

AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DA FARINHA INTEGRAL DE BANANA VERDE ORGÂNICA OBTIDA PELA SECAGEM EM LEITO FLUIDIZADO PULSADO

Camilla Panagassi Fernandes ¹; Kaciane Andreola ²; Luciane Franquelin Gomes de Souza ²; Marcello Nitz ²; Carmen Cecília Tadini ³; Lilian de Cássia Santos Victorino ²

¹ Aluna de Iniciação Científica do Instituto Mauá de Tecnologia (IMT);

² Professor do Instituto Mauá de Tecnologia (IMT);

³ Professor da Escola Politécnica da USP (POLI-USP).

Resumo. *O consumo da banana verde apresenta benefícios à saúde humana devido à presença de alto teor de amido resistente, com funções similares às fibras alimentares. O presente trabalho visa a obtenção e caracterização físico-química de farinha integral de banana verde (*Musa cavendishii*) orgânica obtida pela secagem em leito fluidizado pulsado. Nesse estudo, avaliou-se as farinhas obtidas através de secagens com frequência de pulsação do ar de 300 rpm, e temperaturas do ar de entrada de 55 °C e 75 °C. O modelo de Midilli apresentou bom ajuste aos dados experimentais das curvas de secagem, em que o Teste-F de regressão indicou que foi significativo (95 % de confiança). A amostra seca a 75 °C apresentou menores valores de umidade, pH e a_w , e maior luminosidade em comparação com a produzida a 55 °C. Os índices de Hausner (0,78) e Carr (0,22) foram similares para as farinhas, caracterizando-as com escoamento livre e fluidez moderada. Não houve diferença significativa entre os teores de amido resistente das bananas verdes secas a 55 °C ($35,0 \pm 1,3$ g/100 g, b.s.) e a 75 °C ($34,7 \pm 0,2$ g/100 g, b.s.). A análise de MEV mostrou a integridade dos grânulos de amido nas duas farinhas.*

Introdução

O Brasil encontra-se na quarta posição entre os maiores produtores mundiais de banana, com produção anual de 6,6 milhões de toneladas (FAO, 2020). Contudo, o índice de desperdício do fruto em sua cadeia produtiva é de até 40 % (Rayo-Mendez *et al.*, 2019). O rápido amadurecimento da fruta e condições inadequadas de armazenamento e transporte são alguns fatores que contribuem para esse cenário. Além disso, deve-se levar em consideração perdas significativas da casca, que na maioria das vezes, não é consumida e nem destinada a outro fim (Padhi, 2022).

A polpa da banana verde possui de 40 a 59 g/100 g de amido resistente, caracterizado por apresentar funções similares às fibras alimentares (Tribess *et al.*, 2009). Sua ingestão pode contribuir na prevenção de doenças relacionadas ao diabetes, uma vez que a absorção ocorre ao longo do intestino delgado, gerando uma baixa resposta glicêmica, logo a quantidade de insulina liberada no sangue é menor. Ademais, quando o amido resistente é fermentado no intestino grosso, há a formação de ácidos graxos, os quais reduzem o pH do meio podendo inibir o crescimento de células cancerígenas, o que auxilia na saúde do cólon (La Fuente, 2017; Pereira, 2007).

Tendo em vista os benefícios fisiológicos do amido resistente, a alta produção da fruta e a redução do desperdício de alimentos, observa-se o potencial de incorporar em formulações alimentícias uma farinha proveniente da secagem da banana em seu primeiro estágio de maturação (Padhi, 2022).

A operação unitária mais utilizada para a produção de farinhas na indústria alimentícia é a secagem. As técnicas comumente empregadas podem utilizar ar quente para a redução da água, promovida pela transferência de massa e de calor, sendo por convecção a maior contribuição (Ormenese, 2010).

A secagem em leito fluidizado pulsado (LFP) é indicada para produtos com umidade elevada e irregularidade geométrica, em que seu sistema de distribuição sequencial do ar de secagem é responsável por gerar a pulsação na alimentação (Nitz, 2006). Estudos realizados por Jia *et al.* (2016), indicaram que o fluxo do ar de secagem e a frequência de pulsação favoreceram significativamente a secagem de serragem de abeto e pinheiro em LFP.

No entanto, deve-se tomar atenção às condições de processo a serem determinadas na secagem, uma vez que o amido resistente presente na banana verde sofre gelatinização em uma temperatura próxima a 68 °C, fazendo com que suas propriedades funcionais sejam prejudicadas (Tribess *et al.*, 2009).

Diante do exposto, o presente trabalho visa à caracterização físico-química de farinha integral de banana verde (*Musa cavendishii*) orgânica (FIBV), obtida da secagem da fruta em leito fluidizado pulsado.

