COMPORTAMENTO REOLÓGICO DE GELEIAS DE ABACAXI ELABORADAS COM DIFERENTES AÇÚCARES

Camila Cristina Andrade[1], Daiane Cristina Lenhard[1], Carolina Castilho Garcia[1], Eliana Maria Baldissera[1], Gláucia Cristina Moreira[1]

[1]Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Medianeira, Medianeira, PR, Brasil (daianelenhard@professores.utfpr.edu.br)

Resumo: Para o desenvolvimento desse trabalho, foram elaboradas geleias de abacaxi com diferentes açúcares para comparação do seu comportamento reológico. O comportamento reológico das geleias foi descrito pelos modelos matemáticos de Bingham, Newton e Ostwald de Waelle, variando para cada formulação. A análise de textura revelou que geleia elaborada com o açúcar de coco maior dureza e elasticidade. Os resultados obtidos evidenciam que o tipo de açúcar utilizado influenciou nas características reológicas das geleias.

Palavras-chave: frutas; reologia; sacarose

INTRODUÇÃO

A cultura do abacaxi está presente em praticamente todos os estados brasileiros, sendo sua produção influenciada por uma variedade de fatores, como as condições climáticas, aspectos econômicos e logísticos (Neto, 2020).

O Brasil ocupou a posição de segundo maior produtor mundial de abacaxi com uma produção total de 2,69 milhões de toneladas em aproximadamente 68,15 mil hectares. A fruta está entre as cinco mais cultivadas do país (EMBRAPA, 2023).

O abacaxi, fruto tropical da família Bromeliaceae, é conhecido cientificamente como Ananas comosus L. Merril (Souza; Ferreira; Sena, 2023). Segundo Thé (2006), o aroma e o sabor característicos são atribuídos à presença de diversos constituintes, com destaque para os açúcares, especialmente a sacarose, e os ácidos cítrico e málico. Devido ao seu alto teor de ácido cítrico, são realçadas suas qualidades sensoriais desejáveis, tornando a fruta uma escolha adequada para a produção de geleias (Lopes, 2007).

De acordo com a Resolução n° 12 de 1978 do Ministério da Saúde: ‘’Geléia de fruta é o produto obtido pela cocção, de frutas, inteiras ou em pedaços, polpa ou suco de frutas, com açúcar e água e concentrado até consistência gelatinosa’’ (Brasil, 1978). Elas podem ser categorizadas em duas classificações distintas: as comuns, que são produzidas utilizando-se 40 partes de frutas frescas e/ou seu equivalente para 60 partes de açúcar, e as extras, as quais requerem 50 partes de frutas frescas (ou seu equivalente) para 50 partes de açúcar (Brasil, 1978).

Uma geleia de boa qualidade deve ter uma consistência ideal. Elias e Torres (2017) relatam que ela deve ter um aspecto gelatinoso, com a mesma consistência, que quando retirada da sua embalagem primária, mantenha seu estado semissólido. Este produto deve preservar o aroma, sabor, odor e cor da fruta de origem (Sakamoto et al., 2015).

A consistência de geleias pode ser avaliada a partir da análise reológica. Nesse contexto, dois materiais são considerados na reologia: o líquido viscoso e o sólido elástico. O líquido viscoso ideal é mensurado pela lei de Newton e o sólido elástico ideal obedece a lei de Hooke (Gunasekaran; AK, 2000; Guillet, 2010). Em sólidos a propriedade mais importante é a elasticidade e em líquidos o maior interesse é na viscosidade (Toneli; Murr; Park, 2005).

É importante compreender as propriedades reológicas dos alimentos para o controle de qualidade do mesmo, dimensionamento de sistemas de tubulações, de trocadores de calor, de bombas, de filtros, em cálculos de engenharia e de processos, na determinação de propriedades de ingredientes e para o estabelecimento de correlações entre atributos sensoriais e características texturais (Castro, 2004; Dak; Verma; Jaaffrey, 2007; Vasques, 2003). De acordo com Bone (1973) as características texturais que os humanos percebem ao consumir um alimento como maciez, suavidade, dureza, cremosidade e suculência são propriedades reológicas.

De acordo com Bhattacharya (1997) um alimento pode sofrer modificações de consistência e composição ao longo do seu processamento. Isso ocorre como resultado das etapas pelas quais ele passa, como mistura, aquecimento, resfriamento, aeração, homogeneização, cristalização e fermentação, favorecendo assim a alteração da viscosidade.

A consistência (viscosidade) é o atributo ligado a oposição interna que o líquido apresenta à alteração por forças de atrito. Define-se a consistência como sendo o atrito interno nos líquidos decorrente, principalmente, das conexões entre as moléculas, variando, em sua maioria, de acordo com a temperatura. Para se obter informações sobre as características reológicas de um material é necessário avaliar a alteração causada por uma determinada força ou quantificar a força necessária para gerar mudança em um intervalo de tempo específico (Livi, 2004; Bisco, 2009).

O comportamento reológico de alimentos fluidos é, de forma geral, dividido em newtoniano e não newtoniano. Em um fluido newtoniano, a tensão de cisalhamento é diretamente proporcional à taxa de cisalhamento. Essa relação linear é determinada por uma constante de proporcionalidade chamada viscosidade newtoniana (μ), ou seja, a viscosidade de um fluido newtoniano permanece constante, independentemente da tensão aplicada. Isso significa que o fluido continua a fluir de maneira uniforme, independente da magnitude da tensão de cisalhamento.

