



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE CIÊNCIAS DA SAÚDE
DEPARTAMENTO DE NUTRIÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM NUTRIÇÃO

CRISTINA ALEXANDRA CORREIA DOS SANTOS

**PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DA AQUAFABA *IN NATURA* E
DESIDRATADA PROVENIENTE DO GRÃO-DE-BICO (*Cicer arietinum* L.)**

Recife

2021

CRISTINA ALEXANDRA CORREIA DOS SANTOS

**PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DA AQUAFABA *IN NATURA* E
DESIDRATADA PROVENIENTE DO GRÃO-DE-BICO (*Cicer arietinum* L.)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Nutrição, do Centro de Ciências de Saúde, da Universidade Federal de Pernambuco, para obtenção do título de Mestre em Nutrição.

Área de Concentração: Ciência dos Alimentos

Orientador: Prof^a. Dra. Tânia Lúcia Montenegro Stamford

Coorientador: Prof. Dr. Rodrigo de Oliveira Simões

Recife
2021

Catálogo na Fonte
Bibliotecária: Mônica Uchôa, CRB4-1010

S237p Santos, Cristina Alexandra Correia dos.
Propriedades tecnológicas da aquafaba *in natura* e desidratada proveniente do grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.) / Cristina Alexandra Correia dos Santos. – 2021.
91 f.: il.; tab.; 30 cm.

Orientadora: Tânia Lúcia Montenegro Stamford.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, CCS. Programa de Pós-Graduação em Nutrição. Recife, 2021.
Inclui referências e apêndices.

1. Pulse. 2. Propriedades funcionais. 3. Merengue. I. Stamford, Tânia Lúcia Montenegro (Orientadora). II. Título.

612.3 CDD (20.ed.) UFPE (CCS2021-148)

CRISTINA ALEXANDRA CORREIA DOS SANTOS

**PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DA AQUAFABA *IN NATURA* E
DESIDRATADA PROVENIENTE DO GRÃO-DE-BICO (*Cicer arietinum* L.)**

Dissertação apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em
Nutrição do Centro de Ciências da
Saúde da Universidade Federal de
Pernambuco, para obtenção do título
de Mestre em Nutrição.

Aprovada em: 19/05/2021

Banca examinadora:

Profa. Dra. Thayza Christina Montenegro Stamford
Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

Profa. Dra. Natália Ferrão Castelo Branco Melo
Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

Profa. Dra. Patrícia Moreira Azoubel
Universidade de Pernambuco (UFPE)

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Irene e João, por todo o apoio, amor, dedicação e, por vezes, por sacrifícios somente para me verem feliz.

A Paula Callado pela imensidão de amor, por me aturar nos maus momentos, por dizer as palavras certas no momento certo e por me dar todo o apoio e força para alcançar as minhas metas.

Aos meus amigos de Portugal por me mostrarem que mesmo longe estão sempre presentes.

Aos meus colegas de mestrado, Guilherme, Raiane, Marión e Wildia, por terem me recebido, me fazendo sentir em casa e por toda ajuda com minhas dúvidas linguísticas e acadêmicas.

A minha orientadora Tânia Stamford, por todo o conhecimento, atenção, disponibilidade, por todas as palavras gentis de apoio ao longo do curso e no desenvolvimento da minha dissertação.

Ao meu co-orientador Rodrigo Simões, por toda a ajuda e apoio na minha pesquisa.

Aos técnicos e funcionários do LEAAL, por toda disponibilidade e ajuda nas análises realizadas. Um agradecimento muito especial a Camilo por toda a dedicação e paciência.

Por fim, agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela bolsa de mestrado que permitiu a realização do presente trabalho.

RESUMO

O consumo de grão-de-bico aumentou nos últimos anos devido à sua resistência em condições ambientais adversas e à sua constituição nutricional. O processamento deste grão produz grandes quantidades de subprodutos, sendo um deles a aquafaba. Esta possui um bom valor nutricional em carboidratos, proteínas, fibras e antioxidantes e apresenta propriedades funcionais, como formação de espumas. O objetivo deste estudo foi verificar as propriedades tecnológicas da aquafaba *in natura* e desidratada, bem como as do merengue produzido com esse subproduto do grão-de-bico. Foram realizadas análises físico-químicas, atividade de água, expansão e estabilidade de espuma e antioxidantes da aquafaba. Foi verificado que a composição centesimal da aquafaba desidratada, comparada com a *in natura*, apresentou aumento no valor de cinzas, proteínas e carboidratos e diminuição de umidade e lipídeos. As análises de compostos bioativos de flavonoides e fenólicos totais indicaram valores superiores para a aquafaba desidratada. O pH de ambas foi equivalente. A atividade de água da aquafaba desidratada apresentou um valor que assegura a sua conservação e consumo. A expansão e estabilidade da espuma para as aquafabas demonstraram menor valor em comparação à espuma de clara de ovo. A densidade e drenagem dos merengues de aquafaba apresentou maior valor que o de clara de ovo. Foi verificado que a aquafaba desidratada pode substituir a *in natura* devido à semelhança de valores em diversas análises. As análises tecnológicas revelam que ambas aquafabas funcionam como substituto da clara de ovo na formulação de produtos alimentícios, podendo ser uma alternativa para a população vegana e com alergia ao ovo.

Palavras-chave: pulse, propriedades funcionais, merengue.

ABSTRACT

Chickpea consumption has increased in recent years due to its resistance in adverse environmental conditions and its nutritional constitution. The processing of this pulse produces large amounts of by-products, one of which is aquafaba. It has a good nutritional value in carbohydrates, proteins, fibers and antioxidants and has functional properties such as foaming. The objective of this study was to verify the technological properties of fresh and dehydrated aquafaba as well as those of meringue produced with this chickpea by-product. Physical-chemical analyzes, water activity, expansion and stability of foam and antioxidants of aquafaba were carried out. It was verified that the centesimal composition of dehydrated aquafaba compared to the fresh one showed an increase in the value of ash, proteins and carbohydrates and a decrease in humidity and lipids. Bioactive analyzes of flavonoids and total phenolics indicated higher values for dehydrated aquafaba. The pH of both was equivalent. The water activity of the dehydrated aquafaba showed a value that ensures its conservation and consumption. Foam expansion and stability for aquafaba showed less value compared to egg white foam. The density and drainage of aquafaba meringues showed greater value than that of egg white. It was verified that the dehydrated aquafaba can replace the fresh one due to the proximity of values in several analyzes. Technological analysis reveals that both aquafaba work as a substitute for egg white in the formulation of food products, and can be an alternative for the vegan and egg allergies population.

Keywords: pulse, functional properties, meringue.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Diferença entre grão-de-bico tipo Kabuli (a-c) e grão-de-bico tipo Desi (d-f)	16
Figura 2. Estrutura de espuma em diferentes escalas de comprimento	31
Figura 3. Distribuição de proteína e polissacarídeos na bolha. Polissacarídeos hidrofílicos orientados na camada líquida e proteínas hidrofóbicas no gás	32
Figura 4: Fluxograma de produção da aquafaba de grão-de-bico	41
Figura 5 a-b. Embalagem de a) aquafaba desidratada e b) suas instruções de hidratação	41
Figura 6 a-c. Estabilidade da espuma a) aquafaba <i>in natura</i> , b) aquafaba desidratada e c) clara de ovo	45
Figura 7. Fluxograma de produção do merengue de aquafaba de grão-de-bico	47
Figura 8. Drenagem do líquido do merengue no primeiro dia de clara de ovo, aquafaba desidratada e aquafaba <i>in natura</i> (da esquerda para a direita)	48
Figura 9. Expansão da espuma na aquafaba <i>in natura</i> , aquafaba desidratada e clara de ovo	52
Figura 10. Estabilidade da espuma da aquafaba <i>in natura</i> , aquafaba desidratada e clara de ovo <i>in natura</i> nos tempos de 10, 15 e 20 minutos	54
Figura 11. Densidade da massa do merengue de aquafaba <i>in natura</i> , aquafaba desidratada e clara de ovo	56
Figura 12. Drenagem do líquido do merengue no sétimo dia de clara de ovo, aquafaba desidratada e aquafaba <i>in natura</i> (da esquerda para a direita)	58
Figura 13. Drenagem do líquido da massa de merengue de aquafaba <i>in natura</i> , aquafaba desidratada e clara de ovo ao longo de sete dias	59
Figura 14 a-c. Curva de drenagem das massas de merengue de (a) aquafaba <i>in natura</i> , (b) aquafaba desidratada e (c) e clara de ovo, com 150% de açúcar	61
Figura 15. Aspeto físico do merengue de clara de ovo, aquafaba desidratada e aquafaba <i>in natura</i> , após sete dias	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Composição centesimal de aquafaba líquida e desidratada comercial __49

Tabela 2. Atividade antioxidante da aquafaba *in natura* e aquafaba desidratada __51

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
AOAC	<i>Association of Official Analytical Chemists</i> (Associação Oficial de Químicos Analíticos)
aW	Atividade de água
BHT	Hidroxitolueno butilado
CA	Compostos Antioxidantes
DMSO	Dimetilsulfóxido
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ESSE	Estabilidade da Espuma
EXE	Expansão da Espuma
FAO	<i>Food and Agriculture Organization</i> (Organização de Alimentos e Agricultura)
pH	Potencial Hidrogeniônico

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	REVISÃO DE LITERATURA	14
2.1	ALIMENTOS FUNCIONAIS	14
2.2	GRÃO-DE-BICO	15
2.2.1	Composição Química	17
2.2.1.1	Proteínas	18
2.2.1.2	Lipídios	19
2.2.1.3	Carboidratos	19
2.2.1.4	Fibras	21
2.2.1.5	Antioxidantes	21
2.2.1.6	Minerais	23
2.2.1.7	Compostos Antinutricionais	23
2.3	AQUAFABA	25
2.4	PROPRIEDADES FUNCIONAIS DAS PROTEÍNAS	27
2.4.1	Emulsão	28
2.4.1.1	Fatores de Estabilidade na Emulsão	29
2.4.2	Espuma	31
2.4.2.1	Fatores Ambientais de Estabilidade para Espuma	33
2.4.2.2	Propriedades Moleculares de Estabilidade para Espuma	34
2.5	SECAGEM	36
3	HIPÓTESE	38
4	OBJETIVOS	39
4.1	OBJETIVO GERAL	39
4.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	39
5	MATERIAIS E MÉTODOS	40
5.1	MATERIAL	40
5.2	MÉTODOS	40
5.2.1	Produção da aquafaba	40
5.2.2	Hidratação da aquafaba comercial desidratada	41
5.3	COMPOSIÇÃO CENTESIMAL DA AQUAFABA <i>IN NATURA</i> E AQUAFABA DESIDRATADA	42
5.3.1	Umidade	42
5.3.2	Cinzas	42
5.3.3	Proteínas	42
5.3.4	Lipídios	43
5.3.5	Carboidratos totais	43

5.3.6	Potencial Hidrogeniônico (pH)	44
5.3.7	Atividade de água (aW)	44
5.4	PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS	44
5.4.1	Expansão e Estabilidade da Espuma	44
5.5	ANÁLISE ANTIOXIDANTE DA AQUAFABA	45
5.5.1	Flavonóides	45
5.5.2	Fenólicos totais	46
5.6	PRODUÇÃO DO MERENGUE	46
5.6.1	Densidade da massa do merengue	47
5.6.2	Drenagem da massa do merengue	47
5.7	ANÁLISE ESTATÍSTICA	48
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
6.1	ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS	49
6.2	ANÁLISES ANTIOXIDANTES DA AQUAFABA	51
6.3	EXPANSÃO DA ESPUMA E ESTABILIDADE DA ESPUMA	52
6.4	MERENGUE DA AQUAFABA	55
6.4.1	Densidade de merengue de aquafaba	56
6.4.2	Drenagem da massa do merengue	58
7	CONCLUSÃO	64
	APÊNDICE A – CAPÍTULO 24 – ÁGUA DE COZIMENTO DO GRÃO-DE-BICO E SUAS PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS: UMA REVISÃO, PUBLICADO NO LIVRO AVANÇOS EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS	72

1 INTRODUÇÃO

A busca pela promoção da saúde, pela qualidade de vida, pela redução do risco de doenças crônicas não transmissíveis leva à priorização de escolhas alimentares mais saudáveis atendendo as demandas por parte de toda a população. Assim, os alimentos funcionais como frutas, hortaliças e cereais ganharam visibilidade e um maior consumo porque passaram a ser vistos como uma alternativa relevante para estimular a prevenção de doenças crônicas não transmissíveis como o câncer e a diabetes. Um alimento funcional é aquele que, além das suas propriedades nutricionais inerentes, afeta de forma benéfica o organismo humano (SILVA *et al.*, 2016).

Entre os alimentos funcionais encontram-se os pulses (sementes das vagens de leguminosas). Estes são alimentos básicos que providenciam quantidades fundamentais de diversos nutrientes necessários para população mundial, porque as suas sementes facultam diversas quantidades de carboidratos, proteínas, fibras e antioxidantes. Os pulses ainda são constituintes nutricionais de grande importância para a manutenção da saúde humana, pois possuem índice glicêmico baixo, possuem propriedades bioativas que comprovadamente diminuem a autooxidação, a dislipidemia e a hiperglicemia pós-prandial. O grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.) é um desses pulses, considerado como uma importante fonte de proteínas, carboidratos, como o amido e fibras, minerais, vitaminas e antioxidantes (MEURER; SOUZA, MARCZAK, 2020).

Um dos subprodutos do grão-de-bico, por norma descartado, é a sua água de cozimento que tem como denominação aquafaba, de concordância com a origem latina das palavras água (aqua) e do grão da leguminosa (faba). A aquafaba tem demonstrado ser um importante produto, não só devido ao seu elevado conteúdo de compostos bioativos promotores de saúde, mas também pelo alto teor de proteínas. Diversas alternativas têm sido apresentadas para a utilização da aquafaba tendo em conta as suas propriedades tecnológicas (MEURER; SOUZA, MARCZAK, 2020).

Essas propriedades consistem na formação de espuma e de emulsões. Com isso, aumentou-se a busca para avaliar a capacidade da aquafaba como candidato para substituição ao ovo tendo em conta as suas propriedades funcionais, como a capacidade de formação de espuma (BUHL; CHRISTENSEN; HAMMERSHØJ, 2019).

Atualmente, existem alternativas para a conservação de alimentos que permitem manter as propriedades tecnológicas de diversos alimentos. Uma dessas alternativas é a secagem que faz com que o produto prolongue o seu tempo de prateleira ao diminuir a sua quantidade de água. O mecanismo da remoção da água pela secagem, através aplicação de calor para a sua evaporação e o transporte dos vapores resultantes (BERK, 2018; FELLOWS, 2017; KARAM et al., 2016)

Portanto, diante das reconhecidas propriedades tecnológicas que a aquafaba de grão-de-bico apresentam, a presente pesquisa teve como objetivo analisar as propriedades tecnológicas da aquafaba líquida e desidratada proveniente do grão-de-bico e com isso expandir sua utilização pela indústria de alimentos.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 ALIMENTOS FUNCIONAIS

O aumento da expectativa média de vida e os cuidados com a saúde levou a população a procurar diversas formas de se tornar mais saudável. O termo "alimento funcional" foi elaborado como uma solução vantajosa e econômica para doenças crônicas, e está se tornando dominante em inúmeros ramos da ciência e da política (MARTIROSYAN & SINGH, 2015).

A sua origem foi em 1984 no Japão mas o termo alimento funcional mudou seu significado por país (MARTIROSYAN & SINGH, 2015). No Brasil, a legislação vigente, não possui o termo alimento funcional, mas a Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA (1999) definiu alegação de propriedade funcional que é “aquela relativa ao papel metabólico ou fisiológico que o nutriente ou não nutriente tem no crescimento, desenvolvimento, manutenção e outras funções normais do organismo humano”; e alegação de propriedade de saúde que “é aquela que afirma, sugere ou implica a existência da relação entre o alimento ou ingrediente com doença ou condição relacionada à saúde”. Os alimentos que se encaixem nestas alegações podem ser comercializados no mercado desde que devidamente avaliados e comprovada a sua eficácia e segurança.

A inovação e o desenvolvimento de tecnologia no campo da química e biologia levaram os pesquisadores de ciências alimentares a desagregar substâncias presentes nos alimentos e testar os seus diversos extratos no comportamento biológico. Como resultado, podem ser efetuadas relações originais entre compostos bioativos específicos e seus efeitos na saúde (MARTIROSYAN&SINGH, 2015) e desta forma, aplicá-los na indústria de alimentos para que o consumidor possa ter acesso a diversos alimentos funcionais (GHANBARI *et al.*, 2017).

A procura e o desenvolvimento deste tipo de alimento por parte da indústria de alimentos tem aumentado. Para tanto, tem sido levando em consideração, as necessidades dos consumidores (GHANBARI *et al.*, 2017), pois estes estão ativamente explorando opções alimentares mais saudáveis, sem abdicar do gosto, do aspecto e das propriedades funcionais em seus alimentos (MUSTAFA *et al.*, 2018).

Os produtos alimentares industrializados possuem características sensoriais e físicas que são influenciadas através dos ingredientes utilizados para os formular. Nas sobremesas, por exemplo, os consumidores têm maior propensão para os atributos texturais como a espessura, a cremosidade e a suavidade (GHANBARI *et al.*, 2017). Portanto, identificar esses atributos e demonstrar sua funcionalidade na alimentação é de extrema importância para a inserção de novos ingredientes no mercado de alimentos (MUSTAFA *et al.*, 2018).

A indústria alimentar tem pesquisado, com maior detalhe, a aplicação de fibras alimentares e proteínas em novos produtos alimentares com alegações de benefícios para a saúde. Estes constituintes detêm diversos efeitos fisiológicos vantajosos na saúde (GHANBARI *et al.*, 2017).

Uma dieta focada em fontes provenientes de flora, que possui fibras e proteínas, pode ser positiva para prevenir doenças crônicas e promover benefícios a saúde. Neste sentido, aumentou a demanda para o consumo e a utilização de pulses como o grão-de-bico, como ingrediente funcional devido ao seu baixo custo, à sua alta qualidade nutricional, especificamente, fibras e proteínas, e conseqüentemente, às suas propriedades benéficas para a saúde (XU *et al.*, 2017). Os pulses fazem parte da família das leguminosas, mas o termo "pulse" refere-se apenas aos grãos comestíveis secos dentro da vagem, sendo os mais comuns o feijão, lentilha, grão-de-bico e ervilha (FAO, 2016).

2.2 GRÃO-DE-BICO

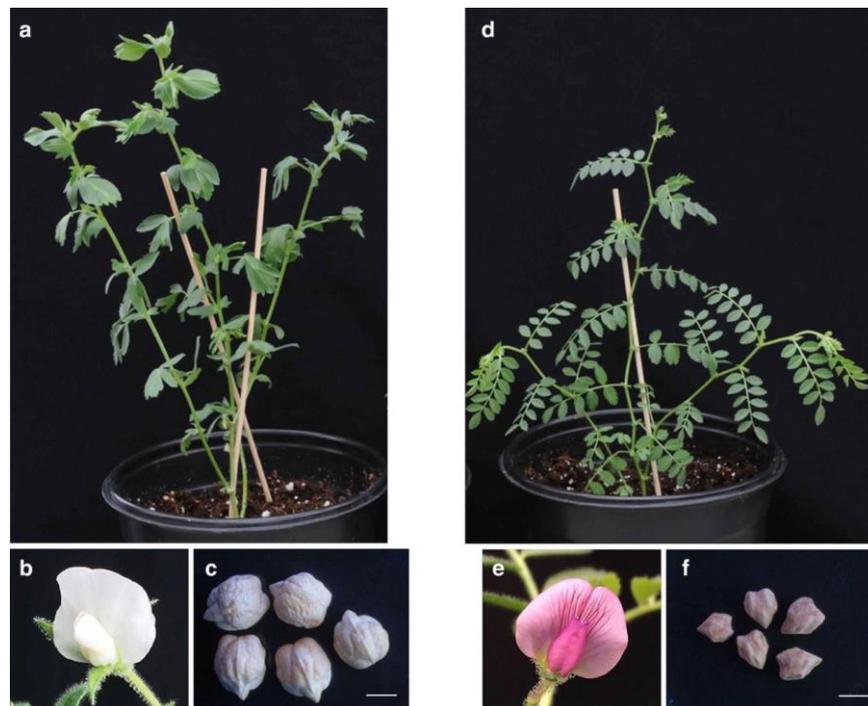
O grão-de-bico (*Cicer Arietinum* L.) é uma leguminosa originária do sudeste da Turquia. Este país abriga a maioria das espécies selvagens de *Cicer*, incluindo a *Cicer reticulatum*, identificada como provável progenitora do tipo cultivado. Posteriormente a sua domesticação foi realizada no Oriente Médio e desenvolveu-se e disseminou-se para toda a região da Índia, Etiópia e Mediterrâneo (KARAFIÁTOVÁ; HŘIBOVÁ; DOLEŽEL, 2017; VARSHNEY; THUDI; MUEHLBAUER, 2017;).

O seu cultivo é efetuado nos cinco continentes, e em cerca de 50 países, com 90% de seus cultivos ocorrendo nos países em desenvolvimento (MUEHLBAUER; SARKER, 2017). Este grão é conhecido como Garbanzo nos países hispânicos e Hamaz, no médio oriente, de onde esta planta é oriunda (EMBRAPA, 2015). Detém

um custo reduzido de produção, uma vasta adaptação climática, uma prática em rotação de cultura e uma imensa aptidão de fixação de nitrogênio atmosférico, o que culmina numa grande importância em sistemas de agricultura sustentável (ARTIAGA *et al.*, 2015).

Os dois grupos principais de cultivares de grão-de-bico, para fins de multiplicação, são denominados como Desi e Kabuli. Esta distinção é efetuada tendo por base características morfológicas, como forma física e cor dos grãos (figura 1) (MILLÁN, 2015; RASOOL; LATEF; AHMAD, 2015).

Figura 1. Diferença entre grão-de-bico tipo Kabuli (a-c) e grão-de-bico tipo Desi (d-f)



Fonte: Kalve; Tadege (2017)

O tipo Desi apresenta flores de coloração rosa, pigmentação antocianina nas hastes e revestimento de sementes colorido e grosso. O tipo Kabuli possui flores brancas, falta de pigmentação de antocianina nos caules e sementes brancas ou beges com a forma de cabeça de carneiro com uma fina e lisa camada de revestimento (JUKANTI *et al.*, 2012; RASOOL; LATEF; AHMAD, 2015). O tipo Desi representa cerca de 80 a 85% do grão-de-bico produzido e são cultivados principalmente na Ásia e África. O cultivo do tipo Kabuli é realizado no oeste da Ásia,

norte da África, América do Norte e Europa (JUKANTI *et al.*, 2012). Este grão pode ser consumido como grão verde, grão seco ou reidratado (EMBRAPA, 2015).

O grão-de-bico foi introduzido no Brasil por imigrantes espanhóis e do Oriente Médio. Atualmente, sua produção tem evidenciado um crescimento no país, apresentando um custo de 30 a 40% menor quando comprado ao feijão. Em 2015, a área de plantio apresentava 200 hectares e, em 2018, aumentou para 9 mil hectares. Desta forma, o país deixou de necessitar de importações, apresentando boas perspectivas para comercializar a quantidade remanescente para mercados internacionais. A produção interna de grão-de-bico pode ampliar seu consumo entre a população brasileira, o que beneficia nutricionalmente os consumidores (EMBRAPA, 2019).

A qualidade nutricional do grão-de-bico tem sido considerada mais benéfica quando comparado a outros pulses. Representa um elemento relevante da alimentação humana e ganha grande interesse como alimento funcional ou ingrediente alimentar funcional nos países desenvolvidos (NIÑO-MEDINA *et al.*, 2019; RASOOL; LATEF; AHMAD, 2015; TORRES-FUENTES *et al.*, 2015).

2.2.1 Composição Química

O grão-de-bico, em relação às propriedades nutricionais, apresenta-se como uma boa fonte de carboidratos e proteínas, constituindo juntos cerca de 80% da massa total de grãos secos em comparação com outros pulses. Possui baixa quantidade de lipídios, sendo os mesmos polinsaturados, além de uma boa fonte de compostos bioativos que realizam prevenção e papel metabólico benigno em humanos, como fibras, vitaminas, polifenóis, fitoesteróis, carotenóides e minerais (NIÑO-MEDINA *et al.*, 2019; BRUMMER; KAVIANI; TOSH, 2015; TORRES-FUENTES *et al.*, 2015).

