

Caracterização físico-química da polpa de bacaba e avaliação do comportamento reológico das suas suspensões

RESUMO

A bacaba é uma palmeira tropical nativa da Amazônia e possui um alto potencial de exploração. Seus frutos são consumidos na forma de polpa, de cor creme-leitosa e de sabor agradável. A caracterização da polpa foi realizada segundo os parâmetros físico-químicos de pH, umidade, cinzas, fibra alimentar, proteínas, lipídeos, carboidratos totais e valor energético. O comportamento reológico das suspensões foi avaliado através de um viscosímetro rotacional na temperatura de 25°C e os modelos reológicos de Ostwald-de-Waele, Herschel-Bulkley, Mizrahi-Berk e Plástico de Bingham foram ajustados aos reogramas construídos a partir dos dados experimentais obtidos. A polpa de bacaba apresentou um caráter levemente ácido, pH médio de $5,27 \pm 0,01$, e elevados valores de umidade ($84,29 \pm 1,05 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$), lipídeos ($9,10 \pm 0,58 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$), fibra alimentar ($5,60 \pm 0,40 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$) e valor energético ($106,62 \pm 9,45 \text{ kcal } 100 \text{ g}^{-1}$). As suspensões de bacaba na sua totalidade exibiram características pseudoplásticas. O modelo reológico de Ostwald-de-Waele foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais para todas as suspensões, apresentando coeficientes de determinação acima de 95% e desvios médios relativos abaixo de 5%. A polpa de bacaba pura e diluída expôs indícios de comportamento de fluido dependente do tempo. A diluição e a adição de maltodextrina propiciaram a diminuição da viscosidade aparente em comparação a polpa de bacaba pura. As suspensões de bacaba, exceto a bacaba pura, não apresentaram modificações de viscosidade aparente, em taxas de deformações aplicadas acima de 100 s^{-1} .

PALAVRAS-CHAVE: *Oenocarpus bacaba* Mart. Composição centesimal. Reologia.

Rafael Alves do Nascimento

rafaelnascimento@gmail.com
orcid.org/0000-0002-5803-9042
Universidade Federal do Pará, Belém, Pará, Brasil.

Elisângela Lima Andrade

elisangelalimandrade@gmail.com
orcid.org/0000-0002-9963-266X
Universidade Federal do Pará, Belém, Pará, Brasil.

Elza Brandão Santana

santanaeb@yahoo.com.br
orcid.org/0000-0001-7726-5865
Universidade Federal do Pará, Belém, Pará, Brasil.

Cristiane Maria Leal Costa

cristianemcosta@gmail.com
orcid.org/0000-0002-3451-1234
Universidade Federal do Pará, Belém, Pará, Brasil.

Lênio José Guerreiro de Faria

leniojofaria@gmail.com
orcid.org/0000-0002-9534-9998
Universidade Federal do Pará, Belém, Pará, Brasil.

INTRODUÇÃO

A Bacaba (*Oenocarpus bacaba* Mart.), espécie pertencente à família botânica Arecaceae, é uma palmeira nativa da região Amazônica, com alto potencial de exploração. O seu fruto é processado comumente na forma de polpa e apreciado em nível regional, tanto pela sua coloração característica como pelo seu sabor exótico (Shanley e Medina, 2005).

Regionalmente a polpa de bacaba assumiu um papel importante de substituição e até mesmo de competição com a polpa de açaí (*Euterpe oleracea* Mart.), principalmente em decorrência do processo de intermitência das safras. A safra do açaí se concentra nos meses de agosto a janeiro e a entressafra de fevereiro a julho. O inverso ocorre com a bacaba (Nogueira e Santana, 2011). Nesse sentido, a ingestão deste alimento tornou-se uma alternativa ao consumidor final que muitas vezes devido à ausência ou o alto preço do açaí, procura substituí-lo. Apesar de ser um produto difundido na região amazônica, pouco se tem estudado com relação as suas propriedades físico-químicas. Assim, destacam-se os estudos de Seixas et al. (2016) e Neves et al. (2015) que caracterizam a bacaba como um alimento levemente ácido, com elevados teores de lipídios e fibras.

A caracterização físico-química é um parâmetro importante para o conhecimento de potenciais matérias-primas, estudo da avaliação nutricional e consequente agregação de valor ao produto ou derivado (Souza et al. 2012). Acrescido a isso, a escassez de dados de literatura, com relação à polpa de bacaba, incentiva a pesquisa e a recente busca por informações a respeito de sua utilização na indústria alimentícia.

As polpas de frutas podem ser consideradas produtos formados por partículas sólidas disseminadas em um meio aquoso. Devido ao seu beneficiamento industrial, esses sistemas alimentares são expostos a vários tipos de tensão, provocadas pelo escoamento através de tubulações, bombas, trocadores de calor, misturadores, filtros, entre outros equipamentos de processamento (Moura et al. 2016; Diamante e Umemoto, 2015). Neste contexto, o comportamento reológico de polpas de frutas é uma propriedade essencial para características futuras de projetos como dimensionamento de equipamentos e bombeamento, além de ser um parâmetro importante no

controle de qualidade, na análise sensorial, no desenvolvimento de novos produtos, bem como no entendimento do seu comportamento estrutural (Keshani et al. 2012; Steffe, 1996).