A Equação 1 representa a Lei de Newton da viscosidade, sendo τ= tensão de cisalhamento (Pa); μ = viscosidade (Pa.s) e $\dot{\gamma}$ = taxa de cisalhamento (s^{-1}) (Machado, 2012).

$$\tau = \mu.\dot{\gamma} \quad (1)$$

Um fluido newtoniano é o modelo reológico mais simples, porém, a maioria dos alimentos líquidos não apresenta esse comportamento e necessitam de modelos mais complexos para caracterizá-los. De forma geral, os fluidos podem ser classificados com base na sua dependência ou não em relação ao tempo de aplicação da tensão. Os modelos independentes do tempo, como os pseudoplásticos, dilatantes e plásticos de Bingham, apresentam variações na viscosidade aparente com a taxa de cisalhamento, mas sem influência do tempo (Steffe, 1996).

Por outro lado, os modelos dependentes do tempo, como os tixotrópicos (viscosidade decrescente com o tempo sob tensão constante) e os reopécticos (viscosidade crescente com o tempo), exibem mudanças de viscosidade que envolvem tanto a intensidade quanto a duração da tensão aplicada (Rao, 2014).

Na classificação dos fluidos não newtonianos, existem suspensões e géis de pectina que são chamados de alimentos viscoelásticos. No entanto, a reologia da solução de pectina é influenciada por condições ambientais, como concentração, temperatura, açúcares, pH e sais (Silva, 2018; Evageliou; Richardson; Morris, 2000).

Ainda no contexto da elaboração de geleias é um desafio encontrar alternativas que sejam substitutas do açúcar na sua elaboração, devido a sua relação direta com mudanças importantes na cor, sabor, odor, textura e shelf-life (Souza et al., 2013 e Riedel; Böhme; Rohm, 2015).

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o comportamento reológico de geleias de abacaxi elaboradas com diferentes tipos de açúcares, sendo eles, mascavo, demerara, cristal e açúcar de coco.

MATERIAL E MÉTODOS

Para a elaboração das geleias foram utilizados frutos de abacaxi in natura e os açúcares: cristal branco, demerara, mascavo e de coco adquiridos no comércio local na cidade de Medianeira-PR. O ácido cítrico e a pectina de alto teor de metoxilação foram fornecidos pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Medianeira.

Os frutos foram lavados em água corrente com detergente neutro, e imersos durante 5 minutos em água com 200 mg L-1 de hipoclorito de sódio (pH 6,5), a fim de remover resíduos da colheita e microrganismos aderidos à superfície dos frutos. Em seguida, foi realizada a secagem dos mesmos com papel absorvente. Então, os frutos foram descascados e a extração da polpa dos abacaxis foi realizada com o auxílio do liquidificador até que virasse uma mistura homogênea.

Foi elaborada uma formulação (F1) com 50% da polpa de abacaxi, 50% de açúcar cristal, 1% de pectina (referente a massa do açúcar) e 0,65% de ácido cítrico (referente a massa do açúcar) e outras três formulações, substituindo o açúcar cristal pelos açúcares mascavo (F2), demerara (F3) e de coco (F4). A partir de ensaios experimentais preliminares, realizados em diferentes condições, definiu-se o tempo de cocção de 5 min para todas as formulações. Cada formulação foi elaborada em duplicata.

As geleias foram preparadas seguindo as Boas Práticas de Fabricação (Brasil, 1997) e o padrão de identidade e qualidade de geleias (Brasil, 2001) e utilizando as etapas: 1. Higienização dos abacaxis; 2. Extração e pesagem da polpa; 3. Adição do açúcar e da pectina à polpa; 4. Cozimento com adição de ácido cítrico e 5. Acondicionamento.

Após o envase das geleias em frascos de vidro previamente esterilizados, as amostras foram armazenadas a 5 °C até a realização das análises.

A caracterização reológica das amostras de geleia foi realizada utilizando um viscosímetro rotacional Brookfield (Middleboro – MA, USA), modelo LCDC – III ULTRA, equipado com o spindle ASC4-25. As análises foram conduzidas a 20 °C. Para a formulação

F1, a taxa de cisalhamento variou de 1,10 a 8,80 s^{-1}, enquanto para as formulações F2, F3 e F4, a faixa foi de 0,80 a 7,04 s^{-1}. Os ensaios foram realizados com aplicação de rampas de subida e descida da taxa de cisalhamento, permitindo a avaliação do comportamento reológico em diferentes condições de cisalhamento. Para cada valor da taxa de cisalhamento dentro desses intervalos, foram coletados 8 pontos, sendo que, em cada um deles, as medidas de viscosidade e tensão de cisalhamento foram registradas em triplicata.

Para delinear o comportamento reológico das geleias, foram utilizados modelos descritos na literatura e que estão apresentados na Tabela 1. A análise levou em conta a relação entre a taxa de cisalhamento e a tensão de cisalhamento e foram comparadas as viscosidades das formulações.

