

Caracterização reológica de dispersões de mucilagem de linhaça, gelana acilada ou desacilada na preparação de bebidas para indivíduos com disfagia

RESUMO

A disfagia é um distúrbio na capacidade de deglutição cujo tratamento pode incluir modificações na dieta do paciente, principalmente através do espessamento de líquidos. O objetivo desse estudo foi determinar o comportamento reológico de dispersões de mucilagem de linhaça, goma gelana acilada e desacilada com o objetivo de comparar com três diferentes espessantes comerciais na preparação de bebidas para pacientes com disfagia. A mucilagem de linhaça foi extraída em diferentes condições de tempo/temperatura e a extração a 95°C/30 min foi selecionada para a obtenção da mucilagem de linhaça desidratada, que pode ser utilizada para obtenção de dispersões com consistência do tipo 'néctar' (satisfatória para pacientes com disfagia leve) em concentrações acima de 0,5% m/m. Em relação à goma gelana, sua forma desacilada pode abranger três diferentes faixas de consistência utilizando-se concentrações de 0,3 a 1% (m/m). Já sua forma acilada resultou em dispersões com consistência do tipo 'néctar' através do uso de concentrações menores que 0,1% (m/m). Quando comparadas com dispersões de espessantes comerciais, a mucilagem de linhaça e a gelana desacilada apresentaram viscosidade aparente superior quando avaliadas em concentrações similares.

PALAVRAS-CHAVE: polissacarídeo; espessante; deglutição; disfagia; reologia.

Joice Aline Pires Vilela

joalinevi@gmail.com
<http://orcid.org/0000-0001-8766-0201>
Faculdade de Engenharia de Alimentos,
Universidade Estadual de Campinas,
Campinas, São Paulo, Brasil.

Raquel Aparecida Domingues Gomes Paula

raqueldominguesgomes@gmail.com
<http://orcid.org/0000-0003-1675-8740>
Faculdade de Engenharia de Alimentos,
Universidade Estadual de Campinas,
Campinas, São Paulo, Brasil.

Norys Josefina Diaz

norysdiaz10@hotmail.com
<http://orcid.org/0000-0003-1363-2720>
Associação de Assistência à Criança
Deficiente (AACD), Ambulatório de
Gastroenterologia Pediátrica, São Paulo,
São Paulo, Brasil.

Carolina Castelli Silvério

carol_silverio@hotmail.com
<http://orcid.org/0000-0003-4638-7928>
Associação de Assistência à Criança
Deficiente (AACD), Setor de Fonoaudiologia,
São Paulo, São Paulo, Brasil.

Rosiane Lopes da Cunha

rosiane@unicamp.br
<http://orcid.org/0000-0003-2228-5492>
Faculdade de Engenharia de Alimentos,
Universidade Estadual de Campinas,
Campinas, São Paulo, Brasil.

INTRODUÇÃO

A disfagia é uma alteração que afeta a eficiência, segurança ou qualidade de deglutição, que pode comprometer a alimentação do paciente causando desnutrição e desidratação, aumentando também o risco de ocorrência de asfixia e aspiração durante a ingestão de alimentos e bebidas (CIVIT; PERIS, 2011). Estima-se que a disfagia está presente em aproximadamente 8% da população mundial (CICHERO *et al.*, 2017). Essa alteração acomete crianças, adultos e idosos e pode ser decorrente de doenças neurológicas (como doença de *Parkinson*, *Alzheimer*, acidente vascular cerebral, esclerose), doenças motoras, anomalias, prematuridade, cirurgias, lesões, demência, doenças sistêmicas, envelhecimento, uso de alguns medicamentos, entre outras causas. Existem vários tipos de disfagia, pois, além das diversas etiologias associadas, esse distúrbio pode estar relacionado a diferentes estruturas do sistema de deglutição, como estruturas da cavidade oral, faringe ou esôfago, e o grau de comprometimento pode ser leve, moderado ou severo (GERMAIN; DUFRESNE; RAMASWAMY, 2006; BARBOSA, 2019).

Existem diversas categorias de tratamentos para a disfagia, que vão desde procedimentos comportamentais até uso de medicamentos e intervenções cirúrgicas. Uma das maneiras mais simples de tratamento é através do espessamento de alimentos para o controle do escoamento durante a deglutição (ZARGARAAN *et al.*, 2013; LONGEMANN, 2007). Durante a deglutição, o escoamento do líquido pode alcançar diferentes regimes de escoamento, de laminar a turbulento, dependendo da viscosidade do produto. Pessoas saudáveis podem direcionar corretamente os líquidos para o sistema gastrointestinal, porém os indivíduos com disfagia têm dificuldade principalmente em altas velocidades de deglutição (ou baixas viscosidades) de líquidos, resultando em uma prejudicada proteção das vias aéreas. Devido a essa alteração na dinâmica da deglutição, a dieta líquida dos pacientes com disfagia precisa ser espessada para que os líquidos escoem mais lentamente, permitindo que o indivíduo coordene a deglutição de forma mais segura e que a chance de aspiração e, conseqüentemente, de pneumonia devido à entrada de bactérias nos pulmões, seja reduzida (CICHERO, 2013).

Vários esforços foram realizados para padronizar nomenclaturas e classificar alimentos e bebidas conforme sua consistência ou viscosidade para viabilizar a administração de dietas adequadas aos pacientes, de acordo com o tipo e grau de disfagia apresentado, e para melhorar a comunicação entre os setores comerciais, consumidores e profissionais da saúde (ZARGARAAN *et al.*, 2013; ATHERTON *et al.*, 2007; BRITISH DIETETIC ASSOCIATION, 2002). Uma padronização que tem sido bastante utilizada (SCHMIDT; OLIVEIRA, 2015; PAGNO *et al.*, 2014) como guia no desenvolvimento e produção de alimentos especiais para indivíduos com disfagia é o guia de orientações NDD (*National Dysphagia Diet*) proposto pela *American Dietetic Association* (2002), em que líquidos são classificados em 4 categorias de acordo com valores limites de viscosidade aparente em taxa de deformação de 50 s^{-1} e temperatura de 25°C (Tabela 1). A viscosidade recomendada para os pacientes disfágicos tem que ser igual ou superior à denominada de 'néctar'.