Os benefícios nutricionais mencionados aliados à baixa alergenicidade, à uma produção sustentável, ao baixo preço e a altos volumes de produção, favorecem o interesse e o uso industrial de pulses, assim como o consumo pela população que cada vez mais se preocupa com a sua alimentação e saúde (BUHL; CHRISTENSEN; HAMMERSHØJ, 2019; NIÑO-MEDINA *et al.*, 2019; TORRES-FUENTES *et al.*, 2015).

2.2.1.1 Proteínas

Nos últimos anos as proteínas de origem vegetal ganharam maior interesse e intensificaram as pesquisas, considerando-as como prováveis candidatos em substituição das proteínas de origem animal. Isto é movido pelo aumento na conscientização acerca da sustentabilidade e de benefícios para a saúde verificados da perspectiva moderna do consumidor e da indústria de alimentos (BUHL; CHRISTENSEN; HAMMERSHØJ, 2019).

O conteúdo de proteína do grão-de-bico varia entre 19,3 g 100 g⁻¹ a 20 g 100 g⁻¹ (SOFI *et al.*, 2020; MARTÍNEZ-PRECIADO *et al.*, 2019; SUMMO *et al.*, 2019). A sua composição de aminoácidos bem equilibrada e biodisponibilidade faz com que apresente uma ótima qualidade proteica (AISA *et al.*, 2019).

As proteínas deste pulse são classificadas em duas partes principais: globulinas e albuminas. As globulinas (~56%) representam o principal constituinte proteico e em seguida as albuminas (~12%) (AISA *et al.*, 2019; ELLIS; LAZIDIS, 2018; XU *et al.*, 2017; RACHWA-ROSIK; NEBESNY; BUDRYN, 2015). Estas proteínas demonstraram ser uma fonte distinta de peptídeos bioativos com função antioxidante, mais concretamente, inibidores da enzima conversora de angiotensina e atividades hipocolesterolêmicas. Alguns desses constituintes demonstraram uma forte atividade, com similaridade de eficiência ao antioxidante sintético hidroxitolueno butilado (BHT) (TORRES-FUENTES *et al.*, 2015).

Ademais, foram determinadas com êxito diversas sequências de peptídeos a partir das subfrações peptídicas mais antioxidantes do grão-de-bico, ricas em aminoácidos hidrofóbicos e polares. Em especial, o aminoácido histidina foi um dos mais profusos que surgem na maioria dos peptídeos identificados e explanam, em parte, a atividade antioxidante (TORRES-FUENTES *et al.*, 2015).

O grão-de-bico exibe uma grande quantidade de proteína, o que o torna uma relevante fonte de substituição de proteínas de origem animal numa grande diversidade de aplicações alimentícias devido às suas propriedades funcionais. A superfície dinâmica e a adsorção de proteínas nas interfaces são consideradas como tendo um papel importante na formação e na estabilização de emulsões ou espumas

(BUHL; CHRISTENSEN; HAMMERSHØJ, 2019; GHRIBI *et al.*, 2015). As propriedades funcionais compreendem ligação de gorduras, capacidade de retenção de água, como propriedades de gelificação, espuma e emulsificação (BUHL; CHRISTENSEN; HAMMERSHØJ, 2019; MUSTAFA *et al.*, 2018).

2.2.1.2 Lipídios

O conteúdo total de lipídios presente no grão-de-bico varia de 4,5 a 6,0 g 100 g⁻¹. É maior do que em outros pulses, como lentilhas (1,06 g 100 g⁻¹), feijão vermelho (1,06 g 100 g⁻¹) e feijão mungo (1,15 g 100 g⁻¹) (JUKANTI *et al.*, 2012; RACHWA-ROSIK; NEBESNY; BUDRYN, 2015).

Os lipídios presentes no grão-de-bico são caracterizados por altos níveis de ácidos graxos insaturados essenciais, por cerca de 66% de ácidos graxos polinsaturados, cerca de 19% de ácidos graxos monoinsaturados e cerca de 15% de ácidos graxos saturados. O ácido graxo polinsaturado mais predominante é o ácido linoleico (54,7-56,2%), seguido pelo ácido oleico (21,6-22,2%) e ácido palmítico (18,9-20,4%) e em menor grau, ácido esteárico (1,3-1,7%) e ácido linolênico (0,5-0,9%) (JUKANTI *et al.*, 2012; RACHWA-ROSIK; NEBESNY; BUDRYN, 2015).

O grão-de-bico tem quantidades mais altas de ácido linoleico e ácido oleico em comparação com outros pulses comestíveis, como lentilhas (44,4% ácido linoleico; 20,9% ácido oleico), ervilhas (45,6% ácido linoleico; 23,2% ácido oleico) e feijão (46,7% ácido linoleico; 28,1% ácido oleico). O valor nutricional do ácido linoleico é muito importante devido ao seu metabolismo nos tecidos do corpo onde seria precursor de prostaglandinas, que reduzem a pressão sanguínea e regulam a contração da musculatura lisa. Outros compostos incluídos na gordura do grão-de-bico são ceras, álcoois graxos e esteróis (JUKANTI *et al.*, 2012; RACHWA-ROSIK; NEBESNY; BUDRYN, 2015).

2.2.1.3 Carboidratos

O conteúdo total de carboidratos presentes no grão-de-bico é superior ao dos outros pulses, sendo em média de 51 g 100 g⁻¹ lentilha, 53 g 100 g⁻¹ de feijão comum

e 54 g 100 g⁻¹ de grão-de-bico (JUKANTI *et al.*, 2012; SIVA; THAVARAJAH; THAVARAJAH, 2020). A constituição de carboidratos do grão-de-bico consiste em 60,3% de amido, sendo a quantidade de amilose de 36-41% (AISA *et al.*, 2019; MARURE *et al.*, 2019). Apresenta também monossacarídeos (ribose, glicose, galactose e frutose), dissacarídeos (sacarose e maltose) e oligossacarídeos (estaquiose, ciceritol, rafinose e verbascose). Os monossacarídeos encontram-se distribuídos nas seguintes concentrações: ribose, 0,11 g 100 g⁻¹; glicose, 0,7 g 100 g⁻¹; galactose, 0,05 g 100 g⁻¹; frutose, 0,25 g 100 g⁻¹. Os dissacarídeos livres mais consideráveis são a maltose (0,6%) e sacarose (1 - 2%) (JUKANTI *et al.*, 2012).

Entre as culturas de pulses, o grão-de-bico é a que apresenta a maior quantidade de oligossacarídeos (8,82%). Os segundos carboidratos mais abundantes nas plantas, após a sacarose, são os α -galactósidos e, no grão-de-bico, representam cerca de 62% do teor total de açúcar (mono, di e oligossacarídeos). O α -galactósídeo presente no grão-de-bico é dividido em dois grupos: oligossacarídeos da família rafinose, incluindo rafinose, estaquiose e verbascose; e o galactosil ciclitol, incluindo ciceritol. O ciceritol e a estaquiose, são dois galactósídeos relevantes no grão-de-bico. A sua constituição é de 36 - 43% e 25%, respectivamente (JUKANTI *et al.*, 2012).

Os seres humanos não possuem α -galactosidase, a enzima responsável pela degradação dos α -galactósídeos. Por este motivo, estes oligossacarídeos não são absorvidos ou hidrolisados mas passam por um processo de fermentação através de bactérias presentes no cólon, o que resulta na produção de metano, hidrogênio, e hidróxido de carbono, os principais elementos de gases flatulentos. A expulsão desses gases é responsável pelo desconforto abdominal (JUKANTI *et al.*, 2012).

Os polissacarídeos encontram-se presentes nos pulses como carboidratos de armazenamento (amido) ou carboidratos estruturais (celulose). O grão-de-bico desenvolve e armazena amido, sendo seu teor total neste pulse de cerca de 525 g kg⁻¹ matéria seca, sendo considerado cerca de 35% de amido resistente e os 65% restantes como amido disponível. O amido é composto de dois grandes polímeros de glucano, sendo estes a amilose e a amilopectina (JUKANTI *et al.*, 2012; MARURE *et al.*, 2019).

O amido encontra-se em maior quantidade nos cereais, como o trigo (25%), quando comparado com o grão-de-bico, mas o teor de amilose é mais elevado nos pulses (36-41%) (JUKANTI *et al.*, 2012; MARURE *et al.*, 2019). Apesar disto, a

digestibilidade dos pulses *in vitro*, em geral, apresenta valores mais baixos que os cereais devido a um maior teor de amilose. Os valores de digestibilidade do amido *in vitro* do grão-de-bico variam de 37 a 60% e são superiores aos de outros pulses, como as lentilhas e o feijão (JUKANTI *et al.*, 2012).

2.2.1.4 Fibras

Nos alimentos de origem vegetal a fibra alimentar pertence a um grupo de carboidratos não digeríveis que abrange carboidratos insolúveis e solúveis, incluindo polissacarídeos de amido, como celulose, pectina, gomas, hemiceluloses, β -glucanos. Outros componentes da fibra alimentar são aqueles que não são recuperados através da precipitação do álcool, como inulina, oligossacarídeos, frutanos, lignina e algum amido resistente (AISA *et al.*, 2019).

O grão-de-bico apresenta no seu revestimento, aproximadamente, 40% de fibras na configuração de celuloses, hemiceluloses e pectinas. Este é o pulse que apresenta maior conteúdo total de fibra, entre 18 a 22% e é uma ótima fonte de fibra solúvel (4 – 8%) e insolúvel (10 – 18%), além de amido resistente e galactoligossacarídeo (AISA *et al.*, 2019; NIÑO-MEDINA *et al.*, 2019; JUKANTI *et al.*, 2012). O ramnose hemicelulósico encontra-se presente em porções consideráveis nas frações de fibra insolúvel no revestimento do grão-de-bico. A glicose apresenta-se em grandes quantias nas frações de fibra solúvel do revestimento e do grão-de-bico, sendo a xilose o seu principal constituinte das frações de fibras solúveis (JUKANTI *et al.*, 2012). A sua ingestão oferece diversos efeitos benéficos como o aumento da massa do bolo fecal, o favorecimento do trânsito intestinal, além de auxiliar na prevenção do câncer de cólon e na regulação dos níveis de açúcar no sangue, dentre outros (NIÑO-MEDINA *et al.*, 2019).

2.2.1.5 Antioxidantes

Os antioxidantes inibem o estresse oxidativo e permitem a quelação de ions metálicos, o que faz com que ocorra a diminuição de danos celulares que contribuem para o aumento do risco de desenvolvimento de doenças provocadas pela oxidação

de células. Desta forma, aumentou-se o interesse na identificação, na caracterização e na aplicação de antioxidantes (NIÑO-MEDINA *et al.*, 2019; RACHWA-ROSIK; NEBESNY; BUDRYN, 2015).

Além das propriedades mencionadas, também foram referidas propriedades antialérgicas, anti-inflamatórias e antimicrobianas para os compostos fenólicos. As indústrias de alimentos e agricultura realizam a produção de muitos produtos ricos em compostos fenólicos para satisfazer a procura deste tipo de composto por parte dos consumidores (NIÑO-MEDINA *et al.*, 2019). Os antioxidantes naturais apresentam mais segurança para os consumidores do que os antioxidantes sintéticos, como o BHT (TORRES-FUENTES *et al.*, 2015).

O conteúdo total de compostos fenólicos do grão-de-bico, entre 0,72-1,81 mg g⁻¹, consiste na sua maioria em flavonóides, especialmente isoflavonas, com valores entre 153 a 340 mg 100 g⁻¹. As principais isoflavonas encontradas foram a biocanina A (180 µg g⁻¹) e a formononetina (100 µg g⁻¹), e menor quantidade de genisteína (60 µg g⁻¹) e daidzeína (120 µg g⁻¹) (AISA *et al.*, 2019; DE CAMARGO *et al.*, 2019; RACHWA-ROSIK; NEBESNY; BUDRYN, 2015). As isoflavonas usufruem de grande importância devido às suas diversas e amplas atividades biológicas, incluindo atividades antioxidantes, estrogênicas, antifúngicas e antibacterianas (RACHWA-ROSIK; NEBESNY; BUDRYN, 2015).

Entre os compostos fenólicos encontram-se as saponinas. Estas são glicosídeos triterpenos e consistem em agliconas não polares unidas a uma ou mais cadeias de sacarose. Possuem um sabor amargo, são compostos surfactantes com propriedades umectantes, emulsificantes e espumantes (AISA *et al.*, 2019; DAMIAN; HUO; SERVENTI, 2018). Estudos atuais acerca das saponinas têm sido focados na sua estrutura, no seu conteúdo e na sua bioatividade, pois elas foram consideradas indesejáveis nos alimentos devido à sua toxicidade e atividade hemolítica (DAMIAN; HUO; SERVENTI, 2018). Em relação a benefícios para a saúde, foi evidenciado que possuem a capacidade de reduzir os níveis de colesterol, redução de lipídios e redução da glicemia no sangue. O seu consumo também diminuiu o risco de câncer e de diabetes mellitus 2 (AISA *et al.*, 2019; DAMIAN; HUO; SERVENTI, 2018).

2.2.1.6 Minerais

O grão-de-bico fornece uma ótima fonte de diversos minerais essenciais para a manutenção da saúde do ser humano. O conteúdo desse tipo de composto diminui a sua presença no pulse consoante o procedimento dos processos térmicos que lhe são aplicados (RACHWA-ROSIK; NEBESNY; BUDRYN, 2015).

Este pulse no estado cru fornece, em média, cerca de 5,0 mg 100 g⁻¹ de ferro, 4,1 mg 100 g⁻¹ de zinco, 138 mg 100 g⁻¹ de magnésio e 160 mg 100 g⁻¹ de cálcio. A quantidade de ingestão de aproximadamente 100 g de grãos deste pulse podem atender aos requisitos alimentares diários de ferro (1,55 mg dia⁻¹ homens e 1,46 mg dia⁻¹ mulheres) e zinco (4,2 mg dia⁻¹ homens e 3,0 mg dia⁻¹ mulheres) e a porção de 200 g podem providenciar o de magnésio (260 mg dia⁻¹ homens e 220 mg dia⁻¹ mulheres) (JUKANTI *et al.*, 2012).

A quantidade total de ferro presente no grão-de-bico é menor quando comparável com outras culturas de pulses, como lentilhas (8,60 mg 100 g⁻¹) e feijão (7,48 mg 100 g⁻¹). Os dados acerca de outros minerais presentes no grão-de-bico são limitados. O selênio é um oligoelemento essencial, nutricionalmente importante, também encontrado nas sementes de grão-de-bico (8,2 mg 100 g⁻¹). Foi indicado que o grão-de-bico possui outros oligoelementos na sua composição, incluindo alumínio (10,2mg g⁻¹), crómio (0,12mg g⁻¹), níquel (0,26mg g⁻¹), chumbo (0,48mg g⁻¹) e cádmio (0,01 mg g⁻¹). As quantidades referidas para alumínio, níquel, chumbo e cádmio não apresentam risco toxicológico (JUKANTI *et al.*, 2012).

2.2.1.7 Compostos Antinutricionais

A presença de Compostos Antinutricionais (CA), apesar do potencial valor nutritivo e de promoção da saúde, do grão-de-bico, limita o seu valor biológico e seu uso como alimento. Os CA interferem na digestão e também tornam o pulse amargo quando consumido no seu estado bruto, sem qualquer tratamento (JUKANTI *et al.*, 2012). Usualmente, a porção de CA presentes no grão-de-bico depende de diversos fatores como: condições ambientais, genética, tempo e temperatura do processamento, pH, concentração de inibidores e força iônica (MUSTAFA; REANEY, 2020).

Os CA podem ser divididos em proteicos e não proteicos. Os proteicos compreendem peptídeos antifúngicos, lectinas, inibidores de tripsina, inibidores de α -amilase e inibidores de quimiotripsina (MUSTAFA; REANEY, 2020; JUKANTI *et al.*, 2012).

A diminuição ou inibição de CA proteicos ocorre através da imersão, durante a cocção/cozimento (considerando-se o seu binômio: tempo X temperatura) ou da fermentação, especialmente sob condições ácidas do grão-de-bico. O cozimento a 120°C por 30 minutos, destrói a sua atividade antitriptica. E a sua fervura por 10 ou 15 minutos inativa os inibidores da α -amilase e as lectinas, respectivamente. Assim, a concentração e atividade de CA proteicos na sua água de cozimento é significativamente menor que os produtos de grão-de-bico cozido (MUSTAFA; REANEY, 2020).

Os CA não proteicos compreendem compostos fenólicos, taninos, fitato, oxalato, saponinas e oligossacarídeos. O grão-de-bico possui menor quantidade de compostos que levam à produção de flatulência e de concentrações de fitato em comparação a outros pulses. Estes compostos, dependendo da sua estrutura e da temperatura e de tempo de processamento, sofrem diferentes graus de redução (MUSTAFA; REANEY, 2020; JUKANTI *et al.*, 2012).

Um desses compostos, o fitato pode realizar ligações com diversos cátions divalentes importantes (como, ferro, zinco, cálcio e magnésio) formando complexos insolúveis e tornando-os incapacitados para absorção e utilização no intestino delgado. Os taninos inibem as enzimas, diminuindo a digestibilidade e tornando o grão-de-bico adstringente. As saponinas proporcionam um sabor acre, o que faz com que o consumo de pulses sejam menos apelativos para o consumo humano (JUKANTI *et al.*, 2012; RACHWA-ROSIK; NEBESNY; BUDRYN, 2015).

O teor de saponina no grão-de-bico (56 g kg⁻¹) é maior do que em outros pulses, como lentilhas (3,7 - 4,6 g kg⁻¹) e fava (3,5 g kg⁻¹) (JUKANTI *et al.*, 2012; RACHWA-ROSIK; NEBESNY; BUDRYN, 2015). Embora este CA atue como fator limitante no consumo de grão-de-bico, ele pode ser reduzido ou eliminado por imersão, cocção/cozimento, fervura e autoclave (MUSTAFA; REANEY, 2020; RACHWA-ROSIK; NEBESNY; BUDRYN, 2015).

Tanto o líquido resultante da sua cocção/cozimento (aquafaba), quanto o grão-de-bico podem ser utilizados em diversos produtos alimentares, melhorando a sua composição nutricional (RACHWA-ROSIK; NEBESNY; BUDRYN, 2015).

2.3 AQUAFABA

Um atual incremento de busca de alternativas alimentares de origem vegetal leva a um aumento de pesquisa por agentes que executam a funcionalidade de espuma e emulsões similares a alimentos de origem animal, como equivalentes a clara de ovo, em variadas preparações de produtos alimentícios. Um desses agentes é a água de cozimento do grão-de-bico denominado de aquafaba (DAMIAN; HUO; SERVENTI, 2018; STANTIAL *et al.*, 2018).

Aquafaba, de acordo com a origem latina de Aqua (água) e Faba (grão da leguminosa), foi considerada água em que grão-de-bico ou outros pulses foram cozidos e pode ser utilizada como um substituto para a clara de ovo para diversas preparações alimentícias. O aproveitamento desta água de cozimento comumente descartada, levando em consideração as suas propriedades funcionais em preparações culinárias, foi primeiramente relatado por Joel Roessel em 2014 como um agente espumante para substituir a clara de ovo na confecção de suspiros (BUHL; CHRISTENSEN; HAMMERSHØJ, 2019; MUSTAFA *et al.*, 2018).

Este líquido, de baixo custo, é obtido, por norma, após o cozimento do grão-de-bico, pré demolido, em uma panela sob pressão com água fervente (DAMIAN; HUO; SERVENTI, 2018; MUSTAFA *et al.*, 2018; STANTIAL *et al.*, 2018).

Análises físico-químicas realizadas na matéria seca da aquafaba revelam que a mesma consiste principalmente de carboidratos em forma de açúcares, fibras, proteínas e cinzas. (DAMIAN; HUO; SERVENTI, 2018; MUSTAFA *et al.*, 2018; STANTIAL *et al.*, 2018). Após imersão e cocção/cozimento do grão-de-bico, é possível verificar uma distinta diminuição dos carboidratos, proteínas e cinzas neste pulse. Esta redução ocorre devido à lixiviação dos nutrientes do grão-de-bico para a água de cozimento, devido à elevada temperatura, principalmente pela degradação do revestimento do pulse (MUSTAFA; REANEY, 2020; STANTIAL *et al.*, 2018).

Aquafaba proveniente de grão-de-bico enlatado consiste em 94 g 100 g⁻¹ de água, 1,5 g 100 g⁻¹ de proteína, 0,5 g 100 g⁻¹ de cinzas e o restante são carboidratos simples e complexos. Não foi detectada a presença de lipídeos (MUSTAFA *et al.*, 2018). A constituição das proteínas observadas na aquafaba, provenientes de enlatados e de cocção/cozimento em água fervente, revelou semelhanças com a própria composição proteica do grão-de-bico. Estas foram identificadas como pertencentes ao grupo de albuminas. Uma parcela significativa de açúcares redutores, sacarose, rafinose, estaquiose e verbascose foi perdida através da difusão na água de cocção/cozimento do grão-de-bico (MUSTAFA *et al.*, 2018; STANTIAL *et al.*, 2018).

Aquafaba proveniente de cozimento do pulse em água fervente, por 90 minutos, apresentou resultados de 5,13 g 100 g⁻¹ para matéria seca, 2,37 g 100 g⁻¹ para fibra insolúvel, 0,95 g 100 g⁻¹ de proteína e 0,57 g 100 g⁻¹ de cinza (STANTIAL *et al.*, 2018). O teor de carboidratos solúveis em água apresentou um valor aproximado de 1 g 100 g⁻¹ (DAMIAN; HUO; SERVENTI, 2018; STANTIAL *et al.*, 2018). Minerais como cobre, potássio e manganês apresentaram valores elevados na aquafaba, representando até cerca de 10% da ingestão diária recomendada. Com valores superiores a água de cozimento de outros pulses, a do grão-de-bico revelou sódio com 4,6 mg 100 g⁻¹. O cálcio com um valor de 6,2 mg 100 g⁻¹, no grão-de-bico, encontra-se sobretudo no seu revestimento, por este motivo foram lixiviados na água de cocção/cozimento a uma taxa mais alta, pois outros minerais estão armazenados em maiores quantidades no grão (DAMIAN; HUO; SERVENTI, 2018).

Também foi verificada a perda de compostos fenólicos do pulse para a aquafaba apresentando um teor total de cerca de 0,6 mg g⁻¹ (DAMIAN; HUO; SERVENTI, 2018). A saponina mostrou uma tendência idêntica aos compostos fenólicos, sendo o seu teor de 4,5 mg g⁻¹. Este valor demonstra uma perda de 44-52% após a ebulição da água, o que não indica uma dimensão de perda proporcional à quantidade presente no pulse (DAMIAN; HUO; SERVENTI, 2018; STANTIAL *et al.*, 2018). Os variados níveis de saponinas, carboidratos e proteínas de baixo peso molecular, como a albumina, podem conceder habilidades emulsificantes e de formação de espuma, além de apresentar grande tolerância em amplas faixas de pH e temperatura. Por este motivo é um excelente candidato para a substituição do ovo

em inúmeras preparações culinárias (MEURER; SOUZA, MARCZAK, 2020; MUSTAFA; REANEY, 2020; STANTIAL *et al.*, 2018).

A aquafaba como resíduo do processamento do grão-de bico pode ser uma alternativa de baixo custo, sendo utilizada na sua forma líquida, sem qualquer tipo de tratamento adicional. Outra opção é a sua secagem, que, apesar de aumentar os custos, proporciona um aumento da sua vida útil e uma diversidade nas suas aplicações em indústrias de alimentos. A transformação da aquafaba em um coproduto que mantém componentes funcionais e reduz perdas e desperdícios de grão-de-bico apresenta benefícios para as indústrias de processamento de alimentos e para a sociedade. Esse tipo de utilização vai ao encontro da valorização de resíduos alimentares, apresentando semelhanças a outras práticas de gerenciamento de resíduos agroalimentares, como a extração de pectina de maçã e bagaço de azeitona ou proteína do soro de queijo (MUSTAFA; REANEY, 2020).

2.4 PROPRIEDADES FUNCIONAIS DAS PROTEÍNAS

A indústria de alimentos utiliza eficientemente as proteínas de pulses tendo em conta as suas propriedades funcionais. Estas propriedades foram descritas como atributos físicos e químicos que interferem no seu desempenho durante o processamento, o armazenamento e o consumo dos alimentos (SHEVKANI *et al.*, 2019).