Tabela 1. Modelos matemáticos utilizados para descrever o comportamento reológico das geleias

Modelo	**Equação**	
Casson	$\tau^{0,5} = \tau_0^{0,5} + K_c \dot{\gamma}^{0,5}$	(2)
Ostwald de Waelle	$\tau = K\dot{\gamma}^{n}$	(3)
Herschel-Bulkey	$\tau = \tau_0 + K\dot{\gamma}^{n}$	(4)
Sisko	$\eta_a = \eta_\infty + K_s \dot{\gamma}^{n_s - 1}$	(5)
Newton	$\tau = \mu\dot{\gamma}$	(6)
Bingham	$\tau = \tau_0 + \mu_B\dot{\gamma}$	(7)

Em que: τ é a tensão de cisalhamento, em Pa; $\tau 0$ é a tensão de cisalhamento inicial, em Pa; $\dot{\gamma}$ é a taxa de cisalhamento, em s^{-1}; μ é a viscosidade, em Pa·s; μ_B é a viscosidade de Bingham, em Pa·s; ηa é a viscosidade aparente, em Pa·s; η_∞ é a viscosidade a uma taxa de cisalhamento infinita, em Pa·s; K, n, n_s são constantes reológicas (índices de consistência e comportamento, adimensional, dos fluidos). Fonte: Vliet; Lyklema (2005).

Foi utilizado como critério de avaliação do ajuste dos dados experimentais aos modelos o valor do coeficiente de determinação (R^2), e o bias factor, determinado pela Equação 8.

$$B_f = 10.\sum \frac{log\frac{yc}{ym}}{n} \quad (8)$$

Em que: ym é o valor experimental, yc é o valor predito pelo modelo; n é o número de observações experimentais.

O bias factor (Bf) é uma medida estatística utilizada para verificar o grau de concordância entre os valores preditos por um modelo e os dados experimentais. Esse parâmetro permite identificar se há tendência de superestimação (Bf > 1) ou subestimação (Bf < 1) por parte do modelo. Valores de Bf próximos de 1 indicam boa adequação dos dados observados ao modelo, sendo geralmente considerados aceitáveis valores na faixa de 0,90 a 1,05 (Barbosa et al., 2020; Bassanezi, 2015).

As características do perfil de textura foram determinadas por meio do texturômetro Stable Micro System, TA.HD.Plus, Godalming, UK, com calibração de uma célula de carga de 5 kgf.

Após realizados testes preliminares, foi utilizado o probe 1'' Radius Cylinder (P/1R) para as análises do perfil de textura (TPA – dureza, adesividade, coesividade e elasticidade), movendo-se o probe a uma velocidade de pré-teste de 3,0 mm/s, velocidade de teste de 2,0 mm/s, velocidade de pós-teste de 10,0 mm/s, com distância da amostra de 20,00 mm e distância de penetração na amostra automática com força aplicada de 10 gf. As amostras foram preparadas com 45 gramas de geleias e realizadas em triplicata para as quatro formulações.

O experimento foi conduzido em delineamento estatístico inteiramente casualizado composto por quatro tratamentos e três repetições por tratamento. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância por meio do programa Infostat.

Para a análise reológica os dados foram obtidos por meio de regressão não-linear, utilizando o software STATISTICA 7.0 que utiliza o método dos quadrados mínimos (Gauss-Newton) para fazer o ajuste dos dados experimentais, utilizando-se o critério de convergência de $1 \cdot 10^{-6}$.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As figuras 1 a 4 apresentam a relação entre a viscosidade e a taxa de cisalhamento para as quatro formulações de geleia. É possível observar comportamentos reológicos distintos, mas com padrão comum de escoamento não newtoniano com a viscosidade variado com a taxa de cisalhamento.

Para todas as formulações, verificou-se redução na viscosidade com o aumento da taxa de cisalhamento, característico de fluidos classificados como pseudoplástico e que indica comportamento de afinamento por cisalhamento. Esse tipo de comportamento é comum em alimentos estruturados, como geleias, devido à orientação e desalinhamento de macromoléculas sob ação de forças de cisalhamento, facilitando o escoamento do fluido (Rao, 2014).

As formulações F1 e F3 apresentaram diminuição acentuada da viscosidade nas taxas mais baixas de

cisalhamento, seguida por estabilização do valor viscoso, ou seja, após o início do escoamento, o sistema atinge uma viscosidade quase constante. Esse comportamento sugere que a estrutura interna do gel é parcialmente rompida, mas tende à estabilidade com o aumento da taxa de cisalhamento.

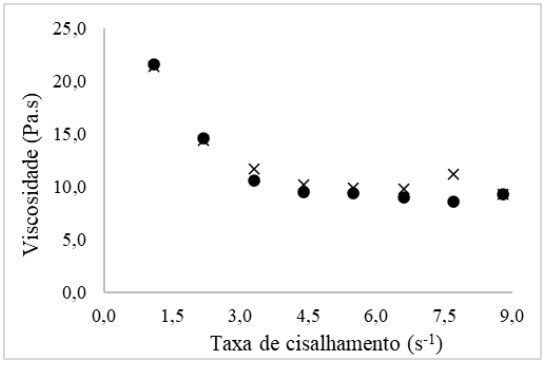


Figura 1. Perfil de viscosidade em relação a taxa de cisalhamento para a geleia elaborada com açúcar cristal (F1). (●) taxas ascendentes; (x) taxas descendentes.

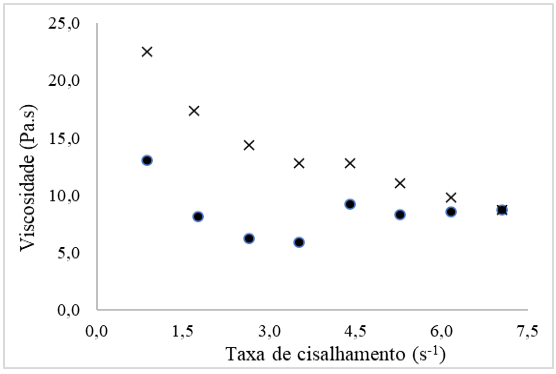


Figura 2. Perfil de viscosidade em relação a taxa de cisalhamento para a geleia elaborada com açúcar mascavo (F2). (●) taxas ascendentes; (x) taxas descendentes.