Essa padronização também pode ser utilizada em conjunto com outras mais simples e acessíveis para a prática de hospitais e dia-a-dia de cuidadores. Recentemente proposta por Cichero e colaboradores (2017), a IDDSI (*International Dysphagia Diet Standardisation Initiative*) propõe uma padronização global na qual

os líquidos são facilmente classificados através de teste de escoamento interno em seringa de 10 ml com dimensões conhecidas. Nessa classificação os líquidos com espessamento médio possuem consistência equivalente à classe ‘néctar’, os líquidos com espessamento moderado equivalem à consistência de ‘mel’ e os líquidos extremamente espessados seriam o equivalente à consistência de ‘pudim’.

Tabela 1. Classificação de alimentos para indivíduos com disfagia utilizando limites de viscosidade aparente em taxa de deformação de 50 s⁻¹.

Classe de consistência	Viscosidade mínima (mPa.s)	Viscosidade máxima (mPa.s)
Líquidos finos	1	50
Consistência de néctar	51	350
Consistência de mel	351	1750
Consistência de pudim	1750	-

Civit e Peris (2011) relatam que o efeito terapêutico do aumento da viscosidade do bolo alimentar é elevado e supera outras estratégias de reabilitação para a disfagia. Em pacientes com enfermidades neurológicas não progressivas (acidente cerebrovascular, traumatismo cranioencefálico), a ocorrência de aspiração de 21,6% com administração de alimentos com consistência de ‘líquido fino’ se reduz para 10,5% mediante o uso de alimentos com consistência ‘néctar’ e para 5% com alimentos de consistência ‘pudim’. Em geral, a consistência ‘néctar’ perfaz 60% das prescrições, enquanto prescrições para consistência ‘mel’ e ‘pudim’ representam 33% e 6%, respectivamente (CASTELLANOS *et al.*, 2004).

A mudança da textura dos alimentos é comumente realizada através da adição de espessantes feitos a base de amidos ou outros polissacarídeos. A mucilagem da linhaça é um espessante com massa molecular média de 500 – 600 kDa, composta majoritariamente por fibra solúvel (KAJLA; SHARMA; SOOD, 2015; SINGER *et al.*, 2011; CRUZ-RUBIO *et al.*, 2018). É obtida a partir do material da parede secundária na camada mais externa da semente de linho. Essa camada se expande com a hidratação das sementes e a mucilagem é liberada na superfície (CUI, 2005). A mucilagem corresponde a aproximadamente 8 – 12% da massa de semente e seu rendimento e composição dependem do processo de extração utilizado, podendo conter de 50 a 80% de carboidratos, de 4 a 20% de proteínas e cinzas (FEDENIUK; BILIADERIS, 1994; CUI *et al.*, 1994; MEHREZ; SYED; AGRAWAL, 2017; VIEIRA *et al.*, 2019). A goma de linhaça é composta de uma mistura de polissacarídeo neutro, com resíduos de xilose, arabinose e galactose e de polissacarídeo aniônico, com resíduos de galactose, ramnose e ácido galacturônico (CUI, 2005). A mucilagem de linhaça tem diversas aplicações que se utilizam de sua propriedade espessante, como no preparo de dispersões para substituição da saliva, em géis, emulsões, filmes e coberturas comestíveis, em panificação e outras (KUHN; CAVALLIERI; CUNHA, 2011; STEWART; MAZZA, 2000; TEE *et al.*, 2016; VIEIRA *et al.*, 2020). Além disso, a fibra solúvel da mucilagem de linhaça possui efeitos benéficos à saúde, pois retarda o esvaziamento gástrico, melhora o controle glicêmico, alivia a constipação e reduz o colesterol sérico (TARPILA; WENNBERG; TARPILA, 2005).

A gelana é um polissacarídeo aniônico secretado pela bactéria *Sphingomonas elodea* comumente utilizada pela indústria devido a sua capacidade gelificante e espessante (SANDERSON, 1990; CUI, 2005). Estruturalmente é composta por uma

sequência de unidades de tetrassacarídeos que se repetem, contendo resíduos de glicose, ácido glicurônico e ramnose na razão de 2:1:1. A gelana acilada constitui sua forma nativa e possui dois grupos acila na cadeia, um grupo glicerato por unidade repetida e um acetato a cada duas unidades. Esses grupos substituintes podem ser removidos mediante tratamento alcalino para a preparação da gelana em sua forma desacilada (JANSSON; LINDBERG; SANDFORD, 1983; SANDERSON, 1990). Esse polissacarídeo, em sua forma acilada ou desacilada, possui capacidade de promover alterações significativas nas propriedades reológicas das dispersões mesmo em baixas concentrações (MIYOSHI; NISHINARI, 1999). Em estudo recente, as propriedades reológicas da gelana acilada foi estudada em condições simuladas do processamento oral, apresentando propriedades similares às apresentadas pela goma xantana mesmo quando utilizada em concentrações significativamente menores (TORRES *et al.*, 2019).

A mucilagem de linhaça e a goma gelana são fibras dietéticas que podem ser utilizadas como uma alternativa aos espessantes contendo amido, já que são menos susceptíveis aos efeitos da α -amilase presente na saliva que pode reduzir a viscosidade aparente das dispersões de amido na cavidade oral (TORRES *et al.*, 2019; VALLONS; HELMENS; OUDHUIS, 2015). Assim, o objetivo deste trabalho foi realizar a caracterização reológica através de curvas de escoamento de dispersões de gelana (acilada e desacilada) e mucilagem de linhaça, verificando as concentrações equivalentes para formulação de bebidas com viscosidade aparente de acordo com a classificação NDD. Também foram avaliadas três diferentes misturas comerciais disponíveis para pacientes disfágicos, nas quais o efeito do dispersante utilizado (água, néctar de laranja ou leite integral) também foi determinado.

MATERIAIS E MÉTODOS

MATERIAIS

Os materiais utilizados foram as gomas gelana desacilada e acilada (CP Kelco, EUA) e sementes de *Linum usitatissimum* (variedade linhaça marrom) da Real Master, Brasil. Os dispersantes utilizados foram água, néctar de laranja (Sufresh, Wownutrition) e leite integral (Ninho, Nestlé). As diferentes amostras comerciais de espessantes para pacientes disfágicos foram denominadas mistura espessante 1 (E1), composta por maltodextrina, goma xantana e cloreto de potássio, mistura espessante 2 (E2) composta por amido de milho modificado e mistura espessante 3 (E3), composta por maltodextrina, amido de milho modificado e gomas tara, xantana e guar. Os demais reagentes utilizados foram de grau analítico.

