

CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE PÓ PROTEICO ENRIQUECIDO COM COMPOSTOS BIOATIVOS OBTIDOS PELO PROCESSO DE AGLOMERAÇÃO

Erika Yukari Kosuji¹; Kaciane Andreola²; Tatiana Guinoza Matuda Masaoka²; Marcello Nitz²; Luciane Franquelin Gomes de Souza²

¹ Aluna de Iniciação Científica da Escola de Engenharia Mauá (EEM/CEUN-IMT);

² Professor da Escola de Engenharia Mauá (EEM/CEUN-IMT).

Resumo. *O processo de aglomeração melhora as propriedades físicas de pós, aumentando o tamanho das partículas. O objetivo desse trabalho foi estudar o processo de aglomeração do blend de proteínas vegetais de ervilha e arroz em leite fluidizado utilizando polpa de açaí como ligante, a fim de avaliar a influência da temperatura do ar e da vazão de ligante sobre a umidade, fluidez, tempo de molhamento, teor de proteína e concentração de antocianinas dos pós. A umidade dos pós aglomerados variou de 4,8 % a 25,8 % (b.u.). Os pós com maior umidade apresentaram menor tempo de molhamento. O uso de polpa de açaí na aglomeração do blend resultou em melhor dispersão em água e aumento do tamanho das partículas. Os níveis de fluidez dos pós foram alterados de muito ruim para tolerável. Altas vazões de ligante resultaram em pós com maior teor de antocianinas, principalmente quando aliadas a baixas temperaturas do ar. O teor de proteína dos pós aglomerados foi superior a 65 %, indicando que esses pós podem ser utilizados para o enriquecimento de formulações alimentícias. O aumento da vazão de ligante resultou em maior concentração de antocianinas no pó aglomerado e menor tempo de molhamento.*

Introdução

As preocupações dos consumidores com saudabilidade e bem-estar originam-se em fatores como envelhecimento das populações, as descobertas científicas que vinculam determinadas dietas às doenças, bem como a renda e a vida nas grandes cidades, influenciando a busca de um estilo de vida mais saudável (ITAL, 2010). Devido ao ritmo de vida nos centros urbanos e acesso às informações, a conveniência e praticidade crescem por demanda de alimentos de fácil preparo com alto valor nutricional.

O uso de proteínas vegetais na formulação de novos produtos ou na complementação de alimentos convencionais tem sido o objetivo de várias pesquisas recentes que avaliam o potencial físico-químico e funcional destas proteínas. Devido a suprimentos inadequados e à escassez de proteínas alimentares, tem havido uma busca constante de leguminosas não convencionais como novas fontes de proteína para uso tanto em ingredientes alimentares funcionais quanto em suplementos nutricionais (CHAVAN et al., 2001)

A produção de isolados e concentrados de proteínas vegetais em pó é uma forma de aumentar o seu tempo de vida útil. Os pós, que se apresentam em partículas finas, podem ser melhorados em suas propriedades físico-químicas quando passam pelo processo de aglomeração, que transforma estas partículas em agregados de partículas, com tamanhos maiores. Esse processo é importante para melhorar as características de fluidez e aparência, e também para facilitar as condições de transporte e armazenamento (IVESON et al., 2001; KNIGHT, 2001).

Em adição ao exposto, o processo de aglomeração produz grânulos de estrutura porosa que absorvem líquidos mais rapidamente, se dissolvem ou se dispersam de forma instantânea, o que pode favorecer as propriedades de hidratação das proteínas. O maior problema em produtos em pó compostos de partículas finas é o fato de que há a formação de uma camada hidrofóbica que impede a penetração da água. Já nos grânulos, o ar que está preso nos poros

favorece a penetração da água por capilaridade até o seu interior (MAUREL, 1994; COLUNGNATI, 2003).

O processo de aglomeração em leite fluidizado consiste basicamente na atomização de um líquido ligante sobre o leite fluidizado de partículas. Considera-se o processo como sucessivas operações de umidificação e secagem, isto é, o líquido é atomizado sobre as partículas fazendo com que sejam formadas pontes líquidas; em seguida, o ar quente remove água das partículas, formando pontes sólidas e, assim, grânulos maiores. O crescimento só ocorre quando há líquido suficiente para estabelecer as pontes ou quando a saturação do líquido é suficiente para aumentar a deformação plástica dos aglomerados (LIPSS, SAKR, 1994; PONT et al., 2001).

Esse trabalho consiste no estudo das proteínas vegetais de arroz e ervilha (*blend* - nas proporções de 2 de arroz para 1 de ervilha, em massa) utilizando a polpa de açaí como ligante. De acordo com MURAKAMI et al. (2001), XU et al. (2007), a ervilha é uma leguminosa rica em aminoácidos essenciais, além de fibras, isoflavonoides, fósforo, cálcio, vitaminas A, B1, B2, C, ferro e potássio (SALATA et al., 2011). De acordo com Juliano (1993), o arroz é um grão rico em aminoácidos essenciais e apresenta maior digestibilidade em comparação com a maioria das proteínas dos demais cereais. Estas proteínas são altamente benéficas para a saúde humana e são hipoalergênicas.