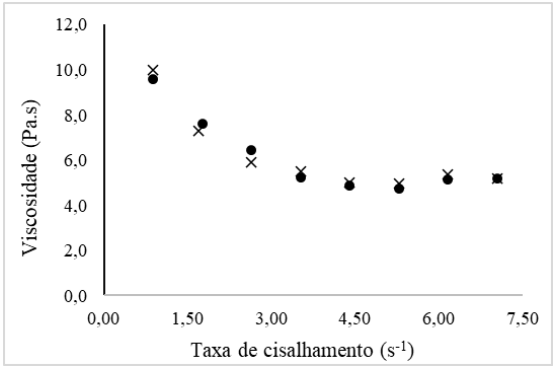


Figura 3. Perfil de viscosidade em relação a taxa de cisalhamento para a geleia elaborada com açúcar demerara (F3). (●) (●) taxas ascendentes; (x) taxas descendentes.

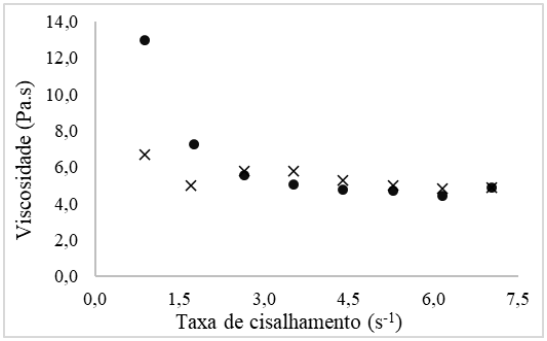


Figura 4. Perfil de viscosidade em relação a taxa de cisalhamento para a geleia elaborada com açúcar de coco (F4). (●) taxas ascendentes; (x) taxas descendentes.

Por outro lado, as formulações F2 e F4 exibiram comportamento semelhante entre si, com redução da viscosidade com o aumento da taxa de cisalhamento, porém sem que seu valor retorne completamente ao valor inicial ao final da rampa de descida. Isso indica uma possível degradação irreversível da estrutura, o que pode ser atribuído à composição dos açúcares utilizados. Açúcares como o mascavo e o de coco, presentes em F2 e F4, não passam por processos de refino, preservando compostos bioativos e minerais provenientes da matéria-prima original, como a cana-de-açúcar ou o coco. A presença desses componentes pode influenciar a formação da rede de gel, bem como sua resistência ao cisalhamento, em função das interações físico-químicas que ocorrem na matriz alimentar (Santos, 2019).

Além disso, o açúcar cristal e o demerara, utilizados nas formulações F1 e F3, são compostos majoritariamente por sacarose com alto grau de pureza, resultado de processos industriais de refino e clarificação, que removem impurezas, minerais e compostos bioativos presentes na matéria-prima original (Couto; Canniatti-Brazaca, 2007). Essa elevada concentração de sacarose confere maior polarização e contribui para a formação de uma rede estrutural mais estável durante o preparo da geleia, o que favorece a manutenção das propriedades viscoelásticas mesmo sob ação de cisalhamento (Rao, 2014).

Ressalta-se que o tempo de cocção das geleias foi de 5 minutos, e nesse intervalo é possível que as formulações com açúcares menos purificados tenham apresentado menor capacidade de formar redes viscoelásticas coesas, uma vez que minerais e compostos fenólicos presentes nesses açúcares podem competir com a pectina e comprometer sua ação gelificante (Nascimento et al., 2021).

O resultado dos ajustes dos modelos aos dados experimentais referentes à subida da rampa (aumento da taxa de cisalhamento) está apresentado na Tabela 2, enquanto a adequação dos dados experimentais aos

modelos na rampa de descida (redução da taxa de cisalhamento) está apresentada na Tabela 3.

Destaca-se que são exibidos apenas os resultados dos modelos que melhor representaram os dados experimentais, a saber: os modelos de Ostwald de Waelle (Lei da Potência), Bingham e Newton.

Tabela 2. Ajuste dos dados experimentais do comportamento reológico das geleias aos modelos de Oswald de Waelle, Bigham e Newton para taxas ascendentes.

Modelo	**Formulações**	**Parâmetros**			
		K	n	R^2	B_f
Ostwald de Waelle $\tau = K\dot{\gamma}^n$	F1	15,092±2,790	0,740±0,099	0,932	0,968
	F2	7,412±1,409	0,773±0,110	0,968	0,942
	F3	18,039±2,564	0,639±0,087	0,926	0,979
	F4	8,384±1,283	0,669±0,093	0,922	0,972
		μ	$\tau 0$	R^2	B_f
Bingham $\tau = \tau_0 + \mu_B\dot{\gamma}$	F1	7,309±0,611	12,072±3,394	0,960	0,994
	F2	-	-	-	-
	F3	7,195±0,599	13,705±2,662	0,960	0,997
	F4	3,585±0,290	6,297±1,290	0,962	0,994
		μ		R^2	B_f
Newton $\tau = \mu\dot{\gamma}$	F1	9,246±0,453		0,875	0,859
	F2	8,721±0,454		0,964	0,987
	F3	9,943±0,586		0,784	0,831
	F4	4,847±0,272		0,812	0,836

Tabela 3. Ajuste dos dados experimentais do comportamento reológico das geleias aos modelos de Oswald de Waelle, Bigham e Newton para velocidades descendentes.