Material e Métodos

Preparação da matéria-prima

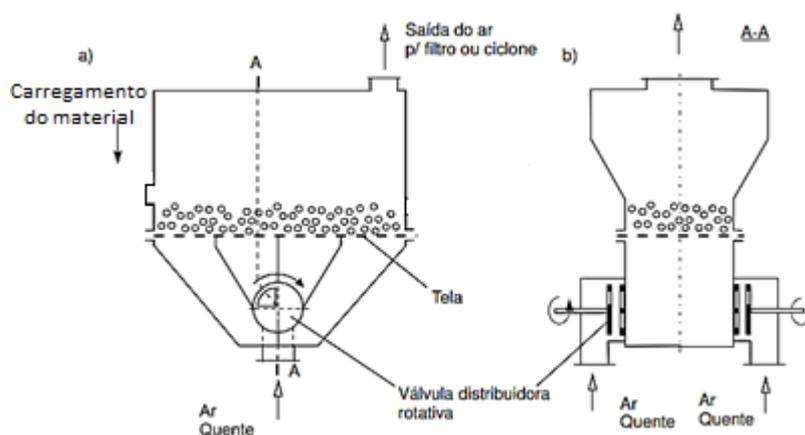
A matéria-prima utilizada foi a banana pertencente à variedade Nanicão (*Musa cavendishii*), cultivada de forma orgânica em Jacupiranga (SP) e adquirida no Centro de Distribuição CEAGESP (Companhia de Entrepósitos e Armazéns Gerais de São Paulo) em seu primeiro estágio de maturação.

As bananas verdes com casca foram previamente higienizadas em lavador de legumes (Costr. Mecc., Nilma, ATIR II, Itália) utilizando-se uma solução de 150 mg/L de hipoclorito de sódio, tratadas com 0,8 g/100 g de ácido cítrico, de acordo com estudos realizados por Fernandes *et al.* (2021), trituradas em processador industrial (Compagnia Tecnica Internazionale, Nilma, Itália) e centrifugadas (Consul, C2A05BBANA, Argentina) por 7 min, para separação do exsudato.

Ensaio de secagem

Os ensaios de secagem foram realizados em leito fluidizado pulsado (LFP), localizado na instalação piloto do Laboratório de Engenharia Química do Instituto Mauá de Tecnologia situado em São Caetano do Sul, SP. A representação esquemática do LFP é apresentada na Figura 1.

Figura 1 - Representação esquemática do leito fluidizado pulsado com quatro seções. Adaptado de Nitz (2006)



O ar é introduzido por um soprador a uma vazão constante, em que passa pelo disco rotativo, havendo uma distribuição sequencial do ar nas quatro seções do leito (0,15 m × 0,30 m,

ou seja, 0,045 m² cada seção). Detalhes do sistema experimental são descritos em Nitz (2006), com exceção da medição de pressão.

Os ensaios de secagem foram realizados para duas temperaturas de entrada do ar, para 55 °C, com duração de 100 min, e para 75 °C, até atingir 80 min, tendo como base o estudo de Fernandes *et al.* (2021). Os parâmetros constantes no processo foram: frequência de pulsação de 300 rpm e vazão volumétrica do ar de entrada de 439 ± 25 m³/h (CNTP). Durante os ensaios, foram coletadas amostras nos instantes 0, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 60, 80 e 100 min, cuja umidade foi determinada para o levantamento da curva de secagem.

Cinética de secagem em LFP

Os dados de umidade das amostras retiradas do leito em diferentes tempos de processo, em triplicata, foram convertidos em razão de umidade MR , segundo a Equação 1.

$$MR_{exp} = \frac{X_t - X_e}{X_i - X_e} \quad (1)$$

em que X_t é o teor de umidade em um determinado instante t ; X_e é o teor de umidade na condição de equilíbrio, determinado a partir dos estudos realizados por Fernandes e Marcondes (2021); e X_i é o teor da umidade inicial (kg água/kg material seco).

O modelo semi-empírico proposto por Midilli *et al.* (2002), apresentado na Equação 2 foi empregado para ajustar os valores de MR_{exp} obtidos experimentalmente.

$$MR_{pre} = a_M \exp(-k_M t^{n_M}) + b_M t \quad (2)$$

Os parâmetros a_M , n_M (constantes de secagem adimensionais), b_M (parâmetro do modelo, h⁻¹) e k_M (constante relacionada à velocidade de secagem, h⁻¹), caracterizados por Midilli *et al.* (2002), foram calculados de forma iterativa utilizando a ferramenta *solver* do Excel®, sendo t o tempo de secagem, a fim de minimizar o valor de qui-quadrado (χ^2), calculado de acordo com a Equação 3. Ao final, avaliou-se o ajuste do modelo com o valor de R² (Equação 4).