Dentre a gama de polissacarídeos utilizados como aditivo na indústria alimentícia, a maltodextrina se destaca pela capacidade de reproduzir a sensação provocada pela gordura devido à rede tridimensional que é formada, durante o seu processo de gelificação, assim, é considerada um dos substitutos da gordura mais utilizados nos últimos 25 anos (Nicoletti e Telis, 2009; Loret et al. 2004). Além disso, devido às suas características físicas, tais como alta solubilidade e baixa viscosidade, sua aplicação é notória na indústria de alimentos principalmente na função de agente de secagem (Cano Chauca et al., 2005). Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi caracterizar físico-quimicamente a polpa de bacaba e avaliar o comportamento reológico de suas suspensões.

METODOLOGIA

MATERIAL

Foram utilizados como matérias primas neste trabalho, maltodextrina MOR-REX 1910 (DE10) produzida pela empresa Get do Brasil, localizada no RJ/Brasil e polpa de bacaba (*Oenocarpus bacaba* Mart.) processada em uma microempresa denominada “Açaí laçã”, localizada em Belém-PA. Os frutos de bacaba são oriundos da cidade de Oeiras do Pará, localizado ao norte do estado, na microrregião de Cametá.

Todo o processamento da polpa deu-se de acordo com as normas higiênic-sanitárias previstas em decreto estadual (PARÁ, 2012), para obtenção de polpa de bacaba com teor de sólidos acima de 14%, tipo A (especial), assumindo o PIQ (Padrão de Identidade e Qualidade) para a polpa de açaí (Brasil, 2000), uma vez que para a bacaba ainda não existe padronização. Após o envase, efetuou-se o transporte das polpas em caixas de isopor para o Laboratório de Corantes (LABCOR) presente na Faculdade de Engenharia Química da Universidade Federal do Pará (FEQ/UFPa). O tempo médio de transporte foi em torno de 15 min. No laboratório, as polpas de bacaba foram acondicionadas em freezer a uma temperatura de -16 °C, sendo posteriormente descongeladas de acordo com os eventuais procedimentos.

CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA POLPA DE BACABA

Análises de pH, umidade, cinzas, fibra alimentar, proteínas, lipídeos, carboidratos totais e valor energético foram realizadas para a caracterização de polpa de bacaba utilizada nesse estudo. As técnicas de cada uma das análises seguiram a metodologia proposta pela AOAC (1997). Todas as análises foram realizadas em triplicata.

FORMULAÇÕES DAS SUSPENSÕES

Foram elaboradas formulações compostas por polpa de bacaba pura (BP), diluída (BD) e diluída com adição de maltodextrina nas proporções de 15 (BD15), 20 (BD20) e 25 % (BD25). A suspensão BP foi diluída na proporção 3:1 (v/v), a fim de se obter a pasta BD com 11 a 14% de sólidos totais, que segundo a PIQ para a polpa de açaí (Brasil, 2000) a classificaria como tipo B, médio. A quantidade de maltodextrina adicionada nas pastas foi calculada baseando-se na massa total das suspensões, previamente fixada em 150 g. As suspensões foram homogeneizadas em agitador mecânico (Fisaton, modelo 710, Brasil) até completa dissolução dos componentes.

Todas as suspensões foram submetidas a análises de concentração de sólidos, determinada por método direto em estufa com circulação de ar a temperatura de 105 ± 2 °C, por 24h. A massa específica foi determinada utilizando o método de picnometria líquida, empregando picnômetros de 25 mL previamente calibrados (AOAC, 1997). Ambas as análises foram realizadas em triplicata.

MEDIDAS REOLÓGICAS

As medidas reológicas das pastas foram realizadas em viscosímetro rotacional modelo HAAKE VT 550 (Thermo Fischer Scientific, EUA) provido de cilindros coaxiais copo SV e SV1 na temperatura de 25 °C.

O tempo de corrida programado para cada ensaio foi de aproximadamente 420 s. Os ensaios de curvas de escoamento foram realizados dentro do intervalo de taxas de deformação entre 0 e 210 s^{-1} em ciclo crescente e decrescente para avaliar a tixotropia das pastas. Todos os ensaios foram realizados em triplicata, com uma nova amostra para cada repetição, a fim de evitar-se o efeito temporal.

Os dados de viscosidade (η), tensão de cisalhamento (σ) e taxa de deformação (γ) foram obtidos utilizando-se do software Rheowin (versão 2.94 Pro, Thermo Electron Corporation, EUA).

Os diferentes modelos de escoamento propostos por Ostwald-de-Waele, Herschel–Bulkley, Mizrahi–Berk e Plástico de Bingham (Steffe, 1996) foram ajustados aos dados da curva crescente de tensão em função da taxa de deformação por meio do Software *Statistica* (versão 7.0, Statsoft– USA). Como estatísticas de avaliação da qualidade dos ajustes, foram utilizados o coeficiente de determinação (R^2) e os desvios relativos médios (DMR) de acordo com a Equação 1, na qual, N é o número de experimentos e V_e e V_p são os valores experimentais e preditos respectivamente.

$$DMR = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|V_e - V_p|}{V_e}$$

Equação 1

A viscosidade aparente das pastas (η_{ap}) foi calculada com base nos dados experimentais de tensão e taxa de deformação segundo a Equação 2 e seu comportamento foi analisado em relação a taxa de deformação, a fim de se avaliar a suposta pseudoplasticidade das amostras.

$$\eta_{ap} = \frac{\tau}{\gamma}$$

Equação 2

RESULTADOS E DISCUSSÃO

COMPOSIÇÃO FÍSICO-QUÍMICA

A polpa de bacaba em sua composição (Tabela 1) apresentou um pH médio de 5,28 podendo ser caracterizada como levemente ácida segundo a classificação proposta por Araújo (2004). A água foi o componente majoritário da polpa (84,29 g 100 g⁻¹), determinando a característica fluida deste produto.