Modelo	**Formulações**	**Parâmetros**			
		K	n	R^2	B_f
Ostwald de Waelle $\tau = K\dot{\gamma}^n$	F1	16,206±2,802	0,757±0,092	0,945	0,975
	F2	21,196±1,306	0,577±0,098	0,983	1,005
	F3	17,444±2,300	0,672±0,080	0,943	0,975
	F4	6,531±0,494	0,846±0,045	0,990	1,010
		μ	τ_0	R^2	B_f
Bingham $\tau = \tau_0 + \mu_B\dot{\gamma}$	F1	8,332±0,696	11,931±3,867	0,960	0,996
	F2	7,265±0,625	16,292±2,777	0,957	1,010
	F3	7,581±0,498	12,814±2,212	0,975	0,995
	F4	-	-	-	-
		μ		R^2	B_f
Newton $\tau = \mu\dot{\gamma}$	F1	10,246±0,470		0,896	0,871
	F2	10,532±0,681		0,714	0,829
	F3	10,151±0,537		0,834	0,840
	F4	5,052±0,129		0,973	0,940

O modelo de Ostwald de Waelle é amplamente utilizado na literatura para representar este tipo de fluido, por sua simplicidade matemática, boa capacidade de ajuste experimental e ampla aplicabilidade em sistemas alimentícios, especialmente em produtos gelificados como geleias (Branco; Gasparetto, 2003). Os fluidos do tipo Bingham apresentam comportamento semelhante ao de um sólido, mantendo-se em repouso caso a tensão externa aplicada seja inferior à tensão de cisalhamento inicial. Esse tipo de fluido, ao ser submetido a uma deformação, encontra resistência devido a presença de uma tensão de cisalhamento inicial ($\tau 0$) (Gallo, 2013). O modelo de Newton descreve um fluxo ideal, existindo uma relação de proporcionalidade entre a taxa de cisalhamento e a tensão de cisalhamento, sendo a viscosidade do fluido (μ) a constante de proporcionalidade entre elas (Mariano, 2017; Silva; Lemos; Viana, 2021).

Para as formulações F1 e F3 os dados experimentais foram melhor representados pelo modelo de Bingham. Esses dados corroboram com o observado na Figura 7, no qual verificou-se que as curvas das duas formulações apresentaram comportamento reológico semelhante com o aumento e a redução da taxa de cisalhamento.

Os dados experimentais da formulação F2 não apresentaram bons ajustes aos modelos utilizados, sendo o melhor ajuste observado para o modelo de Newton para a rampa de subida e para o modelo de Ostwald de Waelle para a rampa de descida, ao considerar, principalmente, o valor do Bf mais próximo da unidade.

Os dados experimentais da formulação F4 foram melhor ajustados ao modelo de Bingham para taxas ascendentes e pelo modelo de Ostwald de Waelle para taxas descendentes.

Essa diferença de modelos para as rampas de subida e descida nas formulações F2 e F4 corrobora com observado nas Figura 2 e 3, pois, a viscosidade dessas amostras não retornou ao valor inicial. Resultados semelhantes foram observados por Nascimento et al. (2021), que analisaram o comportamento reológico de geleias de diferentes frutas produzidas com diferentes açúcares. Os autores relataram redução de viscosidades nas amostras com o açúcar mascavo. Da mesma forma, Silva et al. (2019), observaram que formulações de geleias de maracujá com açúcares menos refinados apresentaram maior degradação estrutural após o cisalhamento, indicando comportamento reológico dependente da história de deformação. Ainda, é importante ressaltar que os dados coletados ficaram limitados a uma faixa de taxa de cisalhamento bastante restrita devido à alta viscosidade das amostras, que limita a aplicação de altas taxas de cisalhamento no viscosímetro utilizado para as análises. Não obstante, foram observados ajustes satisfatórios para as amostras analisadas.

A textura é um campo de estudo dentro da reologia responsável por analisar o comportamento e a deformação de sólidos e fluidos quando submetidos a forças mecânicas (Winopal; Drobny; Schneider-Häder, 2015).

Na Tabela 4 estão apresentados os resultados da análise de textura das quatro formulações de geleia de abacaxi desenvolvidas.

Tabela 4. Perfil de textura das geleias elaboradas.

Formulações	Dureza (g_f)	Adesividade (g.s)	Elasticidade (%)	Coesividade (%)
F1	$2{,}31^{b} \pm 0{,}209$	$-4{,}83^{a} \pm 0{,}113$	$2{,}31^{b} \pm 0{,}209$	$3{,}00^{b} \pm 0{,}003$
F2	$2{,}69^{b} \pm 0{,}213$	$-5{,}51^{b} \pm 0{,}041$	$2{,}69^{b} \pm 0{,}213$	$3{,}00^{b} \pm 0{,}001$
F3	$1{,}44^{c} \pm 0{,}059$	$-6{,}07^{c} \pm 0{,}167$	$1{,}42^{c} \pm 0{,}067$	$14{,}41^{a} \pm 0{,}334$
F4	$3{,}48^{a} \pm 0{,}210$	$-5{,}48^{b} \pm 0{,}340$	$3{,}48^{a} \pm 0{,}210$	$2{,}99^{b} \pm 0{,}002$

Letras diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa entre si pelo Teste de Tukey a 5% de significância.