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^N \frac{(MR_{exp,i} - MR_{pd,i})^2}{N - z} \quad (3)$$

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{exp,i} - MR_{exp}^{mean,i})^2 - \sum_{i=1}^N (MR_{pd,i} - MR_{exp,i})^2}{\sum_{i=1}^N (MR_{exp,i} - MR_{exp}^{mean,i})^2} \quad (4)$$

Caracterização físico-química das farinhas de banana verde obtidas em LFP

O material particulado foi submetido à moagem em moinho de facas (SP Labor, SP-31, Brasil), com a utilização de uma peneira com diâmetro de abertura de 0,65 mm. A composição química (g/100 g) das farinhas obtidas foi determinada, em triplicata, de acordo com as metodologias da AOAC (2000). A umidade foi obtida pela secagem em estufa (Tecnal, TE-395, Brasil) a 70 °C sob vácuo ($\leq 2 \times 10^4$ Pa) (Método 934.06). O teor de proteína foi determinado pelo método de Kjeldahl para a determinação da quantidade de nitrogênio total, considerando um fator de 6,25 (Método 960.52). O teor de lipídios foi obtido por extração intermitente, pelo método de Soxhlet (Método 920.39). O teor de cinzas foi obtido por meio da calcinação da amostra em mufla a 525 °C (923.03). Ao final, o teor de carboidratos totais foi calculado por diferença.

Adicionalmente, a atividade de água (Aqualab, 4TE, Estados Unidos) a (25 ± 0,5) °C e pH (Marte, MB10, Brasil) foram medidos. O colorímetro (HunterLab, ColorQuest XE, Estados

Unidos) foi utilizado para análise de cor instrumental, de acordo com as coordenadas L^* (luminosidade), a^* (vermelho/verde) e b^* (amarelo/azul). Com isso, calculou-se a diferença total de cor (ΔE) em comparação com a coloração da farinha de trigo integral, de acordo com a Equação 5, em que Δ é a diferença entre cada parâmetro de cor instrumental da amostra e da farinha de trigo integral.

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (5)$$

A densidade real (ρ_{real}), definida como a razão entre a massa de sólido e o volume ocupado pela matriz sólida excluindo os poros e os espaços entre as partículas, foi avaliada por picnometria a gás (ACP Instruments, AD200, Brasil). O equipamento reitera ciclos até que o valor retornado apresente um coeficiente de variação de no máximo 0,003, não sendo necessário realizar em triplicata. Com relação a densidade *bulk* (ρ_{bulk}), realizada em triplicata, depositou-se a amostra em uma proveta de 100 mL com o auxílio de um funil de boca larga, sem compactar as partículas em seu interior, registrando a massa e o volume ocupado. A porosidade (ε) da farinha foi avaliada com base nas densidades real e *bulk* (Equação 6). Já para a densidade compactada (ρ_c), também realizada em triplicata, foi verificada com a medição da massa de farinha que alcança a marca de 70 mL de uma proveta, submetida ao processo de compactação no *Tap Density Tester* (Logan, Tap-2SP, China), com amplitude de $3 \pm 0,3$ mm até 1250 batidas (Método USP II).

$$\varepsilon = \left(1 - \frac{\rho_{bulk}}{\rho_{real}}\right) \cdot 100 \quad (6)$$

Os índices de Carr (IC) e de Hausner (FH) foram calculados para classificar as partículas em relação ao escoamento em categorias de fluidez, segundo Turchiuli *et al.* (2005), dispostas na Equação 7 e Equação 8.

$$IC = \frac{\rho_c - \rho_{bulk}}{\rho_c} \quad (7)$$

$$FH = \frac{\rho_c}{\rho_{bulk}} \quad (8)$$

Após isso, foram determinados os teores de amidos total e resistente presentes nas farinhas obtidas, a partir da hidrólise enzimática e solubilização do amido não resistente, de acordo com o método 2002.02 referente a AOAC (McCleary e Monaghan, 2002).

Por fim, com o intuito de avaliar a morfologia dos grânulos de amido presentes nas farinhas de banana verde obtidas no presente estudo, foi utilizado um microscópio eletrônico de varredura MEV (Tescan do Brasil, Vega 4 LMS, Brasil). Inicialmente, depositou-se pequenas quantidades de amostras em *stubs* com fita adesiva dupla face de carbono, os quais foram submetidos ao processo de metalização com ouro (Quarum, SC7620, Reino Unido) por 200 s. A aquisição das imagens foi realizada com *speed* 6 e *BC* de 30 pA, para as ampliações de 800x, com tensão de 3 keV, e de 6000x com tensão de 15 keV.

Análise estatística

Os resultados obtidos no presente estudo foram avaliados estatisticamente por análise de variância (ANOVA) ao nível de 5% de significância. A comparação de médias foi realizada pelo teste de *Tukey*, sendo a diferença mínima estabelecida ao nível de 5 % de significância.

