

Efeito da concentração de hidocoloides nos compostos bioativos, bioacessibilidade e textura instrumental de goiaba (*Psidium guajava* L.) estruturada

Effect of hydrocolloid concentration on bioactive compounds, bioaccessibility and instrumental texture of guava (*Psidium guajava* L.)

Efecto de la concentración de hidocoloides sobre compuestos bioactivos, bioaccesibilidad y textura instrumental de guayaba (*Psidium guajava* L.) estruturada

Recebido: 26/03/2020 | Revisado: 28/03/2020 | Aceito: 28/03/2020 | Publicado: 29/03/2020

Juliana Nascimento da Costa

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3250-8592>

Universidade Federal do Ceará, Brasil.

E-mail: julianacosta31@gmail.com

Luis Gustavo Lima Nascimento

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8114-0774>

Universidade Federal de Viçosa, Brasil.

E-mail: phi.gustavo@gmail.com

Amanda Rodrigues Leal

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1737-3017>

Universidade Federal do Ceará, Brasil.

E-mail: amanda.lleal@hotmail.com

Paulina Mata

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3271-7693>

Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Portugal.

E-mail: mpm@fct.unl.pt

Carlos Artur Nascimento Alves

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2357-853X>

Universidade Federal do Ceará, Brasil.

Antônio Augusto Lima de Araújo Filho

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2597-025X>

Universidade Federal do Ceará, Brasil.

E-mail: augusto.filhoo@hotmail.com

Paulo Henrique Machado de Sousa

Resumo

A indústria de alimentos busca inovações que possam favorecer o aproveitamento e o aumento do nicho de mercado para alimentos como as polpas de frutas. Os agentes de gelificação podem ser utilizados no desenvolvimento de novos produtos alimentares com uma ampla variedade de texturas, como as frutas estruturadas. O objetivo deste estudo foi avaliar o impacto dos hidrocoloides ágar e goma gelana de baixa acilação sobre os compostos bioativos, atividade antioxidante, antes e após digestão *in vitro*, e perfil de textura de goiaba estruturada. Foram elaboradas formulações com os hidrocoloides ágar e goma gelana, nas concentrações 0,25, 0,50, 0,75 e 1% (p/p). Foram realizadas análises antes e após a digestão *in vitro* para o teor de ácido ascórbico determinado pelo método titulométrico; Conteúdo Fenólico Total (CFT) através do reagente de Folin-Ciocalteu e capacidade antioxidante pelo método ABTS. A bioacessibilidade *in vitro* foi executada com pepsina solubilizada em HCl 0,1 mol L⁻¹ durante a fase gástrica e sais de bile-pancreatina, solubilizada com NaHCO₃ 0,1 mol L⁻¹ na fase intestinal. Os valores de dureza e adesividade aumentaram conforme houve aumento da concentração dos hidrocoloides. Além disso, estes hidrocoloides, principalmente a goma gelana, proporcionaram valores elevados de bioacessibilidade de vitamina C, polifenóis e atividade antioxidante. Portanto, as goiabas estruturadas apresentam características químicas interessantes, com perfil semelhante à polpa *in natura*. Além do mais, os resultados indicaram que os tipos e concentração de hidrocoloide influenciaram diretamente a bioacessibilidade das amostras estudadas.

Palavras-chave: Digestão gastrointestinal *in vitro*; Fruta estruturada; Goma gelana; Ágar.

Abstract

The food industry looks for innovations that can favor the use and increase of the fruit pulp market. Gelling agents can be used in the development of novel food products with a wide variety of textures, such as structured fruits. The objective of this study was to develop structured guava bars using agar and gellan gum as gelling agents and evaluate the impact of these hydrocolloids on bioactive compounds and antioxidant activity, before and after gastrointestinal *in vitro* digestion, as well as evaluate the texture profile of the structure guava bars. Formulations were prepared with agar and gellan gum hydrocolloids at concentrations of 0.25, 0.50, 0.75 and 1% (w / w). Ascorbic acid content determined by titration method, Total Phenolic Content (TPC) assessed by Folin-Ciocalteu reagent

and antioxidant capacity performed using ABTS method were evaluated before and after *in vitro* digestion. *In vitro* bioaccessibility was performed with pepsin solubilized in 0.1 mol L⁻¹ HCl during gastric phase and bile-pancreatin salts, solubilized with 0.1 mol L⁻¹ NaHCO₃ in intestinal phase. The values of hardness and adhesiveness increased as the concentration of hydrocolloids increased. In addition, these hydrocolloids, mainly gellan gum, provided high values of bioaccessibility of vitamin C, polyphenols and antioxidant activity. Therefore, structured guavas bars have chemical characteristics similar to *in natura* guava pulp. Moreover, the results indicated that the types and concentration of hydrocolloid had a direct influence on the bioaccessibility of the studied samples.

Keywords: Gastrointestinal digestion *in vitro*; Structured fruit; Gellan gum; Agar.