Os parâmetros de textura podem ser caracterizados, entre outros aspectos, pela dureza, que se refere à força física exercida durante a primeira mordida, ou seja, à força máxima registrada no primeiro ciclo de compressão da amostra (Teixeira, 2009). Com relação à dureza, observou-se que a formulação F4 (com açúcar de coco) apresentou a maior dureza (3,48 gf), sendo estatisticamente superior às demais. As formulações F1 (com açúcar cristal) e F2 (com açúcar mascavo) não diferiram significativamente entre si, com valores de 2,31 e 2,69 gf, respectivamente. Por outro lado, a formulação F3 (com açúcar demerara) apresentou a menor dureza (1,436 gf), diferenciando-se significativamente das demais. Estes resultados são diferentes do apresentado por Curi et al. (2017) em geleias de physalis desenvolvidas com diferentes açúcares, no

qual o menor valor de dureza foi verificado para geleia elaborada com açúcar cristal (0,057 N ou 5,81 gf) e o maior valor para geleia com açúcar mascavo (0,330 N ou 33,65 gf).

A adesividade é um parâmetro textural classificado como uma força negativa, pois corresponde ao trabalho necessário para vencer as forças de atração entre a superfície da amostra e a sonda durante a análise instrumental. Do ponto de vista sensorial, refere-se à força percebida pelo consumidor ao remover os resíduos do alimento aderidos à boca durante o consumo (Menin, 2019; Teixeira, 2009).

Para o parâmetro de adesividade a formulação F1 (com açúcar cristal) apresentou o maior valor de adesividade (-4,83 g.s), sendo este significativamente superior em relação às demais formulações. As formulações F2 (com açúcar mascavo) e F4 (com açúcar de coco) apresentaram valores intermediários de adesividade, -5,51 e -5,48 g.s, respectivamente, não apresentando diferença significativa entre si. Por fim, a formulação F3 (com açúcar demerara) apresentou o menor valor de adesividade (-6,07 g.s), diferindo significativamente das demais formulações. Resultados distintos dos encontrados no presente estudo foram relatados por Curi et al. (2017), ao avaliarem geleias de physalis elaboradas com diferentes açúcares. Os autores observaram que a formulação com açúcar demerara apresentou o maior valor de adesividade (0,224 N ou 22,84 gf), enquanto que as geleias produzidas com açúcar cristal, mascavo e de coco não apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre si. De forma semelhante ao observado por Curi et al. (2017), no presente estudo as formulações elaboradas com açúcar mascavo e de coco também não diferiram significativamente quanto à adesividade, apresentando valores intermediários entre as demais formulações.

Para a elasticidade a formulação contendo açúcar de coco (F4) apresentou a maior média de elasticidade (3,48%), sendo estatisticamente superior às demais formulações (F1, F2 e F3), com médias de 2,31, 2,69 e 1,43%, respectivamente. Resultados distintos foram encontrados por Lemos et al. (2019) em geleias probióticas mistas de jabuticaba e acerola, em que nenhuma das formulações obteve diferenças significativas. Já Curi et al. (2017), produziram geleias de physalis com diferentes açúcares e encontraram o maior valor para a produzida com açúcar mascavo (4,635), diferindo significativamente dos alimentos com açúcares cristal, demerara e coco, que não apresentaram diferenças entre si. A elasticidade, refere-se à capacidade de um produto alimentar retornar à sua forma original após ter sido submetido a uma deformação, como a compressão pelos dentes durante a mastigação (Teixeira, 2009). Esse parâmetro é particularmente relevante em produtos gelificados, como geleias e doces em pasta, pois influencia diretamente a percepção de frescor e qualidade do alimento pelo consumidor (Bourne, 2002).

As formulações F1, F2 e F4 não apresentaram diferenças significativas em termos de coesividade, enquanto a F3 apresentou valor superior (14,41%). Suárez et al. (2021) analisaram o perfil de textura de geleias de amora produzidas com diferentes açúcares e observaram que as formulações com açúcar cristal, demerara e mascavo não deferiram estatisticamente entre si, e a geleia elaborada com açúcar de coco apresentou o menor valor (0,12) para coesividade. A coesividade, que indica a capacidade do alimento de manter sua integridade após deformação, impacta diretamente a percepção sensorial do consumidor. Em geleias, altos valores de coesividade conferem textura mais firme e mastigável, enquanto valores mais baixos resultam em uma estrutura que se desfaz com facilidade na boca, transmitindo uma sensação de leveza ou fragilidade (Szczesniak, 2002).

No presente trabalho, o uso do açúcar demerara apresentou os menores valores para dureza, adesividade e elasticidade, enquanto apresentou o maior valor de coesividade. Isso indica que a geleia formulada com demerara é mais macia (baixa dureza), menos pegajosa (baixa adesividade) e apresenta menor capacidade de retornar à forma original após deformação (baixa elasticidade), tornando-a mais fácil de mastigar (Barros et al., 2019). Já o elevado valor de coesividade reflete uma estrutura interna bem unida, capaz de resistir a deformações sucessivas e manter a integridade do gel durante o consumo (Curi et al., 2014). Com base nisso, pode-se inferir que o açúcar demerara contribui para uma geleia com textura suave, pouco pegajosa, mas estruturalmente estável, características desejáveis do ponto de vista sensorial e de aceitação pelo consumidor.

CONCLUSÃO

Os resultados obtidos neste estudo evidenciaram que a substituição do açúcar cristal por outros açúcares influenciou reológicas das geleias de abacaxi.