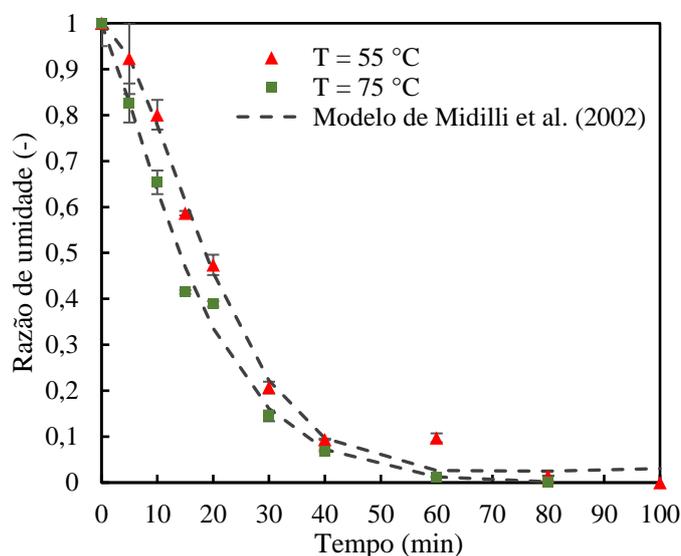
Resultados e Discussão

Cinética de secagem em LFP

A curva de secagem (Figura 2) relaciona a razão de umidade da amostra ao longo do tempo. A temperatura do produto na secagem com temperatura do ar de 55 °C variou de 25,1 a 55,6 °C, enquanto que ao longo do processo realizado a 75 °C, a temperatura do material no leito apresentou variação de 24,7 a 76,0 °C. A duração do período à taxa constante é pouco perceptível graficamente, apresentando em seguida uma taxa decrescente, em que a velocidade de remoção de umidade diminui ao longo do processo. Para os dois ensaios de secagem, observa-se que o período de taxa decrescente vai até aproximadamente 60 min. Com isso, verifica-se que a perda de umidade por difusão controla a velocidade do processo.

É possível ressaltar que processos em LFP podem apresentar menor duração, uma vez que Cardoso (2012), estudou a secagem da banana verde em secador de bandejas a 50 °C e obteve duração de 5,9 h.

Figura 2 - Curva de secagem ajustada com o modelo de Midilli *et al.* (2002) para 55 °C e 75 °C.



O modelo matemático de Midilli *et al.* (2002) apresentou bom ajuste, verificado pelo coeficiente de determinação (R^2) e o valor de qui-quadrado (χ^2), apresentados na Tabela 1. A ANOVA e o Teste-F de regressão indicaram que o modelo de Midilli *et al.* (2002) é significativo (95 % de confiança), visto que o F calculado foi maior que o tabelado em 260 vezes para $T = 55$ °C e em 210 vezes para $T = 75$ °C.

Tabela 1 - Valores das constantes do modelo de Midilli *et al.* (2022) e parâmetros de ajuste para a curva de secagem em LFP, $T = 55$ °C e $T = 75$ °C, em comparação aos relatados na literatura.

	$a_M (-)$	$k_M (h^{-1})$	$n_M (-)$	$b_M (h^{-1})$	R^2	χ^2
$T = 55$ °C	1,0050	0,0061	1,6272	0,0003	0,9943	0,0013
$T = 75$ °C	0,9997	0,0244	1,2686	0,0000	0,9942	0,0013
Cardoso (2012), $T = 50$ °C	0,9919	0,0054	1,09	-0,0001	0,9996	0,0001
Cardoso (2012), $T = 70$ °C	0,9884	0,0093	1,13	-0,0001	0,9990	0,0001
Lima <i>et al.</i> (2017)	1,0146	0,000037	0,9589	-0,000004	0,9980	-

Cardoso (2012) estudou a secagem de banana verde Nanicão em camada delgada, obtendo um R^2 de 0,9996 para o mesmo modelo, à temperatura de 50 °C, enquanto que para a secagem a 70 °C, apresentou um R^2 de 0,9990. Lima *et al.* (2017) também obtiveram bom ajuste (R^2 de 0,9980) ao utilizar o modelo de Midilli para representar a secagem da banana Pacovan em estufa à 60 °C.

Caracterização físico-química das farinhas de banana verde obtidas em LFP

Os resultados obtidos na determinação da composição química das farinhas integrais de banana verde estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Composição química, em base úmida, das farinhas obtidas na secagem da banana verde com casca em LFP, com $T = 55$ °C e $T = 75$ °C.

Componentes (g/100 g)	$T = 55$ °C		$T = 75$ °C	
Cinzas	3,59	± 0,03 ^a	3,55	± 0,08 ^a
Proteínas	5,63	± 0,02 ^a	5,65	± 0,05 ^a
Lipídios	2,5	± 0,4 ^a	2,0	± 0,2 ^a
Umidade	6,7	± 0,5 ^a	4,39	± 0,02 ^b
Carboidratos	81,59		84,42	

^{a, b} médias indicadas pela mesma letra, na mesma linha, não diferem significativamente entre si ($p > 0,05$).

Verifica-se que a umidade das duas farinhas obtidas atendem à legislação brasileira da RDC n° 263, de 22 de setembro de 2005 (Brasil, 2005), na qual é especificada uma umidade máxima de 15 g/100 g (b.u.) em farinhas. As amostras diferiram significativamente no teor de umidade, a qual para $T = 75$ °C, mesmo com menor tempo de secagem (80 min), atingiu-se uma umidade menor que a alcançada a $T = 55$ °C, com 100 min de processo.