A adesão entre partículas durante a aglomeração em leite fluidizado é realizada por pontes ligantes, que podem ser formadas com a solução ligante ou pelo umedecimento superficial das partículas (DACANAL, 2009). O uso do açaí como ligante contribui para o valor nutricional e as propriedades funcionais do produto final pelo fato de ter alta atividade antioxidante por compostos fenólicos e antocianinas, que combatem os radicais livres (TONON et al., 2008).

A caracterização do pó é importante tanto para o seu estudo quanto na previsão do seu comportamento. Propõe caracterizar os pós pela sua porosidade, ou seja, a fração do volume do pó que não é ocupado por partículas. No caso dos pós soltos se processa uma limitada dose de rearranjo das partículas por compactação até o equilíbrio entre a força compressiva e a resistência à compressão do próprio material.

Outra característica do pó é o tempo de molhamento que corresponde ao tempo requerido para que todas as partículas do pó sejam submersas após colocadas sobre a superfície de um líquido. A molhabilidade é frequentemente a etapa limitante do processo de reconstituição de pós alimentícios, especialmente no caso de pós com alto conteúdo proteico, que são geralmente hidrofóbicos (HAVEA, 2006; JI et al., 2016).

Uma das respostas do processo de aglomeração é a umidade do conteúdo. É um dos principais parâmetros a ser controlado, já que está intimamente ligado às operações de umidificação (NASCIMENTO, 2017).

O processamento dos isolados proteicos pode levar à desnaturação das proteínas, que afeta as propriedades funcionais como solubilidade, absorção de água e viscosidade. Desta maneira, os isolados proteicos têm sua aplicação em formulações alimentícias líquidas e em pó prejudicada (COLUNGNATI, 2003). Portanto a medição do teor de proteína deve ser realizada a fim de controlar as propriedades nutricionais do pó durante o processo.

É importante analisar a quantidade de antocianinas do produto aglomerado a fim de avaliar o enriquecimento do pó. A adição da polpa de açaí confere à proteína a presença de antocianinas, que são importantes fenólicos que também são responsáveis pela coloração típica dessa fruta.

Além das antocianinas, é necessário analisar o comportamento reológico da polpa para determinar suas condições durante o processo. A reologia pode ser definida como a ciência que estuda o escoamento e a deformação dos materiais sob a ação de uma força externa.

Baseado no exposto, este estudo visa contribuir com a pesquisa concentrando-se na análise da qualidade dos pós obtidos nos processos de aglomeração de produtos proteicos em leite fluidizado, ampliando a aplicabilidade da proteína de arroz e ervilha em alimentos.

O objetivo deste trabalho é estudar a caracterização físico-química de pós proteicos instantâneos enriquecidos com compostos bioativos (antocianinas), bem como da polpa de açaí utilizada como ligante no processo de aglomeração em leito fluidizado. O pó proteico avaliado neste trabalho foi obtido pelo Projeto de Pesquisa Fapesp 2018/10483-2. A avaliação da polpa foi determinada pela umidade, cor, concentração de antocianinas e reologia. A qualidade do pó pela umidade, fluidez, tempo de molhamento, teor de proteína, cor e concentração de antocianinas.

Material e Métodos

Os pós proteicos utilizados neste trabalho foram obtidos por meio do processo de aglomeração em leito fluidizado realizado em um trabalho paralelo de iniciação científica, que assim como este faz parte do Projeto de Pesquisa Fapesp 2018/10483-2.

O processo de aglomeração foi realizado a partir de um planejamento composto central rotacional, com 3 pontos centrais, totalizando 11 ensaios. As variáveis de entrada estudadas foram a temperatura do ar de fluidização (T , X_1) e vazão de atomização do ligante (Q , X_2), as demais variáveis foram mantidas em valores fixos. Foram fixadas a pressão relativa de atomização (10 psi), a massa de matéria-prima (0,405 kg) e a quantidade de ligante atomizado (200 mL). A vazão do ar de fluidização iniciou em $5 \text{ N.m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ e foi aumentada, a cada 10 minutos, em incrementos de $5 \text{ N.m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ até o final da atomização. Após a aglomeração, o pó foi seco no leito fluidizado até atingir umidade menor ou igual a 10 % (b.u.), quando necessário. A secagem foi realizada durante 5 minutos com vazão de ar de fluidização de $25 \text{ N.m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ e temperatura do ar de $90 \text{ }^\circ\text{C}$.

No presente trabalho estudou-se a influência das variáveis operacionais sobre as características do pó aglomerado. Assim, como respostas do planejamento foram analisadas a concentração de antocianinas no pó aglomerado (C_a), o tempo de molhamento (t_m) e o índice de Hausner (IH). O estudo do efeito das variáveis de entrada sobre as respostas foi realizado com auxílio do software Statistica® 8.0, considerando nível de confiança de 95 %. As condições definidas das variáveis operacionais de temperatura do ar e vazão do ligante, para cada ensaio, além dos rendimentos de cada processo (η), estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Variáveis operacionais e níveis do planejamento composto.

