution of fat with galactomannan on the color of the cakes are presented in Table 5. Color is a fundamental parameter of the quality of food, being the first sensory attribute observed by the consumer. The formulations with 100% replacement of fat per galactomannan (F7–F9) increased significantly ($p < 0.05$) the lightness (L^*) of cakes. The luminosity also increased with fat replacement, in this case with insulin, in the work of Rodríguez-García *et al.*¹¹ Regarding the results for a^* , all formulations (F7–F9) were similar ($p > 0.05$) with a tendency towards green coloration. The natural tendency towards yellowness (related to b^*) could be observed in the formulations containing fat probably due to the presence of β -carotene, which is a natural dye widely used in margarine and other fats for bakery.^{26,27} Similar results were reported by Felisberto *et al.* (2015),²⁸ where the smallest value of b^* was observed for cake formulations with vegetable fat replaced with mucilage chia gel. It can be observed still that there was no variation of this parameter between samples F7–F9, independent of the concentration of galactomannan, demonstrating that this hydrocolloid does not interfere in the

coloring of the cake. All formulations showed $\Delta E^* > 3$, indicating that fat significantly interfered in the color difference between the cakes, being the difference detectable to the human eye.¹⁶

Sensory analyses

The formulations selected for sensorial evaluation were based on the results of the rheology of the batters (F6, 25% fat + 1.0% galactomannan), as well as the specific volume and texture of cakes (F8, 0% fat + 0.5% galactomannan) and compared with RF (100% fat), and also with F7 (0% fat) and F4 (25% fat). The results of the sensory acceptance test for attributes including color, aroma, texture, taste and overall impression of the cakes are presented in Fig. 6.

One can see that the total exclusion of fat in cakes (F7 and F8) interfered significantly in all attributes evaluated ($p < 0.05$) when compared with other formulations. To a certain extent this behavior was expected since, from the effects of the fat content in foods, the flavor is the most complex, directly playing a flavoring role for lipophilic compounds and, indirectly, influencing the texture of the product. The results of F6 were similar to RF in all the parameters evaluated ($p < 0.05$), suggesting that the galactomannan has improved the sensory characteristics of cakes when compared with the same percentage of fat without galactomannan (F4). It was possible to observe that reducing 75% of fat with or without 1.0% galactomannan did not lead to a difference in relation to color and aroma. This behavior can be justified because the galactomannan solution is bright and mildly opaque with a tendency towards yellow, not interfering in the original coloring of the batter or the final cake, as well by its odorless feature.

As can be seen in Fig. 6, all the parameters evaluated for F6 presented scores between 8 (I really liked) and 9 (liked a lot better) similar to RF, demonstrating that 75% replacement of fat with 1.0% galactomannan was effective in terms of improving the texture and flavor characteristics and consequently the overall quality of the cake, even though some of their TPA measurements (Table 4) differ. Similar results, with good sensory acceptance, were also obtained in studies with partial

Table 5 Effect of the substitution of fat per galactomannan on the color of the cake

Formulations	L^*	a^*	b^*	ΔE^*
RF	57.90 ± 1.29 ^b	−1.24 ± 0.04 ^a	23.42 ± 1.09 ^a	0.00 ± 0.00 ^c
F1	60.71 ± 0.51 ^b	−1.26 ± 0.07 ^a	22.51 ± 0.99 ^a	3.15 ± 1.38 ^b
F2	60.81 ± 0.75 ^b	−1.27 ± 0.22 ^a	22.42 ± 1.36 ^a	3.49 ± 1.82 ^b
F3	60.51 ± 0.54 ^b	−1.29 ± 0.07 ^a	22.63 ± 1.14 ^a	3.09 ± 1.62 ^b
F4	60.45 ± 1.72 ^b	−1.34 ± 0.20 ^a	22.07 ± 0.49 ^a	3.77 ± 1.49 ^b
F5	61.29 ± 0.76 ^b	−1.14 ± 0.02 ^a	21.81 ± 0.82 ^a	3.91 ± 2.19 ^b
F6	60.97 ± 1.05 ^b	−1.19 ± 0.03 ^a	21.79 ± 0.15 ^a	3.58 ± 1.44 ^b
F7	67.29 ± 0.95 ^a	−1.21 ± 0.03 ^a	19.41 ± 0.58 ^b	10.30 ± 0.99 ^a
F8	67.41 ± 1.05 ^a	−1.27 ± 0.13 ^a	19.30 ± 0.62 ^b	10.44 ± 1.23 ^a
F9	67.91 ± 1.07 ^a	−1.26 ± 0.05 ^a	19.62 ± 1.21 ^b	10.45 ± 1.47 ^a

Results are averages ± standard deviation. The same lowercase letters in the same column indicate the absence of significant differences ($p > 0.05$). RF – reference formulation (100% fat + 0% galactomannan), F1 (50% fat + 0% galactomannan), F2 (50% fat + 0.5% galactomannan), F3 (50% fat + 1.0% galactomannan), F4 (25% fat + 0% galactomannan), F5 (25% fat + 0.5% galactomannan), F6 (25% fat + 1.0% galactomannan), F7 (0% fat + 0% galactomannan), F8 (0% fat + 0.5% galactomannan) and F9 (0% fat + 1.0% galactomannan).

fat replacement with different compounds: Eslava-Zomeño *et al.*²⁹ evaluated the replacement of fat with the lowest percentage (30%) of a natural fibrous ingredient derived from flax-seed and observed an acceptance in relation to texture, flavor and global acceptance. Fernandes and Salas-Mellado³⁰ worked on the replacement of 75% fat with chia seed mucilage and reported a final assessment of “very sparingly” (between 7 and 8). Rodríguez-García *et al.*¹¹ promoted the replacement of up to 70% fat with inulin and observed that the sensory quality of the cake did not affect the attributes of appearance, texture, taste and global acceptance.

Conclusions

Galactomannans extracted from *C. grandis* work very well as substitutes for vegetable fat in cake formulations. Although the concentration of galactomannan used to substitute fat is considerably low (maximum 1%), a complete replacement of fat with galactomannan led to an increase in size and reduction in the number of air bubbles, also resulting in higher values of specific volume of the produced cakes. Although the instrumental texture appeared similar to the reference formulation, the above-mentioned formulation was not acceptable upon sensory analyses.

A small concentration of fat (25%) combined with galactomannan at 1% rendered the best similarity when compared to the RF results. We were therefore able to reduce 75% of the initial fat amount by utilizing 1% of galactomannan. Given that the amount of bubbles in the starting batters is superior in the RF sample, we consider galactomannan as a promising emulsifier. We believe that for future work, in order to compare the emulsifying action of galactomannan to that of fat, one should start with the same amount of initial bubbles for all testing samples. One could achieve that by varying the mixing time of the batters.

The total removal of fat was not possible. The amount of bubbles was too low and the texture tests were not satisfactory. Nevertheless, by reducing fat quantities there is an improvement in health since fat increases the amount of cholesterol. Furthermore, galactomannans are also fiber, whose sugars are not absorbed by the intestines, providing easy gastro intestinal motility.

Finally, we have demonstrated that a small concentration of galactomannan extracted from the seeds of *C. grandis* can replace up to 75% of the original fat formulation in sponge cake. This promising result may be useful in the bakery industry, as an option to reduce the calorie content in cakes.

Ethical approval

This work was approved by “Comitê de ética em pesquisa envolvendo seres humanos (CEP) – Plataforma Brasil”, Certificate of Presentation for Ethical Consid-CAAE proc. no. 61527416.0.0000.5208, opinion 1884580.

Conflicts of interest

The authors declare that they have no conflict of interest.

Acknowledgements

The authors acknowledge the Centro de Tecnologias Estratégicas do Nordeste (CETENE) for the analytical support and Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) for the financial support. MGCC expresses her gratitude to the CNPq for research grants and fellowships.

References

- 1 R. Kumari, T. Jeyarani, C. Soumya and D. Indrani, Use of vegetable oils, emulsifiers and hydrocolloids on rheological, fatty acid profile and quality characteristics of pound cake, *J. Texture Stud.*, 2011, 42, 377–386.
- 2 Z. Ma and J. I. Boye, Advances in the design and production of reduced-fat and reduced-cholesterol salad dressing and mayonnaise: a review, *Food Bioprocess Technol.*, 2013, 6, 648–670.
- 3 P. B. S. Albuquerque, W. Barros Jr., G. R. Santos, M. T. S. Correia, P. A. Mourão, J. A. Teixeira and M. G. Carneiro-da-Cunha, Characterization and rheological study of the galactomannan extracted from seeds of *Cassia grandis*, *Carbohydr. Polym.*, 2014, 104, 127–134.
- 4 M. A. Cerqueira, A. I. Bourbon, A. C. Pinheiro, J. T. Martins, B. W. S. Souza, J. A. Teixeira and A. A. Vicente, Galactomannans use in the development of edible films/coatings for food applications, *Trends Food Sci. Technol.*, 2011, 22, 662–671.
- 5 M. Díaz-Ramírez, G. Calderón-Domínguez, J. J. Chanona-Pérez, A. Janovitz-Klapp, R. López-Santiago, R. R. Farrera-Rebollo and M. Salgado-Cruz, Modelling sorption kinetic of sponge cake crumb added with milk syrup, *Int. J. Food Sci. Technol.*, 2013, 48, 1649–1660.
- 6 F. D. Conforti, Cake manufacture, in *Bakery Products Science and Technology*, ed. W. Zhou and Y. H. Hui, 2014, vol. 32, pp. 565–584.
- 7 F. Zambrano, P. Despinoy, R. C. S. C. Ormenese and E. V. Faria, The use of guar and xanthan gums in the production of ‘light’ low fat cakes, *Int. J. Food Sci. Technol.*, 2004, 39, 959–966.
- 8 D. Kalinga and V. K. Mishra, Rheological and physical properties of low fat cakes produced by addition of cereal β -glucan concentrates, *J. Food Process. Preserv.*, 2009, 33, 384–400.
- 9 M. Sowmya, T. Jeyarani, R. Jyotsna and D. Indrani, Effect of replacement of fat with sesame oil and additives on rheological, microstructural, quality characteristics and fatty acid profile of cakes, *Food Hydrocolloids*, 2009, 23, 1827–1836.

- 10 S. Zahn, F. Pepke and H. Rohm, Effect of inulin as a fat replacer on texture and sensory properties of muffins, *Int. J. Food Sci. Technol.*, 2010, 45, 2531–2537.
- 11 J. Rodríguez-García, A. Puig, A. Salvador and I. Hernando, Optimization of a sponge cake formulation with inulin as fat replacer: structure, physicochemical, and sensory properties, *J. Food Sci.*, 2012, 77, C189–C197.
- 12 V. Psimouli and V. Oreopoulou, The effect of fat replacers on batter and cake properties, *J. Food Sci.*, 2013, 78, C1495–C1502.
- 13 P. L. Pizarro, E. L. Almeida, N. C. Sammán and Y. K. Chang, Evaluation of whole chia (*Salvia hispanica* L.) flour and hydrogenated vegetable fat in pound cake, *LWT-Food Sci. Technol.*, 2013, 54, 73–79.
- 14 N. S. Bedoya-Perales and C. J. Steel, Effect of the concentrations of maltogenic- α -amylase and fat on the technological and sensory quality of cakes, *Food Sci. Technol.*, 2014, 34, 760–766.
- 15 AACC, Approved methods of American association of cereal chemists. St Paul, USA: American Association of Cereal Chemists. International. Approved methods of analysis. St Paul: Approved Methods Committee, 2010, Available at: <http://methods.aacenet.org/>.
- 16 F. J. Francis and F. M. Clydesdale, *Food colorimetry: theory and applications*, Westport, Connecticut, The Avi, USA, 1975.
- 17 M. Bodart, R. de Peñaranda, A. Deneyer and G. Flamant, Photometry and colorimetry characterisation of materials in daylighting evaluation tools, *Build. Sci.*, 2008, 43, 2046–2058.
- 18 M. Meilgaard, G. V. Civille and B. T. Carr, Overall difference tests: does a sensory difference exist between samples, in *Sensory evaluation techniques*, CRC Press, New York, NY, 4th edn, 2007.
- 19 S. Martínez-Cervera, A. Salvador and T. Sanz, Comparison of different polyols as total sucrose replacers in muffins: Thermal, rheological, texture and acceptability properties, *Food Hydrocolloids*, 2014, 35, 1–8.
- 20 S. Lee, G. E. Inglett and C. J. Carriere, Effect of nutrim oat bran and flaxseed on rheological properties of cakes, *Cereal Chem.*, 2004, 81, 637–642.
- 21 J. Rodríguez-García, S. S. Sahi and I. Hernando, Functionality of lipase and emulsifiers in low-fat cakes with inulin, *LWT-Food Sci. Technol.*, 2014, 58, 173–182.
- 22 N. Dhen, L. Román, I. B. Rejeb, M. M. Martínez, M. Garogouri and M. Gómez, Particle size distribution of soy flour affecting the quality of enriched gluten-free cakes, *LWT-Food Sci. Technol.*, 2016, 66, 179–185.
- 23 S. M. Lakshminarayan, V. Rathinam and L. KrishnaRau, Effect of maltodextrin and emulsifiers on the viscosity of cake batter and on the quality of cakes, *J. Sci. Food Agric.*, 2006, 86, 706–712.
- 24 S. O. Serna-Saldivar, *Cereal grains: properties, processing, and nutritional attributes*, CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, FL, 2010.
- 25 J. Zhou, J. M. Faubion and C. E. Walker, Evaluation of different types of fats for use in high-ratio layer cakes, *LWT-Food Sci. Technol.*, 2011, 44, 1802–1808.
- 26 A. V. Rao and L. G. Rao, Carotenoids and human health, *Pharmacol. Res.*, 2007, 55, 207–216.
- 27 Z. E. Sikorski, *Chemical and functional properties of food components*, CRC Press, 2006, p. 251.
- 28 M. H. F. Felisberto, A. L. Wahanik, C. R. Gomes-Ruffi, M. T. P. S. Clerici, Y. K. Chang and C. J. Steel, Use of chia (*Salvia hispanica* L.) mucilage gel to reduce fat in pound cakes, *LWT-Food Sci. Technol.*, 2015, 63, 1049–1055.
- 29 C. Eslava-Zomeño, A. Quiles and I. Hernando, Designing a clean label sponge cake with reduced fat content, *J. Food Sci.*, 2016, 81, C2352–C2359.
- 30 S. S. Fernandes and M. de las Mercedes Salas-Mellado, Addition of chia seed mucilage for reduction of fat content in bread and cakes, *Food Chem.*, 2017, 227, 237–244.

4.2 INFLUENCE OF HYDROCOLLOIDS (GALACTOMANNAN AND XANTHAN GUM) ON THE PHYSICOCHEMICAL AND SENSORY CHARACTERISTICS OF GLUTEN-FREE CAKES BASED ON FAVA BEANS (*PHASEOLUS LUNATUS*)



Artigo publicado na revista *Food & Function* (9: 6369-6379, 2018)

Fator de Impacto 3.289

Cite this: *Food Funct.*, 2018, 9, 6369

Influence of hydrocolloids (galactomannan and xanthan gum) on the physicochemical and sensory characteristics of gluten-free cakes based on fava beans (*Phaseolus lunatus*)

F. J. E. T. Andrade,^{a,b} P. B. S. Albuquerque,^c G. M. D. Moraes,^b M. D. P. Farias,^b
D. M. A. Teixeira-Sá,^b A. A. Vicente^d and M. G. Carneiro-da-Cunha^{id}*,^{a,c}

Most gluten-free bakery formulations have starch sources of low nutritional value. The objective of this work was to use fava beans (*Phaseolus lunatus*) for the production of gluten-free sponge cakes, in addition to evaluating the effects of the partial substitution of fava bean flour by galactomannan and xanthan gum, isolated or mixed at 0.5 and 1.0% proportions, compared with a commercial reference. The properties such as viscosity, specific gravity and microscopy of the air bubbles were evaluated in the raw cakes, while the cooked cakes were analyzed according to physicochemical (chemical composition, specific volume, texture and color) and sensorial properties. Hydrocolloids increased the viscosity, specific gravity, and incorporation of air into the batters. Xanthan gum increased the cakes' firmness after cooking; in what concerns color parameters, hydrocolloids did not interfere. Cakes based on fava beans had better sensory acceptance with or without the presence of hydrocolloids and presented higher levels of moisture, proteins, lipids and ashes when compared to the commercial reference, proving to be an excellent food option without gluten and high nutritional value.

Received 19th July 2018,
Accepted 10th October 2018
DOI: 10.1039/c8fo01448e
rsc.li/food-function

Introduction

Recent trends in the bakery and confectionery fields are related to innovations in products enriched with fiber, vitamins, minerals and grains, with the aim to provide healthier options to meet the diverse preferences and needs of consumers,¹ who desire food with sensory and nutritional qualities, besides beneficial health effects.

Gluten is the main structural protein complex of wheat with equivalent toxic proteins found in other cereals, including rye and barley.² Although the vast majority of baking and confectionery products have wheat flour as the basis for their formulations, there is a group of individuals who experience exaggerated reactions of the immune system caused by gluten con-

sumption, resulting in celiac disease, allergy, gluten ataxia, and sensitivity to non-celiac gluten.³ The only treatment for these disorders is a gluten-free diet, in which food products must contain less than 20 ppm of total gluten.⁴

However, most research studies on gluten-free cakes, cupcakes or muffin formulations have sources of starch of low nutritional value, such as rice flour, maize, cassava, and potatoes.^{5–11}

The food industry has constantly sought improvement in the quality of gluten-free foods; however, achieving good technological characteristics like flavor, volume, structure, color and nutritional value is a major challenge for this sector. Thus, products using seeds' flours with higher nutritional value, and hydrocolloids such as galactomannans and xanthans, as well as enzymes and other combinations, have emerged as innovative alternatives.