Resumen

La industria alimentaria busca innovaciones que puedan favorecer el uso y el aumento del nicho de mercado para alimentos como las pulpas de frutas. Los agentes gelificantes pueden usarse en el desarrollo de nuevos productos alimenticios con una amplia variedad de texturas, como frutas estructuradas. El objetivo de este estudio fue evaluar el impacto del agar hidrocoloide y la goma gellan sobre los compuestos bioactivos, la actividad antioxidante, antes y después de la digestión gastrointestinal *in vitro*, y el perfil estructurado de la textura de la guayaba. Las formulaciones se prepararon con agar hidrocoloides y goma gellan, en concentraciones de 0.25, 0.50, 0.75 y 1% (p / p). Los análisis se realizaron antes y después de la digestión para determinar el contenido de ácido ascórbico determinado por el método titrométrico, Contenido Fenólico Totales (CFT) a través del reactivo Folin-Ciocalteu y la capacidad antioxidante por el método ABTS. La bioaccesibilidad *in vitro* se realizó con pepsina solubilizada en HCl 0.1 mol L⁻¹ durante la fase gástrica y sales de bilis-pancreatina, solubilizada con NaHCO₃ 0.1 mol L⁻¹ en la fase intestinal. Los valores de dureza y adhesión aumentaron a medida que aumentó la concentración de hidrocoloide. Además, estos hidrocoloides, especialmente la goma gellan, proporcionaron altos niveles de bioaccesibilidad para la vitamina C, los polifenoles y la actividad antioxidante. Por lo tanto, las guayabas estructuradas tienen características químicas interesantes, con un perfil similar a la pulpa fresca. Además, los resultados indicaron que los tipos y la concentración de hidrocoloide influyeron directamente en la bioaccesibilidad de las muestras estudiadas.

Palabras clave: Digestión gastrointestinal *in vitro*; Fruto estructurado; Goma gelana; Agar

1. Introdução

Vários estudos demonstraram os benefícios do consumo de frutas para uma dieta saudável. Estas são fontes valiosas de compostos bioativos, especialmente compostos

fenólicos (Káras, et al., 2017). Porém, são altamente perecíveis devido à ação de enzimas e micro-organismos deteriorantes (Jesus, Leite & Cristianini, 2018). Assim, as frutas estruturadas elaboradas a partir de polpa de fruta e hidrocoloides surgem como uma alternativa promissora na elaboração de produtos de frutas, formando um gel com características nutricionais e de textura próximas as da fruta *in natura*, tendendo a uma vida útil prolongada e, conseqüentemente, evitando perdas (Parn, et al., 2015).

Um dos hidrocoloides frequentemente utilizados na indústria de alimentos para formação de géis é a goma gelana, a qual é preparada comercialmente por fermentação microbiana da bactéria *Sphingomonas elodea*. Está comercialmente disponível em duas formas, goma gelana de alta acilação e de baixa acilação (Zia, et al., 2018). Têm sido utilizada em uma ampla variedade de produtos alimentícios, farmacêuticos, cuidados pessoais e higiene bucal, como agente gelificante e texturizante devido à sua pequena dosagem necessária para atingir os efeitos desejados, e por suas propriedades texturais diversificadas em comparação com outros polissacarídeos comuns (Kefeng, et al., 2018).

Outro hidrocoloide bastante utilizado na indústria de alimentos é o ágar, funcionando como agente espessante e gelificante em várias formulações alimentares, principalmente devido à rentabilidade, disponibilidade e à capacidade de formar gel com outros alimentos líquidos quando resfriados (Yarnpakdee, Benjakul & Kingwascharapong, 2015). Forma um gel termo-reversível, sendo uma alternativa mais saudável para agentes gelificantes de maior conteúdo calórico e colesterol, como várias proteínas (Wang, et al., 2014).

A eficácia nutricional dos produtos alimentares pode ser assegurada pela determinação da bioacessibilidade, definida como a quantidade ou fração de um componente que é liberada da matriz dos alimentos no trato gastrointestinal (TGI) e fica disponível para absorção no organismo. Os procedimentos de digestão *in vitro* são geralmente utilizados na avaliação da bioacessibilidade dos compostos alimentares e constituem uma abordagem fácil e rápida (Buniowska, et al., 2017). As recomendações nutricionais são muitas vezes baseadas em ingestões ou concentrações presentes em extratos de material vegetal bruto, sem levar em conta a bioacessibilidade e quaisquer alterações durante a digestão gastrointestinal. Isso pode resultar em superestimação de nutrientes e enfatiza a importância de estimar a bioacessibilidade. Portanto, é importante saber a quantidade de compostos bioativos biodisponíveis presentes no produto alimentar (Low, Arcy & Gidley, 2015). É importante enfatizar que não há relatos na literatura acerca da bioacessibilidade *in vitro* de compostos bioativos de frutas estruturadas de goiaba, caracterizando o teor inédito desse estudo.

Neste estudo objetivou-se avaliar os efeitos entre a concentração de hidrocoloides e a

bioacessibilidade e textura de estruturados de goiaba. Uma gama de concentrações de gomas gelana e ágar foi testada e os seus efeitos na capacidade antioxidante, compostos bioativos e perfil de textura foram determinados.

2. Metodologia

- Tipo de pesquisa, local e obtenção da matéria-prima

O estudo trata-se de uma pesquisa experimental, quantitativa (Pereira, et al., 2018), a qual foi realizada no laboratório de Frutos e Hortaliças da Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Brasil.

Para a fabricação dos estruturados utilizou-se como matérias-primas polpas de goiaba, não pasteurizadas, fornecidas pela indústria processadora Pomar da Polpa, localizada em Fortaleza-CE. Foi preferida polpa industrializada à fruta *in natura*, devido à praticidade e disponibilidade de obter o produto em qualquer época do ano, estas foram mantidas congeladas a -18°C até o momento do processamento. Os hidrocoloides empregados foram a goma gelana de baixa acilação e *Low Acyl* (LA) (Kelcogel® F), fornecidas por CP Kelco, Wilmington, EUA, e o ágar foi obtido pela Sosa®.

- Processamento das goiabas estruturadas

Para a elaboração dos estruturados, pesaram-se os hidrocoloides ágar e goma gelana de acordo com cada concentração (0,25%; 0,50%; 0,75% e 1,0% p/p) e adicionou-se a polpa de goiaba e homogeneizou-se com auxílio de um bastão de vidro. Posteriormente, as formulações foram aquecidas em processador de alimentos Termomix (modelo SPM-018, da marca Yammi), sob uma temperatura de 90 °C durante 60 s, com o objetivo de dissolver completamente o hidrocoloide e garantir a dispersão e hidratação do pó, de acordo com a metodologia descrita por Costa, et al. (2020) com pequenas adaptações.