Variáveis Reais	Níveis				
	-1,41	-1	0	1	1,41
T ($^\circ\text{C}$)	60,9	65	75	85	89,1
Q ($\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$)	2,295	2,5	3,0	3,5	3,705

Fonte: Autora, 2019

Caracterização da polpa de açaí

Umidade

A umidade foi determinada em um analisador de umidade com lâmpada de halogênio, da marca Shimadzu Corporation (modelo MOC63u), em triplicata. O método utilizado foi do suco de laranja, com 5 g de produto na análise, temperatura de $140 \text{ }^\circ\text{C}$ e variação de massa de 0,05 %. A fórmula para o cálculo da porcentagem de umidade em base úmida (b.u.) está indicada pela Equação 1.

$$\text{umidade (\% b. u.)} = \frac{\text{massa seca}}{\text{massa úmida}} \cdot 100 \quad (1)$$

Antocianinas

O conteúdo de antocianinas totais foi determinado usando o método de pH diferencial (AOAC, 2005), utilizando os tampões cloreto de potássio 0,025 M, pH 1 e acetato de sódio 0,4 M, pH 4,5 e solução extratora (85 % álcool etílico e 15 % HCl 1,5 molar, pH 1), com medidas de absorbância de 520 nm e 700 nm, realizadas em um espectrofotômetro da marca

Shimadzu e modelo UV-2600, calibrado com a solução extratora. A absorbância (A) das amostras diluídas foi calculada de acordo com a Equação 2 e o teor de antocianinas totais (Ca) foi calculado em umidade de base seca, de acordo com a Equação 3.

$$A = (A_{520nm} - A_{700nm})_{pH1,0} - (A_{520nm} - A_{700nm})_{pH4,5}$$

$$A = (A_{520nm} - A_{700nm})_{pH1,0} - (A_{520nm} - A_{700nm})_{pH4,5} \quad (2)$$

$$Ca \left(\frac{mg}{100g(b.s.)} \right) = \frac{A.MW.DF.1000}{\epsilon} \quad (3)$$

Em que, MW é o peso molecular da cianidina-3-glucosídeo (449.2 g.mol⁻¹); DF é o fator de diluição; ϵ é a absorbância molar da antocianina majoritária (26.900 L.mol⁻¹.cm⁻¹) e 1000 é o fator de conversão de g para mg.

Cor

Os parâmetros de cor foram obtidos conforme o sistema CIELAB por espectrofotômetro com duplo feixe de luz xênon. Os parâmetros L*, a* e b* foram fornecidos pelo colorímetro modelo CR400 (Konica Minolta, Osaka, Japão), no qual L* define a luminosidade (L* = 0 preto e L* = 100 branco) e a* e b* são responsáveis pela cromaticidade (+a* vermelho e -a* verde, + b* amarelo e -b* azul). Com esses parâmetros, foram avaliadas as coordenadas (FERRARI, 2012). Essa análise foi realizada em triplicata.

Reologia

A polpa foi descongelada em temperatura ambiente e peneirada em uma peneira de Mesh 60. Posteriormente, o comportamento reológico foi determinado com 7 mL no recipiente do viscosímetro Brookfield Engineering Labs Inc. Rheocalc T, acoplado a um banho termostático para controle da temperatura 23,3 °C. Realizou-se as leituras, utilizando o *spindle* SC4-18, dentro da faixa de velocidade de 0 a 200 rpm e taxa de cisalhamento de 3,96 a 264 s⁻¹. Assim, foram obtidos os dados de tensão de cisalhamento (τ), taxa de deformação (γ) pelo aparelho em triplicata. Foram feitas curvas de fluxo crescente, fluxo decrescente e uma segunda curva de fluxo crescente, conforme os estudos realizados por COSTA (2015).

Os dados foram tratados no Excel, com o auxílio do recurso *Solver*, e estimando valor mínimo para o desvio relativo médio (DRM) indicado na Equação 4, em que N representa o número de experimentos, Ve e Vp representam os valores experimentais e preditos, respectivamente. Os dados foram ajustados para os modelos de Lei de Potência (Equação 5), Herschel-Bulkley (Equação 6) e Plástico Bingham (Equação 7).

$$DRM = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|V_e - V_p|}{V_p} \quad (4)$$

$$\tau = k(\gamma)^n \quad (5)$$

$$\tau = \tau_o + k(\gamma)^n \quad (6)$$

$$\tau = \tau_o + k(\gamma) \quad (7)$$

Caracterização dos pós

Umidade

Realizou-se o mesmo procedimento de umidade descrito na caracterização da polpa de açaí com a programação de manga seca, com temperatura de 120 °C e variação de massa de 0,05 %.