EXTRAÇÃO DA MUCILAGEM DE LINHAÇA

A mucilagem de linhaça foi extraída conforme método adaptado de CUI *et al.* (1994). Sementes inteiras em razão 1:10 (semente:água) foram submersas em água deionizada (pH natural de 6,5) e foram armazenadas por 20h em temperatura de 10°C ou 25°C (sem agitação magnética). A extração em temperatura elevada (95°C) durante 10, 30 ou 90 minutos também foi realizada com auxílio de banho termostático e agitação magnética. As dispersões obtidas foram separadas das sementes através da passagem em peneira e o rendimento mássico de cada condição de extração foi determinado através da precipitação com etanol em

razão 1:2 (dispersão:etanol), com posterior centrifugação (10.000 g) durante 30 minutos a 4°C. Após a separação do precipitado, o mesmo foi submetido à secagem em uma estufa a vácuo a 70°C até peso constante. O rendimento foi obtido através da relação entre massa de mucilagem e massa inicial de sementes de linhaça. Após avaliação dos ensaios de extração, a mucilagem desidratada extraída a 95°C/30 min foi selecionada para a utilização no preparo das dispersões descritas a seguir.

PREPARO DAS DISPERSÕES DE ESPESSANTES

As dispersões de mucilagem de linhaça foram preparadas a partir da pesagem (0,25%, 0,5% e 1% m/m) e dissolução da mucilagem desidratada em água deionizada, que foi realizada com o auxílio de agitação magnética à temperatura ambiente de 25°C. Essas dispersões, com ou sem aplicação posterior de tratamento térmico (80°C/30 min), foram caracterizadas quanto às suas propriedades reológicas. A goma gelana desacidada foi dispersa em água deionizada na concentração de 0,3, 0,4, 0,5, 0,6, 0,7, 0,8 e 1% (m/m) e submetida a tratamento térmico a 80°C/30 min mediante agitação magnética. O mesmo método de preparação foi utilizado para a goma gelana acilada, que foi preparada nas concentrações de 0,025, 0,05, 0,075, 0,10, 0,15 e 0,21 % (m/m). Após o tratamento térmico, as dispersões foram resfriadas e analisadas a 25°C. Dispersões mistas contendo mucilagem de linhaça e gelana desacidada também foram avaliadas.

As amostras de espessantes comerciais foram dispersas em água deionizada em concentração de 1% m/m mediante agitação magnética e tiveram suas propriedades reológicas determinadas. Dispersões dos espessantes comerciais também foram preparadas conforme concentrações recomendadas no rótulo para a obtenção de bebida com consistência do tipo 'néctar'. Para a amostra E1 a concentração indicada era de 1,2% (m/m) e para as amostras E2 e E3 a concentração indicada era de 5% (m/m). Essas dispersões foram preparadas em diferentes dispersantes: água, néctar de laranja e leite integral. As dispersões obtidas foram caracterizadas conforme descrito a seguir.

CARACTERIZAÇÃO REOLÓGICA

As propriedades reológicas foram obtidas a 25°C em um reômetro modular compacto Physica MCR301 (Anton Paar, Áustria). Para a obtenção dos dados foi utilizada uma geometria tipo cone-placa (50 mm de diâmetro, ângulo de 2° e gap de 208 µm). As curvas de escoamento foram determinadas através da tensão de cisalhamento (σ) obtida em função da taxa de deformação ($\dot{\gamma}$), que variou entre 0 e 300 s⁻¹. A taxa de deformação é o gradiente de velocidade estabelecido em um fluido como resultado da aplicação de uma tensão de cisalhamento. Para os fluidos Newtonianos a tensão de cisalhamento é diretamente proporcional à taxa de deformação e a constante de proporcionalidade é a viscosidade do fluido. Para os fluidos não-Newtonianos a constante de proporcionalidade depende da taxa de deformação e é conhecida como viscosidade aparente (RAO, 2007). Assim, o ajuste dos dados experimentais foi feito utilizando o modelo de fluido Newtoniano (Equação 1) ou os modelos de fluidos não-Newtonianos do tipo pseudoplástico (Equação 2) e de Herschel-Bulkley (Equação 3).

$$\sigma = \eta \cdot \dot{\gamma} \quad (\text{Equação 1})$$

$$\sigma = k \cdot \dot{\gamma}^n \quad (\text{Equação 2})$$

$$\sigma = \sigma_0 + k \cdot \dot{\gamma}^n \quad (\text{Equação 3})$$

Em que σ é tensão de cisalhamento (Pa); $\dot{\gamma}$ é a taxa de deformação (s^{-1}), η é viscosidade (Pa.s), σ_0 é tensão residual (Pa), k é o índice de consistência (Pa.sⁿ) e n é o índice de comportamento. Os parâmetros reológicos e o valor de viscosidade aparente em taxa de deformação de $50 s^{-1}$ (η_{50}) foram obtidos utilizando-se o software Microsoft® Excel Starter 2010 (Microsoft Corporation, EUA).

ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os resultados foram avaliados por análise de variância (ANOVA) e diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os tratamentos foram avaliadas pelo procedimento de Tukey. As análises estatísticas foram realizadas através do software STATISTICA 5.5 (Statsoft Inc., Tulsa, EUA).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

EXTRAÇÃO E PROPRIEDADES REOLÓGICAS DE MUCILAGEM DE LINHAÇA

Na extração da mucilagem de linhaça foi observado que os fatores tempo e temperatura tiveram efeito significativo nos valores de rendimento mássico obtidos, conforme apresentado na Tabela 2. As extrações realizadas em temperatura de 10 ou 25°C apresentaram valores similares de rendimento. Já as extrações realizadas a 95°C resultaram em maiores valores de rendimento mássico. Esse rendimento foi dependente do tempo de extração utilizado, e o tempo de 30 minutos foi selecionado para a obtenção das dispersões desidratadas utilizadas nas análises posteriores, já que um tempo maior de extração (90 min) não resultou em diferença significativa no rendimento mássico obtido.

Tabela 2. Rendimento mássico da extração da mucilagem de linhaça em diferentes condições de processo.

Temperatura (°C)	Tempo de extração	Rendimento mássico (%)
10	20 h	1,3 ± 0,3 ^A
25	20 h	1,5 ± 0,5 ^A
95 (AM)*	10 min	6,7 ± 0,3 ^B
95 (AM)*	30 min	10,0 ± 0,5 ^C
95 (AM)*	90 min	10,3 ± 0,8 ^C

NOTA: *AM: com agitação magnética durante a extração. Letras maiúsculas diferentes representam diferença significativa ($p < 0,05$) entre as extrações.