The galactomannan extracted from *Cassia grandis* seeds has a skeleton composed of repeated β -D-mannose units interconnected by (1 $\rightarrow$ 4)-type bonds and α -D-galactose units attached to the main chain by bonds of (1 $\rightarrow$ 6) type. This polysaccharide presents characteristics of commercial gums and a great potential for biotechnological applications, such as coatings and gels useful for the pharmaceutical and food industries.¹² In addition, this gum has an emulsifying capacity and can be used as a fat substituent in sponge cakes.¹³

^aRede Nordeste de Biotecnologia (RENORBIO), Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, Av. Prof. Moraes Rego, s/n, Cidade Universitária, 50670-420 Recife, PE, Brazil. E-mail: mgcc@ufpe.br, mgcc1954@gmail.com; Fax: +5581 2126 8576; Tel: +5581 2126 8540

^bEsboço de Produção Alimentícia, Instituto Federal de Educação do Ceará – IFCE, Av. Dr. Guarani, 317, Derby Clube, CEP: 62.042-030, Sobral, CE, Brazil

^cDepartamento de Bioquímica/Laboratório de Imunopatologia Keizo Asami (LIKA), Universidade Federal de Pernambuco, Av. prof. Luiz Freire s/n, Cidade Universitária, CEP 50670-901 Recife, PE, Brazil

^dCEB – Centre of Biological Engineering, Universidade do Minho, Campus de Gualtar, 4710-057 Braga, Portugal

Xanthan gum is an exocellular polysaccharide produced by the *Xanthomonas campestris* bacterium and consists of a major chain of (1,4)- β -D-glucose residues with a side chain of trisaccharides attached to each glucose. The side chains are linked through the 3-position and consist of β -D-mannose, (1,4)- β -glucuronic acid, and (1,2)- α -D-mannose. Xanthan gum is widely used to stabilize dispersions due to its ability to inhibit particle sedimentation and droplet formation.¹⁴

In order to increase the daily consumption of legumes, as well as the worldwide awareness of the huge benefits of grains, the year 2016 was considered by the United Nations as the international year of legumes. Legumes represent an alternative source of low cost proteins, in addition to presenting them in a two-fold higher content than wheat protein and three-fold higher than rice protein; even more, they are rich in complex carbohydrates, micronutrients and B-complex vitamins, substances that make them an essential part of a healthy diet.¹⁵

Due to their excellent nutritional characteristics such as proteins, lipids, minerals, and carbohydrates, beans are considered to be a type of grain potentially suitable for the development of gluten-free products. Brazil has the largest world production of bean grains, with approximately 3.2 million tons per year, and is also considered the largest bean consumer in the world.¹⁶

The inclusion of legumes in baking may be a strategy to improve the nutritional value of cakes and muffins based on cereals and tubercles such as protein isolates of soybean, pea, and bean.^{17–20} Flours derived from legumes can also be used as partial or total substituents for wheat flour, such as flours of beans, chickpeas, peas, soybeans and lentils.^{21–23}

The objective of this work was to evaluate the effect of xanthan gum and/or galactomannan (obtained from *C. grandis* seeds) on the physicochemical and microstructural properties of raw and cooked batters of cakes based on fava bean flour (*Phaseolus lunatus* L.).

Materials and methods

Materials

Bean grains (*Phaseolus lunatus* L.), of white variety, refined sugar (Rey, Sobral-CE/Brazil), whole milk (Bethany, Ceara/Brazil), margarine (60% lipid; Puro Sabor, Ceara/Brazil), fresh eggs, chemical baking powder [sodium bicarbonate, mono-calcium phosphate, calcium carbonate, and chemically modified corn starch (House of Ingredients, Ceara, Brazil)]. A gluten-free pre-mix (Vitao-Party, Parana/Brazil) consisting of modified corn starch, maltodextrin, salt, sorbitol humectant, polyglycerol fatty acid esters, fatty acid mono- and diglycerides, and polysorbate 80 was purchased in a local market.

The pods of *C. grandis* were collected in the state of Pernambuco, in Recife (Brazil), in August 2017. Absolute alcohol (96% of volume) was obtained from Santa Cruz (Brazil), and acetone P.A. from Dynamics (Brazil). Other reagents used in this work were of analytical grade.

Production of the fava bean flour

Bean (*Phaseolus lunatus* L.) grains were subjected to a pre-cleaning, during which impurities and foreign matter were removed, and then washed in running water and kept immersed in distilled water in a ratio of 1:5 for 12 h at room temperature (28 ± 2 °C). Subsequently, grains were pre-cooked in a conventional pan without lid, with distilled water, in the ratio of 2:1 (water:grains), for 25 minutes under boiling. After pre-cooking, excess water was removed and the beans were dried in an oven with air circulation at 60 °C until constant weight. After cooling to room temperature, the grains were milled in a Willye TE-650 mill (Tecnal, São Paulo, Brazil), obtaining flour with a granulometry of 0.84 mm (20 mesh), which was stored in sealed polyethylene bags under refrigeration at 2 to 8 °C until use.

Galactomannan extraction from the seeds of *C. grandis*

Galactomannan extraction was carried out according to the methodology described by Albuquerque *et al.*¹² Briefly, the seeds were boiled in distilled water [1:5 (w/v)] for 1 h to perform enzymatic inactivation. Then, the shell was removed, while the endosperm and germ were triturated with 0.1 NaCl [5% (w/v)] at 25 °C. The obtained suspension was filtered on veil tissue followed by a new filtration on 90-type screen printing cloth. The filtrate was precipitated with 46% (v/v) ethanol for 18 h, filtered on screen printing cloth (110-type) and then washed once with 100% ethanol [1:3 (w/v)] for 30 min and two times with acetone PA [1:3 (w/v)] for 30 min. The precipitate was filtered on screen printing cloth (110-type) between each wash and finally dried in an oven at 100 °C until constant weight. The obtained powder, called galactomannan, was kept in a dry place for later use.

Preparation of cakes

Six cake batters were prepared using fava bean flour (FF), the control formulation being composed of 100% FF and the other formulations partially replacing FF with the hydrocolloids galactomannan (G) and xanthan gum (X), as described in Table 1. A commercial pre-mix for gluten-free cakes was used as a commercial reference (CR).

Cake batters were prepared in a five-speed planetary beater (Arno-BPA-Brazil), with a 3.5 L volumetric capacity and a globe-type beater, initially mixing sugar, margarine, egg yolk and hydrocolloid (galactomannan and/or xanthan) at a velocity corresponding to position 4 for 5 min. Then, FF, chemical baking powder, and milk were added slowly, keeping the speed at position 1 for another 4 min, in order to homogenize the mixture. After complete mixing, egg white, previously beaten at speed 4 for 3 min, was added gently to the dough with the aid of a spatula, until a smooth texture was obtained.

CR was prepared according to the manufacturer's recommendations (Vitao-Festa). First, eggs, oil, and heated water were shaken in a blender (Philips Walita-R203-Brazil) until complete homogenization. Thereafter, the gluten-free pre-mix was added and mixed at speed 3 for 3 min. Chemical baking

Table 1 Cake formulations

Ingredients ^a (%)	C	G05	G1	GX	X05	X1
Fava bean flour	100	99.5	99	99	99.5	99
Sugar	90	90	90	90	90	90
Margarine	46	46	46	46	46	46
Egg yolk	32	32	32	32	32	32
Egg white	48	48	48	48	48	48
Milk (UHT)	70	70	70	70	70	70
Chemical baking powder	5	5	5	5	5	5
Salt	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Sorbitol	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Xanthan gum	—	—	—	0.5	0.5	1.0
Galactomannan	—	0.5	1.0	0.5	—	—
	CR					
Pre-mix	100					
Eggs	25					
Water	25					
Oil	12.5					
Chemical baking powder	1.5					

^a Basis in weight of fava flour and premix. Control formulation-C (100% fava bean flour-FF); G05 (99.5% fava bean flour-FF + 0.5% galactomannan-G); G1 (99% fava bean flour-FF + 1% galactomannan-G); GX (99% fava bean flour-FF + 0.5% galactomannan-G + 0.5% xanthan gum-X); X05 (99.5% fava bean flour-FF + 0.5% xanthan gum-X); X1 (99% fava bean flour-FF + 1% xanthan gum-X) and CR (commercial reference).

powder was added and beaten again to complement the homogenization. A mass of 300 g of each formulation (C, X1, and CR) was poured into the uncovered 18 × 9 × 5 cm aluminum shapes and then baked in a preheated oven at 180 °C for 45 min. After cooling, the cakes were packed tightly in polypropylene bags and stored for four days at room temperature (28 °C ± 2 °C), without noticeable deterioration to the naked eye. All cake formulations were prepared in three batches in triplicate.

Specific gravity

The specific gravity of the batter was calculated by dividing the weight of a standard batter measurement by the weight of an equal volume of distilled water at room temperature.²⁴ Measurements were performed in triplicate.

Microscopy of the air bubbles in the mass

Batter bubbles were examined by spreading a thin layer of the cake batters onto glass slides, which were carefully covered with coverslips and then observed under an optical microscope (OPTON-TIM-2005 B, Brazil; at 10× magnification), equipped with a camera. The distribution of air bubbles was evaluated using software (Mias2008-Electronic Ocular), analyzing the fraction of the total area of the bubbles (AF) and the number of bubbles per square centimeter (CD of cell density). Five images were taken per batch in triplicate.

Viscosity of mass

Cake batters were poured each into a 250 mL beaker and their (apparent) viscosity was quantified using a rotary viscometer

(Quimis, Q860M21, São Paulo, SP, Brazil). Rotor 3 with 18 rpm speed was used for the less viscous batter (CR), while rotor 4 was used in thicker formulations with rotation varying according to viscosity: 8 rpm for formulations C, G05 and G1, 3 rpm for GX and X05, and 2 rpm for X1. The readings were recorded (mPa s) at the best accuracy of the instrument, according to the manual's instructions, which was around 50% FSR (full-scale range). The experiment was run in triplicate at a temperature of 24 °C ± 2 °C.

Chemical composition

The nutritional value was calculated based on the humidity, proteins, fat, ashes and carbohydrates, according to AOAC procedures.²⁵ Moisture was determined by the desiccation to constant weight at 105 ± 2 °C. The total protein content [cake formulations with FF (N × 6.25) and CR (N × 5.95)] was calculated as nitrogen content by the Kjeldahl method. The lipid content was determined by Soxhlet extraction using 2 g of sample and petroleum ether. The ash content was determined by incineration at 550 ± 15 °C. The total carbohydrate content was calculated by the difference obtained on subtracting from 100% the values of moisture, proteins, fats, and ashes. The analyses were performed in triplicate.

Specific volume of cakes

The specific volume of the cakes was calculated by the ratio of the volume and the mass of each formulation after 4 h of cooling at room temperature, using the sesame seed methodology.²⁴ The tests were performed in triplicate and the results were expressed in mL g⁻¹ ± standard deviation (SD).

Texture profile analysis

The texture profile analysis was performed after 1 and 4 days of storage using a TA-XT plus texture analyzer (Stable Micro Systems, Haslemere, UK) using the 74-09.01 AACC method.²⁴ A 36 mm diameter cylindrical probe was used in the double compression test with a compression depth of 50% of its original height at a rate of 1 mm s⁻¹, a delay of 5 s between the two cycles, and a load of 2 kg with a trigger force of 5 g. The non-crust cake samples, 20 × 20 × 20 mm in size, were evaluated for firmness parameters (maximum strength during the first compression cycle in N), springiness (recovery after a delay between compressions), cohesiveness (positive force during the first and second compression), and chewiness (firmness × springiness × cohesiveness). Twenty-four pieces of crumb were used, eight per batch of cakes, and the results were expressed as the mean ± SD.

Color

The color of the center of the cakes was determined using a previously calibrated Colorium 2 digital colorimeter (Color Delta, Brazil) with a measuring area of 13 mm in diameter and 45°/0° optical geometry. The instrument was calibrated using a standard white calibration plate and the color was expressed according to the International Commission on Illumination (CIE L*a*b* color system). The readings were recorded with at

least six replicates for each formulation (in three batches) at random positions. The results were calculated using the equipment in the Hunter Lab color scale. At this scale, L^* ranges from 0 (black) to 100 (white); a^* indicates the degree of greenishness (for negative values) and degree of redness (for positive results). The b^* axis also varies from negative to positive, indicating values, respectively, from blue to yellow. The total color difference (ΔE^*) was calculated using eqn (1).²⁶

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (1)$$

where ΔL^* , Δa^* and Δb^* are the differences between the two samples in L^* , a^* and b^* , respectively. The interpretation of this result was based on the total color difference noticeable by the human eye. According to Bodart *et al.*²⁷ the human eye only distinguishes the color difference if $1 < \Delta E^* < 3$; however, for some colors, mainly blues, $\Delta E^* = 1$ values can be detected, but for other colors, such as red, the same ΔE^* may not be noticeable.

Sensory analysis

Sensory analysis was applied in the Sensory Analysis Laboratory of the Federal Institute of Education, Science and Technology of the State of Ceara (IFCE), Campus Sobral, after approval by the "Comitê de Ética em Pesquisa envolvendo seres humanos (CEP) – Plataforma Brasil" (*i.e.*, the "Ethics Committee for research involving human beings") of the Federal University of Pernambuco (Certificate of Presentation for Ethical Consid-CAAE proc. No. 61527416.0.0000.5208, opinion 1884580). The sensorial evaluation of the cakes included the test of preference ordering and a sensory acceptance test using a structured hedonic scale of nine points.

Preference ordering test. The evaluators performed the sensory analysis of five formulations: G05, G1, GX, X05 and X1. The ordering test was applied in order to perform a pre-selection of samples and then the acceptance test was applied using the hedonic scale. The methodology used to perform the preference ordering test has been described by ISO 8587: 2006.²⁸ The test was applied with 70 untrained evaluators from 18 to 45 years. The formulations were served at 28 ± 2 °C, in 25 g portions, in disposable cups and coded with random three-digit numbers, in

randomized complete blocks. During the tests, water was served to wash the palate. The evaluators were asked to order the formulations in ascending order as per their preference.

Acceptance test. Cake formulations previously selected in the preference ordering test (G1 and X05) were used plus C and CR. The formulations were served monadically under the same conditions described for the preference ordering test. The overall impression, color, aroma, flavor and texture were evaluated using a structured hedonic scale of nine points (1 = very disagreeable, 2 = disagreeable, 3 = mildly disliked, 4 = disliked slightly, 5 = no like or dislike, 6 = liked slightly, 7 = liked moderately, 8 = liked a lot, 9 = liked at all).²⁹ The test was performed with 120 evaluators, consisting of 73 females and 47 males between 18 and 45 years, including students, teachers, employees, and untrained researchers, selected based on their interest and consumption habits of bakery products and confectionery. Upon receiving the samples, the evaluators were advised that the aroma attribute is related to the perceived smell through the retronasal cavity and the flavor to the set of sensations and taste perceived by the palate and tongue.

Statistical analysis

The results were expressed as the mean $\pm$ standard deviation and were subjected to Analysis of Variance (ANOVA) and Tukey's multiple comparison test. Statistical significance was set at $p < 0.05$ (Assistat software version 7.7, 2013; USA).

For statistical evaluation of the results of the sensory preference sorting test, the Christensen table ($\alpha = 0.05$) was used, as described by Dutcosky.³⁰

Results and discussion

The effects of the hydrocolloids on the viscosity and specific gravity of the cake batters and on the microscopy of the air bubbles are presented in Table 2.

Viscosity of the cake batter

The viscosities of cake batters were significantly higher ($p < 0.05$) than the batter viscosity of the CR cakes. It is also

Table 2 Viscosity, specific gravity and distribution of air bubbles in the gluten-free cake batter

	Viscosity (mPa s)	Specific gravity (g mL ⁻¹)	CD	AF (%)
C	37.44 $\pm$ 3.44 ^c	0.73 $\pm$ 0.03 ^d	528.53 $\pm$ 8.8 ^{ab}	27.05 $\pm$ 1.09 ^c
G05	37.87 $\pm$ 2.55 ^c	0.77 $\pm$ 0.02 ^c	509.82 $\pm$ 11.2 ^{abc}	29.04 $\pm$ 1.2 ^{bc}
G1	38.29 $\pm$ 1.87 ^c	0.78 $\pm$ 0.03 ^c	516.06 $\pm$ 6.56 ^{abc}	32.07 $\pm$ 1.74 ^{ab}
GX	105.50 $\pm$ 2.61 ^b	0.79 $\pm$ 0.01 ^{bc}	538.53 $\pm$ 5.27 ^a	30.50 $\pm$ 1.22 ^{ab}
X05	99.93 $\pm$ 3.17 ^b	0.79 $\pm$ 0.02 ^{bc}	497.07 $\pm$ 17.66 ^{bc}	33.04 $\pm$ 0.72 ^a
X1	152.10 $\pm$ 4.06 ^a	0.82 $\pm$ 0.01 ^b	491.23 $\pm$ 19.53 ^c	33.19 $\pm$ 1.23 ^a
CR	16.73 $\pm$ 1.71 ^d	1.04 $\pm$ 0.04 ^a	212.86 $\pm$ 7.3 ^d	22.27 $\pm$ 3.38 ^d

Control formulation-C (100% fava bean flour-FF); G05 (99.5% fava bean flour-FF + 0.5% galactomannan-G); G1 (99% fava bean flour-FF + 1% galactomannan-G); GX (99% fava bean flour-FF + 0.5% galactomannan-G + 0.5% xanthan gum-X); X05 (99.5% fava bean flour-FF + 0.5% xanthan gum-X); X1 (99% fava bean flour-FF + 1% xanthan gum-X) and CR (commercial reference). CD = number of bubbles per square centimeter (cell density, cells per cm²); AF = fraction of area (percentage of bubble area/total area of the image). Different superscript letters indicate statistical differences according to Tukey's test ($p < 0.05$).

observed that, when the hydrocolloids were incorporated, the values of viscosity increased from 37.44 (C) to 105.5 (GX), 99.93 (X05) and 152.10 (X1) mPa s. This behavior may be associated with factors such as the solubility of starch, pregelatinized by the heat treatment of the bean³¹ and the hydrating capacity of the bean fibers and of the incorporated hydrocolloids, which have the ability to gel at low temperatures.¹² Then, as there was a reduction in the content of free water available, the viscosity increased.^{8,32} The lowest viscosity value was observed for CR (16.73 mPa s), probably due to the presence of corn starch, which requires the use of higher temperatures for gelatinization.³³ It is also possible that the high ash content present in the bean-based cakes has affected the bean protein structure, as well as its solubility and the ability to interact with other components of the batter, influencing its viscosity. Majzoobi *et al.*¹⁰ also evaluated the quality of gluten-free cakes with a mixture of hydrocolloids, in this case pectin and xanthan at 1.5% (w/w) per hydrocolloid, and different levels of carrot cake powder (CCP); the authors found that, with the increase in CCP level and the incorporation of hydrocolloids, the viscosity of the mass increased significantly from 87 mPa s (C) to more than 7000 mPa s (formulation with 30% CCP and hydrocolloids).

