



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DOS ALIMENTOS

Julia Serpa Lopes

**Influência da adição da macroalga *Kappaphycus alvarezii* nas propriedades físicas
de snacks à base de farinha de arroz**

FLORIANÓPOLIS

2020

Julia Serpa Lopes

**Influência da adição da macroalga *Kappaphycus alvarezii* nas propriedades físicas
de snacks à base de farinha de arroz**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, do Centro de Ciências Agrárias, da Universidade Federal de Santa Catarina para obtenção do título de Mestre em Ciência dos Alimentos.

Orientador: Prof. Dr. Giustino Tribuzi

FLORIANÓPOLIS

2020

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Lopes, Julia Serpa

Influência da adição da macroalga *Kappaphycus alvarezii*
nas propriedades físicas de snacks à base de farinha de
arroz / Julia Serpa Lopes ; orientador, Giustino Tribuzi,
2020.

78 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Catarina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós
Graduação em Ciência dos Alimentos, Florianópolis, 2020.

Inclui referências.

1. Ciência dos Alimentos. 2. Ciência dos Alimentos. 3.
Farinha de *Kappaphycus alvarezii*. 4. Carragena. 5.
Macroalgas. I. Tribuzi, Giustino. II. Universidade Federal
de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ciência dos
Alimentos. III. Título.

Julia Serpa Lopes

Título: Influência da adição da macroalga *Kappaphycus alvarezii* nas propriedades físicas de snacks à base de farinha de arroz

O presente trabalho em nível de **Mestrado** foi avaliado e aprovado por banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof.(a) Juliano De Dea Lindner, Dr.(a)

Instituição Universidade Federal de Santa Catarina

Prof.(a) Jaqueline Oliveira de Moraes, Dr.(a)

Instituição Universidade Federal de Santa Catarina

Prof.(a) Leila Hayashi, Dr.(a)

Instituição Universidade Federal de Santa Catarina

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de Mestre em Ciência dos Alimentos.

Coordenação do Programa de Pós-Graduação

Prof.(a) Giustino Tribuzi, Dr.(a)

Orientador(a)

Florianópolis, 2020.

Dedico este trabalho aos meus pais, irmãos, meu esposo, minha sócia e a toda minha família que, com muito carinho e apoio, não mediram esforços para que eu chegasse até esta etapa de minha vida.

AGRADECIMENTOS

A todos aqueles que contribuíram de alguma forma para a concretização de mais um sonho de minha vida, meu sincero agradecimento e em especial:

Ao Professor Dr. Giustino Tribuzi, pela orientação, pela paciência, pelos esforços e tempo dedicado em me auxiliar na realização deste trabalho.

À Universidade Federal de Santa Catarina e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos por todas as oportunidades que me foram concedidas durante a pós-graduação.

Aos membros das bancas de qualificação e defesa pela atenção e tempo despendidos as correções e contribuições.

A todos os professores do Departamento de Ciência dos Alimentos e Engenharia de Alimentos.

À Dra. Jaqueline de Oliveira de Moraes pela recepção, atenção e carinho.

A todos os colegas do laboratório PROFI, laboratório de Tecnologia de Alimentos e aos demais laboratórios do EQA, CCA e da UFSC que colaboraram de alguma forma na realização deste trabalho.

Agradeço à Mariana Demarco e Raquel Simão pela atenção, paciência, amizade e apoio, que foram importantes para a concretização deste trabalho.

À professora Dra. Ana Carolina De Oliveira Costa, professora Dr^a Itaciara Larroza Nunes e ao Secretário Sergio de Souza por toda atenção e presteza.

À querida professora Dra. Lorena Benthart Ballod Tavares, pessoa admirável e inspiradora, por sua amizade, atenção e carinho.

À minha família toda minha imensa gratidão! Sou grata por todo apoio e por acreditar em mim. Pai e Mãe, exemplo de amor e fé, foi quem deram, em alguns momentos, a esperança para seguir em frente. Aos meus queridos irmãos por compartilharem seu amor. Em especial, meu esposo, seu apoio significam segurança e certeza em que não estou sozinha nessa caminhada.

À Família Voltolini, em especial à Sr^a Lurdes, Sr^a Iria e ao Sr^o Pedro Paulo, agradeço por todo o carinho, amizade e dedicação!

RESUMO

Uma das principais macroalgas cultivadas, a *Kappaphycus alvarezii* é fonte de proteínas, contém minerais e vitaminas. Sua principal aplicação é na indústria de alimentos como fonte de carragena, utilizada como espessante, gelificante, emulsificante e estabilizante. Neste trabalho buscou-se comparar características físicas de snacks com diferentes concentrações da farinha de *Kappaphycus alvarezii* submetidas a diferentes processos de assamento. As algas foram higienizadas, sendo lavadas e escorridas com o objetivo de reduzir o teor de sais desse alimento. As algas reidratadas foram divididas em dois lotes. O primeiro lote foi desidratado na sua forma in natura (AI), o segundo lote foi homogeneizado (AH), espalhados em placas metálicas e desidratado. A desidratação foi realizada para ambas amostras (AI e AH) em estufa com circulação de ar à temperatura de 40 ° C até peso constante. Após a secagem, as algas foram trituradas em um moinho de facas. A farinha de algas assim obtida foi utilizada para formular snacks à base de farinha de arroz com as seguintes concentrações: controle (F0) com 0% de farinha de alga, F1 com 2%; F2 com 5%; F3 com 10% e F4 com 2% de alga pré-homogeneizada no Ultraturrax (T25 digital, IKA, Alemanha). Os tratamentos térmicos dos snacks foram realizados em forno convencional (210°C / 25 min) e em *Conductive multi-flash drying* (KMFD), (100°C / 90 min / 40 mbar). A umidade, a_w e cor das amostras foi determinada para a massa e snacks. A análise de microscopia óptica e eletrônica de varredura foram realizadas na alga, nas farinhas de alga e nos snacks. Com a análise dos resultados, observou-se a retenção de água com o aumento do percentual de incorporação de algas nas massas. A maior retenção de água ocorreu no assamento em forno, devido, provavelmente, ao menor tempo de cozimento e maior temperatura. Na formulação F4 ocorreram as retenções mais significativas de água, nesse produto a carragena possivelmente estava mais disponível devido ao pré-processamento de homogeneização. Este fato promoveu uma melhor hidratação, gerando a dissolução completa e aumentando a viscosidade na massa. Os resultados de cor, os parâmetros L^* e a^* não apresentaram diferença significativa ($p > 0,05$) para ambos os tratamentos térmicos. Os parâmetros de b^* variaram significativamente ($p < 0,05$). Essa variação nessas dimensões de cor pode ter ocorrido devido à presença da *Kappaphycus alvarezii* de forma mais homogênea na massa dos snacks. Adição da alga alterou as propriedades reológicas da massa, a coloração, a textura e as propriedades nutricionais dos snacks.

Palavras-chave: farinha de *Kappaphycus alvarezii*; carragena; macroalgas.

ABSTRACT

One of the main seaweed farmed, *Kappaphycus alvarezii* is a source of protein, contains minerals and vitamins. Its main application is in the food industry as a source of carrageenan, used as a thickener, gelling agent, emulsifier and stabilizer. This study aimed to compare physical characteristics of snacks with different concentrations of *Kappaphycus alvarezii* flour submitted to different baking processes. The seaweed was sanitized, washed with water and drained to reduce the salt content of this product. The rehydrated algae were divided into two batches. The first batch was dehydrated in its fresh form (AI), the second batch was homogenized (HA), spread on metal plates and dehydrated. Dehydration was performed for both samples (AI and HA) in an oven with air circulation at 40 ° C until constant weight. After drying, the algae were ground in a knife mill. The seaweed flour was used to formulate rice flour snacks with the following concentrations: control (F0) with 0% seaweed flour, F1 with 2%; F2 with 5%; F3 with 10% and F4 with 2% pre-homogenized seaweed in Ultraturrax (digital T25, IKA, Germany). The heat treatments of the snacks were performed in a conventional oven (210 ° C / 25 min) and in *Conductive Multi-Flash Drying* (KMFD) (100 ° C / 90 min / 40 mbar). The moisture, a_w and color of the samples were determined for pasta and snacks. Optical and scanning electron microscopy analysis were performed on seaweed, seaweed meal and snacks. With the analysis of the results, it was observed the water retention with the increase of the algae incorporation percentage in the masses. The highest water retention occurred in oven baking, probably due to the shorter cooking time and higher temperature in the absence of air circulation. In formulation F4 the most significant water retention occurred, in this product carrageenan was possibly more available due to homogenization pre-processing. This fact promoted a better hydration, generating complete dissolution and increasing the viscosity in the mass. The color results, the parameters L^* and a^* showed no significant difference ($p > 0.05$) for both heat treatments. The yellow-blue (b^*) values varied significantly ($p < 0.05$). This variation in these color parameters may have occurred due to the presence of *Kappaphycus alvarezii* more homogeneously distributed in dough. Addition of algae altered the rheological properties of the dough, the color, texture and nutritional properties of the snacks.

Keywords: *Kappaphycus alvarezii* flour; carrageenan; macroalgae.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Visão geral das algas marinhas.....	18
Figura 2 - Tipos de algas marinhas utilizadas para a extração de hidrocoloides.....	19
Figura 3 - Linhagens pardas, verdes e vermelhas de <i>Kappaphycus alvarezii</i>	20
Figura 4 - Fluxograma do processo de produção da carragena refinada.....	25
Figura 5 - Curva de análise do perfil de textura (TPA) para massa de snacks.....	28
Figura 6 - Dispositivo experimental KMFD	30
Figura 7 - Fluxograma das etapas de produção da farinha e snacks de alga <i>Kappaphycus alvarezii</i>	34
Figura 8 - Imagens das etapas de produção da farinha e snacks da alga <i>Kappaphycus alvarezii</i>	35
Figura 9 - Imagens das formulações das algas in natura (AI) e homogeneizada (AH)..	37
Figura 10 - Ilustração dos ensaios de TPA nas massas dos snacks com <i>Kappaphycus alvarezii</i>	39
Figura 11 - Ilustração dos ensaios de análise de corte dos snacks após os tratamentos térmicos	40
Figura 12 - Imagens de microscopia óptica da alga bruta (AB), homogeneizada (AH) e in natura (AI).....	46
Figura 13 - Imagens de microscopia eletrônica de varredura da alga bruta (AB), homogeneizada (AH) e in natura (AI).....	47
Figura 14 - Imagens de microscopia eletrônica de varredura da alga homogeneizada (AH) e in natura (AI) para avaliação da composição nutricional	48
Figura 15 - Imagens de microscopia óptica dos snacks com farinha de alga in natura (AI) das formulações F0 (controle), F1 (2%), F2 (5 %), F3 (10%) e F4 (2% no Ultraturax).....	58
Figura 16 - Imagens de microscopia óptica dos snacks com farinha de alga homogeneizada (AH) das formulações F0 (controle), F1 (2%), F2 (5%), F3 (10%) e F4 (2% no Ultraturax)	59
Figura 17 - Imagens de microscopia eletrônica de varredura dos snacks com farinha de alga (AI), em forno, das formulações F0 (controle), F1 (2%), F2 (5 %), F3 (10%) e F4 (2% no Ultraturax)	62
Figura 18 - Imagens de microscopia eletrônica de varredura dos snacks com farinha de alga (AI), em KMFD, das formulações F0 (controle), F1 (2%), F2 (5 %), F3 (10%) e F4 (2% no Ultraturax)	63

Figura 19 - Imagens de microscopia eletrônica de varredura dos snacks com farinha de alga (AH), em forno, das formulações F0 (controle), F1 (2%), F2 (5 %), F3 (10%) e F4 (2% no Ultraturrax)	62
Figura 20 - Imagens de microscopia eletrônica de varredura dos snacks com farinha de alga (AH), em KMFD, das formulações F0 (controle), F1 (2%), F2 (5 %), F3 (10%) e F4 (2% no Ultraturrax)	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição nutricional aproximada da <i>Kappaphycus alvarezii</i>	21
Tabela 2 - Parâmetros de Textura e suas definições.....	28
Tabela 3 – Revisão dos artigos sobre secagem da alga <i>Kappaphycus alvarezii</i>	32
Tabela 4 - Formulação dos snacks com farinha de alga <i>Kappaphycus alvarezii</i>	36
Tabela 5 - Composição centesimal da <i>Kappaphycus alvarezii</i>	43
Tabela 6 - Análise de cor das farinhas de alga <i>Kappaphycus alvarezii</i> , bruta (AB), in natura (AI) e homogeneizada (AH).....	46
Tabela 7 - Percentual de micronutrientes da <i>Kappaphycus alvarezii</i> in natura (AI) e homogeneizada (AH) pelas imagens de microscopia eletrônica de varredura.....	48
Tabela 8 - Análise do Perfil de Textura da massa dos snacks com farinha de alga <i>Kappaphycus alvarezii</i> , in natura (AI) e homogeneizada (AH).....	49
Tabela 9 - Análise de cor da massa dos snacks com farinha de alga <i>Kappaphycus alvarezii</i> , in natura (AI) e homogeneizada (AH).....	51
Tabela 10 - Análise físico-química dos snacks com farinha de alga <i>Kappaphycus alvarezii</i> , in natura (AI) e homogeneizada (AH).....	52
Tabela 11 - Análise de cor dos snacks com farinha de alga <i>Kappaphycus alvarezii</i> , in natura (AI) e homogeneizada (AH) tratados termicamente.....	54
Tabela 12 - Análise de corte dos snacks com farinha de alga <i>Kappaphycus alvarezii</i> , in natura (AI) e homogeneizada (AH) tratadas termicamente.....	56

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AB	Alga <i>Kappaphycus alvarezii</i> bruta
AH	Alga <i>Kappaphycus alvarezii</i> homogeneizada
AI	Alga <i>Kappaphycus alvarezii</i> in natura
ANOVA	Análise de variância
EDX	Espectrômetro de raio-X
KMFD	<i>Conductive multi-flash drying</i>
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura

LISTA DE SÍMBOLOS

a^*	Cromaticidade de a^*
A_{bs}	Absorbância
a_w	Atividade de água
b^*	Cromaticidade de b^*
L^*	Luminosidade
ΔE^*	Diferença total de cor

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
1.1. OBJETIVOS.....	14
1.1.1 Objetivo Geral	14
1.1.2 Objetivos Específicos.....	14
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
2.1 ALERGIAS ALIMENTARES	15
2.1.1 Alimentos sem glúten.....	15
2.1.2 Alternativas para o melhoramento de produtos sem glúten	16
2.2 ALGAS MARINHAS	17
2.3 ALGA <i>KAPPAPHYCUS ALVAREZII</i>	19
2.3.1 Cultivo da <i>Kappaphycus alvarezii</i>	20
2.3.2 Composição centesimal	21
2.3.3 Benefícios da <i>Kappaphycus alvarezii</i> para saúde humana.....	21
2.3.4 Aplicação da <i>Kappaphycus alvarezii</i> em alimentos	23
2.3.5 Extração da carragena	24
2.3.6 Propriedades físico-químicas da carragena	26
2.4 TEXTURA DE ALIMENTOS	27
2.5 SECAGEM DE ALIMENTOS.....	29
2.5.1 Secagem convectiva	29
2.5.2 Secagem condutiva por múltiplos ciclos de aquecimento - pulso de vácuo (<i>conductive multi-flash drying</i> - KMF_D)	30
2.6 SECAGEM DA <i>KAPPAPHYCUS ALVAREZII</i>	30
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	34
3.1 MATERIAL	34
3.2 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	34
3.2.1 Obtenção da farinha de <i>Kappaphycus alvarezii</i>.....	35

3.2.2 Formulação dos snacks	36
3.2.3 Tratamento térmico dos snacks	37
3.3 DETERMINAÇÕES ANALÍTICAS	38
3.3.1 Caracterização das farinhas de algas	38
3.4 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DOS SNACKS	39
3.4.1 Análise do Perfil de Textura (TPA) da massa	39
3.4.2 Análise de Corte dos snacks	40
3.4.3 Cor	41
3.4.4 Microscopia Óptica	41
3.4.5 Análise de Microestrutura Eletrônica de Varredura (MEV) e Análise de raios-X por sistema de espectrometria por dispersão de energia (EDX)	41
3.5 ANÁLISES ESTATÍSTICAS	42
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
4.1 CARATERIZAÇÃO DAS FARINHAS DE <i>KAPPAPHYCUS ALVAREZII</i>	43
4.1.1 Composição centesimal	43
4.1.2 Compostos fenólicos totais	44
4.1.3 Cor	45
4.1.4 Microestrutura	46
4.2 PROPRIEDADES FÍSICAS DA MASSA	49
4.2.1 Análise do Perfil de Textura (TPA)	49
4.2.2 Análise de cor da massa	51
4.3 PROPRIEDADES FÍSICAS DOS SNACKS	52
4.3.1 Umidade, a_w e perda de massa dos snacks	52
4.3.2 Análise de cor dos snacks	53
4.3.3 Análise de corte dos snacks	55
4.3.4 Microscopia óptica do snacks	58
4.3.5 Microscopia eletrônica de varredura dos snacks	62

5. CONCLUSÃO.....	67
REFERÊNCIAS	68

1. INTRODUÇÃO

As algas marinhas apresentam elevados teores de nutrientes como fibras alimentares, minerais, vitaminas e proteínas. Entre as vantagens de uma dieta rica em algas podemos citar: benefícios preventivos ao sistema cardíaco e neurológico, a função da microbiota intestinal, além de efeitos anti-inflamatórios (RIOUX; BEAULIEU; TURGEON, 2017).

Segundo FAO (2018), uma das mais importantes algas cultivadas em todo o mundo é a *Kappaphycus alvarezii*. A sua principal utilização é na indústria de alimentos, como fonte para a produção de carragena, sendo utilizada como espessante, emulsificante e gelificante (RANGANAYAKI; SUSMITHA; VIJAYARAGHAVAN, 2014). Além do uso na indústria de alimentos, essas algas encontram usos na indústria têxtil, farmacêutica, de biofertilizantes e biocombustíveis (TAVARES-DIAS; MARIANO, 2015). No processamento para a obtenção da carragena há uma perda de matéria seca das algas, resultando também em perda de nutrientes e geração de resíduos industriais.

Os espessantes, emulsificantes e gelificantes também são aplicados em produtos sem glúten, contribuindo para a inovação e ganho tecnológico (KAUR et al. 2015). Embora os produtos sem glúten já estejam disponíveis por longa data, a procura por alimentos desta natureza é cada vez maior (FLORES-SILVA; RODRIGUEZ-AMBRIZ; BELLO-PÉREZ, 2015). De fato, para indivíduos com doença celíaca, a única forma de tratamento é a total restrição alimentar do glúten. No entanto, a qualidade destes produtos tem ainda grandes margens de melhoramento, por exemplo: o aumento do volume, a palidez das crostas, a rigidez da massa e a textura do produto. Além destes aspectos, devido à utilização das farinhas refinadas, os produtos sem glúten não contêm os mesmos nutrientes que o produto convencional que utilizam farinhas e grãos integrais (O'SHEA; ARENDT; GALLAGHER, 2014).

Os consumidores deste tipo de produto estão cada vez mais atentos à saúde e interessados em alimentos funcionais, gerando uma necessidade de mercado voltados para a saudabilidade. No segmento de panificação, essa necessidade é ainda maior, visto que a restrição do glúten impacta de forma direta na apresentação, textura, sabor e coloração do produto (SEDEJ et al. 2011). Este interesse crescente no desenvolvimento de produtos com qualidade e alto valor nutricional, contribui não apenas para um produto sem glúten, mas também com alto valor nutritivo, fonte de fibras, vitaminas e minerais

(FLORES-SILVA; RODRIGUEZ-AMBRIZ; BELLO-PÉREZ, 2015; SASUE; KASIM, 2016).

Diante destas questões, a aplicação da farinha integral da *Kappaphycus alvarezii* é uma alternativa para produção de snacks sem glúten com características físico-químicas e nutricionais diferenciadas.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

- Estudar a influência da adição de *Kappaphycus alvarezii* nas propriedades físicas de massas e snacks à base de farinha de arroz.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Produzir e caracterizar farinha de alga desidratada com quantidade de sais reduzida;
- Elaborar e analisar o perfil de textura de massas de farinha de arroz e farinha de alga com diferentes concentrações;
- Comparar o efeito do assamento em forno convencional e por *Conductive multi-flash drying* (KMFD) nas propriedades físicas de snacks à base de farinha de arroz e adicionados de farinha de alga.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 ALERGIAS ALIMENTARES

Através da alimentação ingerimos nutrientes que têm como principal função fornecer elementos fundamentais para uma boa saúde (BRASIL, 2014). Alguns alimentos, porém, podem causar alergias ou intolerâncias. As alergias, menos comuns quando comparadas às intolerâncias, são reações adversas à saúde provocadas pela resposta imunológica específica que ocorre repentinamente em indivíduos sensíveis a certos alimentos após o seu consumo. Os sintomas iniciam logo após a ingestão do alérgeno e podem ser localizados ou também envolverem várias partes do organismo (DAMODARAN; PARKIN, 2018; BRASIL, 2018).

Na legislação brasileira, dezoito itens foram nomeados como os principais alimentos que podem provocar alergias, a saber: trigo, centeio, cevada, aveia por contaminação no cultivo, crustáceos, ovos, peixes, amendoim, soja, leite e seus derivados, amêndoa, avelãs, castanha de caju e do Pará, macadâmias, nozes, pecãs, pistache, pinoli, castanhas e látex natural (BRASIL, 2015).

