


SEGURANÇA NO CONSUMO DE BANANAS VERDES E MADURAS, IN NATURA E DESIDRATADAS, AVALIADA POR FLUORESCÊNCIA DE RAIOS X POR DISPERSÃO DE ENERGIA PARA DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA ELEMENTAR

 <https://doi.org/10.56238/arev7n3-055>

Data de submissão: 07/02/2025

Data de publicação: 07/03/2025

Juliana Silva Nunes

Graduado em Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia, Universidade de Sorocaba, Sorocaba (SP) Brasil

José Martins de Oliveira Junior

Programa de Pós-Graduação em Processos Tecnológicos e Ambientais, Universidade de Sorocaba, Sorocaba (SP) Brasil

Valquíria Miwa Hanai-Yoshida

Programa de Pós-Graduação em Processos Tecnológicos e Ambientais, Universidade de Sorocaba, Sorocaba (SP) Brasil
E-mail valquiria.yoshida@prof.uniso.br

RESUMO

As bananas, tanto "in natura" quanto desidratadas, foram examinadas nos estádios de maturação 1 e 7 usando um forno e foram analisadas pela técnica de fluorescência de raios X por dispersão de energia (EDXRF) que facilitou a análise elementar. Esta investigação estabeleceu um protocolo experimental para a análise de EDXRF de bananas, produzindo dados empíricos sobre seu conteúdo nutricional elementar. Consequentemente, as concentrações elementares na bananeira prateada (*Musa spp.*) podem se correlacionar com sua maturidade e estado de hidratação. Além disso, observou-se que, além dos macros e micronutrientes presentes, as bananas contêm impurezas e metais pesados, justificando cautela em seu consumo. As discussões abrangeram os limites diários de ingestão de bananas prateadas, sua segurança toxicológica com base em dados experimentais e as implicações para o consumo humano dessa pseudofruta.

Palavras-chave: Banana. EDXRF. Análise Elementar. Segurança alimentar. Conteúdo Nutricional.

1 INTRODUÇÃO

As bananas "in natura" desempenham um papel social e econômico significativo no Brasil, o maior consumidor mundial dessa pseudofruta e o quarto maior produtor mundial, com uma produção anual de 6,6 milhões de toneladas em 455 mil hectares. O agronegócio da banana gera aproximadamente R\$ 13,8 bilhões e 500 mil empregos diretos no país. ¹

Apesar desses números impressionantes, as exportações brasileiras de banana são limitadas, sendo a maior parte consumida "in natura" e uma pequena parcela industrializada para o mercado interno. Essa baixa taxa de exportação é atribuída à necessidade de mais tecnologia para controle de qualidade e eficiência de transporte. ¹

Pereira et al. e Sperança et al., em estudos anteriores, realizaram análises elementares de bananas usando a técnica de fluorescência de raios X por dispersão de energia (EDXRF), mas surgiram desafios com a parametrização do equipamento e o preparo da amostra. Compreender as concentrações de nutrientes nas bananas é particularmente importante devido ao seu alto consumo no Brasil. ^{2 3}

As bananeiras absorvem principalmente potássio (K), nitrogênio (N), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) do solo, entre outros elementos. Esse conhecimento reforça a necessidade de investigar como esses nutrientes variam com o estágio de amadurecimento e o estado de desidratação da pseudofruta. ^{1,4}

Este estudo explora como o estágio de amadurecimento e o estado de desidratação das bananas influenciam sua composição elementar, dado o papel proeminente do Brasil na produção e consumo de banana. Usando a técnica EDXRF, avaliamos a hipótese de que a composição elementar das bananas difere com base nos níveis de amadurecimento e desidratação. Nossas descobertas fornecem informações sobre elementos nutricionais que podem aumentar o valor das bananas desidratadas. Além disso, desenvolvemos um protocolo experimental para análise de bananas e fornecemos dados comparativos entre bananas frescas e desidratadas (maduras e verdes), estabelecendo diretrizes para a ingestão diária adequada de nutrientes.

2 METODOLOGIA

2.1 PRODUÇÃO DE BANANA PASSAS

Utilizou-se o método de produção descrito por Pereira et al. com adaptações dos autores Batista et al. , Padilha et al. e Stringheta et al. Foram utilizadas dezesseis bananas no estágio 7 de maturação (peso bruto de 2.765 kg) e 16 no estágio 1 (peso bruto de 2.215 kg), além de luvas de látex, máscaras descartáveis, papel manteiga, estufa de secagem com circulação de ar (Fame ^{3 5 6 7}®, 520/3-C, Brasil), balança granular (Matte®, AS 2000, Brasil), garrafas de vidro âmbar com tampas, sacos

plásticos de polietileno, bandejas plásticas, ácido cítrico, ácido ascórbico e equipamentos de embalagem a vácuo (Engaged®, SUV308, Itália).

Inicialmente, as bananas foram imersas em água clorada (concentração de 50 ppm) por 30 min, em seguida enxaguadas e imersas em solução antioxidante contendo 4% de ácido cítrico e 1% de ácido ascórbico por 5 min, reproduzindo a técnica de Mota. Depois, as bananas foram retiradas, pesadas, numeradas e colocadas em bandejas. Em seguida, foram imediatamente colocados em estufa de secagem a 70 ± 3 °C, com velocidade do ar de 3 m/s, por 12 h. Após a secagem, os pseudofrutos foram resfriados por 15 min. As bananas foram embaladas a vácuo em sacos plásticos e armazenadas em geladeira por 10 dias para uniformidade de umidade, conforme sugerido por Stringheta et al.^{8 7}

2.2 ANÁLISE DO TEOR DE UMIDADE DA BANANA

A análise de balanço de massa quantificou a perda de umidade no forno de ar circulante por meio da pesagem das bananas antes e após a dessecação. A diferença de massa resultante representou a porcentagem de água evaporada.