Considering the addition of galactomannan (0.5 and 1.0%) to cake batters based on the flour of the fava beans, it is observed that the presence of this hydrocolloid did not result in significant differences when compared to C. This result suggests that xanthan was the hydrocolloid responsible for significantly increasing the hydrophilic capacity in the cake batters and the galactomannan extracted from the seeds of *C. grandis* only influenced the values of viscosity when mixed with xanthan; therefore, the type of polysaccharide, its extraction process and the concentration used are factors capable of directly influencing the viscosity of the food.

Interactions between the hydrocolloids present may also play a role,³⁴ but we do not have data to validate this hypothesis.

Itthivadhanapong *et al.*³⁵ also tested the effect of adding 1% galactomannan, in this case guar gum, and xanthan into black rice cake batters, and observed higher viscosity values in the xanthan batters. In the same work it was possible to observe that the viscosity value of the rice cake batter with guar gum was almost two-fold higher than that of C.

According to Berk *et al.*,³⁶ increasing the viscosity of the cake batter may aid the incorporation of air to some extent, because an excessive increase may damage the aeration process.

Specific gravity and microscopy of air bubbles

Low values of specific gravity are desired in cake batters and are correlated with the retention of small bubbles initially incorporated in the batter during mixing.²¹ Comparing the formulations based on the flour of fava bean, the results in Table 2 show that the incorporation of hydrocolloids increased the specific gravity of the batters when compared to C. It is also possible to observe that there were no significant differ-

ences in the specific gravity of cakes with galactomannan (G05 and G1) and with xanthan (X05 and X1); that is, the incorporation of hydrocolloids did not result in significant differences when compared with each other or even with the GX mixture. This behavior suggests that the presence of hydrocolloids made the batter heavier even without a concentration dependence.

These results are in agreement with those of Herranz *et al.*,²² who replaced chickpea flour by xanthan (0.5 or 1.0%) in muffins and also observed a significant increase in both the viscosity and the specific gravity of the batters. Itthivadhanapong *et al.*³⁵ compared the effects of 1% addition of xanthan, guar gum, hydroxypropylmethylcellulose (HPMC) and carrageenan on the characteristics of black rice flour cakes and reported that only xanthan interfered in the specific gravity of the batters, increasing this parameter significantly in comparison with the other hydrocolloids analyzed, this fact being attributed to the greater viscosity of the batter.

CR presented a lower number of bubbles (CD), as well as smaller area fraction (AF), indicating less air incorporation in the batter. This result was expected to be due to the characteristics of the ingredients, as well as the mixing method used, since the incorporation of air depends on the aeration processes and physicochemical properties such as viscosity and surface tension, which are determined by the ingredients of the formulation.¹³

At first, batters with larger numbers of small bubbles, as well as a more uniform size pattern, are desired for good texture, volume, shape and cake crumb.³⁷ It is observed for CD that the presence of hydrocolloids did not interfere in the number of bubbles formed ($p > 0.05$) when compared to C, except for X1, which presented the lowest value (491.23 cells per cm²).

In what concerns AF values, there was no dependence on hydrocolloid concentration. Regarding the values of C, it can be observed that the addition of 1.0% galactomannan and both xanthan concentrations increased the values of AF; a similar pattern of AF increase was also observed for GX.

These results corroborate those of Marston *et al.*,³⁹ who reported that higher viscosity of the batter reduces the migration of the gas from the cells, and the coalescence of the cells results in larger cells, producing cakes with a more open crumb.³⁸ Shittu *et al.* also reported that the inclusion of xanthan in cassava products promoted a more open crumb structure and increased the total area of the cells.

Furthermore, Sowmya *et al.*⁴⁰ reported that excessively large buoyant air bubbles tend to rise out of the batter, resulting in cakes with a coarser crumb structure and lower volumes. In contrast, the smaller the individual air cells, the larger the cake volume and the finer the crumb structure. Special emphasis should be given to X1: it can be seen throughout Fig. 1 and confirmed by Table 2 that there is a correlation between the distribution in the number of bubbles per cm² and the concentration of xanthan (1.0%); in this case, this formulation presented values statistically higher for AF and smaller for DC when compared to the formulation C.

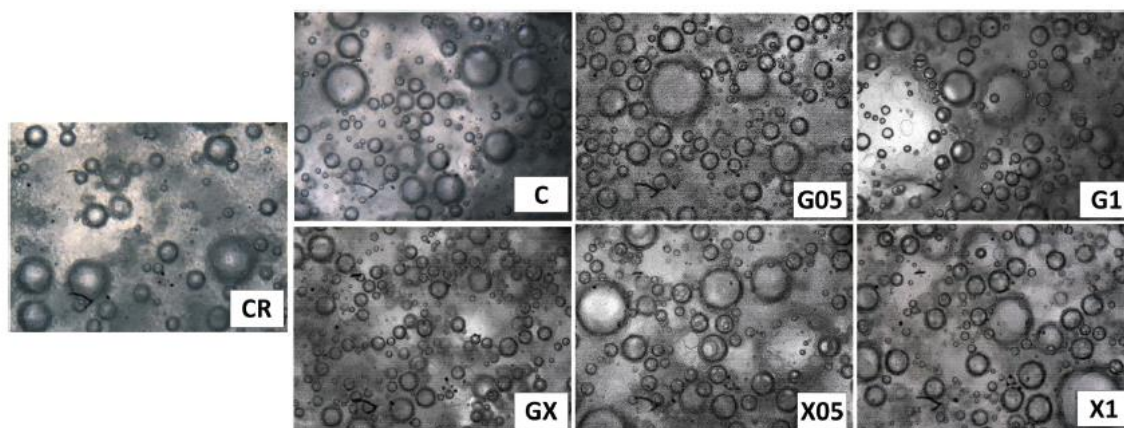


Fig. 1 Micrographs representative of the cake batters (magnification: 10 $\times$). Control formulation-C (100% fava bean flour-FF); G05 (99.5% fava bean flour-FF + 0.5% galactomannan-G); G1 (99% fava bean flour-FF + 1% galactomannan-G); GX (99% fava bean flour-FF + 0.5% galactomannan-G + 0.5% xanthan gum-X); X05 (99.5% fava bean flour-FF + 0.5% xanthan gum-X); X1 (99% fava bean flour-FF + 1% xanthan gum-X) and CR (commercial reference).

Chemical composition of the cake

Most gluten-free products on the market come from raw materials of low nutritional value, with a low content of proteins, complex carbohydrates, fibers, vitamins, and minerals.⁴¹ Table 3 shows the mean values of the chemical composition of the cakes, displaying significant differences ($p < 0.05$) for all nutritional components of the fava bean cake in relation to CR. During the storage period, CR presented a lower moisture content when compared to the formulations based on fava beans; it is also possible to observe for CR that the moisture remained constant between the 1st and 4th days of storage (17.67 g per 100 g). Only X05 and X1 presented a lower moisture content ($p < 0.05$) than C on the 1st day of storage, while no difference was observed between both the concentrations of each hydrocolloid.

On the 4th day of storage, only G05 presented values similar to C for the moisture content; significant differences were

observed for the other formulations, which presented lower values of moisture content in comparison with C. Also, it is important to mention that GX and X1 did not differ significantly from each other, and that only G1, GX and X1 had lower values of this parameter between the 1st and 4th days of storage, which may be related to the capacity of hydrocolloids to retain water and prevent migration. Similar results were observed by Nawab *et al.*,⁴² who evaluated the functional properties of cowpea starch and observed increased hydrophilic affinity as the concentration of cowpea starch increased.

Among all the analyzed parameters, the CR protein content, when compared to the other formulations, presented the highest statistically significant difference ($p < 0.05$). In this case, the formulations based on fava beans had an average value of 9.30 ± 0.23 , representing about 71% of protein when compared to CR (2.69 ± 0.40 g per 100 g), possibly due to protein percentage of the ingredients used in the formulations with fava bean, such as milk, eggs and the fava bean flour

Table 3 Average chemical composition of gluten-free cakes

	Moisture (g per 100 g)		Proteins (g per 100 g)	Lipids (g per 100 g)	Ash (g per 100 g)	Carbohydrates (g per 100 g)
	1 st day	4 th day				
C	28.97 ± 0.28^{aA}	29.09 ± 0.40^{aA}	9.04 ± 0.07^a	12.55 ± 0.12^a	2.25 ± 0.00^a	46.90 ± 0.40^a
G05	27.95 ± 1.07^{abA}	26.82 ± 0.13^{abA}	9.56 ± 0.14^a	12.51 ± 0.29^a	2.23 ± 0.07^a	48.90 ± 0.14^b
G1	27.85 ± 0.94^{abA}	24.28 ± 0.24^{dB}	9.41 ± 0.45^a	12.25 ± 0.13^a	2.27 ± 0.11^a	51.86 ± 0.53^{cd}
GX	29.00 ± 0.08^{aA}	25.10 ± 0.15^{cB}	9.23 ± 0.21^a	12.45 ± 0.29^a	2.35 ± 0.21^a	50.56 ± 0.26^{cd}
X05	26.67 ± 0.76^{bA}	26.72 ± 0.22^{bA}	9.34 ± 0.32^a	12.23 ± 0.10^a	2.24 ± 0.00^a	49.46 ± 0.30^{bc}
X1	26.33 ± 0.21^{bA}	25.45 ± 0.11^{cB}	9.23 ± 0.21^a	12.43 ± 0.19^a	2.27 ± 0.05^a	50.68 ± 0.36^{cd}
CR	17.36 ± 0.24^{cA}	17.97 ± 0.17^{cA}	2.69 ± 0.40^b	8.81 ± 0.35^b	1.34 ± 0.00^b	68.98 ± 0.07^e

Control formulation-C (100% fava bean flour-FF); G05 (99.5% fava bean flour-FF + 0.5% galactomannan-G); G1 (99% fava bean flour-FF + 1% galactomannan-G); GX (99% fava bean flour-FF + 0.5% galactomannan-G + 0.5% xanthan gum-X); X05 (99.5% fava bean flour-FF + 0.5% xanthan gum-X); X1 (99% fava bean flour-FF + 1% xanthan gum-X) and CR (commercial reference). The means followed by the same uppercase or lowercase letters in the column lines do not differ statistically from each other according to Tukey's test ($p < 0.05$).

itself. According to Seidu *et al.*,⁴³ the crude protein content in bean-fava flour varies from 14.53 to 15.93%. Therefore, a bean-based cake could be considered a “source of protein” food. Indeed, the bean flour itself is an excellent raw material for gluten-free foods due to its high protein content. According to the National Health Surveillance Agency (Brazil, 2012), a food is considered to be “high in protein” when it meets the criterion of at least 12 g of protein per serving (100 g), while the criterion of at least 6 g of protein per serving (100 g) is associated with a “source of protein” food. Our results corroborate the results reported by Coda *et al.*,²³ who observed an increase of 11.6 to 16.5% in the protein content of dry matter of loaves by replacing wheat flour with 30% of fava bean flour (*Vicia faba*).

The difference ($p < 0.05$) in the percentage of lipids between the cakes based on the fava bean flour (12.40 ± 0.19) and CR (8.81 ± 0.35) was justified by the amount of fat used in the formulations, respectively 46 and 12.5%. The increase ($p < 0.05$) in the ash content (2.27 ± 0.00) and the reduction ($p < 0.05$) in carbohydrates (49.73 ± 0.33) of the formulations with fava beans in relation to CR (1.34 ± 0 and 69.98 ± 0.07 , respectively) are also attributed to the chemical constituents present in the formulations based on fava beans. When evaluating the bean-fava meal (*P. lunatus*), Seidu *et al.*⁴³ also found similar values for ash contents (2.43–3.88 g per 100 g) and the most abundant mineral elements in the beans: potassium (361.20–459.51 mg per 100 g), sodium (71.27–102.51 mg per 100 g), and magnesium (83.20–95.23 mg per 100 g). Calcium, phosphorus, iron, and zinc were also present in significant amounts. The same authors also reported carbohydrate values between 47.11 and 48.62 g per 100 g, and crude fiber between 32.59 and 33.59 g per 100 g. These results highlight the importance of this legume for human nutrition since the concept of “high fiber content” is associated with foods with at least 6 g of fiber per portion (100 g) (Brazil, 2012) and it is reached by the fava-bean meal.

Fava bean flour emerges as a potential agro-industrial product with nutritional properties of great relevance. For example, in the bakery and confectionery fields, fava bean flour can be used as raw material for cakes with high protein quality and lower carbohydrate content compared to the commercial reference of gluten-free cakes; therefore, it is possible to suggest fava bean flour as an excellent alternative to the public with restrictions to gluten and also to the supporters of a healthier diet not only because of its excellent role as a substitute for gluten, but also for the content of proteins, fibers, vitamins, and other important components of functional food.

Specific volume

The volume of the cake is related to the harmonization of processes such as: the amount of air retained during the mixing process, CO₂ formed by the action of baking powder, water vapor produced during cooking, distribution of bubble size, heating rate, and thermal changes of the structure due to protein denaturation and gelatinization of the starch.⁴⁴

Table 4 Effect of hydrocolloids on the specific volume of gluten-free cakes

	Specific volume (mL g ⁻¹)
C	2.74 ± 0.26^{ab}
G-05	2.68 ± 0.186^b
G-1	2.76 ± 0.16^{ab}
GX	2.67 ± 0.15^b
X-05	2.69 ± 0.18^b
X-1	2.51 ± 0.58^b
CR	3.19 ± 0.42^a

Control formulation-C (100% fava bean flour-FF); G05 (99.5% fava bean flour-FF + 0.5% galactomannan-G); G1 (99% fava bean flour-FF + 1% galactomannan-G); GX (99% fava bean flour-FF + 0.5% galactomannan-G + 0.5% xanthan gum-X); X05 (99.5% fava bean flour-FF + 0.5% xanthan gum-X); X1 (99% fava bean flour-FF + 1% xanthan gum-X) and CR (commercial reference). Different superscript letters indicate statistical differences according to Tukey's test ($p < 0.05$).

According to the results presented in Table 4, the hydrocolloids did not influence the specific volume of the cakes based on fava beans ($p > 0.05$). However, formulations C and G1 also had specific volumes similar to CR.

Sahi and Alava⁴⁵ emphasized that the final volume of cakes depends not only on the initial air incorporated in the batter, but also on their ability to retain air during cooking. These authors also reported that the speed of formation of air bubbles in the batter is one of the factors responsible for their incorporation. As observed in the results of Table 2 and Fig. 1, CR presented the lowest air incorporation in the cake batter; however, the manufacturer's recommended beating mode, the batter ingredients and the emulsifier composition of this formulation justify its high value of specific volume. Similar results were observed by Sowmya *et al.*,⁴⁰ who evaluated the effect of fat replacement by sesame oil, hydrocolloids (xanthan and HPMC), and emulsifiers (glycerol monostearate and sodium stearoyl-2-lactylate); the results demonstrated that the action of the emulsifiers increased significantly the volume of the cakes ($p < 0.05$); contrarily, the hydrocolloids did not follow the same pattern.

The synthetic emulsifiers commonly used in the bakery and confectionery industries may increase permeability, favoring the incidence of allergic and autoimmune diseases, and may exacerbate intestinal problems of celiac patients.⁴⁶ The results obtained for gluten-free cakes based on fava beans show that they may become an excellent alternative for celiacs or people with gluten restrictions, since their formulations do not have synthetic emulsifiers.

Texture analysis profile

The analysis of the texture profile (firmness, springiness, cohesiveness, and chewiness) of the cakes, on the 1st and 4th days of storage, is presented in Table 5. In relation to the firmness, it can be observed that CR presented the lowest values when compared to the other formulations; it is important to note that only X05 presented a higher value of firmness ($p < 0.05$).