Entre os alergênicos, o trigo, o centeio, a cevada e a aveia, contém o glúten que é a fração proteica presente nestes alimentos, causando alergia nos celíacos. A doença celíaca é uma enteropatia crônica do intestino delgado, de caráter autoimune, provocada pela ingestão de glúten em indivíduos geneticamente predispostos. Trata-se de um processo inflamatório que envolve a mucosa do intestino delgado, levando à atrofia das vilosidades intestinais e, conseqüentemente, à má absorção, além de uma variedade de outras manifestações clínicas (BRASIL, 2015; CAMPOS et al. 2018).

O único tratamento para o portador da doença celíaca é uma dieta com a restrição total do glúten, portanto do trigo, centeio, cevada, aveia e de seus derivados. Sendo que os portadores desta doença enfrentam grandes dificuldades devido à baixa oferta de produtos de qualidade e ao alto custo destes alimentos (SOUZA et al. 2018).

2.1.1 Alimentos sem glúten

A procura por alimentos sem glúten vem crescendo de forma discreta. Dentre os alimentos sem glúten mais consumidos estão biscoitos, snacks, massas e pães. Em virtude de sua praticidade, conveniência e versatilidade, biscoitos e snacks sem glúten são

particularmente difundidos entre essa categoria de produtos. Atentos à essa necessidade, grandes empresas e *startups* estão lançando linhas de biscoitos sem glúten (SCHIERHORN, 2018). De uma forma similar, há uma enorme variedade de ingredientes sem glúten disponíveis. Embora as farinhas sem glúten estejam disponíveis há muitos anos, o aumento do consumo desses produtos, devido a razões médicas ou simplesmente por escolha, favoreceu o crescimento da indústria do “*Gluten Free*”. Por outro lado, a presença de glúten em produto de panificação é particularmente importante para apresentação e qualidade dos produtos finais, em particular para a textura dos mesmos (O'SHEA; ARENDT; GALLAGHER, 2014). Ademais, produtos sem glúten podem apresentar menores teores de fibras e outros nutrientes e podem conter mais sódio, açúcar e calorias, quando comparados a produtos convencionais, tornando a dieta com restrição de glúten menos saudável que a convencional para indivíduos não celiacos (SCHIERHORN, 2018).

Em dietas onde há restrição voluntária de glúten, pode haver uma redução no consumo de alimentos integrais, reduzindo a ingestão de fibras e assim aumentando o risco de doenças cardíacas. A restrição de alimentos sem glúten, sem o devido aporte de grãos integrais podem estar associadas a um maior risco no desenvolvimento da diabetes mellitus tipo 2, em virtude destes alimentos geralmente conterem maiores níveis de calorias, sódio e açúcar. Quando as pessoas adotam uma dieta sem glúten, e sem orientação dos profissionais de saúde, acabam optando por alimentos com grãos refinados e amidos, como tapioca, fécula de batata ou mandioca, porém esses alimentos possuem níveis de vitaminas e minerais em menores quantidades quando comparados com as farinhas de grãos integrais (SCHIERHORN, 2018).

2.1.2 Alternativas para o melhoramento de produtos sem glúten

Produtos de panificação sem glúten apresentam, como evidenciado nos parágrafos precedentes, desafios quanto às propriedades físicas, em particular quanto à textura e valores nutricionais. Atualmente são utilizados vários tipos de farinhas sem glúten, entre elas arroz, milho e batata, por apresentarem sabor suave e ação neutra em produtos assados, porém essas farinhas são nutricionalmente pobres em nutrientes (O'SHEA; ARENDT; GALLAGHER, 2014). Desta forma, se faz necessário encontrar alternativas para o enriquecimento e melhoramento desses produtos.

Flores-Silva, Rodriguez-Ambriz e Bello-Pérez (2015), apresentaram melhorias em “snacks” sem glúten com aplicação da farinha de banana verde, reduzindo os níveis de gordura, de ~30 g / 100 g para 12,7 à 13,6 g / 100 g e elevaram os níveis de fibras (13 a 18 g / 100 g de produto), quando comparados aos produtos comerciais. Outro ponto importante nessa pesquisa foi a presença maior do amido de digestibilidade lenta através da incorporação da farinha de banana verde, fator muito importante para os portadores de Diabetes mellitus e obesidade.

Os polissacarídeos estão despertando interesse nas formulações destes tipos de alimentos e um deles é a inulina devido as suas propriedades nutricionais e funcionais, principalmente em produtos de panificação (O'SHEA; ARENDT; GALLAGHER, 2014). Os polissacarídeos também estão presentes nas paredes celulares das algas marinhas, onde das algas pardas são extraídas o alginato e das vermelhas a carragenana e o agar, que são os três principais produtos comerciais (HASMADI, et al. 2014). No processamento dos alimentos sem glúten, os hidrocoloides atuam melhorando o volume das massas, a retenção de água, as propriedades reológicas, a estabilidade das emulsões (JUSZCZAK et al. 2012; HASMADI, et al. 2014) e contribuem para a redução da dureza após assamento do produto (ZIOBRO, et al. 2013).

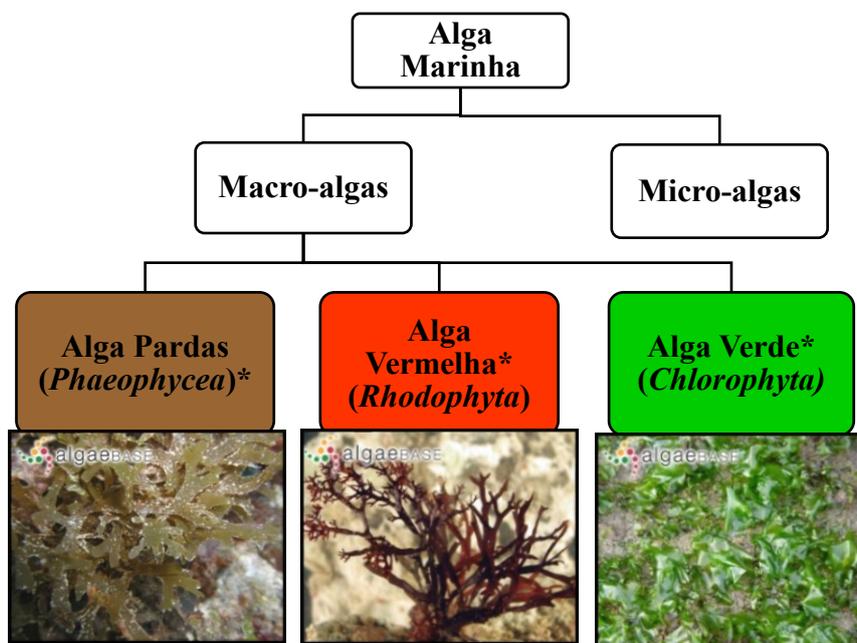
2.2 ALGAS MARINHAS

As algas marinhas são um grande conjunto diversificado de organismos e possuem clorofila em sua estrutura. Em sua grande maioria, as algas são microscópicas (microalgas). Contudo, muitas algas são morfológicamente macroscópicas e são comumente chamadas algas marinhas. Diversos fito pigmentos presentes, além da clorofila, caracterizam os tipos de alga. Outro fator determinante para classificação das algas são os polímeros armazenados em sua parede celular, resultantes da fotossíntese (QIN, 2018).

Na Figura 1, pode ser observada a divisão geral das macroalgas marinhas, onde a classificação botânica divide-as em três grupos: Phaeophyceae, Rhodophyta e Chlorophyta. Cada grupo é classificado com base na sua pigmentação. As pardas são maiores e mais grossas, podendo atingir as menores de 30 a 60 cm até 60 m de comprimento e podem pesar até 300 quilogramas. As vermelhas podem apresentar outras colorações como roxo até vermelho acastanhado, são abundantes em águas quentes e tropicais, mas também são encontradas em regiões mais frias. Já as algas verdes, sua

maioria pode ser encontrada em água doce, mas há certos grupos marinhos. Tanto a vermelha quanto as verdes podem medir centímetros até um pouco mais de um metro de comprimento (QIN, 2018; RAVEN; EVERT EICHHORN, 2007).

Figura 1 - Visão geral das algas marinhas.

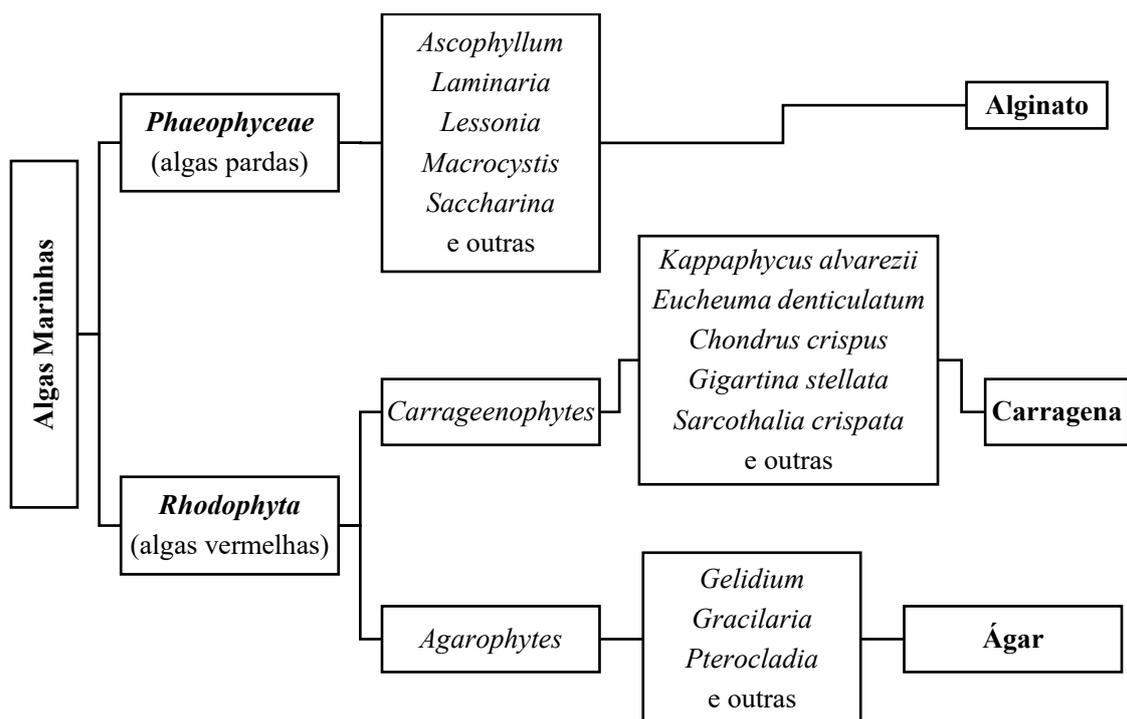


Fonte: adaptado de Qin (2018); *Guiry, M. D. e Guiry, G. M. (2019), AlgaeBase.

As algas marinhas, em sua maioria, apresentam como componente de suas paredes celulares os polissacarídeos. Estruturalmente, os polissacarídeos são polímeros de monossacarídeos, cientificamente são denominados de glicanos, compostos de unidades glicosil em arranjos lineares, e na sua maioria apresentam muito mais do que 10 ou 20 unidades de glicosil. Porém é variável o número de unidades de monossacarídeos. Na natureza, mais de 90% dos carboidratos é encontrada em forma de polissacarídeos (DAMODARAN; PARKIN, 2018).

Em todo o mundo são utilizadas uma ampla variedade de algas para a extração de hidrocoloides, como pode ser observado na Figura 2 (QIN, 2018). A partir das algas marinhas *Phaeophyceae*, de coloração pardas são extraídos os alginatos, e das algas *Rhodophyta*, as vermelhas a carragena e ágar (DAMODARAN; PARKIN, 2018).

Figura 2 - Tipos de algas marinhas utilizadas para a extração de hidrocoloides



Fonte: adaptado de Qin, (2018).

2.3 ALGA *KAPPAPHYCUS ALVAREZII*

As espécies de algas marinhas mais cultivadas incluem, as algas japonesas (*Laminaria japonica*), as algas marinhas *Eucheuma*, a *Kappaphycus alvarezii* e *Undaria pinnatifida* (FAO, 2018). A *Kappaphycus alvarezii* é uma espécie Eukaryota do Reino Plantae, pertencente ao subreino Biliphyta (Filo Rhodophyta), do Subfilo Rhodophytina, da Classe Florideophyceae e subclasse Rhodymeniophycidae, da ordem Gigartinales, da família Solieriaceae e do gênero *Kappaphycus* (GUIRY, M. D.; GUIRY, G. M. 2019).

A *Kappaphycus alvarezii* é uma macroalga marinha (Figura 3), sendo a principal fonte de *k*-carragena no mundo. Pode crescer em até dois metros de comprimento e apresentar tanto coloração verde como amarela e sua taxa de crescimento é elevada podendo dobrar seu tamanho entre 15 a 30 dias (SASUE; KASIM, 2016). A *k*-carragenana é um hidrocolóide com grande aplicação na indústria de alimentos como um aditivo alimentar e também é utilizada em outros segmentos, como na indústria farmacêutica, cosmética, adubos e rações (GANESAN; SHANMUGAM; BHAT, 2018; TAVARES-DIAS; MARIANO, 2015; PRABHA; PRAKASH; SUDHA, 2013).

Figura 3 - Linhagens pardas, verdes e vermelhas de *Kappaphycus alvarezii*



Fonte: Guiry, M. D. e Guiry, G. M. (2019). Linhagens pardas, verdes e vermelhas de *Kappaphycus alvarezii* foram cultivadas em redes tubulares, cultivadas em Florianópolis, Santa Catarina, Brasil. 21 de maio de 2009. Leila Hayashi.

2.3.1 Cultivo da *Kappaphycus alvarezii*

Com a crescente população do mundo, a produção de organismos aquáticos se torna cada vez mais importante como uma alternativa de alimento e geração de emprego (TAVARES-DIAS; MARIANO, 2015). Segundo dados da FAO (2018), em 2016 a produção mundial de plantas aquáticas foi mais de 30 milhões de toneladas, representada em grande maioria por algas marinhas. A cada ano, a produção está em ascensão, no ano de 2005 à produção era de 13.503 milhões de toneladas e passou para 30.139 milhões em 2016, sendo que a *Kappaphycus alvarezii* é a quinta espécie de plantas aquáticas mais cultivada, com uma produção de 1.527 milhões de toneladas, representando 5% da produção mundial.

A maior concentração da produção mundial de algas marinhas está na China, com 14.387 milhões de toneladas, representando 47,9% da produção total no ano de 2016. Em segundo, a Indonésia com 11.631 mil toneladas (38,7%). Esses dois países são os principais produtores, e juntos totalizam 86,6 % da produção mundial. Por outro lado, a

FAO relata que os dados subestimam a real produção mundial, devido aos dados estarem indisponíveis de importantes produtores, como Austrália, França, Índia, Israel, Japão, Malásia e Mianmar (FAO, 2018).

2.3.2 Composição centesimal

A composição centesimal da *Kappaphycus alvarezii* apresenta teores de carboidratos, proteínas e minerais como ferro, cálcio, iodo, potássio e selênio, e vitamina A, C e B12 (FAO, 2018; FAYAZ, et al. 2005). Como também são boas fontes de proteínas, ricas em fibras, baixo teor de gorduras (BRASIL, 2012), conforme podemos observar na Tabela 1 a seguir.

Tabela 1 – Composição nutricional aproximada da *Kappaphycus alvarezii*

Nutrientes	Fonte		
	Fayaz et al. (2005)	Felix e Brindo (2014)	Ariffin et al. (2017)
kcal (g)	-	3,88	-
Umidade (%)	6,43	16,00	6,9 a 7,3
Proteína (%)	16,24	14,00	2,5 a 5,7
Gordura T. (%)	0,74	1,16	0,5 a 2,6
Cinza (%)	19,70	34,00	29,4 a 30,9
Fibra (%)	29,40	18,48	5,3 a 5,5
Vit. C (%)	0,11	-	-
Vit. A (%)	8,70	-	-
Ca (mg / 100 g)	159,54	-	-
Fe (mg / 100 g)	33,80	-	-
Zn (mg / 100 g)	1,58	-	-

Fonte: o autor.

Essas substâncias, acima citadas, são de extrema importância para a saúde humana como um suplemento nutricional (FAYAZ et al. 2005), porém mais estudos no âmbito da toxicidade e metais pesados se fazem necessários para a promoção da alga marinha como base de um alimento para o consumo humano seguro (ARIFFIN et al. 2017).

2.3.3 Benefícios da *Kappaphycus alvarezii* para saúde humana

Os consumidores estão sempre mais conscientes dos benefícios dos alimentos e o seu impacto na saúde, e desta forma aumenta a procura por alimentos funcionais

(SASUE; KASIM, 2016). Por serem boas fontes de proteínas, fibras, vitaminas e minerais, as algas estão ganhando foco como um alimento que poderá fornecer esses benefícios nutricionais (FAO, 2018; FELIX; BRINDO, 2014). Como já citado anteriormente, os biscoitos e snacks fazem parte da alimentação base da população e estão presentes diariamente na mesa do consumidor, sendo assim, poderão ser uma excelente alternativa como alimentos funcionais.

Vários trabalhos realizados mostram as propriedades antioxidantes e os benefícios que a *Kappaphycus alvarezii* pode gerar, sendo indicado como um alimento funcional para o consumo humano (CHANG; OKECHUKWU, 2017; KUMAR; GANESAN; RAO, 2008; ARIFFIN et al. 2017). Segundo Machu et al. (2015), as algas são fonte de muitas substâncias funcionais e compostos fenólicos, e desta forma destacam-se devido aos benefícios que geram para a saúde. Relata ainda que certos tipos de algas apresentam valores de atividade antioxidante mais elevado do que algumas frutas ricas em vitamina C.

Segundo estudos realizado por Hayashi e Reis (2012), a *Kappaphycus alvarezii* proporciona vários benefícios a dieta humana, sendo classificada como um alimento funcional. Ela apresenta usos como fonte de fibras, redução o colesterol, antioxidante, compostos antiviral e atividades anticarcinogênica.

Em uma pesquisa realizada com ratos obesos com aplicação da farinha da *Kappaphycus alvarezii* na prevenção dos sintomas da síndrome metabólica o trabalho foi positivo. Os ratos que receberam algas em sua dieta mantiveram peso e pressão arterial sistólicas em níveis normais, como também houve melhora dos ratos obesos nos parâmetros cardiovasculares, hepáticos e metabólicos, não apresentando efeitos negativos (WANYONYI et al. 2017).

Por ser rica em compostos nutracêuticos, estudos estão sendo realizados para investigar ação da *Kappaphycus alvarezii* na redução da taxa de crescimento em células de câncer de mama. Em um trabalho com ratos suplementados com extrato bruto de alga, em 200 mg / kg de peso corporal por dia, conclui-se que houve uma significativa redução da taxa de crescimento das células tumorais, se mostrando positiva aos efeitos anti-inflamatórios, não sendo observado nenhum efeito de toxicidade (CHANG; OKECHUKWU; TEO, 2017). A ação anti-inflamatória pode ter ocorrido devido a ação da enzima hialuronidase, presentes na alga. Outros benefícios poderão ser obtidos através da *Kappaphycus alvarezii*, sendo eles a ação diurética, antiviral, antifúngica e antimicrobiana (RANGANAYAKI; SUSMITHA; VIJAYARAGHAVAN, 2014).

No que diz respeito ao melhor tipo de extração destes compostos da alga *Kappaphycus alvarezii*, um trabalho realizado por Prabha, Prakash e Sudha (2013), utilizaram três diferentes tipos de extratos da alga para avaliação dos compostos bioativos presentes e suas respectivas atividades antimicrobiana. Os autores concluíram que o extrato metanólico de *Kappaphycus alvarezii* exibiu as melhores atividades antimicrobiana e assim foi recomendado para o desenvolvimento de medicamentos.

2.3.4 Aplicação da *Kappaphycus alvarezii* em alimentos

As algas podem ser aplicadas de variadas formas na indústria de alimentos, como aditivos com ação espessante, geleificante, emulsificante e estabilizante (TAVARES-DIAS; MARIANO, 2015; RANGANAYAKI; SUSMITHA; VIJAYARAGHAVAN, 2014). Porém, a aplicação das algas como um ingrediente na sua forma integral ou minimante processada é ainda limitada no Brasil.

Tradicionalmente utilizada em países asiáticos como o Japão, a Coreia e a China, as algas marinhas fazem parte das rotinas e dietas alimentares (GANESAN; SHANMUGAM; BHAT, 2018; WANYONYI et al. 2017; ISO et al. 2005).

Em países ocidentais, o consumo das algas marinhas é basicamente limitado ao uso em sushis e outros pratos. Contudo, estão atraindo a atenção de consumidores devido ao sabor, a cor e principalmente pelos nutrientes e compostos funcionais (RIOUX; BEAULIEU; TURGEON, 2017; HASMADI et al. 2014).

O setor econômico recebeu recentemente grandes estímulos após a popularidade do sushi e da culinária asiática nos países do ocidente. Conforme estudo realizado por Rioux, Beaulieu e Turgeon (2017), ocorreu uma inovação nos produtos alimentícios com macroalgas, com lançamentos no mercado como “chips”, preparados de leite em pó, biscoitos, purê de batatas instantâneo, massas e saladas.

Como melhoradores na panificação, os hidrocoloides presentes nas algas estão atraindo certo foco na indústria. Estão se tornando cada vez mais importantes para o melhoramento das propriedades na manipulação de massas, para ganho de qualidade no pão fresco e em outros produtos e no aumento da vida de prateleira (HASMADIMAMAT et al. 2014). Com objetivo de melhorar as propriedades nutracêuticas de pães, o trabalho realizado por Sasue e Kasim (2016), mostrou que a adição da farinha da *Kappaphycus alvarezii* na formulação destes produtos elevou os níveis de compostos antioxidantes e fenólicos totais. Conforme o estudo realizado por Hasmadi et al. (2014), a aplicação de

apenas 8% de farinha da alga *Kappaphycus alvarezii* na formulação de pães, se obteve o aumento da absorção da água na massa, atuando nas propriedades de textura, resultando em melhora significativa da massa e do produto final.