2.3 PREPARAÇÃO DE AMOSTRAS PARA ANÁLISE ELEMENTAR

O método de preparo da amostra seguiu Caldana et al. com modificações. Os comprimidos prensados foram feitos com 160 g de pó derivado de celulose (227833, 31/08/2021, Taiwan), luvas e máscaras descartáveis, um moedor de grãos (Black & Decker, MG200-B2, China), uma balança de celeiro, uma prensa hidráulica AMEF (AP-25T, Brasil), garrafas plásticas com tampas e bandejas. As bananas foram moídas individualmente por 3 min, com duas pausas para mistura mecânica usando uma espátula de aço inoxidável.⁹

Devido às texturas variáveis da banana, a celulose em pó foi adicionada para facilitar a compressão, com testes determinando a proporção padrão de celulose para banana para cada 1,5 g de banana: 0,5, 1, 1,5, 2, 2,5, 3, 3,5 e 4 g de celulose. Após homogeneização no moedor, uma prensa hidráulica aplicou $5,0 \text{ t cm}^{-2}$ por 10 s para formar comprimidos. Estes foram analisados quanto à resistência, umidade e homogeneidade. A massa final do comprimido foi fixada em 4 g, compreendendo 1,5 g de amostra de banana e 2,5 g de celulose, uma concentração consistente usada em todo o processo.

Cada amostra de banana processada de 1,5 g foi colocada em recipientes plásticos rotulados de acordo com a condição ("in natura" ou desidratada) e maturação (1 ou 7). O moedor foi limpo entre cada amostra para evitar contaminação cruzada.

A homogeneização levou 180 s com duas pausas de 60 s, e as amostras foram armazenadas de acordo com seu estado e maturação. Os comprimidos resultantes eram sólidos e coesos o suficiente para suportar a expansão do plasma induzida por laser, aumentando a precisão e a reprodutibilidade das medições. ¹⁰

Cada amostra foi pesada e prensada em um comprimido redondo; aproximadamente 30,15 mm de diâmetro e 4,36 mm de altura, usando $5,0 \text{ t cm}^{-2}$ por 10 s. Os comprimidos não coesivos foram refeitos. Os comprimidos acabados foram armazenados em recipientes plásticos com tampas e prontos para análise.

2.4 ANÁLISE ELEMENTAR DE BANANAS UTILIZANDO A TÉCNICA EDXFR

As medições foram realizadas usando um espectrômetro EDXRF de bancada (Malvern®, Epsilon 1, Reino Unido) equipado com um tubo de raios X de 5 W, ânodo Ag de 10 a 50 kV, com resolução de energia de 125 eV. O espectrômetro tinha um detector de desvio de silício de alta resolução operando sob pressão atmosférica.

3 RESULTADOS

3.1 TEOR DE HUMIDADE DAS AMOSTRAS

O teste de Shapiro-Wilk foi realizado nos dados dos ensaios de desidratação para avaliar se a distribuição de umidade se assemelha a uma distribuição normal. Os resultados indicaram que as massas amostrais seguem uma distribuição normal, com uma estatística W produzindo um valor de significância de $p < 0,05$. Consequentemente, um teste t de amostras independentes foi considerado apropriado.

A Tabela 1 apresenta os resultados do teste t para amostras independentes. Mostrou uma diferença significativa ($p < 0,01$) entre a massa bruta no tempo inicial (t_0) e a umidade perdida após a secagem das bananas maduras e verdes, sendo que as bananas maduras apresentaram uma perda de umidade mais significativa do que as verdes.

Tabela 1 - Resultados do teste t para amostras independentes

Parâmetro avaliado	Massa bruta (g) t_0		Umidade perdida (%)	
	Maduro	Verde	Maduro	Verde
Tamanho	17	18	17	18
Média	112.7041	90.2539	58.6400	48.7813
Variação	115.1931	276.1955	14.2557	9.6110
	Homocedasticidade	---	Homocedasticidade	---
Variação	198.1337	---	11.8630	---

T	4.7159	---	8.4635	---
Graus de liberdade	33	---	33	---
p (unilateral)	< 0,0001	---	< 0,0001	---
p (bilateral)	< 0,0001	---	< 0,0001	---
Potência (0,05)	0.9990	---	1.0000	---
Potência (0,01)	0.9921	---	1.0000	---
Diferença entre médias	22.4502	---	9.8587	---
IC 95% (Diferença entre médias)	12.7636 a 32.1369		7.4884 a 12.2289	
IC 99% (Diferença entre médias)	9.4344 a 35.4661	---	6.6738 a 13.0435	---

Legenda: Intervalo de confiança (IC). Calculado no software BioEstat 5.3.

As bananas maduras exibiram uma massa inicial média de 112,7 g, que diminuiu para uma massa seca de 66,23 g pós-dessecação, resultando em uma perda média de umidade de 58,64%. Em contraste, as bananas verdes apresentaram massa inicial média de 90,25 g e massa seca final de 43,98 g, resultando em perda de massa média de 48,78% por banana (Tabela 1).