As misturas obtidas foram colocadas em moldes de silicone retangulares (largura x altura x comprimento= 27 x 10 x 50 mm), onde permaneceram à temperatura ambiente (± 25 °C) durante 30 minutos. Em seguida, foram armazenada em refrigerador (5 °C a 10 °C) por 12 horas para a completa maturação do gel. Ao finalizar o período de maturação, as amostras foram desenformadas e armazenadas em recipientes fechados e cobertos com plástico-filme para evitar contato com o oxigênio do ambiente. As amostras foram elaboradas em três

repetições para utilização nas análises de compostos bioativos, antes e após digestão gastrointestinal *in vitro*; e em 5 repetições para os ensaios de textura, permanecendo armazenadas em refrigeração (5 °C) até o momento das análises.

-Análise do Perfil de Textura (APT)

Foi utilizado um texturômetro modelo TA.XT2i (Stable Micro Systems, Ltd., UK) equipado com uma célula de carga de 50 N, baseado no método usado por Mandala, Palogou & Kostaropoulos (2002). Realizou-se um teste de compressão de duas mordidas, com ciclo de compressão realizado até 60% de deformação da altura original, usando um êmbolo de alumínio com 60 milímetros de diâmetro. Todas as medições foram efetuadas à temperatura ambiente (20 ± 2 °C). Os resultados apresentados são os valores médios de cinco repetições.

-Determinação dos compostos bioativos e atividade antioxidante

- Ácido ascórbico

Determinado por meio do método titulométrico, baseado na redução do indicador 2,6-diclorofenolindofenol pelo ácido ascórbico segundo AOAC (2005), sendo expresso em mg de ácido ascórbico por 100 g de amostra.

- Determinação de Conteúdo Fenólico Total (CFT)

Primeiramente, foram elaborados extratos, preparados de acordo com metodologia descrita por Larrauri Rupérez & Saura-Calixto (1997), com adaptações. Os Conteúdos Fenólicos Totais (CFT) foram determinados por meio do reagente de Folin-Ciocalteu, utilizando uma curva padrão de ácido gálico conforme metodologia descrita por Obanda & Owur (1997) e Larrauri, Rupérez & Saura-Calixto (1997) com adaptações. Em resumo, conforme metodologia descrita por Obanda e Owur (1997), uma alíquota dos extratos (300 µL) foi misturada com 200 µL de água destilada e 500 µL do reagente Folin-Ciocalteu (1:3), em seguida 1,0 mL de Na₂CO₃ (20%) e 1,0 mL de água destilada foram adicionados. A mistura foi então mantida à temperatura ambiente durante 30 min. As leituras das absorbâncias foram realizadas em espectrofotômetro (Micronal, Model B582, São Paulo, Brasil Modelo). Os resultados foram expressos em mg de ácido gálico (AG)/100 g de

amostra.

-Atividade antioxidante total

A atividade antioxidante foi realizada pelo método de captura dos radicais ABTS · + (2,2'-azinobis (3-ethylbenzthiazoline-6-sulfonic acid)), descrito por Re et al. (1999) e adaptado por Rufino et al. (2010). A análise foi realizada utilizando uma amostra de 30 µL do extrato das amostras de frutas estruturadas feitas anteriormente, estas reagiram com 3mL da solução resultante do radical ABTS no escuro. O decréscimo da absorbância a 734 nm foi medido após 6 min, com o auxílio de uma curva padrão entre 500-1500 µM de Trolox. Os resultados foram expressos como µM de capacidade antioxidante equivalente ao Trolox (TEAC) por grama de massa fresca.

- Bioacessibilidade *in vitro*

A simulação da digestão gastrointestinal foi realizada de acordo com a metodologia proposta por Lima et al. (2012) com modificações, consistindo de uma gástrica e intestinal, como descrito em resumo. Fase gástrica: A análise foi executada com enzima pepsina solubilizada em HCl 0,1 mol L⁻¹ durante a fase gástrica e sais de bile-pancreatina, solubilizada com NaHCO₃ 0,1 mol L⁻¹ na fase intestinal, enzimas compradas na Sigma Aldrich, Saint Louis-USA). Pesaram-se 20 g de goiaba estruturada triturada e acrescentaram-se 100 mL de HCl 0,01 mol L⁻¹ e ajustados o pH para 2 com solução de HCl 2 mol L⁻¹. Logo após adicionaram-se 3,2 mL de pepsina (5,6 g de pepsina em 35 mL de HCl 0,1 mol L⁻¹) ao meio, e as amostras foram incubada em banho termostatizado (2 h, 37 ° C). Fase intestinal: Pesou-se 20 g do digerido em triplicata sendo uma delas utilizada para o procedimento de titulação e as outras para a diálise. Para o procedimento de titulação, 5mL de solução de pancreatina e sais de bile (0,2 g de pancreatina e 3,13 g de extrato de bile em 50 mL de NaHCO₃ 0,1 mol L⁻¹) foram adicionados aos digeridos de cada amostra que, em seguida, foram tituladas com solução 0,5 mol L⁻¹ de NaOH até pH 7,5 para simular o valor de pH encontrado no meio intestinal de um indivíduo. Após o ajuste do pH, adicionaram-se as membranas de diálise (33x21mm, molecular weight: 12.00-16.00, porosity 25 Angstroms-INLAB, Brazil), contendo NaHCO₃ 0,1 mol L⁻¹ equivalente a acidez titulável e novamente foram incubada (30 min, 37 ° C). Após isso, adicionaram-se 5,0 mL da solução de pancreatina e sais de bile ao meio e a incubação continuou (2 h, 37 ° C). Ao final dessa etapa, o conteúdo

da membrana foi retirado e as amostras foram armazenadas sob congelamento a 5 °C até o instante das análises. A digestão com líquidos gástricos e intestinais simulados foi realizada em triplicata.