Analisando o teor de sólidos totais (15,71 g 100 g⁻¹ de polpa), e comparando ao PIQ para o açaí, a polpa de bacaba seria classificada como pertencente ao tipo A (especial), cujo teor de sólidos totais é acima de 14% (BRASIL, 2000). Esses

resultados são próximos aos propostos por Canuto et al. (2010) para polpa de bacaba procedente da região amazônica, cujo teor de umidade foi de 87,6%, e pH de 5,3.

Tabela 1 – Caracterização físico-química da polpa de bacaba

Análises*	Resultados \pm desvio-padrão
pH	5,27 \pm 0,01
Umidade (g 100 g ⁻¹)	84,29 \pm 1,05
Proteínas (g 100 g ⁻¹)	2,67 \pm 0,22
Lipídeos (g 100 g ⁻¹)	9,10 \pm 0,58
Cinzas (g 100 g ⁻¹)	0,36 \pm 0,04
Fibra (g 100 g ⁻¹)	5,60 \pm 0,40
Carboidratos Totais (g 100 g ⁻¹)	3,51 \pm 0,34
Valor energético (kcal 100 g ⁻¹)	106,62 \pm 9,45

*base úmida

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

O teor de lipídeos quantificado corresponde a aproximadamente 16,5% da Ingestão Diária Recomendada (IDR) de gorduras totais (55 g), segundo a RDC nº 360 (Brasil, 2003). Dessa maneira, a polpa pode ser caracterizada como fonte deste constituinte. Essa constatação é ratificada por alguns autores que indicam o potencial do fruto para a extração de óleo (Seixas et al. 2016; Meyer 2013), inclusive para utilização na indústria alimentícia (Guimaraes, 2013). Nos seus respectivos estudos para a bacaba, Fernandes (2015) e Canuto et al (2010) quantificaram conteúdos lipídicos de 9,45 e 7,4 g 100 g⁻¹, respectivamente. Estes valores são superiores e inferiores ao conteúdo lipídico quantificado no presente trabalho e estratificado na Tabela 1. Talvez esta diferença ocorra em função do teor de sólidos totais, uma vez que a polpa utilizada por Fernandes (2015) e Canuto et al (2010) são do tipo A e B (utilizando o PIQ para o açaí) respectivamente.

Destaca-se também na Tabela 1 o elevado teor de fibra alimentar que corresponde a aproximadamente 22,4% da IDR (25g) segundo a RDC nº 360 (Brasil, 2003). De acordo com Derivi e Mendez (2001) as fibras podem contribuir para a prevenção de certas enfermidades, como diverticulite, câncer de cólon, obesidade, problemas cardiovasculares e diabetes. Além disso, o alto teor de fibras da polpa permite que o material resultante de uma futura extração do óleo possa ser incorporado na elaboração de produtos ou matrizes alimentícias.

Para a polpa de bacaba, o teor quantificado de 106,62 kcal 100 g⁻¹, não o caracteriza como um alimento de baixo valor energético (máximo de 40 kcal 100 g⁻¹ de alimento ou produto) segundo a RDC nº 54 (Brasil, 2012). Para efeito de comparação, a polpa de açaí, com e sem adição de xarope de guaraná e glucose apresenta um valor energético de 110 e 58 kcal 100 g⁻¹ respectivamente (Nepa, 2011). Portanto, a polpa de bacaba utilizada nesse estudo apresentou um valor energético superior à polpa de açaí e bem próximo à polpa de açaí adicionada com xarope de guaraná e glucose, amplamente utilizada na dieta de atletas.

Em seu estudo, Fernandes (2015) quantificou um valor energético de 97,13 kcal 100 g⁻¹ para a polpa de bacaba, portanto, inferior ao do presente trabalho. Essa diferença pode ser um indicativo de suposta influência da variabilidade genética e das condições edafoclimáticas na análise físico-química, uma vez que estes frutos processados são provenientes de regiões diferentes.

AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO REOLÓGICO

Os resultados das análises de concentração de sólidos e massa específica das suspensões de bacaba estão expressos na Tabela 2. Observa-se que a diluição da suspensão BP em BD ocasionou uma diminuição da concentração de sólidos, em virtude da adição de água na polpa de bacaba pura. Nota-se também a influência da maltodextrina no aumento da concentração de sólidos e massa específica, como consequência da adição percentual desse polissacarídeo.