Em sua maioria, as pesquisas que estão sendo realizadas para a aplicação das algas têm como objetivo desenvolver alimentos com apelo funcional, mas além deste benefício as algas poderão ser aplicadas no melhoramento do sabor, do aroma e da textura nesses produtos (FARHAN; HANI, 2017; GANESAN; SHANMUGAM; BHAT, 2018).

Em trabalho realizada por Hasmadi et al. (2014), com aplicação da farinha integral de *Kappaphycus alvarezii* em massa de pães, a alga utilizada foi seca em estufa a 40° C e após, moída e incorporado na farinha de trigo nas concentrações de 2% a 8%. Foi observado que a adição da alga na massa ocorreu um aumento na absorção de água e a redução da viscosidade, e o produto final apresentou maiores valores de firmeza.

Sasue e Kasim (2016), também realizam estudo com a incorporação da *Kappaphycus alvarezii* em massa de pães com o propósito de fornecer compostos antioxidantes presentes na alga. Neste trabalho, a alga foi higienizada e desidratada em secadores a 40° C e após foram moídas. Aplicação da farinha da alga variou de 0 a 12%. Foi observado um efeito mais significativo dos constituintes fitoquímicos na concentração de 12%, e na massa produziu efeitos significativos na textura, o pão se apresentou maior dureza e densidade em produtos com maiores concentrações de alga.

2.3.5 Extração da carragena

A carragena pode ser obtida como produto refinado ou semi refinado. A refinada apresenta um gel claro, transparente e com alto grau de pureza. Já a semi refinada é de baixo grau de pureza, se caracteriza por um gel opaco, com a presença de muita celulose e fibra (ADITIVOS & INGREDIENTES, 2011). A carragena é obtida, quase que exclusivamente, a partir da *Kappaphycus alvarezii*. Em 1970, nas Filipinas, com a intenção de reduzir os custos da extração, foi desenvolvido o processo de extração de carragena semi refinada (SRC), também conhecida como farinha de algas marinhas. Esse produto pode ser comercializado com lucro de até dois-terço maior em relação a refinada. Porém, a Comissão Europeia e o Codex Alimentarius da FAO / OMS exigem que a SRC seja declarada essa diferenciação destes dois tipos de carragena no rótulo dos produtos. Já para o Brasil, não há essa distinção, a legislação brasileira apenas regulamenta e

determina suas respectivas funções e limites máximos para o uso em alimentos (BRASIL, 2010).

O único método de extração da carragena até o início dos anos 80 era aquele utilizado para a produção de carragena refinada, um processo complexo e caro em relação a extração semi refinada que surgiu posteriormente. O processo de produção da carragena refinada ocorre de duas maneiras, o método *gel press* e a precipitação por álcool, conforme apresentado na Figura 4 (QIN, 2018).

Figura 4 - Fluxograma do processo de produção da carragena refinada



Fonte: adaptado de Qin (2018).

A produção de carragena semi refinada ou farinha de algas marinhas, recebe esse nome porque a carragena não é extraída da alga, mas sim a alga recebe tratamento alcalino, após passar por secagem e a moagem para a produção de uma farinha com as

propriedades comumente encontradas na carragena. O diferencial desse método não é a extração da carragena, mas sim em realizar tratamentos e processos para potencializar a força do gel no polímero dentro da estrutura da alga. Neste processo, a *Kappaphycus alvarezii* é aquecida em uma solução alcalina de hidróxido de potássio por duas horas, o hidróxido penetra nas algas reduzindo o sulfato na carragena, melhorando a força do gel. O potássio reage nas algas para produzir um gel, impedindo que a carragena se dissolva nesta solução quente. Porém, ao drenar a solução serão removidos também as proteínas solúveis, carboidratos e sais que se dissolveram. As algas são lavadas várias vezes até a remoção dos resíduos, após são secas e moídas (QIN, 2018; MCHUGH et al. 2003).

2.3.6 Propriedades físico-químicas da carragena

As gomas carragenas, derivadas das algas vermelhas, são usadas com frequência em função de sua capacidade de formar géis com leite e água. Sua ação espessante é maior no leite do que em água. Essa propriedade é usada na preparação de chocolate com leite, na qual um gel de estrutura tixotrópica previne a precipitação das partículas do cacau, óleo vegetal (RANGANAYAKI; SUSMITHA; VIJAYARAGHAVAN, 2014; DAMODARAN; PARKIN, 2018). Com pequenas quantidades, cerca de 0,025% de goma já ocorre a estabilização. Essa propriedade também é utilizada na preparação de sorvete, leite evaporado, fórmulas infantis, creme batido estável ao congelamento e descongelamento e de emulsões as quais a gordura do leite é substituída por óleo vegetal (DAMODARAN; PARKIN, 2018). Também podem ser utilizadas em produtos instantâneos, em iogurtes, geleias, sopas e em molhos (RIOUX; BEAULIEU; TURGEON, 2017; RANGANAYAKI; SUSMITHA; VIJAYARAGHAVAN, 2014).

A estrutura da carragena depende do número de grupos sulfatos e dos anéis 3,6-anidro-D-galactose. Sua estrutura controla as propriedades gelificantes e assim define sua aplicação em produtos alimentícios. A carragena comercial é representada por uma família de polissacarídeos lineares e geralmente são classificadas em três classes primárias de acordo com sua estrutura química e propriedades físicas a *kappa* (*k*), *iota* (*i*) e *lambda* (*λ*). A tipo *kappa* (*k*) são solúveis em temperaturas maiores de 65° C e em leite quente. Suas principais características são a de formar géis duros e quebradiços, espessar e gelificar leite em baixas concentrações. O tipo *iota* (*i*) são solúveis em todos os sais em temperaturas maiores de 55° C, solúvel em leite quente e insolúvel em leite frio. Como características formam géis macios, resilientes e termo reversíveis com Ca^{2+} e K^+ , não

sofrem sinérese e têm boa estabilidade aos processos de congelamento e descongelamento. Por fim, as carragenas do tipo *lambda* (λ) possuem todos os sais solúveis tanto em água fria quanto em quente, e ainda em leite, sua principal característica não formar gel, ele apenas espessa o leite frio (IMESON, 2009; DAMODARAN; PARKIN, 2018).

Para a escolha de um hidrocolóide específico em uma determinada aplicação, vários aspectos são observados, dentre eles, as características funcionais, a viscosidade ou a força do gel, a reologia que se pretende, o pH do sistema, as temperaturas de todas as etapas do processamento, se há interações com outros ingredientes, a textura final, o custo e a qualidade necessária para a obtenção das propriedades desejadas de um produto (DAMODARAN; PARKIN, 2018).

2.4 TEXTURA DE ALIMENTOS

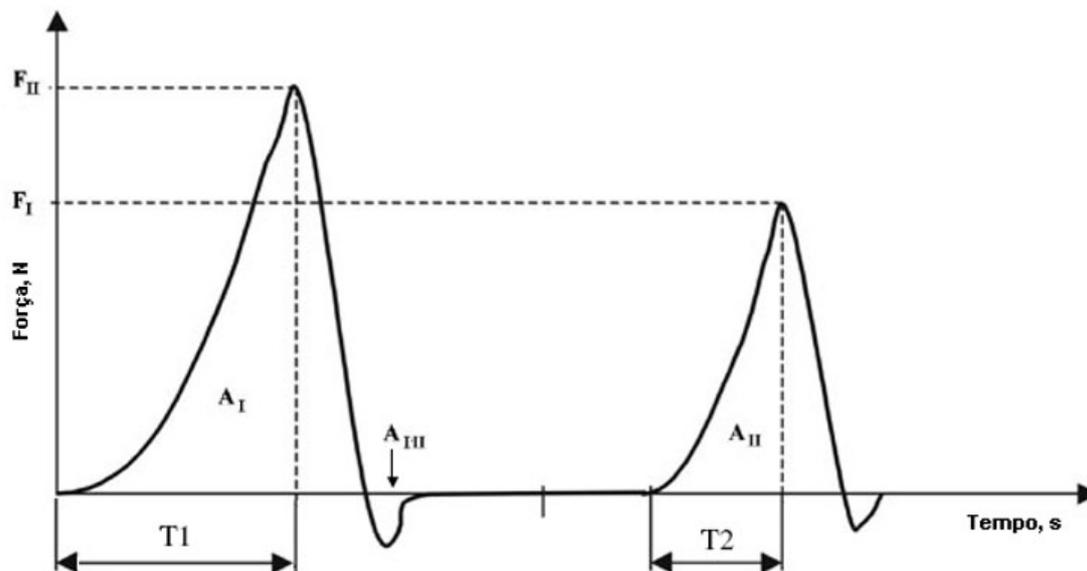
A textura pode ser definida como um atributo sensorial percebido pelos sentidos do toque, da visão e da audição (BRENNAN, 1980). Nos alimentos, a textura é um parâmetro de qualidade de extrema importância, pois é ela um dos requisitos que define a classificação de certos produtos. Por exemplo, os biscoitos, bolachas, snacks ou cookies são classificados e recebem seu nome com base na textura e dureza do produto final. Outros parâmetros de classificação são os seus ingredientes ou apresentação do produto como: biscoito salgado, biscoito doce, recheados, revestido de chocolate, moldados entre outros (MANLEY; CLARK, 2011; MORETTO; FETT, 1999).

No que se refere à textura de produtos de panificação, em sua maioria depende da formação de diversas ligações cruzadas entre as proteínas das interações proteína-lipídeo-polissacarídeos da massa que impactam fortemente na qualidade do produto final. Na massa, a mistura da farinha com água, gera hidratação das partículas e o aumento da solubilidade das proteínas e assim formar a rede de glúten (DAMODARAN; PARKIN, 2018).

A textura dos alimentos pode ser determinada com análise sensorial ou através de medidas instrumentais. Essas últimas apresentam diversas vantagens sobretudo do ponto de vista da praticidade e do baixo custo. Na análise da textura de produtos de panificação são de grande importância as determinações da textura, seja da massa quanto do produto final. Um dos testes mais aplicados é a Análise de Perfil de Textura (TPA). A partir da análise do perfil de textura, como demonstrado no gráfico da Figura 5, obtido a

partir de ciclos de compressão e descompressão é possível determinar parâmetros que permitem uma descrição detalhada da textura do alimento (Tabela 2) (BOURNE, 2002; VAN HEKKEN; TUNICK; PARK, 2004; RODRIGUES et al. 2009).

Figura 5 - Curva de análise do perfil de textura (TPA) para massa de snacks.



Nota: F = força; F II = dureza; A = área T = tempo.

Fonte: adaptado de Manohar et al. (1999); Rodrigues et al. (2009).

Tabela 2 - Parâmetros de Textura e suas definições

Parâmetro	Definição
Dureza (N)	Força máxima registrada no primeiro ciclo de compressão necessária para produzir determinada deformação do material.
Adesividade (N/s)	Trabalho necessário para ultrapassar as forças de atração entre a superfície do alimento e a superfície da sonda. É dado pelo valor da área correspondente à força negativa, representado pela AIII (Figura 5).
Coesividade	Deformação do material antes da sua ruptura, sua extensão em que pode ser deformado. Razão do trabalho realizado na AII pelo trabalho realizado na AI (Figura 5).
Elasticidade	É a razão em que o alimento deformado retorna a sua condição inicial quando removida a força. É obtido pela razão do tempo decorrido entre o segundo (T2) e o primeiro (T1) ciclo de compressão (Figura 5).
Gomosidade (N)	Firmeza do produto multiplicada pela coesividade, é a energia necessária para desintegrar uma amostra semissólida até sua deglutição.
Mastigabilidade (N)	Energia requerida para a mastigação de um alimento sólido até a sua deglutição. É multiplicado a gomosidade e elasticidade.
Fraturabilidade (mm)	É a deformação no primeiro pico, início da primeira mordida, é o pico da força inicial, a distância até o início da fratura.

Fonte: Bourne (2002); Rodrigues et al. (2009).

2.5 SECAGEM DE ALIMENTOS

Por definição, a secagem de alimentos é a retirada da água com o intuito de reduzir atividade de água e a umidade. Como consequência da redução da atividade de água, a desidratação inibe o crescimento microbiano, reduz atividades enzimática e a velocidade das reações químicas (CELESTINO, 2010; FELLOWS, 2000). Têm, portanto, como vantagens o aumento da vida útil do produto, concentração de nutrientes, facilidade no transporte e comercialização devido a redução do peso e volume (CELESTINO, 2010; RAHMAN, 2007).

A escolha do método de secagem a ser utilizado para um determinado produto depende da estrutura da amostra, da qualidade desejada para o produto final e dos recursos disponíveis. Existem inúmeros métodos de secagem seja tradicional (utilizados pela indústria de alimentos há muito tempo) ou alternativos. Entre os métodos tradicionais, podem ser citados a secagem convectiva ou por ar quente, a secagem a vácuo e a liofilização, enquanto entre os métodos alternativos cabe destacar o *multi-flash drying* com suas variações dependendo do método utilizado para fornecimento de calor (convecção, condução e radiação).

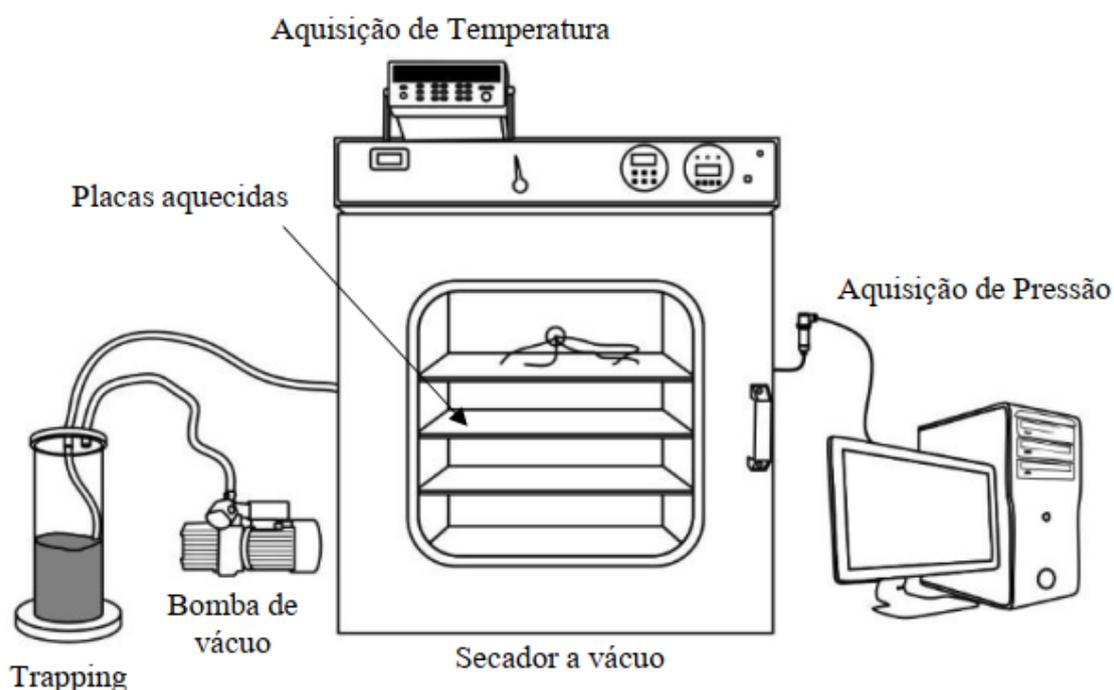
2.5.1 Secagem convectiva

Dentre os métodos de desidratação, um dos mais utilizados é a secagem convectiva, com inúmeras aplicações em indústrias de alimentos. O alimento é submetido ao contato com um fluxo de ar quente e a transferência de calor ocorre por convecção, entre a superfície do material e o vapor de água que é carregado pela corrente de ar (BRENNAN; GRANDISON, 2012; BABALIS; BELESSIOTIS, 2004). Devido à aplicação de temperaturas muito elevadas e/ou à prolongada exposição da amostra para que ocorra a evaporação da água, esse método pode resultar em degradação de diversos compostos sensíveis ao calor, bem como efeitos negativos na qualidade do produto final (CHONG et al., 2013).

2.5.2 Secagem condutiva por múltiplos ciclos de aquecimento - pulso de vácuo (*conductive multi-flash drying - KMFD*)

A secagem condutiva por múltiplos ciclos de aquecimento com pulso de vácuo (*conductive multi-flash drying - KMFD*) é um processo de secagem no qual a amostra é submetida a diversos ciclos de aquecimento (condutivo) seguidos por pulsos de vácuo. Esse processo é realizado no equipamento experimental apresentado na Figura 6. A secagem ocorre em uma câmara conectada a uma bomba de vácuo, as amostras são dispostas em placas com aquecimento por resistências elétricas e com a pressão do sistema controlados (LINK, 2016; PORCIUNCULA; SEGURA; LAURINDO, 2016; MONTEIRO et al. 2018).

Figura 6 - Dispositivo experimental KMFD



Fonte: Monteiro et al. (2018).

2.6 SECAGEM DA *KAPPAPHYCUS ALVAREZII*

No processo de coleta das algas marinhas, antes de sua utilização, geralmente são secas para que então possam ser utilizadas nas indústrias ou em pesquisas (LING et al. 2014). A *Kappaphycus alvarezii* é comercializada tanto na sua forma fresca ou seca

como fonte de carragena para aplicações nas indústrias de alimentos, farmacêutica e cosmética (HAYASHI; REIS, 2012; HURTADO et al. 2019).

Para a secagem das algas, se requer uma maior infraestrutura. Após a colheita, elas devem passar pela secagem sob a luz solar ou em estufas, para então serem comercializada às indústrias de extração da carragena. Já a comercialização da alga fresca, na forma in natura ou extrato, requer menor infraestrutura e seu tempo de preparo é mais rápido, porém, é geralmente utilizada como biofertilizante. No entanto, estudos estão sendo realizados para aplicação da alga fresca em alimentos e também de seus subprodutos (TAVARES-DIAS; MARIANO, 2015).

A qualidade comercial das algas secas, geralmente, apresenta um valor de 35 % de umidade, 28% de sais solúveis, 1% de impurezas e um rendimento de carragena entre 22%-25% (KULENDRAN; SHANMUGAM; SETH, 2019; HAYASHI et al. 2019). Segundo a pesquisa realizada por Kulendran, Shanmugam e Seth (2019), o rendimento da carragena semi refinada pode variar em 30%. Já os trabalhos realizados por Hayashi et al. (2007), a *Kappaphycus alvarezii* poderá ter um rendimento de 20% a 40% de carragena a semi refinada e 12% a 28% para a carragena refinada, dependendo das condições de cultivo como a luz, os nutrientes disponíveis, as relações bióticas e o hidrodinamismo.

Na tabela a seguir (Tabela 3) estão apresentados alguns trabalhos onde foi estudada a desidratação da *K. alvarezii*.

Tabela 3 – Revisão dos artigos sobre secagem da alga *Kappaphycus alvarezii*.

Artigo	Condições de secagem		
	°C	Tempo	Equipamento
Hasmadi et al. (2014)	40	24 horas	Secador de gabinete. Pulverizado em malha
Fayaz et al. (2005)	50	6 horas	Multimil 0,25 mm em secador de bandeja
Chang, Okechukwu e Teo (2017)	40	3 dias	ND
Sasue e Kasim (2016)	40	24 horas	Secador de gabinete.
Ariffin et al. (2017)	60	5 horas	Seca em forno.
Wanyonyi et al. (2017)	ND	ND	Secas ao ar, até 2% umidade
Ganesan, Shanmugam e Bhat (2018)	ND	ND	Secas e pulverizadas
Chew et al. (2008)	ND	ND	Liofilizador
Ling et al. (2014)	< 40°	24 horas	Estufa ventilada
	80°C	24 horas	Estufa ventilada
	ND	3 a 4 dias	Luz solar direta
	ND	3 a 4 dias	Pendurados sob luz solar
	ND	12 horas + 3 à 4 dias	Saco plástico transparente sob luz solar, até mudança de cor para esbranquiçada + seca ao abrigo da luz solar
	ND + 70°C	48 horas + 24 horas	Sombra + estufa ventilada
	-80°C	24 horas + 48 horas	Freezer + secador liofilizado

Nota: nada consta (ND).

Fonte: o autor.

Ling et al. (2014), realizaram uma pesquisa aplicando sete diferentes técnicas de secagem da *Kappaphycus alvarezii*, e observaram a influência da secagem nos compostos fitoquímicos e atividade antioxidante da alga. Em todas as técnicas as amostras foram secas até que os valores de umidade fossem \leq a 10% e moídas em pó fino. As técnicas aplicadas foram:

1. Seco em estufa ventilada por 24 h com temperatura mais baixa de 40 °C;
2. Seco em estufa ventilada por 24 h a 80 °C;
3. Seco sob luz solar direta por 3 a 4 dias;
4. Seco pendurando sob a luz do sol até mudança de cor e após secas ao abrigo da luz solar por 3 a 4 dias;

5. *Secado colocando-os em saco plástico transparente e sob a luz solar por 12 h até mudança de cor para esbranquiçada, antes de removê-los do saco plástico e deixá-los secar sob a luz do sol por 3-4 dias;*
6. *Seco à sombra por 2 dias e, em seguida, em estufa ventilada a 70 °C por 4 h;*
7. *Congelado em freezer a -80 °C por 24 h e seco em liofilizador por dois dias.*

Dentre as sete técnicas aplicadas, a secagem a 40° C em estufa foi aquela que apresentou os maiores teores de fitoquímicos. Esse trabalho pode mostrar a importância da técnica de secagem da alga na manutenção dos seus compostos fitoquímicos e antioxidantes.