As propriedades inerentes das proteínas dependem do tamanho molecular, da forma, da conformação, do teor e da composição dos aminoácidos, da carga líquida e da distribuição da carga, do caráter hidrofóbico e hidrofílico de suas interações de superfície e das interproteínas. Além disso, também dependem de fatores extrínsecos como temperatura, força iónica, pH e a interação com os demais componentes presentes (SHEVKANI *et al.*, 2019; ELLIS; LAZIDIS, 2018).

Várias preparações alimentícias são constituídas por emulsões ou espumas. Para que estes sistemas dispersos se mantenham estáveis é necessário a presença de um elemento que possua uma parte hidrofílica e outra parte lipofílica adequada na interface entre as duas fases (DAMODARAN; PARKIN, 2017).

As proteínas permitem essa estabilidade pois são moléculas anfifílicas, que se deslocam rapidamente tanto para uma interface ar-água quanto para uma interface óleo-água, o que indica que a energia livre das proteínas é menor na interface que na fase aquosa total. Assim, quando se estabelece um equilíbrio, a concentração da proteína é superior na região interfacial do que a concentração existente na fase aquosa total. As proteínas realizam o desenvolvimento de uma película grandemente viscoelástica, que possui a capacidade de suportar impactos mecânicos durante a estocagem e a manipulação, o que não ocorre com surfactantes de baixo peso molecular (DAMODARAN; PARKIN, 2017).

2.4.1 Emulsão

A realização de emulsificação é através da ligação de água, óleo, um surfactante apropriado e, em geral, energia mecânica. Através desta junção a produção das gotas é facilitada, mas a sua separação em pequenas gotículas é complexa, pois as gotas apresentam resistência a essa modificação e, assim, fragmentam-se devido à pressão de Laplace. Esta aumenta quando a dimensão da gota diminui. Para que este fenômeno ocorra é necessário um grande aporte energético. Esta necessidade será minimizada através da redução da tensão interfacial por meio da adição de um surfactante ou por agitação mecânica (DAMODARAN; PARKIN, 2017).

As emulsões simples, como as que ocorrem entre água e óleo, apresentam um grande dispêndio energético quando mantidas em repouso, pois as gotículas dispersas rapidamente ascendem e aglutinam para formar uma camada flutuante. As emulsões estáveis apresentam diversos processos lentos que resultam na separação das fases de óleo e água. Esses processos, que podem ocorrer de forma combinada ou isolada, incluem floculação, coalescência e lubrificação. Os surfactantes simplificam a geração de dispersões finas e as emulsões podem ser equilibradas. Esta capacidade está relacionada à sua fixação de moléculas numa superfície sólida e estabilização da interface óleo-água (ZHANG *et al.*, 2009).

Os emulsificantes reduzem a tensão interfacial, a taxa de aglutinação e o desgaste energético necessário para criar novas superfícies e aumentam a formação

de pequenas gotículas (ZHANG *et al.*, 2009). As proteínas são relevantes surfactantes nas emulsões alimentícias devido às suas propriedades de superfície. Elas proporcionam emulsões estáveis por longos períodos, não sendo observadas fases de separação quando as amostras são armazenadas em condições atmosféricas (DAMODARAN; PARKIN, 2017; ZHANG *et al.*, 2009).

Na aquafaba foi averiguada a capacidade de emulsão através da aptidão de absorção de água e de óleo. A capacidade moderada de absorção de água verificada foi de 1,46 g g⁻¹ e a de absorção de óleo foi de 3,22 g g⁻¹ (DAMIAN; HUO; SERVENTI, 2018). A quantidade de polissacarídeos solúveis em água constituintes da aquafaba contribuíram para sua ligação a moléculas de água, pois estes apresentam uma natureza hidrofílica (DAMODARAN; PARKIN, 2017; GHRIBI *et al.*, 2018).

Estes carboidratos também demonstram uma elevada capacidade de retenção de óleo, podendo ser adequados para aplicações que requerem emulsificação desta substância. Os polissacarídeos solúveis em água demonstram, também, utilidade como agentes espessantes ou estabilizadores para preparações alimentícias, alterando a sua textura (DAMODARAN; PARKIN, 2017; DAMIAN; HUO; SERVENTI, 2018; GHRIBI *et al.*, 2015).

Por outro lado, a utilização de proteínas como surfactantes, devido às suas cadeias laterais hidrofílicas e hidrofóbicas, tornam-nas em distintos agentes tensoativos. Os hidrocolóides com pequenas frações de proteínas demonstram propriedades emulsificantes observáveis (GHRIBI *et al.*, 2015). A desnaturação da proteína presente na aquafaba pela ebulição da água de cocção/cozimento expõe os seus locais hidrofóbicos aos meios em que se encontra aumentando a sua afinidade a óleo (DAMIAN; HUO; SERVENTI, 2018). Além dos carboidratos e das proteínas presentes neste líquido serem reconhecidos como os principais responsáveis pela capacidade surfactante, também as fibras, na sua maioria insolúveis, exibem capacidade de absorção de óleo (DAMIAN; HUO; SERVENTI, 2018).

2.4.1.1 Fatores de Estabilidade na Emulsão

A capacidade de uma proteína formar e tornar uma emulsão estável depende de um equilíbrio adequado entre fatores intrínsecos: como pH, força iônica,

temperatura, surfactantes de baixo peso molecular, açúcares, volume da fase óleo, tipo de proteína e o ponto de fusão do óleo utilizado; e fatores extrínsecos: como tipo de equipamento, quantidade de energia e aplicação de força (DAMODARAN; PARKIN, 2017; ZHANG *et al.*, 2009). A solubilidade, em determinado grau, é necessária para que ocorra estabilidade de uma película proteica na interface óleo-água dependente de interações favoráveis, tanto com a fase água como com a fase óleo. Desta forma, desempenha um papel nas propriedades emulsificantes, variando entre as diversas proteínas (DAMODARAN; PARKIN, 2017).

Os surfactantes de baixo peso molecular podem provocar instabilidade na emulsão através da competição pela adsorção na interface óleo-água, podendo deslocar a proteína dessa interface (DAMODARAN; PARKIN, 2017).

As proteínas que têm alta solubilidade em pH isoelétrico mostram capacidade e atividade máxima de emulsificação. As interações repulsivas eletrostáticas nesse pH juntamente com a falta de carga líquida facultam um aumento da carga proteica na interface, promovendo a geração de uma película extremamente viscoelástica e a estabilidade da emulsão. Quando essas interações não acontecem pode ocorrer floculação, coalescência e, dessa forma, minimização da constância da emulsão (DAMODARAN; PARKIN, 2017).

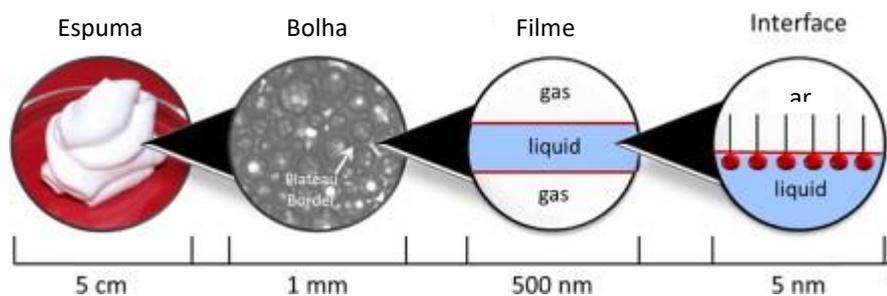
As proteínas demonstram aptidão em diminuir a tensão interfacial entre as fases óleo-água e aumentam o índice de atividade emulsificante. Estas aptidões estão relacionadas aos seus valores de hidrofobicidade de superfície. Uma baixa ligação entre a hidrofobicidade e as propriedades de emulsificação pode estar relacionada ao fato de não ocorrer flexibilidade molecular. A prévia desnaturação parcial das proteínas na emulsificação resulta num aumento dessa flexibilidade e da hidrofobicidade de superfície. A desnaturação excessiva pelo calor pode tornar a proteína insolúvel, o que prejudica as propriedades emulsificantes, por este motivo essa atividade pode ser limitada quando preparações com alta temperatura são necessárias (DAMODARAN; PARKIN, 2017).

Pelo contrário, as saponinas são excelentes surfactantes devido à sua natureza anfifílica e apresentam estabilidade a temperaturas de ebulição. As concentrações de saponinas encontradas na aquafaba são capazes de exercer esse papel (DAMIAN; HUO; SERVENTI, 2018).

2.4.2 Espuma

As espumas são sistemas de duas fases, onde uma consiste em uma fase dispersa de ar e a outra uma fase contínua que, nas preparações de alimentos, é por norma uma fase aquosa do tipo líquido (figura 2) (ELLIS; LAZIDIS, 2018; GHRIBI *et al.*, 2015; FOEGEDING *et al.*, 2006).

Figura 2. Estrutura de espuma em diferentes escalas de comprimento



Fonte: FAMEAU; SALONEN (2014)

A formação de espuma sucede quando as bolhas de ar são capturadas por um surfactante, como as proteínas, em uma fase líquida. Para que esse fenômeno ocorra, as proteínas devem poder deslocar-se rapidamente para a superfície ar/líquido (TOEWS; WANG, 2013).

Na fase líquida pode suceder o escoamento do fluido intermediário entre as bolhas, fazendo com que ocorra a aproximação das suas superfícies levando à sua união, o que resulta no colapso da espuma, terminando na perda da textura, da estrutura e de ar. Na ausência do efeito mencionado anteriormente, a difusão de ar entre as bolhas pode ocorrer através de diferentes pressões internas. O fluxo líquido de propagação é geralmente maior em bolhas de dimensão menor, devido a uma maior pressão de Laplace, mas num determinado momento a pressão dentro das bolhas também depende da elasticidade interfacial do filme adsorvido ao redor destas e da dimensão da sua constrição (FOEGEDING *et al.*, 2006).

Uma rápida contração contra uma alta elasticidade de dilatação interfacial provoca uma redução de pressão interna líquida de forma mais rápida. A migração de ar entre bolhas leva ao espessamento da espuma, realizando o efeito de

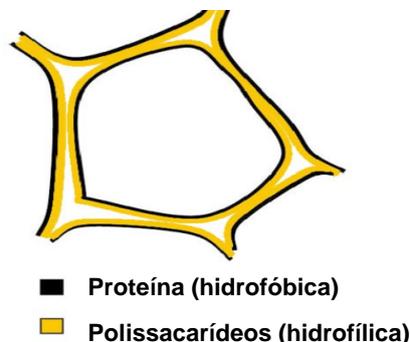
desproporção. O aumento do tamanho da bolha também pode acelerar a drenagem e a coalescência que, juntamente com a desproporção, provocam a inconstância da espuma (FOEGEDING *et al.*, 2006).

As proteínas são um componente importante da formação de espuma, pois são anfífilas, consistindo em uma extremidade hidrófila e uma extremidade hidrofóbica atraída para a fase aérea. A elevada quantidade de albumina presente na clara de ovo permite a capacidade de formação e estabilização de espuma (BUHL; CHRISTENSEN; HAMMERSHØJ, 2019; STANTIAL *et al.*, 2018).

A albumina presente no grão-de-bico é altamente solúvel e reduz eficazmente a tensão interfacial e produz filmes mais elásticos quando comparada às globulinas, pois esta apresenta uma capacidade reduzida em se desdobrar ou reorientar na interface, o que limita a capacidade de encapsular bolhas de ar. Desta forma se propõe que as albuminas podem ter grande importância para que a aquafaba produza espuma e, em parte, explicar as diferenças na capacidade de formação de espuma entre a farinha de grão-de-bico e a aquafaba (MUSTAFA; REANEY, 2020; SHEVKANI *et al.*, 2019). As proteínas solúveis do pulse permitem uma formação de espuma estável porque migram rapidamente para a interface para acomodar alterações na conformação (SHEVKANI *et al.*, 2019).

A interação entre proteínas e polissacarídeos pode ser um dos principais contribuintes para a estabilidade da espuma do aquafaba (figura 3).

Figura 3. Distribuição de proteína e polissacarídeos na bolha. Polissacarídeos hidrofílicos orientados na camada líquida e proteínas hidrofóbicas no gás



Fonte: BLASCO; VIÑAS; VILLA (2011)

O aumento da capacidade de formação de espuma desta água de cocção/cozimento deve-se à natureza anfifílica, das saponinas, que são surfactantes

não-iônicos. Outro fator significativo que contribui para a capacidade de formação de espuma no aquafaba é a ausência de amido e gordura (MUSTAFA; REANEY, 2020).

Quando ocorre o batimento excessivo das proteínas da clara de ovo leva a formação de agregados insolúveis e a diminuição de retenção de água. De forma oposta, a proteína da aquafaba (baixa em aminoácidos com cisteína, enxofre e metionina) diminui a resposta ao batimento excessivo ao limitar a formação de ligações dissulfeto, o que pode minimizar a sua agregação (MUSTAFA *et al.*, 2018). A diferença de retenção de líquido apresentada pela aquafaba pode levar a que a sua utilização seja diferente da clara de ovo, pois pode ser de maior utilidade em aplicações de alimentos à base de alta umidade (BUHL; CHRISTENSEN; HAMMERSHØJ, 2019).

2.4.2.1 Fatores Ambientais de Estabilidade para Espuma

A formação e a estabilidade das espumas são influenciadas por diversos fatores e propriedades, entre eles ambientais e moleculares (DAMODARAN; PARKIN, 2017; TOEWS; WANG, 2013). Os fatores ambientais que influenciam a formação e a estabilidade da espuma são o pH, açúcares, sais, lipídios e concentração proteica (DAMODARAN; PARKIN, 2017; MUSTAFA *et al.*, 2018).

As espumas estabilizadas por proteínas são mais estáveis num pH onde apresentam um equilíbrio entre as cargas positiva e negativa, ou seja, em pH isoelétrico. Neste pH a falta de interações repulsivas, leva a uma interação favorável de proteína-proteína, a formação de uma película viscosa na superfície e a ocorrência do aumento da quantidade de proteína adsorvida. Esses dois fatores aumentam tanto a capacidade de formação de espuma como a sua estabilidade (DAMODARAN; PARKIN, 2017).

O aumento da concentração de cloreto de sódio permite a estabilidade da espuma e um acréscimo da espumabilidade devido à neutralização das cargas por estes íons salinos. Os cátions divalentes de cálcio e magnésio desenvolvem a formação da espuma e a sua estabilidade. Isso se deve, às ligações entre as moléculas proteicas e à criação de películas com excelentes propriedades viscoelásticas (DAMODARAN; PARKIN, 2017; DAMIAN; HUO; SERVENTI, 2018).

A adição de açúcares a soluções proteicas provoca um aumento da estabilidade das espumas devido desenvolvimento da viscosidade da principal fase, o que provoca a redução da drenagem do fluido da lamela e deteriora a espumabilidade (DAMODARAN; PARKIN, 2017).

Os lipídios, quando estão presentes em concentrações superiores a 0,5%, diminuem drasticamente as propriedades de formação de espuma das proteínas devido a uma adsorção rápida na interface ar-água, inibindo a adesão das proteínas durante a formação de espuma. As películas de lipídios não apresentam propriedades coesivas e viscoelásticas, que são necessárias para combater a pressão interna das bolhas. Desta forma, elas se expandem demasiado rápido e quando do batimento sofrem colapso (DAMODARAN; PARKIN, 2017).

Um aumento de concentração de proteína permite mais firmeza e estabilidade para a espuma. A firmeza resulta de bolhas de pequeno tamanho e da alta viscosidade. A estabilidade amplifica pelo aumento da viscosidade e pela facilidade da formação de uma película proteica coesa constituída por várias camadas na interface (DAMODARAN; PARKIN, 2017).

A desnaturação parcial das proteínas por calor e por cisalhamento melhoram as propriedades de formação de espuma. O tempo de batimento pode desempenhar um papel importante na estabilidade da espuma. O batimento a uma alta taxa de cisalhamento ou mesmo o excesso de batimento podem diminuir o poder de formação de espuma devido a uma desnaturação extensa, agregação e precipitação das proteínas. A espuma instável proveniente do batimento é, principalmente, o resultado da produção de pequenas bolhas, rutura das lamelas e drenagem da água (DAMODARAN; PARKIN, 2017; MUSTAFA *et al.*, 2018).

2.4.2.2 Propriedades Moleculares de Estabilidade para Espuma

As propriedades moleculares que influenciam na formação e na estabilidade da espuma são flexibilidade molecular, densidade e distribuição da carga e hidrofobicidade (DAMODARAN; PARKIN, 2017).

A capacidade de formação de espuma e a sua estabilidade são afetadas por dois conjuntos díspares de atributos moleculares das proteínas, que são opostos, pois

a estabilidade deriva das propriedades reológicas da película da proteína e a espumabilidade depende da taxa de adsorção, da flexibilidade e da capacidade de repelir água. Para que uma proteína possua estabilidade e capacidade de formação de espuma suficientes, ela deve estar entre flexibilidade e rigidez, de forma que deve suportar o desdobraimento e também fazer parte de diversas interações coesas na interface. Além desses fatores, uma elevada densidade de carga proteica interfere no desenvolvimento de películas coesivas, o que demonstra relação inversa a estabilidade da espuma (DAMODARAN; PARKIN, 2017).

As proteínas ácidas quando misturadas com proteínas básicas podem melhorar as suas propriedades de formação de espuma. Esta mistura permite a formação de um complexo eletrostático entre ambas (DAMODARAN; PARKIN, 2017).

As propriedades de formação de espuma aumentam quando ocorre a hidrólise enzimática limitada das proteínas através do aumento da sua flexibilidade molecular e da sua revelação dos grupos hidrofóbicos. A flexibilidade molecular da interface permite que a proteína se desdobre rapidamente, se modifique e que revele os seus grupos hidrofóbicos na superfície. A estabilidade da interface ar-água ocorre quando a proteína tem a aptidão de adsorver-se com rapidez à interface recém-criada, minimizando de forma instantânea a tensão entre as duas fases (DAMODARAN; PARKIN, 2017).

A hidrofobicidade apresenta uma relação positiva à formação de espuma pelas proteínas. O valor mínimo da hidrofobicidade de superfície deve ser de 1.000 para a adesão molecular na interface ar-água, enquanto, uma vez adsorvida, a proteína tem a capacidade de criar mais área interfacial da formação da espuma depende de sua hidrofobicidade média (DAMODARAN; PARKIN, 2017).

No estudo efetuado por Meurer *et al.* (2020) foi preparada aquafaba de grão-de-bico a nível doméstico. O ajuste de pH e as condições de fervura da água foram de grande importância para maximizar a formação de espuma e de emulsificação. Desta forma a maionese e o merengue desenvolvidos apresentaram melhores propriedades qualitativas e sensoriais quando comparados às mesmas preparações efetuadas com as proteínas da clara do ovo.

As proteínas presentes na aquafaba demonstraram resistência às mudanças no ambiente químico, pois a capacidade de formação de espuma da aquafaba não

apresentou alterações quando da mudança no nível de pH, nem pelo conteúdo de cloreto de sódio (BUHL; CHRISTENSEN; HAMMERSHØJ, 2019; MUSTAFA *et al.*, 2018; STANTIAL *et al.*, 2018).

2.5 SECAGEM

A secagem é um dos métodos de processamento de alimentos mais comuns, variados e antigos a nível global (OHTAKE; IZUTSU, 2020; BERK, 2018; KARAM *et al.*, 2016). Este processo consiste, na maioria das vezes, na aplicação de calor, em condições controladas, para remover grande parte da água que se encontra presente em um alimento, por evaporação. Desta forma a preservação de alimentos desidratados pode ser mantida e o rendimento final deste método são produtos sólidos com o mínimo teor de água na sua constituição (BERK, 2018; FELLOWS, 2017).

Durante a secagem, o teor de umidade reduzido até um nível que varia entre 1 a 5% evita que ocorram a deterioração microbiana e as reações enzimáticas indesejáveis, prolongando assim a vida útil do alimento desidratado (DAMODARAN; PARKIN, 2017; FELLOWS, 2017; HARDY; JIDEANI, 2017). Este processo, além da preservação do alimento, permite a redução de peso e volume do produto e, por consequência, minimiza os custos de embalagem, armazenamento, transporte e uso (BERK, 2018; HARDY; JIDEANI, 2017). A secagem também fornece produtos convenientes que têm uma longa vida útil à temperatura ambiente ou ingredientes que são mais facilmente manipulados (FELLOWS, 2017).

O mecanismo da remoção da água pela secagem é um processo complexo que, na maioria das vezes, envolve aplicação de calor para a evaporação da água ao alimento e o transporte dos vapores da água formados para fora do alimento. É uma operação baseada em transferência de massa e em calor simultâneo, que exige um controle preciso (BERK, 2018; KARAM *et al.*, 2016). Com o seguimento da secagem, é criada uma nova microestrutura e a distribuição espacial das suas características é importante no discernimento de textura do produto desidratado.

A origem do calor para o método de secagem pode ser fornecida por convecção, condução e radiação (KARAM *et al.*, 2016). Este é um processo que demanda muita energia, representando um gasto de 10 a 25% da energia total

utilizada no processo de fabricação de alimentos em todo o mundo (KARAM *et al.*, 2016).

Um outro processo de secagem é a secagem de ar quente, que é comumente utilizado. Os produtos secos com o ar quente podem ter um maior prolongamento de vida útil mas, como consequência, mas a sua deterioração pode ser mais rápida e a qualidade e o valor nutricional do produto resultante são reduzidos quando comparado ao alimento original, devido a uma alta temperatura durante este processo (FELLOWS, 2017; KATEKHONG; CHAROENREIN, 2017).

Apesar da alta temperatura, por norma, esta é insuficiente para provocar a inativação total dos microrganismos presentes nos alimentos. Consequentemente qualquer aumento no índice de umidade durante o armazenamento pode levar a rápida deterioração, ou seja, a qualidade de um produto desidratado depende não só dos métodos de secagem, mas também das condições de armazenagem (FELLOWS, 2017; KATEKHONG; CHAROENREIN, 2017). O tipo de equipamento de secagem e o seu modo de funcionamento visam minimizar este tipo de ocorrência através da seleção de condições de secagem apropriadas para cada tipo de alimento (FELLOWS, 2017).

3 HIPÓTESE

A utilização de aquafaba *in natura* e desidratada, em substituição ao ovo, é efetiva para produção de um merengue com boa composição nutricional e propriedades tecnológicas.

4 OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GERAL

Verificar as propriedades tecnológicas da aquafaba *in natura* e desidratada, do grão-de-bico, bem como do merengue proveniente desta água de cozimento.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Produzir aquafaba proveniente do grão-de-bico.
- Determinar a composição centesimal da aquafaba *in natura* e desidratada.
- Avaliar as propriedades tecnológicas da aquafaba *in natura* e desidratada.
- Realizar análises antioxidantes da aquafaba *in natura* e desidratada.
- Formular merengue tendo como base a aquafaba *in natura* e desidratada.
- Verificar as propriedades tecnológicas dos merengues de aquafaba *in natura* e desidratada.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 MATERIAL

O grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.) utilizado para a obtenção da aquafaba foi da marca “Kicaldo” e foi obtido no comércio local de Recife, Pernambuco.

A aquafaba desidratada, na forma de pó foi obtida da empresa VOR, Pennsylvania, Estados Unidos da América.

5.2 MÉTODOS

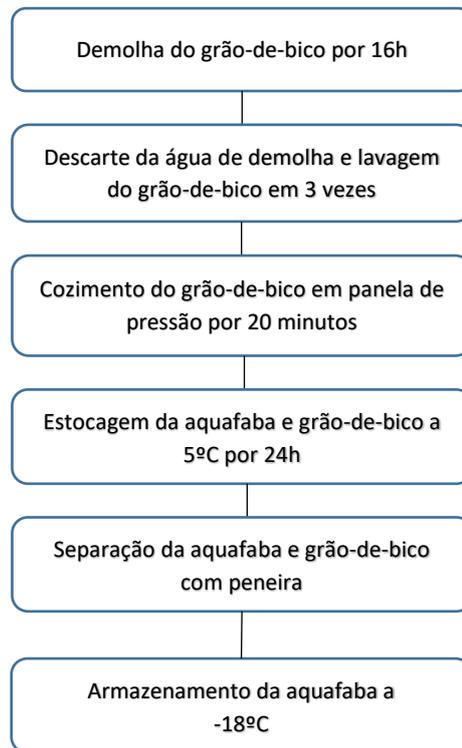
Todas as análises aqui descritas foram realizadas em triplicata.