A bioacessibilidade foi determinada como a relação entre a concentração de compostos bioativos (compostos fenólicos e vitamina C e atividade antioxidante) nas frações dialisadas e nas amostras não digeridas, calculadas de acordo com a fórmula proposta por (Briones-Labarca, et al., 2011). Os resultados foram expressos em porcentagem.

$$\% \text{ Bioacessível} = (D/ND) \times 100 \quad (1).$$

Onde:

D= Conteúdo composto dialisável;

ND= Teor de composto da amostra não digerido.

Análise estatística

Todas as análises estatísticas foram realizadas por o XLSTAT software para Windows versão 2019.2 (Adinsoft, Paris, França). A análise de variância (ANOVA) foi aplicada para comparar, seguida do teste de Tukey ao nível de 5% para identificar diferenças significativas entre as amostras.

3. Resultados e Discussão

-- Perfil de Textura

Foi verificado que houve diferença significativa a 5% de significância para os parâmetros dureza e adesividade (Tabela 1).

Tabela 1 – Resultados médios obtidos na Análise do Perfil de Textura (APT) das amostras de goiaba estruturada com goma gelana e ágar nas concentrações 0,25; 0,50; 0,75 e 1,0%

Amostras	Concentração (%)	Dureza (N)	Adesividade (N/s)	Coesividade
Gelana	0,25	0,45 ± 0,05 ^d	42,74 ± 9,010 ^b	0,36 ± 0,01 ^a
	0,50	0,99 ± 0,13 ^{bc}	87,85 ± 6,30 ^a	0,36 ± 0,00 ^a
	0,75	1,38 ± 0,20 ^{ab}	86,10 ± 8,57 ^a	0,47 ± 0,05 ^a
	1	1,50 ± 0,03 ^a	95,58 ± 4,70 ^a	0,36 ± 0,06 ^a
Agar	0,25	0,14 ± 0,02 ^d	17,40 ± 1,91 ^c	0,30 ± 0,06 ^a

0,50	0,55 ± 0,14 ^{cd}	41,05±5,56 ^b	0,32± 0,01 ^a
0,75	0,96 ± 0,07 ^{bc}	49,50±4,84 ^b	0,36± 0,01 ^a
1	1,27 ± 0,08 ^{ab}	66,57± 0,48 ^{ab}	0,30± 0,08 ^a

Médias seguidas por pelo menos uma letra igual na mesma coluna, não diferem significativamente entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de *Tukey*. N: Newton; s: segundos.

Fonte: Elaborada pelos autores (2020).

Constata-se que houve um aumento dos valores médios de dureza a partir do aumento da concentração de hidrocoloide, independente do tipo. A formulação com goma gelana 0,75, 1% e as amostras com ágar 1% obtiveram valores significativamente maiores que os demais. Este fenômeno é explicado devido à concentração de hidrocoloide, que por sua vez influencia na dureza do gel. As amostras gelana 0,25, ágar 0,25 e 0,50%, demonstraram menores valores de dureza. Segundo Banerjee & Bhattacharya (2013), a dureza do gel aumenta à medida que a concentração de hidrocoloide é aumentada.

Observa-se que a concentração do hidrocoloide influenciou nos valores médios da adesividade, porém as amostras com goma gelana obtiveram maiores resultados, destaque para o goma gelana 1% que apresentou valores maiores (95,58 N/s).

Os valores médios para a coesão não apresentaram diferença significativa entre as amostras para os dois tipos de hidrocoloides. Portanto, a concentração e tipo de hidrocoloide não interferem neste parâmetro e que os valores reduzidos mostram que as amostras apresentam uma força estrutural das ligações internas baixa, portanto, o produto se desintegra em fragmento mais fácil durante a deglutição, isto sugere que as goiabas estruturadas podem ser facilmente decomposta em uma grande quantidade de pequenos pedaços (Sharma et al., 2017).

Digestão gastrointestinal *in vitro* (DGI)

-Acido Ascórbico

Os resultados médios de vitamina C antes e após a digestão *in vitro* da polpa e frutas estruturadas de goiaba estão disponíveis na Tabela 2.

Tabela 2 – Média dos teores de vitamina C antes e após a digestão gastrointestinal *in vitro* das amostras de frutas estruturadas e polpa de goiaba

Amostras	Vitamina C mg ác. ascórbico/100 g (Antes da DGI)	Vitamina C mg ác. ascórbico/100 g (Após a DGI)	Bioacessibilidade após a digestão (%)
Polpa	49,10± 5,28	38,82 ± 0,45	79,59 ^{ab}
Gelana (%)	0,25	40,06± 5,37 ^{abA*}	38,51± 1,09 ^{a B}
			97,44 ^{ab}

	0,50	46,11±0,03 ^{aA}	35,57 ±5,94 ^{abB}	77,14 ^{ab}
	0,75	45,20±1,25 ^{aA}	31,44±5,67 ^{abcB*}	69,45 ^{ab}
	1	46,07±0,06 ^{aA}	37,81±0,59 ^{aB}	86,73 ^{ab}
Agar (%)	0,25	33,83 ± 5,34 ^{bcA*}	28,80±0,08 ^{bcB*}	91,12 ^{ab}
	0,50	27,66± 0,10 ^{cA*}	28,26±0,21 ^{bcB*}	102,18 ^a
	0,75	35,33± 2,66 ^{bcA*}	28,02±0,36 ^{bcB*}	79,57 ^{ab}
	1	33,82± 5,41 ^{bcA*}	27,21±0,13 ^{cbB*}	82,00 ^{ab}

^{a, b, c, d} Médias com letras diferentes, na mesma coluna, diferem entre si ao nível de 5% de significância para o teste de *Tukey* ($p < 0,05$); ^{A, B} Médias com letras diferentes, na mesma linha, não diferem entre si ao nível de 5% de significância para o teste de *Tukey* ($p < 0,05$). *Diferença significativa pelo teste de *Dunnnett* em relação à polpa ($p < 0,05$). EAG: Equivalente Ácido gálico. DGI: Digestão gastrointestinal *in vitro*.
 Fonte: Elaborada pelos autores (2020).