Tabela 2 – Análises das suspensões de bacaba

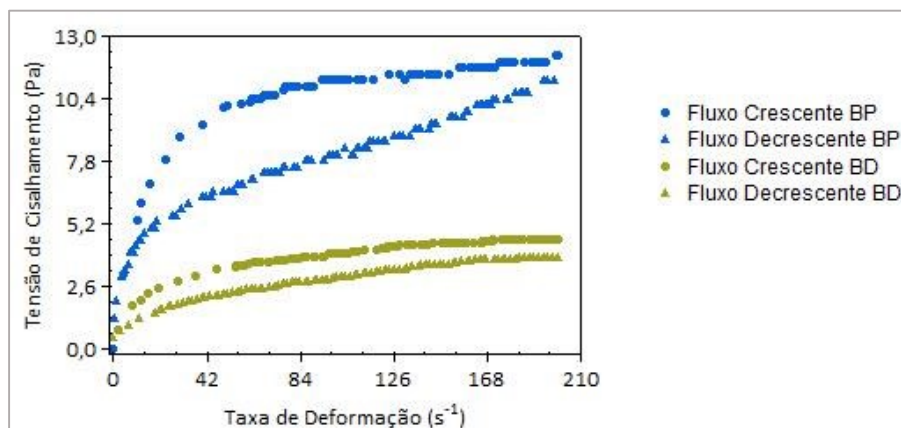
Análises	BP	BD	BD15	BD20	BD25
Concentração de Sólidos (%)	15,71 ± 0,91	11,08 ± 0,52	20,17 ± 0,36	25,60 ± 0,03	28,25 ± 0,15
Massa específica (g cm ⁻³)	1,15 ± 0,01	1,12 ± 0,01	1,18 ± 0,01	1,19 ± 0,01	1,21 ± 0,01

*valores médios ± desvio-padrão

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

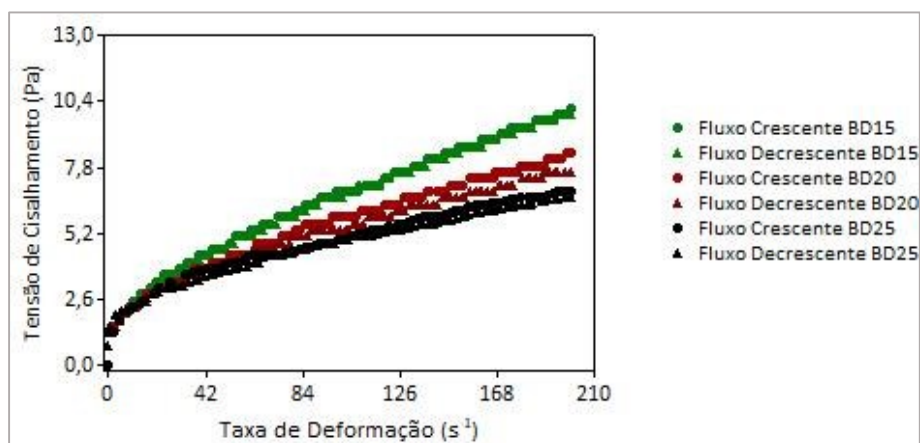
O comportamento reológico experimental das suspensões BP, BD, BD15, BD20 e BD25 são apresentados nas Figuras 1 e 2.

Figura 1 – Curvas de fluxo para as pastas BP e BD.



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Figura 2 – Curvas de fluxo para as pastas BD15, BD20 e BD25.



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Observou-se uma mudança significativa entre as curvas de fluxo crescente (taxa de 0 a 210 s^{-1}) e as curvas de fluxo decrescente (taxa de 210 a 0 s^{-1}), nas pastas BP e BD (Figura 1). A diferença entre as áreas de fluxo é denominada histerese cuja presença é característica em fluidos tixotrópicos (Mewis e Wagner, 2009). Analisando a Tabela 3 observa-se que a amostra BP sofreu um dano estrutural mais significativo durante o cisalhamento em detrimento a BD, pois segundo Barnes (1997) quanto maior a área compreendida entre as curvas, maior o efeito tixotrópico.

Tabela 3 – Cálculo das áreas bob as curvas dos reogramas

Amostras	Área Crescente (Pa s^{-1})	Área Decrescente (Pa s^{-1})	Diferença (Pa s^{-1})
BP	2142	1568	574,5
BD	738,1	572,3	165,8

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Essa característica é importante uma vez que em tais fluidos a viscosidade tende a voltar ao seu valor inicial após cessar a aplicação de uma força de cisalhamento em um determinado tempo. Isso se deve provavelmente a transformação isotérmica reversível “sol-gel” e as interações entre açúcares solúveis, substâncias pécnicas e os sólidos suspensos presentes nesses alimentos (Barnes, 1997).

Na literatura, grande parte dos fluidos alimentícios como emulsões, “ketchup”, mostarda, suco de tomate, purê de banana, e polpa de frutas apresentam comportamento reológico dependente do tempo (Saravacos e Kostaropoulos, 1995).

De acordo com Tracton (2005) e Kramer e Twigg (1962) a maioria dos fluidos tixotrópicos também podem apresentar características pseudoplásticas. Dessa maneira foi analisado também o comportamento reológico das pastas BP e BD com relação a não dependência do tempo, a fim de se avaliar a suposta pseudoplasticidade dessas pastas. As pastas BD15, BD20 e BD25 não apresentaram histerese (Figura 2), portanto sem indícios de tixotropia, dessa maneira o comportamento dessas pastas foi avaliado através de modelos reológicos independentes do tempo.

De acordo com a Tabela 4, verificou-se que a maioria dos modelos apresentou coeficiente de determinação maior que 90%, exceto os ajustados pelo modelo de Plástico de Bingham e Mizrahi-Berk para a pasta BP, cujo valor de R^2 foi de 0,788 e 0,896 respectivamente.