5.2.1 Produção da aquafaba

O grão-de-bico foi colocado dentro de uma tigela de vidro sendo coberto com água filtrada por 16 horas, em temperatura ambiente (28°C) e posteriormente essa água foi descartada, como descrito pelo método de Stantiall *et al.* (2018) e Meurer *et al.* (2020). O grão-de-bico demolhado foi escorrido e os grãos lavados em água filtrada por três vezes. Uma proporção de 3:1 em peso (água: grão hidratado) foi cozido usando uma panela de pressão por 20 minutos. Após o cozimento, a água e o grão-de-bico cozido foram transferidos para uma tigela de vidro e colocados em uma geladeira a 5°C por 24 horas. Passado esse tempo, a aquafaba foi separada dos grãos cozidos utilizando uma peneira e foi armazenada a -18°C até a sua utilização.

As etapas de produção da aquafaba de grão-de-bico foram representadas na figura 4. Foram adotadas boas práticas de fabricação evitando quaisquer contaminações físicas, químicas e microbiológicas.

Figura 4: Fluxograma de produção da aquafaba de grão-de-bico



5.2.2 Hidratação da aquafaba comercial desidratada

A hidratação da aquafaba da marca VOR (figura 5 a-b) foi feita conforme as indicações do fabricante. Para 1 xícara de aquafaba (240 mL) colocam-se 10 g de aquafaba em pó em 230 mL de água. Para o equivalente a uma clara de ovo colocam-se 2 g em 29 gramas de água (figura 5 a-b).

Figura 5 a-b. Embalagem de a) aquafaba desidratada e b) suas instruções de hidratação



Fonte: Vor Foods

5.3 COMPOSIÇÃO CENTESIMAL DA AQUAFABA *IN NATURA* E AQUAFABA DESIDRATADA

5.3.1 Umidade

O teor de umidade foi determinado aquecendo-se a aquafaba em estufa a uma temperatura de 105°C durante 3 horas ou até obtenção do peso constante. Os resultados foram expressos em porcentagem. (012/IV) (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008).

5.3.2 Cinzas

Foi pesada 5 g da amostra em uma cápsula, previamente aquecida em mufla a 550°C, resfriada em dessecador até a temperatura ambiente e pesada. Para a amostra líquida, foi realizada a evaporação em banho-maria. Foi seca em chapa elétrica, carbonizada em temperatura baixa e incinerada em mufla a 550°C, até eliminação completa do carvão. Foram repetidas as operações de aquecimento e resfriamento até peso constante. Os resultados foram expressos em porcentagem (018/IV) (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008).

5.3.3 Proteínas

Pesou-se 1 g da amostra em papel de seda e transferiu-se para o balão de Kjeldahl (papel e amostra). Adicionaram-se 25 mL de ácido sulfúrico e cerca de 6 g de mistura catalítica.

Aqueceu-se a amostra até a solução se tornar azul-esverdeada e livre de material não digerido. Aqueceu-se por mais uma hora e deixou-se esfriar. Adicionaram-se 10 gotas do indicador fenolftaleína e 1 g de zinco em pó.

Ligou-se o balão ao conjunto de destilação. Mergulhou-se a extremidade afilada do refrigerante em 25 mL de ácido sulfúrico 0,05 M, contido em frasco Erlenmeyer de 500 mL com 3 gotas do indicador vermelho de metila. Adicionou-se ao frasco que contém a amostra digerida, por meio de um funil com torneira, solução de hidróxido

de sódio a 30% até garantir um ligeiro excesso de base. Aqueceu-se à ebulição e destilou-se até obter cerca de (250-300) mL do destilado.

Por fim, titulou-se o excesso de ácido sulfúrico 0,05 M com solução de hidróxido de sódio 0,1 M, usando vermelho de metila e efetuou-se a conversão para proteína por meio do fator 6,25. Os resultados foram expressos em porcentagem. (036/IV) (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008).

5.3.4 Lipídios

Realizou-se a pesagem de 2 g da amostra num cartucho de Soxhlet. No caso da amostra líquida, pipetou-se o volume em uma porção de algodão sobre um papel de filtro duplo e colocou-se para secar em uma estufa a 105°C por uma hora. Transferiu-se o cartucho para o aparelho extrator tipo Soxhlet. Acoplou-se o extrator ao balão de fundo chato previamente tarado a 105°C. Adicionou-se éter em quantidade suficiente para um Soxhlet e meio. Adaptou-se a um refrigerador de bolas.

Manteve-se, sob aquecimento em chapa elétrica, à extração contínua por 8 (quatro a cinco gotas por segundo). Retirou-se o cartucho, destilou-se o éter e transferiu-se o balão com o resíduo extraído para uma estufa a 105°C, mantendo por cerca de uma hora.

Resfriou-se em dessecador até a temperatura ambiente. Pesou-se e repetiu-se o aquecimento por 30 minutos na estufa e resfriamento até peso constante. Os resultados foram expressos em porcentagem. (032/IV) (LUTZ, 2008).

5.3.5 Carboidratos totais

Calculado como a diferença entre 100 e a soma do conteúdo de proteínas, lipídios, fibra alimentar, umidade e cinzas. Os resultados foram expressos em porcentagem.

5.3.6 Potencial Hidrogeniônico (pH)

Foram adicionados 3 ml da amostra em um erlenmeyer e diluída com água destilada. Posteriormente foi realizada a leitura do pH por meio do método potenciométrico da marca Tecnal modelo pHMeter Tec seguindo as normas analíticas da AOAC (2012).

5.3.7 Atividade de água (aW)

A atividade de água foi determinada através do analisador Nov-LabTouch-Basic (Tecnal®). Com o equipamento calibrado, foi adicionada aquafaba desidratada a uma cubeta de plástico, de forma a preencher a sua totalidade. Depois a cubeta foi inserida no equipamento e foi realizada a medição da aW. As análises foram efetuadas a uma temperatura de $28,2^{\circ}\text{C} \pm 0,46$, em triplicata.

5.4 PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS

5.4.1 Expansão e Estabilidade da Espuma

A Expansão da Espuma (EXE) e Estabilidade da Espuma (ESE) foram realizadas segundo a metodologia adaptada por Meurer *et al.* (2020). 30 mL de aquafaba foram batidos em copo de 250 mL de plástico com uma batedeira manual da marca Mondial, ajustado na velocidade 3, por 2 min. A EXE foi calculada usando a equação 1:

$$\text{EXE (\%)} = V_{fo} / V_{li} \times 100 \quad (1)$$

onde V_{fo} é o volume de espuma no tempo 0 e V_{li} é o volume líquido inicial de amostras (30 mL).

Para medir a ESE, após o batimento, as espumas foram transferidas para um funil colocado em uma proveta de medição de 50 mL. Gaze foi colocada nos funis para retenção da espuma (figura 6 a-c). O volume que pinga para a proveta de medição foi anotado após 10, 15 e 20 min (tempo de descanso designado) e a ESE calculada de acordo com a equação 2:

$$\text{ESE (\%)} = (\text{Vli} - \text{Vlt}) / (\text{Vli} - \text{Vlo}) \times 100 \quad (2)$$

onde Vlo é o volume de líquido no tempo 0, Vlt é o volume de líquido após 10, 15 ou 20 min e Vli é o volume inicial de amostras (30 mL).

Figura 6 a-c. Estabilidade da espuma a) aquafaba in natura, b) aquafaba desidratada e c) clara de ovo



a)

b)

c)

5.5 ANÁLISE ANTIOXIDANTE DA AQUAFABA

Foram realizadas duas análises para verificação da presença de compostos bioativos na aquafaba in natura e desidratada: flavonoides e fenólicos totais. Para a realização das amostras de aquafaba desidratada foram pesados 5 mg da amostra seca e colocados em 1 mL de Dimetilsulfóxido (DMSO). Para a aquafaba in natura foi realizada uma diluição de 1:10 μL de aquafaba para DMSO. Os controles (branco) utilizados em cada procedimento continham DMSO a (1% V/V).

As análises para antioxidantes foram realizadas em quadruplicata.

5.5.1 Flavonóides

O conteúdo total de flavonóides foi avaliado seguindo a metodologia de Oliveira et al., (2021), baseada no método colorimétrico por complexação metálica. Foi

preparada uma solução padrão e soluções de extrato e fração (5 mg mL^{-1}) em etanol 99% e 0,2 mL de solução alcoólica 2,5% de cloreto de alumínio e 3,8 mL de etanol. As soluções ficaram em descanso por 30 minutos, em temperatura ambiente, e a absorbância foi medida a 420 nm em espectrofotômetro de microplaca (BioTek, μ Quant, Wenooski, EUA). Foi criada uma curva padrão de Quercetina (QEC) ($31,25 - 1000 \mu\text{g mL}^{-1}$) para calcular os resultados em mg de equivalente de QEC g^{-1} de extrato seco (mg QEC g^{-1}).

5.5.2 Fenólicos totais

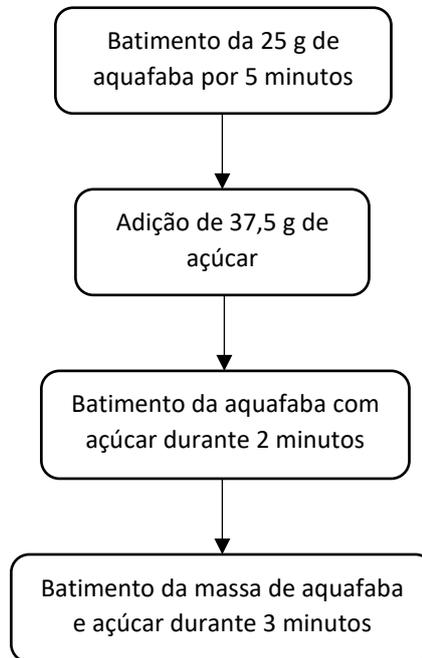
A quantidade de fenólicos totais foi avaliada seguindo método de Prazeres et al. (2019) com algumas modificações. Foram usados 20 μL do extrato com 100 μL do reagente Folin-Ciocalteu diluído em água (1:10). Depois de 3 minutos, foram adicionados 80 μL da solução de carbonato de sódio (75 g L^{-1}). Após 2 horas, à temperatura ambiente, as amostras tiveram as absorbâncias medidas em espectrofotômetro (BioTek μ Quant Biospectro, Winooski, USA) a 725 nm. Uma curva padrão de ácido gálico ($31,25 - 1000 \mu\text{g mL}^{-1}$) foi utilizada para calcular os resultados em mg de equivalente de ácido gálico (GAE) por grama de extrato seco (mg GAE g^{-1}).

5.6 PRODUÇÃO DO MERENGUE

A produção de merengue foi realizada segundo o método descrito por Alavi et al. (2020), onde 25g das amostras foram batidas durante 5 minutos num béquer de 250 mL utilizando uma batedeira manual da marca Mondial na velocidade 2. Após o tempo decorrido, foram adicionadas 37,5 g de açúcar cristal aos poucos enquanto a amostra era batida na velocidade 2 durante 2 minutos. Após a adição de açúcar a amostra foi batida por mais 3 minutos na mesma velocidade. A amostra da clara de ovo foi utilizada como grupo de controle.

As etapas de produção do merengue de aquafaba de grão-de-bico estão representadas na figura 7.

Figura 7. Fluxograma de produção do merengue de aquafaba de grão-de-bico



5.6.1 Densidade da massa do merengue

As densidades da massa dos merengues foram calculadas pela relação entre a massa e o volume ocupado, utilizado uma balança semi-analítica com precisão de 0,01g e proveta graduada de 150 mL. As amostras de merengue foram transferidas para a proveta para que a massa ficasse com uma superfície uniforme e o peso da amostra de merengue foi pesada. O cálculo da densidade da massa do merengue foi realizado segundo a equação 3:

$$\text{Densidade (g cm}^{-3}\text{)} = \text{peso da massa do merengue} / \text{volume do cilindro} \quad (3)$$

5.6.2 Drenagem da massa do merengue

A drenagem do merengue foi adaptada do estudo de Alavi *et al.* (2020). Amostras de merengue com 50g foram colocadas em cilindros de vidro com 200 mL de volume e armazenados a uma temperatura de 4°C durante 7 dias (figura 8). Ao longo dos setes dias foi verificado se ocorreu a separação de líquido do merengue na

parte de baixo dos cilindros. O líquido foi pipetado e pesado a cada dia. A porcentagem de líquido drenado foi calculada segundo o estudo de Li *et al.* (2019), através da equação 4:

$$\text{Drenagem (\%)} = 100 \times \text{md} / \text{mf} \quad (4)$$

Onde md é o peso do líquido do merengue após 24 horas e mf é o peso inicial da amostra da massa de merengue.

Figura 8. Drenagem do líquido do merengue no primeiro dia de clara de ovo, aquafaba desidratada e aquafaba *in natura* (da esquerda para a direita)



5.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para a estatística descritiva da média e desvio padrão, os resultados obtidos foram avaliados em Excel ® 2013 da Microsoft ®. Os dados, que demonstraram distribuição normal, foram verificados por ANOVA One-way e Teste Tukey, a fim de verificar diferenças significativas entre os grupos estudados, adotando o nível de confiança de 95%.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS

As análises realizadas na aquafaba do grão-de-bico no estado líquido e da aquafaba desidratada (pó) podem ser observados na tabela 1.

Tabela 1. Composição centesimal de aquafaba líquida e desidratada comercial

Composição Centesimal	Aquafaba <i>in natura</i> (g 100 g⁻¹)*	Aquafaba desidratada (g 100 g⁻¹)*
Umidade	97,6±0,97	17,5±0,17
Cinzas	0,33±0,02	10,09±0,17
Proteínas	1,06±0,00	22,91±0,41
Lipídeos	0,48±0,30	0,18±0,01
Carboidratos Totais**	0,74±0,41	49,32±0,37
pH	6,30±0,00	6,04±0,21
aW	-	0,40±0,02

*Valores expressos em média e desvio padrão. O desvio padrão representa as análises realizadas em triplicata;

**Calculado por diferença (Carboidratos = 100 – umidade – cinzas – proteínas - lipídios)

Foi verificado que de teor de umidade da aquafaba *in natura* resultou em 97,6%, valor superior aos valores encontrados por Raikos *et al.* (2020), de 94,97%, por Stantiall *et al.* (2018), de 94,87% e por Shim *et al.* (2017), de 94,12%. Este índice pode estar relacionado com diferentes condições de cultivo, genótipo de grão-de-bico, armazenamento e métodos de processamento. Em relação à aquafaba desidratada comercial foi verificado o valor de 17,5%. Este valor foi de acordo com o esperado, pois o processo de desidratação reduz a atividade da água e consequentemente da umidade. Até ao momento não existem estudos sobre aquafaba desidratada para realizar a comparação neste parâmetro, por esse motivo foi utilizada a base seca da aquafaba, mesmo esta tendo apresentado 17,5% de umidade.

O teor de cinzas representa a quantidade de minerais existentes na amostra. Os minerais passam por lixiviação do grão-de-bico para a água de cocção/cozimento. O valor encontrado para a aquafaba *in natura* foi de 0,33%, sendo próximo aos valores verificados por Raikos *et al.* (2020), de 0,44%, e por Mustafa *et al.* (2018), de 0,5%.

Em relação à aquafaba desidratada, o teor de cinzas foi de 10,09%, o que vai de encontro ao valor de Bird *et al.* (2017), de 11,76% (em base seca).

O valor obtido de proteína para a aquafaba *in natura* foi de 1,06%, o que se aproxima aos valores reportados por Raikos *et al.* (2020), de 1,27%, por Buhl *et al.* (2019), de 1,3% e de Stantiall *et al.* (2018), de 0,95%. Na aquafaba desidratada foi verificado o valor de 22,57% de proteína, similar a Shim *et al.* (2018), de 22,65% a 26,83% (em base seca).

Para os lipídios na aquafaba *in natura* foi verificado o valor de 0,48% e para a aquafaba desidratada o valor foi de 0,18%. Valores mínimos que vão de encontro aos estudos de Raikos *et al.* (2020), Bird *et al.* (2017) e Stantiall *et al.* (2018), que não verificaram quantidades significativas de lipídeos nesta água de cozimento. Esta disparidade pode ser devido a perdas significativas de lipídeos durante a cocção/cozimento e os mesmos podem sofrer degradação durante o processamento.

Os teores de carboidratos de ambas as aquafaba analisadas foram determinados por diferença. O valor obtido para a aquafaba *in natura* foi de 0,53%, o que foi muito abaixo ao encontrado na literatura para esta água de cozimento. Este valor pode estar relacionado a diversos fatores que foram mencionados anteriormente. O valor de carboidratos para a aquafaba desidratada foi de 49,66% que se aproxima ao valor de Raikos *et al.* (2020), de 52,49% (em base seca) mas fica abaixo dos valores de Bird *et al.* (2017), de 70,6%.

Em relação aos valores da composição centesimal da aquafaba *in natura* e da aquafaba desidratada foi verificado que diversos componentes aumentaram o valor, nomeadamente cinzas, proteína e carboidratos, e ocorreu diminuição de umidade e lipídeos. Estes resultados foram concordantes ao esperado, pois ao ocorrer a retirada de água da amostra os nutrientes aumentam a sua concentração no mesmo peso.

O valor de pH da aquafaba *in natura* foi de 6,30 e para a aquafaba desidratada foi de 6,04. Estes valores vão de encontro ao estudo de Stantiall *et al.* (2018), que obtiveram o valor de pH de 6,3. Lafarga *et al.* (2019) otimizaram o pH de forma a melhorar a textura da aquafaba. Para tal ajustaram o pH com suco de limão, variando de 3,5 a 6,5. Os autores identificaram as condições ideais para as propriedades de espuma e emulsão em pH de 3,5, o que resultou em merengues com uma avaliação

sensorial superior (7,7 de aquafaba e 7,6 de clara de ovo) e aceitação de textura de 8,0 para a aquafaba e 7,5 de clara de ovo.

A aW determinada para a aquafaba desidrata apresentou o valor médio de 0,40 na temperatura de 28,2°C. Este valor encontra-se na faixa em que o crescimento microbiano é dificultado, quando comparado com o intervalo estipulado de 0,3 a 0,45. Conforme Damodaran *et al.* (2017), para a atividade microbiana iniciar é necessário estar em valores acima de 0,6. Assim, o valor para aW obtido para a aquafaba desidratada dificulta a proliferação microbiana, o que reflete que este produto pode ser conservado e consumido de forma segura e sem risco para a saúde humana.

6.2 ANÁLISES ANTIOXIDANTES DA AQUAFABA

As análises de compostos bioativos da aquafaba *in natura* e da aquafaba desidratada podem ser observados na tabela 2.

Tabela 2. Atividade antioxidante da aquafaba *in natura* e aquafaba desidratada

Análise	Aquafaba <i>in natura</i>	Aquafaba desidratada
Flavonoides*	0,97±0,03 mg QEC g ⁻¹	1,33±0,05 mg QEC g ⁻¹
Fenólicos Totais*	4,36±0,26 mg GAE g ⁻¹	4,86±0,31 mg GAE g ⁻¹

*Valores expressos em média e desvio padrão. O desvio padrão representa as análises realizadas em quadruplicata.

Através das análises realizadas foi possível verificar que a aquafaba *in natura* e desidratada apresentam composto bioativos. Nas análises de flavonoides, foi observado que os resultados obtidos foram próximos para ambas as amostras, apenas com uma diferença de 0,36 mg entre elas. Este resultado permite observar que o processo de cozimento para a obtenção da aquafaba não remove os flavonoides.

Até ao momento não são verificados estudos com flavonoides e aquafaba. Por esse motivo foi realizada a comparação com grão-de-bico. No estudo de Jogihalli *et al.* (2017), para grão-de-bico cru demolhado, foi relatado o valor de 0,23 mg QEC g⁻¹, e no estudo de Khan *et al.* (2015), foram observados valores entre 0,06 e 0,18 mg QEC g⁻¹ para diferentes tipos de grão-de-bico cru. Os valores apresentados podem

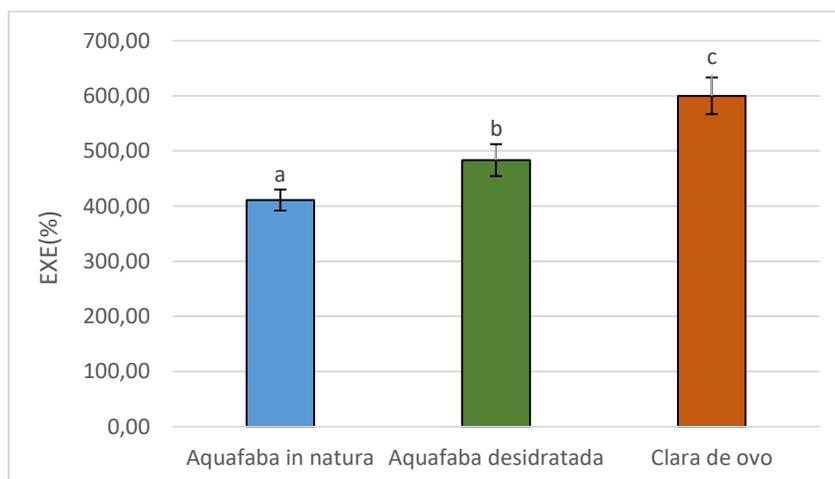
ser devido à trituração do grão e da seleção ao acaso do produto triturado para análise. O tipo de grão também influencia o resultado obtido. No presente estudo os valores apresentados foram superiores o que pode ser devido à presença de flavonoides solúveis no tegumento ($12,6 \text{ mg g}^{-1}$) (SREERAMA et al., 2010) e a sua passagem para a água de cozimento, pois ocorre perda de aproximadamente 40 a 50 % de compostos fenólicos do grão para a água (XU; CHANG, 2008).

Os valores de fenólicos totais foram aproximados para ambas as amostras, o que revela que esses compostos bioativos se mantêm apesar do cozimento e desidratação. Os valores encontrados foram menores quando comparados ao estudo de Raikos et al. (2019), onde os compostos fenólicos totais apresentaram valor de $6,50 \text{ mg GAE g}^{-1}$ para aquafaba proveniente de grão-de-bico enlatado. Mas os valores do presente estudo foram superiores aos dos estudos dos autores Xu et al. (2008) e Damian et al. (2018), que apresentaram valor de fenólicos totais para a aquafaba de $0,53 \text{ mg GAE g}^{-1}$ e $0,6 \text{ mg GAE g}^{-1}$, respetivamente. As diferenças observadas podem ser devido a diferenças de composição do pulse ou a efeitos de degradação de diferentes métodos de processamento.

6.3 EXPANSÃO DA ESPUMA E ESTABILIDADE DA ESPUMA

Os resultados para a EXE são mostrados na figura 9.

Figura 9: Expansão da espuma na aquafaba *in natura*, aquafaba desidratada e clara de ovo



*Valores expressos em média e desvio padrão. O desvio padrão representa as análises realizadas em triplicata;

a, b Médias com letras iguais não apresentam diferença significativa ($p > 0,05$).

Os resultados demonstram que a clara de ovo (controle) apresenta a maior expansão de espuma (600%), seguido pela aquafaba desidratada (483,33%) e, com menor valor, está a aquafaba *in natura* (411,10%). Estes resultados são semelhantes aos estudos de Meurer *et al.* (2020), Mustafa *et al.* (2018) e Stantiall *et al.* (2017), onde a amostra controle apresentou maior valor de EXE e a aquafaba menor valor. No caso da aquafaba desidratada pode ter ocorrido maior valor de EXE devido a uma maior concentração de sólidos.

No estudo de Meurer *et al.* (2020), foi verificada a EXE da clara de ovo e da aquafaba (sem tratamento de ultrassom) com valores de ~600% e de 259%, respectivamente. Neste estudo foi verificada a ação de ultrassom na EE da aquafaba comparando com a clara de ovo. Os resultados demonstraram que a aplicação de ultrassom por 30 minutos melhorou a EXE da aquafaba para 548%, ficando com valor aproximado ao apresentado pela clara de ovo. A melhoria devido ao ultrassom pode ser devido à alteração da estrutura das proteínas presentes na aquafaba o que levou ao aumento na sua hidrofobicidade. Também ocorreu a homogeneização da espuma, resultando em uma distribuição mais homogênea de partículas de ar e proteínas.

Mustafa *et al.* (2018), verificaram a EXE da aquafaba (retirada de grão-de-bico cozido enlatado) através do seu batimento durante 2, 5, 10 e 15 minutos. Os autores obtiveram resultados de ~500% para a clara de ovo e de ~400% para a aquafaba líquida após 2 minutos de batimento. Estes valores foram semelhantes ao presente estudo para o mesmo tempo de batimento.