Bezerra (2010) reportou valores menores para proteínas (4,33 g/100 g) e cinzas (2,72 g/100 g) e maior umidade (8,4 g/100 g) da farinha de banana verde da variedade Nanicão obtida por secagem em leito de jorro a 80 °C, em aproximadamente 76 min. No estudo publicado por Cardoso (2012), os teores de proteínas (4,89 g/100 g), cinzas (3,16 g/100 g) e lipídios (1,63 g/100 g) da farinha de banana verde da variedade Nanicão, estão mais próximos aos valores obtidos no presente estudo. Porém, o autor reportou um teor de carboidratos inferior (72,66 g/100 g) e umidade de 9,85 g/100 g.

Os valores de pH obtidos para as farinhas (Tabela 3) foram menores do que o encontrado por Borges *et al.* (2009) em farinha de banana da variedade Prata produzida em estufa de circulação de ar forçado a 70 °C por 12 horas (5,30), o que pode ser explicado em razão da adição de ácido cítrico durante o preparo da matéria-prima, diminuindo o pH do meio.

Tabela 3 – Resultados de pH, atividade de água e cor instrumental das FIBV obtidas

Amostras	pH		a_w		L^*		a^*		b^*	
T = 55 °C	4,25	± 0,01 ^a	0,33	± 0,02 ^a	74,2	± 0,7 ^a	4,12	± 0,05 ^a	16,8	± 0,1 ^a
T = 75 °C	4,12	± 0,01 ^b	0,24	± 0,07 ^a	76,0	± 0,2 ^b	3,62	± 0,05 ^b	15,7	± 0,2 ^b

^{a, b} médias indicadas pela mesma letra, na mesma coluna, não diferem significativamente entre si ($p > 0,05$).

Tendo em vista a atividade de água, a qual é uma propriedade fundamental para a caracterização do material, uma vez que expressa o teor de água no produto encontrado no estado livre, considera-se que o meio pode permitir o desenvolvimento de microrganismos para valores maiores que 0,60 (Chisté *et al.*, 2006). Portanto, conclui-se que as farinhas produzidas estão dentro do limite proposto, sendo estáveis para armazenamento à temperatura ambiente. Os dados de cor instrumental referentes às coordenadas L^* , a^* e b^* (Tabela 3) certificam que as farinhas apresentam alta luminosidade, representada por L^* , e predominância da componente

amarela (b^*) em relação à verde (a^*). No entanto, a farinha proveniente da secagem a 75 °C apresentou maior luminosidade, o que não está condizente com o reportado em Cardoso (2012), que constatou redução da coordenada L^* com o aumento da temperatura de secagem. Diante disso, sugere-se que como a amostra proveniente da secagem em menor temperatura foi exposta a um maior tempo de retirada de umidade, nota-se uma situação mais favorável para o escurecimento enzimático.

Quando comparada com a coloração da farinha de trigo integral, que apresentou L^* de $80,3 \pm 0,4$, a^* de $2,6 \pm 0,2$ e b^* de $11,1 \pm 0,2$, a amostra proveniente da secagem a 55 °C apresentou um ΔE de $8,8 \pm 0,6$, enquanto que a comparação com a farinha produzida a 75 °C resultou em um ΔE de $6,5 \pm 0,2$.

Diante da Tabela 4, verifica-se que as duas farinhas apresentaram densidades compactadas maiores que as densidades *bulk*, notando-se que são facilmente compactadas, uma vez que partículas com resistência à compactação possuem densidades *bulk* baixas, já que tendem a se organizar de maneira aleatória, havendo espaços vazios entre elas (Santos, 2018). Os valores de densidade real e porosidade estão em conformidade com Rayo-Mendez (2013), que reportou 1,452 g/cm³ e 0,70, respectivamente. Os valores de índice de Hausner obtidos tanto para a farinha proveniente da secagem a 55 °C quanto para a de 75 °C foi de $0,78 \pm 0,04$, o que caracteriza um escoamento livre, de acordo com Turchiuli *et al.* (2005). O mesmo ocorreu com o índice de Carr determinado, em que a farinha de 55 °C apresentou ($22,00 \pm 0,04$ %), e para a de 75 °C verifica-se o valor de ($22,00 \pm 0,01$ %), fazendo referência a uma fluidez moderada (Turchiuli *et al.*, 2005).

Tabela 4 – Resultados de densidades bulk, real e compactada e porosidade das FIBV obtidas

Amostras	ρ_{bulk}		$\rho_{compactada}$		ρ_{real}	\mathcal{E}		
T = 55 °C	0,457	± 0,002 ^a	0,59	± 0,03 ^a	1,504	0,696	± 0,001 ^a	
T = 75 °C	0,490	± 0,007 ^b	0,63	± 0,01 ^a	1,515	0,677	± 0,004 ^a	

^{a, b} médias indicadas pela mesma letra, na mesma coluna, não diferem significativamente entre si ($p > 0,05$).