Considerando as duas estatísticas de avaliação, DMR e R^2 , observaram-se algumas peculiaridades na adequação dos modelos aos dados experimentais. No primeiro momento, analisando somente a pasta BP, os modelos de Ostwald-de-Waele e Herschel-Bulkley apresentaram melhores ajustes levando em consideração os maiores valores de R^2 e os menores desvios médios relativos. O coeficiente de determinação para ambos os modelos foi maior que 95%, indicando a porcentagem das variabilidades experimentais explicáveis pelo modelo proposto. Entretanto, de acordo com a Tabela 4.7, o modelo de Herschel-Bulkley propõe um ajuste para a tensão inicial (τ_0) de valor negativo, o que fisicamente é inexplicável. Este fato também pode ser analisado no gráfico da Figura 1, onde se observa que a curva (fluxo crescente) da polpa de bacaba, não

possui uma tensão inicial. Dessa maneira, conclui-se que o modelo de Ostwald-de-Waele é o mais indicado para ajuste da pasta BP, pois não leva em consideração tal parâmetro, além de ser um modelo mais simples (bi-paramétrico).

Tabela 4 – Parâmetros reológicos para as suspensões de bacaba

Ostwald-de-Waele ($\tau = k\dot{\gamma}^n$)					
Parâmetros	BP	BD	BD15	BD20	BD25
k	4,060 ± 0,10	1,086 ± 0,05	0,844 ± 0,09	0,666 ± 0,14	0,617 ± 0,04
n	0,211 ± 0,08	0,279 ± 0,02	0,391 ± 0,05	0,471 ± 0,12	0,521 ± 0,04
R^2	0,960	0,994	0,995	0,996	0,998
DMR (%)	4,855	1,910	2,736	3,671	1,420
Herschel-Bulkley ($\tau = \tau_0 + k_H \dot{\gamma}^n$)					
Parâmetros	BP	BD	BD15	BD20	BD25
k_H	186,4 ± 0,08	1,247 ± 0,07	0,668 ± 0,03	0,314 ± 0,05	0,424 ± 0,03
n	0,010 ± 0,06	0,261 ± 0,03	0,427 ± 0,04	0,592 ± 0,02	0,582 ± 0,02
τ_0	-185,0 ± 0,02	-0,23 ± 0,03	0,343 ± 0,01	0,957 ± 0,02	0,569 ± 0,01
R^2	0,970	0,994	0,995	0,999	0,999
DMR (%)	3,514	2,604	3,517	1,807	2,811
Plástico de Bingham ($\tau = \tau_0 + \mu_p \dot{\gamma}$)					
Parâmetros	BP	BD	BD15	BD20	BD25
μ_p	0,023 ± 0,14	0,013 ± 0,09	0,023 ± 0,08	0,003 ± 0,07	0,040 ± 0,08
τ_0	8,143 ± 0,10	2,420 ± 0,08	2,491 ± 0,05	2,377 ± 0,07	2,445 ± 0,06
R^2	0,788	0,921	0,970	0,986	0,986
DMR (%)	8,240	6,207	5,627	5,488	6,004
Mizrahi-Berk ($\tau^{0,5} = \sqrt{\tau_0 + K_M \dot{\gamma}^n}$)					
Parâmetros	BP	BD	BD15	BD20	BD25
k_M	2,003 ± 0,08	1,032 ± 0,05	0,912 ± 0,10	0,270 ± 0,07	0,764 ± 0,06
n	0,105 ± 0,06	0,140 ± 0,07	0,196 ± 0,09	0,380 ± 0,08	0,260 ± 0,10
τ_0	0,000 ± 0,04	0,000 ± 0,04	0,000 ± 0,07	0,705 ± 0,09	0,006 ± 0,08
R^2	0,896	0,996	0,992	0,999	0,998
DMR (%)	4,876	0,854	1,433	0,782	1,174

τ : tensão de cisalhamento; $\dot{\gamma}$: taxa de deformação; n : índice de comportamento; K : índice de consistência; τ_0 : tensão inicial; μ_{PB} : viscosidade dinâmica plástica; K_H : índice de consistência de Herschel-Bulkley; K_M : índice de consistência de Mizrahi-Berk.

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

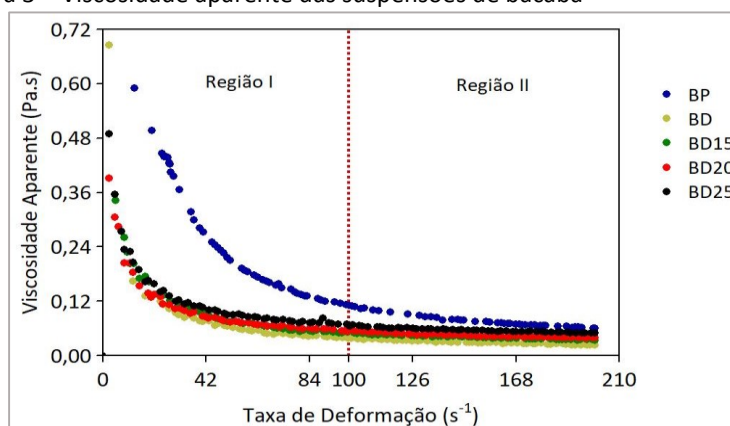
Para as demais pastas analisadas, levando em consideração as estatísticas R^2 e DMR, observou-se que os modelos de Mizrahi-Berk e Ostwald-de-Waele melhor se ajustaram aos dados experimentais, visto que os valores de R^2 foram acima de 0,99 e os desvios médios relativos menores que 4%.