Fluidez

A fluidez foi determinada pelo Índice de Hausner. Foi preenchida uma proveta com cerca de 70 mL de pó aglomerado e feita a pesagem, para obter a densidade do pó aerado (ρ_b). Em seguida, realizaram-se 1250 batidas na proveta com o equipamento Autotap Tap Density Analyzer (Quantachrome instruments®, model DAT-4) de acordo com a European

Pharmacopoeia (2010). Após, foi feita a medição do novo volume, para calcular a densidade do pó compactado (ρ_t). O índice de Hausner foi obtido pela equação 4, e na Tabela 2 está indicada a relação entre índice de Hausner e fluidez seguindo os critérios descritos pela farmacopeia americana (USP, 2006). Análise realizada em triplicata.

$$I_{\text{Hausner}} = \frac{\rho_b}{\rho_t} \quad I_{\text{Hausner}} = \frac{\rho_b}{\rho_t} \quad (8)$$

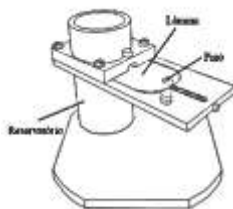
Tabela 2. Relação entre o índice de Hausner e fluidez.

Índice de Hausner	Nível de fluidez
1,00-1,11	Excelente
1,12-1,18	Boa
1,19-1,25	Razoável
1,26-1,34	Tolerável
1,35-1,45	Ruim
1,45-1,59	Muito ruim
>1,60	Péssima

Tempo de molhamento

O tempo de molhamento por imersão foi determinado pela metodologia proposta por Hoge Kamp e Schubert (2003) e adaptada por Dacanál (2005) com um equipamento ilustrado na Figura 1. Na lâmina são colocados 3 g de pó que entram em contato com 70 mL de água destilada a 25°C no reservatório. O tempo de molhamento é determinado pelo momento que todo o sólido fica molhado e desaparece da superfície do líquido. O tempo é medido com auxílio do *software* Movavi. Essa análise foi realizada em triplicata.

Figura 1 - Representação do equipamento de molhamento



Adaptado de DACANAL, 2005

Teor de proteína

A análise do teor de proteína foi realizada pelo método de Dumas (WILES et. Al., 1998) pela combustão da amostra em um equipamento denominado rapid N. O método consiste em pesar aproximadamente 30 mg da amostra em folha de estanho, em triplicata e em seguida prensar a mesma para formação de um comprimido, o qual é inserido no equipamento, gerando os respectivos teores de proteína.

Cor

Realizou-se o procedimento descrito na caracterização da polpa de açai.

Antocianinas

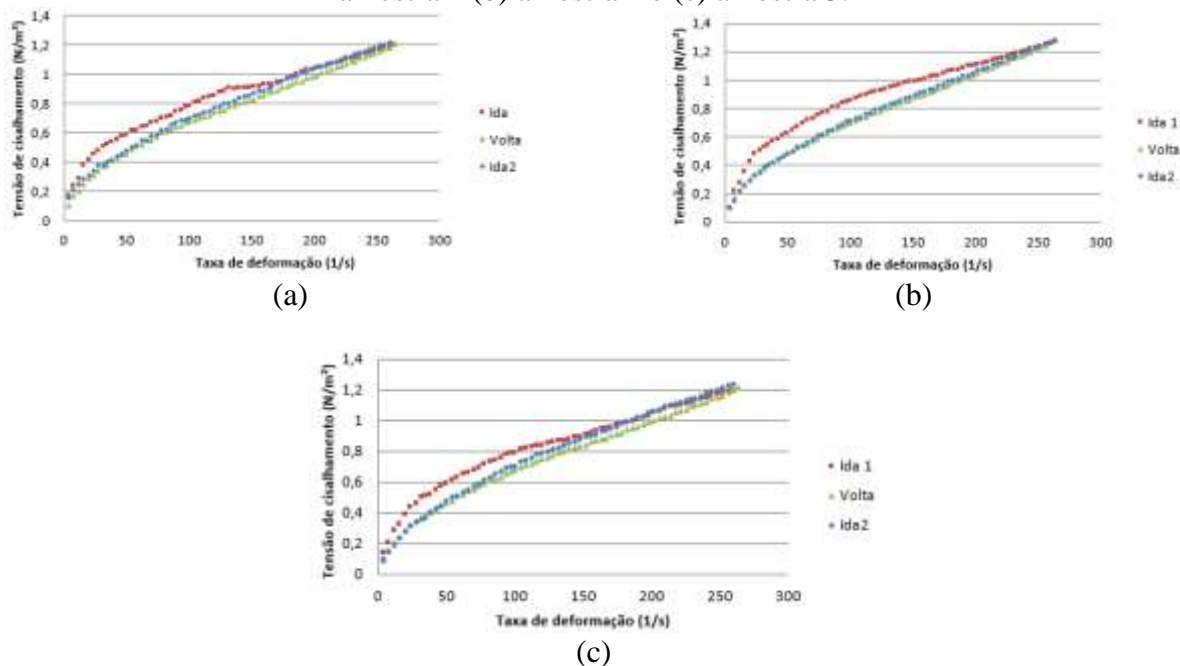
Realizou-se o procedimento descrito na caracterização da polpa de açai no tópico.