Table 5 Texture analysis profile of gluten-free cakes during storage days

	Firmness (N)		Springiness		Cohesiveness		Chewiness (N)	
	1 ^o DIA	4 ^o DIA	1 ^o DIA	4 ^o DIA	1 ^o DIA	4 ^o DIA	1 ^o DIA	4 ^o DIA
C	3.86 ± 0.27 ^{bb}	4.90 ± 0.67 ^{ba}	0.62 ± 0.04 ^{ba}	0.59 ± 0.04 ^{ba}	0.24 ± 0.02 ^{ca}	0.26 ± 0.04 ^{ba}	0.58 ± 0.09 ^{bb}	0.77 ± 0.19 ^{abA}
G05	3.66 ± 0.43 ^{bb}	4.96 ± 1.38 ^{ba}	0.60 ± 0.03 ^{ba}	0.56 ± 0.12 ^{ba}	0.26 ± 0.02 ^{bcA}	0.30 ± 0.18 ^{bb}	0.66 ± 0.11 ^{abA}	0.86 ± 0.46 ^{abA}
G1	3.91 ± 0.54 ^{ba}	4.05 ± 0.35 ^{ba}	0.62 ± 0.02 ^{ba}	0.60 ± 0.02 ^{ba}	0.30 ± 0.03 ^{bcA}	0.27 ± 0.00 ^{bb}	0.73 ± 0.11 ^{abA}	0.66 ± 0.05 ^{ba}
GX	3.58 ± 0.30 ^{bb}	5.10 ± 0.58 ^{ba}	0.62 ± 0.04 ^{ba}	0.62 ± 0.02 ^{ba}	0.29 ± 0.27 ^{bcA}	0.28 ± 0.01 ^{ba}	0.66 ± 0.09 ^{abB}	0.90 ± 0.16 ^{abA}
X05	4.54 ± 0.43 ^{aA}	4.75 ± 0.65 ^{ba}	0.60 ± 0.09 ^{ba}	0.61 ± 0.02 ^{ba}	0.34 ± 0.14 ^{ba}	0.27 ± 0.02 ^{ba}	0.83 ± 0.15 ^{aA}	0.88 ± 0.09 ^{abA}
X1	4.16 ± 0.54 ^{abB}	6.38 ± 0.87 ^{aA}	0.62 ± 0.02 ^{ba}	0.61 ± 0.01 ^{ba}	0.27 ± 0.03 ^{bcA}	0.26 ± 0.01 ^{ba}	0.69 ± 0.08 ^{abB}	1.03 ± 0.17 ^{aA}
CR	1.49 ± 0.18 ^{cB}	2.79 ± 0.30 ^{cA}	0.85 ± 0.02 ^{aA}	0.84 ± 0.03 ^{aA}	0.58 ± 0.02 ^{aA}	0.44 ± 0.04 ^{abB}	0.73 ± 0.08 ^{abB}	1.02 ± 0.14 ^{aA}

Control formulation-C (100% fava bean flour-FF); G05 (99.5% fava bean flour-FF + 0.5% galactomannan-G); G1 (99% fava bean flour-FF + 1% galactomannan-G); GX (99% fava bean flour-FF + 0.5% galactomannan-G + 0.5% xanthan gum-X); X05 (99.5% fava bean flour-FF + 0.5% xanthan gum-X); X1 (99% fava bean flour-FF + 1% xanthan gum-X) and CR (commercial reference). The means followed by the same uppercase and lowercase letters in column lines do not differ statistically between themselves according to Tukey's test ($p < 0.05$).

when compared to the treated formulations. Therefore, cakes with 0.5% xanthan gum hardened more rapidly. Regarding the comparison between the 1st and 4th storage days for each formulation, G1 and X05 did not differ significantly; all other formulations had higher values ($p < 0.05$) on the 4th day of storage, with CR having the highest percentage of firmness increase (43%).

The total or partial replacement of flour from other legumes or their protein isolates also increased or did not influence the firmness of the cakes, even with the incorporation or not of hydrocolloids used to improve such characteristics.^{19,21,22}

Fresh and aerated cakes are associated with the freshness and aeration quality of the product, as well as high springiness values.⁴⁷ The cakes based on the fava bean flour had lower values of springiness than the CR formulation. The presence and concentration of the hydrocolloids during the storage period did not interfere with this texture feature. The springiness of the batter is related to the cohesiveness and firmness, therefore, the more soft and cohesive the batter, the better the recovery after compression.⁴⁸ The elaboration of gluten-free products is a great challenge because gluten is associated with extension and springiness of the batter, retaining the air and giving volume to the products. However, the higher fiber content of the cakes based on fava beans may have influenced the lower springiness and cohesiveness on the cakes, as already reported in the scientific literature.^{18,49,50}

The cohesiveness is related to the energy required for the second compression. Among the formulations based on fava beans, only X05 presented values higher than C ($p < 0.05$). However, all formulations had significantly less cohesiveness compared to CR, suggesting that lower compression energy is required for these samples, this characteristic being easily visualized by their disintegration during the compression, as confirmed by Sanz *et al.*⁴⁷

In general, 0.5% concentration xanthan significantly interfered with this sensorial characteristic, increasing the firmness and chewiness of the cakes, making chewing them difficult,

while galactomannan did not influence the characteristics of the texture profile.

Color of the crusts and the crumb

The colors of the crusts of the cakes with the fava bean flour presented higher values ($p < 0.05$) in all evaluated parameters (L^* , a^* and b^*) when compared to CR, indicating that the crusts of the cakes produced with the fava beans flour were lighter (L^*) and reddish (a^*) (Table 6). The addition of the hydrocolloids xanthan, guar gum, HPMC and carrageenan into the waxy rice cake also increased the luminosity values, but the authors observed a decrease in the values of a^* .³⁵ However, guar gum and mucilage of basil seed in muffins had a positive influence on light reflection, the increase in brightness and the a^* value of the cake crust.⁵¹

The higher protein percentage of cakes with fava beans may have influenced the color of the crust, since the main factors involved in the development of the color of the crust are caramelization of sugars and Maillard reaction, which involves the interaction of reducing sugars with proteins, producing brownish-red hues at higher temperatures. These characteristics correlate with the results of Shevkani and Singh,¹⁹ where the incorporation of different protein isolates of beans, peas and amaranth significantly increased the redness of the crust of gluten-free muffins.

The luminosity of the crumb of the bean-based cakes did not differ ($p > 0.05$) from the CR formulation, while a^* and b^* presented higher values, suggesting that the fava beans flour makes the crumbs more yellowish. These results were expected due to the characteristic color of the fava bean flour (slightly yellowish), as well as the interaction with the other ingredients. The value of a^* of CR was negative, with a tendency to greenish tone; a similar situation was observed by Matos *et al.*¹⁸ when adding isolated soy protein into muffins based on rice flour.

In relation to the total color difference (ΔE), resulting from the three components L^* , a^* , b^* , all formulations, both bean-bean and CR, presented $\Delta E^* > 3$ for the crust and kernel, indicating that there was a total difference in color noticeable by

Table 6 Color of the crust and core of the gluten-free cakes

	Crust				Crumb			
	<i>L*</i>	<i>a*</i>	<i>b*</i>	ΔE	<i>L*</i>	<i>a*</i>	<i>b*</i>	ΔE
C	53.71 ± 0.78 ^c	26.27 ± 0.81 ^a	28.28 ± 0.94 ^a	25.92 ± 0.60 ^a	73.33 ± 1.40 ^a	2.36 ± 0.23 ^a	28.83 ± 0.45 ^b	16.69 ± 1.15 ^a
G05	53.33 ± 0.98 ^c	25.58 ± 1.04 ^a	27.72 ± 1.07 ^a	25.20 ± 1.13 ^a	75.02 ± 0.74 ^a	2.29 ± 0.10 ^a	28.04 ± 0.27 ^{ab}	17.76 ± 1.21 ^a
G1	56.23 ± 0.89 ^a	26.28 ± 0.92 ^a	27.45 ± 0.92 ^a	25.43 ± 0.73 ^a	73.66 ± 0.98 ^a	2.51 ± 0.27 ^a	27.92 ± 0.35 ^{ab}	16.51 ± 0.45 ^a
GX	55.31 ± 0.70 ^{ab}	26.02 ± 0.68 ^a	28.83 ± 0.98 ^a	25.56 ± 0.63 ^a	74.07 ± 0.94 ^a	2.35 ± 0.17 ^a	27.65 ± 0.52 ^a	16.85 ± 1.79 ^a
X05	53.52 ± 0.93 ^c	25.94 ± 0.92 ^a	27.61 ± 0.98 ^a	25.5 ± 1.12 ^a	74.12 ± 1.15 ^a	2.34 ± 0.32 ^a	27.88 ± 0.55 ^{ab}	16.99 ± 0.78 ^a
X1	54.30 ± 0.90 ^{bc}	25.98 ± 0.56 ^a	28.42 ± 0.89 ^a	25.58 ± 0.57 ^a	73.19 ± 1.04 ^a	2.53 ± 0.42 ^a	27.99 ± 0.29 ^{ab}	16.07 ± 1.81 ^a
CR	51.53 ± 0.84 ^d	17.09 ± 0.88 ^b	23.92 ± 0.98 ^b	17.22 ± 0.64 ^b	73.33 ± 0.74 ^a	− 0.23 ± 0.40 ^b	18.60 ± 0.92 ^c	17.70 ± 1.54 ^a

Control formulation-C (100% fava bean flour-FF); G05 (99.5% fava bean flour-FF + 0.5% galactomannan-G); G1 (99% fava bean flour-FF + 1% galactomannan-G); GX (99% fava bean flour-FF + 0.5% galactomannan-G + 0.5% xanthan gum-X); X05 (99.5% fava bean flour-FF + 0.5% xanthan gum-X); X1 (99% fava bean flour-FF + 1% xanthan gum-X) and CR (commercial reference). Different superscript letters indicate statistical differences according to Tukey's test ($p < 0.05$).

the human eye.²⁶ Furthermore, it is possible to observe that the values of ΔE^* were significantly higher only for the crust of the fava bean flour-based formulations when compared to CR.

Sensory analysis

For the preference ordering test (data not shown), formulations G05 and G1 presented a significant difference between them ($p < 0.05$), emphasizing that the effect of 0.5% of galactomannan on the fava bean-based cakes was perceptible to the evaluators. Therefore, to perform the acceptance test, the formulations that had the highest preference index (G1 and X05) were selected, in addition to C and CR.

The sensory evaluation scores for overall impression, color, aroma, texture, and flavor are shown in Fig. 2. Fava bean-based cakes, when compared to CR, were the most accepted by the evaluators with similar attributes; the scores ranged from 7.1 to 7.62, that is, moderately enjoyed in the hedonic scale. Lower values ($p < 0.05$) were observed for CR, which received a score between 6.37 and 6.87 for all the parameters. Therefore, hydrocolloids did not influence the sensory characteristics of the fava bean-based cakes, with these having a better acceptability than the commercial reference (CR).

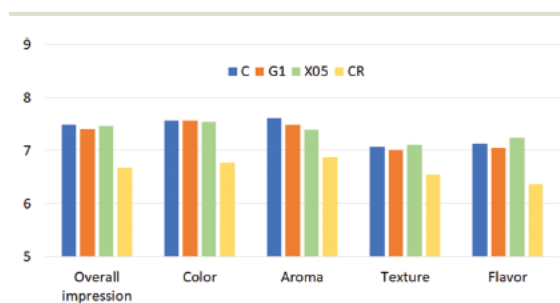


Fig. 2 Sensory evaluation of cakes. Control formulation-C (100% fava bean flour-FF); G1 (99% fava bean flour-FF + 1% galactomannan-G); X05 (99.5% fava bean flour-FF + 0.5% xanthan gum-X) and CR (commercial reference). Columns with different heights indicate differences between treatments.

The samples prepared with fava beans received comments like “taste and texture similar to corn cake”, while CR received private comments by some evaluators, as an odorless or neutral flavor similar to straw or manioc flour.

Conclusions

Fava bean-based cakes, with or without the incorporated hydrocolloids, presented higher levels of moisture, lipids, ashes, and source of proteins; in addition, they were more luminous, with a yellow tendency, than the commercial reference. Regarding the texture profile, xanthan gum increased the firmness and chewiness of the cakes. It is also important to highlight that, in addition to the characteristics already mentioned, independent of having been made with or without added hydrocolloids, cakes with fava beans had less carbohydrate content and good sensory acceptability when compared to the commercial reference. Such characteristics provide numerous health benefits and could be considered an excellent alternative for the public with restrictions to gluten and to a healthier diet. Even more, acting as a functional food, the fava bean presents the ability to modulate positively some body functions, reducing the risk of diseases and promoting health benefits and a higher quality of life.

Ethical statement

The authors declare that all of the studies involving live subjects were developed in accordance with relevant laws or guidelines and all of the experiments followed institutional guidelines. This work was approved by “Comitê de ética em pesquisa envolvendo seres humanos (CEP) – Plataforma Brasil”, Certificate of Presentation for Ethical Consensus – CAAE proc. no. 61527416.0.0000.5208, Opinion no. 1884580.

For the accomplishment of this study, all of the evaluators were oriented about the evaluated products. They also received, signed and retained in possession a copy of the Free and Informed Consent Form containing information about

the ingredients, processes, possible risks and benefits associated with the products used in the study.

Conflicts of interest

The authors declare that they have no conflict of interest.

Acknowledgements

The authors acknowledge the Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) for the financial support. MGCC expresses her gratitude to the CNPq for research grants and fellowships.

References

- 1 Abimapi. *Pesquisa revela as principais tendências de consumo do alimento*, 2017, Available from: <https://www.abimapi.com.br/release-detalle.php?i=MjU5MA>.
- 2 A. Sapone, J. C. Bai, C. Ciacci, J. Dolinsek, P. H. Green, M. Hadjivassiliou and R. Ullrich, Spectrum of gluten-related disorders: consensus on new nomenclature and classification, *BMC Med.*, 2012, 10, 13.
- 3 J. Bajerska, C. M. Rosell and A. F. El Sheikha, *Bread and its fortification: nutrition and health benefits*, CRC Press, 2015.
- 4 Codex Alimentarius Commission, *Codex standard for foods for special dietary use for persons intolerant to gluten*, Codex Standard118-1979, 2008.
- 5 G. Sumnu, F. Koksel, S. Sahin, A. Basman and V. Meda, The effects of xanthan and guar gums on staling of gluten-free rice cakes baked in different ovens, *Int. J. Food Sci. Technol.*, 2010, 45, 87–93.
- 6 L. S. Sciarini, P. D. Ribotta, A. E. Leon and G. T. Pérez, Incorporation of several additives into gluten free breads: Effect on dough properties and bread quality, *J. Food Eng.*, 2012, 111, 590–597.
- 7 J. P. Singh, A. Kaur, K. Shevkani and N. Singh, Influence of jambolan (*Syzygium cumini*) and xanthan gum incorporation on the physicochemical, antioxidant and sensory properties of gluten-free eggless rice muffins, *Int. J. Food Sci. Technol.*, 2015, 50, 1190–1197.
- 8 J. P. Singh, A. Kaur and N. Singh, Development of eggless gluten-free rice muffins utilizing black carrot dietary fibre concentrate and xanthan gum, *J. Food Sci. Technol.*, 2016, 53, 1269–1278.
- 9 P. Itthivadhanapong and A. Sangnark, Effects of substitution of black glutinous rice flour for wheat flour on batter and cake properties, *Int. Food Res. J.*, 2016, 23, 1190–1198.
- 10 M. Majzoobi, Z. P. Vosooghi, G. Mesbahi, J. Jamalian and A. Farahnaky, Effects of carrot pomace powder and a mixture of pectin and xanthan on the quality of gluten-free batter and cakes, *J. Texture Stud.*, 2017, 48, 616–623.
- 11 J. L. Mau, C. C. Lee, Y. P. Chen and S. D. Lin, Physicochemical, antioxidant and sensory characteristics of chiffon cake prepared with black rice as replacement for wheat flour, *LWT–Food Sci. Technol.*, 2017, 75, 434–439.
- 12 P. B. S. Albuquerque, W. Barros Jr., G. R. Santos, M. T. S. Correia, P. A. Mourão, J. A. Teixeira and M. G. Carneiro-da-Cunha, Characterization and rheological study of the galactomannan extracted from seeds of *Cassia grandis*, *Carbohydr. Polym.*, 2014, 104, 127–134.
- 13 F. J. E. T. Andrade, P. S. Albuquerque, J. R. Seixas, G. S. Feitosa, W. Barros Júnior, A. A. Vicente and M. G. Carneiro-da-Cunha, Influence of *Cassia grandis* galactomannan on the properties of sponge cakes: a substitute for fat, *Food Funct.*, 2018, 9, 2456–2468.
- 14 P. Fitzpatrick, J. Meadows, I. Ratcliffe and P. A. Williams, Control of the properties of xanthan/glucomannan mixed gels by varying xanthan fine structure, *Carbohydr. Polym.*, 2013, 92, 1018–1025.
- 15 FAO, *Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura. 2016-Ano Internacional das leguminosas*, 2016, Available from: http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/faoweb/BenefC3ADcios_da_Leguminosas_para_a_saC3BAde.pdf.
- 16 SNA – Sociedade Nacional da Agricultura, *Produção e consumo nacional de feijão*, 2017, Available from: <http://www.sna.agr.br/producao-e-consumo-nacional-de-feijao-continuum-os-mesmos-ha-mais-de-10-anos/>.
- 17 F. Ronda, B. Oliete, M. Gómez, P. A. Caballero and V. Pando, Rheological study of layer cake batters made with soybean protein isolate and different starch sources, *J. Food Eng.*, 2011, 102, 272–277.
- 18 M. E. Matos, T. Sanz and C. M. Rosell, Establishing the function of proteins on the rheological and quality properties of rice based gluten free muffins, *Food Hydrocolloids*, 2014, 35, 150–158.
- 19 K. Shevkani and N. Singh, Influence of kidney bean, field pea and amaranth protein isolates on the characteristics of starch-based gluten-free muffins, *Int. J. Food Sci. Technol.*, 2014, 49, 2237–2244.
- 20 L. Campbell, S. R. Euston and M. A. Ahmed, Effect of addition of thermally modified cowpea protein on sensory acceptability and textural properties of wheat bread and sponge cake, *Food Chem.*, 2016, 194, 1230–1237.
- 21 N. Dhen, L. Román, I. B. Rejeb, M. M. Martínez, M. Garogouri and M. Gómez, Particle size distribution of soy flour affecting the quality of enriched gluten-free cakes, *LWT–Food Sci. Technol.*, 2016, 66, 179–185.
- 22 B. Herranz, W. Canet, M. J. Jiménez, R. Fuentes and M. D. Alvarez, Characterisation of chickpea flour-based gluten-free batters and muffins with added biopolymers: Rheological, physical and sensory properties, *Int. J. Food Sci. Technol.*, 2016, 51, 1087–1098.
- 23 R. Coda, J. Varis, M. Verni, C. G. Rizzello and K. Katina, Improvement of the protein quality of wheat bread through faba bean sourdough addition, *LWT–Food Sci. Technol.*, 2017, 82, 296–302.