Ambos os modelos são descritos na literatura como capazes de descrever o comportamento reológico de polpa de frutas (Diamante e Umemoto, 2015; Steffe, 1996). Entretanto, o modelo de Ostwald-de-Waele foi o que melhor atendeu as especificidades reológicas, pois as curvas dos pontos experimentais

(fluxo crescente) referente às pastas BD, BD15, BD20 e BD25, não apresentaram tensão inicial (τ_0), e o modelo Ostwald-de-Waele não leva em consideração tal parâmetro. Além disso, corrobora com a escolha, a singularidade do modelo em descrever acima de 95% o comportamento reológico da polpa de bacaba *in natura*, diluída e com adições de maltodextrina, além de que, sua característica bi-paramétrica em detrimento a outros modelos facilita um futuro cálculo de projeto e o posterior controle de otimização de processos na indústria de alimentos.

O índice de comportamento (n) ajustado, menor do que a unidade indica uma suposta característica pseudoplástica desses fluidos. Com o intuito de se confirmar a pseudoplasticidade das suspensões de bacaba, pôs-se em gráfico a viscosidade aparente versus a taxa de deformação. As curvas podem ser visualizadas na Figura 3, onde é observado que a viscosidade de todas as suspensões diminuiu com o aumento das taxas de deformação. Esta característica é singular de fluidos pseudoplásticos.

Figura 3 – Viscosidade aparente das suspensões de bacaba



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

As amostras BP e BD apresentaram maiores e menores valores de viscosidade aparente, respectivamente. O comportamento apresentado, possivelmente é em decorrência do efeito de diluição e conseqüente diminuição do teor de lipídios, que ocasiona o decaimento da viscosidade conforme preconizam os estudos de Rao (2010).

Dentre as pastas adicionadas com maltodextrina, a pasta BD25 apresentou maior viscosidade, supostamente devido ao maior teor de sólidos disponíveis (Rao, 2010). Resultados similares foram encontrados para a polpa de umbu-cajá

(Fernandes et al. 2008) cujas pastas com maior concentração de maltodextrina apresentaram maior viscosidade.

No entanto, em comparação com a polpa de bacaba pura, as pastas adicionadas de maltodextrina exibem menor viscosidade. Esse comportamento provavelmente se deve as duas principais propriedades funcionais desse polissacarídeo: a capacidade de espessamento e a promoção da dispersibilidade (Toneli, Murr e Park, 2005), fazendo com que essas pastas apresentassem viscosidade aparente menor que a pasta BP apesar de seu maior teor de sólidos (Tabela 2). Essa mesma característica foi observada nos estudos de Benedetti (2010) para a polpa de caqui adicionada de maltodextrina, cuja justificativa foi baseada em seu suposto efeito lubrificante.

Observam-se ainda na Figura 3 duas regiões distintas capazes de descrever o comportamento reológico segundo Scharramm (2000). Na região I, a viscosidade diminui como resultado de uma orientação molecular ou das partículas. À medida que a taxa de deformação aumenta, ocorre uma indução de cisalhamento nas moléculas ou partículas excedendo o efeito aleatorizado do movimento browniano que ocasiona em um decaimento drástico da viscosidade até a aproximação assintótica de um nível constante. Na região II, a viscosidade aparente apresenta um comportamento supostamente constante, independente das modificações na taxa de deformação, ou seja, com características Newtonianas, dessa maneira, pode-se esperar que a viscosidade aparente a uma taxa de deformação de 100 s^{-1} seja semelhante ao valor de viscosidade a uma taxa de deformação dez vezes maior, mantendo-se constante a massa e a temperatura. Segundo Steffe (1996) é de suma importância o conhecimento e análise do comportamento da viscosidade correspondente a taxa de deformação acima de 100 s^{-1} , uma vez que essa condição norteia diversos processos industriais alimentícios como escoamento em tubulação, agitação e mistura.

CONCLUSÃO

A polpa de bacaba utilizada nesse estudo apresentou altos teores de lipídeos, fibras e valor energético. Apesar de seu potencial exploratório e considerável popularização na Amazônia, são escassos os dados na literatura

para efeito de corroboração e complementação dos resultados apresentados, visto que não há, ainda, legislação para efeito de padronização deste produto.

As suspensões de bacaba na sua totalidade apresentaram características pseudoplásticas. O modelo reológico de Ostwald-de-Waele foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais para todas as suspensões, apresentando coeficientes de determinação acima de 95% e desvios médios relativos abaixo de 5%. A polpa de bacaba pura e diluída também apresentou indícios de comportamentos tixotrópicos, ou seja, de influência temporal. A diluição e a adição de maltodextrina acarretaram na diminuição da viscosidade aparente em comparação a polpa de bacaba pura, provavelmente devido a menor disponibilidade de lipídeos e ao suposto efeito lubrificante da maltodextrina. Para taxas de deformações aplicadas acima de 100 s^{-1} , as suspensões de bacaba, exceto a bacaba pura, não apresentaram modificações de viscosidade aparente.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) e ao CNPQ (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico/ nº processo 400624/2014-1) pelo apoio financeiro.