3. MATERIAL E MÉTODOS

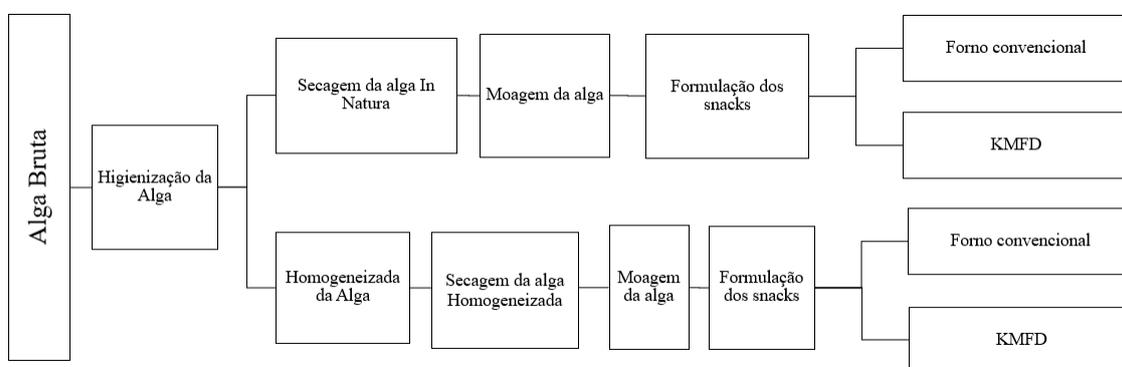
3.1 MATERIAL

A farinha de arroz e o açúcar utilizados nos experimentos foram adquiridos no comércio local da cidade de Florianópolis (SC) e a alga *Kappaphycus alvarezii* foi fornecida pela Seção de Macroalgas do Laboratório de Camarões Marinhos da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Após a retirada dos cultivos marinhos, as algas foram desidratadas ao ar, sem exposição direta ao sol, durante o período de aproximadamente sete dias.

3.2 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Na Figura 7 é apresentado o fluxograma do procedimento experimental utilizado neste estudo.

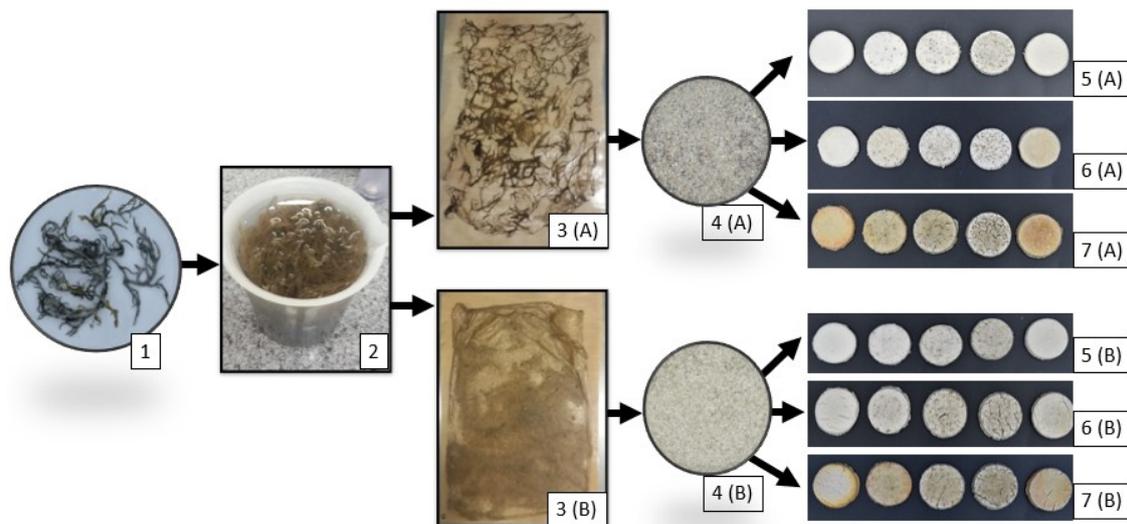
Figura 7 - Fluxograma das etapas de produção da farinha e snacks de alga *Kappaphycus alvarezii*



Fonte: o autor.

Na Figura 8, está apresentado um resumo gráfico dos processos realizados para obtenção da farinha da alga e produção dos snacks adicionados de farinha de *Kappaphycus alvarezii*, que estão detalhados a seguir.

Figura 8 - Imagens das etapas de produção da farinha e snacks da alga *Kappaphycus alvarezii*



Notas: (1) alga bruta, (2) higienização da alga, (3) secagem da alga, (4) alga moída, (5) massa crua, (6) tratamento térmico em KMFD, (7) tratamento térmico em forno convencional, (A) alga in natura e (B) alga homogeneizada.

Fonte: o autor.

3.2.1 Obtenção da farinha de *Kappaphycus alvarezii*

Para a produção das farinhas de *Kappaphycus alvarezii*, as algas, naturalmente ricas em sais, foram reidratadas em água destilada em três ciclos sucessivos de 5 minutos cada, sob lenta agitação (50 g de alga bruta / 4 L água). Após o processo de reidratação, as algas foram imersas em solução de hipoclorito de sódio a 200 ppm por 10 minutos (BRASIL, 2002; BRASIL, 2004) sob lenta agitação, em seguida enxaguadas em água destilada a temperatura ambiente, por 5 minutos sob lenta agitação. Após esse processo, as algas foram divididas em dois grupos, alga in natura e alga homogeneizada.

As algas reidratadas foram desidratadas por secagem convectiva a 40° C e periodicamente pesadas até alcançar a umidade de equilíbrio. As algas foram desidratadas seja inteira (AI) ou homogeneizada (AH). As algas in natura foram espalhadas nas placas recobertas de Teflon® evitando a sobreposição. Por outro lado, as algas homogeneizadas foram submetidas a homogeneização em Mixer (Versatile, Oster, Brasil) por 3 minutos na velocidade turbo com água destilada (30 g água /100 g alga reidratada). Após a homogeneização a pasta foi distribuída na placa Teflon® em uma espessura aproximada de 3 mm. Uma vez secas, as algas foram trituradas em um moinho de facas (TE 631/2, Tecnal, Brasil), peneiradas (20 e 25 Mesh) e então armazenadas em embalagens tipo *pouch* de alta barreira.

3.2.2 Formulação dos snacks

As formulações dos snacks foram executadas com base em Manley e Clark (2011) e Benjakul e Karnjanapratum (2018), com modificações, substituindo a farinha de trigo por farinha de arroz. Conforme o rótulo do fabricante da farinha de arroz, os valores encontrados para a composição centesimal utilizada neste estudo foram: carboidratos 82,00 g / 100 g, proteína 6,80 g / 100 g, lipídeos 1,40 g / 100 g e fibras com 0,80 g / 100g.

As variações das formulações com farinha de *Kappaphycus alvarezii* estão descritas na Tabela 4, sendo F0 sem adição de alga (controle), F1 com 2% de alga, F2 com 5% de alga, F3 com 10% de alga e F4 com 2% de alga tratadas no Ultraturrax (T25 digital, IKA, Alemanha) por 4 minutos a 12.000 RPM. Essa formulação F4 recebeu esse tratamento com intenção de avaliar a capacidade de formação de gel dos polissacarídeos presentes na alga quando estão mais disponíveis.

Tabela 4 - Formulação dos snacks com farinha de alga *Kappaphycus alvarezii*

Ingredientes	Formulação				
	F0	F1	F2	F3	F4
Farinha de arroz (g)	60,0	58,8	57,0	54,0	58,8
Farinha de alga (g)	0	1,2	3,0	6,0	1,2
Açúcar refinada (g)	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
Água destilada (g)	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0

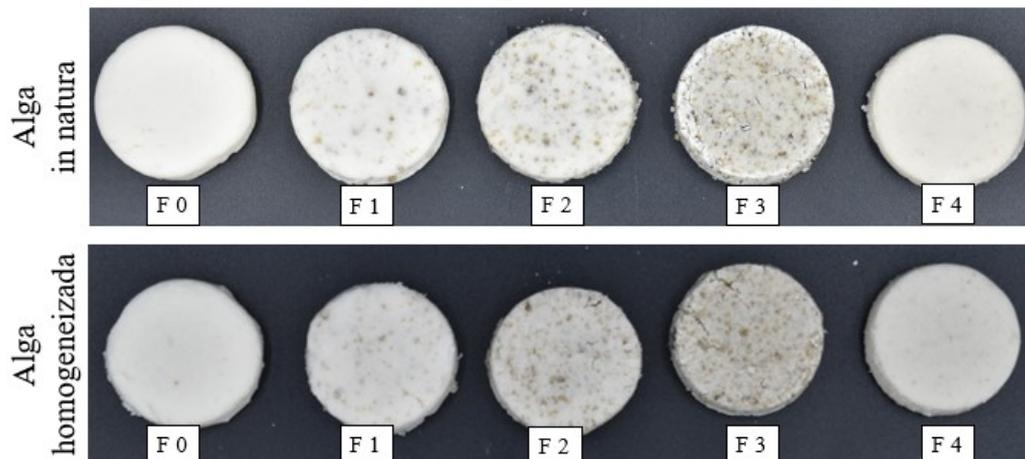
Nota: (F0) sem alga, (F1) 2% de alga, (F2) 5% de alga, F3 com 10% de alga e F4 com 2% de alga homogeneizada no Ultraturrax.

Fonte: Adaptado de Manley e Clark (2011) e Benjakul, e Karnjanapratum (2018).

Os ingredientes foram misturados em batedeira planetária (Perform, Oster, Brasil). Os secos foram adicionados e batidos por 20 segundos na velocidade 1, após, foi adicionada água e então mais 40 segundos na velocidade 1. Os snacks foram modelados para obtenção de discos de 6,3 mm de espessura e 2,75 cm de diâmetro.

As imagens das diversas formulações estudadas são apresentadas na Figura 9 a seguir.

Figura 9 - Imagens das formulações das algas in natura (AI) e homogeneizada (AH)



Fonte: o autor.

3.2.3 Tratamento térmico dos snacks

Os snacks com diferentes concentrações de algas foram assados em forno convencional e por KMFD.

Para o tratamento térmico, as amostras foram dispostas em formas de alumínio cobertas por papel manteiga e cozidas à temperatura de 210 °C por 25 min em forno convencional não ventilado (forno elétrico de bancada Master Easy Clean, Fischer, Brasil). As amostras tratadas no KMFD foram distribuídas em placas de alumínio cobertas com filme em Teflon®. As placas foram aquecidas a 100 °C e então, as amostras foram adicionadas sobre estas. As amostras foram aquecidas até a temperatura de 70 °C à pressão atmosférica. Quando alcançada essa temperatura foi realizada uma diminuição rápida da pressão da câmara de secagem até a pressão de 40 mbar. O processo continuou nessa pressão e foi considerado concluído quando todas as amostras alcançaram a temperatura mínima de 70 °C, aproximadamente, totalizando cerca de 90 minutos. Após o tratamento térmico os snacks foram resfriados por 30 minutos para realização das análises físico-químicas.

3.3 DETERMINAÇÕES ANALÍTICAS

3.3.1 Caracterização das farinhas de algas

As amostras de alga bruta, in natura e homogeneizada foram analisadas quanto aos teores de umidade, minerais, lipídeos e fibras utilizando os métodos analíticos segundo o Instituto Adolfo Lutz (1998), a proteína bruta conforme o método nº 991.20 (AOAC, 1996) e o carboidrato foi calculado pela diferença entre 100 e a soma dos valores de proteínas, lipídeos, fibras, umidade e cinzas conforme descrito na RDC nº 360 (BRASIL, 2003). A atividade de água (a_w) das amostras foi analisada em Aqualab (Series 4TE, Decagon Devices, Inc. Pullman, EUA), pelo método de ponto de orvalho a 25 °C e as análises foram efetuadas em triplicata. A umidade das amostras foi avaliada pelo método gravimétrico, em secagem direta em estufa à 105 ± 1 °C (SP 100, SPLabor, Brasil), por 24 horas (AOAC, 1996). As análises foram efetuadas em triplicata.

Foram determinados os compostos fenólicos totais das amostras de alga in natura e homogeneizada. Para isso, as amostras foram extraídas por 2 h a 80% de metanol em uma proporção de 1:10 à temperatura ambiente, em um agitador orbital a 200 rpm (VELIOGLU et al. 1998). A mistura foi centrifugada à 1400 rpm por 20 min, e o sobrenadante foi decantado em um frasco de 15 mL. O sedimento foi desprezado. Os sobrenadantes foram utilizados para a análise do conteúdo de fenólicos totais (LING et al. 2014). A determinação do conteúdo de fenólicos totais das amostras foi determinado com base no método Folin Ciocalteu (VELIOGLU et al. 1998), com algumas modificações. Foi adicionado uma alíquota de 100 µL das amostras, com 0,75 mL de reagente Folin-Ciocalteu (Sigma), previamente diluída, em 10 vezes com água destilada, e deixada repousando à temperatura ambiente por 5 min. Após, foram adicionados à mistura, 0,75 mL de solução de bicarbonato de sódio (60 g L^{-1}). As amostras foram mantidas à temperatura ambiente, ao abrigo da luz por 90 minutos. Posteriormente, a absorbância foi medida a 725 nm. Uma curva padrão foi plotada usando diferentes concentrações de ácido gálico (Sigma Aldrich) e a quantidade de fenólico total foi expressa como equivalente de ácido gálico (GAE) em miligramas por 100 g de amostra seca.

3.4 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DOS SNACKS

As massas e os snacks obtidos a partir das formulações apresentadas na Tabela 4 e os dois tratamentos térmicos estudados foram caracterizadas quanto ao perfil de textura (TPA -Massas), análise mecânica de corte (snacks assados), cor e microestrutura.

3.4.1 Análise do Perfil de Textura (TPA) da massa

Para avaliar as propriedades de textura da massa crua dos snacks, logo após sua formulação, foram submetidas a testes mecânicos de compressão utilizando um Texturômetro TAXT2i (Stable Microsystems, Surrey, Reino Unido) com célula de carga de 25 kg, com auxílio do programa Texture Expert Exceed 2.61 (Stable Microsystems, Reino Unido), conforme metodologia descrita por Inglett, Chen e Liu (2015). Os parâmetros para o teste foram os seguintes: velocidade pré-teste de 2,00 mm/s e velocidade de teste de 1 mm/s, velocidade de pós-teste de 4,5 mm/s e a distância de compressão de 1,5 mm. As condições da Probe foram de uma distância de retorno de 40 mm e força de contato de 7 g. Nesta análise foram determinados os parâmetros de firmeza (N/s), adesividade (N/s), gomosidade (N) e coesividade.

Os testes foram realizados com cinco replicatas para cada formulação (F0, F1, F2, F3 e F4), para cada tratamento (alga in natura e homogeneizada) e realizadas em triplicata de processo. A ilustração do teste pode ser observada na Figura 10 a seguir.

Figura 10 - Ilustração dos ensaios de TPA nas massas dos snacks com *Kappaphycus alvarezii*

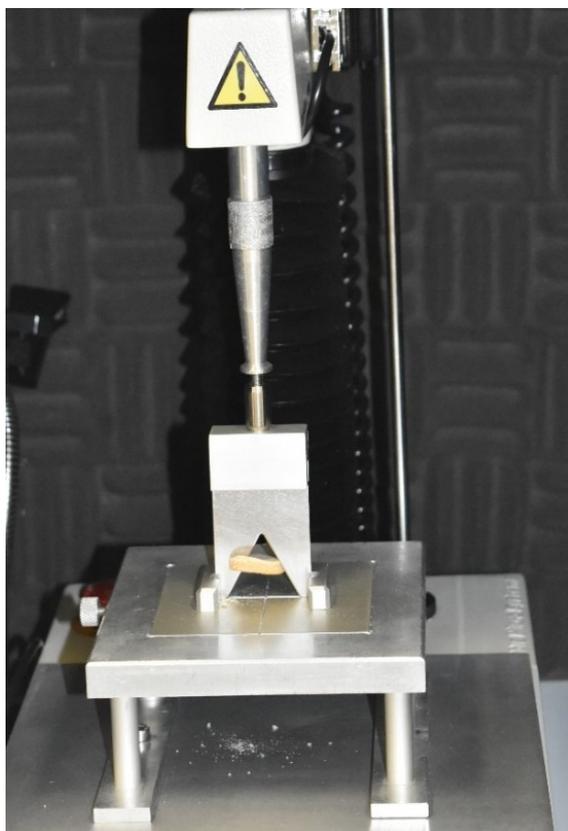


Fonte: o autor.

3.4.2 Análise de Corte dos snacks

A análise de corte e a fraturabilidade (fragilidade durante mastigação) dos snacks tratados termicamente foram determinadas com auxílio de um analisador de textura, Texturômetro TAXT2i (Stable Microsystems, Surrey, Reino Unido) com auxílio do programa Texture Expert Exceed 2.61 (Stable Microsystems, Reino Unido), utilizando uma velocidade de teste de 1 mm / s necessária para o corte do snacks utilizando uma célula de carga de 50 kg, conforme metodologia descrita por Benjakul e Karnjanapratum (2018). A probe com uma lâmina de inserção com fenda em “V”, padrão Warner Bratzler, foi utilizada para imitar a ação da mordida. O snack foi centralizado na fenda da plataforma de serviço (Figura 11), para calcular a força máxima necessária para quebrar os snacks e a distância de ruptura. A espessura dos snacks foi medida utilizando um paquímetro analógico (Mitutoyo, Japão). Para cada amostra foram realizados dez ensaios, todos em triplicata.

Figura 11 - Ilustração dos ensaios de análise de corte dos snacks após os tratamentos térmicos



Fonte: o autor.

3.4.3 Cor

A análise de cor da massa e dos snacks foi determinada através da utilização de um sistema de visão computacional, conforme metodologia adaptada por Cárdenas-Perez et al. (2017). Para captura das imagens, foi utilizada uma câmera Nikon (D5500, Nikon Corporation, Japão). As fotos foram tratadas utilizando o *software* ImageJ v.1.52a (SCHNEIDER; RASBAND; ELICEIRI, 2012; NATIONAL INSTITUTES OF HEALTH, EUA), e a análise das imagens com o plug-in *Color Space Converter* na conversão das cores do sistema RGB para escala CIELab, sendo os valores de luminosidade L^* ($L^* = 0$ preto; $L^* = 100$ branco), e cromatocidades a^* ($+a^*$ vermelho e $-a^*$ verde) e b^* ($+b^*$ amarelo e $-b^*$ azul).

A diferença total de cor (ΔE^*) entre a formulação F0 e as demais (F1, F2, F3 e F4) foram calculadas conforme descrito por Takeungwongtrakul et al. (2015), conforme a Equação 1, sendo ΔL^* a diferença de luminosidade entre a formulação F0 controle e as formulações com alga; Δa^* é a intensidade da cor vermelha; Δb^* é a intensidade da cor amarela.

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

3.4.4 Microscopia Óptica

A microscopia óptica da superfície e da parte interna das algas (alga bruta, in natura e homogeneizada), e dos snacks em todas as suas formulações, foram realizadas utilizando um estereoscópio óptico (Meiji, Modelo - RZ, Japão), com uma câmera microscópica (OptiCam, Modelo - OPT 10000, Brasil). As imagens capturadas foram analisadas utilizando o *software* ImageJ v.1.52a (SCHNEIDER; RASBAND; ELICEIRI, 2012; NATIONAL INSTITUTES OF HEALTH, EUA).

3.4.5 Análise de Microestrutura Eletrônica de Varredura (MEV) e Análise de raios-X por sistema de espectrometria por dispersão de energia (EDX)

As análises de MEV e EDX foram realizadas no Laboratório Central de Microscopia Eletrônica (LCME – UFSC). As amostras foram recobertas com uma

camada de ouro utilizando-se um metalizador (Leica EM SCD 500, EUA). Para as análises foi utilizado um microscópio eletrônico de varredura (Jeol JSM-6390LV, Japão), com fonte de elétrons de tungstênio de 10 kV. Foram realizadas micrografias da superfície da alga, e da fratura dos snacks, estes foram obtidos após a imersão em nitrogênio líquido. Após, foram realizadas as micro-análise semi-quantitativa usando o espectrômetro de dispersão de energia (EDX) das farinhas de alga.

3.5 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os resultados foram submetidos ao teste de Tukey ao nível de 5 % de significância entre os valores e posteriormente a análise de variância (ANOVA), sendo utilizado o *software* Statistica®, versão 10.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CARATERIZAÇÃO DAS FARINHAS DE *KAPPAPHYCUS ALVAREZII*

4.1.1 Composição centesimal

As algas foram desidratadas por secagem convectiva e os valores de umidade inicial da alga in natura AI foram de 94,77 % ($\pm 0,75$) e final 11,66% ($\pm 0,39$), a a_w inicial foi de 1,00 ($\pm 0,00$) e 0,39 ($\pm 0,06$) final, a duração da secagem foi de 9 horas e 30 minutos. Para a alga homogeneizada AH, os valores de umidade iniciais foram de 96,94 % ($\pm 0,01$), devido à adição de água realizada na etapa de homogeneização, e final 16,83% ($\pm 0,15$), e a_w inicial foi de 1,00 ($\pm 0,00$) e 0,51 ($\pm 0,04$) final, o tempo da secagem foi de 10 horas.

A a_w final e a umidade de equilíbrio foram maiores na AH desidratada que na AI. O processo de homogeneização pode ter favorecido a retenção das moléculas de água nas partículas de polissacarídeos da carragena, uma vez que os glicanos possuem uma forte afinidade com a água e na sua maioria se hidratam facilmente quando estão disponíveis (DAMODARAN; PARKIN, 2018).