3.2 ANÁLISE ELEMENTAR EDXRF

Cada comprimido foi analisado usando equipamento EDXRF de acordo com as especificações previamente delineadas, com duração de 50 min por amostra. Os elementos magnésio (Mg), fósforo (P), alumínio (Al), arsênio (As) e escândio (Sc) não foram detectados. Esta análise produziu as concentrações, expressas em $\mu\text{g g}^{-1}$, de 32 elementos nas 64 amostras.

Para facilitar a interpretação, calculamos a média (\bar{x}) e o desvio padrão (s) das concentrações ($\mu\text{g g}^{-1}$) para cada elemento ($n=3$). Os dados resultantes foram categorizados em quatro grupos com base na maturidade e no estado de hidratação: bananas maduras "in natura" (A), verdes "in natura" (B), maduras desidratadas (C) e bananas verdes desidratadas (D) (ver Tabela 2).

Tabela 2 - Dados de concentração ($\mu\text{g g}^{-1}$) da análise elementar das bananas maduras "in natura" (A), verdes "in natura" (B), maduras desidratadas (C) e verdes desidratadas (D)

Elemento	Um		B		C		D	
	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s
Ti	4.1	2.8	7.6	2.6	6.9	4.3	6.03	1.5
V	3.4	1.8	3.5	2	3.6	2.7	3.6	2.1
S	440.7	46.0	533.6	49.9	575.1	68.0	655.2	63.2
Cl	2250.0	120.8	2255.5	107.5	3300.3	103.2	3559.1	312.2
Ca	654.7	109.2	625.0	40.3	713.7	53.0	733.3	61.0
Mn	49.1	22.8	54.9	22.6	62.9	13.7	64.5	26.0
Fe	300.4	23.2	289.4	27.2	348.1	40.8	152	28.6
	10.5	1.7	11.9	2.9	14.5	5.2	16.4	8.4
Zn	5.9	0.9	5.2	0.8	9.2	1.0	9.9	1.3

Pd	3.7	2.2	4.3	3.1	3.4	2.0	5.9	2.0
Sr	2.6	0.6	2.7	0.6	3.3	0.7	3.4	0.5
K	8522.0	438.4	9701.1	471.6	17920.3	1510.6	17155.3	2388.0
Si	2146.7	162.7	2614.3	158.8	2001.5	190.4	2012.5	304.5
Y	5.1	0.7	4.9	0.6	4.6	0.6	4.7	0.7
Zr	8.4	1.0	9.0	0.8	9.1	0.5	9.1	0.9
Nb	9.8	1.0	9.7	0.8	9.6	0.9	9.8	0.8
Cr	17.4	5.9	17.9	4.4	17.3	3.1	20.0	5.6
Co	88.3	70.1	119.1	59.5	102.8	70.0	99.4	78.1
Ni	4.4	1.3	4.7	1.7	6.6	1.7	4.3	1.5
Mo	8	0.8	8.4	1.1	8.9	0.8	9.2	1.3
Br	0.5	0.3	0.9	0.5	0.5	0.3	2.2	0.4
Rb	2.7	0.4	4.7	0.7	4.8	0.8	10.2	1.0
Tc	0.9	0.7	0.9	0.5	0.7	0.4	1.0	0.4
Ru	0.5	0.4	0.5	0.3	0.5	0.4	0.8	0.5
Ag	1515.0	19.9	1444.0	20.6	1501.2	18.6	151.6	23.8
Unidade astronômica	0.7	0.4	0.6	0.7	0.7	0.7	0.5	0.6
Bi	2.1	0.7	1.8	0.5	1.8	0.7	1.7	0.6
CD	11.7	4.0	10.5	2.9	10.8	2.2	11.2	3.1
Em	4.1	1.0	3.1	1.6	3.5	1.5	3.8	2.0
Sn	32.8	9.3	35.5	3.3	37.9	8.7	40.2	10.6
Sb	22.4	4.7	19.7	4.9	19.8	3.7	21.1	4.2
Hf	2.4	1.3	2.2	1.7	2.9	1.4	1.9	1.7

4 DISCUSSÃO

A técnica EDXRF nos ajuda a entender os elementos presentes neste pseudo-fruto amplamente consumido. As bananas são valorizadas por seu sabor e significado nutricional e desempenham um papel crucial nas dietas globais (HOWARD; HOLLEY; WARNER, 1955). Apesar de serem reconhecidos por sua importância, pesquisas adicionais sobre a composição química detalhada das bananas podem influenciar as recomendações dietéticas diárias. Este estudo aborda essa lacuna investigando bananas prateadas em dois estágios de maturação, incluindo amostras secas e frescas.

Silva Júnior et al. (2010, p. 25) estudaram os macronutrientes e micronutrientes absorvidos pelas bananeiras. Eles descobriram que os macronutrientes mais absorvidos, em ordem decrescente, eram potássio (K), nitrogênio (N), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S) e fósforo (P). Os micronutrientes mais absorvidos, também em ordem decrescente, foram cloro (Cl), manganês (Mn), ferro (Fe), zinco (Zn) e cobre (Cu). Nossa investigação identificou os macronutrientes K, Ca e S e os micronutrientes Cl, Fe, Mn, molibdênio (Mo) e Zn usando a técnica adotada (ver Tabela 2).

De acordo com a classificação ICH Q3D, as impurezas pertencentes à classe 1 (As, Cd, Hg e Pb) e à classe 2A (Co, Ni, V) são altamente tóxicas para os seres humanos, sendo as da classe 1 as mais tóxicas com limites máximos de ingestão diária controlados. Para os elementos da classe 1 geralmente chamados de metais pesados, apenas Cd foi observado neste trabalho, com uma concentração média em torno de $11 \cdot 10^{-10} \mu\text{g g}^{-1}$. De acordo com a Farmacopeia Brasileira, o limite máximo permitido para ingestão oral de Cd é de $0,5 \cdot 10^{-11} \mu\text{g g}^{-1}$, sendo o resultado obtido neste estudo aproximadamente 22 vezes acima do limite permitido.