Resultados e Discussão

Caracterização da polpa açai

O valor de umidade da polpa de açai foi de $90,6 \pm 0,6$ % b.u, a concentração de antocianinas foi de $634,5 \pm 3$ mg · 100 g⁻¹ b.s. Em relação a cor, os valores dos parâmetros L*, a* e b* foram de $26,9 \pm 0,1$; $3,39 \pm 0,02$ e $2,14 \pm 0,09$, respectivamente. Esses resultados indicam que a polpa apresenta coloração vermelho-arroxeadado. Além disso, o resultado do comportamento reológico da polpa pode ser observado nos gráficos da Figura 2.

Figura 2 - Gráfico da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação da (a) amostra 1 (b) amostra 2 e (c) amostra 3.



Ao analisar os gráficos observa-se histerese, visto que as curvas de ida 1 e volta não se sobrepõem numa mesma amostra. Dessa maneira, é possível concluir que a polpa possui comportamento tixotrópico, no qual a viscosidade aparente diminui com o tempo de aplicação de um gradiente de tensão de cisalhamento. Esse mesmo comportamento tixotrópico da polpa de açai também foi observado por ALEXANDRE (2002), TREVISAN (2011) e COSTA (2015).

O modelo que apresentou melhor ajuste aos dados experimentais foi o de Herschel-Bulkley (Equação 6), com coeficientes de determinação mais próximos da unidade (0,998 e 0,999) e desvios relativos médios (Equação 4) inferiores a 2 %. A constante k apresentou valores entre 0,0480 e 0,053, a constante n apresentou valores entre 0,563 e 0,582. Os valores da constante k obtidos nesse estudo foram dez vezes menores que os valores obtidos por COSTA (2015), provavelmente devido a maior concentração de sólidos presente na polpa analisada por essa autora.

A histerese, no comportamento tixotrópico da polpa estudada, foi calculada pela área entre as curvas ida 1 e volta, resultando em valores entre 20,6 e 27,6 Pa.s⁻¹. Já, a área entre a curva de ida 2 e volta, apresentou valores entre 3,2 e 9,2 Pa.s⁻¹, indicando que na curva ida 2 o comportamento tixotrópico da polpa diminui consideravelmente. Os valores da área obtidos no presente trabalho, diferem dos valores encontrados por COSTA (2015) provavelmente devido a maior concentração de sólidos presente na polpa analisada por essa autora.

Caracterização da matéria prima e dos pós aglomerados

O *blend* possui umidade de $6,7 \pm 0,2$ %, tempo de molhamento de $214,7 \pm 0,8$ s e nível de fluidez caracterizado como muito ruim.

Os resultados obtidos das análises de umidade (U), índice de Hausner (IH), nível de fluidez, tempo de molhamento (tm), teor de proteína (tp) e teor de antocianinas (Ca) dos pós aglomerados estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Valores experimentais de análise de umidade, fluidez, tempo de molhamento, teor de proteína e concentração de antocianinas.

Ensaio	U (b.u.%)	IH	Nível de Fluidez	tm (s)	tp (%)	Ca (mg.100g ⁻¹ b.s.)
1	6,91	1,26±0,01	Tolerável	130±3	78,410 ± 0,4 ^a	12,8 ± 0,5
2	8,74	1,24±0,05	Razoável	105±2	74,725 ± 0,1 ^b	55 ± 3
3	4,82	1,32±0,08	Tolerável	179±3	75,096 ± 0,1 ^b	29 ± 1
4	7,64	1,29±0,02	Tolerável	160±3	75,290 ± 0,2 ^b	35 ± 3
5	17,41	1,37±0,04	Ruim	49,3±1	74,809 ± 0,1 ^b	7,8 ± 0,3
6	5,15	1,34±0,02	Tolerável	104±2	66,666 ± 0,2 ^g	10 ± 1
7	6,0	1,29±0,05	Tolerável	155±3	75,138 ± 0,3 ^b	15,5 ± 0,4
8	13,71	1,28±0,05	Tolerável	56±3	69,747 ± 0,1 ^f	42 ± 5
9	10,30	1,30±0,06	Tolerável	89±2	72,747 ± 1 ^{c,d}	16 ± 1
10	8,50	1,25±0,02	Razoável	108±1	72,329 ± 0,1 ^d	19 ± 1
11	8,29	1,22±0,06	Razoável	113±4	73,639±0,04 ^c	12 ± 1

Após o processo de aglomeração, observou-se a melhora do índice de Hausner para todos os pós. O *blend* apresentou índice de Hausner na ordem de 1,45 ± 0,04, enquanto para os pós aglomerados este valor foi entre 1,22 e 1,34, ou seja, o material passou da classificação “muito ruim” para, no mínimo, a classificação “tolerável”, exceto no Ensaio 5, que foi classificado como “ruim”.