Resultados similares sobre o processo de extração da mucilagem de linhaça já foram apresentados anteriormente (CUI *et al.*, 1994; VIEIRA *et al.*, 2019). Cui e colaboradores (1994) realizaram um estudo sobre a otimização das condições de

extração da mucilagem de linhaça, no qual foi observado que a temperatura foi o fator que mais afetou o rendimento das extrações quando comparado com a proporção semente:água e pH do meio. Houve um aumento quase linear do rendimento com o aumento da temperatura de extração. Outro fator que apresentou efeito no rendimento das extrações foi o teor de proteína da mucilagem, que se mostrou dependente das condições de extração, aumentando conforme houve aumento de temperatura, redução da proporção semente:água ou redução no pH do meio. O teor de proteína pode chegar a 20% (m/m) da mucilagem, tornando o valor nutricional desse espessante maior (NOVELLO; POLLONIO, 2012; VIEIRA *et al.*, 2019).

A mucilagem isolada e desidratada extraída a 95°C/30 min foi utilizada na preparação de dispersões contendo 0,25, 0,5 ou 1% de mucilagem de linhaça. O efeito da concentração e da aplicação de tratamento térmico nas propriedades reológicas das dispersões está apresentado na Tabela 3. Todas as dispersões avaliadas apresentaram comportamento pseudoplástico com redução no índice de comportamento (n) e aumento no índice de consistência (k) com o aumento da concentração de mucilagem. Resultados semelhantes foram obtidos por Mazza e Biliaderis (1989), em que dispersões com concentrações de 0,05 a 0,2% apresentaram comportamento newtoniano, característico de dispersões diluídas em que as moléculas de biopolímeros se encontram livres para se movimentarem de forma independente sem emaranhamentos intermoleculares, prevalecendo o comportamento reológico linear do dispersante, com viscosidade constante e independente da taxa de deformação ($\dot{\gamma}$) aplicada (CUI, 2005). Já as dispersões com concentração acima de 0,2% exibiram comportamento pseudoplástico, em que a viscosidade aparente diminui com o aumento da taxa de deformação devido a fenômenos como quebra de emaranhados e alinhamento das cadeias no sentido do campo de cisalhamento (RAO, 2007).

Tabela 3. Propriedades reológicas de dispersões de mucilagem de linhaça com ou sem aplicação de tratamento térmico.

Mucilagem de linhaça (% m/m)	Tratamento Térmico	Comportamento	k (Pa.s ⁿ)	n	η_{50} (mPa.s) ($\dot{\gamma} = 50 \text{ s}^{-1}$)	R^2
0,25	---	Pseudoplástico	0,02±0,01 ^{Aa}	0,89±0,01 ^{Aa}	13,5±1,5 ^{Aa}	0,999
0,25	(80°C/30 min)	Pseudoplástico	0,03±0,01 ^{Ab}	0,86±0,01 ^{Ab}	18,3±0,7 ^{Ab}	0,999
0,50	---	Pseudoplástico	0,09±0,01 ^{Aa}	0,80±0,01 ^{Ba}	44,3±0,1 ^{Aa}	0,999
0,50	(80°C/30 min)	Pseudoplástico	0,17±0,03 ^{Bb}	0,73±0,01 ^{Bb}	64,0±3,9 ^{Bb}	0,999
1	---	Pseudoplástico	0,78±0,01 ^{Ba}	0,63±0,01 ^{Ca}	179,0±3,4 ^{Ba}	0,999
1	(80°C/30 min)	Pseudoplástico	1,03±0,01 ^{Cb}	0,59±0,01 ^{Ca}	204,8±6,2 ^{Ca}	0,998

NOTA: Letras diferentes representam diferença significativa ($p < 0,05$). Letras maiúsculas: diferenças entre concentrações para uma mesma condição de tratamento térmico. Letras minúsculas: diferenças entre condições de tratamento térmico para uma mesma concentração de linhaça.

O tratamento térmico, em geral, teve efeito significativo nas propriedades avaliadas, com aumento da viscosidade aparente das dispersões e aumento da

pseudoplasticidade após o tratamento térmico. A temperatura é um dos fatores que influenciam o processo de hidratação dos biopolímeros. Mazza e Biliaderis (1989) observaram um aumento da solubilidade da mucilagem de linhaça de 70% para 90% com o aumento da temperatura de 20°C para 95°C. Assim, o tratamento térmico pode ter levado a uma maior hidratação e, portanto, maior imobilização das moléculas de água, com conseqüente aumento da viscosidade aparente das dispersões. A dispersão contendo 0,5% de mucilagem de linhaça após tratamento térmico e as dispersões com 1% de mucilagem de linhaça com ou sem tratamento térmico apresentaram valores de viscosidade aparente na faixa de consistência do tipo 'néctar'.

PROPRIEDADES REOLÓGICAS DE DISPERSÕES DE GELANA ACILADA E DESACILADA

A gelana desacilada, que possui uma massa molecular de 200-300 kDa, apresentou comportamento newtoniano em concentrações menores que 0,5% (m/m) e comportamento pseudoplástico em concentrações acima de 0,5%, com redução do índice de comportamento (n) e aumento do índice de consistência (k) com o aumento da concentração de polissacarídeo (Tabela 4). De acordo com a nomenclatura e classificação padrão da *American Dietetic Association* (2002), os resultados apresentados mostram que dispersões de consistência do tipo 'líquido' são formadas com 0,3 a 0,5% de gelana desacilada, enquanto dispersões do tipo 'néctar' são formadas através da adição de 0,6 a 0,7% e dispersões do tipo 'mel' podem ser preparadas com 0,8 ou 1% (m/m) desse polissacarídeo.

Tabela 4. Propriedades reológicas de dispersões de gelana desacilada e acilada.