Para os elementos da classe 2A, a Farmacopeia Brasileira não define um limite para o Co, mas para os elementos vanádio e níquel, o limite para ambos é de $25 \mu\text{g g}^{-1}$. Nosso trabalho encontrou valores muito inferiores ao limite máximo permitido pela Farmacopeia Brasileira para a ingestão desses elementos. ¹¹

É importante notar que realizamos a produção e análise de amostras separadamente para todas as 64 bananas. Este procedimento foi necessário porque as bananas são produtos biológicos com um prazo de validade limitado. Para garantir que nossas amostras estivessem em ótimas condições e evitar que a deterioração afetasse os resultados, produzimos os comprimidos pouco antes de realizar a análise de fluorescência (EDXRF) para cada lote de amostras.

Estudar pseudo-frutas em dois estágios diferentes de amadurecimento nos ajuda a entender como sua composição química muda à medida que amadurecem. Além disso, comparar bananas desidratadas e frescas pode nos dar informações sobre como o processamento afeta a composição química das pseudofrutas. Esta pesquisa aumenta nosso conhecimento sobre a composição elementar das bananas e explora sua segurança para consumo.

4.1 COMPOSIÇÃO GERAL

Os elementos titânio (Ti), vanádio (V), paládio (Pd), zircônio (Zr), nióbio (Nb), estrôncio (Sr), ítrio (Y), níquel (Ni), rubídio (Rb), tecnécio (Tc), prata (Ag), ouro (Au), tungstênio (W) e índio (In) não desempenham um papel biológico conhecido nos processos metabólicos ou funções corporais. Além disso, foram encontrados em baixas concentrações ($< 10^{-5} \text{ mg g}^{-1}$) nas amostras deste estudo (Tabela 2).

Não há evidências diretas de que o estrôncio seja tóxico para os seres humanos. No entanto, estudos epidemiológicos sugerem que altas doses orais de estrôncio podem ser tóxicas para humanos sob certas condições. O estrôncio estável tem toxicidade relativamente baixa e compõe cerca de $4,6 \mu\text{g g}^{-1}$ do corpo humano. No entanto, não tem um papel biológico essencial reconhecido. A exposição humana ao estrôncio ocorre principalmente por ingestão oral, como o consumo de frutas, vegetais e

água potável, embora a exposição por inalação também seja possível. O teor médio de estrôncio neste estudo foi de $2,6 \pm 0,6 \mu\text{g } ^{12}\text{g}^{-1}$ para bananas maduras "in natura", $2,7 \pm 0,6 \mu\text{g } ^{12}\text{g}^{-1}$ para bananas verdes "in natura", $3,3 \pm 0,7 \mu\text{g } ^{12}\text{g}^{-1}$ para bananas maduras desidratadas e $3,4 \pm 0,5 \mu\text{g } ^{12}\text{g}^{-1}$ para bananas verdes desidratadas (ver Tabela 2). Portanto, é possível concluir que as bananas não contêm níveis tóxicos de estrôncio.

De acordo com Favero, Ribeiro e Aquino, os elementos enxofre (S), cloro (Cl) e cálcio (Ca) desempenham papéis essenciais no corpo humano, com RDI de aproximadamente 700 mg de enxofre e 1000 mg de cloro e cálcio. No entanto, as concentrações desses nutrientes nas bananas são baixas em comparação com essas recomendações. Por exemplo, uma banana prateada de 80 g contém 39 mg de enxofre em sua forma "in natura" e 49 mg quando desidratada — valores calculados a partir dos dados da Tabela 2 —. Portanto, as bananas não atendem completamente às necessidades diárias desses nutrientes, o que sugere que não há preocupação com a ingestão excessiva desses compostos por meio do consumo de banana. As concentrações médias de enxofre, cloro e cálcio encontradas nas bananas foram de $0,55 \text{ mg } ^{13}\text{g}^{-1}$, $3,04 \text{ mg } ^{13}\text{g}^{-1}$ e $0,68 \text{ mg } ^{13}\text{g}^{-1}$, respectivamente. Além disso, embora haja uma ligeira variação nos níveis de cálcio entre os tipos de banana, as concentrações de enxofre e cloro são maiores nas bananas secas (Tabela 2). Ao quantificar o cloro, devemos considerar que as bananas foram inicialmente colocadas em água clorada por um período de 30 min, e esse procedimento pode ter afetado o resultado obtido para o cloro presente nas bananas.