Em relação ao tempo de molhamento, para todos os ensaios, houve melhora considerável, com redução de 16 % até 77 %. DACANAL (2003) também observou melhorias no tempo de molhamento dos produtos aglomerados em relação a suas matérias-primas.

O produto com menor redução (Ensaio 3) levou cerca de 179 segundos para sua imersão, enquanto que os produtos aglomerados de maior redução (Ensaio 5) levaram cerca de 49 segundos. Já para os produtos aglomerados dos pontos centrais, o tempo de molhamento foi entre 89 e 113 segundos.

O teor de proteína dos pós aglomerados foi superior a 65 %, indicando que esses pós podem ser utilizados para o enriquecimento de formulações alimentícias.

O único modelo estatisticamente significativo a um nível de confiança de 95 % foi para o teor de antocianina nos pós aglomerados.

A concentração de antocianinas no pó aglomerado variou entre 7,8 e 55 mg· 100g⁻¹ (b.s.). Esse resultado mostra que foi possível obter um pó aglomerado incorporado com antocianinas.

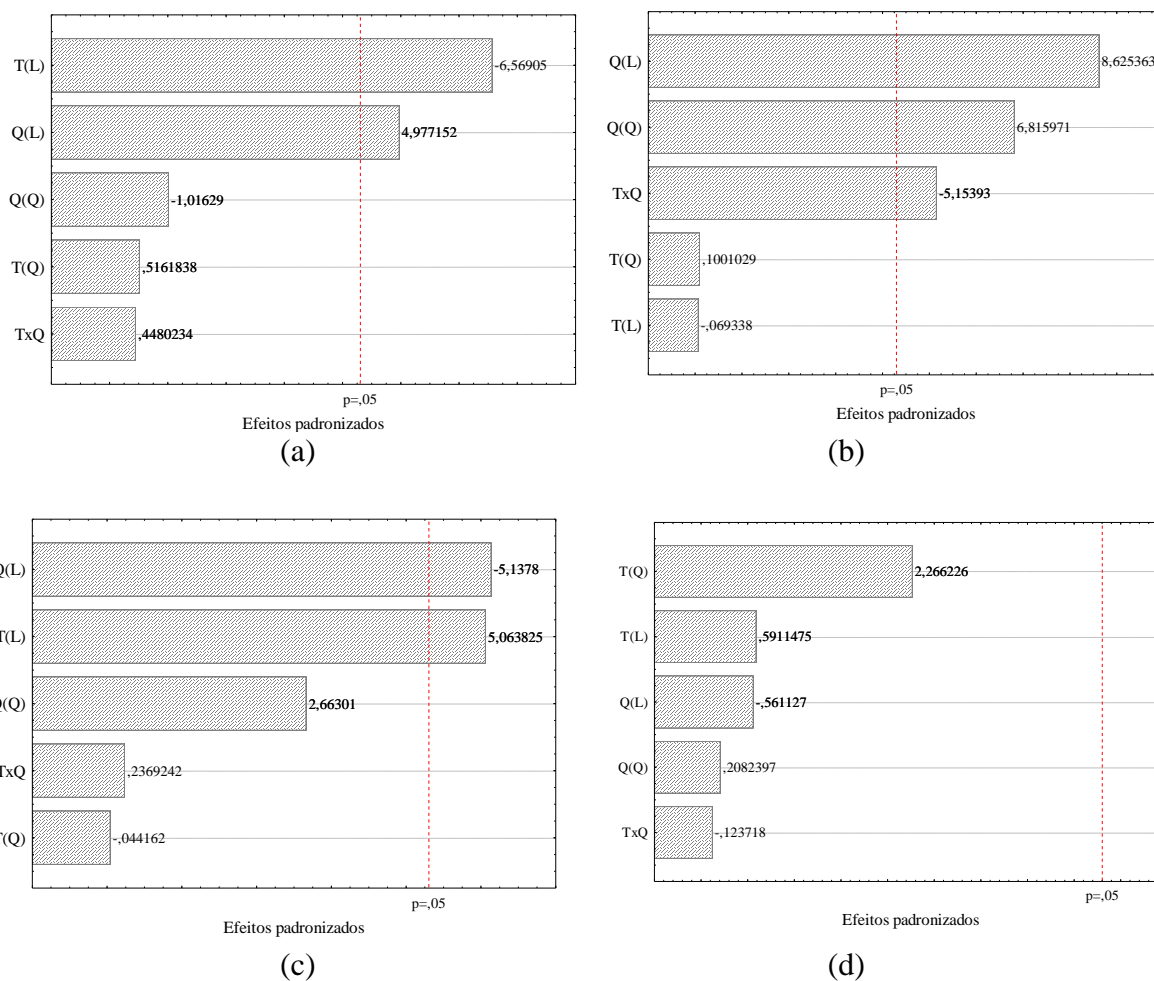
Pela análise estatística dos resultados foi possível determinar a significância dos efeitos das variáveis sobre as respostas, conforme mostrado nos gráficos de Pareto, Figura 3. Nestes gráficos os efeitos estatisticamente significativos se localizam à direita do limiar de significância ($p < 0,05$).