As geleias analisadas apresentaram redução da viscosidade com o aumento da tensão de cisalhamento e o comportamento reológico das amostras foram descritas pelos modelos matemáticos de Ostwald de Waelle, Bingham e Newton.

A formulação com açúcar demerara (F3) apresentou perfil de textura com menor dureza, adesividade e elasticidade, além de maior coesividade, indicando uma geleia mais macia, menos pegajosa e com estrutura interna estável. Esses atributos sugerem uma textura sensorialmente agradável, o que pode contribuir positivamente para a aceitação do produto.

Portanto, a escolha do tipo de açúcar é uma estratégia viável para a modulação das propriedades das geleias, possibilitando atender as diferentes demandas do mercado consumidor.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná e à Central Analítica Multiusuário de Medianeira (CEANMED) pelo aporte de laboratórios e equipamentos.

REFERÊNCIAS

BARBOSA, L. N.; SANTOS, M. R.; ALMEIDA, T. F.; COSTA, J. P. Avaliação da acurácia e viés em modelos preditivos. Revista Brasileira de Estatística Aplicada, v. 9, n. 2, p. 45–52, 2020.

BARROS, S. L.; SILVA, W. P.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; ARAÚJO, T. J. Efeito da adição de diferentes tipos de açúcar sobre a qualidade físico-química de geleias elaboradas com abacaxi e canela. Revista Principia - Divulgação Científica e Tecnológica do IFPB, v. 1, n. 45, p. 150, 9 jul. 2019.

BASSANEZI, R. C. Modelagem Matemática: teoria e prática. 1. ed. [S. l.]: Contexto, 2015, 240 p.

BHATTACHARYA, S. N. Rheology: fundamentals and measurements. 1. ed. Australia: Royal Melbourne Institute of Technology, 1997. 156 p.

BISCO, A. P. R., A influência de algumas variáveis sobre a reologia de polpas minerais. 2009. 87 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Minas), Escola de Engenharia da UFMG, Belo Horizonte. 87 p.

BONE, D. P. Watter activity in intermediate moisture foods: developing shelf-stable formulations compatible with flavor, texture, and other aspects of food is a challenge to the food technologist. Food Technology, Chicago, v. 27, n. 4, p. 71-76, 1973.

BOURNE, M. C. Food Texture and Viscosity: Concept and Measurement. 2. ed. San Diego: Academic Press, 2002.

BRANCO, I. G.; GASPARETTO, C. A. Aplicação da metodologia de superfície de resposta para o estudo do efeito da temperatura sobre o comportamento reológico de misturas ternárias de polpa de manga e sucos de laranja e cenoura. Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas, v. 23, p. 166-171, 2003.

BRASIL. Ministério da Saúde. Resolução nº 12, de 30 de março de 1978. Aprova normas técnicas especiais relativas a alimentos e bebidas. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 24 jul. 1978.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria n° 326, de 30 de julho de 1997. Aprova o Regulamento Técnico "Condições Higiênico-Sanitárias e de Boas Práticas de Fabricação para Estabelecimentos Produtores/Industrializadores de Alimentos". Diário Oficial da União, Brasília, DF em 1 ago. 1997.

CASTRO, A. G. A Química e a reologia no processamento dos alimentos. 2. ed. Porto Alegre: Instituto Piaget, 2004. p. 32-57.

COUTO, M. A. L.; CANNIATTI-BRAZACA, S. G. Composição de açúcares e sua contribuição na qualidade nutricional e funcional de alimentos. Revista do Instituto Adolfo Lutz, São Paulo, v. 66, n. 2, p. 123–130, 2007.

CURI, P. N.; CARVALHO, C. dos S.; SALGADO, D. L.; PIO, R.; PASQUAL, M.; SOUZA, F. B. M.; SOUZA, V. R. Influence of different types of sugars in physalis jellies. Food Science and Technology, v. 37, n. 3, p. 349–355, jul./set. 2017. DOI: https://doi.org/10.1590/1678-457X.08816.

DAK, M.; VERMA, R. C.; JAAFFREY, S. N. A. Effect of temperature and concentration on rheological properties of ‘Kesar’ Mango Juice. Journal of Food Engineering, Essex, v. 80, p. 1011-1015, 2007.

ELIAS, L. P.; TORRES, L. B. de V. Emprego do açúcar demerara na elaboração de geleia de laranja com cranberry (Vaccinium macrocarpon). Nutrivisa - Revista de Nutrição e Vigilância em Saúde, Fortaleza, v. 4, n. 2, p. 48–60, 2017. DOI: 10.59171/nutrivisa-2017v4e9025.

EMBRAPA. Abacaxi. In: EMBRAPA. Brasil em 50 alimentos. [S. l.: s. n.], 2023. p. 19-24.

EVAGELIOU, V.; RICHARDSON, R. K.; MORRIS, E. R. Effect of pH, sugar type and thermal annealing on high-methoxy pectin gels. Carbohydrate Polymers, v. 42, n. 3, p. 245–259, jul. 2000.

GALLO, J. Avaliação do comportamento reológico e das propriedades sensoriais de molhos comerciais para salada tratados por irradiação. 2013. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear) — Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013. 93 p.

GUILLET, A. On the non-hookean elastic behavior of iron whiskers at high strain. Materials Letters, Amsterdam, v. 64, p. 2148-2150, 2010.

GUNASEKARAN, S.; AK, M. M. Dynamic oscillatory shear testing of foods-selected applications. Trend in Food Science & Technology, Cambridge, v. 11, p. 115-127, 2000.