Physical-chemical characterization of bacaba pulp and evaluation of the rheological behavior of their suspensions

ABSTRACT

The bacaba is a tropical palm tree native to the Amazon and has a high potential for exploration. Their fruit are consumed in form of pulp, cream-milky color and agradable taste. Pulp characterization was performed according to the physical-chemical parameters of pH, moisture, ash, dietary fiber, proteins, lipids, total carbohydrates and energy value. The rheological behavior of the suspensions was evaluated through a rotational viscometer at a temperature of 25 ° C and the rheological models of Ostwald-de-Waele, Herschel-Bulkley, Mizrahi-Berk and Bingham Plastic were adjusted to the rheograms constructed from the experimental data obtained. The bacaba pulp showed a slightly acidic character, average pH 5.27 ± 0.01 , and high values of moisture ($84.29 \pm 1.05 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$), lipids ($9.10 \pm 0.58 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$), dietary fiber ($5.60 \pm 0.40 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$) and energy value ($106.62 \pm 9.45 \text{ kcal } 100 \text{ g}^{-1}$). The suspensions of bacaba in their entirety presented pseudoplastic characteristics. The Ostwald-de-Waele rheological model was the best fit for the experimental data for all suspensions, with determination coefficients above 95% and relative mean deviations below 5%. The pure and diluted bacaba pulp also showed signs of time-dependent behavior. Dilution and addition of maltodextrin resulted in decrease in apparent viscosity as compared to pure bacaba pulp. The suspensions of bacaba, except pure bacaba, showed no apparent viscosity changes, at deformation rates applied above 100 s^{-1}

KEYWORDS: *Oenocarpus bacaba* Mart. Centesimal composition. Rheology.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, J. Química de alimentos: teoria e prática. In: **Química de alimentos: teoria e prática**. UFV, 2004.

AOAC. **Association of Official Analytical Chemists International**. Official methods of analysis of Association of Official Analytical Chemists. 17th ed. Washington: AOAC, 1997.

BARNES, H. A. Thixotropy—a review. **Journal of Non-Newtonian fluid mechanics**. v. 70, n. 1-2, p. 1-33, 1997. [http://dx.doi.org/10.1016/S0377-0257\(97\)00004-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0377-0257(97)00004-9)

BENEDETTI, P de. C. D. **Caqui em pó: influência de aditivos e do método de secagem**. 2010. 129 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, 2010.

BRASIL. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. Instrução Normativa Nº 1, de 7 de janeiro de 2000. **Regulamento técnico geral para fixação dos padrões de identidade e qualidade para polpa de frutas**. Diário Oficial da União, Nº 6, Brasília, 10 de janeiro de 2000. Seção 1, p. 54-58.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 360 de 23 de dezembro de 2003. **Regulamento técnico sobre rotulagem nutricional de alimentos embalados, tornando obrigatória a rotulagem nutricional**. Diário Oficial da União, Nº 251, Brasília, 26 de dezembro de 2003. Seção 1, p. 33.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 54 de 12 de novembro de 2012. **Regulamento técnico sobre informação nutricional complementar**. Diário Oficial da União, Nº 219, Brasília, 13 de novembro de 2012. Seção 1, p. 122.

CANO-CHAUCA, M.; STRINGHETA, P. C.; RAMOS, A. M.; CAL-VIDAL, J. Effect of carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**. v. 6, n. 4, p. 420-428, 2005. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ifset.2005.05.003>

CANUTO, G. A. B.; XAVIER, A. A. O.; NEVES, L. C.; BENASSI, M. D. T. Caracterização físico-química de polpas de frutos da Amazônia e sua correlação com a atividade anti-radical livre. **Revista Brasileira de Fruticultura**. v. 32, n. 4, p. 1196-1205, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-29452010005000122>

DERIVI, S. C. N.; MENDEZ, M. H. M. Uma visão retrospectiva da fibra e doenças cardiovasculares. In: LAJOLO, F.M.; SAURA-CALIXTO, F.; PENNA, E.W.; MENEZES, E.W. (Ed.). **Fibra dietética en iberoamérica: tecnología y salud**. São Paulo: Livraria Varela. Cap. 30, p. 411-430, 2001.

DIAMANTE, L.; UMEMOTO, M. Rheological properties of fruits and vegetables: a review. **International Journal of Food Properties Philadelphia**. v. 18, n. 6, p. 1191-1210, 2015. <http://dx.doi.org/10.1080/10942912.2014.898653>

FERNANDES, E. da, R. **Conservação da polpa de bacaba (*Oenocarpus bacaba*) por tecnologia de obstáculos**. 2015. 73 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos), Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos - Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2015.

FERNANDES, T. K.; FIGUEIRÊDO, R. M.; QUEIROZ, A. J. M.; MELO, K. S.; BEZERRA, M. C. T. Estudo do comportamento reológico da polpa de umbu-cajá em função da concentração de maltodextrina. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**. v. 10, n.2, p.171-180, 2008. <https://doi.org/10.15871/1517-8595/rbpa.v10n2p171-180>

GUIMARÃES, A. C. G. **Potencial funcional e nutricional de farinhas de Jerivá (*Syagrus romanzoffiana*) e Bacaba (*Oenocarpus bacaba*)**. 2013. 115 f. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

KESHANI, S.; LUQMAN, A. C.; RUSSLY, A. R. Effect of temperature and concentration on rheological properties pomelo juice concentrates. **International Food Research Journal**. v. 19, n. 2, p. 553-562, 2012.