	Polissacarídeo (% m/m)	Comportamento	σ_0 (Pa)	k (Pa.s ⁿ)	n	η_{50} (mPa.s) ($\dot{\gamma} = 50 \text{ s}^{-1}$)	R ²
Gelana desacilada	0,3	Newtoniano	---	---	---	6,1±0,1 ^A	0,999
	0,4	Newtoniano	---	---	---	9,4±0,2 ^A	0,999
	0,5	Newtoniano	---	---	---	11,4±0,9 ^A	0,999
	0,6	Pseudoplástico		2,10±0,03 ^B	0,39±0,01 ^A	193,4±2,2 ^B	0,995
	0,7	Pseudoplástico		2,46±0,09 ^B	0,36±0,01 ^B	202,4±7,2 ^B	0,989
	0,8	Pseudoplástico		5,94±0,23 ^C	0,31±0,01 ^C	395,0±13,9 ^C	0,990
	1	Pseudoplástico		11,65±0,84 ^D	0,27±0,01 ^D	688,2±13,0 ^D	0,994
Gelana acilada	0,025	Pseudoplástico		0,05±0,01 ^A	0,64±0,01 ^A	11,0±0,5 ^A	0,999
	0,05	Pseudoplástico		0,18±0,01 ^B	0,53±0,01 ^B	28,5±0,6 ^B	0,997
	0,075	Pseudoplástico		0,51±0,01 ^C	0,43±0,01 ^C	55,5±0,8 ^C	0,996
	0,1	Pseudoplástico		0,80±0,04 ^D	0,41±0,01 ^D	78,9±4,2 ^D	0,996
	0,15	Pseudoplástico		1,82±0,03 ^E	0,36±0,01 ^E	149,0±2,4 ^E	0,994
	0,21	Herschel-Bulkley	2,66±0,06	4,33±0,05 ^F	0,29±0,01 ^F	322,5±2,0 ^F	0,990

NOTA: *Para fluidos Newtonianos o valor de viscosidade é independente da taxa de deformação; Letras maiúsculas diferentes representam diferença significativa (p<0,05) entre concentrações de um mesmo polissacarídeo.

As dispersões de gelana acilada (Tabela 4) apresentaram comportamento pseudoplástico em concentrações de 0,025 a 0,15% m/m. Em concentração de 0,21% houve melhor ajuste do modelo Herschel-Bulkley, ou seja, comportamento pseudoplástico com presença de tensão residual, que é classicamente definida como a tensão de cisalhamento mínima que deve ser aplicada ao material para

iniciar o escoamento (SUN; GUNASEKARAN, 2009; RAO, 2007). Concentrações a partir de 0,075% m/m resultaram em dispersões com viscosidade aparente na faixa classificada como 'néctar'. Quando comparada com a gelana desacilada, bebidas com consistência 'néctar' foram obtidas através do uso de menores concentrações de polissacarídeo. A gelana acilada possui maior massa molecular (1.000-2.000 kDa) que a gelana desacilada e sua carga superficial negativa, medida através do valor do potencial zeta em pH natural, é, aproximadamente, o dobro da apresentada pela gelana desacilada em condições similares de pH e concentração (VILELA; CUNHA, 2016). A presença de maior repulsão eletrostática entre as cadeias, bem como sua massa molecular mais elevada, são fatores relacionados à maior viscosidade aparente observada em dispersões contendo gelana acilada mesmo em baixas concentrações.

PROPRIEDADES REOLÓGICAS DE MUCILAGEM DE LINHAÇA COM ADIÇÃO DE GELANA DESACILADA

O efeito da adição de gelana desacilada na reologia de dispersões de mucilagem de linhaça foi determinado. Foram avaliadas concentrações totais de biopolímeros de 0,5 e 1% m/m (Figura 1A-B). A substituição de 10 ou 20% da mucilagem de linhaça por gelana desacilada levou à redução da viscosidade aparente das dispersões, redução do índice de consistência e aumento do índice de comportamento.

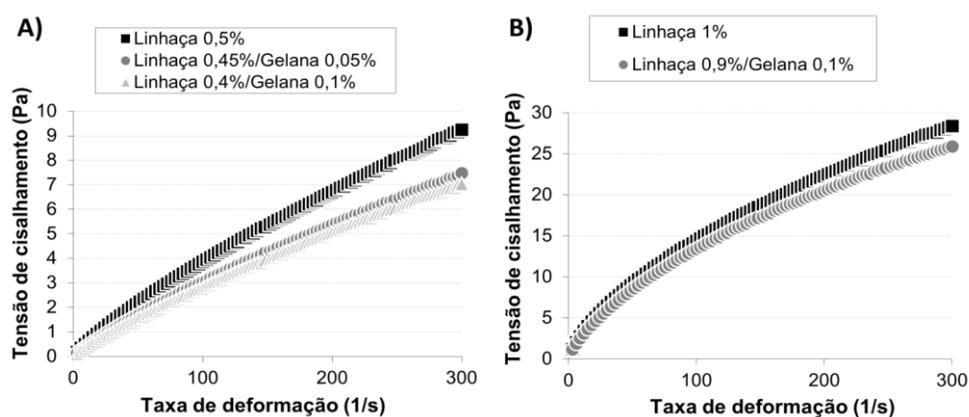


Figura 1. Curvas de escoamento de dispersões contendo mucilagem de linhaça com ou sem adição de gelana desacilada em concentração total de polissacarídeo de (A) 0,5% ou (B) 1% (m/m).

As propriedades reológicas de misturas de biopolímeros dependem de inúmeros fatores, como concentração e razão dos componentes da mistura, carga elétrica, estrutura química, massa molecular e interações entre os biopolímeros. Em geral, considera-se que há uma interação sinérgica entre os polissacarídeos quando a viscosidade da mistura é maior que a viscosidade aparente observada para cada componente puro, ou seja, quando a capacidade espessante da mistura é maior que a capacidade espessante de cada componente puro em concentrações similares (ALGHOONEH; BEHROUZIAN; RAZAVI, 2019). A gelana desacilada e a mucilagem de linhaça possuem carga elétrica negativa com valores similares em pH natural (VILELA; CUNHA, 2016; VIEIRA *et al.*, 2019). Em relação à massa molecular média, a

gelana desacidada possui massa molecular menor (200-300 kDa) que a massa molecular média da mucilagem de linhaça (500 a 600 kDa) (CRUZ-RUBIO *et al.*, 2018; JANSSON; LINDBERG; SANDFORD, 1983). Assim, é possível afirmar que a substituição da mucilagem de linhaça por um polissacarídeo de menor massa molecular e com carga elétrica similar afetou negativamente a capacidade espessante. É possível supor que a interação molécula-molécula na dispersão de mucilagem de linhaça pura ou nas misturas avaliadas é similar, sendo que a interação molécula-dispersante (dependente da massa molecular e quantidade de grupos com afinidade pela água) pode ser apontada como maior responsável pela alteração do comportamento reológico observado (GUO *et al.*, 2017).