Antes da digestão, as amostras com goma gelana apresentaram valores de vitamina C significativamente ($p > 0,05$) iguais aos da polpa e entre os tratamentos com diferentes concentrações de goma gelana (0,25; 0,50; 0,75 e 1,0). O mesmo comportamento ocorreu para os valores médios de vitamina C após a digestão.

Todos os tratamentos com ágar antes da digestão apresentaram diferença significativa a 5% em relação à polpa. Em relação aos tratamentos entre si das amostras de ágar, não houve diferença significativa ($p > 0,05$) para a vitamina C antes e depois da digestão. No entanto, comparando os dois tratamentos (ágar e goma gelana) as amostras com ágar apresentaram valores médios de vitamina C inferiores, antes e após a digestão.

Os elevados valores médios de vitamina C para a goma gelana podem ser justificados devido à formação das moléculas do gel reter a água livre presente na amostra e dessa forma, sem a perda de líquido consequentemente haverá menores perdas de componentes. Podemos observar um aumento dos valores de vitamina C com a concentração de hidrocoloide, no qual podemos sugerir que quanto maior a concentração de hidrocoloide, maior retenção de vitamina C. Uma justificativa para este fenômeno, é a microencapsulação do ácido ascórbico, ocasionada pela goma gelana proporcionando uma maior detecção desses compostos. Segundo Zia et al. (2017), a microencapsulação utilizando a goma gelana pode ser efetuada para reduzir as perdas de componentes durante o processamento e armazenamento de alimentos.

Para os baixos valores para as amostras com ágar, possivelmente, pode ser justificado devido à sinérese de géis, assim ocorrendo perda de nutrientes. Segundo Phillips & Williams (2009), os géis de ágar são formados exclusivamente por ligações de hidrogênio, e uma característica desses géis é a capacidade de eliminar a água contida em seu interior (sinérese). Esse processo de saída de substâncias aquosas é acelerado pela pressão convenientemente aplicada sobre o gel, que, nessas condições, pode ejetar uma grande proporção da água contida nos capilares. E essa perda pode chegar a 95%. Por outro lado, pode-se afirmar que as amostras de goiaba estruturadas de goma gelana e ágar, mesmo após o

processamento apresentaram valores elevados de vitamina C, comparados com a polpa de goiaba. Para a composição de vitamina C após a digestão gastrointestinal *in vitro*, foram encontrados valores médios para goma gelana que variaram de 31,440 a 39,005 mg ácido ascórbico/100g e para as amostras de ágar valores de 27,213 a 28,809 mg ácido ascórbico/100g e para a polpa 38,822 mg ácido.ascórbico/100g. Isso corresponde a uma bioacessibilidade de vitamina C variando de 69,45 a 102,18%, valores bastante elevados.

Conteúdo Fenólico Total (CFT)

Na Tabela 3 podem ser observados os valores médios encontrados para o Conteúdo Fenólico Total (CFT) das frutas estruturadas de goiaba antes e após a digestão gastrointestinal *in vitro* (DGI).

Tabela 3 – Resultados médios do Conteúdo Fenólico Total (CFT) antes e após a digestão gastrointestinal (DGI) *in vitro* de goiaba estruturada

Amostras		CFT mg EAG/100g (Antes da DGI)	CFT mg EAG/100g (Após a DGI)	Bioacessibilidade após a digestão (%)
Polpa		158,55 ± 2,23	45,87± 1,07	28,94 ^b
Gelana (%)	0,25	144,57± 9,03 ^{abA}	44,15±2,09 ^{bcB}	30,57 ^b
	0,50	129,84± 6,82 ^{abA*}	44,11±4,36 ^{bcB}	34,12 ^b
	0,75	123,27± 5,65 ^{abA*}	53,58±4,93 ^{bcB*}	43,49 ^b
	1	114,71±11,39 ^{abA*}	75,30±5,43 ^{ab}	66,32 ^a
Ágar (%)	0,25	130,39±5,66 ^{abA*}	40,79±1,10 ^{c B}	31,34 ^b
	0,50	146,26±6,77 ^{aA}	50,95±8,77 ^{bc B}	35,07 ^b
	0,75	129,04±3,05 ^{abA*}	46,14±8,86 ^{bc B}	35,69 ^b
	1	138,37± 5,07 ^{abA}	56,79±3,23 ^{bb}	41,34 ^b

^{a, b, c} Médias com letras diferentes na mesma coluna diferem entre si ao nível de 5% de significância para o teste de Tukey (p<0,05). ^{A, B} Médias com letras diferentes na mesma linha diferem entre si ao nível de 5% de significância para o teste de Tukey (p<0,05). *Diferença significativa pelo teste de Dunnett em relação à polpa (p<0,05). AG: Ácido gálico; DGI: Digestão gastrointestinal *in vitro*.

Fonte: Elaborada pelos autores (2020).

Para a determinação de Conteúdo Fenólico Total (CFT) após a digestão gastrointestinal *in vitro*, houve diferença significativa (p<0,05). Pode ser verificado que a polpa de goiaba apresentou valores de 158,55mg EAG/100g⁻¹ antes da digestão, e que a maioria das amostras com ágar e goma gelana apresentaram valores inferiores com diferença significativa (p<0,05) em relação a polpa. Observou-se um decréscimo dos valores de polifenóis com o aumento da concentração de goma gelana antes da DGI, destaque para a goma gelana 1% que apresentou menor valor, 114,718mg EAG/100g⁻¹.