Na Tabela 5 são apresentados os valores encontrados para a composição centesimal da *Kappaphycus alvarezii* em sua forma bruta (AB), in natura (AI) e homogeneizada (AH).

Tabela 5 - Composição centesimal da *Kappaphycus alvarezii*.

Componentes	AB	AI	AH
Umidade (g / 100 g)	12,59 \pm 0,60 ^a	10,53 \pm 0,04 ^b	12,97 \pm 0,04 ^a
Proteína (g / 100 g)	10,93 \pm 0,06 ^a	7,55 \pm 0,21 ^b	12,68 \pm 0,17 ^c
Lipídeos (g / 100 g)	0,64 \pm 0,05 ^a	1,73 \pm 0,13 ^a	1,62 \pm 0,43 ^a
Fibras (g / 100 g)	3,33 \pm 0,13 ^a	8,49 \pm 0,16 ^b	8,41 \pm 0,11 ^b
Carboidratos (g / 100 g)	23,72 \pm 0,22 ^a	59,19 \pm 0,13 ^c	53,09 \pm 0,59 ^b
Cinzas (g / 100 g)	49,13 \pm 0,59 ^a	12,39 \pm 0,29 ^b	11,38 \pm 0,13 ^c

Nota: as médias seguidas de letras diferente na mesma linha representam diferença significativa ($p \leq 0,05$), de acordo com *Tukey*. Alga bruta (AB), in natura (AI) e homogeneizada (AH).

Fonte: o autor.

A alga bruta apresentou valores mais altos que a AI e AH, apenas nos valores de cinzas, em virtude desta alga não ter recebido nenhum processamento de hidratação. Esse processo que consiste em três lavagens com água destilada permite a retirada de aproximadamente 75% dos sais que constituem as cinzas do produto tornando-o mais apto para o consumo direto. A alga AI obteve destaque nos valores de umidade, em 10,53

g / 100g, e nos valores de lipídeos, 1,73 g / 100g. Os teores de lipídeos não apresentaram diferenças significativas. Quanto às proteínas, os teores levemente maiores foram encontrados, nas algas AH, que podem ser devidos à mais elevada acessibilidade durante os processos de extração decorrente do processo de homogeneização. Por fim, os valores de carboidratos diferiram estatisticamente entre as amostras, sendo amostra AI os valores mais elevados, com 59,19 g /100 g.

Valores próximos aos encontrados neste estudo foram relatados por Fayaz, et al. (2005), em que amostras de *Kappaphycus alvarezii* apresentaram os seguintes teores: 16,24 % de proteínas, 29,4% de fibras, 0,74% de lipídeos totais e 19,7% de umidade.

Já o estudo realizado por Abirami e Kowsalya (2011), encontrou os seguintes valores da *Kappaphycus alvarezii* para os seguintes nutrientes: 4,5 g/100 g de proteínas, 0,89 g/100 g de gorduras e 57,3 g / 100 g de carboidratos.

Hong et al. (2019) avaliaram a composição bioquímica de dez algas marinhas, entre elas, apenas quatro algas, entre as quais a *Kappaphycus alvarezii*, apresentaram resultados classificando estas algas como rica fonte de proteínas, polissacarídeos, carotenoides e vitaminas com altas atividades antioxidantes.

No que se refere a umidade das farinhas da alga, ambas atenderam os requisitos de umidade segundo a RDC nº 263 de 2005 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), onde determina que os valores de umidade para farinhas, amido de cereais e farelos deverá ser no máximo 15,0 % (g /100 g).

4.1.2 Compostos fenólicos totais

Quanto à determinação dos compostos fenólicos totais, a amostra da farinha da alga in natura (AI) apresentou $6,8 \pm 2,1$ mg ácido gálico / 100 g extrato seco. E a amostra da farinha da alga homogeneizada (AH) obteve $7,1 \pm 0,9$ mg ácido gálico / 100 g extrato seco. Observou-se que ambas as farinhas de alga obtiveram valores próximos evidenciando que aos diferentes métodos de preparação da amostra para secagem não afetaram o teor de polifenóis totais. Ling, et al. (2014) investigaram o efeito da secagem de *Kappaphycus alvarezii* em vários métodos, os melhores resultados foram em estufa a 40 °C, onde os resultados foram de $53,33 \pm 0,67$ mg de ácido gálico / 100 g de amostra seca para conteúdo total de fenólicos, como também este método de secagem apresentou os maiores valores para flavonóides, antocianina e carotenoide. Dentre as técnicas de secagem, o menor valor encontrado foi na técnica de liofilização, com $28,44 \pm 1,17$ mg

de ácido gálico / 100 g de amostra seca. A diferença entre esse artigo e os resultados deste estudo, pode ter ocorrido em razão da amostra recebida para a pesquisa já ter sido submetida a secagem natural, o que pode ter influenciado o teor inicial de compostos fenólicos.

Sasue e Kasim (2016), também realizaram um estudo com aplicação da farinha *Kappaphycus alvarezii* em formulação de produtos alimentícios e aplicaram a farinha de alga na formulação de pães. Os pesquisadores encontraram valores ainda maiores, foram 14,99 a 35,07 mg de ácido gálico / 100 g de pão, com adição de 3% e 12%, da farinha de alga, respectivamente.

4.1.3 Cor

Na Tabela 6 são representados os valores médios para os parâmetros de cor da alga na sua forma bruta (AB), AI e AH. Pode-se observar que entre os tratamentos provocaram diferenças significativas nas três amostras para os parâmetros de a^* e L^* , já o parâmetro de croma b^* apenas amostra AB diferiu estatisticamente. Quanto aos valores de ΔE , a amostra AI apresentou valores superiores indicando uma maior diferenciação a respeito à alga bruta. Todos os tratamentos influenciaram na cor da farinha de alga, um fator a ser observado uma vez que a coloração da alga seca é um atributo muito importante para atrair atenção dos consumidores e sua aceitabilidade (KATILI; DALI; YUSUF, 2019; STÉVANT, 2019).

Tabela 6 - Análise de cor das farinhas de alga *Kappaphycus alvarezii*, bruta (AB), in natura (AI) e homogeneizada (AH)

Análise de cor	Tratamentos		
	AB	AI	AH
b^*	$-1,17 \pm 0,10^b$	$3,24 \pm 0,14^a$	$3,28 \pm 0,28^a$
a^*	$-1,05 \pm 0,02^a$	$0,39 \pm 0,02^b$	$0,09 \pm 0,05^c$
L^*	$58,78 \pm 0,13^a$	$66,75 \pm 0,18^c$	$61,96 \pm 0,39^b$
ΔE^*	-	9,23	5,67

Nota: As letras minúsculas na mesma coluna representam a diferença estatística ($p \leq 0,05$), de acordo com *Tukey* entre os tratamentos. b^* (croma azul-amarelo), a^* (croma verde-vermelho), L^* (luminosidade) e ΔE^* (diferença total de cor).

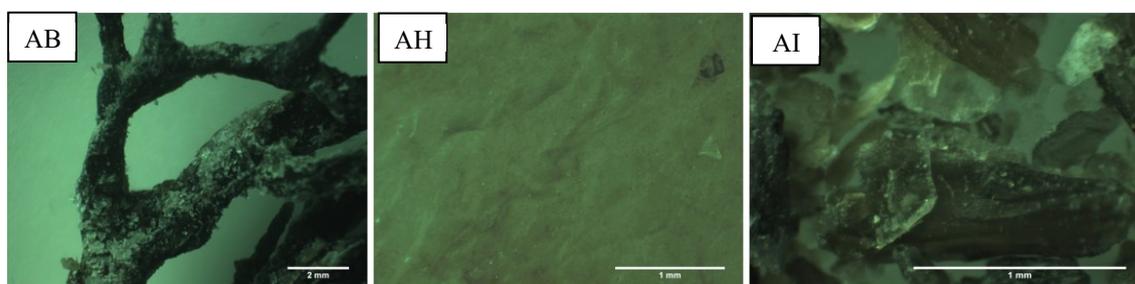
Fonte: o autor.

Charles, Sridhar e Alamsjah (2019) avaliaram o efeito das técnicas de secagem das algas marinhas (*Kappaphycus alvarezii* e *Sargassum duplicatum*) de baixo custo (sol e estufa) e mais caras (secagem a vácuo e liofilização) nos parâmetros de cor e potencial bioativo. Os autores observaram que apenas nas amostras secas ao sol apresentaram valores maiores para ΔE^* , diferindo estatisticamente das demais técnicas. Ou seja, as técnicas de secagem em estufa, a vácuo e liofilização são semelhantes quanto às características de cor das algas. Porém, devido ao alto custo da liofilização, o estudo sugere que a secagem em estufa é uma alternativa viável para secagem da alga.

4.1.4 Microestrutura

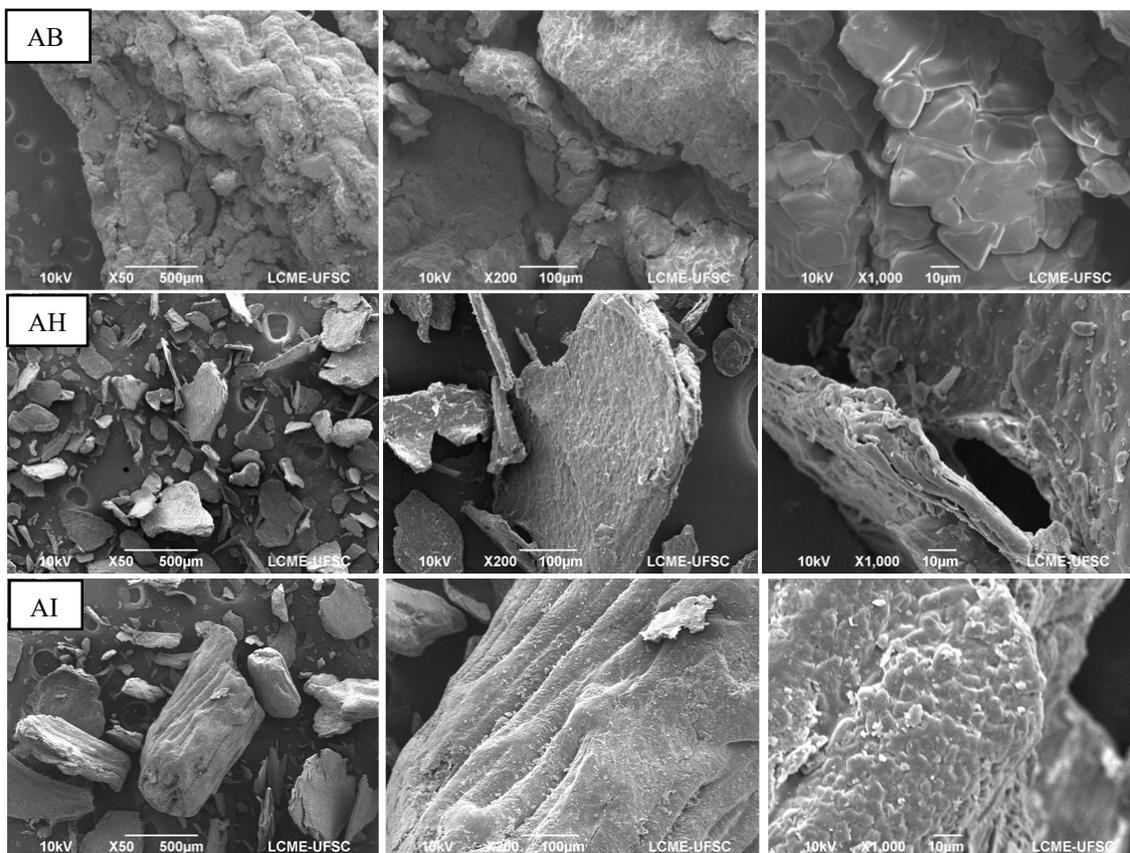
Nas Figura 12 e 13, são apresentadas as imagens da microscopia óptica e microscopia eletrônica de varredura da *Kappaphycus alvarezii* bruta (AB), in natura (AI) e homogeneizada (AH).

Figura 12 - Imagens de microscopia óptica da alga bruta (AB), homogeneizada (AH) e in natura (AI)



Fonte: o autor.

Figura 13 - Imagens de microscopia eletrônica de varredura da alga bruta (AB), homogeneizada (AH) e in natura (AI)



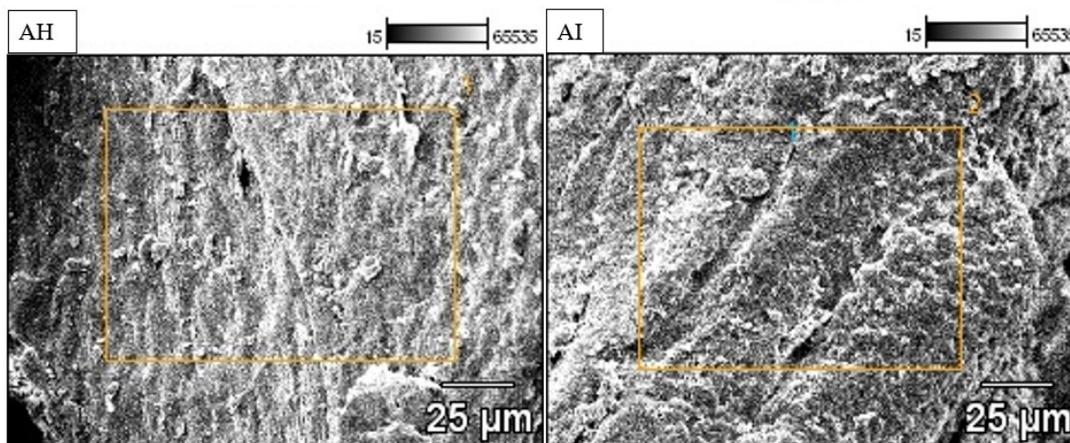
Fonte: o autor.

A *Kappaphycus alvarezii* em sua forma bruta (AB), apresentou diversas incrustações, que são atribuíveis a cristais de sal, o que corrobora com os resultados anteriores descritos na composição centesimal com 49,13 g / 100 g da amostra em cinzas. As imagens da AH e AI já não apresentam cristais de sal e sujidades, confirmando a eficiência no processo de hidratação aplicado neste estudo.

Com as imagens foi possível observar os efeitos dos processamentos aos quais a alga foi submetida e verificar as alterações em suas estruturas. A alga mais inteira foi observada no tratamento da alga AI e mais moída na AH.

Foi realizada uma análise das farinhas de AI e AH por microscopia eletrônica de varredura, acoplada com espectrômetro de raio-X (EDX). Essa análise permite identificar quali/quantitativamente os elementos químicos presentes na amostra. Na Figura 14 estão apresentadas as regiões da amostra que foram caracterizadas com esta técnica.

Figura 14 - Imagens de microscopia eletrônica de varredura da alga homogeneizada (AH) e in natura (AI) para avaliação da composição nutricional



Fonte: o autor.

Na Tabela 7, a seguir, estão apresentados os resultados obtidos a partir da análise EDX.

Tabela 7 - Percentual de micronutrientes da *Kappaphycus alvarezii* in natura (AI) e homogeneizada (AH) pelas imagens de microscopia eletrônica de varredura

	C	N	O	Na	Mg	Al	K	Cl	Ca
AH %	52.72	6.95	27.29	0.92	0.51	0.40	11.20	-	-
	+/-1.40	+/-4.32	+/-1.30	+/-0.18	+/-0.13	+/-0.16	+/-1.28	-	-
AI %	62.10	17.29	11.22	0.89	0.71	0.01	3,92	2,10	1,77
	+/-1.84	+/-2.23	+/-0.69	+/-0.11	+/-0.14	+/-0.09	+/-0.41	+/-0.19	+/-0.25

Fonte: o autor.

Os resultados mostram em ambas as amostras a presença de sais de sódio, magnésio, alumínio e potássio. Entre eles pode ser evidenciada uma maior concentração de sais de potássio. As diferenças entre as duas farinhas de alga podem ser atribuídas seja à preparação da amostra antes da secagem que à região analisada durante a análise por EDX.

4.2 PROPRIEDADES FÍSICAS DA MASSA

4.2.1 Análise do Perfil de Textura (TPA)

Na Tabela 8 estão apresentados os valores extraídos da Análise de Perfil de Textura (TPA) das massas dos snacks crus elaborados com diversas concentrações de farinha de *Kappaphycus alvarezii*. O TPA é empregado com a finalidade de imitar a mastigação, é um método que aplica dupla compressão e fornece vários parâmetros importantes para caracterização reológica da massa (BOURNE, 2002; VAN HEKKEN; TUNICK; PARK, 2004; RODRIGUES et al. 2009).

Tabela 8 - Análise do Perfil de Textura da massa dos snacks com farinha de alga *Kappaphycus alvarezii*, in natura (AI) e homogeneizada (AH)

Alga / Parâmetros	Formulação				
	F0	F1	F2	F3	F4
AI					
Firmeza (N/s)	9,23±6,54 ^{aA}	8,39±4,40 ^{aA}	16,34±12,14 ^a A	22,81±7,21 ^{aA}	11,06±3,38 ^a A
Adesividade (N/s)	-0,48±0,54 ^{aA}	-0,27±0,21 ^{aA}	-0,01±0,02 ^{aA}	-	-0,05±0,05 ^{aA}
Coesividade (-)	0,45±0,13 ^{aA}	0,38±0,02 ^{aA}	0,45±0,05 ^{aA}	0,53±0,03 ^a A	0,47±0,04 ^{aA}
Gomosidade (N)	3,29±0,27 ^{aA}	5,23±2,37 ^{aA}	8,51±9,54 ^{abA}	20,83±5,28 ^{bA}	9,18±1,42 ^{abA}
AH					
Firmeza (N/s)	5,14±0,27 ^{aA}	7,31±3,66 ^{aA}	12,10±8,37 ^{aA}	17,67±14,2 ^{7aA}	10,22±1,73 ^a A
Adesividade (N/s)	-0,57±0,04 ^{aA}	-0,17±0,13 ^{aA}	-	-	-0,05±0,04 ^{aA}
Coesividade (-)	0,37±0,03 ^{aA}	0,37±0,03 ^{aA}	0,53±0,01 ^{bA}	0,59±0,01 ^c B	0,42±3,03 ^{aA}
Gomosidade (N)	3,39±0,41 ^{aA}	4,63±1,99 ^{aA}	11,24±6,52 ^{aA}	10,42±2,04 ^{aA}	6,91±1,59 ^{aA}

Nota: (F0) sem alga, (F1) 2% de alga, (F2) 5% de alga, F3 com 10% de alga e F4 com 2% de alga homogeneizada no Ultraturrax. As letras minúsculas na mesma linha representam a diferença estatística ($p \leq 0,05$), as letras maiúsculas na mesma coluna representam a diferença estatística ($p \leq 0,05$), de acordo com *Tukey*, entre os tratamentos térmicos.

Fonte: o autor.

Nos tratamentos, tanto AI quanto AH, foi observado que nos parâmetros de firmeza não houve diferença significativas entre as formulações controle e as demais formulações. Porém, o aumento da firmeza foi observado na pesquisa realizada por Simas

et al. (2008), com o aumento de 30% da adição de farinha fibrosa de palmeira real em biscoito sem glúten.

O parâmetro Adesividade, definido como o trabalho necessário para ultrapassar as forças de atração entre o material e a superfície da sonda (Probe) (BOURNE, 2002; RODRIGUES et al. 2009), calculado para todas as formulações estudadas. Foi observado que nas formulações F3 da alga AI e F2 e F3 da alga AH, não apresentaram adesividade. Porém, todas as formulações não apresentaram diferenças estatísticas, no parâmetro adesividade. Contudo, os resultados apontam que a adição de farinha de *Kappaphycus* reduz a adesividade das massas. Esse parâmetro é muito importante do ponto de vista tecnológico dado que está correlacionado com possíveis perdas por adesão com suportes e esteiras.

Quanto à coesividade, que é a tendência das moléculas em se manterem unidas, ou seja, área em amostra pode ser deformada antes de sua ruptura, ela é calculada pela razão da força positiva do segundo pico pelo o primeiro (BOURNE, 2002; VAN HEKKEN; TUNICK; PARK, 2004; RODRIGUES et al. 2009). Nos testes, pode ser observado que somente as formulações F2 e F3 do tratamento AH, diferiram estatisticamente das demais, sendo assim, o tratamento da AH nestas concentrações tornou a massa mais firme. Também foi observado em todos os ensaios de que a área do segundo pico era menor, ou seja, menos energia foi empregada para a realização da segunda compressão da massa devido a menor coesividade.

Já o parâmetro gomosidade, definido como a energia necessária para desintegrar uma amostra semissólida até a sua deglutição (BOURNE, 2002; RODRIGUES et al. 2009). Foi observado que as formulações F2, F3 e F4 do tratamento com AI apresentaram diferença significativa entre as formulações.

Como esperado, com o aumento da quantidade da farinha de alga nas formulações, ocorreu aumento nos parâmetros de firmeza, coesividade e gomosidade e uma redução da adesividade devido à formação do gel pela presença dos polissacarídeos presentes na farinha da *Kappaphycus alvarezii* (DAMODARAN; PARKIN, 2018).

No estudo realizado por Hasmadi et al. (2014), com aplicação da farinha da *Kappaphycus alvarezii* em pães, foi observado que aplicação da farinha de alga influenciou nas propriedades de aderência, apresentando menor adesão, viscosidade e coesividade da massa do pão. Esse trabalho indica que a farinha da *Kappaphycus alvarezii* têm um potencial para sua utilização como um importante ingrediente no processamento

de alimentos. O trabalho comprovou que poderá ser aplicado em até 8% farinha da *Kappaphycus alvarezii*, sem gerar alterações nas características e a qualidade dos pães.