De acordo com os resultados das análises de amido total (AT) e resistente (AR), dispostos na Tabela 5, nota-se que para o teor de amido resistente, não houve diferença significativa entre as farinhas obtidas nas diferentes temperaturas estudadas, o que pode ser explicado em razão do teor de AR ser influenciado pelas diferentes combinações de condições de secagem adotadas, como o equipamento utilizado, a geometria do material alimentado no leito e a vazão de ar (Tribess *et al.*, 2009). Com isso, toma-se atenção a eficácia da secagem de banana verde em leito fluidizado pulsado a 75 °C, que para um mesmo tempo de processo, apresentou menor umidade e um teor de amido resistente próximo ao presente na farinha proveniente da secagem a 55 °C.

Tabela 5 – Teores de amidos total e resistente das FIBV provenientes da secagem em LFP

Amostras	LFP		LFP	
	T = 55 °C		T = 75 °C	
AR (g/100 g)	35,0	± 1,3 ^a	34,7	± 0,2 ^a
AT (g/100 g)	64,1	± 0,5 ^a	67,8	± 1,9 ^b

^{a, b} médias indicadas pela mesma letra, na mesma linha, não diferem significativamente entre si ($p > 0,05$).

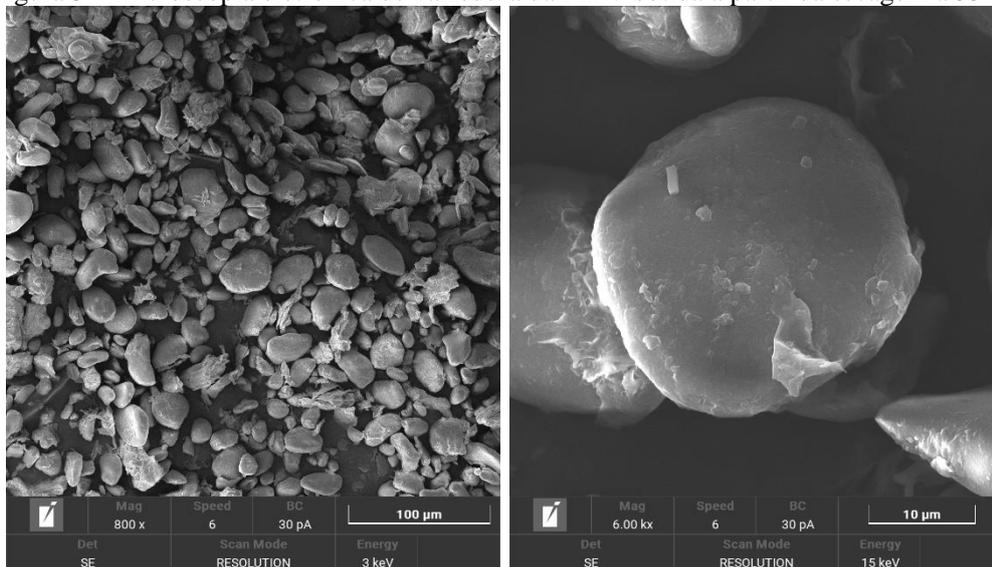
Bezerra *et al.* (2013) obtiveram um teor de amido resistente de $35,065 \pm 0,15$ % (b.s.) para farinha de banana verde com casca obtida pela secagem em leito de jorro a 80 °C e Silva (2015) reportou um teor de $23,10 \pm 0,84$ g/100 g (b.s.) para a farinha de banana verde sem casca seca em estufa a 65 °C por 16 h.

Tribess *et al.* (2009) estudaram a secagem da banana verde sem casca a partir de um secador de bandejas com diferentes condições de temperatura por cerca de 6 h, em que para a

temperatura de 55 °C e velocidade do ar de 0,6 m/s, obtiveram um teor de amido resistente de $43,8 \pm 4,7$ g/100 g, em base seca.

Os valores de amido total presentes nas amostras secas a 55 e 75 °C foram inferiores aos apresentados por Borges *et al.* (2009), de 72,72 g/100 g (b.s.), da farinha integral de banana verde obtida em estufa de circulação de ar forçado a 70 °C por 12 h e por Silva (2015), que registrou 78,80 g/100 g (b.s.) para a FIBV proveniente da secagem em estufa a 65 °C.