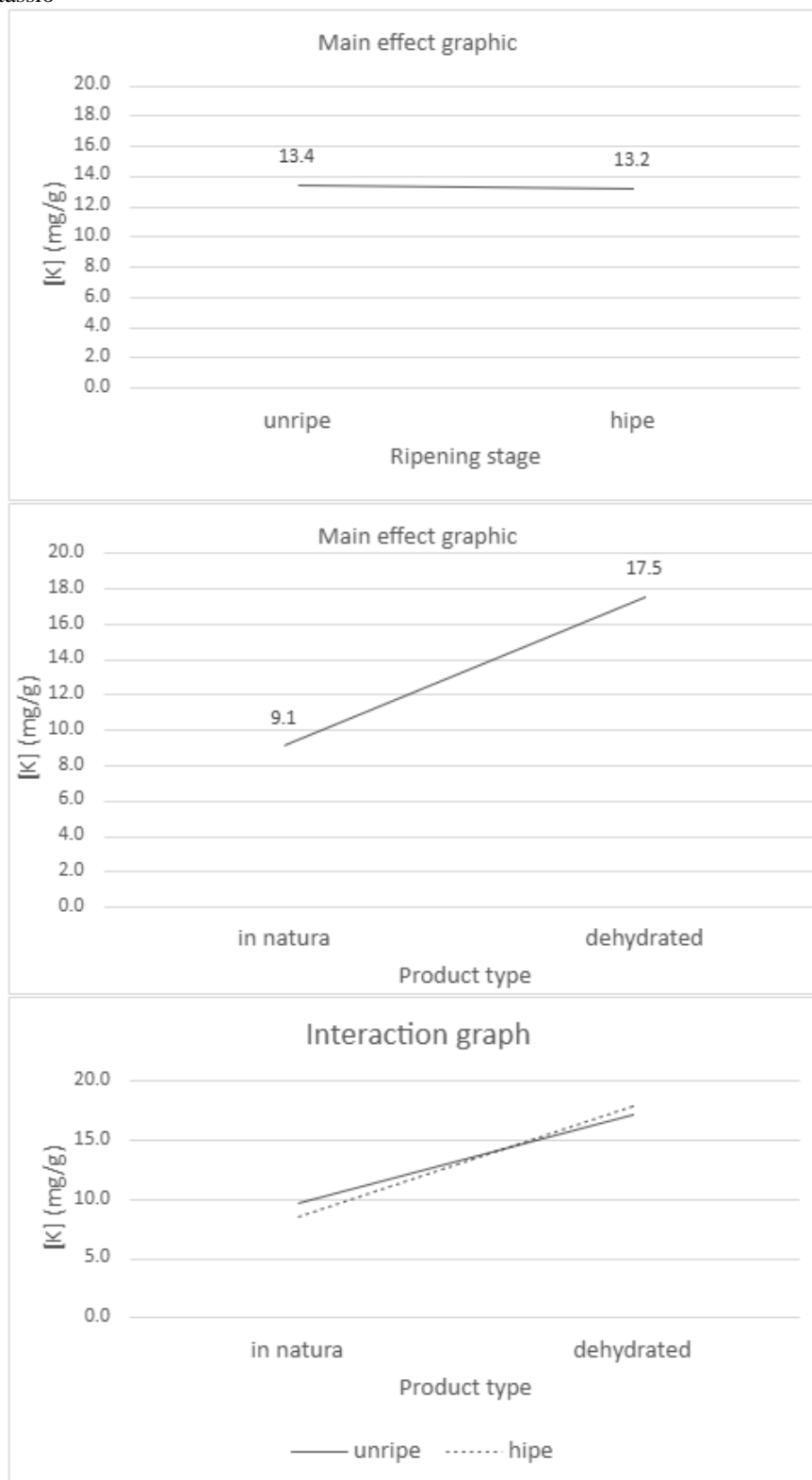
As bananas são uma excelente fonte de potássio, uma banana de tamanho médio fornece 10% do valor diário. Uma dieta rica em potássio pode ajudar a reduzir a pressão arterial e diminuir o risco de hipertensão. A RDI de potássio para adultos deve ser de 700 mg por dia, sem limite superior estabelecido para este mineral de acordo com a ANVISA. Os dados obtidos nesta investigação mostram uma diferença significativa na concentração de potássio entre bananas "in natura" e desidratadas, com bananas desidratadas contendo quase o dobro do teor de potássio (ver Gráfico 1).¹⁴

¹⁵ 11,16

Uma banana prateada média pesando 80 g tem um teor de potássio de aproximadamente 728 mg na forma "in natura" e 1.403 mg quando desidratada (ver Gráfico 1). Consequentemente, consumir bananas desidratadas seria mais eficaz para indivíduos que desejam aumentar sua ingestão de potássio.

O Gráfico 1 mostra que o tipo de produto ("in natura" ou desidratado) influencia significativamente a concentração de potássio mais do que o estágio de amadurecimento da banana. Além disso, o estágio de amadurecimento tem impacto mínimo ou nenhum impacto na concentração de potássio, enquanto o tipo de produto a aumenta significativamente. Além disso, há uma interação entre o estágio de amadurecimento e o tipo de produto.

Gráfico 1 – Gráficos dos principais efeitos e efeitos de interação do estágio de amadurecimento e tipo de produto na concentração de potássio



4.2 OLIGOELEMENTOS

O cromo (Cr) é essencial para as funções biológicas, e sua deficiência está ligada a diversos efeitos adversos. A ingestão diária recomendada de cromo varia de 0,05 a 0,2 mg, com valor máximo

permitido de 500 mg (BRASIL, 2019). Em nossos estudos, as bananas apresentaram concentração média de $18 \mu\text{g g}^{-1}$ de cromo (entre os quatro grupos estudados), sem variação entre os tipos de bananas analisados. Considerando uma banana de 80 g, cada unidade contém aproximadamente 1,45 mg de cromo, o que está dentro da quantidade diária recomendada desse mineral, de acordo com a Farmacopeia Brasileira. ¹¹