No estudo de Stantiall *et al.* (2017) foi avaliada a EXE da água de cozimento de feijão, grão-de-bico, lentilhas verdes e ervilhas amarelas partidas, comparando à clara de ovo, obtendo resultados entre 39 a 97%. Para a água de cozimento de grão-de-bico o valor de EXE foi de 93% e a clara de ovo 400%, o que demonstrou resultados abaixo do presente estudo.

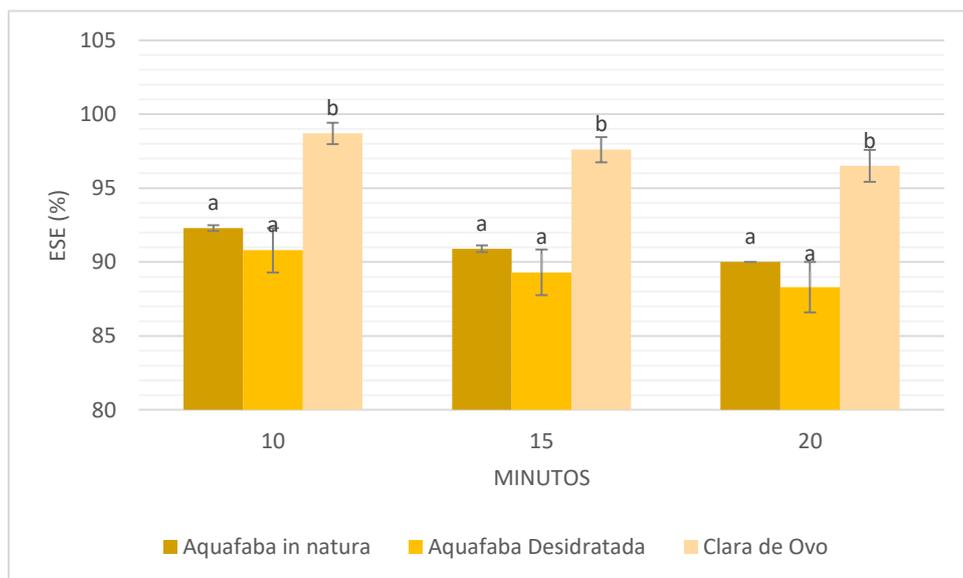
Lafarga *et al.* (2019), realizaram o batimento de 13 amostras de aquafaba em diferentes condições de pH (de 3,5 a 6,5) e de razão grão-de-bico: água fervente (de 1:1,50 a 1:5,00) e obtiveram uma média de 237,18% para o EXE. Os níveis de cada parâmetro independente (pH e razão) foram escolhidos considerando grão-de-bico convencional, condições de cozimento doméstico e valores de pH dos alimentos. Os autores verificaram que o pH tem efeito na capacidade de EXE, sendo que valores baixos levaram à formação de maior EXE para a aquafaba, pois ocorreu um aumento

de carga líquida da proteína, o que levou a melhoria da sua flexibilidade, reduzindo a tensão superficial. No presente estudo, o EXE foi apenas verificado para o pH da aquafaba (~6,00). Por este motivo, não foi verificado se a diminuição de pH poderia aumentar a EXE da aquafaba.

As variações nos valores de EXE para a aquafaba são devido ao tipo e composição da semente do grão-de-bico, tempo de remolho, temperatura e tempo de cozimento (SHIM *et al.*, 2018). A ocorrência de alterações de processamento da aquafaba podem resultar em qualidade inconsistente e que não pode ser reproduzido para obter resultados com os mesmos valores de EXE (MUSTAFA *et al.*, 2018).

Os resultados obtidos na ESE podem ser verificados na figura 10.

Figura 10. Estabilidade da espuma da aquafaba *in natura*, aquafaba desidratada e clara de ovo *in natura* nos tempos de 10, 15 e 20 minutos



*Valores expressos em média e desvio padrão. O desvio padrão representa as análises realizadas em triplicata;

^{a, b} Médias com letras iguais não apresentam diferença significativa ($p > 0,05$).

Os resultados obtidos demonstram que a clara de ovo apresentou uma espuma mais estável de 98,7%, 97,6% e de 96,5%, respectivamente para os tempos de 10, 15 e 20 minutos. O que obteve menor estabilidade de espuma foi a aquafaba desidratada, apesar de apresentar valores aproximados aos da aquafaba líquida (uma diferença média aproximada de 1,6%). A aquafaba *in natura* apresentou valores de 92,3%, 90,9% e 90% para os respectivos tempos de 10, 15 e 20 minutos. O controle

apresentou uma diferença média de 6,5% de valores menores de estabilidade de espuma.

Os resultados apresentam valores maiores, mas com semelhanças aos analisados por Meurer *et al.* (2020). Neste estudo foi verificada a ação de ultrassom na ESE da aquafaba comparando com a clara de ovo. Para verificação da ESE as amostras foram batidas durante 2 minutos e verificada a estabilidade nos tempos de 10, 15 e 20 minutos. Os resultados obtidos foram de 100%, 100% e ~97% para a clara de ovo (sem tratamento de ultrassom) e de ~48%, ~45% e ~42%, para a aquafaba (sem tratamento de ultrassom), nos tempos de 10, 15 e 20 minutos, respectivamente. Nesse estudo foi possível verificar que a ESE foi favorecida pelo ultrassom, pois, nos tempos mencionados, foi verificado um aumento de 51% da ESE na aquafaba. Foi também observado que ocorreu uma redução no gotejamento do líquido da espuma no decorrer do tempo, indicando maior estabilidade na espuma.

Mustafa *et al.* (2018), também verificaram a ESE da aquafaba deixando a espuma em temperatura ambiente por 2 horas. Em comparação com o presente estudo foram utilizados os resultados do batimento da aquafaba por 2 minutos e 30 minutos da espuma em temperatura ambiente. Os resultados obtidos por estes autores foram de 86,29% para aquafaba e de ~98% para a clara de ovo. Estes resultados são semelhantes aos verificados neste estudo.

Os autores Lafarga *et al.* (2019), verificaram uma média de valor de ESE de 56,23%, para 13 amostras de aquafaba em diferentes condições de razão de grão-de-bico: água fervente e de pH deixado em temperatura ambiente por 10 minutos após o batimento. Este valor é um pouco inferior mas ainda assim apresentou semelhanças aos obtidos nesta pesquisa.

A ESE permite visualizar o quão seca uma espuma pode ser, pois quanto mais líquido goteja da espuma mais úmida vai ser. A espuma produzida por aquafaba foi caracterizada como mais úmida em comparação com a espuma produzida pela clara de ovo, pois a primeira apresentou mais líquido em relação ao volume de espuma. Essa verificação também ocorreu entre a aquafaba *in natura* e a aquafaba desidratada. O efeito da gravidade foi considerado um fator significativo, pois a espuma de todas as amostras apresentaram alterações ao longo do tempo.

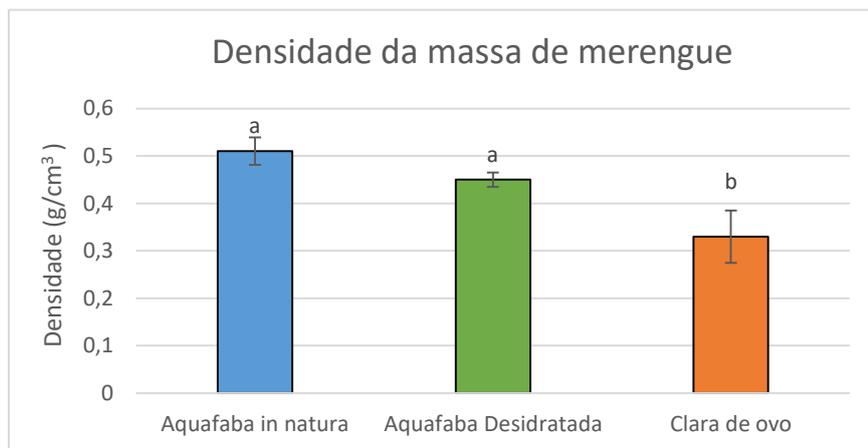
6.4. MERENGUE DA AQUAFABA

Os merengues são um produto doce e incorporado de ar e consistem essencialmente de clara de ovo batida com açúcar. É um creme branco que inclui gás como fase dispersa e líquido como fase contínua (YÜCEER; ASIK, 2020). O merengue apresenta aplicação na confeitaria e devido à sua simples composição e fabrico foram verificadas suas propriedades reológicas como a densidade e drenagem de líquido do merengue.

6.4.1 Densidade de merengue de aquafaba

Os resultados obtidos para a densidade da massa do merengue de aquafaba *in natura*, desidratada e controle podem ser verificados na figura 11.

Figura 11: Densidade da massa do merengue de aquafaba *in natura*, aquafaba desidratada e clara de ovo



*Valores apresentados em média e desvio padrão. O desvio padrão foi calculado para as amostras em triplicata;

^{a, b} Médias com letras iguais não apresentam diferença significativa ($p > 0,05$).

Os resultados obtidos na figura 11 demonstram que a massa do merengue de aquafaba desidratada apresenta densidade aproximada à densidade da aquafaba *in natura*, $0,45 \text{ g cm}^{-3}$ e $0,51 \text{ g cm}^{-3}$, respectivamente. O controle obteve a menor densidade com o valor de $0,33 \text{ g cm}^{-3}$. Estes valores podem ser devido a diversos fatores como tipo de grão-de-bico, temperatura e tempo de cozimento. Até ao momento não existem estudos realizados para verificação da densidade da massa de merengue da aquafaba e, por esse motivo foram analisados estudos realizados com a clara de ovo.

Alavi *et al.* (2020), fizeram merengue com clara de ovo desidratada e água destilada, com concentração de proteína de 50 mg mL⁻¹ em pH de 8.0, e merengue de controle (idêntico ao merengue de clara de ovo *in natura*) com clara de ovo desidratada e água destilada com concentração de proteína de 100 mg mL⁻¹ em pH 8.0. O valor obtido para ambos os merengues foi idêntico (~0,40 g cm³⁻¹). Este valor é aproximado ao valor obtido com o merengue de aquafaba desidratada com pH 6.04 (0,45 g cm³⁻¹) realizado no presente estudo. Este resultado pode ser devido a ambas as amostras serem desidratadas mesmo com pH diferentes.

No estudo de Yuceer *et al.* (2020), foi verificado que a densidade da massa do merengue de clara de ovo obteve um valor maior de 0,50 g cm³⁻¹. Mas, este valor ficou aproximado ao valor obtido pela aquafaba *in natura*. Os autores observaram, através de microscopia, que o merengue apresentou uma microestrutura da massa menos aberta, ou seja, com menor formação de bolhas de ar.

Faezian *et al.* (2018), verificaram que a adição de açúcar no merengue da clara de ovo aumentou a sua densidade. Os autores utilizaram clara de ovo em pó e hidrataram com água destilada para obter uma solução de 10% m/m (equivalente a concentração de clara de ovo *in natura*). Adicionaram diferentes concentrações de açúcar (10% e 30%) e verificaram que a densidade da massa do merengue aumentou com o aumento da concentração de açúcar. Para o merengue com 10% de açúcar a densidade foi de 1,061 g cm³⁻¹ e para 30% de açúcar a densidade foi de 1,122 g cm³⁻¹. Os resultados apresentam valor de maior densidade em relação ao presente estudo.

As variações dos valores da densidade da massa do merengue apresentados nos estudos podem ser devido a metodologia para obtenção dos merengues, visto que uns utilizaram clara de ovo *in natura* e outros a clara de ovo desidratada. O tempo de batimento e a quantidade de açúcar também influenciam os resultados relacionados à densidade.

No geral, foi verificado que maior quantidade de ar incorporado na massa do merengue, menor a sua densidade. Os merengues com densidade mais baixa apresentaram maior estabilidade (MANGUEIRA, 2020).

6.4.2 Drenagem da massa do merengue

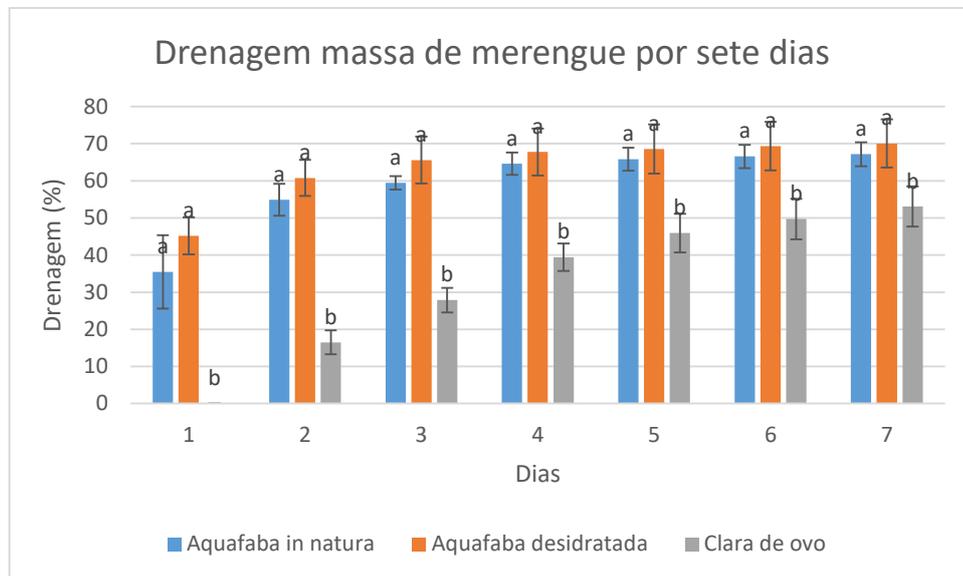
A drenagem da espuma é o fluxo de líquido que escorre através desta, que corre devido à gravidade e absorção capilar e apresenta resistência através de viscosidade (FAEZIAN; YEGANEHZAD; TIGHCHI, 2019). O líquido inicia a drenagem pelo topo da espuma, fluindo da lamela para as bordas de Platô, seguindo a direção da força gravitacional (ELLIS *et al.*, 2018).

A preservação de merengue apresenta instabilidade, devido à drenagem de líquido durante o armazenamento. Por esse motivo o presente estudo verificou a estabilidade da massa do merengue através da sua drenagem ao longo de 7 dias. Nesta análise foi verificada em qual das amostras ocorreu a maior drenagem de líquido da massa do merengue e também a sua estabilidade como apresentado nas figuras 12 e 13.

Figura 12. Drenagem do líquido do merengue no sétimo dia de clara de ovo, aquafaba desidratada e aquafaba in natura (da esquerda para a direita)



Figura 13. Drenagem do líquido da massa de merengue de aquafaba *in natura*, aquafaba desidratada e clara de ovo ao longo de sete dias



*Valores expressos em média e desvio padrão. O desvio padrão representa as análises realizadas em triplicata;

^{a, b} Médias com letras iguais não apresentam diferença significativa ($p > 0,05$).

Foi verificado ao longo dos dias que ocorreu drenagem das amostras, sendo esta maior na aquafaba que na clara de ovo. No primeiro dia as amostras de aquafaba apresentaram alta drenagem de líquido e instabilidade na massa do merengue. As amostras de aquafaba apresentaram uma drenagem quase constante e alta nos primeiros 3 dias, seguida por uma diminuição e estabilidade do 4^o ao 7^o dias. Este fenômeno pode ser devido a uma maior rapidez de drenagem em espumas mais úmidas porque os canais por onde ocorre a passagem de líquido são maiores entre as bolhas e, assim, apresentam menor resistência hidrodinâmica. Para o merengue de clara de ovo a drenagem iniciou no 2 dia e obteve maior drenagem do 2^o ao 7^o dia.

A porcentagem apresentada pelas amostras no primeiro dia foram de 45,18%, 35,48% e de 0,00% para aquafaba desidratada, aquafaba *in natura* e clara de ovo, respectivamente. No segundo dia as amostras de aquafaba desidratada (60,77%) e *in natura* (54,91%) apresentaram valores maiores que a clara de ovo (16,49%). No terceiro dia, as amostras mantiveram a drenagem semelhante ao dia anterior, com a aquafaba desidratada (65,60%) apresentado maior valor que a *in natura* (59,49%) e, por fim, a clara de ovo (27,89%). No sétimo dia as amostras apresentaram valores de

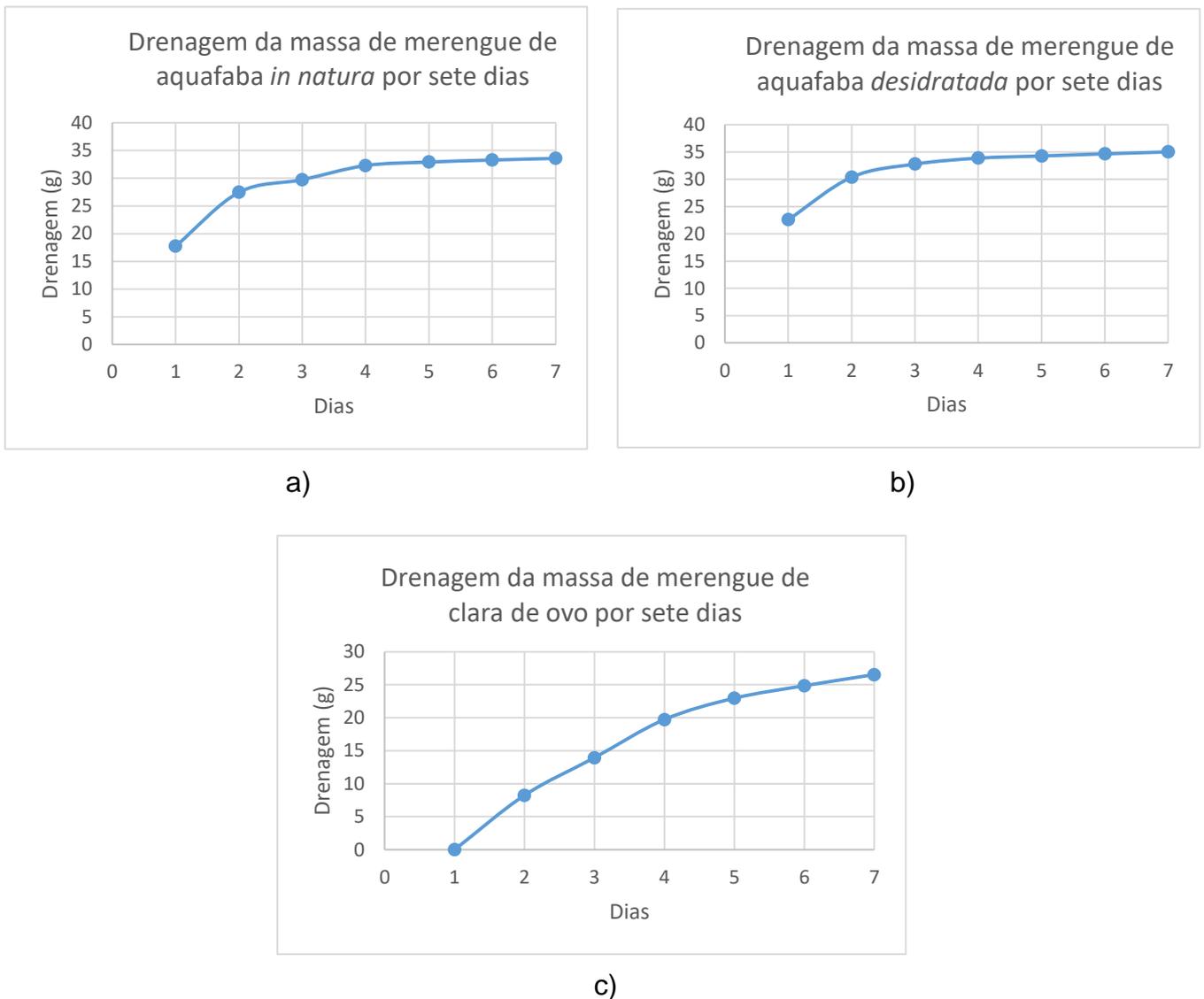
67,16%, 70,07% e 53,07% para a aquafaba *in natura*, aquafaba desidratada e clara de ovo, respectivamente.

No geral, a amostra que apresentou mais estabilidade, por apresentar menor drenagem na totalidade, foi a de clara de ovo, seguida pela amostra de aquafaba *in natura* e, por fim, a aquafaba desidratada. Até o momento, não existem estudos realizados para verificação da drenagem de líquido da massa de merengue da aquafaba, por esse motivo a clara de ovo foi utilizada como padrão nesse estudo.

A drenagem de líquido da massa de merengue da clara de ovo foi analisada no estudo de Alavi *et al.* (2020). Duas das amostras de merengue foram realizadas com clara de ovo desidratada e água destilada, com concentração proteica de 50 mg mL⁻¹ em pH de 8.0 e outra amostra de merengue foi realizada com clara de ovo desidratada e água destilada resultando em uma concentração proteica de 100 mg mL⁻¹ em pH 8.0 (sendo idêntica ao merengue de clara de ovo *in natura*). A amostra com maior drenagem de líquido do merengue e menor estabilidade foram as duas amostras com concentração de proteína a 50 mg mL⁻¹, apresentando resultados de ~9%, 24%, 34% e ~51%, após o primeiro, segundo, terceiro e sétimo dias, respectivamente. A amostra com maior estabilidade e menor drenagem de líquido foi a amostra idêntica ao merengue com clara de ovo *in natura* com resultados de 7%, 16%, 28% e ~47%, após o 1º, 2º, 3º e sétimo dias, respectivamente. Estes resultados vão de encontro ao presente estudo, pois os resultados para a clara de ovo são idênticos no segundo e terceiro dias e apresentam menor valor de drenagem em relação aos valores das aquafaba, o que pode estar relacionado com a quantidade de proteína presente nas amostras, ou seja, maior drenagem para amostras com menor proteína.

Na figura 14 a-c é possível verificar a curva de tendência da quantidade do líquido drenado da massa de merengue (em gramas) em relação ao tempo (em dias).

Figura 14. Curva de drenagem das massas de merengue de (a) aquafaba *in natura*, (b) aquafaba desidratada e (c) clara de ovo, com 150% de açúcar



Foi possível verificar que a quantidade de líquido que drenou da massa do merengue foi elevado nos primeiros 3 dias para a amostra de aquafaba *in natura* e foi mais lenta e estável do 4^o ao 7^o dia. Para a amostra de aquafaba desidratada, a drenagem do líquido foi elevado nos primeiros 4 dias e mais lento e estável do 5^o ao 7^o dia. A amostra controle não apresentou drenagem do líquido no primeiro dia mas do 2^o ao 7^o dia apresentou drenagem mais lenta e constante quando comparada às amostras de aquafaba. A tendência das amostras de aquafaba foi de liberar grande quantidade de líquido em poucos dias o que levou a uma estabilidade posterior, devido à pouca quantidade de líquido restante. A espuma das aquafabas apresentavam aparência seca e frágil, com bolhas grandes visíveis a olho nu (figura 12). A amostra

controle apresentou perda gradual e lenta ao longo dos dias devido à sua quantidade em proteína e açúcar que permite que a espuma se mantenha estável sem perda ou aumento nas bolhas de ar. A espuma no último dia do estudo apresentou aspecto firme e úmido (figura 15).

Figura 15. Aspecto físico do merengue de clara de ovo, aquafaba desidratada e aquafaba in natura, após sete dias



No estudo de Faezian *et al.* (2018), foram obtidas amostras de massa de merengue de clara de ovo desidratada com concentração de 10% m/m com água destilada (equivalente a concentração de clara de ovo *in natura*) e concentração de 10% e 30% de açúcar, para verificação dos seus perfis de drenagem. Estes autores relacionaram o volume da drenagem do líquido da massa do merengue com o tempo (em segundos). Os resultados obtidos pelos autores demonstraram que a curva de drenagem para a amostra com 10% de açúcar foi quase constante e alta nos segundos iniciais, seguida de uma diminuição na taxa de drenagem e estabilidade nos segundos finais.

Para a amostra com 30% de açúcar foi verificado que a drenagem foi também alta e constante nos segundos iniciais, mas foi verificada maior estabilidade para o maior tempo quando comparado à amostra de 10%. Por estes motivos, os resultados indicam que a durabilidade da espuma aumenta com o aumento da concentração de açúcar, pois este aumenta a viscosidade do líquido entre as bolhas. No presente estudo foi analisado o mesmo fenômeno utilizando como medidas o peso do líquido drenado com o tempo (em dias).