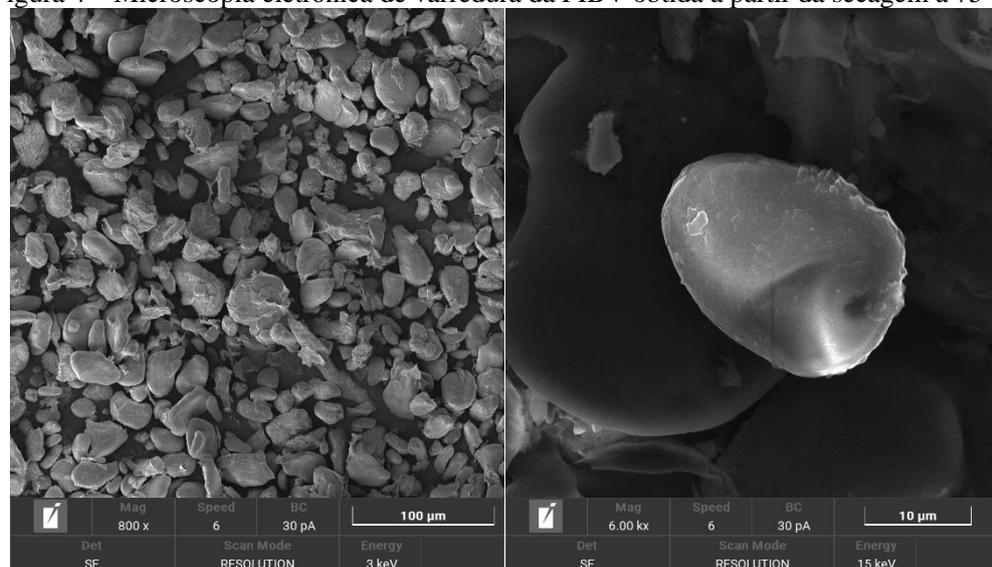
Figura 3 – Microscopia eletrônica de varredura da FIBV obtida a partir da secagem a 55 °C



(a) Ampliação de 800x.

(b) Ampliação de 6000x.

Figura 4 – Microscopia eletrônica de varredura da FIBV obtida a partir da secagem a 75 °C



(a) Ampliação de 800x.

(b) Ampliação de 6000x.

Diante da análise por microscopia eletrônica de varredura, observa-se que os grânulos de amido presentes na farinha obtida pela secagem em LFP a 55 °C (Figura 3) são bem distribuídos e não apresentam degradações em sua estrutura. Ambas as farinhas apresentaram grânulos cujas dimensões variam de 25 e 62 μm. A secagem da banana verde a 75 °C encaixa-se uma situação de risco para a preservação dos benefícios fisiológicos da fruta, uma vez que a a fruta apresenta alta umidade, a temperatura do ar de secagem está acima da de gelatinização do amido resistente encontrada na literatura, gerando um cenário favorável para a degradação dos grânulos de amido. No entanto, ao observar a Figura 4, estima-se baixo índice de

gelatinização, uma vez que na região avaliada, os grânulos apresentam-se íntegros com superfície regular.

O mesmo foi observado por Bezerra (2010), em que reportou a presença de grânulos intactos, sugerindo que não houve gelatinização do amido durante o processo de secagem da banana verde com casca em leito de jorro a 80°C.

Conclusões

O processo de secagem de banana verde orgânica integral em leito fluidizado pulsado demonstrou-se viável para a produção da farinha, uma vez que promoveu a redução de umidade e atividade de água para as duas temperaturas de entrada do ar utilizadas nos ensaios experimentais (55 °C e 75 °C), condizentes com as normas brasileiras, garantindo a estabilidade do produto.

Nas condições de processo estudadas, o modelo de Midilli foi adequado para descrever as cinéticas de secagem do fruto. As propriedades físico-químicas (a_w , umidade, pH e cor instrumental) da farinha obtida da secagem da banana em leito fluidizado pulsado foram compatíveis com as de farinhas de banana verde obtidas por outras técnicas de secagem. Com relação aos teores de amido resistente encontrados, nota-se que não houve diferença significativa entre as farinhas obtidas, então observa-se o favorecimento do processo a 75 °C. A análise de microscopia eletrônica de varredura constatou a integridade dos grânulos de amido nesse estudo. Ainda, destaca-se escoamento livre e fluidez moderada, observando que o processo de aglomeração pode ser utilizado para produzir um pó com melhor fluidez e menos coesivo.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Instituto Mauá de Tecnologia pela infraestrutura oferecida na realização desse trabalho (IMT 13897/24/20) e pela concessão da bolsa de Iniciação Científica, à FAPESP (EMU 2021/04848-0, EMU 2019/25707-6), e ao Food Reserach Center (FoRC 2013/07914-8).

Referências Bibliográficas

- AOAC. Association of Official Analytical Chemists. (2000) *Official Methods of Analysis of AOAC International*. Arlington.
- Bezerra, C. V. (2010) Caracterização e avaliação das propriedades funcionais tecnológicas da farinha de banana verde obtidas por secagem em leito de jorro. *Tese de Mestrado*. Universidade Federal do Pará. Belém.
- Borges, A. D. M.; Pereira, J; Lucena, E. M. P. (2009) Caracterização da Farinha de Banana Verde. *Ciência e Tecnologia de Alimentos* (29), Campinas.
- Bezerra, C. V.; Amante, E. R.; Oliveira, D. C.; Rodrigues A. M. C.; Silva, L. H. M. (2013) Green banana (*Musa cavendishii*) flour obtained in spouted bed – Effect of drying on physico-chemical, functional and morphological characteristics of the starch. *Industrial Crops and Products*. v.41.
- Brasil. Ministério da Saúde. (2005) Agência Nacional de Vigilância Sanitária. *Resolução - RDC n° 263, de 22 de setembro de 2005*.
- Cardoso, J. M. (2012) Secagem em camada delgada da banana nanicao em diferentes estádios de maturação. *Tese de Mestrado*. Universidade Federal do Pará. Belém.
- Chisté, R. C.; Cohen, K. O.; Mathias, E. A.; Ramos Júnior, A. G. A. (2006) Qualidade da Farinha de Mandioca do Grupo Seca. *Ciência e Tecnologia de Alimentos* (26).
- FAO (Food and Agriculture Organization). (2022) Crops and Livestock Products. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*.