Os autores Xu et al. (2019) observaram que a adição de goma gelana em bebidas com a presença de vitamina C, influenciou na preservação de antocianinas (compostos fenólicos) presentes,

porém a medida que aumentou a concentração de goma gelana (0,25-0,30%), os valores de antocianinas foram reduzidos. Segundo os mesmos autores, as moléculas de goma gelana exibiram uma conformação mais compacta, reduzindo assim as suas interações com as antocianinas.

A observação da Tabela 3 permite verificar a existência de um decréscimo dos CFT após a digestão gastrointestinal para todas as amostras avaliadas ($p < 0,05$). A porcentagem dos valores bioacessíveis de polifenóis encontradas após a digestão gastrointestinal *in vitro* para a polpa e as goiabas estruturadas variaram de 28,94 a 66,32 %. Segundo Lima et al. (2014), as estruturas polifenólicas que apresentam uma elevada atividade antioxidante *in vitro*, não necessariamente terão esta mesma atividade após a ação das enzimas gastrointestinais durante a digestão. É sugerido que o tratamento térmico aplicado durante o processamento pode ter gerado mudanças estruturais que influenciaram na redução da bioacessibilidade dos compostos fenólicos. Ou ainda que a presença de algumas macromoléculas tais como fibras dietéticas, hidrocoloides poderiam interagir com as biomoléculas e reduzia sua liberação para o meio digestivo (Mosele, et al., 2016). Segundo Lucas-Gonzales et al. (2016), os compostos fenólicos podem se ligar a proteínas ou fibras na matriz através de ligações de hidrogênio, ligações covalentes ou interações hidrofóbicas. As alterações que ocorrem durante a exposição às condições gástricas e intestinais (pH e enzimas) podem aumentar ou diminuir a solubilidade destes compostos, impactando assim a sua bioacessibilidade.

Dessa forma, acredita-se que antes da digestão os géis de goma gelana aprisionaram os compostos fenólicos em sua estrutura, ocorrendo com maior intensidade à medida que a concentração da goma foi aumentada, protegendo esses compostos da degradação durante processamento do produto. Porém, após a digestão, com a oscilação de pH e ação das enzimas, a estrutura do gel liberou esses compostos, aumentando sua extração durante os ensaios.

Na fase após a digestão gastrointestinal *in vitro*, o aumento da concentração de ágar também proporcionou um acréscimo significativo do conteúdo de compostos fenólicos, provavelmente, pelo mesmo motivo da goma gelana, quanto maior a concentração de hidrocoloide, maior o aprisionamento dos compostos fenólicos antes da digestão e, conseqüentemente, menor sua degradação durante o processamento do alimento, sendo os compostos liberados após a digestão.

-Atividade antioxidante total

Os resultados médios obtidos para as análises de atividade antioxidante total de polpa e estruturados de goiaba e a influência de digestão gastrointestinal sobre a atividade de eliminação de radicais livres estão exibidos na Tabela 4.

Tabela 4 – Resultados médios da atividade antioxidante total das frutas estruturadas de goiaba obtidos através do método ABTS

Amostras		ABTS μ MTrolox/g de amostra (Antes da DGI)	ABTS μ MTrolox/g de amostra (Após a DGI)	Bioacessibilidade após a digestão (%)
Polpa		6,52 \pm 1,28	1,31 \pm 0,16	20,42 ^b
Gelana (%)	0,25	6,63 \pm 0,52 ^{aA}	1,49 \pm 0,41 ^{abB}	22,34 ^b
	0,50	6,66 \pm 0,27 ^{aA}	1,69 \pm 0,63 ^{abB}	25,65 ^b
	0,75	5,92 \pm 0,08 ^{abA}	1,67 \pm 0,06 ^{abB}	19,82 ^b
	1	2,90 \pm 0,08 ^{ca*}	1,65 \pm 0,04 ^{abB}	57,10 ^a
Ágar (%)	0,25	5,72 \pm 0,39 ^{abA}	1,10 \pm 0,03 ^{abB}	19,37 ^b
	0,50	5,91 \pm 0,10 ^{abA}	0,84 \pm 0,02 ^{bB}	29,06 ^b
	0,75	5,88 \pm 0,10 ^{abA}	1,11 \pm 0,19 ^{abB}	18,93 ^b
	1	4,74 \pm 1,54 ^{bA}	1,51 \pm 0,10 ^{abB}	28,27 ^b

^{a, b, c} Médias com letras diferentes na mesma coluna diferem entre si ao nível de 5% de significância para o teste de Tukey ($p < 0,05$). ^{A, B} Médias com letras diferentes na mesma linha diferem entre si ao nível de 5% de significância para o teste de Tukey ($p < 0,05$). *Diferença significativa pelo teste de Dunnett em relação à polpa ($p < 0,05$). ABTS: azinobis (3-etilbenzotiazolona-6-ácido sulfônico). DGI: Digestão gastrointestinal *in vitro*.
 Fonte: Elaborada pelos autores (2020).

Através dos resultados de antes da digestão gastrointestinal *in vitro*, verifica-se valor médio de 6,52 μ MTrolox/g para a amostra de polpa de goiaba e que as formulações de goiaba estruturada com a presença de goma gelana apresentaram valores próximos aos da polpa fresca ($p > 0,05$), exceto a formulação 1%. As amostras de goma gelana 0,25; 0,5 e 0,75%, antes da digestão, não diferiram estatisticamente entre si ($p > 0,05$), no entanto, diferiram da amostra goma gelana 1%, a qual apresentou valor de atividade antioxidante de 2,90 μ MTrolox/g. Este valor inferior pode ser justificado devido à maior concentração de goma gelana (1%), que ocasionou a formação de géis mais duros, com cadeias mais compactas e fechadas, possivelmente retendo os compostos antioxidantes em sua estrutura e dificultando a sua extração (Meng, et al., 2010; Chung, et al., 2015), assim como ocorreu com os polifenóis. Verifica-se uma interação da dureza do gel de goma gelana (Tabela 1) com a concentração de compostos antioxidantes, na qual, quanto maior a dureza menor a extração desses componentes.