O cobre (Cu) é necessário para o corpo humano, com um RDI diário de $12,5 \mu\text{g kg}^{-1}$, o que equivale a cerca de 0,9 mg por dia para um adulto de 70 kg. A toxicidade ocorre somente após o consumo de 35 mg por dia. As bananas prateadas contêm uma média de $13,3 \mu\text{g}^{11,16} \text{ g}^{-1}$ de cobre, apresentando variação mínima entre as amostras. Uma banana de 80 g fornece aproximadamente 1.066 mg de, satisfazendo as necessidades diárias. Uma banana de 80 g fornece aproximadamente 1,07 mg de cobre, atendendo à recomendação de RDI. O processo de desidratação concentra a quantidade de cobre em bananas, conforme demonstrado em nosso experimento: de $0,5 \pm 1,7 \mu\text{g}^{11,16} \text{ g}^{-1}$ e $11,9 \pm 2,9 \mu\text{g g}^{-1}$ em "in natura" para $14,5 \pm 5,2 \mu\text{g g}^{-1}$ e $16,4 \pm 8,4 \mu\text{g g}^{-1}$ em bananas desidratadas.

O zinco (Zn) é usado em muitos processos fisiológicos, incluindo a produção de insulina, uma substância essencial para o corpo humano. O RDI diário de zinco é de 8 a 11 mg, com um limite diário de 40 mg para evitar toxicidade. A média de zinco encontrada nas bananas foi de $5,2 \mu\text{g}^{10,11} \text{ g}^{-1}$ nas bananas verdes "in natura", $5,9 \mu\text{g g}^{-1}$ nas bananas maduras "in natura", $9,9 \mu\text{g g}^{-1}$ nas bananas verdes desidratadas e $9,2 \mu\text{g g}^{-1}$ nas bananas maduras desidratadas. É possível notar que as bananas desidratadas têm maior concentração de zinco. Considerando uma banana de 80 g, uma unidade tem entre 0,41 mg ("in natura") e 0,79 mg de zinco (desidratado). Portanto, não é viável atingir o RDI de zinco apenas consumindo bananas, e não há preocupações com o excesso de zinco do consumo do pseudofruto.

O molibdênio (Mo) é essencial para o metabolismo humano, com um RDI de 0,045 mg e sem limite máximo estabelecido. As bananas analisadas continham em média $8,6 \text{ mg}^{16} \text{ g}^{-1}$ de molibdênio, níveis consistentes entre os tipos verde, maduro, "in natura" e desidratado. Consumir apenas uma banana atende às necessidades diárias de molibdênio; Já para uma banana de tamanho médio, teríamos 0,688 mg.

4.3 ELEMENTOS TÓXICOS

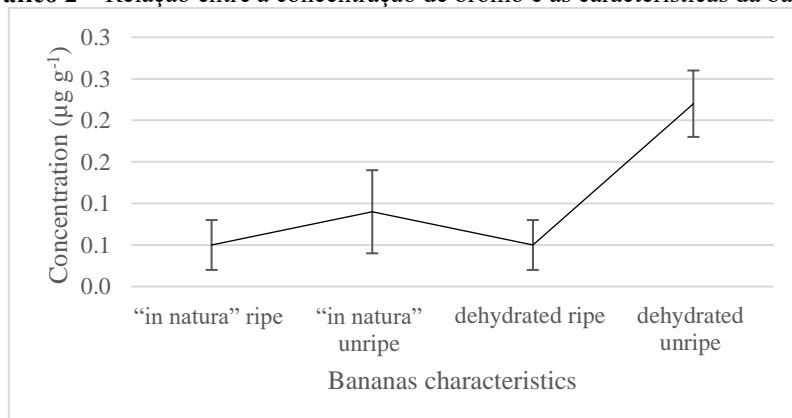
O antimônio (Sb) é um mineral valioso para o corpo humano em pequenas doses diárias, RDI entre 0,5 e 1,0 mg. No entanto, concentrações superiores a 5 mg g^{-1} podem causar efeitos adversos, como dores de cabeça, problemas respiratórios, conjuntivite e úlceras. Em concentrações ainda mais elevadas, o antimônio é classificado como agente cancerígeno, com dose letal de 50% (DL50) de 7 mg

g^{-1} . As bananas apresentaram média de $20,8 \mu\text{g}^{17} \text{g}^{-1}$, e os valores desse metal não se alteram com o amadurecimento e a secagem. Se considerarmos uma banana de 80 g, cada uma teria aproximadamente 1,66 mg de antimônio em sua composição. Portanto, o consumo de apenas uma banana é suficiente para atingir o RDI de antimônio; A quantidade de antimônio só se torna uma preocupação se houver consumo excessivo de bananas.

O cobalto (Co) é um mineral essencial para o corpo humano e apresenta sintomas de insuficiência consequentes. No entanto, a ingestão diária acima de 20 mg pode causar efeitos adversos à saúde, incluindo problemas cardíacos, tireoidianos e neurológicos e aumento da inflamação. Não foi encontrada concentração máxima de cobalto estabelecida para alimentos. Embora 23,44% das amostras deste estudo não contivessem cobalto em sua composição, a média total desse metal em todos os grupos de bananas foi de $102,4 \mu\text{g}^{18} \text{g}^{-1}$, sem variações na concentração de cobalto entre bananas verdes, maduras, "in natura" e desidratadas. Considerando uma banana de 80 g, cada unidade pode conter aproximadamente 8.192 mg de cobalto. Portanto, a ingestão de três unidades da pseudofruta pode atingir o limite máximo recomendado para o cobalto, gerando efeitos tóxicos no organismo.