No presente estudo as curvas de drenagem apresentadas demonstram semelhança com o estudo mencionado, pois a alta concentração de açúcar (67%) e maior concentração em proteína da amostra de clara de ovo resultou em uma curva com menos oscilações que as amostras de aquafaba, ao longo de 7 dias. Os merengues de aquafaba, apesar de conterem 150% de açúcar, não demonstraram baixa drenagem, o que pode ser devido à sua baixa concentração em proteína, pois esta permite maior estabilidade da espuma.

No estudo de Estévez *et al.* (2004), foi preparado um merengue utilizando 25g de clara de ovo *in natura* e xarope de açúcar para medir a sua estabilidade através do líquido drenado da massa do merengue durante 0, 6, 24 e 48 horas para servir de controle para verificação de estabilidade do merengue com adição de extrato de goma de algaroba.

Foi verificado que o líquido que drenou da massa do merengue de controle foi elevado ao longo das 48 horas (entre ~31 a ~34,5 mL), quando comparado às outras amostras com o extrato. Para comparação com o presente estudo apenas foram utilizados os valores da amostra de controle, pois é a mais semelhante às amostras da aquafaba e clara de ovo realizadas. As amostras que apresentaram valores semelhantes, ao longo de 48 horas, foram as amostras de aquafaba *in natura* (14,47 a 27,46 g) e desidratada (22,59 a 30,39 g). Mas os valores para a clara de ovo (0,00 a 8,24 g) não foram idênticos. Essa diferença pode ser devido ao xarope de açúcar utilizado e ao tempo de batimento (5 minutos no total) da amostra pelos autores Estévez *et al.* (2004).

Foi observado que ocorreu uma relação positiva entre a força reológica dos merengues com sua estabilidade através da drenagem. Uma baixa taxa de drenagem pode ser devido ao tipo e tempo de batimento, quantidade de açúcar, presença de uma forte estrutura de rede, o que pode atrasar o movimento do líquido dos filmes interfaciais e das bordas do platô (ALAVI *et al.*, 2020).

A estabilidade da espuma pode ser melhorada através da utilização de surfactantes ou aditivos, pois a drenagem envolve diversos parâmetros como altura inicial da amostra, raio da bolha, densidade, viscosidade da solução e tensão superficial (ELLIS *et al.*, 2018).

7 CONCLUSÃO

A aquafaba *in natura*, proveniente do grão-de-bico, é de fácil elaboração e obtenção.

A aquafaba desidratada apresenta ser uma boa opção em relação à aquafaba *in natura* porque são mantidas a composição nutricional, os compostos bioativos e propriedades tecnológicas.

Na expansão e estabilidade de espuma, a aquafaba *in natura* apresenta menor expansão mas maior estabilidade em relação à aquafaba desidratada.

No merengue de aquafaba *in natura* é observada maior densidade mas uma menor drenagem de líquido quando comparado ao merengue de aquafaba desidratada.

A aquafaba *in natura* e desidratada possuem propriedades tecnológicas semelhantes à clara de ovo quanto à formação de espuma para formulação de produtos alimentícios. O que comprova ser um substituto de fácil acesso e baixo custo para a população vegana ou com alergia ao ovo.

REFERÊNCIAS

- AISA, H. A.; GAO, Y.; YILI, A.; MA, Q.; CHENG, Z. Beneficial role of chickpea (*Cicer arietinum* L.) functional factors in the intervention of metabolic syndrome and diabetes mellitus. In: **Bioactive Food as Dietary Interventions for Diabetes**. Academic Press, p. 615-627, 2019.
- ALAVI, F.; TIAN, Z.; CHEN, L.; EMAM-DJOMEH, Z. Effect of CaCl₂ on the stability and rheological properties of foams and high-sugar aerated systems produced by preheated egg white protein. **Food Hydrocolloids**, 106, 2020.
- ANVISA, Resolução - **RES nº 18 de 30/04/1999**, 1999. Disponível em: <http://portal.ANVISA.gov.br/documents/10181/2718376/RES_18_1999_COMP.pdf/dd30fd35-e7ea-4f8d-be72-ae2e439191b0>. Acesso em: 20 de Junho de 2019.
- ARTIAGA, O. P.; SPEHAR, C. R.; BOITEUX, L. S.; NASCIMENTO, W. M. Avaliação de genótipos de grão de bico em cultivo de sequeiro nas condições de Cerrado. **Brazilian Journal of Agricultural Sciences/Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 10, n. 1, 2015.
- BERK, Z. **Food process engineering and technology**. Academic press. 2018.
- BIRD, L. G.; PILKINGTON, C. L.; SAPUTRA, A.; SERVENTI, L. Products of chickpea processing as texture improvers in gluten-free bread. **Food Science and Technology International**, v. 23, n. 8, p. 690-698, 2017.
- BLASCO, L.; VIÑAS, M.; VILLA, T. G. Proteins influencing foam formation in wine and beer: the role of yeast. **International Microbiology**, vol. 14, num. 2, p. 61-71, 2011.
- BRUMMER, Y.; KAVIANI, M.; TOSH, S. M. Structural and functional characteristics of dietary fibre in beans, lentils, peas and chickpeas. **Food Research International**, v. 67, p. 117-125, 2015.
- BUHL, T. F.; CHRISTENSEN, C. H.; HAMMERSHØJ, M. Aquafaba as an egg white substitute in food foams and emulsions: Protein composition and functional behavior. **Food Hydrocolloids**, v. 96, p. 354-364, 2019.
- DAMIAN, J. J.; HUO, S.; SERVENTI, L. Phytochemical content and emulsifying ability of pulses cooking water. **European Food Research and Technology**, v. 244, n. 9, p. 1647-1655, 2018.

DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L.; FENNEMA, O. R. (Ed.). **Fennema's food chemistry**. CRC press, 2017.

DE CAMARGO, A. C.; FAVERO, B. T.; MORZELLE, M. C.; FRANCHIN, M.; ALVAREZ-PARRILLA, E.; DE LA ROSA, L. A.; SCHWEMBER, A. R. Is chickpea a potential substitute for soybean? Phenolic bioactives and potential health benefits. **International journal of molecular sciences**, v. 20, n. 11, p. 2644, 2019.

ELLIS, A. L.; LAZIDIS, A. Foams for food applications. In: **Polymers for Food Applications**. Springer, Cham, p. 271-327. 2018.

EMBRAPA, **Grão-de-bico BRS Aleppo permite autossuficiência e abre perspectivas para exportação**, 2019. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/42777824/grao-de-bico-brs-aleppo-permite-autossuficiencia-e-abre-perspectivas-para-exportacao>>. Acesso em: 17 de Junho de 2019.

EMBRAPA, **Grão-de-bico BRS Aleppo**, 2015. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-solucoes-tecnologicas/-/produto-servico/2213/grao-de-bico-brs-aleppo>>. Acesso em: 10 de Junho de 2019.

ESTÉVEZ, A. M.; SAENZ, C.; HURTADO, M. L.; ESCOBAR, B.; ESPINOZA, S.; SUÁREZ, C. Extraction methods and some physical properties of mesquite (*Prosopis chilensis* (Mol) Stuntz) seed gum. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, 84(12), 1487-1492. 2004.

FAEZIAN, A.; YEGANEHZAD, S.; TIGHCHI, H. A. A simplified model to describe drainage of egg white powder foam containing additives. **Chemical Engineering Science**, 195, 631-641. 2019.

FAMEAU, A. L.; SALONEN, A. Effect of particles and aggregated structures on the foam stability and aging. **Comptes rendus physique**, 15.8-9: 748-760, 2014.

FAO, **Health Benefits of Pulses**, 2016. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/a-i5388e.pdf>>. Acesso em: 10 de Junho de 2019.

FELLOWS, P. J. **Food processing technology: principles and practice**, 4 Ed. Elsevier, 2017.

FOEGEDING, E. A.; LUCK, P. J.; DAVIS, J. P. Factors determining the physical properties of protein foams. **Food hydrocolloids**, v. 20, n. 2-3, p. 284-292, 2006.

GHANBARI, M.; MORTAZAVIAN, A. M.; GHASEMI, J. B.; MOHAMMADI, A.; HOSSEINI, H.; NEYESTANI, T. R., Formulation and development of a new prebiotic cereal-based dairy dessert: rheological, sensory and physical attributes. **Food Science and Technology Research**, v. 23, n. 5, p. 637-649, 2017.

GHRIBI, A. M.; GAFSI, I. M.; SILA, A.; BLECKER, C.; DANTHINE, S.; ATTIA, H.; BESBES, S. Effects of enzymatic hydrolysis on conformational and functional properties of chickpea protein isolate. **Food Chemistry**, v. 187, p. 322-330, 2015.

HARDY, Z.; JIDEANI, V. A. Foam-mat drying technology: A review. **Critical reviews in food science and nutrition**, 57(12), 2560-2572. 2017.

IN, A. O. A. C. Official methods of analysis. **Association of Official Analytical Chemists**, Ed. 21, 2019.

JOGIHALLI, P.; SINGH, L.; KUMAR, K.; SHARANAGAT, V. S. Physico-functional and antioxidant properties of sand-roasted chickpea (*Cicer arietinum*). **Food chemistry**, 237: 1124-1132, 2017.

JUKANTI, A. K.; GAUR, P. M.; GOWDA, C. L. L.; CHIBBAR, R. N. Nutritional quality and health benefits of chickpea (*Cicer arietinum* L.): a review. **British Journal of Nutrition**, v. 108, n. S1, p. S11-S26, 2012.

KALVE, S.; TADEGE, M. A comprehensive technique for artificial hybridization in Chickpea (*Cicer arietinum*). **Plant methods**, v. 13, n. 1, p. 1-9, 2017.

KARAFIÁTOVÁ, M.; HŘIBOVÁ, E.; DOLEŽEL, J. Cytogenetics of Cicer. In: **The Chickpea Genome**. Springer, Cham, 2017.

KARAM, M. C.; PETIT, J.; ZIMMER, D.; DJANTOU, E. B.; SCHER, J. Effects of drying and grinding in production of fruit and vegetable powders: A review. **Journal of Food Engineering**, 188, 32-49. 2016.

KATEKHONG, W.; CHAROENREIN, S. Color and gelling properties of dried egg white: Effect of drying methods and storage conditions. **International Journal of Food Properties**, 20(9), 2157-2168. 2017.

KHAN, M. A.; AMMAR, M. H.; MIGDADI, H. M.; EL-HARTY, E. H.; OSMAN, M. A.; FAROOQ, M., ALGHAMDI, S. S. Comparative nutritional profiles of various faba bean

and chickpea genotypes. **International Journal of Agriculture and Biology**, 17(3), 2015.

LI, X.; LI, J.; CHANG, C.; WANG, C.; ZHANG, M., SU; Y.; YANG, Y. Foaming characterization of fresh egg white proteins as a function of different proportions of egg yolk fractions. **Food Hydrocolloids**, 90, 118–125, 2019.

LUTZ, A. **Instituto Adolfo Lutz**. Métodos físico-químicos para análise de alimentos, 4. 2008.

MANGUEIRA, E. R.; CAVALCANTE, J. A.; COSTA, N. A.; LIMA, A. G. B. Foam-mat drying process of duck egg white. In: **Diffusion Foundations**. Trans tech publications ltd. vol. 25, pp. 54-82. 2020.

MARTIROSYAN, D. M.; SINGH, J. A new definition of functional food by FFC: what makes a new definition unique?, **Functional Foods in Health and Disease**, vol. 5, p.209-223, 2015

MARURE, L. M. Y.; NÚÑEZ-SANTIAGO, M. C.; AGAMA-ACEVEDO, E.; BELLO-PEREZ, L. A. Starch Characterization of Improved Chickpea Varieties Grown in Mexico. **Starch-Stärke**, 71(3-4), 1800139, 2019.

MEURER, M. C.; DE SOUZA, D.; MARCZAK, L. D. F. Effects of ultrasound on technological properties of chickpea cooking water (aquafaba). **Journal of Food Engineering**, v. 265, p. 109688, 2020.

MILLÁN, T.; MADRID, E.; CUBERO, J. I.; AMRI, M.; CASTRO, P.; RUBIO, J. Chickpea. **Grain Legumes** (pp. 85-109). Springer, New York, 2015.

MUEHLBAUER, F. J.; SARKER, A. Economic importance of chickpea: production, value, and world trade. In: **The chickpea genome**. Springer, Cham, 2017.

MUSTAFA, R.; HE, Y.; SHIM, Y. Y.; REANEY, M. J. Aquafaba, wastewater from chickpea canning, functions as an egg replacer in sponge cake. **International journal of food science & technology**, v. 53, n. 10, p. 2247-2255, 2018.

MUSTAFA, R.; REANEY, M. J. T. Aquafaba, from Food Waste to a Value-Added Product. **Food Wastes and By-products: Nutraceutical and Health Potential**, p. 93-126, 2020.

NIÑO-MEDINA, G.; MUY-RANGEL, D.; DE LA GARZA, A. L.; RUBIO-CARRASCO, W.; PÉREZ-MEZA, B.; ARAUJO-CHAPA, A. P.; URÍAS-ORONA, V. Dietary fiber from chickpea (*Cicer arietinum*) and soybean (*Glycine max*) husk byproducts as baking additives: functional and nutritional properties. **Molecules**, v. 24, n. 5, p. 991, 2019.

OHTAKE, S.; IZUTSU, K. I. **Drying Technologies for Biotechnology and Pharmaceutical Applications**. 2020.

OLIVEIRA, F. G. D. S.; VERAS, B. O. D.; SILVA, A. P. S. A. D.; ARAÚJO, A. D. D.; BARBOSA, D. C. D. S.; SILVA, T. D. C. M.; ALMEIDA J. R. G. D. S. Photoprotective activity and HPLC-MS-ESI-IT profile of flavonoids from the barks of *Hymenaea martiana* Hayne (*Fabaceae*): development of topical formulations containing the hydroalcoholic extract. **Biotechnology & Biotechnological Equipment**, 35(1), 504-516, 2021.

PRAZERES, L. D.; ARAGÃO, T. P.; BRITO, S. A.; ALMEIDA, C. L.; SILVA, A. D.; DE PAULA, M. M.; WANDERLEY, A. G. Antioxidant and Antiulcerogenic Activity of the Dry Extract of Pods of *Libidibia ferrea* Mart. ex Tul.(*Fabaceae*). **Oxidative medicine and cellular longevity**, 2019.

RACHWA-ROSIK, D.; NEBESNY, E.; BUDRYN, G. Chickpeas—composition, nutritional value, health benefits, application to bread and snacks: a review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 55, n. 8, p. 1137-1145, 2015.

RAIKOS, V.; HAYES, H.; NI, H. Aquafaba from commercially canned chickpeas as potential egg replacer for the development of vegan mayonnaise: recipe optimisation and storage stability. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 55, n. 5, p. 1935-1942, 2020.

RASOOL, S.; LATEF, A. A.; AHMAD, P. Chickpea: role and responses under abiotic and biotic stress. **Legumes under environmental stress: yield, improvement and adaptations**, p. 67-79, 2015.

SHEVKANI, K.; SINGH, N.; CHEN, Y.; KAUR, A.; YU, L. Pulse proteins: Secondary structure, functionality and applications. **Journal of food science and technology**, v. 56, n. 6, p. 2787-2798, 2019.

SHIM, Y. Y.; MUSTAFA, R.; SHEN, J.; RATANAPARIYANUCH, K.; REANEY, M. J. Composition and properties of aquafaba: Water recovered from commercially canned chickpeas. **JoVE (Journal of Visualized Experiments)**, n. 132, 2018.

SILVA, A. C. C., SILVA N. A.; PEREIRA, M. C. S.; VASSIMON, H. S. Alimentos Contendo Ingredientes Funcionais em sua Formulação: Revisão de Artigos Publicados em Revistas Brasileiras, **Revista Conexão Ciência**, v. 11, n. 2, p. 133-144, 2016.

SIVA, N.; THAVARAJAH, P.; THAVARAJAH, D. Prebiotic carbohydrate concentrations of common bean and chickpea change during cooking, cooling, and reheating. **Journal of food science**, v. 85, n. 4, p. 980-988, 2020.

SOFI, S. A., MUZAFFAR, K., ASHRAF, S., GUPTA, I., & MIR, S. A. Chickpea. In: **Pulses**. Springer, Cham, 2020.

STANTIAL, S. E.; DALE, K. J.; CALIZO, F. S.; SERVENTI, L. Application of pulses cooking water as functional ingredients: the foaming and gelling abilities. **European Food Research and Technology**, v. 244, n. 1, p. 97-104, 2018.

SUMMO, C., DE ANGELIS, D., RICCIARDI, L., CAPONIO, F., LOTTI, C., PAVAN, S., & PASQUALONE, A. Nutritional, physico-chemical and functional characterization of a global chickpea collection. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 84, p. 103306, 2019.

TOEWS, R.; WANG, N. Physicochemical and functional properties of protein concentrates from pulses. **Food Research International**, v. 52, n. 2, p. 445-451, 2013.

TORRES-FUENTES, C.; DEL MAR CONTRERAS, M.; RECIO, I.; ALAIZ, M.; VIOQUE, J. Identification and characterization of antioxidant peptides from chickpea protein hydrolysates. **Food Chemistry**, v. 180, p. 194-202, 2015.

VARSHNEY, R. K.; THUDI, M.; MUEHLBAUER, F. J. The chickpea genome: An introduction. In: **The Chickpea Genome**. Springer, Cham, 2017.

XU, B.; CHANG, S. K. Effect of soaking, boiling, and steaming on total phenolic content and antioxidant activities of cool season food legumes. **Food chemistry**, 110(1), 1-13, 2008.

XU, Y.; CARTIER, A.; OBILODAN, M.; JORDAN, K.; HAIRSTON, T.; SHANNON, A.; SISMOUR, E. Nutritional and anti-nutritional composition, and in vitro protein digestibility of Kabuli chickpea (*Cicer arietinum* L.) as affected by differential processing methods. **Journal of Food Measurement and Characterization**, v. 10, n. 3, p. 625-633, 2016.

YÜCEER, M.; ASIK, H. Texture, rheology, storage stability, and sensory evaluation of meringue's prepared from lipase enzyme-modified liquid egg white. **Journal of Food Processing and Preservation**, 44.9: e14667, 2020.

ZHANG, T.; JIANG, B.; MU, W.; WANG, Z. Emulsifying properties of chickpea protein isolates: Influence of pH and NaCl. **Food Hydrocolloids**, v. 23, n. 1, p. 146-152, 2009.

APÊNDICE A – CAPÍTULO 24 – ÁGUA DE COZIMENTO DO GRÃO-DE-BICO E SUAS PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS: UMA REVISÃO, PUBLICADO NO LIVRO AVANÇOS EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

24

“

Água de cozimento do grão-de-bico e as suas propriedades tecnológicas: uma revisão

- | Cristina Alexandra Correia dos **Santos**
UFPE
- | Marión Elizabeth Aguilar **Fernández**
UFPE
- | Vitória Maria de Souza **Ribeiro**
UFPE
- | Rodrigo de Oliveira **Simões**
UFPE
- | Tânia Lúcia Montenegro **Stamford**
UFPE

RESUMO

Alternativas saudáveis e econômicas na Indústria de alimentos são fundamentais para atender às necessidades da população mundial. Em escala global, o consumo de grão-de-bico tem aumentado nos últimos anos devido ao seu baixo custo, à sua adaptação a diferentes condições ambientais, à sua constituição nutricional. O processamento de alimentos, como o deste pulse, produz grandes quantidades de subprodutos, sendo um deles a aquafaba. Esta água de cozimento pode ser transformada em produto de alto valor agregado e utilidade, pois apresenta valor nutricional e tem demonstrado ótimas propriedades tecnológicas em termos de formação de espumas e emulsões.

Nesta revisão, nos artigos analisados foram observados a composição nutricional do grão-de-bico e da aquafaba, as suas funcionalidades e suas aplicações em diversos produtos alimentares. A aquafaba tem mostrado ótimos resultados na substituição de ovo em diversas formulações de alimentos. Assim, a constituição nutricional, funcionalidade e baixo custo da aquafaba demonstram que ela possui diversas vantagens na Indústria alimentícia.

Palavras-chave: Pulse, Aquafaba, Propriedades Funcionais, Espuma, Emulsão.

INTRODUÇÃO

As leguminosas são grandemente utilizadas pela população mundial, tendo apresentado no ano de 2016, expressivo consumo, quando foi denominado pela Food and Agriculture Organization (FAO), como o Ano Internacional das Leguminosas, apresentando desde então considerável aumento de sua conscientização e importância econômica. Representam um alimento básico que providencia quantidades fundamentais de diversos nutrientes como carboidratos, proteínas, fibras e antioxidantes necessários para o ser humano. Estes constituintes nutricionais são de grande importância para a manutenção da saúde humana, pois possuem índice glicêmico baixo, apresenta propriedades bioativas que comprovadamente diminuem a auto oxidação, a dislipidemia e a hiperglicemia pós-prandial (AISA *et al.*, 2019).

O grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.) deriva da família *Fabaceae* e é cultivada nos cinco continentes em cerca de 50 países, com 90% de seus cultivos ocorrendo nos países em desenvolvimento (AISA *et al.*, 2019; MUEHLBAUER; SARKER, 2017). Este grão é conhecido como "Garbanzo" nos países hispânicos e "Hamaz", no médio oriente, de onde é originária. O seu cultivo é realizado em solos marginais de diversas regiões semi-áridas do mundo, detém um custo reduzido de produção, uma vasta adaptação climática, uma prática em rotação de cultura e uma imensa aptidão de fixação de nitrogênio atmosférico, o que culmina numa grande importância em sistemas de agricultura sustentável (VARSHNEY; THUDI; MUEHLBAUER, 2017; ARTIAGA *et al.*, 2015).

Representam um elemento relevante da alimentação humana e diversos estudos foram realizados para comprovar as suas propriedades funcionais e por esse motivo ganharam grande interesse nos países desenvolvidos (NIÑO-MEDINA *et al.*, 2019; RASOOL; ABDEL LATEF; AHMAD, 2015; TORRES-FUENTES *et al.*, 2015).

Devido a mudanças nos modelos alimentares, a população procura alternativas não só ricas nutricionalmente como também sustentáveis e de baixo custo. A água do cozimento do grão-de-bico, que tem como denominação aquafaba de concordância com a origem latina das palavras água (*aqua*) e do feijão (*faba*) permite, por exemplo, uma alternativa, não só devido ao seu elevado conteúdo de compostos bioativos promotores de saúde, mas também pelo alto teor de proteínas. Diversas alternativas têm sido apresentadas para a utilização da aquafaba tendo em conta as suas propriedades funcionais (MEURER; DE SOUZA; MARCZAK, 2020).

Essas propriedades consistem na formação de espuma e de emulsões. Com base nesses atributos aumentou a busca para avaliar a capacidade da aquafaba como candidato para substituição do ovo (BUHL; CHRISTENSEN; HAMMERSHØJ, 2019).

DESENVOLVIMENTO

Grão-de-bico

O grão-de-bico (*Cicer Arietinum* L.) é uma leguminosa originária do sudeste da Turquia. Este país abriga a maioria das espécies selvagens de *Cicer*, incluindo a *Cicer reticulatum*, identificada como provável progenitora do tipo cultivado (KARAFIÁTOVÁ; HRIBOVÁ; DOLEŽEL, 2017; VARSHNEY; THUDI; MUEHLBAUER, 2017; RASOOL; ABDEL LATEF; AHMAD, 2015).

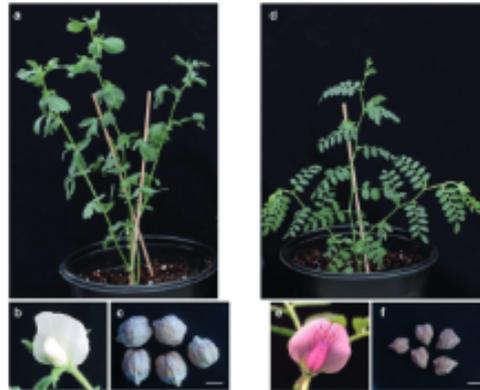
Posteriormente a sua domesticação foi realizada no Oriente Médio e desenvolveu-se e disseminou-se para toda a região da Índia, Etiópia e Mediterrâneo (VARSHNEY; THUDI; MUEHLBAUER, 2017). Os pulses fazem parte da família das leguminosas, mas o termo "pulse" refere-se apenas às sementes comestíveis secas dentro da vagem. Sendo os mais comuns o feijão, a lentilha, o grão-de-bico e a ervilha (LOKE *et al.*, 2016).