Altas vazões de ligante resultaram em pós com maior teor de antocianinas, principalmente quando aliadas a baixas temperaturas do ar.

Pelos gráficos de Pareto verifica-se que ambas as variáveis estudadas (T e Q) influenciaram significativamente a umidade, a concentração de antocianinas no pó aglomerado e o tempo de molhamento. No que se refere ao índice de Hausner, nenhuma das variáveis estudadas apresentaram efeito significativo sobre esta resposta.

Observa-se pela Figura 3 (a) que o efeito linear da temperatura do ar e da vazão de ligante foram estatisticamente significativos para esta resposta. A temperatura do ar foi a variável com maior influência dado o seu maior valor absoluto. O efeito linear e negativo da temperatura indica que o aumento desta variável resulta em pós com menor umidade. Já o efeito linear e positivo da vazão indica que o aumento desta variável proporciona maiores valores de umidade. Logo, menor vazão de ligante aliada a maior temperatura do ar resultam em pós com menor umidade, o que é desejável.

Figura 3 – Gráficos de Pareto para as respostas: (a) umidade, (b) concentração de antocianinas, (c) tempo de molhamento e (d) índice de Hausner.



No que se refere a concentração de antocianinas no pó aglomerado verifica-se na Figura 3 (b) que os efeitos linear e quadrático da vazão de ligante e o efeito de interação entre as variáveis foram estatisticamente significativos para esta resposta. A vazão de ligante foi a variável com maior influência nesta resposta, o que é representado pelo maior valor absoluto do seu efeito. O efeito linear positivo dessa variável indica que o aumento da vazão resulta em maior concentração de antocianinas no pó aglomerado.

Em relação ao tempo de molhamento, Figura 3 (c), o efeito linear da vazão de ligante e da temperatura do ar foram estatisticamente significativos. A vazão de ligante foi a variável com maior influência nesta resposta. O efeito linear e negativo da vazão indica que o aumento desta variável resulta em menor tempo de molhamento. Já o efeito linear e positivo da temperatura do ar indica que o aumento desta variável proporciona maior tempo de molhamento. Logo, menor temperatura aliada a maior vazão resulta em menor tempo de molhamento. Esse resultado mostra que os pós com maior umidade apresentaram menor tempo de molhamento.

Os resultados de análise de cor da polpa de açaí, do *blend* de proteínas, bem como dos pós aglomerados, estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Dados da análise de cor.

Amostra	L*	a*	b*
Polpa de açaí	26,9 ± 0,1	3,39 ± 0,02	2,14 ± 0,09
<i>Blend</i>	82,8 ± 0,1	3,55 ± 0,05	18,5 ± 0,3
1	56,7±0,4	3,85 ± 0,03	11,2 ± 0,1
2	55,9±0,1	2,62 ± 0,01	7,86 ± 0,03
3	56,96 ± 0,09	2,90 ±0,02	9,73 ± 0,04
4	56,9 ± 0,1	2,71 ±0,01	9,36 ± 0,04
5	63,0 ±0,2	3,523 ±0,005	13,94 ± 0,06
6	57,6 ±0,3	2,60 ± 0,02	11,73 ± 0,07
7	57,4 ±0,3	3,66 ±0,06	12,2 ± 0,2
8	57,5 ±0,7	2,33 ±0,04	9,7 ± 0,2
9	63,4 ± 0,2	3,35 ±0,02	13,42 ± 0,04
10	59,2 ± 0,3	3,20 ± 0,02	12,8 ± 0,1
11	59,74 ± 0,08	3,64 ± 0,02	13,24 ± 0,06

Observa-se que os valores do parâmetro (L*), obtidos para os pós aglomerados, foram inferiores ao valor do *blend* de proteínas e superiores ao da polpa de açaí, indicando que em todas as amostras, a luminosidade dos pós é mais intensa que a da polpa de açaí e menos intensa que a do *blend* de proteínas, sugerindo que os pós aglomerados são ligeiramente mais claros que a polpa de açaí e mais escuros que o *blend* de proteínas. Os valores dos parâmetros a* e b* indicam que os pós aglomerados apresentam coloração alaranjada, mais intensa que a observada para o *blend* de proteínas.