- 24 AACC, *Approved methods of American association of cereal chemists*, American Association of Cereal Chemists, St Paul, USA. International. Approved methods of analysis. St Paul: Approved Methods Committee, 2010, Available at: <http://methods.aaccnet.org/>.
- 25 AOAC, *Official Methods of Analysis*, Association of Official Analytical Chemists, Arlington, 15th edn, 1990.
- 26 F. J. Francis and F. M. Clydesdale, *Food colorimetry: theory and applications*, The Avi, Westport, Connecticut, USA, 1975.
- 27 M. Bodart, R. De Peñaranda, A. Deneyer and G. Flamant, Photometry and colorimetry characterisation of materials in daylighting evaluation tools, *Build Environ.*, 2008, 43, 2046–2058.
- 28 ISO 8587, *Analyse sensorielle - Méthodologie - Classement par rangs*, In *Analyse Sensorielle*, Recueil, Normes, Agroalimentaire, 2006, AFNOR.
- 29 M. C. Meilgaard, B. T. Carr and G. V. Civille, *Sensory evaluation techniques*, CRC Press, New York, NY, 4th edn, 2007.
- 30 S. D. Dutcosky, *Análise sensorial de alimentos*, Champagnat, Curitiba, 4^a edn, 2013.
- 31 U. Krupa, C. M. Rosell, J. Sadowska and M. Soral-Smietana, Bean starch as ingredient for gluten free bread, *J. Food Process. Preserv.*, 2010, 34, 501–518.
- 32 A. Aydogdu, G. Sumnu and S. Sahin, Effects of addition of different fibers on rheological characteristics of cake batter and quality of cakes, *J. Food Sci. Technol.*, 2018, 55, 667–677.
- 33 O. R. Fennema, S. Damodaran and K. L. Parkin, *Química de Alimentos de Fennema*, Artmed, 4^a edn, 2010.
- 34 J. T. Martins, M. A. Cerqueira, A. I. Bourbon, A. C. Pinheiro, B. W. S. Souza and A. A. Vicente, Synergistic effects between k-carrageenan and locust bean gum on physico-chemical properties of edible films made thereof, *Food Hydrocolloids*, 2012, 29, 280–289.
- 35 P. Itthivadhanapong, S. Jantathai and G. Schleining, Improvement of physical properties of gluten-free steamed cake based on black waxy rice flour using different hydrocolloids, *J. Food Sci. Technol.*, 2016, 53, 2733–2741.
- 36 E. Berk, S. G. Şumnu and S. Şahin, Effects of hydrocolloids and carob bean flour on rheological properties of batter and cake quality, *J. Food*, 2017, 42, 754–762.
- 37 C. Jia, W. Huang, L. Ji, L. Zhang, N. Li and Y. Li, Improvement of hydrocolloid characteristics added to angel food cake by modifying the thermal and physical properties of frozen batter, *Food Hydrocolloids*, 2014, 41, 227–232.
- 38 K. Marston, H. Khouryieh and F. Aramouni, Effect of heat treatment of sorghum flour on the functional properties of gluten-free bread and cake, *LWT-Food Sci. Technol.*, 2016, 65, 637–644.
- 39 T. A. Shittu, R. A. Aminu and E. O. Abulude, Functional effects of xanthan gum on composite cassava-wheat dough and bread, *Food Hydrocolloids*, 2009, 23, 2254–2260.
- 40 M. Sowmya, T. Jeyarani, R. Jyotsna and D. Indrani, Effect of replacement of fat with sesame oil and additives on rheological, microstructural, quality characteristics and fatty acid profile of cakes, *Food Hydrocolloids*, 2009, 23, 1827–1836.
- 41 M. E. Matos and C. M. Rosell, Understanding gluten-free dough for reaching breads with physical quality and nutritional balance, *J. Sci. Food Agric.*, 2015, 95, 653–661.
- 42 A. Nawab, F. Alam and A. Hasnain, Functional properties of cowpea (*Vigna unguiculata*) starch as modified by guar, pectin, and xanthan gums, *Starch/Stärke*, 2014, 66, 832–840.
- 43 K. T. Seidu, O. F. Osundahunsi, M. T. Olaleye and I. B. Oluwalana, Amino acid composition, mineral contents and protein solubility of some lima bean (*Phaseolus lunatus* L. Walp) seeds coat, *Food Res. Int.*, 2015, 73, 130–134.
- 44 X. Yang and E. A. Foegeding, Effects of sucrose on egg white protein and whey protein isolate foams: factors determining properties of wet and dry foams (cakes), *Food Hydrocolloids*, 2010, 24, 227–238.
- 45 S. S. Sahi and J. M. Alava, Functionality of emulsifiers in sponge cake production, *J. Sci. Food Agric.*, 2003, 83, 1419–1429.
- 46 K. F. Csáki, Synthetic surfactant food additives can cause intestinal barrier dysfunction, *Med. Hypotheses*, 2011, 76, 676–681.
- 47 T. Sanz, A. Salvador, R. Baixauli and S. M. Fiszman, Evaluation of four types of resistant starch in muffins. II. Effects in texture, colour and consumer response, *Eur. Food Res. Technol.*, 2009, 229, 197–204.
- 48 C. Marco and C. M. Rosell, Functional and rheological properties of protein enriched gluten free composite flours, *J. Food Eng.*, 2008, 88, 94–103.
- 49 M. Gomez, E. Ruiz-Paris, B. Oliete and V. Pando, Modeling of texture evolution of cakes during storage, *J. Texture Stud.*, 2010, 41, 17–33.
- 50 M. A. Gularte, E. de la Hera, M. Gómez and C. M. Rosell, Effect of different fibers on batter and gluten-free layer cake properties, *LWT-Food Sci. Technol.*, 2012, 48, 209–214.
- 51 M. Bazrafshan, M. Shafafizenoozian and M. Moghimi, Effect of soy protein isolate, guar gum and Ocimum basilicum seed powder as replacers of fat on porosity, color and texture of muffin cake, *Bull. Environ., Pharmacol. Life Sci.*, 2015, 4, 23–29.

5 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos, é possível concluir que:

- 1,0% da galactomanana extraída das sementes de *C. grandis* substituiu 75% de gordura em bolos esponja, representando características de comportamento reológico, microestrutura de superfície e aceitação sensorial semelhantes à formulação controle;
- A substituição total da gordura por 1,0% de galactomanana aumentou o tamanho das bolhas de ar, ocasionando maior volume específico do bolo;
- Nos bolos sem glúten à base da farinha de feijão-fava, os hidrocolóides elevaram viscosidade, gravidade específica e incorporação de ar nas massas;
- Os hidrocolóides, galactomanana e xantana, aumentaram a viscosidade, a gravidade específica e a incorporação de ar nas massas dos bolos à base de feijão fava, e não interferiram na coloração dos bolos após o cozimento;
- Dentre os hidrocolóides avaliados a galactomanana manteve a qualidade tecnológica e a xantana interferiu negativamente, aumentando a firmeza e a mastigabilidade dos bolos;
- Resumidamente, os bolos à base de feijão-fava tiveram melhor aceitação sensorial, com ou sem a presença dos hidrocolóides, e apresentaram maiores teores de umidade, proteínas, lipídios e cinzas quando comparados à formulação comercial, apresentando-se como uma excelente alternativa ao público com restrições ao glúten e adeptos a uma alimentação mais saudável.

Finalmente, a galactomanana extraída das sementes de *C. grandis* é promissora para ser utilizada como substituto de gordura em bolos esponja, podendo ser considerado como um aditivo nutracêutico. Em relação aos bolos sem glúten à base de feijão-fava, a galactomanana apresentou melhores características de textura quando comparada com a incorporação de goma xantana.

REFERÊNCIAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. Análise sensorial de alimentos e bebidas – **NBR 12806**. Rio de Janeiro: ABNT, 8p, 1993.
- AGARKAR, S. V.; JADGE, D. R. Phytochemical and pharmacological investigations of genus *Cassia*: a review. **Asian journal of chemistry**, v. 11, n. 2, p. 259, 1999.
- AHMAD, N.; HASSAN, N. H.; YUSOFF, A. Effects of xanthan gum and HPMC on the structure of sponge cakes. **Jurnal Teknologi**, v. 78, n. 6-5, p. 123-128, 2016.
- ALBUQUERQUE, P. B.; BARROS JR, W.; SANTOS, G. R.; CORREIA, M. T.; MOURÃO, P. A.; TEIXEIRA, J. A.; CARNEIRO-DA-CUNHA, M. G. Characterization and rheological study of the galactomannan extracted from seeds of *Cassia grandis*. **Carbohydrate polymers**, v. 104, p. 127-134, 2014.
- ALBUQUERQUE, P. B.; CERQUEIRA, M. A.; VICENTE, A. A.; TEIXEIRA, J. A.; CARNEIRO-DA-CUNHA, M. G. Immobilization of bioactive compounds in *Cassia grandis* galactomannan-based films: Influence on physicochemical properties. **Internationa IJournal of Biological Macromolecules**, v. 96, p. 727-735, 2017.
- ALBUQUERQUE, P. B.; COELHO, L. C.; CORREIA, M. T.; TEIXEIRA, J. A.; CARNEIRO-DA-CUNHA, M. G. Biotechnological Applications of Galactomannan Matrices: Emphasis on Immobilization of Biomolecules. **Advances in Research**, v.6, n. 5, p.1-17, 2016.
- ALVAREZ, M. D.; CUESTA, F. J.; HERRANZ, B.; CANET, W. Rheometric Non-Isothermal Gelatinization Kinetics of Chickpea Flour-Based Gluten-Free Muffin Batters with Added Biopolymers. **Foods**, v. 6, n. 1, p. 3, 2017.
- ANGIOLONI, A.; COLLAR, C. High legume-wheat matrices: an alternative to promote bread nutritional value meeting dough viscoelastic restrictions. **European Food Research and Technology**, v. 234, n. 2, p. 273-284, 2012.
- ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária. RDC nº 263, de 22 de setembro de 2005. Aprova o "Regulamento Técnico Para Produtos De Cereais, Amidos, Farinhas e Farelos". Disponível em: <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa>. Acessado em: 02 fev 2017.
- ASHWINI, A.; JYOTSNA, R.; INDRANI, D. Effect of hydrocolloids and emulsifiers on the rheological, microstructural and quality characteristics of eggless cake. **Food Hydrocolloids**, v. 23, n. 3, p. 700-707, 2009.
- ASIF, M.; ROONEY, L.W.; ALI, R.; RIAZ, M.N. Application and opportunities of pulses in food system: a review. **Critical reviews in food science and nutrition**, v. 53, n. 11, p. 1168-1179, 2013.
- AYALA-SOTO, F. E.; SERNA-SALDÍVAR, S. O.; WELTI-CHANES, J. Effect of arabinoxylans and laccase on batter rheology and quality of yeast-leavened gluten-free breads. **Journal of Cereal Science**, v. 73, p. 10-17, 2017.

- AYO, R. G.; AMUPITAN, J. O.; ZHAO, Y. Cytotoxicity and antimicrobial studies of 1, 6, 8-trihydroxy-3-methyl-anthraquinone (emodin) isolated from the leaves of *Cassia nigricans* Vahl. **African Journal of Biotechnology**, v. 6, n. 11, 2007.
- BARCENILLA, B.; ROMÁN, L.; MARTÍNEZ, C.; MARTÍNEZ, M. M.; GÓMEZ, M. Effect of high pressure processing on batters and cakes properties. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 33, p. 94-99, 2016.
- BATISTA, K. A.; PRUDÊNCIO, S. H.; FERNANDES, K. F. Changes in the functional properties and antinutritional factors of extruded hard-to-cook common beans (*Phaseolus vulgaris*, L.). **Journal of food science**, v. 75, n. 3, p. C286-C290, 2010.
- BAZRAFSHAN, M.; SHAFAFIZENOOZIAN, M.; MOGHIMI, M. Effect of soy protein isolate, guar gum and *Ocimum basilicum* seed powder as replacers of fat on porosity, color and texture of muffin cake. **Bulltein Environment Pharmacology and Life Science**, v. 4, p. 23-29, 2015.
- BEDOYA-PERALES, N. S.; STEEL, C. J. Effect of the concentrations of maltogenic- α -amylase and fat on the technological and sensory quality of cakes. **Food Science and Technology (Campinas)**, v. 34, n. 4, p. 760-766, 2014.
- BENASSI, V. T.; WATANABE, E.; LOBO, A. R. Produtos de panificação com conteúdo calórico reduzido. B. **Ceppa**, v. 19, n. 129, Curitiba, p. 222-242, 2001.
- BENT, A. J.; BENNION, E. B.; BAMFORD, G. S. T. **The technology of cake making**. Springer Science & Business Media, 2013.
- BERK, E.; ŞUMNU, S. G.; ŞAHİN, S. Effects of hydrocolloids and carob bean flour on rheological properties of batter and cake quality. **GIDA/The Journal of Food**, v. 42, n. 6, 2017.
- BORGES, J. T. D. S.; PIROZI, M. R.; DELLA LUCIA, S. M.; PEREIRA, P. C.; MORAES, A. R. F. E.; CASTRO, V. C. Utilização de farinha mista de aveia e trigo na elaboração e bolos. B. **Ceppa**, v. 24, n.1, Curitiba, p. 145-162, 2006.
- BORNEO, R.; AGUIRRE, A.; LEÓN, A. E. Chia (*Salvia hispanica* L) gel can be used as egg or oil replacer in cake formulations. **Journal of the American Dietetic Association**, v. 110, n. 6, p. 946-949, 2010.
- BOURNE, M. **Food texture and viscosity: concept and measurement**. Academic press, 2002.
- BRASIL, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 8, de 02 de junho de 2005. **Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade da Farinha de Trigo**. Disponível em: <http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis>. Acessado em: 02 de fev 2017.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Guia Alimentar para a População Brasileira: promovendo a alimentação saudável. Brasília - DF: Ministério da Saúde: 210 p. 2008. Disponível em: http://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/guia_alimentar_populacao_brasileira2008.pdf. Acessado em: 02 fev 2017.

BUCKERIDGE, M. S. Seed cell wall storage polysaccharides: models to understand cell wall biosynthesis and degradation. **Plant Physiology**, v. 154, n. 3, p. 1017-1023, 2010.

BURITI, F. C. A et al. Characterisation of partially hydrolysed galactomannan from *Caesalpinia pulcherrima* seeds as a potential dietary fibre. **Food Hydrocolloids**, v. 35, p. 512-521, 2014.

BUSCH, V. M.; KOLENDER, A. A.; SANTAGAPITA, P. R.; BUERA, M. P. Vinal gum, a galactomannan from *Prosopis ruscifolia* seeds: Physicochemical characterization. **Food Hydrocolloids**, v. 51, p. 495-502, 2015.

CANELLA-RAWLS, S. **Pão, Arte e Ciência**. 5ª Ed. São Paulo: Senac, 2012.

CARVALHO, P. E. R. Cassia-rosea: Taxonomia e nomenclatura. **Circular Técnica 117**. Embrapa, Colombo, PR: Embrapa Florestas, 2006.

CAUVAIN, S.: **Bread making: an overview**. In: Cauvain SP, editor. Bread making: Improving quality. Boca Raton: CRC Press. p. 8-26. 2003.

CAUVAIN, S.P.; YOUNG, L.S. **Bakery food manufacture and quality**: water control and effects. Malden: Blackwell Science Ltd., 209p, 2000.

CERQUEIRA, A; LIMA, A.M; SOUZA, B.W.S; TEIXEIRA, J.A; MOREIRA, R.; VICENTE, A.A. Functional polysaccharides as edible coatings for chesse. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**.v.57, n.4, p.1456-1462, 2009.

CERQUEIRA, M. A.; BOURBON, A. I.; PINHEIRO, A. C.; MARTINS, J. T.; SOUZA, B. W. S.; TEIXEIRA, J. A.; VICENTE, A. A. Galactomannans use in the development of edible films/coating for food applications. **Trends in Food Science and Technology**, 22, p. 662-671, 2011.

CERQUEIRA, M. A.; SOUSA-GALLAGHER, M. J.; MACEDO, I.; RODRIGUEZ-AGUILERA, R.; SOUZA, B. W.; TEIXEIRA, J. A.; VICENTE, A. A. Use of galactomannan edible coating application and storage temperature for prolonging shelf-life of “Regional” cheese. **Journal of Food Engineering**, 97, p. 87–94, 2010.

CERQUEIRA, M. A.; SOUZA, B. W.; TEIXEIRA, J. A.; VICENTE, A. A. Utilization of galactomannan from *Gleditsia triacanthos* in polysaccharide-based films: Effects of interactions between film constituents on film properties. **Food and bioprocess technology**, v. 6, n. 6, p. 1600-1608, 2013.

CHUNG, C.; MCCLEMENTS, D. J. Structure–function relationships in food emulsions: improving food quality and sensory perception. **Food Structure**, v. 1, n. 2, p. 106-126, 2014.

CHUNG, C.; OLSON, K.; DEGNER, B.; MCCLEMENTS, D. J. Textural properties of model food sauces: Correlation between simulated mastication and sensory evaluation methods. **Food research international**, v. 51, n. 1, p. 310-320, 2013.

CODA, R.; VARIS, J.; VERNI, M.; RIZZELLO, C. G.; KATINA, K. Improvement of the protein quality of wheat bread through faba bean sourdough addition. **LWT-Food Science and Technology**, v. 82, p. 296-302, 2017.