O bromo (Br) não tem função biológica essencial reconhecida em humanos; no entanto, pode induzir efeitos tóxicos no corpo. Doses diárias variando de 0,5 a 1 g podem resultar em uma condição chamada bromismo, caracterizada por deficiências neurológicas e outros distúrbios fisiológicos significativos. Nas bananas analisadas, as concentrações de bromo foram de $0,5 \pm 0,3 \mu\text{g}^{19} \text{g}^{-1}$ em bananas frescas maduras, $0,9 \pm 0,5 \mu\text{g} \text{g}^{-1}$ em bananas verdes frescas, $0,5 \pm 0,3 \mu\text{g} \text{g}^{-1}$ em bananas maduras secas e $2,2 \pm 0,4 \mu\text{g} \text{g}^{-1}$ em bananas verdes secas (ver Gráfico 2). Notavelmente, os níveis de bromo nas bananas verdes secas foram maiores do que nos outros elementos, que não apresentaram diferença significativa. Esses dados sugerem que os níveis de bromo diminuem durante o processo de amadurecimento das bananas. Portanto, bananas maduras desidratadas apresentam menos risco de bromismo.

Gráfico 2 – Relação entre a concentração de bromo e as características da banana



O teor médio de manganês (Mn) encontrado foi de $49,1 \pm 22,8 \mu\text{g g}^{-1}$ em bananas maduras "in natura", $54,9 \pm 22,6 \mu\text{g g}^{-1}$ em verde "in natura", $62,9 \pm 13,7 \mu\text{g g}^{-1}$ em bananas maduras desidratadas e $64,5 \pm 26 \mu\text{g g}^{-1}$ em bananas verdes desidratadas (Tabela 2). Não há diferença significativa entre os tipos de amostras devido ao alto desvio padrão.

O manganês é um mineral essencial para o corpo humano; seu RDI é de 2,3 mg e o limite diário de manganês por ingestão é de 11 mg. Com base nos dados de concentração de manganês da investigação, uma banana madura de 80 g contém aproximadamente 4 mg de manganês quando fresca e 5 mg quando seca. Consumir apenas uma banana é suficiente para atender ao RDI. No entanto, consumir mais de duas bananas excede o limite máximo diário de manganês, o que pode afetar adversamente o organismo. Em um estudo intitulado "Manganês: um risco invisível" de Hernández et al., é relatado que a ingestão excessiva de manganês pode levar à neurotoxicidade e estar ligada a condições como Parkinson e Alzheimer.^{10 21}

O ferro (Fe) desempenha um papel crítico em inúmeras funções biológicas do corpo humano. Uma deficiência de ferro pode interromper significativamente a produção de hemoglobina, resultando em anemia e outros distúrbios relacionados. De acordo com a ANVISA e o IOM, a ingestão dietética recomendada (RDI) de ferro para adultos é de 18 mg, com limite de ingestão diária de 45 mg. O teor médio de ferro encontrado foi de $0,30 \pm 0,02 \text{ mg g}^{-1}$ em bananas maduras "in natura", $0,29 \pm 0,03 \text{ mg g}^{-1}$ em bananas verdes "in natura", $0,35 \pm 0,4 \text{ mg g}^{-1}$ em bananas maduras desidratadas e $0,15 \pm 0,03 \text{ mg g}^{-1}$ em bananas verdes desidratadas (Tabela 2).

A análise dos dados demonstra inequivocamente que a concentração de ferro diminui durante o processo de secagem para bananas verdes e, inversamente, aumenta durante o processo de secagem para bananas maduras. Uma banana de 80 g contém aproximadamente 12 mg (verde desidratado) e 28 mg (maduro desidratado) de ferro. Portanto, consumir uma única banana cumpriria o RDI de ferro, enquanto consumir duas ou mais bananas ultrapassaria o limite diário de ingestão de ferro.

O bismuto (Bi) é um metal considerado não tóxico para os seres humanos. Apesar de ser um metal pesado, não há evidências de envenenamento ou efeitos adversos do Bi, conforme relatado por Nordberg. A concentração média de Bi nas bananas foi de $1,85 \mu\text{g g}^{-1}$, não sendo observada variação entre os grupos amostrados no estudo. Consequentemente, não há limitação estabelecida no consumo de banana devido ao teor de Bi, nem há uma dose diária recomendada, uma vez que o Bi não desempenha uma função biológica como nutriente no corpo humano.

5 CONCLUSÃO

No presente estudo, foi possível observar que o grau de maturação e o estado de hidratação da banana podem estar relacionados às concentrações elementares na banana prateada. Com o auxílio do protocolo experimental estabelecido para a análise elementar de bananas via EDXRF, foram obtidos dados elementares nutricionais empíricos da banana prateada, que podem agregar valor ao produto bananeiro. Além disso, além dos macro e micronutrientes encontrados no pseudo-fruto, também existem impurezas e metais pesados em sua composição, tornando sensato ter cuidado no consumo deliberado desse alimento. Por exemplo, (i) consumir uma banana prateada é suficiente para atingir o RDI de antimônio. Com base nos dados experimentais, foi sugerido um limite de consumo diário de uma banana prateada, 'in natura' e desidratada, considerando a massa média, entre 90 e 113 g, obtida neste trabalho); e (ii) Consumir apenas uma banana é suficiente para atender ao RDI de manganês. No entanto, consumir mais de duas bananas excede o limite máximo diário de manganês, o que pode afetar adversamente o organismo. Para dar continuidade a esta pesquisa, seria interessante realizar uma análise elementar de outras espécies de bananeira para comparar com a presente pesquisa e obter as concentrações elementares de forma ainda mais completa e aprofundada.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq pela bolsa PIBIC sob o Protocolo nº. PROPEIN-UNISO: 001/2022.