PROPRIEDADES REOLÓGICAS DE ESPESSANTES COMERCIAIS PARA PACIENTES DISFÁGICOS

As propriedades reológicas da gelana desacidada e da mucilagem de linhaça foram comparadas com as propriedades de três diferentes amostras de espessantes comerciais adquiridas em estabelecimentos locais (Tabela 5). Todas as amostras foram avaliadas em concentração de 1% (m/m). Nessas condições, a viscosidade aparente (em taxa de deformação de 50 s⁻¹) da mucilagem de linhaça e da goma gelana desacidada foram superiores à observada para as amostras comerciais avaliadas. A gelana desacidada, a mucilagem de linhaça e o espessante comercial E3 apresentaram comportamento pseudoplástico. Já o espessante comercial E1 apresentou a maior viscosidade aparente dentre as amostras comerciais avaliadas e comportamento de acordo com o modelo de Herschel-Bulkley. A amostra composta por amido de milho modificado (E2) apresentou comportamento Newtoniano e o menor valor de viscosidade aparente dentre os espessantes comerciais.

Tabela 5. Propriedades reológicas das dispersões de gelana desacidada, mucilagem de linhaça ou de misturas espessantes comerciais (E1, E2 ou E3) em concentração de 1% m/m.

Dispersões (1% m/m)	Comportamento	σ_0 (Pa)	k (Pa.s ⁿ)	n	η_{50} (mPa.s) ($\dot{\gamma} = 50$ s ⁻¹)	R ²
Gelana desacidada	Pseudoplástico	---	11,65±0,84 ^A	0,27±0,01 ^A	688,2±13,0 ^A	0,994
Linhaça	Pseudoplástico	---	1,03±0,01 ^B	0,59±0,01 ^B	204,8±6,2 ^B	0,998
E1 Maltodextrina, xantana e KCl	Herschel-Bulkley	2,08±0,90	0,31±0,01 ^B	0,51±0,01 ^C	88,2±2,7 ^C	0,999
E2 Amido de milho modificado	Newtoniano	---	---	---	3,8±0,7 ^D	0,997
E3 Maltodextrina, amido de milho modificado, goma tara, xantana e goma guar	Pseudoplástico	---	0,18±0,01 ^B	0,53±0,01 ^C	32,3±1,0 ^E	0,998

NOTA: *Para fluidos Newtonianos o valor de viscosidade é independente da taxa de deformação; Letras maiúsculas diferentes representam diferença significativa (p<0,05) entre dispersões com concentração similar de espessante/mistura espessante (1% m/m).

As diferentes amostras comerciais também foram avaliadas em diferentes meios dispersantes utilizando as concentrações recomendadas no rótulo de cada produto para obtenção de bebida do tipo 'néctar' (Figura 2). A amostra comercial E1 apresentou menores alterações nos valores de viscosidade aparente nos diferentes dispersantes, resultando em bebidas com consistência do tipo 'néctar' quando adicionada em água, néctar de laranja ou leite. Já os espessantes E2 e E3 apresentaram viscosidade mais dependente do meio dispersante, com diferenças significativas entre os valores de viscosidade aparente em água e em outros dispersantes. Essas amostras mostraram maiores valores de viscosidade aparente quando dispersas em néctar de laranja ou leite integral, excedendo, inclusive, os valores correspondentes a bebidas com consistência do tipo 'néctar' (entre 50 a 350 mPa.s). O néctar de laranja apresentou umidade média de 88,9% (m/m) e pH 3,5, enquanto o leite integral apresentou umidade média de 87,6% e pH 6,7. Assim, o aumento da viscosidade observado nos diferentes dispersantes pode estar relacionado ao aumento no teor de sólidos, diferenças no pH do meio, bem como devido a possíveis interações entre os espessantes e componentes do meio dispersante (MORET-TATAY *et al.*, 2015; VIEIRA *et al.*, 2020).

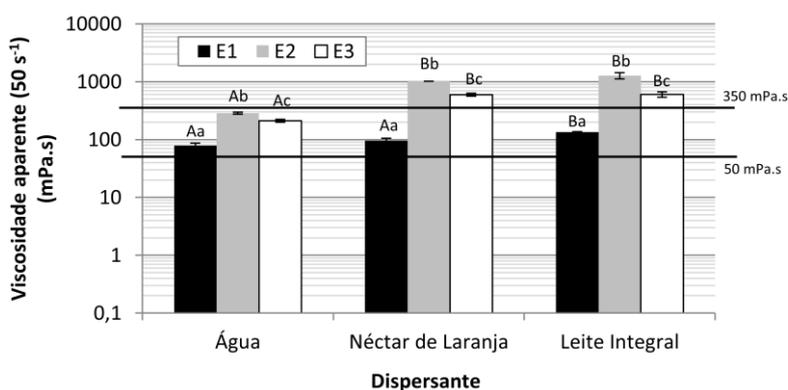


Figura 2. Viscosidade aparente de espessantes comerciais (E1, E2 e E3) em concentração recomendada no rótulo para preparação de bebida do tipo 'néctar' em diferentes dispersantes. Letras diferentes representam diferença significativa ($p < 0,05$). Letras maiúsculas: diferenças para um mesmo tipo de espessante em diferentes meios dispersantes. Letras minúsculas: diferenças entre diferentes espessantes em um mesmo meio dispersante.

Esse resultado mostra que as recomendações feitas na rotulagem são mais adequadas para preparação de bebidas utilizando água pura como meio dispersante. E, que dependendo do produto utilizado, o meio dispersante pode alterar a faixa de classificação da consistência da bebida, podendo torná-la inadequada a depender das restrições de cada paciente.

CONCLUSÕES

A mucilagem de linhaça é um componente de alto valor nutricional, que pode ser facilmente extraída a partir das sementes de linho, podendo ser utilizada de forma caseira ou industrial para obtenção de dispersões com consistência 'néctar' quando utilizada em concentrações acima de 0,5% (m/m). Já a goma gelana

apresentou uma capacidade espessante superior, permitindo a obtenção de dispersões do tipo 'néctar' com o uso de 0,6% (m/m) de gelana desacilada ou de apenas 0,1% (m/m) de gelana acilada. O consumo elevado de fibras confere sensação de saciedade que pode prejudicar a alimentação e nutrição do paciente disfágico. Portanto, é necessário que estas sejam capazes de conferir a viscosidade adequada através do uso de concentrações mínimas. Quando comparadas às amostras comerciais, a mucilagem de linhaça e a goma gelana mostraram potencial para a produção de espessantes voltados aos pacientes com disfagia.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a iniciativa Profis/SAE (2013) da Universidade Estadual de Campinas pelo suporte financeiro.