CODEX ALIMENTARIUS, Codex standard for foods for special dietary use for persons intolerant to gluten. **Codex stan**, p. 118-1979, 2008.

CONFORTI, F. D. Cake manufacture. **Bakery products: Science and technology**, v. 22, p. 393-410, 2006.

CONFORTI, F.D. Cake manufacture. In W. Zhou, & Y.H. Hui (Eds.), **Bakery Products Science and Technology**, v.32, p. 565–584, 2014.

CUMMINGS, J. H.; BRANCH, W.; JENKINS, D. J. A.; SOUTHGATE, D. A. T.;

HOUSTON, H.; JAMES, W. P. T. Colonic response to dietary fibre from carrot, cabbage, apple, bran, and guar gum. **The Lancet**, v. 311, n. 8054, p. 5-9, 1978.

DE ANDRADE, A. A.; RODRIGUES, M.; NASSU, R. T.; DE SOUZA NETO, M. A. Medidas instrumentais de cor e textura em queijo de coalho. In: **Embrapa Pecuária Sudeste-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: CONGRESSO LATINO

AMERICA DE ANALISTA DE ALIMENTOS, 15., 2007, Fortaleza. Anais... Fortaleza: LACEN, 2007., 2007.

DHEN, N.; ROMÁN, L.; REJEB, I. B.; MARTÍNEZ, M. M.; GAROGOURI, M.; GÓMEZ, M. Particle size distribution of soy flour affecting the quality of enriched gluten-free cakes. **LWT-Food Science and Technology**, v. 66, p. 179-185, 2016.
Dickinson, E. Hydrocolloids as emulsifiers and emulsion stabilizers. **Food hydrocolloids**, v. 23, n. 6, p. 1473-1482, 2009.

DONELSON, D. H., WILSON, J. T. Studies on the effect of flour-fraction interchange upon cake quality. **Cereal Chemistry**. v.37, n. 6, p. 683-710, 1960.

DUTCOSKY, S. D. **Análise sensorial de alimentos**. 4ed. Curitiba: Champagnat, p. 531, 2013.

ESLAVA-ZOMEÑO, C; QUILES, A; HERNANDO, I. Designing a Clean Label Sponge Cake with Reduced Fat Content. **Journal of Food Science**, v. 81, n. 10, 2016.

FAO. **Pulses: Nutritious Seeds for a Sustainable Future**. FAO; 2016

FARZI, M; SAFFARI, M. M; EMAM-DJOMEH, Z. Effects of sugar, starch and HPMC concentrations on textural properties of reduced-sugar sponge cakes. **Journal of Food Science and Technology**, v. 52, n. 1, p. 444-450, 2015.

FASANO, A.; SAPONE, A.; ZEVALLOS, V.; SCHUPPAN, D. Nonceliac gluten sensitivity. **Gastroenterology**, v. 148, n. 6, p. 1195-1204, 2015.

FELISBERTO, M. H. F.; WAHANIK, A. L.; GOMES-RUFFI, C. R.; CLERICI, M. T. P. S.; CHANG, Y. K.; STEEL, C. J. Use of chia (*Salvia hispanica* L.) mucilage gel to

reduce fat in pound cakes. **LWT-Food Science and Technology**, v. 63, n. 2, p. 1049-1055, 2015.

FERNANDES, S. S.; SALAS-MELLADO, M. L. Addition of chia seed mucilage for reduction of fat content in bread and cakes. **Food Chemistry**, v. 227, p. 237-244, 2017.

FOOD INGREDIENTS BRASIL: Panificação - Os Ingredientes enriquecedores. **Revista Food Ingredients Brasil**. Editora Insumos LTDA, São Paulo-SP. n. 10, p.24 - 2009.

GIMÉNEZ-ABIÁN, M. I.; BERNABÉ, M.; LEAL, J. A.; JIMÉNEZ-BARBERO, J.; PRIETO, A. Structure of a galctomannan isolated from the cell wall of the fungus *Lineolata rhizophorae*. **Carbohydrate research**., v. 342, p. 2599-2603, 2007.

GISSLEN, W. **Professional Cooking**. Hoboken: John Wiley & Sons, 2011.

GÓMEZ, M.; OLIETE, B.; GARCÍA-ÁLVAREZ, J.; RONDA, F.; SALAZAR, J. Characterization of cake batters by ultrasound measurements. **Journal of Food Engineering**, v. 89, n. 4, p. 408-413, 2008.

GÓMEZ, M.; RONDA, F.; CABALLERO, P. A.; BLANCO, C. A.; ROSELL, C. M. Functionality of different hydrocolloids on the quality and shelf-life of yellow layer cakes. **Food Hydrocolloids**, v. 21, n. 2, p. 167-173, 2007.

GOMEZ, M.; RUIZ-PARÍS, E. L. E. N. A.; OLIETE, B.; PANDO, V. Modeling of texture evolution of cakes during storage. **Journal of texture studies**, v. 41, n. 1, p. 17-33, 2010.

GUIMARÃES, R. R; FREITAS, M.C.J; SILVA, V.L.M. Bolos simples elaborados com farinha da entrecasca de melancia (*Citrullus vulgaris*, sobral): avaliação química, física e sensorial. **Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas**, v. 30, n. 2, p. 354-363, 2010.

GULARTE, M. A.; DE LA HERA, E.; GÓMEZ, M.; ROSELL, C. M. Effect of different fibers on batter and gluten-free layer cake properties. **LWT-Food science and technology**, v. 48, n. 2, p. 209-214, 2012.

HAGER, A. S; ARENDT, E. K. Influence of hydroxypropylmethylcellulose (HPMC), xanthan gum and their combination on loaf specific volume, crumb hardness and crumb grain characteristics of gluten-free breads based on rice, maize, teff and buckwheat. **Food Hydrocolloids**, v. 32, n. 1, p. 195-203, 2013.

HAO, Y.; WANG, F.; HUANG, W.; TANG, X.; ZOU, Q.; LI, Z.; OGAWA, A. Sucrose substitution by polyols in sponge cake and their effects on the foaming and thermal properties of egg protein. **Food Hydrocolloids**, v. 57, p. 153-159, 2016.

HAYAKAWA, F.; KAZAMI, Y.; ISHIHARA, S.; NAKAO, S.; NAKAUMA, M.; FUNAMI, T.; ... KOHYAMA, K. Characterization of eating difficulty by sensory evaluation of hydrocolloid gels. **Food Hydrocolloids**, v. 38, p. 95-103, 2014.

HERNÁNDEZ-CASTRO, C.; DIAZ-CASTILLO, F.; MARTÍNEZ-GUTIERREZ, M. Ethanol extracts of *Cassia grandis* and *Tabernaemontana cymosa* inhibit the in vitro replication of dengue virus serotype 2. **Asian Pacific Journal of Tropical Disease**, v. 5, n. 2, p. 98-106, 2015.

HERRANZ, B.; CANET, W.; JIMÉNEZ, M. J.; FUENTES, R.; ALVAREZ, M. D. Characterisation of chickpea flour-based gluten-free batters and muffins with added biopolymers: Rheological, physical and sensory properties. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 51, n. 5, p. 1087-1098, 2016.

HESSO, N.; GARNIER, C.; LOISEL, C.; CHEVALLIER, S.; BOUCHET, B.; LE-BAIL, A. Formulation effect study on batter and cake microstructure: Correlation with rheology and texture. **Food Structure**, v. 5, p. 31-41, 2015.

HICSASMAZ, Z.; YAZGAN, Y.; BOZOGLU, F.; KATNAS, Z. Effect of polydextrose-substitution on the cell structure of the high-ratio cake system. **LWT-Food Science and Technology**, v. 36, n. 4, p. 441-450, 2003.

HOEFKENS, C.; VERBEKE, W.; VAN CAMP, J. European consumers' perceived importance of qualifying and disqualifying nutrients in food choices. **Food Quality and Preference**, v. 22, n. 6, p. 550-558, 2011.

INDRANI, D.; RAO, G. V. Functions of ingredients in the baking of sweet goods. In S. G. Sumnu & S. Sahin, **Food engineering aspects of baking sweet goods**. New York: CRC Press, p. 31-48, 2008.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ (IAL). **Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz: Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 4^a ed., 1^a Edição Digital, São Paulo, 1020 p., 2008.

JIA, C.; HUANG, W.; JI, L.; ZHANG, L.; LI, N.; LI, Y. Improvement of hydrocolloid characteristics added to angel food cake by modifying the thermal and physical properties of frozen batter. **Food Hydrocolloids**, v. 41, p. 227-232, 2014.

JOSHI, H.; KAPOOR, V. P. *Cassia grandis* Linn. f. seed galactomannan: structural and crystallographical studies. **Carbohydrate Research**, v. 338, n. 18, p. 1907-1912, 2003.

KALINGA, D.; MISHRA, V. K. Rheological and physical properties of low fat cakes produced by addition of cereal β -glucan concentrates. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 33, n. 3, p. 384-400, 2009.

KOCER, D.; HICSASMAZ, Z.; BAYINDIRLI, A.; KATNAS, S. Bubble and pore formation of the high-ratio cake formulation with polydextrose as a sugar-and fat-replacer. **Journal of Food Engineering**, v. 78, n. 3, p. 953-964, 2007.

KÖKSEL, H.; GÖKMEN, V. Chemical reactions in the processing of soft wheat products. In: SUMNU, S. G.; SAHIN, S. (Eds.). **Food engineering aspects of baking sweet goods**. Boca Raton: CRC Press, Taylor & Francis Group, p. 49 – 76, 2008.

KRYSZYJAN, M.; SIKORA, M.; ADAMCZYK, G.; TOMASIK, P. Caramel sauces thickened with combinations of potato starch and xanthan gum. **Journal of Food Engineering**, v. 112, n. 1, p. 22-28, 2012.

KUMARI, R.; JEYARANI, T.; SOUMYA, C.; INDRANI, D. Use of vegetable oils, emulsifiers and hydrocolloids on rheological, fatty acid profile and quality characteristics of pound cake. **Journal of Texture Studies**, v. 42, n. 5, p. 377-386, 2011.

LENTZ, D. L.; CLARK, A. M.; HUFFORD, C. D.; MEURER-GRIMES, B.; PASSREITER, C. M.; CORDERO, J.; IBRAHIMI, O.; OKUNADE, A. L. Antimicrobial properties of Honduran medicinal plants. **Journal of ethnopharmacology**, v. 63, n. 3, p. 253-263, 1998.

LERNER, A.; JERMIAS, P.; MATTHIAS, T. The world incidence of celiac disease is increasing: a review. **Int. J. Recent Sci. Res**, v. 7, p. 5491-5496, 2015.

LEWIS, G. P.; SCHRIRE, B. D.; MACKINDER, B.; LOCK, M. Legumes of the World. **The Royal Botanic Gardens**. Kew, p. 577, 2005.

LIONETTI, E.; CATASSI, C. Co-localization of gluten consumption and HLA-DQ2 and-DQ8 genotypes, a clue to the history of celiac disease. **Digestive and Liver Disease**, v. 46, n. 12, p. 1057-1063, 2014.

LODHA, S. R. et al. Assessment of the antidiabetic potential of Cassia grandis using an in vivo model. **Journal of advanced pharmaceutical technology & research**, v. 1, n. 3, p. 330, 2010.

LUO, Y et al. Impact of soaking and phytase treatments on phytic acid, calcium, iron and zinc in faba bean fractions. **International journal of food science & technology**, v. 44, n. 12, p. 2590-2597, 2009.

MA, Z; BOYE, J. I. Advances in the design and production of reduced-fat and reduced-cholesterol salad dressing and mayonnaise: a review. **Food and Bioprocess Technology**, v. 6, n. 3, p. 648-670, 2013.

MACRITCHIE, F. Seventy years of research into breadmaking quality. **Journal of Cereal Science**, v. 70, p. 123-131, 2016.

MAJEED, M.; MAJEED, S.; NAGABHUSHANAM, K.; ARUMUGAM, S.; NATARAJAN, S.; BEEDE, K.; ALI, F. Galactomannan from Trigonella foenum-graecum L. seed: Prebiotic application and its fermentation by the probiotic Bacillus coagulans strain MTCC 5856. **Food Science & Nutrition**, v. 6, n. 3, p. 666-673, 2018.

MANISHA, G.; SOUMYA, C.; INDRANI, D. Studies on interaction between stevioside, liquid sorbitol, hydrocolloids and emulsifiers for replacement of sugar in cakes. **Food Hydrocolloids**, v. 29, n. 2, p. 363-373, 2012.

MAO, C. F; CHEN, J. C. Interchain association of locust bean gum in sucrose solutions: An interpretation based on thixotropic behavior. **Food Hydrocolloids**, v. 20, n. 5, p. 730-739, 2006.

MARTÍNEZ-CERVERA, S.; SALVADOR, A.; MUGUERZA, B.; MOULAY, L.; FISZMAN, S. M. Cocoa fibre and its application as a fat replacer in chocolate muffins. **LWT - Food Science and Technology**, v. 44, n. 3, p. 729-736, 2011.

MARTINS, J. T.; CERQUEIRA, M. A.; SOUZA, B. W.; CARMO AVIDES, M. D.; VICENTE, A. A. Shelf life extension of ricotta cheese using coatings of galactomannans from nonconventional sources incorporating nisin against *Listeria monocytogenes*. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 58, n. 3, p. 1884-1891, 2010.

MATOS, M. E.; SANZ, T.; ROSELL, C. M. Establishing the function of proteins on the rheological and quality properties of rice based gluten free muffins. **Food Hydrocolloids**, v. 35, p. 150-158, 2014.

MCCLEMENTS, D. J. **Food emulsions: principles, practices, and techniques**. CRC press, 2015.

MCCLEMENTS, D. J.; DECKER, E. A. Lipídeos. In S. DAMODARAN; K. L. PARKIN; O. R. FENNEMA. **Química de alimentos de Fennema**. 4 ed. Artmed. Porto Alegre, 2010.

MEENA, M. K.; GAUR, K.; KORI, M. L.; SHARMA, C. S.; NEMA, R. K.; JAIN, A. K.; JAIN, C. P. In-vitro antioxidant properties of leaves of *Cassia grandis* Linn. **Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research**, v. 2, n. 1, p. 46-9, 2009.

MEILGAARD, M. C.; CARR, B. T.; CIVILLE, G. V. **Sensory evaluation techniques**. CRC press, 2007.

MERCÊ, A. L.; FERNANDES, E.; MANGRICH, A. S.; SIERAKOWSKI, M. R.; SZPOGANICZ, B. Fe (iii)-galactomannan solid and aqueous complexes: potentiometric, epr spectroscopy and thermal data. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 12, n. 6, p. 791-798, 2001.

MIRHOSSEINI, H; AMID, B. T. A review study on chemical composition and molecular structure of newly plant gum exudates and seed gums. **Food Research International**, v. 46, n. 1, p. 387-398, 2012.

MOURA NETO, L. G. **Preparação e aplicação de revestimento comestível em laranjas cv. Valencia Delta à partir de galactomanano de sementes de algaroba (Prosopis juliflora (sw) DC)**. 2016. Tese de Doutorado em Biotecnologia da Rede Nordeste de Biotecnologia- Área de concentração: Recursos naturais. 2016.

MULTARI, S.; STEWART, D.; RUSSELL, W. R. Potential of fava bean as future protein supply to partially replace meat intake in the human diet. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 14, n. 5, p. 511-522, 2015.

NUSSINOVITCH, A.; HIRASHIMA, M. **Cooking innovations: Using hydrocolloids for thickening, gelling, and emulsification**. Boca Raton: Taylor & Francis/CRC Press. 2014.

OH, I. K.; LEE, S. Utilization of foam structured hydroxypropyl methylcellulose for oleogels and their application as a solid fat replacer in muffins. **Food Hydrocolloids**, 2017, 1 – 7.

OZVURAL, E. B.; HUANG, Q. Quality differences of hamburger patties incorporated with encapsulated β carotene both as an additive and edible coating. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 42, n. 1, 2018.

PARK, K. J.; ANTÓNIO, G. C. Análises de materiais biológicos. **Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola**, 2006.

PERESSINI, D.; PIN, M.; SENSIDONI, A. Rheology and breadmaking performance of rice-buckwheat batters supplemented with hydrocolloids. **Food hydrocolloids**, v. 25, n. 3, p. 340-349, 2011.

PIZARRO, P. L.; ALMEIDA, E. L.; SAMMÁN, N. C.; CHANG, Y. K. Evaluation of whole chia (*Salvia hispanica* L.) flour and hydrogenated vegetable fat in pound cake. **LWT-Food Science and Technology**, v. 54, n. 1, p. 73-79, 2013.

PONGJARUVAT, W.; METHACANON, P.; SEETAPAN, N.; FUONGFUCHAT, A.; GAMONPILAS, C. Influence of pregelatinised tapioca starch and transglutaminase on dough rheology and quality of gluten-free jasmine rice breads. **Food Hydrocolloids**, v. 36, p. 143-150, 2014.

PRADA, A. L.; AMADO, J. R. R.; KEITA, H.; ZAPATA, E. P.; CARVALHO, H.; LIMA, E. S.; SOUSA, T. P.; CARVALHO, J. C. T. Cassia grandis fruit extract reduces the blood glucose level in alloxan-induced diabetic rats. **Biomedicine & Pharmacotherapy**, v. 103, p. 421-428, 2018.

PSIMOULI, V.; OREOPOULOU, V. The effect of fat replacers on batter and cake properties. **Journal of food science**, v. 78, n. 10, p. C1495-C1502, 2013.

REZAEI, R.; KHOMEIRI, M.; KASHANINEJAD, M.; AALAMI, M. Effects of guar gum and arabic gum on the physicochemical, sensory and flow behaviour characteristics of frozen yoghurt. **International journal of dairy technology**, v. 64, n. 4, p. 563-568, 2011.