O grão-de-bico é uma planta de cultura anual que atinge uma altura inferior a um metro. O tipo de crescimento desta planta pode ocorrer de diversas formas dependendo da superfície do solo e do ângulo dos seus galhos. A sua ramificação começa na base ao nível do solo, dando à planta uma aparência espessa. A superfície da planta, incluindo raízes, caule, folhas e vagens, é coberta de pelos glandulares e não glandulares. Os pelos glandulares segregam uma mistura de ácidos que protege a planta contra a sucção de insetos-pragas. A transpiração das raízes ajuda a solubilizar os nutrientes do solo. A germinação depende do nível de umidade do solo, da temperatura e da profundidade da sementeira. As sementes provenientes desta planta podem ser lisas ou tuberculadas, germinam por volta de uma semana após a sementeira, não passando por um período de dormência. O seu tamanho e cor são provenientes de uma única cepa e grandemente afetados pelas condições climáticas, sendo os fatores principais o calor e umidade (SAJJA; SAMINENI; GAUR, 2017).

A classificação, atualmente, é baseada na sua aparência e tamanho (Figura 1).

O grão-de-bico tipo Desi apresenta folha composta e flor de coloração roxa e é caracterizado por sementes relativamente pequenas (0,2 g semente⁻¹) e com um revestimento espesso que varia de coloração creme, passando por amarelo, marrom, preto e verde, incluindo várias marcas de pigmentação de antocianina. Já o grão-de-bico tipo Kabuli exibe folha simples e flor branca e é qualificado por sementes relativamente grandes (cerca de 0,3-0,5 g semente⁻¹). O revestimento da semente é muito fino, de coloração creme ou bege e por vezes branco e não possui pigmento de antocianina. Esse tipo específico é preferido na maioria dos mercados fora do sul da Ásia, provavelmente devido ao seu baixo custo de produção e à sua facilidade de reprodução (KALVE; TADEGE, 2017; MUEHLBAUER; SARKER, 2017).

Figura 1. Diferença entre grão-de-bico tipo Kabuli e grão-de-bico tipo Desi



a-c) Grão de bico tipo Kabuli com folhas simples, flor branca e sementes grandes.
d-f) Grão-de-bico tipo Desi com folhas compostas, flor rosa e sementes pequenas.

Fonte: Kalve; Taddege (2017)

A produção mundial de grão-de-bico predomina pelo tipo Desi, responsável por 80% da produção, com os 20% restantes dedicados aos tipos de Kabuli. A produção anual correspondeu a 17,2 milhões de toneladas em 2018, fazendo com que fosse a segunda leguminosa mais produzida no mundo. Em primeiro lugar encontra-se o feijão com 30,4 milhões de toneladas (MERGA; HAJI, 2019). A sua produção é realizada em mais de 50 países, sendo a Índia a maior produtora e responsável por mais de 70% da produção mundial total com um valor de 11,4 milhões de toneladas em 2018. O segundo país com maior produção é a Turquia com 630.000 toneladas. A Etiópia, tendo aumentado bastante a produção nos últimos anos, agora representa mais de 2% da produção mundial (MUEHLBAUER; SARKER, 2017; MERGA; HAJI, 2019).

No Brasil o grão-de-bico apresenta uma produção de 2.500 a 3.500 kg ha⁻¹ e, quando comparado ao feijão, apresenta um custo de produção de 30 a 40% menor. Por estes motivos a produção em 2019 aumentou para 9.000 hectares e o Brasil deixou de depender de importações podendo mesmo até vender o excedente para países asiáticos. Este aumento permite uma maior oferta de consumo para a população brasileira, trazendo vantagens nutricionais devido ao seu alto valor proteico (21,2 g 100 g⁻¹) e alta digestibilidade (EMBRAPA, 2019).

Vale salientar que este desenvolvimento na produção foi devido a programas de pesquisa voltados para o aperfeiçoamento do germoplasma e desenvolvimento de variedades de maior rendimento, caracterizadas por uma maior resistência a doenças e adaptação ao

ambiente (MUEHLBAUER; SARKER, 2017). A cultura é adaptada às condições de baixa pluviosidade, mas a seca foi identificada como sendo uma das mais importantes restrições à sua produtividade (KARAFIÁTOVÁ; HŘIBOVÁ; DOLEŽEL, 2017).

O grão-de-bico foi descrito como uma cultura importante para atender à crescente demanda por uma variedade de leguminosa resistente ao clima, com produção sustentável e para reduzir a desnutrição da população mundial (LOKE *et al.*, 2016). A sua composição proteica permite o suprimento da necessidade deste nutriente na população humana e pode ser consumida de diversas formas como, por exemplo, crua, torrada, cozida ou caldo e também é usada para fazer farinha (VARSHNEY; THUDI; MUEHLBAUER, 2017).

O grão-de-bico é fonte de proteína de baixo custo, estimada em 24%, podendo variar de 15 a 30%, dependendo do tipo e das condições climáticas empregadas no seu cultivo. Possui 60 a 65% de carboidratos, 6% de lipídeos, minerais e vitaminas do complexo B (MUEHLBAUER; SARKER, 2017).

Composição Nutricional do Grão-de-bico

O grão-de-bico representa um elemento relevante na alimentação humana pois os seus benefícios nutricionais aliados, a uma produção sustentável, baixo preço e altos volumes de produção, a baixa alergenicidade (BUHL; CHRISTENSEN; HAMMERSHØJ, 2019), a compostos bioativos (TORRES-FUENTES *et al.*, 2015), favorecem o seu uso industrial (RASOOL; ABDEL LATEF; AHMAD, 2015; NIÑO-MEDINA *et al.*, 2019).

O grão-de-bico é uma grande fonte de carboidratos e proteínas, tanto que representam cerca de 80% do seu peso seco total. Além destes nutrientes também apresenta valores elevados em vitaminas, minerais e fibras (AGUILAR-RAYMUNDO; VELEZ-RUIZ, 2013; OUAZIB *et al.*, 2016; LÓPEZ-MARTÍNEZ *et al.*, 2017; NOSWORTHY *et al.*, 2020; SIVA; THAVARAJAH; THAVARAJAH, 2020). Na Tabela 1 é possível verificar a composição nutricional do grão-de-bico.

Tabela 1. Composição nutricional do grão-de-bico (g 100 g⁻¹)

Proteína	Lipídeos	Carboidratos	Fibra Total	Cinza	Outros
19,3	5,0	60,0	^	^	SOFI <i>et al.</i> 2020
18,9	6,9	60,0	14,7	2,9	DANDECHY <i>et al.</i> 2019
19,7	10,3	60,0	^	5,7	MARTÍNEZ PÉRCIADO <i>et al.</i> 2019
20,5	5,9	61,0	11,0	3,4	SUMMO <i>et al.</i> 2019
16,7	5,8	61,0	5,9	2,6	BULBUJA, URGAL, 2018
25,1	6,7	66,6	^	6,6	XU <i>et al.</i> 2019

^Dados não verificados pelo autor

Proteínas, Lipídeos e Carboidratos

Nos últimos anos as proteínas de origem vegetal ganharam maior interesse e mais pesquisa como prováveis candidatos em substituição às proteínas de origem animal. Isto é movido por um aumento de conscientização acerca da sustentabilidade e de benefícios para a saúde verificados da perspectiva moderna do consumidor e da indústria de alimentos (BUHL; CHRISTENSEN; HAMMERSHØJ, 2019).

Segundo a Tabela 1 os autores verificaram que o conteúdo de proteína do grão-de-bico se encontra com valores entre $19,3 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ a $20 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ (SOFI *et al.*, 2020; MARTÍNEZ-PRECIADO *et al.*, 2019; SUMMO *et al.*, 2019; NASIR; SIDHU, 2012). Apenas Xu *et al.*, 2016 determinou valores superiores, sendo $25,1 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$. O conteúdo de proteína varia dependendo de fatores genéticos e ambientais (SOFI *et al.*, 2020; NASIR; SIDHU, 2012).

Os aminoácidos albumina, globulina, prolamina, glutelina e proteínas residuais constituem os vários tipos de proteínas presentes no grão-de-bico, sendo que as globulinas (~56%) representam a principal proteína e as albuminas (~12%) desempenham um papel determinante, uma vez que inclui a maioria das enzimas proteicas (AISA *et al.*, 2019; ELLIS; LAZIDIS, 2018; RACHWA-ROSIK; NEBESNY; BUDRYN, 2015). Estas proteínas demonstraram ser uma fonte distinta de peptídeos bioativos com função antioxidante, mais concretamente, inibidores da enzima conversora de angiotensina e atividades hipocolesterolêmicas. Alguns desses constituintes demonstraram uma forte atividade, com similaridade de eficiência ao antioxidante sintético hidroxitolueno butilado (BHT) (TORRES-FUENTES *et al.*, 2015).

O total de aminoácidos presentes nas proteínas do grão-de-bico, segundo Xu *et al.* (2016) apresentou valor de $81,4 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$. Os aminoácidos de enxofre demonstraram um valor menor que os aminoácidos essenciais sendo 3,24 e 39,7% do total, respetivamente. Dos oito aminoácidos essenciais, a leucina foi o mais prevalente com valor de $6,35 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$, seguida na ordem de lisina ($6,00 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$), fenilalanina ($5,06 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$), valina ($3,71 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$), isoleucina ($3,51 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$), treonina ($3,15 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$), histidina ($2,03 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$) e triptofano ($1,10 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$). Os valores encontrados superaram os níveis de referência recomendados pela FAO / OMS para a população adulta.

As proteínas presentes no grão-de-bico exibem diversas funcionalidades, o que o torna uma relevante fonte de substituição deste nutriente de origem animal em distintas aplicações alimentares, pois a sua superfície dinâmica e a adsorção nas interfaces são consideradas como tendo um papel importante na formação e estabilização de emulsões ou espumas. As propriedades funcionais compreendem ligação de gorduras, capacidade de retenção de água, como propriedades de gelificação, espuma e emulsificação (GHRIBI *et al.*, 2015; MUSTAFA *et al.*, 2018; BUHL; CHRISTENSEN; HAMMERSHØJ, 2019).

O conteúdo total de lipídios presente no grão-de-bico apresenta valores aproximados de 6,04 g 100 g⁻¹. Sendo maior do que em outros pulses, como lentilhas (1,06 g 100 g⁻¹), feijão vermelho (1,06 g 100 g⁻¹), feijão preto (1,42 g 100 g⁻¹) (JUKANTI *et al.*, 2012; USDA, 2018).

Os principais constituintes dos lipídios são caracterizados por níveis elevados de ácidos graxos insaturados (74,36%) e ácidos graxos saturados (25,48%) (HUSSEIN *et al.*, 2020). Os ácidos insaturados mais importantes são o ácido linoleico (56,26%), oleico (24,20%), linolenico (2,31%) e ácidos graxos saturados que mais se destacam são o ácido palmítico (12,21%) e o ácido esteárico (4,86%) (JUKANTI *et al.*, 2012; DANDACHY; MAWLAWI; OBEID, 2019).

O valor nutricional do ácido linoleico é muito importante devido ao seu metabolismo nos tecidos do corpo onde seria precursor de prostaglandinas, que reduzem a pressão sanguínea e regulam a contração da musculatura lisa. Outros compostos incluídos na gordura do grão-de-bico são ceras, álcoois graxos e esteróis (JUKANTI *et al.*, 2012; RACHWA-ROSIAK; NEBESNY; BUDRYN, 2015).

O grão-de-bico é constituído, na sua maioria, por carboidratos, totalizando cerca de 60% das suas sementes secas cruas como verificado na Tabela 1. Este valor é superior ao de outros pulses, como a lentilhas com cerca de 51 g 100 g⁻¹ e o feijão comum com cerca de 53 g 100 g⁻¹ (SOFI *et al.*, 2020; MARTÍNEZ-PRECIADO *et al.*, 2019; NASIR; SIDHU, 2012).

Apresenta na sua constituição monossacarídeos distribuídos nas seguintes concentrações: glicose, 0,5 g 100 g⁻¹; galactose, 0,01 g 100 g⁻¹; frutose, 0,31 g 100 g⁻¹. Nos dissacarídeos os mais relevantes são a maltose (0,33 g 100 g⁻¹) e sacarose (1,52 g 100 g⁻¹). Entre as culturas de pulses, é a que apresenta a maior quantidade de oligossacarídeos (3,49%). Destes, a rafinose e a estaquiose (derivados α -galactosil da sacarose), com quantidades de 8,6 g 100 g⁻¹ e 19,1 g 100 g⁻¹, respectivamente, são os principais responsáveis pela produção de flatulência (AGUILERA *et al.*, 2011; JUKANTI *et al.*, 2012). Os seres humanos não possuem α -galactosidase, a enzima responsável pela degradação dos α -galactósídeos. Por este motivo, estes oligossacarídeos não são absorvidos ou hidrolisados mas passam por um processo de fermentação através de bactérias presentes no cólon, o que resulta na produção de metano, hidrogénio, e hidróxido de carbono, os principais elementos de gases flatulentos. A expulsão desses gases é responsável pelo desconforto abdominal (SINGH; KAYASTHA, 2012).

O total de amido presente no grão-de-bico corresponde a cerca de 60,3%. Desta, cerca de 35% é de amido resistente e os 65% restantes são de amido disponível. O amido é composto de dois grandes polímeros de glucano, sendo estes a amilose e a amilopectina. O amido encontra-se em maior quantidade nos cereais, como o trigo (25%), quando comparado aos pulses, mas aqui o teor de amilose é mais elevado (36-41%). Apesar disto,

a digestibilidade dos pulses *in vitro*, em geral, apresenta valores mais baixos que os cereais devido a um maior teor de amilose. Os valores de digestibilidade do amido *in vitro* do grão-de-bico variam de 37 a 60% e são superiores aos de outros pulses, como as lentilhas e o feijão (JUKANTI *et al.*, 2012; YNIESTRA MARURE *et al.*, 2018).

Fibras e Minerais

Nos alimentos de origem vegetal a fibra alimentar pertence a um grupo de carboidratos não digeríveis que abrange glicídios insolúveis e solúveis, incluindo polissacarídeos de amido, como celulose, pectina, hemiceluloses, β -glucanos. Outros componentes da fibra alimentar são inulina, oligossacarídeos, frutanos, lignina e algum amido resistente (AISA *et al.*, 2019). O grão-de-bico possui cerca de 40% da sua fibra alimentar no revestimento das suas sementes sob a forma de celulose, hemicelulose e pectina (NIÑO-MEDINA *et al.*, 2019).

Na Tabela 1 os autores apresentam valores de fibra entre 5,9 g 100 g⁻¹ e 14,7 g 100 g⁻¹. A glicose apresenta-se em grandes quantias nas frações de fibra solúvel no grão-de-bico, sendo a xilose o principal constituinte das frações de fibras solúveis (JUKANTI *et al.*, 2012).

A fibra pode ser utilizada para a ligação e retenção de gordura, assim como para permitir a modificação de textura de diversos produtos alimentícios processados (SOFI *et al.*, 2020).

Na Tabela 1 foi verificado que a cinza se encontra em valores entre 2,6 g 100 g⁻¹ e 3,4 g 100 g⁻¹. O conteúdo desse tipo de composto diminui a sua presença no pulse consoante o procedimento dos processos térmicos que lhe são aplicados (RACHWA-ROSIK; NEBESNY; BUDRYN, 2015).

Este pulse fornece macro e microelementos minerais. Segundo Xu *et al.* (2016) a quantidade total de macroelementos perfaz 1940 mg 100 g⁻¹. Nestes estão presentes cerca de 120 mg 100 g⁻¹ de cálcio, 140 mg 100 g⁻¹ de magnésio, 420 mg 100 g⁻¹ de fósforo, 1060 mg 100 g⁻¹ de potássio, 200 mg 100 g⁻¹ de enxofre. A quantidade total de microelementos com valor de 14,3 mg 100 g⁻¹ apresenta na sua constituição minerais como 0,85mg 100g⁻¹ de cobre, 5 mg 100 g⁻¹ de ferro, 4,8 mg 100 g⁻¹ de manganês e 4 mg 100 g⁻¹ de zinco.

A quantidade de ingestão de aproximadamente 100 g de sementes deste pulse podem atender aos requisitos alimentares diários de ferro (1,55 mg dia⁻¹ homens e 1,46 mg dia⁻¹ mulheres) e zinco (4,2 mg dia⁻¹ homens e 3,0 mg dia⁻¹ mulheres) e a porção de 200 g podem providenciar o de magnésio (260 mg dia⁻¹ homens e 220 mg dia⁻¹ mulheres) (JUKANTI *et al.*, 2012).

A quantidade total de ferro presente no grão-de-bico é menor quando comparável com outras culturas de pulses, como lentilhas (8,60 mg 100 g⁻¹) e feijão (7,48 mg 100 g⁻¹). Os dados acerca de outros minerais presentes no grão-de-bico são limitados. O selênio é um oligoelemento essencial, nutricionalmente importante, também encontrado nas sementes de

grão-de-bico ($8,2 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$). Foi indicado que o grão-de-bico possui outros oligoelementos na sua composição, incluindo alumínio ($10,2 \text{ mg } \text{g}^{-1}$), cromo ($0,12 \text{ mg } \text{g}^{-1}$), níquel ($0,26 \text{ mg } \text{g}^{-1}$), chumbo ($0,48 \text{ mg } \text{g}^{-1}$) e cádmio ($0,01 \text{ mg } \text{g}^{-1}$). As quantidades referidas para alumínio, níquel, chumbo e cádmio não apresentam risco toxicológico (JUKANTI *et al.*, 2012).

Antioxidantes

Os antioxidantes inibem o estresse oxidativo e permitem a quelatação de íons metálicos, o que faz com que ocorra a diminuição de danos celulares que contribuem para o aumento do risco de desenvolvimento de doenças provocadas pela oxidação de células (NIÑO-MEDINA *et al.*, 2019; RACHWA-ROSIK; NEBESNY; BUDRYN, 2015).

Além das propriedades mencionadas, também foram referidas propriedades antialérgicas, anti-inflamatórias e antimicrobianas para os compostos fenólicos. As indústrias de alimentos e agricultura realizam a produção de muitos produtos ricos em fenólicos para colmatar a procura deste tipo de composto por parte dos consumidores (NIÑO-MEDINA *et al.*, 2019). Os antioxidantes naturais apresentam mais segurança para os consumidores do que os antioxidantes sintéticos, como o BHT (TORRES-FUENTES *et al.*, 2015). Segundo Sreerama *et al.* (2012), o grão-de-bico demonstrou possuir uma atividade de eliminação de radicais livres, através do método 2,2-difenil-1-picril-hidrazil-hidrato (DPPH), de $0,031 \text{ mg mL}^{-1}$.

O conteúdo total de compostos fenólicos do grão-de-bico, entre $0,72\text{-}1,81 \text{ mg } \text{g}^{-1}$, consiste na sua maioria em flavonóides, especialmente isoflavonas, com valores entre $153 \text{ a } 340 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$. As principais isoflavonas encontradas foram a biocanina A ($180 \text{ } \mu\text{g } \text{g}^{-1}$) e a formononetina ($100 \text{ } \mu\text{g } \text{g}^{-1}$), e menor quantidade de genisteína ($60 \text{ } \mu\text{g } \text{g}^{-1}$) e daidzeína ($120 \text{ } \mu\text{g } \text{g}^{-1}$) (AISA *et al.*, 2019; DE CAMARGO *et al.*, 2019; RACHWA-ROSIK; NEBESNY; BUDRYN, 2015).

Compostos Antinutricionais

A presença de Compostos Antinutricionais (CA) no pulse, apesar do potencial valor nutritivo e de promoção da saúde, limita o seu valor biológico e seu uso como alimento. Os CA interferem na digestão e também tornam o pulse amargo quando consumido no seu estado cru (JUKANTI *et al.*, 2012).

Podem ser divididos em proteicos e não proteicos. Os CA não proteicos compreendem taninos, fitatos e saponinas. Estes compostos, dependendo da sua estrutura e da temperatura e tempo de processamento, sofrem diferentes graus de redução. Os proteicos compreendem peptídeos antifúngicos, lectinas, inibidores de tripsina, inibidores de α -amilase e inibidores de quimiotripsina. A sua diminuição ou inibição ocorre através da imersão, do cozimento (tendo em conta o seu binómio tempo X temperatura) ou da fermentação, especialmente sob condições ácidas. O cozimento a 120°C por 30 minutos, destrói a sua atividade antitriptica. E a

sua fervura por 10 ou 15 minutos inativa os inibidores da α -amilase e as lectinas, respectivamente (MUSTAFA; REANEY, 2020).

Estes compostos afetam desfavoravelmente determinadas modificações enzimáticas essenciais para a funcionalidade no processamento de alimentos, como a capacidade de retenção de água, a formação de gel e a capacidade de formação de espuma. O fitato pode realizar ligações com diversos cátions divalentes importantes (como, ferro, zinco, cálcio e magnésio) formando complexos insolúveis e tornando-os incapazes para absorção (LUZARDO-OCAMPO *et al.*, 2020). Os taninos inibem as enzimas, diminuindo a digestibilidade e tornando o grão-de-bico adstringente. As saponinas proporcionam um sabor acre, o que faz com que o consumo de pulses sejam menos apetitivos para o consumo humano (GUPTA *et al.*, 2017).

As saponinas são glicosídeos triterpenos e consistem em agliconas não polares unidas a uma ou mais cadeias de sacarose. Possuem um sabor amargo, são compostos surfactantes com propriedades umectantes, emulsificantes e espumantes (AISA *et al.*, 2019; DAMIAN; HUO; SERVENTI, 2018). O teor de saponina no grão-de-bico apresenta um valor de 297 $\mu\text{g g}^{-1}$ (GUPTA *et al.*, 2017). Embora este CA atue como fator limitante no consumo de grão-de-bico, ele pode ser reduzido ou eliminado por imersão, cozimento, fervura e autoclave (LUZARDO-OCAMPO *et al.*, 2020).

Aquafaba

O aproveitamento desta Aquafaba (de acordo com a origem latina de *aqua* = água e *faba* = feijão), comumente descartada, levando em consideração as suas propriedades funcionais em preparações culinárias, foi primeiramente relatado por Joel Roessel em 2014 como um agente espumante para substituir a clara de ovo na confecção de suspiros (BUHL; CHRISTENSEN; HAMMERSHØJ, 2019; MUSTAFA *et al.*, 2018).

Este líquido, de baixo custo econômico, é preparado, por norma, ao colocar o pulse submerso em água por algumas horas ou durante a noite antes do cozimento. Após esse tempo, são cozidos em uma panela sob pressão com água fervente (DAMIAN; HUO; SERVENTI, 2018; STANTIAL *et al.*, 2018).

A composição química do grão-de-bico foi amplamente estudada sob diferentes formas. Os resultados mostraram que os seus constituintes nutricionais diferem grandemente entre genótipo de pulse, condições climáticas de cultivo e métodos de processamento. Por outro lado, não existem informações acerca do grão-de-bico utilizado na obtenção da aquafaba embora a composição tenha sido relatada em diversos estudos. A composição aproximada da aquafaba está apresentada na Tabela 2.

Tabela 2. Composição aproximada de aquafaba líquida (g 100 g⁻¹)

Umidade	Matéria Seca	Cinzas	Proteína	Lipídeos	Carboidratos	Açúcares	Fibra Solúvel	Fibra Insolúvel	Composto Fenólicos Total	Saponinas	Autor
84,87	%	0,44	1,77	ND	2,64	0,84	%	%	8,50 mg (AA)/g	%	RAIKOS <i>et al.</i> , 2020
%	7,89	%	1,4	%	%	%	%	%	%	%	BUHL <i>et al.</i> , 2019
%	%	%	%	%	%	%	%	%	0,6 mg/g	12 mg/g	DAMIAN <i>et al.</i> , 2018
%	%	0,5	1,5	ND	%	%	%	%	%	%	MUSTAFA <i>et al.</i> , 2018
84,12	%	%	2,42	%	%	%	%	%	%	%	SHIM <i>et al.</i> , 2018
84,87	14	0,57	0,95	ND	%	1,20	0,08	2,87	%	4,5 mg/g	STANTIAL <i>et al.</i> , 2017

*Dados não levantados pelo estudo
ND, Não Detectado

A aquafaba líquida apresenta um teor elevado de umidade (94 g 100 g⁻¹). A sua matéria seca (8-13 g 100 g⁻¹) consiste principalmente de fibras solúveis e insolúveis (0,04 e 2,4 g 100 g⁻¹, respetivamente), cinzas (0,5 g 100 g⁻¹), proteína (1,0-2,4 g 100 g⁻¹), carboidrato (2,64 g 100 g⁻¹), açúcar (0,6-1,2 g 100 g⁻¹). Foi verificada a perda de compostos fenólicos (0,6 mg g⁻¹) e de saponinas (4,5-12 mg g⁻¹) do pulse para a aquafaba. Este valor demonstra uma perda de 44-52% após a ebulição da água, o que não indica uma dimensão de perda proporcional à quantidade presente no pulse. Lipídeos não foram detetados nas análises realizadas (STANTIAL *et al.*, 2017; DAMIAN; HUO; SERVENTI, 2018; MUSTAFA *et al.*, 2018; SHIM *et al.*, 2018; BUHL; CHRISTENSEN; HAMMERSHØJ, 2019; RAIKOS; HAYES; NI, 2020).