Rheological characterization of flaxseed mucilage, high or low acyl gellan gum dispersions in the preparation of beverages for individuals with dysphagia

ABSTRACT

Dysphagia is a disorder in the swallow ability and its treatment can be accomplished by altering the diet of patients, mainly through thickening of liquids. The aim of this study was to determine the rheological behavior of dispersions containing flaxseed mucilage, high or low acyl gellan gum in order to compare with three different commercial thickeners in the preparation of beverages for dysphagia patients. Flaxseed mucilage was extracted under different time/temperature conditions and extraction at 95°C/30 min was chosen to obtain dehydrated flaxseed mucilage, which could be used to achieve dispersions with a 'nectar' consistency (satisfactory for patients with mild dysphagia) at concentrations above 0.5% w/w. Regarding to gellan gum, three different consistency ranges could be achieved by using 0.3 to 1% (w/w) of its low acyl form. High acyl gellan resulted in nectar-like dispersions through the use of concentrations below 0.1% (w/w). Flaxseed mucilage and low acyl gellan dispersions showed higher apparent viscosity than dispersions of commercial thickeners when evaluated at similar concentrations.

KEYWORDS: polysaccharide; thickener; swallowing; dysphagia; rheology.

REFERÊNCIAS

ALGHOONEH, A.; BEHROUZIAN, F.; RAZAVI, S. M. A. **Hydrocolloids interaction elaboration based on rheological properties**. In: S. M. A. RAZAVI (Ed.), *Emerging Natural Hydrocolloids: rheology and functions*. UK: Wiley, 2019.

AMERICAN DIETETIC ASSOCIATION. **The national dysphagia diet (NDD): standardization for optimal care**. Chicago: American Dietetic Association, 2002.

ATHERTON, M.; BELLIS-SMITH, N.; CICHERO, J. A. Y.; SUTER, M. Texture-modified foods and thickened fluids as used for individuals with dysphagia: Australian standardised labels and definitions. *Nutrition and Dietetics*, v. 64, n. 2, p. 53–76, 2007. <https://doi.org/10.1111/j.1747-0080.2007.00153.x>

BARBOSA, E. A. **Manual prático de disfagia para home care**. Rio de Janeiro (RJ): Thieme Revinter Publicações, 2019.

BRITISH DIETETIC ASSOCIATION. **National descriptors for texture modification in adults**. Birmingham: British Dietetic Association, 2002.

CASTELLANOS, V. H.; BUTLER, E.; GLUCH, L.; BURKE, B. Use of thickened liquids in skilled nursing facilities. *Journal of the American Dietetic Association*, v. 104, n. 8, p. 1222 – 1226, 2004. . <https://doi.org/10.1016/j.jada.2004.05.203>

CICHERO, J. A. Y. Thickening agents used for dysphagia management: effect on bioavailability of water, medication and feelings of satiety. *Nutrition Journal*, v. 12, n. 54, 2013. <https://doi.org/10.1186/1475-2891-12-54>

CICHERO, J. A. Y.; LAM, P., STEELE, C. M.; HANSON, B.; CHEN, J.; DANTAS, R. O.; DUIVESTEN, J.; KAYASHITA, J.; LECKO, C.; MURRAY, J.; PILLAY, M.; RIQUELME, L.; STANSCHUS, S. Development of international terminology and definitions for texture-modified foods and thickened fluids used in dysphagia management: The IDDSI Framework. *Dysphagia*, v. 32, n. 2, p. 293–314, 2017. <https://doi.org/10.1007/s00455-016-9758-y>

CIVIT, P. C.; PERIS, P. G. **Guía de diagnóstico y de tratamiento nutricional y rehabilitador de la disfagia orofaríngea**. Barcelona: Editorial Glosa, 2011.

CRUZ-RUBIO, J. M.; LOEPPERT, R.; VIERNSTEIN, H.; PRAZNIK, W. Trends in the use of plant non-starch polysaccharides within food, dietary supplements, and pharmaceuticals: Beneficial effects on regulation and wellbeing of the intestinal tract. *Scientia Pharmaceutica*, v. 86, n. 4, p. 49, 2018. <https://doi.org/10.3390/scipharm86040049>

CUI, S. W. **Food Carbohydrates: Chemistry, Physical Properties, and Applications**. Boca Raton: CRC Press, 2005.

CUI, W.; MAZZA, G.; OOMAH, B. D.; BILIADERIS, C. G. Optimization of an aqueous extraction process for flaxseed gum by response surface methodology. **LWT - Food Science and Technology**, v. 27, n. 4, p. 363–369, 1994. <https://doi.org/10.1006/fstl.1994.1074>

FEDENIUK, R. W.; BILIADERIS, C. G. Composition and physicochemical properties of linseed (*Linum usitatissimum* L.) mucilage. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 42, n. 2, p. 240–247, 1994. . <https://doi.org/10.1021/jf00038a003>

GERMAIN, I.; DUFRESNE, T.; RAMASWAMY, H. S. Rheological characterization of thickened beverages used in the treatment of dysphagia. **Journal of Food Engineering**, v. 73, n. 1, p. 64–74, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.01.006>

GUO, M. Q.; HU, X.; WANG, C.; AI, L. **Polysaccharides: Structure and Solubility**. In: Z. Xu (Ed.), Solubility of Polysaccharides. IntechOpen, 2017. <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.71570>

JANSSON, P.E.; LINDBERG, B.; SANDFORD, P.A. Structural studies of gellan gum, an extracellular polysaccharide elaborated by *Pseudomonas elodea*. **Carbohydrate Research**, v. 124, n. 1, p. 135-139, 1983. [https://doi.org/10.1016/0008-6215\(83\)88361-X](https://doi.org/10.1016/0008-6215(83)88361-X)

KAJLA, P., SHARMA, A., & SOOD, D. R. Flaxseed - a potential functional food source. **Journal of food science and technology**, v. 52, n. 4, p. 1857–1871, 2015. <https://doi.org/10.1007/s13197-014-1293-y>