4.2.2 Análise de cor da massa

Os resultados da análise de cor da massa crua dos snacks podem ser observados na Tabela 9. Para amostras elaboradas com algas AI os resultados não apresentaram diferenças significativas ($p>0,05$). Já no tratamento AH, os valores da dimensão vermelho-verde (a^*), da formulação F3 variou significativamente ($p<0,05$). A variação nesta dimensão, pode ter ocorrido devido a alga estar em maior percentual na massa da formulação, ou ainda, pelo fato de que AH pode estar mais incorporada à massa em virtude do tratamento recebido antes da secagem. A incorporação da alga AI não afetou significativamente na coloração da massa, um atributo muito importante, pois a coloração no produto é fundamental para a sua aceitabilidade e palatabilidade (KATILI; DALI; YUSUF, 2019; STÉVANT, 2019).

As amostras que mais se diferenciaram do controle foram aquelas com maior teor de algas em sua composição, F2 e F3.

Tabela 9 - Análise de cor da massa dos snacks com farinha de alga *Kappaphycus alvarezii*, in natura (AI) e homogeneizada (AH)

Alga / Tratamento	Formulação				
	F0	F1	F2	F3	F4
AI / MASSA					
b^*	5,76±0,77 ^a	5,49±0,20 ^a	7,01±2,32 ^a	10,22±2,86 ^a	7,55±2,06 ^a
a^*	-0,76±0,42 ^a	-0,91±0,35 ^a	-0,93±0,45 ^a	-0,86±0,59 ^a	-1,09±0,43 ^a
L^*	88,63±7,49 ^a	86,19±8,35 ^a	83,58±8,64 ^a	78,68±10,61 ^a	86,10±7,66 ^a
ΔE^*	-	2,46	5,21	10,90	3,12
AH / MASSA					
b^*	5,19±1,59 ^a	5,69±1,33 ^a	8,21±2,14 ^a	12,28±0,33 ^b	7,31±0,22 ^a
a^*	-0,71±0,36 ^{ab}	-0,78±0,36 ^a	-0,79±0,60 ^a	0,29±0,27 ^b	-0,44±0,12 ^{ab}
L^*	89,35±7,58 ^a	88,07±7,31 ^a	75,00±11,43 ^a	83,38±8,20 ^a	87,43±0,36 ^a
ΔE^*	-	1,38	14,67	9,32	2,88

Nota: (F0) sem alga, (F1) 2% de alga, (F2) 5% de alga, F3 com 10% de alga e F4 com 2% de alga homogeneizada no Ultraturrax. As letras minúsculas na mesma linha representam a diferença estatística ($p \leq 0,05$), de acordo com *Tukey*, entre os tratamentos térmicos. b^* (croma azul-amarelo), a^* (croma verde-vermelho), L^* (luminosidade) e ΔE^* (diferença total de cor).

Fonte: o autor.

4.3 PROPRIEDADES FÍSICAS DOS SNACKS

4.3.1 Umidade, a_w e perda de massa dos snacks

Os resultados de perda de massa, umidade e a_w tanto da massa crua como dos snacks após o tratamento térmico estão apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 - Análise físico-química dos snacks com farinha de alga *Kappaphycus alvarezii*, in natura (AI) e homogeneizada (AH)

Alga	Formulação				
	F0	F1	F2	F3	F4
AI					
Umidade inicial	44,45±1,03 ^b _B	47,79±1,42 ^{ab} _C	48,88±1,72 ^b _C	49,99±1,53 ^b _C	49,22±1,23 ^{bc} _C
a_w inicial	0,98±0,01 ^{aC}	0,99±0,00 ^{aC}	0,99±0,00 ^{aC}	0,99±0,01 ^{aC}	0,99±0,00 ^{aA}
FORNO					
Perda de massa %	57,32±1,00 ^a _A	58,34±2,39 ^{aB}	56,90±1,95 ^a _B	56,17±2,95 ^a _A	58,11±2,61 ^{aB}
Umidade final	7,52±1,95 ^{aA}	13,28±2,60 ^{aB}	13,27±1,79 ^a _B	14,98±5,19 ^a _B	16,30±1,50 ^{aB}
a_w final	0,45±0,11 ^{bb}	0,75±0,04 ^{aB}	0,79±0,06 ^{aB}	0,76±0,06 ^{aB}	0,82±0,09 ^{aA}
KMFD					
Perda de massa %	55,88±0,29 ^b _A	52,84±0,62 ^{aA}	51,74±0,65 ^a _A	51,30±1,06 ^a _A	52,45±0,88 ^{aA}
Umidade final	5,04±1,01 ^{aA}	6,61±1,55 ^{aA}	6,88±1,59 ^{aA}	6,65±1,62 ^{aA}	7,49±1,34 ^{aA}
a_w final	0,25±0,07 ^{aA}	0,28±0,13 ^{aA}	0,29±0,07 ^{aA}	0,29±0,12 ^{aA}	0,40±0,12 ^{aB}
AH					
Umidade inicial	43,93±0,77 ^{bb}	47,06±1,91 ^{cb}	50,25±0,71 ^{ab}	52,15±0,71 ^{ab}	50,30±0,13 ^{ab}
a_w inicial	0,99±0,00 ^{aB}	0,99±0,01 ^{aC}	0,99±0,00 ^{aB}	0,99±0,00 ^{aB}	0,99±0,00 ^{aC}
FORNO					
Perda de massa %	57,66±1,20 ^{aA}	56,03±0,55 ^{aB}	54,65±1,97 ^{aA}	52,98±2,19 ^{aA}	56,14±2,51 ^{aA}
Umidade final	5,43±1,19 ^{aA}	9,88±2,61 ^{aA}	10,65±2,88 ^{aA}	11,28±4,19 ^{aA}	14,01±4,50 ^{aA}
a_w final	0,36±0,09 ^{aA}	0,61±0,08 ^{abB}	0,63±0,10 ^{abA}	0,65±0,14 ^{abA}	0,76±0,13 ^{bb}
KMFD					
Perda de massa %	58,19±2,38 ^{ba}	53,69±0,26 ^{abA}	51,22±2,19 ^{aA}	51,76±2,34 ^{aA}	53,20±1,34 ^{abA}
Umidade final	6,06±1,13 ^{aA}	7,13±1,22 ^{aA}	8,77±2,68 ^{aA}	9,92±3,58 ^{aA}	8,65±1,27 ^{aA}
a_w final	0,28±0,06 ^{aA}	0,35±0,10 ^{aA}	0,46±0,17 ^{aA}	0,53±0,19 ^{aA}	0,47±0,08 ^{aA}

Nota: (F0) sem alga, (F1) 2% alga, (F2) 5% alga, F3 10% de alga e F4 2% de alga homogeneizada no Ultraturrax. As letras minúsculas na mesma linha representam diferença estatística ($p \leq 0,05$), as letras maiúsculas na mesma coluna representam a diferença estatística ($p \leq 0,05$), de acordo com *Tukey*, entre os tratamentos térmicos. Fonte: o autor.

Conforme análises dos resultados na Tabela 10, foi observado a retenção de água com incorporação da alga na massa através dos valores de a_w e umidade. Ambos os parâmetros, após cocção obtiveram diferenças significativas entre os tratamentos in natura e homogeneizadas, nas diferentes formulações.

Nos resultados de perda de massa, para todos os tratamentos, foi possível verificar que o aumento do percentual da farinha de alga resultou no menor percentual de perda de massa. Para as formulações com farinha de alga AI, no tratamento em KMFD a amostra controle (F0) diferiu estatisticamente das demais formulações com alga. Para as formulações com farinha de alga AH, também ocorreu essa diferença significativa, porém ocorreu na formulação controle (F0) e nas formulações com menor percentual de alga, F1 e F4.

Porém, nos dois tratamentos térmicos, a maior retenção de água ocorreu em forno convencional, devido ao menor tempo de cocção e à formação de camadas duras superficiais que podem ter dificultado a difusão da água para a superfície do produto.

Nas formulações F1 e F4, do tratamento térmico em forno, a maior retenção de água ocorreu em F4, com valores de umidade: AI $16,30 \pm 1,50$ e AH $14,01 \pm 4,50$ e a_w em: AI $0,82 \pm 0,09$ e AH $0,76 \pm 0,13$, apesar do mesmo percentual da alga, a carragena estava mais disponível devido ao processamento de incorporação e solubilização com uso do Ultraturrax. Esse processo facilitou a hidratação devido à captação das moléculas de água, gerando uma dissolução completa e desta forma aumentando a viscosidade na massa e aumentando as ligações entre carragena e água (DAMODARAN; PARKIN, 2018).

4.3.2 Análise de cor dos snacks

Na Tabela 11 estão ilustrados os valores médios dos parâmetros de cor das amostras de snacks tratadas no forno e KMFD.

Tabela 11 - Análise de cor dos snacks com farinha de alga *Kappaphycus alvarezii*, in natura (AI) e homogeneizada (AH) tratados termicamente

Parâmetro	Formulação				
	F0	F1	F2	F3	F4
AI FORNO					
<i>b</i> *	20,85±11,76 ^a AB	17,32±11,44 ^a AB	16,18±2,90 ^a AB	13,14±6,33 ^a AB	27,60±3,14 ^{aB}
<i>a</i> *	-0,84±1,74 ^{aA}	-0,64±1,03 ^{aA}	-	-	1,05±2,46 ^{aA}
<i>L</i> *	71,89±17,25 ^a A	66,77±20,43 ^a A	73,02±11,5 0 ^{aA}	62,04±21,2 7 ^{aA}	73,36±10,57 ^a A
ΔE^*	-	6,39	5,07	12,55	7,16
AI KMFD					
<i>b</i> *	10,68±3,19 ^{aA} B	11,69±1,78 ^{aA} B	12,36±0,74 ^a AB	10,17±0,99 ^a A	17,45±1,24 ^{aA} B
<i>a</i> *	-1,01±0,73 ^{aA}	-0,96±0,66 ^{aA}	-	-	-0,88±0,48 ^{aA}
<i>L</i> *	87,81±7,87 ^{aA}	84,82±10,50 ^a A	82,45±12,2 8 ^{aA}	81,72±12,0 5 ^{aA}	82,41±10,74 ^a A
ΔE^*	-	3,15	5,63	6,17	8,67
AH FORNO					
<i>b</i> *	26,90±5,12 ^{ab} DE	26,01±1,71 ^{ab} DE	19,86±1,26 ^a bcDE	18,41±2,70 ^a BCD	28,78±4,31 ^b D
<i>a</i> *	2,03±2,31 ^{aA}	-0,08±1,08 ^{aA}	-	-	1,85±2,51 ^{aA}
<i>L</i> *	78,40±8,58 ^{aA}	73,67±10,44 ^a A	71,27±12,7 5 ^{aA}	67,61±15,5 3 ^{aA}	70,81±12,9 0 ^{aA}
ΔE^*	-	5,25	10,42	14,00	7,82
AH KMFD					
<i>b</i> *	8,86±2,43 ^{aA}	9,50±3,41 ^{aAB}	11,23±1,09 ^a ABC	11,79±0,72 ^a ABC	14,46±4,59 ^a ABC
<i>a</i> *	-0,91±0,27 ^{aA}	-0,07±0,32 ^{aA}	-	-	-
<i>L</i> *	84,29±7,12 ^{aA}	80,66±8,90 ^{aA}	78,56±9,10 ^a A	76,56±10,5 8 ^{aA}	79,37±9,20 ^a A
ΔE^*	-	3,77	6,21	8,28	7,46

Nota: (F0) sem alga, (F1) 2% de alga, (F2) 5% de alga, F3 com 10% de alga e F4 com 2% de alga homogeneizada no Ultraturrax. As letras minúsculas na mesma linha representam a diferença estatística ($p \leq 0,05$), as letras maiúsculas na mesma coluna representam a diferença estatística ($p \leq 0,05$), de acordo com Tukey entre os tratamentos térmicos. *b** (croma azul-amarelo), *a** (croma verde-vermelho), *L** (luminosidade) e ΔE^* (diferença total de cor).

Fonte: o autor.

Quanto a análise de cor dos snacks, o parâmetro de luminosidade (*L**) e a dimensão vermelho-verde (*a**), possibilitaram observar que não houve diferença significativa ($p > 0,05$), em ambos os parâmetros. Para os valores da dimensão amarelo-azul (*b**), a formulação F4 do tratamento com AH, tratada em no forno variou significativamente ($p < 0,05$). A variação nestas dimensões, pode ter ocorrido devido ao fato da alga estar

mais homogênea na massa da formulação, conforme citado anteriormente no resultado da Tabela 9. Na avaliação, da diferença total de cor (ΔE^*) dos snacks tratados termicamente no forno, a formulação F3 apresentou a maior diferença cor em relação ao F0.

Como mostra os dados, os snacks tratados termicamente no forno, são mais escuros que os snacks em KMFD, como pode ser observado na Figura 8. Esse escurecimento pode ser mais intenso devido ao fato da temperatura aplicada no tratamento ser superior, 210°C. O escurecimento também pode estar relacionado com a reação de Maillard, sendo que o mesmo foi favorecido pelo processamento térmico e também pela presença de açúcares e aminoácidos presentes na formulação. Na fabricação de pães e biscoitos esse escurecimento é desejável, pois são atributos importantes de qualidade (DAMODARAN; PARKIN, 2018).

Em trabalho realizado por Hasmadi et al. (2014), com a incorporação da farinha de *Kappaphycus alvarezii* em pães, foram encontrados valores para L^* e b^* diferentes significativamente com a adição da farinha. Os valores médios de L^* deste autor oscilaram entre 58,02 e 45,37. A coloração do miolo do pão se deu em função do aumento da concentração da farinha de alga e seu teor de proteínas, pães com maiores concentrações da farinha apresentaram miolos mais escuros.

4.3.3 Análise de corte dos snacks

Os valores médios da análise de corte das amostras de snacks tratadas termicamente em forno e KMFD são apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 - Análise de corte dos snacks com farinha de alga *Kappaphycus alvarezii*, in natura (AI) e homogeneizada (AH) tratadas termicamente

Alga / Parâmetros	Formulação				
	F0	F1	F2	F3	F4
AI FORNO					
Espessura (mm)	6,44±0,02 ^{aA}	6,20±0,52 ^{Aa}	6,25±0,17 ^{aA}	6,29±0,27 ^{aA}	8,11±0,78 ^{bB}
Força máxima (N)	146,31±16,2 ^{6^{aB}}	131,40±11,5 ^{2^{aA}}	116,92±2,52 ^{abA}	135,85±7,44 ^{a_B}	88,20±13,1 ^{8^{bA}}
Fraturabilidade (mm)	2,83±0,72 ^{aA}	3,67±2,29 ^{aA}	3,68±0,40 ^{aB}	4,43±0,95 ^{aB}	5,10±0,78 ^{aB}
AI KMFD					
Espessura (mm)	6,38±0,21 ^{aA}	6,43±0,06 ^{aA}	6,79±0,21 ^{aB}	6,34±0,20 ^{aA}	6,68±0,16 ^{aA}
Força máxima (N)	91,21±17,28 ^{a_A}	109,22±24,0 ^{3^{aA}}	94,16±28,36 ^{aA}	101,09±16,6 ^{8^{aA}}	136,47±19,33 ^{aB}
Fraturabilidade (mm)	1,45±0,62 ^{aA}	1,52±0,14 ^{aA}	2,20±0,38 ^{aA}	2,47±0,44 ^{aA}	2,18±0,34 ^{aA}
AH FORNO					
Espessura (mm)	6,35±0,28 ^{aA}	6,17±0,34 ^{aA}	6,70±0,32 ^{aA}	6,63±0,46 ^{aA}	8,45±0,22 ^{bB}
Força máxima (N)	109,74±5,47 ^{a_B}	145,31±30,3 ^{6^{abB}}	195,90±9,78 ^{bB}	154,17±14,0 ^{2^{abA}}	147,24±39,65 ^{abA}
Fraturabilidade (mm)	1,69±0,56 ^{aA}	2,35±1,22 ^{aA}	3,97±1,70 ^{aA}	4,42±1,91 ^{aA}	3,09±1,97 ^{aA}
AH KMFD					
Espessura (mm)	6,43±0,46 ^{aA}	6,64±0,04 ^{aA}	7,08±0,36 ^{aA}	6,97±0,41 ^{aA}	7,04±0,37 ^{aA}
Força máxima (N)	40,20±6,35 ^{aA}	59,95±9,00 ^{ab_A}	92,82±0,10 ^{bA}	136,94±19,7 ^{0^{cA}}	48,72±5,47 ^{a_A}
Fraturabilidade (mm)	1,71±0,31 ^{aA}	1,70±0,19 ^{aA}	2,86±1,03 ^{aA}	4,47±1,71 ^{aA}	3,51±1,61 ^{aA}

Nota: (F0) sem alga, (F1) 2% de alga, (F2) 5% de alga, F3 com 10% de alga e F4 com 2% de alga homogeneizada no Ultraturrax. As letras minúsculas na mesma linha representam a diferença estatística ($p \leq 0,05$), as letras maiúsculas na mesma coluna representam a diferença estatística ($p \leq 0,05$), de acordo com *Tukey*, entre os tratamentos térmicos.

Fonte: o autor.

Como observado, a espessura de ambos os tratamentos AI e AH, da formulação F4 (2% no Ultraturrax) assadas em forno se apresentou maior, diferindo estatisticamente das demais formulações (AI 8,11±0,78^{bB} e AH 8,45±0,22^{bB}). Esse comportamento de expansão não foi observado nas formulações com maiores concentrações de alga, acredita-se que o tratamento com o Ultraturrax a alga se apresentou mais homogeneizada e hidratada, com isso, os polissacarídeos estavam mais disponíveis para a ação de formar gel, restando mais água que as demais formulações (DAMODARAN, PARKIN, 2018).

Os valores de força máxima dos snacks elaborados com alga AI, as formulações tratadas em KMFD não diferiram estatisticamente. Os snacks tratados no forno, nas formulações F2 e F4 diferiram estatisticamente requerendo menor força para serem cortados. A formulação F4 apresentou a menor força por ser o snack em que a alga estava pré-homogeneizada, ou seja, o uso do Ultraturrax para solubilizar a alga antes da incorporação na massa, proporcionou maciez aos snacks. Quando comparado aos dois tratamentos térmicos, as formulações F0, F3 e F4 diferiram estatisticamente. Quanto aos ensaios de força máxima dos snacks elaborados com alga AH, todas as formulações tratadas em forno diferiram estatisticamente do controle (F0), e as tratadas em KMFD as formulações F1, F2 e F3 apresentaram diferença estatística em relação a F0 sem alga. Porém, a formulação F4, com o mesmo percentual de alga da F1, não diferiu da amostra controle (F0). Quando comparadas, os dois tratamentos térmicos, as formulações F0, F1 e F2 do forno apresentaram diferença estatística em relação ao KMFD.

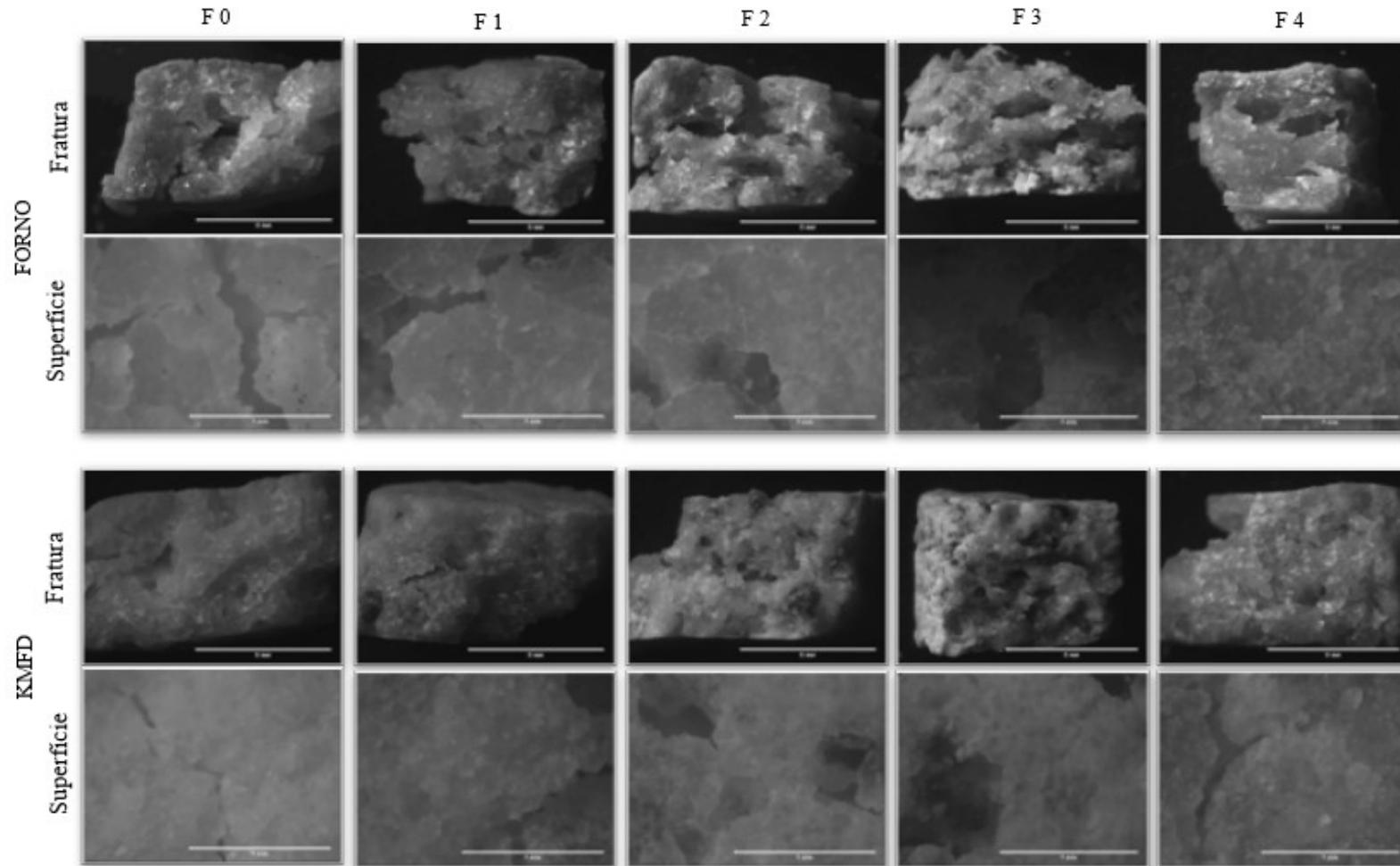
Em relação a fraturabilidade dos snacks, foi observado que durante os ensaios de corte todas as formulações com adição *Kappaphycus alvarezii*, tratadas em forno, apresentaram-se resistentes ao teste, em sua grande maioria não quebraram, diferente das formulações tratadas no KMFD, que em apenas um ensaio da triplicata da F3 não quebrou. Esse fato se explica pelo maior tempo de assamento no KMFD, em torno de 90 minutos, enquanto que no forno foi de 25 minutos, onde o tempo maior de assamento desidratou os snacks, os tornando mais frágeis.