RIOS, R. V. **Efeitos da substituição de gordura vegetal hidrogenada nas propriedades estruturais de bolos**. [dissertação]. São Paulo (SP): Faculdade de Ciências Farmacêuticas/USP; 2014.

RIOS, R. V.; GARZÓN, R.; LANNES, S. C.; ROSELL, C. M. Use of succinyl chitosan as fat replacer on cake formulations. **LWT- Food Science and Technology**, 2018.

RODRÍGUEZ-GARCÍA, J.; PUIG, A.; SALVADOR, A.; HERNANDO, I. Optimization of a sponge cake formulation with inulin as fat replacer: structure, physicochemical, and sensory properties. **Journal of Food Science**, v. 77, n. 2, p. C189-C197, 2012.

ROIG, J. T. Plantas medicinales aromáticas o venenosas de Cuba. 2 ed. La Habana: **Editorial Ciencia y Técnica**; p 263-4, 1974.

RONDA, F.; OLLETE, B.; GÓMEZ, M.; CABALLERO, P. A.; PANDO, V. Rheological study of layer cake batters made with soybean protein isolate and different starch sources. **Journal of Food Engineering**, v. 102, n. 3, p. 272-277, 2011.

ROSA-SIBAKOV, N.; HAKALA, T. K.; SÖZER, N.; NORDLUND, E.; POUTANEN, K.; AURA, A. M. Birch pulp xylan works as a food hydrocolloid in acid milk gels and is fermented slowly in vitro. **Carbohydrate polymers**, v. 154, p. 305-312, 2016.

ROSELL, C. M.; BAJERSKA, J.; SHEIKHA, A.F. El (Ed.). **Bread and Its Fortification: Nutrition and Health Benefits**. CRC Press, 2015.

SAHA, D.; BHATTACHARYA, S. Hydrocolloids as thickening and gelling agents in food: a critical review. **Journal of food science and technology**, v. 47, n. 6, p. 587-597, 2010.

SAHI, S. S.; ALAVA, J. M. Functionality of emulsifiers in sponge cake production. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 83, n. 14, p. 1419-1429, 2003.

SALEHI, F.; AMIN EKHLAS, S. The Effects of Wild Sage Seed Gum (*Salvia macrosiphon*) on the Rheological Properties of Batter and Quality of Sponge Cakes. **Journal of Food Biosciences and Technology**, v. 8, n. 2, p. 41-48, 2018.

SCIARINI, L. S.; RIBOTTA, P. D.; LEON, A. E.; PÉREZ, G. T. Incorporation of several additives into gluten free breads: Effect on dough properties and bread quality. **Journal of Food Engineering**, v. 111, n. 4, p. 590-597, 2012.

SECOUARD, S.; GRISEL, M.; MALHIAC, C. Flavour release study as a way to explain xanthan–galactomannan interactions. **Food hydrocolloids**, v. 21, n. 8, p. 1237-1244, 2007.

SHAO, Y. Y.; LIN, K. H.; CHEN, Y. H. Batter and product quality of eggless cakes made of different types of flours and gums. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 39, n. 6, p. 2959-2968, 2015.

SHELKE, K.; FAUBION, J. M.; HOSENEY, R. C. The dynamics of cake baking as studied by a combination of viscometry and electrical resistance oven heating. **Cereal chemistry**, v. 67, n. 6, p. 575-580, 1990.

SHEVKANI, K.; SINGH, N. Influence of kidney bean, field pea and amaranth protein isolates on the characteristics of starch-based gluten-free muffins. **International journal of food science & technology**, v. 49, n. 10, p. 2237-2244, 2014.

SINGH, J. P.; KAUR, A.; SHEVKANI, K.; SINGH, N. Influence of jambolan (*Syzygium cumini*) and xanthan gum incorporation on the physicochemical, antioxidant and sensory properties of gluten-free eggless rice muffins. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 50, n. 5, p. 1190-1197, 2015.

SINGH, J. P.; KAUR, A.; SINGH, N. Development of eggless gluten-free rice muffins utilizing black carrot dietary fibre concentrate and xanthan gum. **Journal of food science and technology**, v. 53, n. 2, p. 1269-1278, 2016.

SINGH, V. K.; BANERJEE, I.; AGARWAL, T.; PRAMANIK, K.; BHATTACHARYA, M. K.; PAL, K. Guar gum and sesame oil based novel bigels for controlled drug delivery. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v. 123, p. 582-592, 2014.

SNA – **Sociedade Nacional da Agricultura, Produção e consumo nacional de feijão, 2017**. Disponível em: <http://www.sna.agr.br/producao-e-consumo-nacional-de-feijao-continuam-os-mesmos-ha-mais-de-10-anos/>. Acessado em: 02 de fev 2017.

SOARES, P. A.; DE SEIXAS, J. R. C.; ALBUQUERQUE, P. B.; SANTOS, G. R.; MOURÃO, P. A.; BARROS JR, W.; CORREIA, M. T. S.; CARNEIRO-DA-CUNHA, M. G. Development and characterization of a new hydrogel based on galactomannan and κ-carrageenan. **Carbohydrate polymers**, v. 134, p. 673-679, 2015.

SOUSA, I. M. N. **Apontamentos de biopolímeros e estrutura**. Mestrado em Engenharia Alimentar. Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2010.

SOWMYA, M.; JEYARANI, T.; JYOTSNA, R.; INDRANI, D. Effect of replacement of fat with sesame oil and additives on rheological, microstructural, quality characteristics and fatty acid profile of cakes. **Food Hydrocolloids**, v. 23, n. 7, p. 1827-1836, 2009.

SRIVASTAVA, M.; KAPOOR, V. P. Seed galactomannans: An overview. **Chemistry & Biodiversity**, 2, 295–317. 2005.

SUMNU, G.; KOKSEL, F.; SAHIN, S.; BASMAN, A.; MEDA, V. The effects of xanthan and guar gums on staling of gluten-free rice cakes baked in different ovens. **International journal of food science & technology**, v. 45, n. 1, p. 87-93, 2010.

SZCZESNIAK, A. S. Texture is a sensory property. **Food quality and preference**, v. 13, n. 4, p. 215-225, 2002.

TEIXEIRA, D. M. A. Aplicação de goma exsudada de *Spondias purpurea* no isolamento de lectina galactose ligante. 2001. Dissertação (Mestrado em Bioquímica). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2001.

TEIXEIRA, L. V. Análise sensorial na indústria de alimentos. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, v. 64, n. 366, p. 12-21, 2009.

TEIXEIRA, M. A. V. **Amidos quimicamente modificados empregados na substituição de gordura em alimentos**. 2002. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos). Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Campinas, 2002.

THOMSON, C.; BLOCH, A. S.; HASLER, C. M.; KUBENA, K.; EARL, R.; HEINS, J. Position of the American Dietetic Association. **Journal of the American Dietetic Association**, v. 99, n. 10, p. 1278-1285, 1999.

TILLÁN CAPÓ, J.; RODRÍGUEZ CHANFRAU, J.; GÓMEZ MIRABAL, J. M.; PARDO RUÍZ, Z.; AGÜERO FERNÁNDEZ, S. Actividad antianémica de la Cassia grandis L. **Revista Cubana de Farmacia**, v. 38, n. 3, p. 1-1, 2004.

TIREKI, S. **Technology of cake production**. In: Sumnu, S. G.; Sahin, S., eds. Food engineering aspects of baking sweet goods. Boca Raton: CRC Press, Cap. 7, p. 149-158, 2008.

TONELI, J. T. C. L.; MURR, F. E. X.; PARK, K. J. Estudo da reologia de polissacarídeos utilizados na indústria de alimentos. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 7, n. 2, p. 181-204, 2005.

TURABI, E; SUMNU, G.; SAHIN, S. Quantitative analysis of macro and micro-structure of gluten-free rice cakes containing different types of gums baked in different ovens. **Food Hydrocolloids**, v. 24, n. 8, p. 755-762, 2010.

VOLPATO, S. S.; SOUZA, V. H. E. Doença celíaca: vida sem glúten. **Revista Uningá**, v. 19, n. 1, 2017.

WHO - World Health Organization. **Global Strategy on Diet, Physical Activity and Health**. 57^a World Health Assembly. Geneva: World Health Organization. Eighth plenary meeting, Committee A, third report: 38-55 p. 2004. Disponível em: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs317/en/>. Acessado em: 07 març 2017.

WILDERJANS, E.; LUYTS, A.; BRIJS, K.; DELCOUR, J. A. Ingredient functionality in batter type cake making. **Trends in Food Science & Technology**, v. 30, n. 1, p. 6-15, 2013.

WU, B. C.; DEGNER, B.; MCCLEMENTS, D. J. Creation of reduced fat foods: Influence of calcium-induced droplet aggregation on microstructure and rheology of mixed food dispersions. **Food chemistry**, v. 141, n. 4, p. 3393-3401, 2013.

ZAHN, S.; PEPKE, F.; ROHM, H. Effect of inulin as a fat replacer on texture and sensory properties of muffins. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 45, n. 12, p. 2531-2537, 2010.

ZAMBRANO, F.; DESPINOY, P.; ORMENESE, R. C. S. C.; FARIA, E. V. The use of guar and xanthan gums in the production of 'light' low fat cakes. **International journal of food science & technology**, v. 39, n. 9, p. 959-966, 2004.

APÊNDICE A - TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO-UFPE

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

(PARA MAIORES DE 18 ANOS OU EMANCIPADOS - Resolução 466/12)

Convidamos o (a) Sr. (a) para participar como voluntário (a) da pesquisa “**Obtenção de galactomananas de sementes nativas do nordeste brasileiro para aplicação na área alimentar**”, que está sob a responsabilidade do (a) pesquisador (a) **Francisca Joyce Elmiro Timbó Andrade**, com endereço Av. Dr. Guarany, nº 317 - bairro: Derby – 62042-030 – Sobral-CE - fone: 88 31128129 ou 88-996331031 – email: joycetimbo10@gmail.com (inclusive ligações a cobrar). E está sob a orientação de: Maria das Graças carneiro da Cunha, Telefone para contato: 81-999637000,e-mail: mgcc1954@gmail.com.

Caso este Termo de Consentimento contenha informações que não lhe sejam compreensíveis, as dúvidas podem ser tiradas com a pessoa que está lhe entrevistando e apenas ao final, quando todos os esclarecimentos forem dados, caso concorde com a realização do estudo pedimos que rubrique as folhas e assine ao final deste documento, que está em duas vias, uma via lhe será entregue e a outra ficará com o pesquisador responsável.

Caso não concorde, não haverá penalização, bem como será possível retirar o consentimento a qualquer momento, também sem nenhuma penalidade.

INFORMAÇÕES SOBRE A PESQUISA:

Objetivos da pesquisa:

- ✓ Extrair a galactomanana (polissacarídeo) proveniente das sementes de *Cassia grandis* (*Cassia*);
- ✓ Extração de Óleo Essencial de *Origanum vulgare* (OEO) (Orégano);
- ✓ Incorporar o óleo essencial de *Origanum vulgare* (Orégano); em soluções de galactomanana (polissacarídeo);
- ✓ Aplicar revestimento da galactomanana (polissacarídeo) com o óleo essencial de orégano em queijo tipo coalho, e avaliar os seus efeitos nas propriedades físico-químicas e sensoriais, bem como, no controle microbiológico do queijo, durante o tempo de armazenagem;
- ✓ Analisar a influência da galactomanana (polissacarídeo) da semente de *C. grandis* (*Cassia rosa*); em substituição à gordura sobre o bolo “tipo inglês”, através de análises físico-químicas e sensoriais.

Metodologia da Avaliação Sensorial:

Os testes serão realizados no laboratório de Análise Sensorial do Instituto Federal do Ceará – IFCE - campus Sobral, no qual apresenta estrutura adequada para a realização dos testes, pois dispõe de cabines individuais, com iluminação adequada e sala climatizada. Será utilizada Escala Hedônica estruturada de nove pontos, variando de (1) para a opção desgostei extremamente até (9) gostei extremamente, em que serão avaliados os atributos aparência, cor, aroma, sabor, textura e impressão global. A equipe sensorial será composta por 130 provadores, maiores de dezoito anos, não treinados selecionados entre estudantes e funcionários do IFCE – campus Sobral. As amostras (bolo e/ou queijo) apresentadas aos

provadores em cabines individuais serão codificadas aleatoriamente com número de três dígitos, servidas em embalagens plásticas descartáveis, e acompanhadas de biscoito água e sal, copo d'água e da ficha de avaliação. No momento do teste sensorial, o responsável fará todas as orientações relativas à condução do mesmo para os provadores.

- Riscos:** O presente estudo não trará nenhum risco à integridade física (saúde) e moral aos participantes. Apenas para os adultos que apresentarem alergia a “leite” ou “glúten” ou “ovos”. Todos os provadores serão informados da composição dos “queijos” ou “bolos” e dos produtos derivados elaborados e serão primeiramente perguntados se os mesmos já ingeriram e se tiveram alguma reação alérgica, sendo assim, as pessoas que têm esta alergia ou que não tenham certeza da existência desse tipo de alergia, não poderão participar desta pesquisa. Caso algum participante não se sinta bem e/ou sentir algum desconforto no momento da avaliação sensorial das amostras, as mesmas poderão ser descartadas e/ou desistir do teste se assim desejar. Caso necessite de atendimento especializado, o pesquisador responsável pelo teste sensorial conduzirá o participante/provador para a Unidade de Pronto Atendimento mais próxima.
- Benefícios:** Os resultados desta pesquisa podem promover a investigação de fontes de gomas sustentáveis de sementes alternativas, encontradas no nordeste brasileiro, bem como, tendo em vista a preocupação da população em consumir alimentos com propriedades funcionais, o bolo com substituição da gordura por galactomanana(polissacarídeo), e um queijo revestido com solução de galactomanana(polissacarídeo) e óleo essencial de orégano, têm o intuito de promover a conservação com o uso de produto natural, sendo uma alternativa para quem deseja ter uma alimentação mais saudável.
- Coleta de dados:**A coleta de dados só será iniciada após a aprovação do projeto de pesquisa pelo CEP e o cronograma proposto será cumprido.
- Privacidade:** Os dados coletados para o estudo serão considerados confidenciais e usados estritamente para fins de pesquisa. A identidade dos participantes será mantida em segredo de acordo com o que a lei permite.
- Direito de recusa ou desistência:** A participação no estudo é totalmente voluntária, sendo livre a recusa em tomar parte ou abandonar a pesquisa a qualquer momento sem afetar ou colocar em risco a integridade física e moral.

Todas as informações desta pesquisa serão confidenciais e serão divulgadas apenas em eventos ou publicações científicas, não havendo identificação dos voluntários, a não ser entre os responsáveis pelo estudo, sendo assegurado o sigilo sobre a sua participação. Os dados coletados nesta pesquisa (entrevistas e fotos), ficarão armazenados em (pastas de arquivo em computador pessoal), sob a responsabilidade da pesquisadora Francisca Joyce Elmiro Timbó Andrade, no endereço (acima informado, Av. Dr. Guarany, nº 317 - bairro: Derby – 62042-030 – Sobral-CE, pelo período de mínimo 5 anos.

Nada lhe será pago e nem será cobrado para participar desta pesquisa, pois a aceitação é voluntária, mas fica também garantida a indenização em casos de danos, comprovadamente decorrentes da participação na pesquisa, conforme decisão judicial ou extra-judicial. Se houver necessidade, as despesas para a sua participação serão assumidas pelos pesquisadores (ressarcimento de transporte e alimentação).

Em caso de dúvidas relacionadas aos aspectos éticos deste estudo, você poderá consultar o Comitê de Ética em Pesquisa Envolvendo Seres Humanos da UFPE no endereço: **(Avenida da Engenharia s/n – 1º Andar, sala 4 - Cidade Universitária, Recife-PE, CEP: 50740-600, Tel.: (81) 2126.8588 – e-mail: cepccs@ufpe.br).**

Francisca Joyce Elmiro Timbó Andrade

CONSENTIMENTO DA PARTICIPAÇÃO DA PESSOA COMO VOLUNTÁRIO (A)

Eu, _____, CPF _____, abaixo assinado, após a leitura (ou a escuta da leitura) deste documento e de ter tido a oportunidade de conversar e ter esclarecido as minhas dúvidas com o pesquisador responsável, concordo em participar do estudo **“Obtenção de galactomananas de sementes nativas do nordeste brasileiro para aplicação na área alimentar”**, como voluntário (a). Fui devidamente informado (a) e esclarecido (a) pelo(a) pesquisador (a) sobre a pesquisa, os procedimentos nela envolvidos, assim como os possíveis riscos e benefícios decorrentes de minha participação. Foi-me garantido que posso retirar o meu consentimento a qualquer momento, sem que isto leve a qualquer penalidade.

Local e data _____

Assinatura do participante: _____

Presenciamos a solicitação de consentimento, esclarecimentos sobre a pesquisa e o aceite do voluntário em participar. (02 testemunhas não ligadas à equipe de pesquisadores):

Nome:	Nome:
Assinatura:	Assinatura:

APÊNDICE B - QUESTIONÁRIO SENSORIAL SEMI-ESTRUTURADO

Nome: _____ Provador nº _____

Data ____/____/____ Sexo: M () F ()

Idade: () 18 a 25 anos () 26 a 35 anos () 36 a 45 anos () >46 anos

Nível de instrução:

- () Primário completo
- () Secundário incompleto
- () Secundário completo
- () Superior incompleto
- () Superior completo
- () Pós-graduação

Você consome bolo? Sim () Não ()

Se sim, com que frequência?