Observou-se uma menor atividade antioxidante para a formulação com goma gelana 1%, em comparação com a amostra contendo ágar na mesma concentração provavelmente devido à goma gelana formar géis mais firmes que o ágar, aprisionando mais fortemente os compostos antioxidantes.

Para as formulações com ágar, antes da digestão, não apresentaram diferença significativa em relação à polpa fresca e entre si ($p > 0,05$). Portanto, podemos sugerir que a diferença da concentração de ágar não altera a capacidade antioxidante das amostras.

Após a DGI, nota-se que a polpa de goiaba mostrou valores médios de 1,31 μ MTrolox/g de polpa, e as amostras com diferentes concentrações de ágar e goma gelana não apresentaram diferença significativa entre si ($p > 0,05$). Percebe-se ainda que houve um decréscimo ($p < 0,05$) dos valores médios da atividade antioxidante total, tanto para a polpa como para as formulações. Segundo Dantas et al. (2019), durante os estágios gástrico e intestinal da digestão, as amostras são expostas a condições de pH ácido e alcalino, e as variações desse parâmetro podem alterar a atividade antioxidante. De acordo com Schulz et al. (2017), o processo de digestão afeta a capacidade antioxidante devido à diminuição do conteúdo de compostos fenólicos e/ou a transformação destes em diferentes formas estruturais com outras propriedades químicas.

Verifica-se que a bioacessibilidade *in vitro* de compostos antioxidantes nas amostras estudadas variou de 18,93 a 57,10% e que a amostra goma gelana 1% apresentou-se significativamente diferente em comparação com a polpa e as demais amostras de goiabas estruturadas, com porcentagens de bioacessibilidade mais elevada (57,10%).

4. Considerações Finais

O efeito da concentração dos hidrocoloides ágar e goma gelana em goiaba estruturada foi estudado. Os valores de dureza e a desividade aumentaram conforme houve aumento da concentração dos hidrocoloides, com destaque para as formulações com goma gelana, que apresentaram valores de adesividade maiores do que as contendo ágar. Além disso, estes hidrocoloides, principalmente a goma gelana, proporcionaram valores elevados de bioacessibilidade, vitamina C, polifenóis e atividade antioxidante. A goma gelana foi capaz de preservar maiores teores de vitamina C em relação ao ágar, com valores mais próximos aos da polpa, portanto, este hidrocoloide favorece a retenção de ácido ascórbico no produto. Após a digestão *in vitro*, com o aumento da concentração deste hidrocoloide, os teores de polifenóis aumentaram, havendo elevação da bioacessibilidade, o que também ocorreu de forma semelhante nos resultados da atividade antioxidante. Assim, conclui-se que a produção de estruturado de goiaba causa pequenas perdas de constituintes nutricionais e características nutricionais semelhantes à polpa *in natura*, sendo uma boa opção de produto de fruta para ser fornecido aos consumidores. Como sugestões para trabalhos futuros, pode-se realizar o estudo de frutas estruturadas de goiaba com melhores resultados obtidos neste trabalho e assim analisa-los quanto aos aspectos físico-químicos, reológicos e sensoriais.

Referências

Association of official analytical chemists. (2005). Official methods of analysis of the association of official analytical chemists. 16th ed. Aoac: Washington.

Buniowska, M., Carbonell-Capella, J. M. & Esteve, A. F. M. J. (2017). Bioaccessibility of bioactive compounds after non-thermal processing of an exotic fruit juice blend sweetened with *Stevia rebaudiana*. *Food Chemistry*, 221, 834-1842.

Briones-Labarca, V., Venegas-Cubillos, G., Ortiz-Portilla, S., Chacana-Ojeda M. & Maureira, H. (2011). Effects of high hydrostatic pressure (HHP) on bioaccessibility, as well as antioxidant activity, mineral and starch contents in Granny Smith apple. *Food Chemistry*, 128, 520–529.

Costa, J. N., Leal, A. R., Nascimento, L, G.L., Rodrigues, D.C, Muniz, C. R., Figueiredo, R.W., Mata P., Noronha, J. P. & Sousa, P. H.M. (2020). Texture, microstructure and volatile profile of structured guava using agar and gellan gum. *International Journal of Gastronomy and Food Science*. 20, 100207.

Chung, C.; Rojanasasithara, T., Mutilangi, W. & McClements, D. J. (2015). Enhanced stability of anthocyanin-based color in model beverage systems through whey protein isolate complexation. *Food Research International*, 76, 761-768.

Dantas, A. M., Mafaldo, I. M., Oliveira, P.M.L., Magnani, M. S. L & Borges, G. S. C. (2019). Bioaccessibility of phenolic compounds in native and exotic frozen pulps explored in Brazil using a digestion model coupled with a simulated intestinal barrier. *Food Chemistry*, 274, 202–214.

Haida, K. S., Haas, J., Mello, S. A., Haida, K. S., Abrão, R. M & Sahd, R. (2015) Compostos Fenólicos e Atividade Antioxidante de Goiaba (*Psidium guajava* L.) Fresca e Congelada. *Revista Fitos*, 9 (1), 1-72.

Instituto Adolfo Lutz. Métodos físico-químicos para análise de alimentos. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz. 2008. 1020 p.