No estudo realizado por Simas et al. (2008), que avaliou a incorporação da farinha de palmeira-real, nas concentrações de 10%, 20% e 30%, na massa de snacks, encontrou-se maior dureza nos snacks com a incorporação de farinha de palmeira-real em relação ao snacks controle. Já a pesquisa realizada por Kaur et al. (2015) mostrou que os biscoitos sem glúten, fabricados com farinha de trigo-sarraceno sem goma obtiveram uma resistência maior, quando comparada com outras formulações com adição de gomas. O estudo realizado por Hasmadi et al. (2014), com adição da *Kappaphycus alvarezii* em pães, revelou que a firmeza do pão aumentou com a adição do percentual da farinha da alga utilizada.

4.3.4 Microscopia óptica do snacks

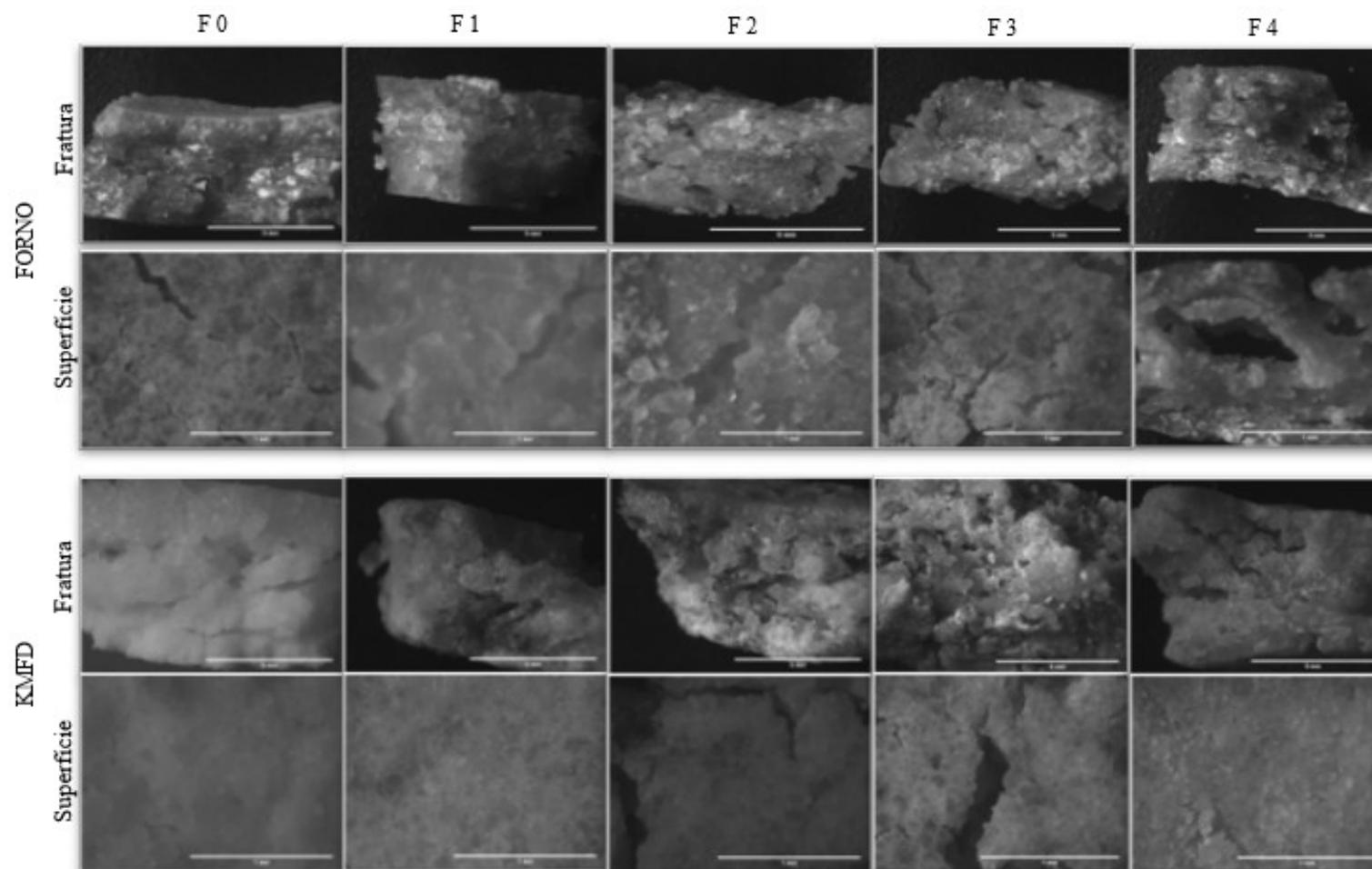
Na figura 15 e 16 a seguir são apresentadas as imagens de microscopia óptica dos snacks formulados com farinha de alga AI e alga AH com detalhamento do corte e superfície.

Figura 15 - Imagens de microscopia óptica dos snacks com farinha de alga in natura (AI) das formulações F0 (controle), F1 (2%), F2 (5%), F3 (10%) e F4 (2% no Ultraturrax)



Fonte: o autor.

Figura 16 - Imagens de microscopia óptica dos snacks com farinha de alga homogeneizada (AH) das formulações F0 (controle), F1 (2%), F2 (5%), F3 (10%) e F4 (2% no Ultraturrax)



Fonte: o autor.

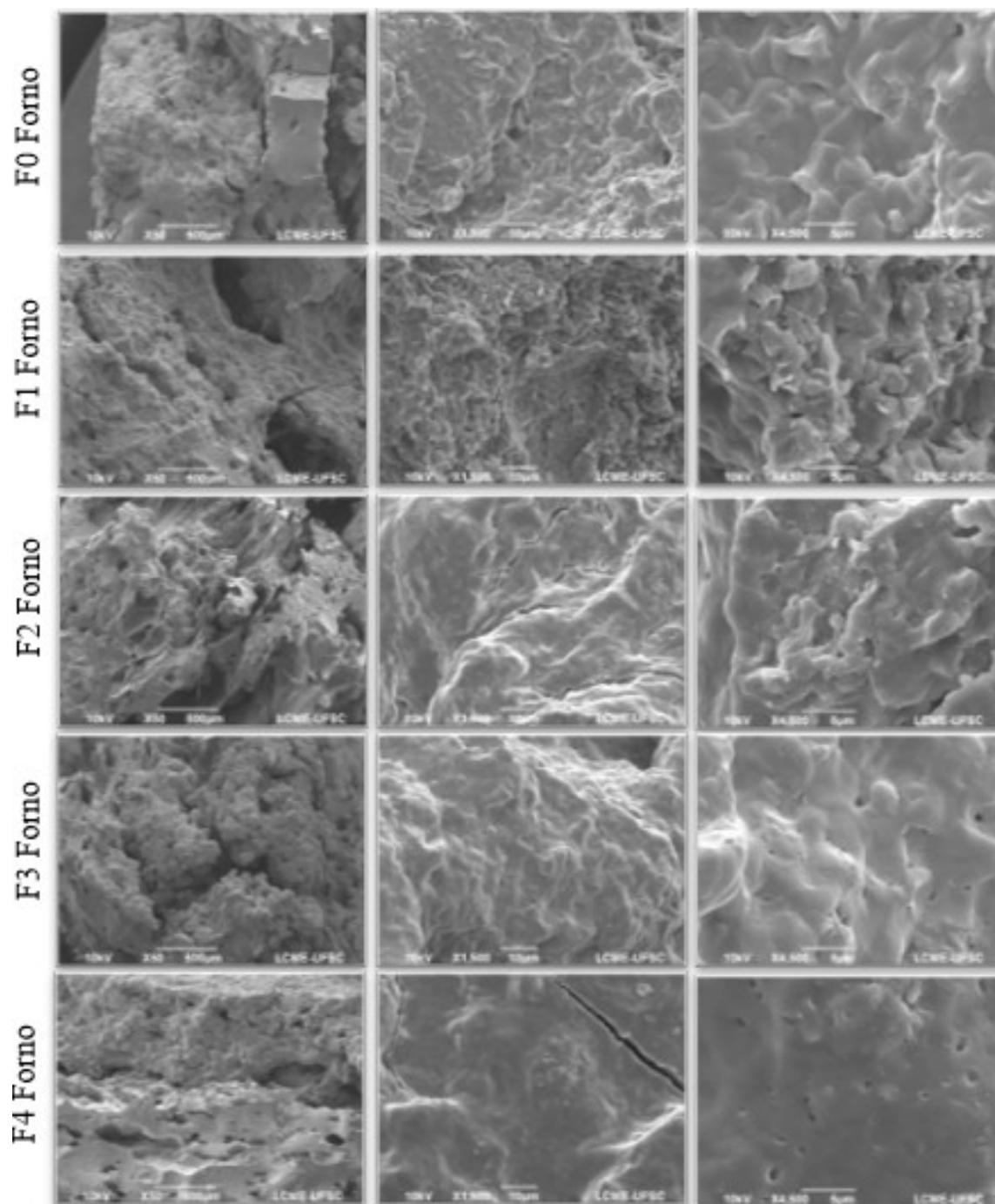
Como pode-se observar nas imagens da Figura 15, as formulações com alga AI apresentaram maior porosidade quando comparadas com a formulação F0 (controle).

Em relação as imagens obtidas pelo microscópio óptico das superfícies e fraturas dos snacks tratados termicamente em forno convencional e KMFD (Figura 16), formulados com farinha de alga AH, a maior expansão do tratamento AH ocorreu no snacks formulado com F4. Observou-se ainda a ausência de rachaduras na superfície desta formulação, por razão da alga estar mais homogênea. Esta formulação reteve mais água, devido pré-tratamento com Ultraturrax, e com a saída das moléculas de água do interior para a superfície, gerou-se uma maior expansão na estrutura deste snacks.

4.3.5 Microscopia eletrônica de varredura dos snacks

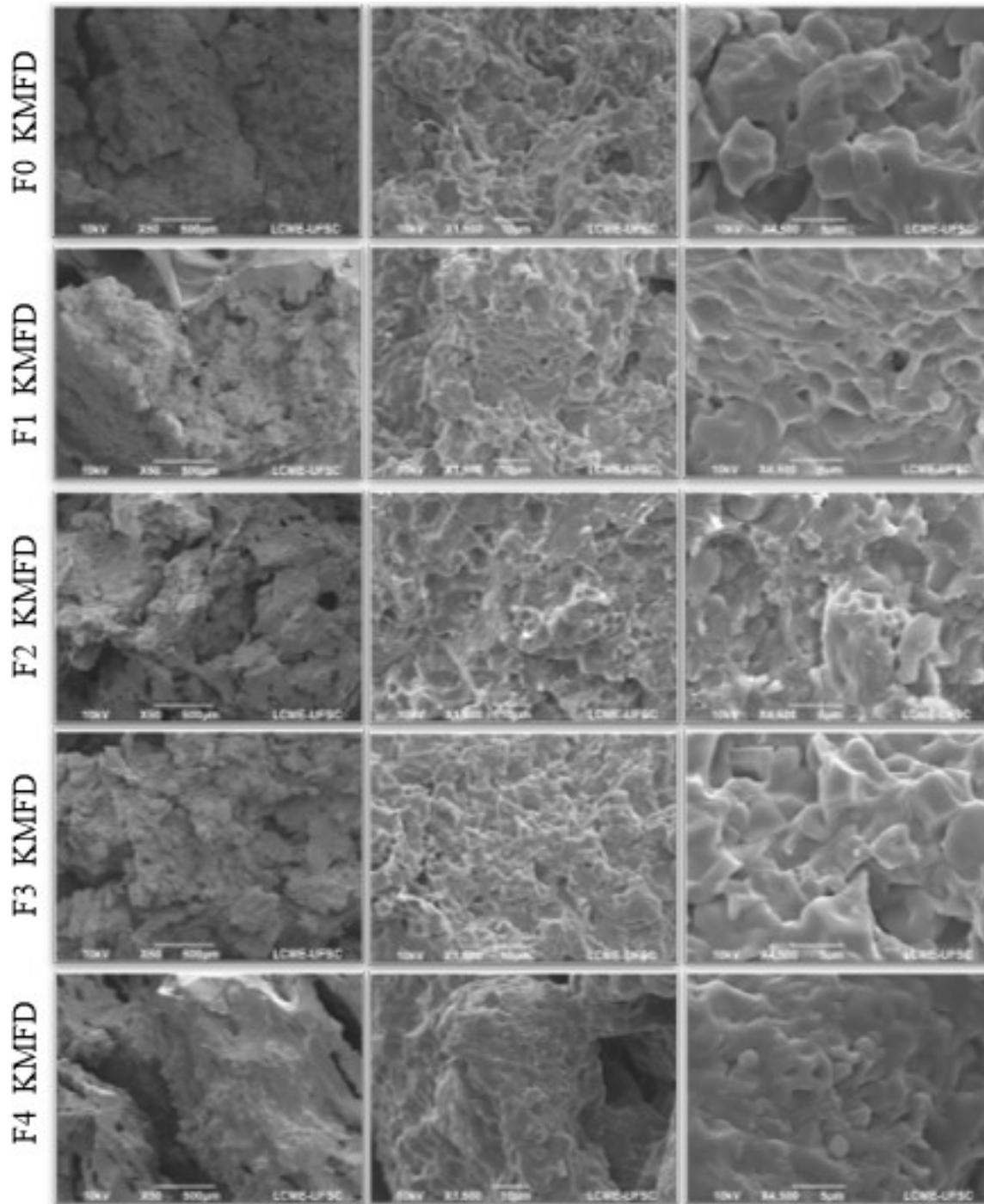
São apresentadas na Figura 17 a 20, as imagens de microscopia eletrônica de varreduras dos snacks elaborados com alga AI e alga AH.

Figura 17 - Imagens de microscopia eletrônica de varredura dos snacks com farinha de alga (AI), em forno, das formulações F0 (controle), F1 (2%), F2 (5%), F3 (10%) e F4 (2% no Ultraturrax)



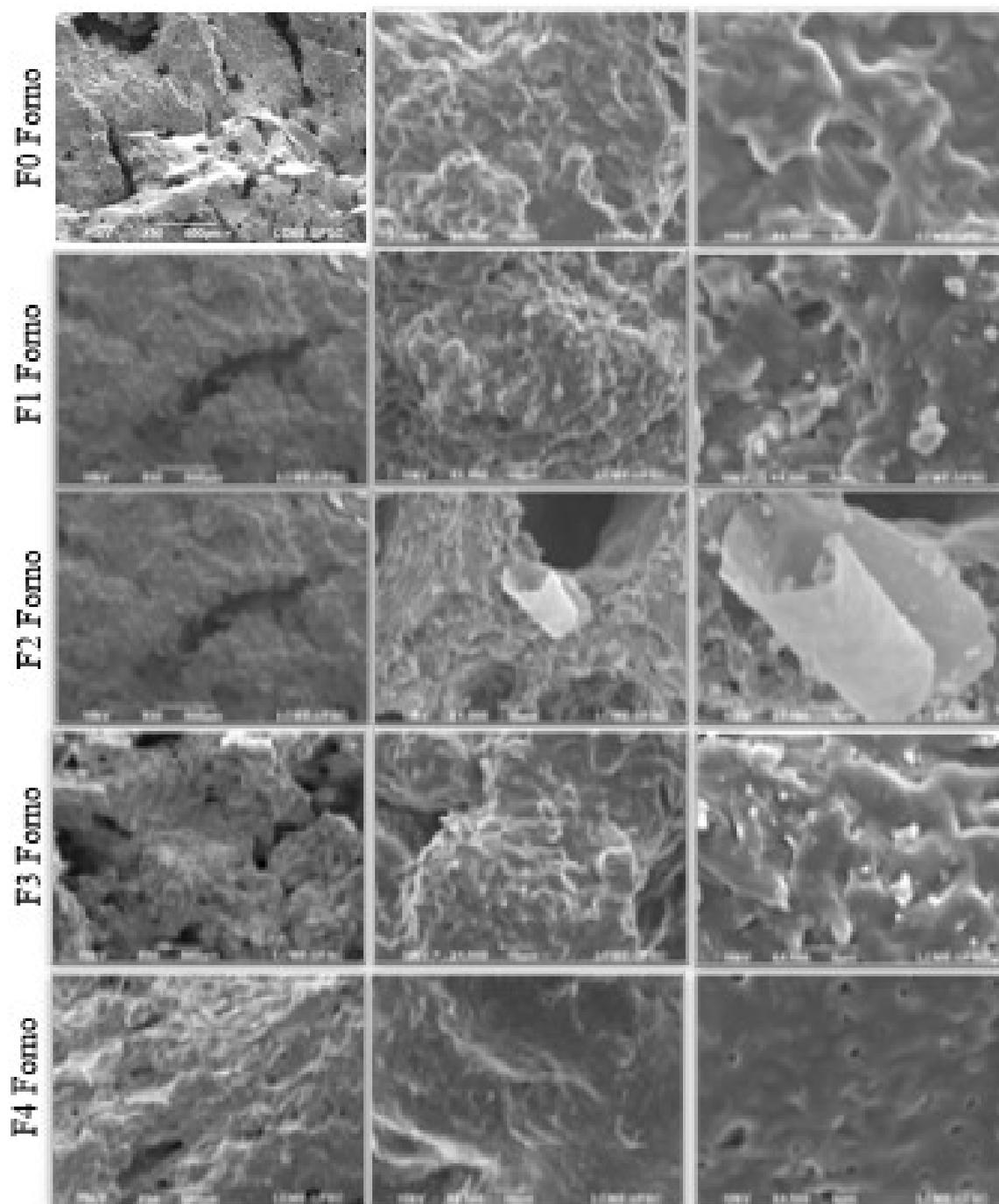
Fonte: o autor.

Figura 18 - Imagens de microscopia eletrônica de varredura dos snacks com farinha de alga (AI), em KMFD, das formulações F0 (controle), F1 (2%), F2 (5%), F3 (10%) e F4 (2% no Ultraturrax)



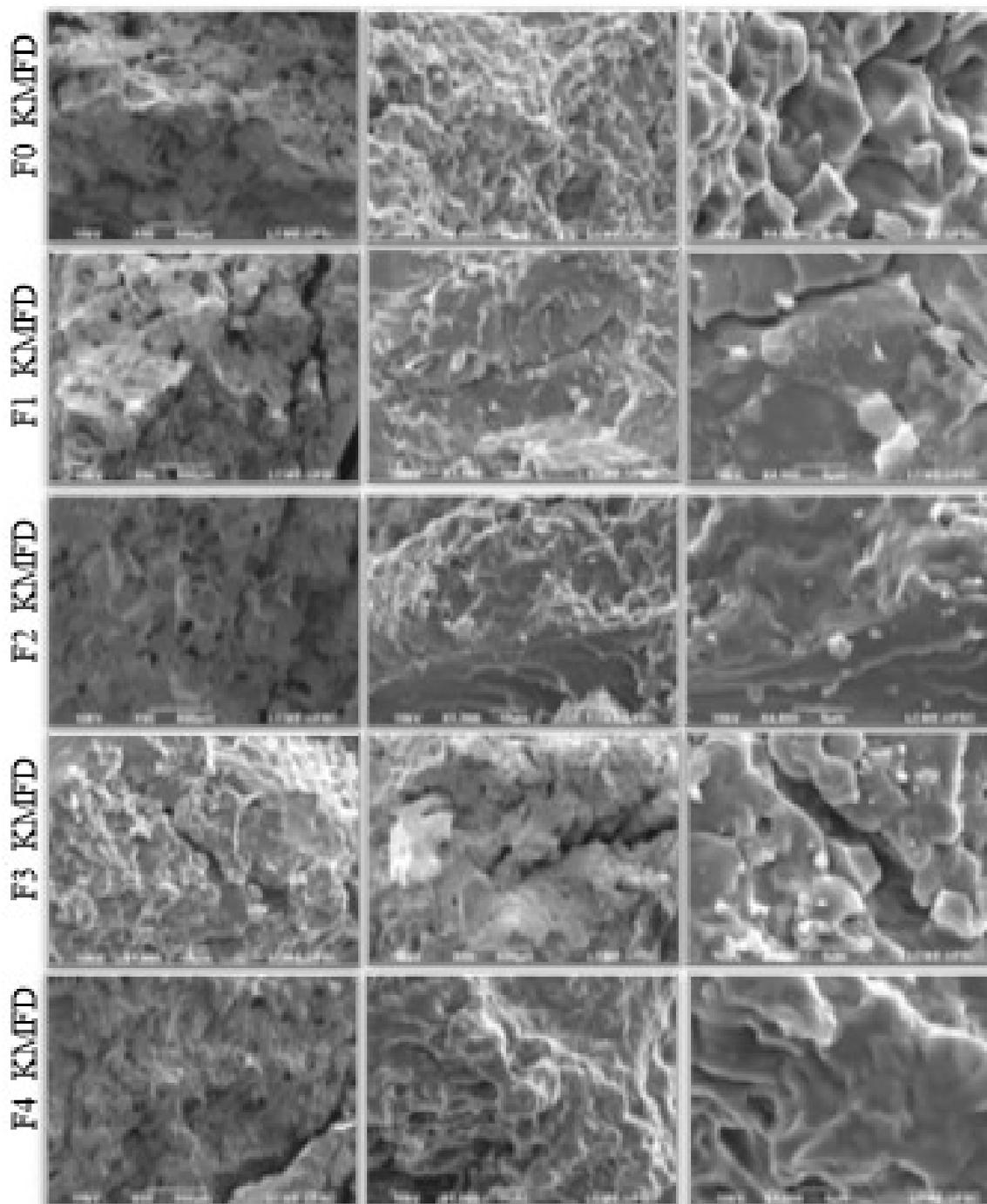
Fonte: o autor.