- Fernandes, C. P.; Nitz, M.; Victorino, L. C. S. (2021) Estudo da Adição de Ácido Cítrico no Pré-Processamento da Farinha de Banana Verde. *Simpósio Internacional de Iniciação Científica e Tecnológica da USP*. São Caetano do Sul.
- Fernandes, C. P.; Marcondes, G. S.; Victorino, L. C. S. (2021) Estudo da secagem de banana verde em leito fluidizado pulsado. *Congresso Nacional de Iniciação Científica. Conic-Semesp*. São Paulo.
- Izidoro, D. R.; Junior, B. D.; Haminiuk, C. W. I.; Sierakowski, M. R.; Freitas, R. J. S.; Scheer, A. P. (2007) Granules morphology and rheological behavior of green banana (*Musa cavendishii*) and corn (*Zea mays*) starch gels. *Ciência e Agrotecnologia*. Curitiba.
- Jia, D.; Bi, X.; Lim, C. J.; Sokhansanj, S.; Tsutsumi, A. (2016) Biomass Drying in a Pulsed Fluidized Bed without Inert Bed Particles. *Fuel*, 186. 270-284.
- La Fuente, C. I. A. (2017) Efeito Combinado do Ultrassom e do Pulso de Vácuo sobre a Cinética de Secagem da Banana Verde (*Musa cavendishii*). *Tese de Doutorado*. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo.
- Lima, F. C.; Macena, C. J.; Ferreira, J. C.; Melo, J. C.; Feitosa, R. M. (2017) Cinética de Secagem da Banana Verde Pacovan (*Musa x paradisiacal*). *Revista Brasileira de Agrotecnologia*. Brasil.
- McCleary, B. V.; Monaghan, D. A. (2002) Measurement of resistant starch. *Journal of AOAC International*. 85, p.665-675.
- Midilli, A.; Kucuk, H.; Yapar, Z. (2002) A New Model for Single-Layer Drying. *Drying Technology*. Nova York, v. 20.
- Nitz, M. Fluidodinâmica, Secagem e Recobrimento em Leito Pulso-Fluidizado. (2006) *Tese de Doutorado*. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Química. Campinas.
- Ormenese, R. D. C. S. C. (2010) Obtenção de Farinha de Banana Verde por Diferentes Processos de Secagem e Aplicação em Produtos Alimentícios. *Tese de Doutorado*. Universidade Estadual de Campinas. Campinas.
- Padhi, S.; Dwivedi, M. (2022) Physico-Chemical, Structural, Functional and Powder Flow Properties of Unripe Green Banana Flour After the Application of Refractance Window Drying. *Future Foods*. Odisha, India.
- Pereira, K. D. (2007) Amido resistente, a última geração no controle de energia e digestão saudável. *Food Science and Technology*, Jundiaí, v. 27.
- Rayo-Mendez, L. M.; Gómez, A. V.; Tadini, C. C. (2019) Extraction of soluble sugars from banana puree to obtain a matrix rich in non-starch polysaccharides. *Food Chemistry*, v. 294.
- Rayo-Mendez, L. M. (2013) Processo de aglomeração de farinha de banana verde com alto conteúdo de amido resistente em leito fluidizado pulsado. *Tese de Mestrado*. Universidade de São Paulo. São Paulo.
- Santos, F. S.; Figueirêdo, R. M. F.; Lima, T. L. B.; Lima, A. R. C.; Queiroz, A. J. D. M. (2018) Caracterização Física de Farinha de Amêndoas de Manga. *Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia*. Maceió.
- Silva, A. A. (2015) Caracterização físico-química e avaliação das propriedades funcionais da farinha de banana verde (*Musa spp.*) obtida por dois tipos de secagem. *Tese de Mestrado*. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica, RJ.
- Tribess, T. B.; Hernández-Uribe, J. P.; Méndez-Montealvo, M. G. C.; Menezes, E. W.; Bello-Perez, L. A.; Tadini, C. C. (2009) Thermal properties and resistant starch content of green banana flour (*Musa cavendishii*) produced at different drying conditions. *LWT - Food Science and Technology*.
- Turchiuli, C.; Eloualia, Z.; Mansouri, N. E.; Dumoulin, E. (2005) Fluidised bed agglomeration: Agglomerates shape and end-use properties. *Powder Technology*. France.