Análises físico-químicas realizadas na matéria seca da aquafaba revelam que a mesma consiste principalmente de carboidratos em forma de açúcares, fibras solúveis e insolúveis, proteínas pertencentes ao grupo das albuminas e cinzas. Após imersão e cozimento do grão-de-bico, é possível verificar uma distinta diminuição dos carboidratos, proteínas e cinzas neste pulse. Esta redução ocorre devido à lixiviação dos nutrientes do grão-de-bico para a água de cozimento, devido à elevada temperatura, principalmente pela degradação do revestimento do pulse (MUSTAFA; REANEY, 2020; STANTIAL *et al.*, 2017).

Minerais como cobre, potássio e manganês apresentaram valores elevados na aquafaba, representando até cerca de 10% da ingestão diária recomendada. Segundo Damian *et al.* (2018), os minerais com valor mais elevado foram Potássio (193 mg/100g), Fósforo (33 mg 100g), Enxofre (21 mg/100g), Magnésio (18 mg/100g), Cálcio (6,2 mg/100g) e Sódio (4,6 mg/100g). O cálcio no grão-de-bico, encontra-se sobretudo no seu revestimento, por este motivo foram lixiviados na água de cozimento a uma taxa mais alta, pois os outros minerais estão armazenados em maiores quantidades na sua semente.

Os variados níveis de saponinas, carboidratos e proteínas de baixo peso molecular, como a albumina, podem conceder habilidades emulsificantes e de formação de espuma, além de apresentar grande tolerância em amplas faixas de pH e temperatura. Por este motivo

é um excelente candidato para a substituição do ovo em inúmeras preparações culinárias (MEURER; DE SOUZA; MARCZAK, 2020; MUSTAFA *et al.*, 2018; STANTIAL *et al.*, 2018).

Propriedades Funcionais da Aquafaba

O foco sobre a aquafaba tem vindo a aumentar devido à procura pela parte da comunidade vegana e das indústrias alimentícias por um ingrediente de origem vegetal com propriedades de formação de espuma, gel, espessamento e emulsificação. A aquafaba possui uma estrutura e concentração dos componentes (saponinas, carboidratos e proteínas de baixo peso molecular, como a albumina) que determinam a sua funcionalidade. Essa propriedade também depende de condições de processamento (temperatura, pressão, pH e força iônica) e do tamanho das suas partículas. Por este motivo é um excelente candidato para a substituição de ovo em inúmeras preparações culinárias (MUSTAFA *et al.*, 2018; STANTIAL *et al.*, 2018; MEURER; DE SOUZA; MARCZAK, 2020).

A aquafaba contém polissacarídeos hidrofílicos solúveis e substâncias pécticas, que permitem uma alta Capacidade de Retenção de Água (CRA), pois a água pode ser arrastada por polissacarídeos ou associada a proteínas e polissacarídeos por meio de ligações de hidrogénio. A CRA é determinada por várias propriedades funcionais como emulsificação, viscosidade, gelificação e espessamento. Por esse motivo, a CRA influencia diversas características de qualidade (textura, cor e propriedades sensoriais dentre outras) dos produtos alimentares (ASHAOLU, 2020; MUSTAFA; REANEY, 2020). Segundo Damian *et al.* (2018) a aquafaba apresenta uma CRA de 1,46 g g⁻¹.

Por outro lado, a Capacidade de Absorção de Óleo (CRO) corresponde à capacidade de absorver ou reter óleo devido ao aprisionamento físico por grupos não polares ou hidrofóbicos de proteínas e polissacarídeos. A CRO afeta as propriedades de emulsificação, o prazo de validade e a aceitação de um produto pelo consumidor (sensação na boca, textura e retenção de sabor) (ASHAOLU, 2020; MUSTAFA; REANEY, 2020). Segundo Damian *et al.* (2018) a aquafaba possui uma CRO de 3,22 g/g.

Emulsão

A realização de emulsificação ocorre através da ligação de água, óleo, um surfactante apropriado e, em geral, energia mecânica durante o processo de agitação. As emulsões são termodinamicamente instáveis e estão sujeitas a desestabilização que se manifesta por floculação, coalescência, formação de creme ou sedimentação. O surfactante ou agitação mecânica permitem que ocorra uma redução da tensão interfacial levando a uma maior estabilização (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2017; ZHANG *et al.*, 2019).

A emulsificação ocorre na aquafaba devido à sua constituição em proteína, oligossacarídeo, polissacarídeo solúvel, compostos fenólicos e saponinas por meio de suas propriedades interfaciais e espessantes. As proteínas demonstram aptidão em diminuir a tensão interfacial entre as fases óleo-água e aumentam o índice de atividade emulsificante. Estas aptidões estão relacionadas aos seus valores de hidrofobicidade de superfície. A desnaturação da proteína da aquafaba através da ebulição da água de cozimento expõe os seus locais hidrofóbicos aos meios em que se encontra, aumentando a sua afinidade a óleo. Também as fibras presentes na aquafaba, na sua maioria insolúveis, exibem capacidade de absorção de óleo (GHRIBI *et al.*, 2015; DAMIAN *et al.*, 2018).

Na aquafaba as propriedades de emulsão e solubilidade são alteradas devido à ligação de compostos fenólicos a proteínas e polissacarídeos. Ademais, as saponinas são compostos de superfície ativa e anfipáticos que desempenham estabilidade nas emulsões à base de aquafaba, mesmo em temperatura de ebulição. O que faz destes compostos excelentes surfactantes (MUSTAFA; REANEY, 2020; DAMIAN *et al.*, 2018). A capacidade de emulsão da aquafaba está representada na Tabela 3.

Tabela 3. Emulsão da aquafaba

Emulsão Capacidade Índice (m ² /g)	Emulsão Habilidade (%)	Emulsão Estabilidade (%)	Autor
1,1 – 1,3	~	71,9 – 77,1	HE <i>et al.</i> 2019
38,6	54,2	~	DAMIAN <i>et al.</i> 2018
~	~	60 – 80	MUSTAFA <i>et al.</i> 2020

~Dados não verificados pelo autor

É possível verificar que a sua capacidade de emulsão obteve valores entre 1,1 e 38,6 m² g⁻¹. A habilidade de emulsão foi de 54,2%. A estabilidade de emulsão permite que a mesma resista a alterações na sua estrutura ao longo do tempo. A aquafaba demonstrou possuir entre 60 e 80% de estabilidade de emulsão. Esta ampla variação nas propriedades da emulsão da aquafaba foi atribuído a diferenças em cultivares de grão-de-bico, composição da aquafaba e condições de conservação do produto (MUSTAFA; REANEY, 2020).

Espuma

As espumas são sistemas de duas fases, onde uma consiste em uma fase dispersa de ar e a outra uma fase contínua que, nas preparações alimentares, é por norma uma fase aquosa do tipo líquido. A formação de espuma sucede quando as bolhas de ar são capturadas por um surfactante em uma fase líquida (ELLIS; LAZIDIS, 2018; TOEWS; WANG, 2013; FOEGEDING; LUCK; DAVIS, 2006).

Existem diversos fatores pelos quais a espuma pode ser desestabilizada. São eles tensão superficial, elasticidade superficial, viscosidade superficial e pressão de separação. Um agente

espumante permite que a espuma seja formada e estabilizada, quando presente em baixa concentração em solução (MUSTAFA; REANEY, 2020).

As proteínas são um componente importante da formação de espuma, pois são anfifílicas, consistindo em uma extremidade hidrófila e uma extremidade hidrofóbica atraída para a fase aérea. A elevada quantidade de albumina presente na clara de ovo permite a capacidade de formação e estabilização de espuma, desta forma as albuminas presentes na aquafaba podem ter grande importância para a sua produção de espuma. Pois essas proteínas são altamente solúveis permitem uma formação de espuma estável porque migram rapidamente para a interface para acomodar alterações na conformação e também reduzem eficazmente a tensão interfacial (BUHL; CHRISTENSEN; HAMMERSHØJ, 2019; SHEVKANI *et al.*, 2019).

A capacidade da aquafaba produzir espumas estáveis tem sido atribuída à sua composição em carboidratos solúveis em água (incluindo fibras), proteínas e saponinas. A sua capacidade de formação de espuma parece ser, particularmente, atribuída à quantidade da presença de proteínas, embora as saponinas também desempenham um papel crucial (ELLIS; LAZIDIS, 2018). Os valores de espuma formada por aquafaba encontram-se na Tabela 4.

Tabela 4. Espuma na aquafaba

Espuma Capacidade (%)	Espuma Estabilidade (%)	Autor
122 - 678	77 - 92	MUSTAFA <i>et al.</i> 2018
362,8	82,2	SHIM <i>et al.</i> 2008
88	*	STANTIAL <i>et al.</i> 2017

*Dados não verificados pelo autor

Foi verificado que a espuma resultante da aquafaba apresentou uma capacidade com valores entre 58 e 362,5% e que a estabilidade foi entre 77 e 92%. O aumento da capacidade de formação de espuma deve-se à natureza anfifílica das saponinas, que são surfactantes não-iônicos (MUSTAFA; REANEY, 2020).

Outro fator significativo que contribui para a capacidade de formação de espuma na aquafaba é a ausência de amido e gordura, pois os lipídios, quando estão presentes em concentrações superiores a 0,5%, diminuem drasticamente as propriedades de formação de espuma das proteínas devido a uma adsorção rápida na interface ar-água, inibindo a adesão das proteínas durante a formação de espuma (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2017; MUSTAFA; REANEY, 2020).

As proteínas presentes na aquafaba demonstraram resistência a mudanças em ambientes químicos diversos, pois a capacidade de formação de espuma da aquafaba não apresentou alterações quando de alteração nos níveis de pH e nem por alterações no conteúdo de cloreto de sódio (BUHL; CHRISTENSEN; HAMMERSHØJ, 2019; MUSTAFA *et al.*, 2018; STANTIAL *et al.*, 2018).

Aplicação Alimentícia

Aquafaba tem demonstrado ser um ingrediente com propriedades funcionais de formação de espuma e emulsão que pode servir para substituir leite e ovos em diversos produtos alimentícios (LAFARGA *et al.* 2019; DAMIAN *et al.* 2018). Tendo em conta essas propriedades existem no mercado alimentar, diversos produtos veganos que são comercializados nos Estados Unidos da América, como, por exemplo, maionese *Fabanaise* é produzida pela empresa *Sir Kensington's* e apresenta três variedades de sabor como clássico, abacate e chipotle, molhos *tzatziki*, ranch, queijo, *smoked spices* são vendidos pela empresa *Faballsh*, a manteiga *Fababutter* foi criada pela empresa *Fora*. Outros produtos como aquafaba *in natura* são vendidos pelas empresas *Haden's* e *Oggs*. A empresa *VOR* vende aquafaba desidratada e merengue em pó de aquafaba.

Para verificação da utilização da aquafaba em diversas formulações alimentícias foram realizados estudos. Como tal foram investigadas as propriedades funcionais da aquafaba de ervilha amarela, lentilha verde, grão-de-bico e feijão branco. O teor de umidade foi menor para todos os merengues de leguminosas quando comparado a clara de ovo, aproximadamente 5 e 10 g 100 g⁻¹, respetivamente. Estes resultados foram devido ao seu menor teor de matéria seca em comparação com a clara de ovo (STANTIAL *et al.* 2018). A maioria dos merengues de leguminosas foram caracterizados por um maior volume específico de 12 mL g⁻¹ para aquafaba dos pulses e de 6,1 mL g⁻¹ para a clara de ovo. A água de cozimento dos pulses demonstrou menor densidade em relação a clara de ovo, 1,017-1,025 e 1,040 g mL⁻¹, respetivamente, levando-as ao desenvolvimento de estruturas maiores e mais leves. Esta hipótese foi confirmada por análise de textura. A dureza do merengue era comparável à clara de ovo para a aquafaba de grão-de-bico e lentilha (STANTIAL *et al.* 2018).

Todas as amostras de aquafaba mostraram capacidade de espuma, sendo a capacidade de gelificação maior para a água do grão-de-bico. Também foi realizada a análise sensorial, onde foi verificado que ocorreu baixa aceitação a água de cozimento de feijão e lentilha, enquanto alta aceitação foi observada para merengues feitos com água de grão-de-bico e ervilha (STANTIAL *et al.*, 2018).

Lafarga *et al.* (2019) otimizaram o pH e o processo de ebulição de forma a melhorar as limitações visuais e de textura da aquafaba do grão-de-bico. Em termos de fervura, a proporção de grão-de-bico cru para água variou de 1:1,5 a 1:50. Após a obtenção da água de cozimento, o pH foi ajustado com suco de limão, variando de 3,5 a 6,5. No estudo de Stantial *et al.* (2018) foi utilizada uma proporção de 1:1,75 e apresentou um pH de 6,3.

Os autores identificaram as condições ideais para as propriedades de espuma e emulsão em uma proporção de cozimento de 1: 1,50 grão-de-bico: água e pH da água de cozimento de 3,5. Estas alterações resultaram em merengues com uma avaliação sensorial superior

(7,7 de aquafaba e 7,6 de clara de ovo) e aceitação de textura de 8,0 para a aquafaba e 7,5 de clara de ovo. Os resultados obtidos foram atribuídos às alterações realizadas levando a propriedades aprimoradas de formação de espuma e emulsificação da água de cozimento do grão-de-bico (LAFARGA *et al.* 2019).

No estudo de Meurer *et al.* (2020) foram realizados merengues com aquafaba de grão-de-bico. Os merengues de aquafaba demonstraram ser mais macios do que os realizados com clara de ovo. As proteínas de pulse não possuem a mesma capacidade de gelificação da clara de ovo devido a um menor teor de albumina, resultando em menor gelificação e alta solubilidade de proteína.

As proteínas lixiviadas do grão-de-bico para a água de cozimento são grandemente solúveis e são maioritariamente constituídas por globulinas em vez de albuminas, como na clara de ovo. A água de cozimento de pulsos são soluções de água de baixa concentração (3–5% de matéria seca) (STANTIALL *et al.* 2018), portanto, o aquecimento em solvente diluído não alterou a conformação das proteínas de pulse. Essa hipótese foi confirmada pelo estudo de Meurer *et al.* (2020) demonstrando um valor de solubilidade de 863 $\mu\text{g mL}^{-1}$ para o aquafaba, sendo o mesmo da proteína total (86,3%). A utilização de ultrassom na aquafaba aumentou a qualidade dos merengues tendo em conta a sua cor e textura, revelando semelhanças aos de clara de ovo. A solubilidade da proteína não foi afetada mas as habilidades de formação de espuma e emulsificação foram. Desta forma, o ultrassom altera a estrutura das proteínas da aquafaba, ampliando as interações hidrofóbicas sem alterar a solubilidade.

Mustafa *et al.* (2018) efetuaram a substituição da clara de ovo por aquafaba de grão-de-bico em bolos com farinha de trigo. A aparência visual da massa do bolo de aquafaba apresentava-se granular e irregular. Tendo em conta a sua composição é possível que alguns componentes, como por exemplo, fibras insolúveis, não se misturassem homogeneamente com os demais ingredientes da massa. A massa do bolo também apresentou um pequeno abaixamento no centro e sem divisão entre miolo e crosta, indicando menor estabilidade estrutural.

Em termos de qualidade do bolo, a cor da crosta foi ligeiramente mais escura devido ao maior grau de caramelização, atribuído ao maior teor de polissacarídeos existentes na aquafaba do que na clara do ovo. Ao contrário, a cor do miolo não sofreu alterações. Devido a uma menor capacidade de gelificação por parte da proteína da aquafaba foi desenvolvida uma migalha menos mastigável e menos elástica. Como conclusão, os autores afirmaram que a aquafaba tem potencial para substituir a clara de ovo em receitas de bolo devido à sua capacidade de emulsificação e formação de espuma, apresentando propriedades tecnológicas semelhantes. (MUSTAFA *et al.*, 2018).

Lafarga *et al.* (2019) utilizaram a aquafaba de grão-de-bico para substituir o ovo na maionese à base de óleo de girassol. As análises de cor revelaram uma cor mais escura para o produto com aquafaba e uma aceitabilidade de 80% em relação a 92% para o ovo. Esse resultado foi impulsionado principalmente pela aparência, enquanto a diferença textural não foi significativa. A densidade dos dois produtos de maionese não variou significativamente. Devido à sua constituição em carboidratos complexos, a aquafaba pode aumentar a sua densidade na emulsão.

A viscosidade da maionese de aquafaba é um pouco menor quando comparada a maionese de ovo, mas não de forma significativa. Em geral, os resultados de cor e textura demonstram apenas pequenas diferenças de cor e perda de viscosidade da maionese de aquafaba (LAFARGA *et al.*, 2019).

No estudo de Raikos *et al.* (2020) a aquafaba foi utilizada como substituto do ovo no desenvolvimento de maionese vegana. Dados microestruturais e de espalhamento de luz indicaram que a aquafaba pode ser utilizada para a formação de emulsão fina com estabilidade de 21 dias sob refrigeração. A quantidade de aquafaba para óleo obteve um impacto mínimo na cor, nenhum efeito significativo na estabilidade físico-química durante a refrigeração e afetou as propriedades texturais.

Em relação à textura, o aumento da proporção de óleo para aquafaba resultou em aumentos significativos na dureza, adesividade e força adesiva. O aumento observado em parâmetros texturais (viscosidade) é devido ao maior teor de óleo, pois maior o número de gotas formada. O aumento da aquafaba em níveis acima de 15% não obteve efeito benéfico na estabilidade a longo prazo ou nas propriedades antioxidantes (RAIKOS; HAYES; NI, 2020).

Damian *et al.* (2018) testaram a água de cozimento de grão-de-bico, feijão branco, ervilha amarela e lentilha verde em uma receita de mousse de creme simples com açúcar e creme de leite e realizaram a comparação das suas habilidades emulsificantes e espumantes com a clara de ovo. Todas as receitas de mousse foram classificadas como muito altas para aceitação geral, variando de 6,5 e 6,9 de ervilhas e grão-de-bico, respectivamente e 7,5 para a clara de ovo. A aparência, tendo em conta a cor e brilho, não foi afetada pelo uso de aquafaba.

A água de cozimento do grão-de-bico e ervilha apresentaram níveis moderados de compostos fenólicos (aproximadamente $0,6 \text{ mg g}^{-1}$). O aroma não foi afetado pela mudança no agente espumante, sendo estável em classificações de 6,5 de aceitação. Foi demonstrado que em altos níveis de aeração (80%), a qualidade sensorial das espumas é determinada pelas características de suas bolhas de ar. A água de cozimento neste estudo apresentou capacidade de espumante de 58% e 95% (grão de bico e ervilha, respectivamente), o que pode aumentar significativamente o nível de aeração da mousse. A doçura e o sabor

mutaram nas formulações testadas, sendo que a doçura diminuiu de 7,2 de clara de ovo para cerca de 6 da mousse de aquafaba (DAMIAN *et al.*, 2018).

A água de cozimento do grão-de-bico e ervilha continha altos níveis de saponinas: 12 e 9,8 mg g⁻¹, respectivamente. As saponinas são conhecidas por conferir sabor amargo aos alimentos. O que pode representar um desafio para aplicação em produtos alimentícios doces. Nenhuma mudança significativa foi observada para a nível de suavidade das mousses. As habilidades de gelificação da água de cozimento do grão-de-bico e ervilhas amarelas partidas foram comparáveis às da clara de ovo, enquanto as habilidades espumantes foram bem menores (58% e 93% vs. 400%, respectivamente), afetando consequentemente a suavidade da mousse, mas abaixo dos níveis de percepção (DAMIAN *et al.*, 2018).

No estudo de Bird *et al.* (2017) foi efetuada uma formulação de pão sem glúten com farinha de arroz e amido de milho, onde a água foi substituída por água de cozimento de grão-de-bico. A textura apresentou mais maciez na migalha proveniente do pão realizado com aquafaba, o que levou a uma redução da dureza em 30%, o que é uma melhoria significativa para o pão sem glúten, considerando que este tipo de produto é, na maioria das vezes, muito duro (STANTIAL *et al.*, 2018; SERVENTI *et al.*, 2018).

O pão sem glúten, no teste controle apresentou orifícios profundos, o que levou a que o gás produzido pela fermentação desaparecesse durante o cozimento, resultando em textura dura. Ao contrário, o pão sem glúten feito com a aquafaba apresentou orifícios menos profundos com superfície lisa. Esta estrutura pode ser o resultado de propriedades hidrocolóides das fibras e proteínas, o que leva a uma maior retenção de gás levando a textura mais macia (BIRD *et al.*, 2017). O resultado demonstrado projetam a água de cozimento de pulseiras como substitutos de ovos e hidrocolóides a preços acessíveis e sustentáveis para diversas aplicações em alimentos (SERVENTI *et al.*, 2020).

A aquafaba produziu os melhores resultados em termos de estrutura e perfil sensorial. Desafios menores foram identificados, principalmente lidando com mastigabilidade inferior e diferenças de cor. Esse problema foi atribuído à proteína estável ao aquecimento encontrado no ingrediente, que, portanto, desenvolve géis mais fracos do que a proteína do ovo sob aquecimento. Consequentemente, a otimização das condições de cozimento foi proposta. Além disso, o tratamento com ultrassom e a diminuição do pH da aquafaba têm sido propostos para melhorar as habilidades de emulsificação, formação de espuma e gelificação. A cor pode ser tratada com corantes, enquanto a viscosidade pode ser otimizada com o uso da versão em pó desse ingrediente líquido, permitindo a escolha da concentração desejada (SERVENTI *et al.*, 2020).

Por estes motivos a aquafaba é um resíduo subutilizado que pode ter diversas aplicações na indústria de alimentos, devido às suas propriedades nutricionais, funcionais e relacionadas à saúde (RAIKOS; HAYES; NI, 2020).

CONCLUSÃO

Considerando a constituição nutricional do grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.), tem sido muito procurado como fonte alternativa de proteínas. Este pulse, além das propriedades nutricionais, possui também características funcionais. Esse tipo de atributos é encontrado também na água de cozimento do grão-de-bico, denominada aquafaba, que por norma é descartada.

Foi observado que o efeito no processamento das propriedades funcionais, da aquafaba, é escassa, até o momento. Mais estudos devem ser realizados para verificar de que forma pode ocorrer maior diversidade das suas aplicações em indústrias alimentícias, devido ser uma alternativa de baixo custo, mesmo sem qualquer tipo de tratamento adicional. Com a aquafaba é possível ter uma opção de ingrediente de origem vegetal, sustentável, de baixo custo e de fácil acesso.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer ao apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pela concessão de bolsa pelo programa de demanda social para o Mestrado em Nutrição na Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, através da qual o presente trabalho foi realizado.

REFERÊNCIAS

1. AGUILAR-RAYMUNDO, V. G.; VÉLEZ-RUIZ, J. F. Propiedades nutricionales y funcionales del garbanzo (*Cicer arietinum* L.). *Temas selectos de Ingeniería de Alimentos*, v. 7, n. 2, p. 25-34, 2018.
2. AGUILERA, Y., BENÍTEZ, V., MOLLÀ, E., ESTEBAN, R. M., & MARTÍN-CABREJAS, M. A. Influence of dehydration process in castellano chickpea: changes in bioactive carbohydrates and functional properties. *Plant foods for human nutrition*, v. 66, n. 4, p. 391-400, 2011.
3. AISA, H. A., GAO, Y., YILI, A., MA, Q., & CHENG, Z. Beneficial role of chickpea (*Cicer arietinum* L.) functional factors in the intervention of metabolic syndrome and diabetes mellitus. In: *Bioactive Food as Dietary Interventions for Diabetes*. Academic Press, p. 615-627, 2019.
4. ARTIAGA, O. P., SPEHAR, C. R., BOITEUX, L. B., & NASCIMENTO, W. M. Avaliação de genótipos de grão de bico em cultivo de sequeiro nas condições de Cerrado. *Brazilian Journal of Agricultural Sciences/Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 10, n. 1, 2015.