Jesus, A.L.T., Leite, T.S. & Cristianini, M. (2018). High isostatic pressure and thermal processing of açai fruit (*Euterpe oleracea Martius*): Effect on pulp color and inactivation of peroxidase and polyphenol oxidase. *Food Research International*, 105, 853-862.

- Káras, M., Jakubczyk, A., Szymanowska, U., Złotek, U. & Zielińska, E. (2017). Digestion and bioavailability of bioactive phytochemicals. *International Journal of Food Science and Technology*, 52, 291-305.
- Kefeng, T., Xiao, G., Cheng, W., Chen J., Sun P. (2018). Large amplitude oscillatory shear behavior and gelation procedure of high and low acyl gellan gum in aqueous solution. *Carbohydrate Polymers*, 199, 397- 405.
- Kumar, S., Kaur, P., Bernela, M., Rani R. & Thakur, R. (2016). Ketoconazole encapsulated in chitosan-gellan gum nano complexes exhibits prolonged antifungal activity. *International Journal of Biological Macromolecules*, 93, 988-994.
- Larrauri, J. A., Pupérez, P. & Saura-Calixto, F. (1997). Effect of drying temperature on the stability of polyphenols and antioxidant activity of red grape pomace peels. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45, 1390-1393.
- Lima A. C. S., Soares, D. S., Larissa, M. R. S., Figueiredo, R.W., Sousa, P. H. M. & Menezes, E. A. (2014). *In vitro* bioaccessibility of copper, iron, zinc and antioxidant compounds of whole cashew apple juice and cashew apple fibre (*Anacardium occidentale* L.) following simulated gastro-intestinal digestion. *Food Chemistry*, 161 (15), 142–147.
- Low, D. Y.; Arcy, B. D. & Gidley, M. J. (2015). Mastication effects on carotenoid bioaccessibility from mango fruit tissue. *Food Research International*, 67, 238-246.
- Lucas-Gonzales, R., Navarro-Coves, S., Pérez-Álvarez, J. A., Fernández-López, J., Muñoz, L.A. & Viuda-Martos, M. (2016). Assessment of polyphenolic profile stability and changes in the antioxidant potential of maqui berry (*Aristotelia chilensis* (Molina) Stuntz) during *in vitro* gastrointestinal digestion. *Industrial Crops and Products*, 94, 774-782.
- Meng, Y.C. Lu J., Jiang Y. & Qiu R. (2010) Sol and gel properties of high-acyl gellan gum and its structure analysis. *Food Science*, 31, 65-68.

Mosele, J. I., Macià, A. Romero, M. P. & Motilva, M. J. (2016). Stability and metabolism of Arbutus unedo bioactive compounds (phenolics and antioxidants) under in vitro digestion and colonic fermentation. *Food Chemistry*, 201, 120-130.

Obanda, M. & Owuor, P.O. (1997). Flavanol Composition and Caffeine Content of Green Leaf as Quality Potential Indicators of Kenyan Black Teas. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 74, 209-215.

Parn, A. O. J., Bhata, R., Yeoh, T.K., Al-Hassan, A. A. (2015). Development of novel fruit bars by utilizing date paste. *Food Bioscience*, 9, 20-27.

Pereira, A.S. et al. (2018). Metodologia da pesquisa científica. [e-book]. Santa Maria. Ed. UAB/NTE/UFSM. Disponível em: https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15824/Lic_Computacao_Metodologia_Pesquisa-Cientifica.pdf?sequence=1. Acesso em: 28 março 2020.

Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M. & Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*, 26, 1231-1237.

Rufino, M. S. M., Alves, R. E., Brito, E. S., Pérez-Jiménez, J., Saura-Calixto, F., & Mancini-Filho, J. (2010) Bioactive compounds and antioxidant capacities of 18 non-traditional tropical fruits from Brazil. *Food Chemistry*, 121(4), 996-1002.

Silva, P. A.; Carvalho, A.V. & Pinto, C. A.(2009). Elaboração e caracterização de fruta estruturada mista de goiaba e cajá. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 51, 99-113

Yarnpakdee, S.; Benjakul, S. & Kingwascharapong, P. (2015). Physico-chemical and gel properties of agar from *Gracilaria tenuistipitata* from the lake of Songkhla. *Food Hydrocolloids*, 51, 217-226.

Schulz, M., Biluca, F. C., Gonzaga, L. V., Borges, G. S. C., Vitali, L., Micke, G. A., Gois, J. S., Almeida, T. S., Borges, D. L. G., Miller, P. R. M., Costa, A. C. O & Fett, R. (2017).

Bioaccessibility of bioactive compounds and antioxidant potential of juçara fruits (*Euterpe edulis* Martius) subjected to *in vitro* gastrointestinal digestion. *Food Chemistry*, 228, 447-454.

Sharma, M. Kristo, E., Corredig, M. & Lisa Duize (2017). Effect of hydrocolloid type on texture of pureed carrots: Rheological and sensory measures. *Food Hydrocolloids*, 63, 478-487.

Zia, K. M., Tabasum, S., Khana, M. F., Akram, N., Akhter, N., Noreen, A. & Zubera, M. (2018). Recent trends on gellan gum blends with natural and synthetic polymers: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 109, 1068–1087.

Xu, X., Fang S., Li, Y. H., Zhang, F., Shao, Z. P., Zeng, Y. T., Chen, J. & Meng, Y. C. (2019). *Food Hydrocolloids* Effects of low acyl and high acyl gellan gum on the thermal stability of purple sweet potato anthocyanins in the presence of ascorbic acid. *Food Hydrocolloids*, 86, 116–123.

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Juliana Nascimento da Costa - 25%

Luis Gustavo Lima Nascimento - 25%

Amanda Rodrigues Leal - 10%

Paulina Mata- 10%

Carlos Artur Nascimento Alves- 10%

Antônio Augusto Lima de Araújo Filho- 10%

Paulo Henrique Machado de Sousa - 10%