Conclusões

O uso de polpa de açaí na aglomeração do *blend* permitiu melhor dispersão em água, manipulação e o aumento no tamanho das partículas. A polpa de açaí apresentou comportamento tixotrópico. Para a maioria dos pós aglomerados, o material passou da classificação do nível de fluidez de “muito ruim” para a classificação “tolerável”. O teor de proteína dos pós aglomerados foi superior a 65 %, indicando que esses pós podem ser utilizados para o enriquecimento de formulações alimentícias. Além disso, a concentração de antocianinas nos pós aglomerados variou entre 7,8 e 55 mg · 100g⁻¹ (b.s) e as análises estatísticas mostraram que o aumento da vazão de ligante resulta em maior concentração de antocianinas no pó aglomerado e menor tempo de molhamento.

Agradecimentos

Agradecemos à Fapesp (Projeto de Pesquisa Fapesp 2018/10483-2) pelo apoio financeiro e ao Instituto Mauá de Tecnologia pelo suporte durante o andamento da pesquisa.

Referências Bibliográficas

- Alexandre, D. (2002). *Conservação de polpa de açaí através da tecnologia de obstáculos e caracterização viscoelástica*. Campinas, SP.
- Chavan, U. D.; McKenzie, D. B.; Shahidi, F. (2001). *Functional properties of protein isolate from beach pea (LathyrusmaritimusL.)*. FoodChemistry. v. 74, n. 2, p.177-187.

- Colungnati, P. G. (2003) *Propriedades físicas e funcionais de aglomerados a base de proteína de soja*. 89 f. Campinas, SP.
- Dacanal, G. C. (2005) *Estudo da granulação de suco de acerola desidratado em leite fluidizado*. 136 f, Campinas, SP.
- Dacanal, G. C. (2009) *Aglomerção de polpa de acerola e proteína isolada de soja em pó em leite fluidizado cônico e pulsado*. Campinas, SP.
- European Pharmacopoeia 7.0. Methods of analysis (2010). 2.9.3.4 *Bulk density and tapped density of powders*, p. 305-308.
- Ferrari C. C., Ribeiro C. P e Aguirre J. M. (2012) *Secagem por atomização de polpa de amora preta usando maltodextrina como agente carreador*. Campinas, SP v.15 n 2, p 157-165.
- Havea, P. (2006) *Protein interactions in milk protein concentrate powders*. International Dairy Journal, v. 16, n. 5, p. 415-422.
- Hogekamp, S.;Schubert, H. (2003) *Rehydration of food powders*. Food Science and Technology International, v. 9, n. 3, p. 223-235.
- Ital. (2010) *Brasil Food Trends 2020*. São Paulo.
- Iveson, S. M. et al. (2001) *Nucleation, growth and breakage phenomena in agitated wet granulation processes: a review*. Powder Technology. v. 117, p. 3-39.
- Ji, J.; Fitzpatrick, J. et al (2016) *Rehydration behaviours of high protein dairy powders: The influence of agglomeration on wettability, dispersibility and solubility*. Food Hydrocolloids, v. 58, p. 194-203.
- Juliano, B. O. (1993) *Rice in human nutrition*. Rome: FAO. 168 p.
- Knight, P. C. (2001) *Structuring agglomerated products for improved performance*. Powder Technology. v. 119, p. 14-25.
- Lipss, D. M.; Sakr, A. M. (1994) *Characterization of wet granulation process parameters using response surface methodology*. Journal of Pharmaceutical Sciences. v. 83, n. 7, p. 937-948.
- Maurel, E. L. (1994) *Granulation: tout un savoir-faire. Process: Le Mensuel des Techniques Laitieres et Alimentaires*, Rennes, p. 62-65.
- Murakami, T. et al (2001) *Structures of Oleanane-Type Triterpene Oligoglycosides, Pisumsaponins I and II, and Kaurane-Type Diterpene Oligoglycosides, Pisumosides A and B, from Green Peas, the Immature Seeds of Pisum sativumL*. Chemical and Pharmaceutical Bulletin, v. 49, p. 73-77.
- Nascimento, R.F. (2017) *Estudo Do Processo De Aglomeração De Proteína Isolada De Ervilha Em Leite Fluidizado Pulsado*. Campinas, SP.
- Pont, V. et al (2001) *Influence of the physicochemical properties on the growth of solid particles by granulation in fluidized bed*. Powder Technology. v. 120, p. 97-104.
- Trevisan, B. P. (2011) *Avaliação da tensão superficial, parâmetros reológicos e atenuação de suspensões de açaí*. Campinas, SP.
- Tonon et al. (2008) *Influence of process conditions on the physicochemical properties of açaí (Euterpe oleraceaeMart.) powder produced by spray drying*. Journal of Food Engineering, v. 88, p. 411-418.
- Triboli, E.P.D.R. (2014) *Estudo e otimização de processo de secagem de iogurte por atomização com secador em escala piloto*. São Paulo, SP.
- USP. (2006) USP29. Rockville: United States Pharmacopeial Convention. p.2639-2640, 3017-3020.
- Xu, B. J. et al (2007) *Comparative Analyses of Phenolic Composition, Antioxidant Capacity, and Color of Cool Season Legumes and Other Selected Food Legumes*. Journal of Food Science, v. 72, p. 167-177.