KRAMER, A.; TWIGG, B. A. **Fundamentals of quality control for the food industry**. 1962.

LORET, C.; MEUNIER, V.; FRITH, W. J.; FRYER, P. J. Rheological characterization of the gelation behaviour of maltodextrin aqueous solution. **Carbohydrate Polymers**. v. 57, n. 2, p. 153-163, 2004. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2004.03.026>

MEWIS, J.; WAGNER, N. J. Thixotropy. **Advances in Colloid and Interface Science**. v. 147-148, p. 214-227, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2008.09.005>

MEYER, J. M. **Teor e composição de ácidos graxos de óleos de frutos de palmeiras nativas**. 2013. 90 f. Dissertação (Mestrado), Instituto de Biociências -

Universidade de São Paulo, São Paulo. <https://doi.org/10.11606/D.41.2013.tde-28082013-104913>

MOURA, S. C. S. R. DE.; VISSOTTO, F. Z.; RUFFI, C. R. G.; ALVES JÚNIOR, P. Propriedades físicas e reológicas de produtos à base de frutas. **Brazilian Journal of Food Technology**. v. 19, e2015086, 2016. <https://dx.doi.org/10.1590/1981-6723.8615>

NEPA–NÚCLEO, D. E. P. E. A. Tabela brasileira de composição de alimentos. **NEPA-Unicamp, Campinas (SP)**, 105p, 2011.

NEVES, L. T. B. C.; CAMPOS, D. C. D. S.; MENDES, J. K. S.; URNHANI, C. O.; ARAÚJO, K. G. Quality of fruits manually processed of açai (*Euterpe oleracea* mart.) and bacaba (*Oenocarpus bacaba* mart.). **Revista Brasileira de Fruticultura**. v. 37, n.3, p. 729-738, 2015. <https://dx.doi.org/10.1590/0100-2945-148/14>

NICOLETI, J. F.; TELIS, V. R. N. Reologia de suspensões de colágeno na presença de maltodextrina e lactose. **Brazilian Journal of Food Technology**. VII BMCFB, 2009.

NOGUEIRA, A. K. M.; SANTANA, A. C. de. Análise de sazonalidade de preços de varejo de açai, cupuaçu e bacaba no estado do Pará. **Revista de Estudos Sociais**. v. 11, n. 21, p. 7-22, 2011.

PARÁ. Decreto nº 326, de 20 de janeiro de 2012. **Termo de compromisso de ajustamento de conduta, firmados entre o Ministério Público do Estado e batedores artesanais de açai instalados no Estado do Pará**. Diário oficial do Estado nº 32.0836, Belém, 24 de dezembro de 2012. Caderno 1, p. 5-6.

RAO, A. **Rheology of fluid and semisolid foods: principles and applications**. Springer Science & Business Media, 2010.

SEIXAS, F. R. F.; SESQUIM, E. A. R.; RAASCH, G. S.; CINTRA, D. E. Physicochemical characteristics and lipid profile of the bacaba occurring in the western Amazon. **Brazilian Journal of Food Research**. v. 7, n.3, p. 105-116, 2016. <https://dx.doi.org/10.3895/rebrapa.v7n3.3806>

SHANLEY, P.; MEDINA, G. (Ed.). **Frutíferas e plantas úteis na vida amazônica**. CIFOR, 2005.

SOUZA, V. R. de.; PEREIRA, P. A. P.; QUEIROZ, F.; BORGES, S. V.; CARNEIRO, J. D. D. S. Determination of bioactive compounds, antioxidant activity and chemical composition of Cerrado Brazilian fruits. **Food chemistry**. v. 134, n. 1, p. 381-386, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.02.191>

SARAVACOS, G. D.; KOSTAROPOULOS, A. E. Transport properties in processing of fruits and vegetables. **Food Technology**. v. 49, n. 9, p. 99-105, 1995.

SCHARAMM, G. **A practical approach to rheology and rheometry**. Karlsruhe, Germany, ed. 2, 2000.

STEFFE, J. F. **Rheological methods in food process engineering**. Freeman press. 1996

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, 2005.

<https://doi.org/10.15871/1517-8595/rbpa.v7n2p181-204>

TRACTON, A. A. (Ed.). **Coatings technology handbook**. CRC press, 2005.

Recebido: 10 out. 2017

Aprovado: 03 abr.2019

Publicado: 09 jun.2019

DOI: 10.3895/rbta.v13n1.7168

Como citar:

NASCIMENTO, R. A. et al. Caracterização físico-química da polpa de bacaba e avaliação do comportamento reológico das suas suspensões. **R. bras. Tecnol. Agroindustr.**, Ponta Grossa, v. 13, n. 1, p. 2767-2784, jan./jun. 2019. Disponível em: <<https://periodicos.ufpr.edu.br/rbta>>. Acesso em: XXX.

Correspondência:

Rafael Alves do Nascimento

Rua Augusto Corrêa, n.1. Guamá, Belém, Pará, Brasil. CEP: 66075-110

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