- () Uma vez por dia
- () 2 a 3 vezes por dia
- () Uma vez na semana
- () 2 a 3 vezes na semana
- () A cada 15 dias
- () Uma vez ao mês
- () Outro

Indique o quanto você gosta de bolo:

- () Gosto muitíssimo (adoro)
- () Gosto muito
- () Gosto moderadamente
- () Gosto ligeiramente
- () Nem gosto/ nem desgosto
- () Desgosto ligeiramente
- () Desgosto moderadamente
- () Desgosto muito
- () Desgosto muitíssimo (detesto)

Enumere abaixo de 1 a 5 o que você considera importante na compra do bolo, sendo 1 o mais importante e 5, o menos importante:

- () Sabor
- () Saudabilidade
- () Aparência
- () Preço
- () Praticidade

APÊNDICE C – FICHA PARA TESTE DE ORDENAÇÃO

Nome: _____ Sexo: ()M ()F Idade: () 18-25
anos () 25-35 anos () 35-45 anos () acima de 45 anos

Você está recebendo cinco amostras de bolo. Por favor, ordene-as de acordo com a sua preferência, colocando em primeiro lugar a amostra que você mais gostou e por último a que você menos gostou.

5 _____

Comentários:

6 _____

7 _____

8 _____

9 _____

APÊNDICE D – FICHA PARA TESTE DE ACEITAÇÃO

Nome: _____ Sexo: ()M ()F Idade: () 18-25
anos () 25-35 anos () 35-45 anos () acima de 45 anos

Você está recebendo cinco amostras de bolo. Prove as amostras da esquerda para a direita e indique o quanto você gostou ou desgostou de acordo com cada atributo das características sensoriais do produto, conforme escala baixo (de 1 a 9). Entre uma amostra e outra, por favor, tome água.

- 9. Gostei muitíssimo
- 8. Gostei muito
- 7. Gostei moderadamente
- 6. Gostei ligeiramente
- 5. Nem gostei, nem desgostei
- 4. Desgostei ligeiramente
- 3. Desgostei moderadamente
- 2. Desgostei muito
- 1. Desgostei muitíssimo

Características sensoriais: nº da AMOSTRA _____

COR: _____

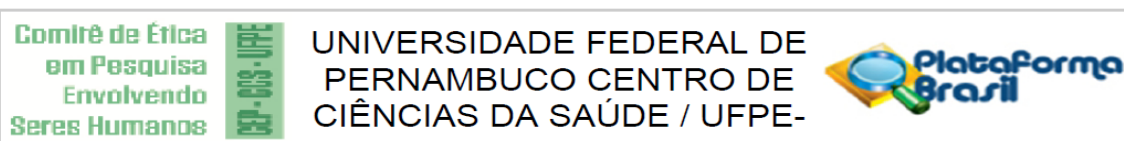
AROMA: _____

TEXTURA: _____

SABOR: _____

IMPRESSÃO GLOBAL: _____

ANEXO A - PARECER DO COMITÊ DE ÉTICA PARA PESQUISA COM SERES HUMANOS - UFPE.



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: Obtenção de galactomananas de sementes nativas do nordeste brasileiro para aplicação na área alimentar

Pesquisador: FRANCISCA JOYCE ELMIRO TIMBÓ ANDRADE

Área Temática:

Versão: 2

CAAE: 61527416.0.0000.5208

Instituição Proponente: Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 1.884.580

Apresentação do Projeto:

Projeto de tese da doutoranda FRANCISCA JOYCE ELMIRO TIMBÓ ANDRADE, sob orientação da Profª Dra. Maria das Graças Carneiro da Cunha.

Objetivo da Pesquisa:

PRIMÁRIO - extração da galactomanana das sementes de *Cassia grandis* para aplicação em alimentos em substituição à gordura sobre o bolo "tipo inglês", bem como a avaliar a interação entre a solução de galactomanana e o Óleo Essencial de orégano e sua aplicação como revestimento em queijo

SECUNDÁRIO: -

1. Extrair a galactomanana proveniente das sementes de *Cassia grandis* (marimari);
2. Aplicar revestimento da galactomanana com o OEO em queijo tipo coalho, e avaliar os seus efeitos nas propriedades físico-químicas e sensoriais, bem como, no controle microbiológico do queijo, durante o tempo de armazenagem;
3. Analisar a influência da galactomanana de *C. grandis* em substituição à gordura sobre o bolo "tipo inglês", analisando as propriedades físico-químicas e sensoriais.

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Adequados aos propósitos da pesquisa.

Endereço: Av. da Engenharia s/nº - 1º andar, sala 4, Prédio do CCS
Bairro: Cidade Universitária **CEP:** 50.740-600
UF: PE **Município:** RECIFE
Telefone: (81)2126-8588

E-mail: cepccs@ufpe.br



UNIVERSIDADE FEDERAL DE
PERNAMBUCO CENTRO DE
CIÊNCIAS DA SAÚDE / UFPE-



Continuação do Parecer: 1.884.580

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

As pendências foram corrigidas pelo pesquisador responsável, estando em conformidade com a resolução 466/2012.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

Os termos solicitados foram respondidos e a pesquisadora está apta para começar a coleta de dados.

Recomendações:

Sem recomendações.

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Sem pendências.

Considerações Finais a critério do CEP:

As exigências foram atendidas e o protocolo está APROVADO, sendo liberado para o início da coleta de dados. Informamos que a APROVAÇÃO DEFINITIVA do projeto só será dada após o envio do Relatório Final da pesquisa. O pesquisador deverá fazer o download do modelo de Relatório Final para enviá-lo via "Notificação", pela Plataforma Brasil. Siga as instruções do link "Para enviar Relatório Final", disponível no site do CEP/CCS/UFPE. Após apreciação desse relatório, o CEP emitirá novo Parecer Consubstanciado definitivo pelo sistema Plataforma Brasil.

Informamos, ainda, que o (a) pesquisador (a) deve desenvolver a pesquisa conforme delineada neste protocolo aprovado, exceto quando perceber risco ou dano não previsto ao voluntário participante (item V.3., da Resolução CNS/MS Nº 466/12).

Eventuais modificações nesta pesquisa devem ser solicitadas através de EMENDA ao projeto, identificando a parte do protocolo a ser modificada e suas justificativas.

Para projetos com mais de um ano de execução, é obrigatório que o pesquisador responsável pelo Protocolo de Pesquisa apresente a este Comitê de Ética relatórios parciais das atividades desenvolvidas no período de 12 meses a contar da data de sua aprovação (item X.1.3.b., da Resolução CNS/MS Nº 466/12). O CEP/CCS/UFPE deve ser informado de todos os efeitos adversos ou fatos relevantes que alterem o curso normal do estudo (item V.5., da Resolução CNS/MS Nº 466/12). É papel do/a pesquisador/a assegurar todas as medidas imediatas e adequadas frente a evento adverso grave ocorrido (mesmo que tenha sido em outro centro) e ainda, enviar notificação à ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária, junto com seu posicionamento.

Endereço: Av. da Engenharia s/nº - 1º andar, sala 4, Prédio do CCS

Bairro: Cidade Universitária

CEP: 50.740-600

UF: PE

Município: RECIFE

Telefone: (81)2126-8588

E-mail: cepccs@ufpe.br

**Comitê de Ética
em Pesquisa
Envolvendo
Serres Humanos**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE
PERNAMBUCO CENTRO DE
CIÊNCIAS DA SAÚDE / UFPE-**

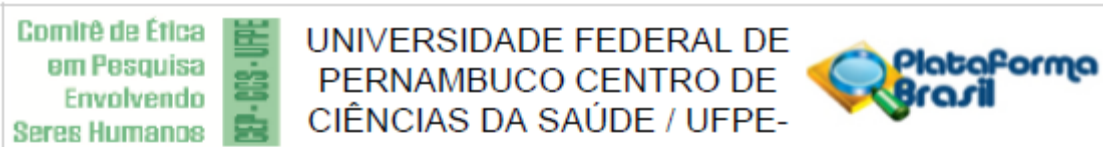


Continuação do Parecer: 1.884.580

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_681087.pdf	20/12/2016 18:20:43		Aceito
Outros	CARTA_RESPOSTA_PENDENCIAS.pdf	20/12/2016 18:20:19	FRANCISCA JOYCE ELMIRO TIMBÓ ANDRADE	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	projetoJOYCEplataformaBrasil.pdf	20/12/2016 18:19:46	FRANCISCA JOYCE ELMIRO TIMBÓ ANDRADE	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE_GalactomananaJoyce.pdf	20/12/2016 18:19:25	FRANCISCA JOYCE ELMIRO TIMBÓ ANDRADE	Aceito
Outros	comprovanteSIGA_UFPE.pdf	31/10/2016 21:10:59	FRANCISCA JOYCE ELMIRO TIMBÓ ANDRADE	Aceito
Outros	termoconfidencialidade.pdf	27/10/2016 14:27:30	FRANCISCA JOYCE ELMIRO TIMBÓ ANDRADE	Aceito
Outros	declaracaoRENORBIO.pdf	27/10/2016 14:26:03	FRANCISCA JOYCE ELMIRO TIMBÓ ANDRADE	Aceito
Outros	Curriculo_GracaCunha.pdf	18/10/2016 00:47:35	FRANCISCA JOYCE ELMIRO TIMBÓ ANDRADE	Aceito
Outros	Curriculo_Joyce.pdf	18/10/2016 00:43:53	FRANCISCA JOYCE ELMIRO TIMBÓ ANDRADE	Aceito
Cronograma	CRONOGRAMA.pdf	18/10/2016 00:41:05	FRANCISCA JOYCE ELMIRO TIMBÓ ANDRADE	Aceito
Outros	Modelo_ficha_sensorial.pdf	14/10/2016 14:52:38	FRANCISCA JOYCE ELMIRO TIMBÓ ANDRADE	Aceito
Outros	termodecompromissocomitedeeticaJoyce.pdf	14/10/2016 14:51:38	FRANCISCA JOYCE ELMIRO TIMBÓ ANDRADE	Aceito
Outros	GARANTIADOSBENEFICIOSAOSPARTICIPANTES.pdf	14/10/2016 14:50:40	FRANCISCA JOYCE ELMIRO TIMBÓ ANDRADE	Aceito
Declaração de Instituição e Infraestrutura	cartadeanuencia.pdf	14/10/2016 14:44:25	FRANCISCA JOYCE ELMIRO TIMBÓ ANDRADE	Aceito
Folha de Rosto	FOLHADEROSTOASSINADA.pdf	08/04/2016 11:12:25	FRANCISCA JOYCE ELMIRO TIMBÓ ANDRADE	Aceito

Endereço: Av. da Engenharia s/nº - 1º andar, sala 4, Prédio do CCS
 Bairro: Cidade Universitária CEP: 50.740-600
 UF: PE Município: RECIFE
 Telefone: (81)2126-8588 E-mail: cepccs@ufpe.br



Continuação do Parecer: 1.884.580

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

RECIFE, 03 de Janeiro de 2017

Assinado por:

LUCIANO TAVARES MONTENEGRO
(Coordenador)

Endereço: Av. da Engenharia s/nº - 1º andar, sala 4, Prédio do CCS

Bairro: Cidade Universitária

CEP: 50.740-600

UF: PE

Município: RECIFE

Telefone: (81)2126-8588

E-mail: cepccs@ufpe.br

ANEXO B - COMPROVANTE DA PLATAFORMA SUCUPIRA QUE EMITE O QUALIS B1 (ÁREA DE AVALIAÇÃO: BIOTECNOLOGIA) PARA A REVISTA FOOD & FUNCTION

04/06/2018

Plataforma Sucupira

 BRASIL	Acesso à informação	Participe	Serviços	Legislação	Canais
--	---------------------	-----------	----------	------------	--------

(<http://www.brasil.gov.br>)



(/sucupira/portais/menu_portal.jsf)

ACESSO RESTRITO

INÍCIO (/SUCUPIRA/PUBLIC/INDEX.JSF) >> Qualis >> Qualis Periódicos

Qualis Periódicos

* Evento de Classificação:

CLASSIFICAÇÕES DE PERIÓDICOS QUADRIÊNIO 2013-2016 ▼

Área de Avaliação:

☐ -- SELECIONE -- ▼ +

ISSN:

☐

Título:

☒ food & function

Classificação:

☐ -- SELECIONE -- ▼

Consultar

Cancelar

Periódicos

ISSN	Título	Área de Avaliação	Classificação
2042-6496	FOOD & FUNCTION	BIOTECNOLOGIA	B1
2042-6496	FOOD & FUNCTION	CIÊNCIA DE ALIMENTOS	A1
2042-6496	FOOD & FUNCTION	CIÊNCIAS AGRÁRIAS I	B1
2042-6496	FOOD & FUNCTION	CIÊNCIAS AMBIENTAIS	A1
2042-6496	FOOD & FUNCTION	CIÊNCIAS BIOLÓGICAS I	B1
2042-6496	FOOD & FUNCTION	CIÊNCIAS BIOLÓGICAS II	B1

<https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/veiculoPublicacaoQualis/listaConsultaGeralPeriodicos.jsf>

1/2

ANEXO C - TRABALHO APRESENTADO NO XXV CONGRESSO BRASILEIRO DE CIENCIA E TECNOLOGIA EM ALIMENTOS - CBCTA 2016



XXV Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos - CBCTA
Alimentação: a árvore que sustenta a vida

X CIGR Section VI International Technical Symposium
Food: the tree that sustains life

Certificado

24 a 27 de outubro de 2016 • FAURGVS • GRAMADO/RS

Certificamos que o trabalho intitulado

FAT CONTENT EVALUATION IN PHYSICAL PROPERTIES AND TEXTURE PROFILE OF CAKES.

de autoria de

FRANCISCA JOYCE ELMIRO TIMBO ANDRADE; MIRLA DAYANNY PINTO FARIAS; SAMARA KELLEN DE VASCONCELOS VIEIRA; DANIELE MARIA ALVES TEIXEIRA SA; ANTONIO SILVIO DO EGITO VASCONCELOS; MARIA DAS GRAÇAS CARNEIRO-DA-CUNHA

foi apresentado no formato

PÔSTER

no XXV Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos - CBCTA - Alimentação: a árvore que sustenta a vida e no X CIGR Section VI International Technical Symposium - Food: the tree that sustains life, no período de 24 a 27 de outubro de 2016, no Centro de Eventos da FAURGVS, em Gramado/RS.

Gramado, 27 de outubro de 2016.



Roberta Thys
Presidente do XXV Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos



Amauri Rosenthal
Presidente do X CIGR Section VI International Technical Symposium

Promoção





ANEXO E - TRABALHO APRESENTADO NO XX ENCONTRO NACIONAL E V CONGRESSO LATINO AMERICANO DE ANALISTA DE ALIMENTOS – ENAAL 2017



CERTIFICADO

Certificamos que o trabalho científico,
2994 – ANÁLISE DO PERFIL DE TEXTURA DE BOLOS COM SUBSTITUIÇÃO TOTAL OU PARCIAL DE GORDURA PELA GALACTOMANANA EXTRAÍDA DAS SEMENTES DE *Cassia grandis*, foi apresentado como Pôster no **XX Encontro Nacional e VI Congresso Latino Americano de Analistas de Alimentos**, realizado no Hangar Centro de Convenções em Belém do Pará, no período de 13 a 16 de agosto de 2017, tendo como autores: **FRANCISCA JOYCE ELMIRO TIMBO ANDRADE, PRISCILLA BARBOSA SALES DE ALBUQUERQUE, WILSON BARROS JÚNIOR, DANIELE MARIA ALVES TEIXEIRA SA, ANTÔNIO AUGUSTO VICENTE, MARIA DAS GRAÇAS CARNEIRO-DA-CUNHA.**

Belém, Pará, 16 de agosto de 2017.



Deise Ap. Pinatti Marsiglia
 Deise Ap. Pinatti Marsiglia
 Presidente da SBAAL
 Sociedade Brasileira de Analistas de Alimentos

Sebastião Licínio Lira dos Santos
 Sebastião Licínio Lira dos Santos
 Presidente do XX ENAAL e
 VI Congresso Latino Americano de Analistas de Alimentos



**ANEXO F - TRABALHO APRESENTADO NO XX ENCONTRO NACIONAL E V
CONGRESSO LATINO AMERICANO DE ANALISTA DE ALIMENTOS – ENAAL
2017**

 XX ENCONTRO NACIONAL E VI CONGRESSO LATINO AMERICANO DE ANALISTAS DE ALIMENTOS ENAAL 2017	SEGURANÇA ALIMENTAR E BIODIVERSIDADE	13 e 16 de Agosto	 SBAAL
CERTIFICADO			
Certificamos que o trabalho científico, 3013 – GALACTOMANANA EXTRAÍDA DAS SEMENTES DE Delonix regia COMO SUBSTITUTO TOTAL OU PARCIAL DE OVO EM BOLO, foi apresentado como Pôster no XX Encontro Nacional e VI Congresso Latino Americano de Analistas de Alimentos, realizado no Hangar Centro de Convenções em Belém do Pará, no período de 13 a 16 de agosto de 2017, tendo como autores: MATHEUS SILVA SOUSA; BENEDITA DA COSTA RODRIGUES; GEILSON RODRIGUES DO NASCIMENTO; ANTONIA CARLOTA SOUSA LIMA; SAMUEL CARNEIRO DE BARCELOS; LIDIANE DE VIANA XINENES; GEORGIA MACIEL DIAS DE MORAES; MIRLA DAYANNY PINTO FARIAS; FRANCISCA JOYCE ELMIRO TIMBO ANDRADE. Belém, Pará, 16 de agosto de 2017.			
Realização:    		 Deise Ap. Pinatti Maraglia Presidente da SBAAL Sociedade Brasileira de Analistas de Alimentos	
		 Sebastião Lívio Lira dos Santos Presidente do XX ENAAL e VI Congresso Latino Americano de Analistas de Alimentos	
			

**ANEXO G - DIPLOMA DE HONRA AO MÉRITO DADO AO TRABALHO
APRESENTADO NO XX ENCONTRO NACIONAL E VI CONGRESSO LATINO
AMERICANO DE ANALISTAS DE ALIMENTOS- ENNAL 2017**