REFERÊNCIAS

- EMBRAPA. Banana. <https://www.embrapa.br/agencia-de-informação-tecnológica/cultivos/banana/pós-produção/pós-colheita> (2021).
- Pereira, L. de O. *et al.* Análise elementar em amostras de banana utilizando Fluorescência de Raios-X. *Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento* **10**, e565101119667 (2021).
- Sperança, M. A., Mayorquín-Guevara, J. E., da Cruz, M. C. P., de Almeida Teixeira, G. H. & Pereira, F. M. V. Qualidade da biofortificação em bananas monitorada por fluorescência de raios X por dispersão de energia e quimiometria. *Food Chem* **362**, 130172 (2021).
- SILVA JUNIOR, J. F., LOPES, G. M. B. & FERRAZ, L. G. B. *Sistema de Produção de Banana Para a Zona Da Mata de Pernambuco*. vol. 1 (Embrapa Tabuleiros Costeiros, Aracaju, 2010).
- Batista, D. de V. S., Cardoso, R. L., Godoy, R. C. B. de & Evangelista-Barreto, N. S. Estabilidade físico-química e microbiológica de banana passa orgânica. *Ciência Rural* **44**, 1886–1892 (2014).
- Padilha, N. de A. *et al.* Investigação preliminar das propriedades químicas dos resíduos do cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) através da técnica de espectroscopia de fluorescência de raio-X por energia dispersiva. *Scientia Naturalis* **3**, 114–123 (2021).
- Stringheta, P. C., Melloni, P., Fernandes, A. R. & Silva, C. A. B. Produção de banana passa. in *Projetos de Empreendimentos Agroindustriais – Produtos de Origem Vegetal* (eds. Silva, C. A. B. & Fernandes, A. R.) vol. 1 23–57 (UFV, Viçosa, 2003).
- Mota, R. V. Avaliação da qualidade de banana passa elaborada a partir de seis cultivares. *Ciência e Tecnologia de Alimentos* **25**, 560–563 (2005).
- Krug, F. J. *Métodos de Preparo de Amostras Para Análise Elementar*. vol. 1 (EditSBQ – Sociedade Brasileira de Química, São Paulo, 2019).
- ICH. Conferência Internacional sobre a Harmonização dos Requisitos Técnicos para o Registo de Produtos Farmacêuticos para Uso Humano. Diretriz para impurezas elementares Q3D. https://www.ema.europa.eu/en/documents/scientific-guideline/international-conference-harmonisation-technical-requirements-registration-pharmaceuticals-human-use_en-32.pdf (2019).
- Brasil. *Farmacopeia Brasileira*. Anvisa vol. 1 (Anvisa, Brasília, 2019).
- ATSDR. *Perfil toxicológico para estrôncio*. vol. 1 (Agência de Substâncias Tóxicas e Registro de Doenças (EUA), Atlanta (GA), 2004).
- Favero, D. M., Ribeiro, C. S. G. & Aquino, A. D. de. Sulfitos: importância na indústria alimentícia e seus possíveis malefícios à população. *Segurança Alimentar e Nutricional* **18**, 11 (2015).
- JAMA. A banana novamente. *J Am Med Assoc* **LXIX**, 1972 (1917).

Bertoia, M. L. *et al.* Mudanças na ingestão de frutas e vegetais e mudança de peso em homens e mulheres dos Estados Unidos acompanhados por até 24 anos: análise de três estudos de coorte prospectivos. *PLoS Med* **12**, e1001878 (2015).

ANVISA. *Justificativas para os limites mínimos e máximos de nutrientes, substâncias bioativas e enzimas da proposta regulatória de suplementos alimentares*. vol. ANVISA (Gerência-Geral de Alimentos da Agência Nacional de Vigilância Sanitária, Brasília, 2018).

KLAASSEN, C. *Toxicologia de Casarett & Doull: A Ciência Básica dos Venenos*. vol. 1 (McGraw Hill, Nova York, 2018).

Alves, A. N. L. & Della Rosa, H. V. Exposição ocupacional ao cobalto: aspectos toxicológicos. *Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas* **39**, 129–139 (2003).

Jha, M. K. & Sushma. Bromo: Avaliação de risco, perigo ambiental e de saúde. em *Gases perigosos* (eds. Singh, J., Kaushik, R. D. & Chawla, M.) 41–53 (Elsevier, online, 2021). DOI:10.1016/B978-0-323-89857-7.00021-9.

NIOSH. *Manual de Métodos Analíticos (NMAMTM)*. vol. 1 (DHHS (NIOSH), EUA, 1994).

Hernández, R. B. *et al.* Neurotoxicidade induzida por manganês em neurônios granulares cerebelares devido à perturbação das vias da rede celular com implicações potenciais para distúrbios neurodegenerativos. *Metalomics* **12**, 1656–1678 (2020).

Borba, L. de S. *et al.* A importância do ferro no organismo humano: uma revisão integrativa da literatura. *Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento* **11**, e151111738965 (2022).

OIM. *Ingestão dietética de referência para vitamina A, vitamina K, arsênico, boro, cromo, cobre, iodo, ferro, manganês, molibdênio, níquel, silício, vanádio e zinco*. vol. 1 (National Academy Press, Washington DC, 2000).

Nordberg, G. Metais: Propriedades Químicas e Toxicidade. *Enciclopédia de Saúde e Segurança Ocupacional da OIT* <https://iloencyclopedia.org/pt/part-ix-21851/metals-chemical-properties-and-toxicity> (1998).