Figura 19 - Imagens de microscopia eletrônica de varredura dos snacks com farinha de alga (AH), em forno, das formulações F0 (controle), F1 (2%), F2 (5%), F3 (10%) e F4 (2% no Ultraturrax)



Fonte: o autor.

Figura 20 - Imagens de microscopia eletrônica de varredura dos snacks com farinha de alga (AH), em KMFD, das formulações F0 (controle), F1 (2%), F2 (5%), F3 (10%) e F4 (2% no Ultraturrax)



Fonte: o autor.

De modo geral, as partículas da alga foram percebidas em todos os snacks das formulações F1 a F3, em todos os tratamentos. Exceto nas formulações F4, onde foi observado uma estrutura homogênea, sem as partículas de modo isolado. Essa aparência homogênea foi ainda mais perceptível nas formulações tratadas em forno, onde o tempo de preparo era menor e os valores de umidade e a_w maiores, proporcionando essa estrutura.

Pode-se relacionar também, a presença destas partículas em maior quantidade, nas formulações que apresentavam maiores percentuais de alga nos snacks.

5. CONCLUSÃO

O processo de hidratação aplicado às algas se mostrou eficiente, reduzindo os níveis de sais e sujidades, porém alterou a coloração da farinha de alga. Os processos de preparação da amostra e de secagem não afetaram os níveis de proteínas, e a farinha de alga homogeneizada foi classificada como fonte de proteína.

Entre todas as formulações testadas neste estudo, a que apresentou melhor resultado para os parâmetros de textura e expansão do snack foi a formulação F4 com 2% de farinha de alga homogeneizada no Ultraturrax.

Os snacks com maiores teores de farinha de alga *Kappaphycus alvarezii* apresentaram maior retenção de água, tendo elevados os valores de umidade e a_w das formulações tratadas em forno, onde o tempo de preparo foi de 25 minutos menor que o KMFD. Os resultados foram confirmados na estrutura dos snacks no MEV e MO.

Conclui-se então que, a aplicação da farinha de alga nos snacks resultou em uma melhor coloração, textura e valor nutricional do produto final e que a forma de incorporação da alga na massa afeta fortemente as propriedades físicas dos snacks adicionados de farinhas de *Kappaphycus alvarezii*.

REFERÊNCIAS

- AACC International. **Approved Methods of Analysis**, 11th Ed. Método 10-50.05. Baking
- ABIMAPI. Associação Brasileira das Indústrias de Biscoitos, Massas Alimentícias e Pães & Bolos Industrializados. **Anuário, 3^a ed. São Paulo, 2019**. Disponível em: < <https://www.abimapi.com.br/anuario.php>>. Acessado em 30 de jun. 2019.
- ABIRAMI, R. G.; KOWSALYA, S. Nutrient and nutraceutical potentials of seaweed biomass *Ulva lactuca* and *Kappaphycus alvarezii*. **Nong Ye Ke Xue Yu Ji Shu**, v. 5, n. 1, 2011.
- ADITIVOS & INGREDIENTES, **Editora Insumos**. São Paulo, n. 79, p.25-38, Jun, 2011.
- ARIFFIN, FARAH DIYANA et al. Kandungan Makronutrien Rumpai Laut Merah *Kappaphycus alvarezii* dan *Kappaphycus striatum*. **Jurnal Sains Kesehatan Malaysia**, v. 15, n. 2, p. 19-27, 2017.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHIMISTIS. **Official Methods of Analysis** (method 926.12). 16th ed., Gaithersburg, Maryland, 1996.
- BABALIS, Stamatios J.; BELESSIOTIS, Vassilios G. Influence of the drying conditions on the drying constants and moisture diffusivity during the thin-layer drying of figs. **Journal of food Engineering**, v. 65, n. 3, p. 449-458, 2004.
- BENJAKUL, S.; KARNJANAPRATUM, S. Characteristics and nutritional value of whole wheat cracker fortified with tuna bone bio-calcium powder. **Food chemistry**, v. 259, p. 181-187, 2018.
- BOURNE, M. Food texture and viscosity: concept and measurement. **Elsevier**, 2002.
- BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Resolução RDC nº 263, de 22 de setembro de 2005: Aprova o "**Regulamento técnico para produtos de cereais, amidos, farinhas e farelos**". Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, 142(184).
- BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Guia alimentar para a população brasileira**. Brasília: Ministério da Saúde, 2. ed., 2014.
- BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. RESOLUÇÃO DA DIRETORIA COLEGIADA, RDC Nº 26, DE 2 DE JULHO DE 2015. Aprova os "**Requisitos para rotulagem obrigatória dos principais alimentos que causam alergias alimentares**". Brasília: Ministério da Saúde, 2015.
- BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Guia sobre o Programa de Controle de Alergênicos**. Brasília: Ministério da Saúde, 2018.

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. RESOLUÇÃO RDC Nº 352, DE 23 DE DEZEMBRO DE 2002. Aprova o **regulamento técnico de boas práticas de fabricação para estabelecimentos produtores/industrializadores de frutas e ou hortaliças em conserva**. Brasília: ministério da saúde, 2002.

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. Agência Nacional de Vigilância Sanitária ANVISA, Guia Ilustrado. **Cartilha sobre Boas Práticas para Serviço e Alimentação**. 2004.

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. Resolução RDC nº 45 de 03 de novembro de 2010. Aprova o **Regulamento Técnico sobre aditivos alimentares autorizados segundo as Boas Práticas de Fabricação (BPF)**. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil. Brasília, DF, 03 de nov. de 2010.

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. Secretaria de Atenção à Saúde. Portaria nº 1149, de 11 de novembro de 2015: aprova o **protocolo clínico e diretrizes terapêuticas da doença celíaca**. Brasília: Ministério da Saúde; 2015.

BRASIL. Resolução RDC nº 54, de 12 de novembro de 2012. Dispõe sobre o **Regulamento Técnico sobre informação nutricional complementar**. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, 2012.

BRASIL. Resolução RDC nº 360, e 23 de dez. de 2003. Aprova o **Regulamento técnico sobre rotulagem nutricional de alimentos embalados**. Diário Oficial da União, Brasília, 2003.

BRENNAN, J. G. **Food texture measurement. In: Development in Food Analysis Techniques**, R. D. King, ed. Applied Science Publishers: London, 1980 v. 2. p. 1-78.

BRENNAN, J. G. e GRANDISON, A. S. (Ed.). **Food Processing Handbook. Weinheim: Wiley-VCH**, v.1, 2012. p.77-126.

CAMPOS, C. G. P. et al. Doença celíaca e o conhecimento dos profissionais de saúde da atenção primária. **Revista de Saúde Pública do Paraná**, v. 1, n. 2, p. 54-62, 2018.

CÁRDENAS-PÉREZ, S.; CHANONA-PÉREZ, J.; MÉNDEZ-MÉNDEZ, J. V.; CALDERÓN-DOMÍNGUEZ, G.; LÓPEZ-SANTIAGO, R.; PEREA-FLORES, M. J.; ARZATE-VÁZQUEZ, I. Evaluation of the ripening stages of apple (Golden Delicious) by means of computer vision system. **Biosystems Engineering**, v. 159, p. 46-58, 2017.

CELESTINO, S. M. C. Princípios de secagem de alimentos. **Embrapa Cerrados-Documentos (INFOTECA-E)**, 2010.

CHANG, V.; OKECHUKWU, P.N.; TEO, S. The properties of red seaweed (*Kappaphycus alvarezii*) and its effect on mammary carcinogenesis. **Biomedicine & Pharmacotherapy**, v. 87, p. 296-301, 2017.

CHARLES, A. L.; SRIDHAR, K.; ALAMSJAH, M. A. Effect of drying techniques on color and bioactive potential of two commercial edible Indonesian seaweed cultivars. **Journal of Applied Phycology**, p. 1-10, 2019.

CHEW, Y. L. et al. Antioxidant activity of three edible seaweeds from two areas in South East Asia. **LWT-Food Science and Technology**, v. 41, n. 6, p. 1067-1072, 2008.

CHONG, Chien Hwa et al. Colour, phenolic content and antioxidant capacity of some fruits dehydrated by a combination of different methods. **Food Chemistry**, v. 141, n. 4, p. 3889-3896, 2013.

COELHO, S. M. et al. Genomics of marine algae. In: Introduction to Marine Genomics. **Springer**, Dordrecht, 2010.

DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L. **Química de alimentos de Fennema**. Artmed Editora, 2018.

FAO. 2018. The State of World Fisheries and Aquaculture 2018 - **Meeting the sustainable development goals**. Rome. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.

FARHAN, A.; HANI, N. Mohd. Characterization of edible packaging films based on semi-refined kappa-carrageenan plasticized with glycerol and sorbitol. **Food Hydrocolloids**, v. 64, p. 48-58, 2017.

FAYAZ, M. et al. Chemical composition, iron bioavailability, and antioxidant activity of *Kappaphycus alvarezii* (Doty). **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 53, n. 3, p. 792-797, 2005.

FELIX, N.; BRINDO, R. A. Substituting fish meal with fermented seaweed, *Kappaphycus alvarezii* in diets of juvenile freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii*. **International Journal of Fisheries and Aquatic Studies**, v. 1, n. 5, p. 261-265, 2014.

FELLOWS, P. J. **Food Processing Technology: Principles and Practice**. 2. ed. Boca Raton: Crc Press Llc, 2000.

FLORES-SILVA, P. C.; RODRIGUEZ-AMBRIZ, S. L.; BELLO-PÉREZ, L. A. Gluten-free snacks using plantain–chickpea and maize blend: chemical composition, starch digestibility, and predicted glycemic index. **Journal of food science**, v. 80, n. 5, p. C961-C966, 2015.

GANESAN, A. R.; SHANMUGAM, M.; BHAT, R. Producing novel edible films from semi refined carrageenan (SRC) and ulvan polysaccharides for potential food applications. **International journal of biological macromolecules**, v. 112, p. 1164-1170, 2018.

GEANKOPLIS, C. J. Transport Processes and Unit Operations. **Prentice-Hall International**, Inc. 3th ed., 921 p., 1993.

GUIRY, M.D. & GUIRY, G.M. 2019. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National **University of Ireland, Galway**. Disponível em: <<http://www.algaebase.org>>. Acesso em: 04 de mai. 2019.

HASMADI, M. et al. The effect of seaweed composite flour on the textural properties of dough and bread. *Journal of applied phycology*, v. 26, n. 2, p. 1057-1062, 2014.

HAYASHI, L. et al. Fertilization of *Kappaphycus alvarezii* with biofloc effluents: effects on growth and carrageenan yield. In: **Seaweeds: from tradition to innovation**. 23rd international seaweed symposium. 2019. p. 194 e 195.

HAYASHI, L.; OLIVEIRA, E.C.; BLEICHER-LHONNEUR, G.; BOULENGUER, P.; PEREIRA, R.T.L.; SECKENDORFF, R. V.; SHIMODA, V.T.; LEFLAMAND, A.; VALLÉE, P.; CRITCHLEY, A. T. The effects of selected cultivation conditions on the carrageenan characteristics of *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta, Solieriaceae) in Ubatuba Bay, São Paulo, Brazil. **The Journal of Applied Phycology**, 19:505-511, 2007.

HAYASHI, L.; REIS, R.P. Cultivation of the red algae *Kappaphycus alvarezii* in Brazil and its pharmacological potential. **Revista Brasileira Farmacognosia**, 22(4): 748-752, 2012.

HONG, D. D. et al. Evaluation of bioactivities and cream mask formulation from Vietnamese seaweeds In: **Seaweeds: from tradition to innovation**. 23rd international seaweed symposium. 2019. p. 149.

HURTADO, A. et al. Micropropagation of selected *Kappaphycus* strains for the purpose of boosting the supply of much needed, new cultivars for commercial farming. In: **Seaweeds: from tradition to innovation**. 23rd international seaweed symposium. 2019. p. 65.

IMESON, A. P. **Carrageenan and furcellaran**. In: Handbook of hydrocolloids. Woodhead Publishing, 2009. p. 164-185.

INGLETT, G. E.; CHEN, D.; LIU, S. X. Physical properties of gluten-free sugar cookies made from amaranth–oat composites. **LWT-Food Science and Technology**, v. 63, n. 1, p. 214-220, 2015.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. v.1: Métodos físico-químicos para análise de alimentos, 4. ed. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008.

ISO, H. et al. Frequency of food intake and estimated nutrient intake among men and women: the JACC Study. **Journal of epidemiology**, v. 15, n. Supplement_I, p. S24-S42, 2005.

JUSZCZAK, L. et al. Effect of inulin on rheological and thermal properties of gluten-free dough. **Carbohydrate polymers**, v. 90, n. 1, p. 353-360, 2012.

KATILI, R. A.; DALI, F. A.; YUSUF, N. Quality of dried seaweed *Kappaphycus alvarezii* with traditional drying methods from North Gorontalo. In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. **IOP Publishing**, 2019.

KAUR, M. et al. Gluten free biscuits prepared from buckwheat flour by incorporation of various gums: physicochemical and sensory properties. **LWT-Food Science and Technology**, v. 62, n. 1, p. 628-632, 2015.

KULENDRAN, S.; SHANMUGAM, S.; SETH, A. Farming of *Kappaphycus alvarezii* in Sri Lanka: current status and opportunity develop carrageenan industry. In: **Seaweeds: from tradition to innovation**. 23rd international seaweed symposium. 2019. p. 123.

KUMAR, K. S.; GANESAN, K.; RAO, PV S. Antioxidant potential of solvent extracts of *Kappaphycus alvarezii* (Doty) Doty—An edible seaweed. **Food Chemistry**, v. 107, n. 1, p. 289-295, 2008.

LING, A. L. M. et al. Effect of different drying techniques on the phytochemical content and antioxidant activity of *Kappaphycus alvarezii*. **Journal of applied phycology**, v. 27, n. 4, p. 1717-1723, 2014.

LINK, J. V. Aplicação de múltiplos ciclos de aquecimento-pulso de vácuo para a produção de fatias de manga (*Mangífera indica* L.) desidratadas. **Tese** (Doutorado em Engenharia de Alimentos) Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2016.

MACHU, L. et al. Phenolic content and antioxidant capacity in algal food products. **Molecules**, v. 20, n. 1, p. 1118-1133, 2015.

MANLEY, D.; CLARK, H. **Manley's Technology of Biscuits, Crackers and Cookies**. Woodhead Publishing, 2011.

MANOHAR, R. S. et al. Effect of mixing method on the rheological characteristics of biscuit dough and the quality of biscuits. **European Food Research and Technology**, v. 210, n. 1, p. 43-48, 1999.

MCHUGH, D. J. et al. A guide to the seaweed industry FAO Fisheries Technical Paper 441. **Food and Agriculture Organization of the United Nations**, Rome, 2003. Disponível em: < <http://www.fao.org/3/y4765e/y4765e0a.htm#bm10.1>>. Acesso em: 05 out 2019.

MENSOR, L. L. et al. Screening of Brazilian plant extracts for antioxidant activity by the use of DPPH free radical method. **Phytotherapy research**, v. 15, n. 2, p. 127-130, 2001.

MONTEIRO, R. L. et al. Secagem de batata-doce em micro-ondas a vácuo com controle da temperatura pela manipulação da potência. **Tese** (Doutorado em Engenharia de Alimentos), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2018.

MORETTO, E.; FETT, R. **Processamento e análise de biscoitos**. São Paulo: Livraria Varela, 1999.

O'SHEA, N.; ARENDT, E.; GALLAGHER, E. State of the art in gluten-free research. **Journal of food science**, v. 79, n. 6, p. R1067-R1076, 2014.

PARK, K. J. B. et al. Secagem: fundamentos e equações. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 16, n. 1, p. 93-127, 2014.

PONTINHA, V. de A. et al. Influências de macroalgas no estresse ambiental do camarão branco do Pacífico e no crescimento e rendimento gonadal do ouriço-do-mar. **Tese** (Doutorado em Aquicultura), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2018.

PORCIUNCULA, B. D. A.; SEGURA, L. A.; LAURINDO, J. B. Processes for controlling the structure and texture of dehydrated banana. **Drying Technology**, v. 34, n. 2, p. 167-176, 2016.

PRABHA, V.; PRAKASH, D. J.; SUDHA, P. N. Analysis of bioactive compounds and antimicrobial activity of marine algae *Kappaphycus alvarezii* using three solvent extracts. **International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research**, v. 4, n. 1, p. 306, 2013.

QIN, Y. (Ed.). Bioactive Seaweeds for Food Applications: Natural Ingredients for Healthy Diets. **Academic Press**, 2018.

RAHMAN, M. S. **Handbook of Food Preservation**. CRC Press, Taylor and Francis Group, 1068 p., 2nd ed., 2007.

RANGANAYAKI, P.; SUSMITHA, S.; VIJAYARAGHAVAN, R. Study on metabolic compounds of *Kappaphycus alvarezii* and its in vitro analysis of anti-inflammatory activity. **International Journal of Current Research and Academy**. Review, v. 2, n. 10, p. 157-166, 2014.

RAVEN, P. H., EVERT, R. F., & EICHHORN, S. E. **Biologia Vegetal**, 7ª edição, Rio de Janeiro, Ed. Guanabara Koogan, 2007.

RIOUX, L; BEAULIEU, L; TURGEON, S. L. Seaweeds: A traditional ingredients for new gastronomic sensation. **Food hydrocolloids**, v. 68, p. 255-265, 2017.

RODRIGUES, L. G. G. et al. Processo integrado de cozimento e resfriamento de legumes. **Dissertação** (Mestre em Engenharia de Alimentos), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC 2009.

SASUE, A.; KASIM, Z. M. Development and phytochemical content analysis of bun incorporated with *Kappaphycus alvarezii* seaweed powder. In: AIP Conference Proceedings. **AIP Publishing**, 2016. p. 030028.

SCHIERHORN, C. D. Why gluten-free is here to stay. **Food Technology**, v. 72, n. 8, p. 46-57, 2018. Disponível em: <<https://www.ift.org/news-and-publications/food-technology-magazine/issues/2018/august/features/gluten-free-is-here-to-stay#anchor-dbf49adb-e84c-40b0-b0fa-5e26711fefcf>>. Acesso em: 14 set. 2019.

SCHNEIDER, C. A.; RASBAND, W. S. & ELICEIRI, K. W. "NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis", *Nature methods* 9(7): 671-675, PMID 22930834. **NATIONAL INSTITUTES OF HEALTH, EUA.** 2012.

SEDEJ, I. et al. Quality assessment of gluten-free crackers based on buckwheat flour. **LWT-Food science and technology**, v. 44, n. 3, p. 694-699, 2011.

SILVA, J. de S.; AFONSO, A. D. L.; LACERDA FILHO, A. F de. **Secagem e armazenagem de produtos agrícolas.** Viçosa: Aprenda Fácil, 2000.

SIMAS, K. N. de et al. Resíduo do processamento da palmenira-real (*Archontophoenix alexandrae*) orgânica: caracterização físico-química, aplicação em biscoitos fibrosos sem glúten e avaliação sensorial pelo consumidor celíaco. **Dissertação** (Mestre em Ciência dos Alimentos), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2008.

SOUZA, M. L. A. et al. os Desafios na Alimentação dos Portadores de Doença Celíaca. **International Journal of Nutrology**, v. 11, n. S 01, p. Trab 602, 2018.

STÉVANT, P. Seaweeds in food applications: **Effects of processing on product quality.** 2019.

TAKEUNGWONGTRAKUL, S. et al. Characteristics and oxidative stability of bread fortified with encapsulated shrimp oil. **Italian Journal of Food Science**, v. 27, n. 4, p. 476-486, 2015.

TAVARES-DIAS, M.; MARIANO, W. S. **Aquicultura no Brasil: novas perspectivas.** [Vol. 2]. São Carlos: Pedro & João Editores, 2015.

VAN HEKKEN, D. L.; TUNICK, M. H.; PARK, Y. W. Rheological and proteolytic properties of Monterey Jack goat's milk cheese during aging. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 52, n. 17, p. 5372-5377, 2004.

VELIOGLU, Y. S. et al. Antioxidant activity and total phenolics in selected fruits, vegetables, and grain products. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 46, n. 10, p. 4113-4117, 1998.

WANYONYI, S. et al. *Kappaphycus alvarezii* as a food supplement prevents diet-induced metabolic syndrome in rats. **Nutrients**, v. 9, n. 11, p. 1261, 2017.

ZIOBRO, R. et al. Influence of inulin on physical characteristics and staling rate of gluten-free bread. **Journal of Food Engineering**, v. 116, n. 1, p. 21-27, 2013.