LEMOS, D. M.; ROCHA, A. P. T.; GOUVEIA, J. P. G.; OLIVEIRA, E. N. A.; SOUSA, E. P.; SILVA, S. F. Elaboração e caracterização de geleia prebiótica mista de jabuticaba e acerola. Brazilian Journal of Food Technology, Campinas, v. 22, p. 1-13, e2018098, 2019.

LIVI, C. P. Fundamentos de fenômenos de transporte: um texto para cursos básicos. 2. ed. Rio de Janeiro: LCT, 2004, 224 p.

LOPES, R. L. T. Fabricação de geleias. Belo Horizonte: Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais – CETEC, 2007. 41 p.5.

MACHADO, C. D. Análise reológica de doce de manga enriquecido com resíduos provenientes do processamento da polpa. 2012. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012. 31 p.

MARIANO, R. Efeito da adição do pó de retífica de compósitos fenólicos nas propriedades de matrizes cimentícias. 2017. Dissertação (Pós-graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2017. 131 p.

MENIN, D. Desenvolvimento e caracterização de geleia de feijoa (Acca sellowiana) com redução de teor de açúcar. 2019. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 17 dez. 2019. 99 p.

NASCIMENTO, R. F.; LIMA, M. A. L.; SILVA, R. M. A.; OLIVEIRA, M. A. L.; SOUSA, M. M. M. Avaliação reológica de geleias elaboradas com diferentes açúcares e polpas de frutas. Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, v. 23, n. 2, p. 211–219, 2021.

NETO, A. A. O. A participação do abacaxi no desenvolvimento econômico nas regiões produtoras: Superintendência de Informações do Agronegócio, Gerência de Informações Técnicas. Compêndio de estudos Conab, [s. l.], v. 24, 2020.

RAO, M. A. Rheology of Fluid and Semisolid Foods: Principles and Applications. 2 ed. New York: Springer, 2014. p. 481.

RIEDEL, R.; BÖHME, B.; ROHM, H. Development of formulations for reduced-sugar and sugar-free agar-based fruit jellies. International Journal of Food Science & Technology, v. 50, n. 6, p. 1338–1344, 7 abr. 2015.

SAKAMOTO, C. A. C.; GONÇALVES, C. A. A.; TEIXEIRA, L. L.; GONÇALVES, F. M. Geleia de abacaxi: elaboração utilizando polpa e parte não convencional. Boletim Técnico IFTM. 2015. v.1, n. 1, p. 6–11.

SANTOS, J. M. dos. Composição físico-química e perfil elementar de açúcar mascavo brasileiro. Tese (Doutorado em Química. Área de concentração: Química Analítica) - Universidade Estadual do Centro-Oeste, 2019. 177 p.

SILVA, J. R. G. Estudo fisico-químico da farinha e pectina do mesocarpo do maracujá e reologia de geis de sistemas-modelo. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2018. 69 p.

SILVA, J. S.; VITAL, R. E.; PRADO, A. V.; SANTOS, R. G.; VIANA, G. B.; MOTA, R. V. Avaliação físico-química e sensorial de geleia de abacaxi, elaborada a partir da pectina do maracujá e comercial. In: Meio ambiente: Inovação com Sustentabilidade 2. [s.l.] Atena Editora, 2019. p. 263–272.

SILVA, M. M. DA; LEMOS, B. R. S.; VIANA, M. M. Estudo das propriedades reológicas de nanofluidos à base de etilenoglicol e óxido de grafeno. Matéria (Rio de Janeiro), v. 26, n. 2, p. 1–10, 2021.

SOUZA, V. R. de; PEREIRA, P. A. P.; PINHEIRO, A. C. M.; BOLINI, H. M. A.; BORGES, S. V.; QUEIROZ, F. Analysis of various sweeteners in low-sugar mixed fruit jam: equivalent sweetness, time-intensity analysis and acceptance test. International Journal of Food Science & Technology, v. 48, n. 7, p. 1541–1548, jul./set. 2013.

SOUZA, E. R. DOS S.; FERREIRA, E. E. C.; SENA, J. C. DE A. Manual Técnico - Cultivo do Abacaxi. Marituba: [s.n.]. 2023. 35 p.

STEFFE, J. F. Rheological Methods in food process engineering. 2. ed. Michigan: Freeman Press, 1996. 418 p.

SZCZESNIAK, A. S. Texture is a sensory property. Food Quality and Preference, [S. l.], v. 13, n. 4, p. 215–225, 2002.

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

THÉ, P. M. P. Quais as propriedades medicinais do abacaxi? As enzimas da fruta são mesmo responsáveis pela quebra de moléculas de gordura e proteína? Revista Ciência Hoje, [S. l.], v. 39, n. 229, p. 4 ago. 2006.

TONELI, J. T. C. L.; MURR, F. E. X.; PARK, K. J. Estudo da reologia de polissacarídeos utilizados na indústria de alimentos. Revista Brasileira de

Produtos Agroindustriais, v. 7, n. 2, p. 181–204, 30 dez. 2005.

VASQUES, C. T. Reologia do suco de goiaba: efeito da diluição e do tamanho de partícula. 2003. 74 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) -Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003. 64 p.

VLIET, T. V.; LYKLEMA H. Rheology. In: LYKLEMA, J. (Editor), Fundamentals of interface and colloid science, v. 4, Elsevier, 2005, p. 61-688.

WINOPAL, D. DROBNY, L. SCHNEIDER-HÄDER, B. Instrumental sensory testing in the food industry. DLG-Expert report, 2015.