KUHN, K. R.; CAVALLIERI, Â. L. F.; CUNHA, R. L. Cold-set whey protein-flaxseed gum gels induced by mono or divalent salt addition. **Food Hydrocolloids**, v. 25, n. 5, p. 1302–1310, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2010.12.005>

LOGEMANN, J. A. Swallowing disorders. **Best Practice & Research Clinical Gastroenterology**, v. 21, n. 4, p. 563-573, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.bpg.2007.03.006>

MAZZA, G.; BILIADERIS, C. G. Functional Properties of Flax Seed Mucilage. **Journal of Food Science**, v. 54, n. 5, p. 1302–1305, 1989. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1989.tb05978.x>

MEHTRE, A. S.; SYED, H. M.; AGRAWAL, R. S. Extraction and chemical composition of flaxseed gum (mucilage) from different flaxseed varieties. **The Bioscan**, v. 12, n. 1, p. 47–49, 2017.

MIYOSHI, E.; NISHINARI, K. Non-Newtonian flow behaviour of gellan gum aqueous solutions. **Colloid and Polymer Science**, v. 277, n. 8, p. 727–734, 1999. <https://doi.org/10.1007/s003960050446>

MORET-TATAY, A.; RODRÍGUEZ-GARCÍA, J.; MARTÍ-BONMATÍ, E.; HERNANDO, I.; HERNÁNDEZ, M. J. Commercial thickeners used by patients with dysphagia: Rheological and structural behaviour in different food matrices. **Food Hydrocolloids**, v. 51, p. 318-326, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.05.019>.

NOVELLO, D.; POLLONIO, M. A. R. Caracterização físico-química e microbiológica da linhaça dourada e marrom (*Linum Usitatissimum* L). **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, v. 71, n. 2, p. 291–300, 2012.

PAGNO, C. H.; SOUZA, L. F.; FLORES, S. H.; JONG, E. V. Desenvolvimento de espessante alimentar com valor nutricional agregado, destinado ao manejo da disfagia. **Ciência Rural**, v. 44, n. 4, p. 710–716, 2014. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782014000400023>

RAO, M. A. **Introduction: Food Rheology and Structure**. In: M. A. Rao (Ed.). *Rheology of Fluid and Semisolid Foods: Principles and Applications*. New York, USA: Springer, 2007.

SANDERSON, G. R. **Gellan Gum**. In: P. Harris (Ed.). *Food Gels*. New York: Elsevier, 1990.

SCHMIDT, H.; OLIVEIRA, V. R. Avaliação reológica e sensorial de espessantes domésticos em diferentes líquidos como alternativa na disfagia. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 18, n. 1, p. 42–48, 2015. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.3714>

SINGER, F. A. W.; TAHA, F. S.; MOHAMED, S. S.; GIBRIEL, A.; EL-NAWAWY, M. Preparation of Mucilage/Protein Products from Flaxseed. **American Journal of Food Technology**, v. 6, n. 4, p. 260-278, 2011. <https://doi.org/10.3923/ajft.2011.260.278>

STEWART, S.; MAZZA, G. Effect of flaxseed gum on quality and stability of a model salad dressing. **Journal of Food Quality**, v. 23, n. 4, p. 373–390, 2000. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4557.2000.tb00565.x>

SUN, A.; GUNASEKARAN, S. Yield stress in foods: measurements and applications. **International Journal of Food Properties**, v. 12, n. 1, p. 70–101, 2009. <https://doi.org/10.1080/10942910802308502>

TARPILA, A.; WENNBERG, T.; TARPILA, S. Flaxseed as a functional food. **Current Topics in Nutraceutical Research**, v. 3, n. 3, p. 167-188, 2005.

TEE, Y. B.; WONG, J.; TAN, M. C.; TALIB, R. A. Development of edible film from flaxseed mucilage. **BioResources**, v. 11, n. 4, p. 10286-10295, 2016.

TORRES, O.; YAMADA, A.; RIGBY, N. M.; HANAWA, T.; KAWANO, Y.; SARKAR, A. Gellan gum: a new member in the dysphagia thickener family. **Biotribology**, v. 17, p. 8-18, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.biotri.2019.02.002>

VALLONS, K. J. R.; HELMENS, H. J.; OUDHUIS, A. A. C. M. Effect of human saliva on the consistency of thickened drinks for individuals with dysphagia. **International Journal of Language & Communication Disorders**, v. 50, n. 2, 165–175, 2015.

VIEIRA, J. M.; OLIVEIRA, F. D.; SALVARO, D. B.; MAFFEZZOLLI, G. P.; DE MELLO, J. D. B.; VICENTE, A. A.; CUNHA, R. L. Rheology and soft tribology of thickened dispersions aiming the development of oropharyngeal dysphagia-oriented products. **Current Research in Food Science**, v. 3, p. 19-29, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2020.02.001>

VIEIRA, J. M.; MANTOVANI, R. A.; RAPOSO, M. F. J.; COIMBRA, M. A.; VICENTE, A. A.; CUNHA, R. L. Effect of extraction temperature on rheological behavior and antioxidant capacity of flaxseed gum. **Carbohydrate Polymers**, v. 213, p. 217–227, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.02.078>

VILELA, J. A. P.; CUNHA, R. L. High acyl gellan as an emulsion stabilizer. **Carbohydrate Polymers**, v. 139, p. 115–124, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.12.045>

ZARGARAAN, A.; RASTMANESH, R.; FADAVI, G.; ZAYERI, F.; MOHAMMADIFAR, M. A. Rheological aspects of dysphagia-oriented food products: A mini review. **Food Science and Human Wellness**, v. 2, n. 3–4, p. 173–178, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2013.11.002>

Recebido: 28 mai. 2020.

Aprovado: 27 jul. 2020.

DOI: 10.3895/rebrapa.v10n4.12461

Como citar:

VILELA, J. A. P. et al. Caracterização reológica de dispersões de mucilagem de linhaça, gelana acilada ou desacilada na preparação de bebidas para indivíduos com disfagia. **Brazilian Journal of Food Research**, Campo Mourão, v. 10, n. 4, p. 73-89, out./dez. 2019. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rebrapa>

Correspondência:

Joice Aline Pires Vilela

Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Cidade Universitária Zeferino Vaz, Barão Geraldo, CEP 13083-970, Campinas, São Paulo, Brasil.

Direito autorial: Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

