

Avaliação da Absorção de Cádmio por Pimentões *Capsicum Annuum* envolvendo Espectrometria de Emissão Atômica com Plasma Induzido por Microondas (MIP-AES)



<https://doi.org/10.56238/interdiinovationscrese-061>

Alexandre R. S. Filho

Aluno do Curso de Graduação em Engenharia de Alimentos, Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba, Minas Gerais, Brasil.
E-mail: alexandrefilho8621@gmail.com

Priscila P. Silva

Docente do Curso de Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba, Minas Gerais, Brasil.
E-mail: priscila.silva@uftm.edu.br

Alexandre F. Lima

Técnico do Curso de Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba, Minas Gerais, Brasil.
E-mail: alexandredefarialima@gmail.com

Evandro R. Alves

Docente do Curso de Graduação em Engenharia de Alimentos, Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba, Minas Gerais, Brasil.
E-mail: evandro.alves@uftm.edu.br

RESUMO

A contaminação por metais tóxicos em vegetais

destinados ao consumo tem causado preocupações recorrentes em função do efeito acumulativo no organismo humano, resultando em riscos à saúde. O objetivo deste trabalho foi o de avaliar a absorção de cádmio por raízes e frutos de pimentões verde e quadrado vermelho cultivados em soluções 0,00; 5,00; 10,00 e 15,00 mg L⁻¹ CdCl₂.2H₂O (cloreto de cádmio dihidratado p.a.). A espectrometria de emissão atômica com plasma induzido por micro-ondas (MIP-AES) foi empregada para a quantificação de cádmio nas amostras. Os resultados da absorção de cádmio pelas raízes e frutos do pimentão quadrado vermelho foram 0,00; 0,25; 1,50; 1,99 e 0,00; 0,00; 0,08; 0,19 mg L⁻¹ e para o pimentão verde, 0,00; 0,33; 1,67 e 1,99 mg L⁻¹ e 0,00; 0,00; 0,09 e 0,17 mg L⁻¹, respectivamente. O aumento da concentração das soluções contaminantes aplicadas ao solo resultou em maiores taxas de absorção de cádmio pelas raízes em relação aos frutos de ambas as variedades de pimentões. Os resultados foram promissores, conforme as curvas e ajustes propostas (0,87 > R > 1,0), gerando previsibilidade nas faixas de concentrações avaliadas.

Palavras-chave: Metais tóxicos, Pimentão.

1 INTRODUÇÃO

Plantas da família solanáceae estão entre as hortaliças mais cultivadas nas regiões Sudeste, Nordeste e Centro-oeste do Brasil por englobarem diversas espécies de vegetais, como pimentas, pimentões, soja, berinjela, tomate, batata, milho, dentre outras. Estima-se a produção média brasileira de 555 mil toneladas/ano para pimentões [1], os quais pertencem ao gênero *Capsicum*, cuja denominação é derivada do grego Kapso, que significa picar ou arder [2], e são classificados de acordo com o tamanho, cor e odor. Apresentam parâmetros nutricionais importantes, contendo os minerais potássio, cálcio, sódio, ferro e fósforo e as vitaminas A, B1, B2, B5 e C em sua composição [3].

A busca incessante pela melhoria da qualidade de vida tem resultado no aumento considerável do



consumo de vegetais e hortaliças, impulsionando o desenvolvimento de práticas agrícolas e industriais que garantam rápida produtividade, qualidade dos alimentos e segurança alimentar. Nesse contexto, o uso de insumos agrícolas é crescente, uma vez que os fertilizantes fornecem nutrientes essenciais ao desenvolvimento vegetal, e os agrotóxicos evitam a exposição às pragas e doenças nas lavouras, melhorando a produção [4]. Entretanto, os agrotóxicos podem conter metais tóxicos em sua composição, aumentando o risco de contaminação de solos, lavouras, águas e vegetais destinados ao consumo [5]. Dentre os metais tóxicos presentes em agrotóxicos, o cobre, chumbo, cádmio e cromo são considerados perigosos pelo efeito cumulativo. Em uma pesquisa realizada com a aplicação de agrotóxicos em vinícolas foi demonstrado que o solo de cultivo acumulou cerca de $3,2 \text{ g kg}^{-1}$ de cobre, $12,8 \text{ g kg}^{-1}$ de zinco e $1,6 \text{ g kg}^{-1}$ chumbo, no entanto, o acúmulo de cromo e cádmio foi oito vezes maior em relação aos valores citados para zinco e chumbo [6].

De acordo com o Programa de Análise de Resíduos de Agrotóxicos em Alimentos (PARA), os pimentões foram analisados pela primeira vez em 2008, e cerca de 60% das amostras apresentaram concentrações de diversos agrotóxicos acima do estipulado pelo LMR - Limite Máximo de Resíduos, estabelecidos pela ANVISA. Em 2011, análises químicas demonstraram que 84% de amostras de pimentões estavam contaminadas por resíduos de agrotóxicos não autorizados para uso na agricultura e 0,9% delas continham concentrações de agrotóxicos acima do LMR. O total de amostras contaminadas foi de 90%, sendo detectados vinte tipos diferentes de agrotóxicos e, dentre eles, 17 inseticidas e 3 fungicidas, os quais continham metais tóxicos em sua composição [7].

O acúmulo e a translocação de metais tóxicos em solos podem resultar na contaminação de vegetais folhosos e leguminosos por absorção pelas raízes, seguido do seu transporte para o caule, folhas e frutos, atingindo, dessa forma, a cadeia alimentar. A absorção desses metais por vegetais é seletiva e o transporte para as regiões superiores da planta ocorre via xilema e na forma iônica, e via floema para as regiões de folhas e frutos [8]. Os principais parâmetros físico-químicos relacionados com a absorção de metais tóxicos por vegetais são, principalmente, o pH, a temperatura e as concentrações de cálcio, zinco, ferro, manganês e magnésio [9]. A transferência de metais tóxicos do solo para a planta é avaliada pelo fator de transferência (F), sendo que a ordem decrescente desse índice é cádmio > cobalto > chumbo > níquel > cobre > zinco > ferro para a maioria das espécies vegetais [10]. Como a forma bivalente do cádmio é muito solúvel na solução do solo e apresenta maior F, este pode então ser facilmente transferido para as plantas e se acumular em regiões específicas [11]. No processo de transferência das raízes para as regiões superiores da planta ocorrem etapas de imobilização de metais tóxicos nas paredes celulares de raízes, caule, folhas e frutos, funcionando como um mecanismo de desintoxicação [9]. Dessa forma, nas regiões do vegetal que estão mais próximas ao solo há a maior probabilidade de acumular cádmio, comparativamente as demais, devido aos mecanismos de retenção nas paredes das células vegetais que compõem as raízes. No caule e nas folhas,



esses mecanismos variam de acordo com a concentração do referido metal presente no solo [8].

Caracterizado como bioacumulativo e tóxico ao homem, aos vegetais e animais, o cádmio foi considerado como ameaçador à saúde humana, segundo a “Agency for Toxic Substances and Disease Registry”, após a seleção de 275 substâncias tóxicas [12]. No Brasil, a Resolução - RDC nº42 de 2013 dispõe sobre limites máximos de contaminantes inorgânicos em alimentos e estabelece o limite de 0,20 mg kg⁻¹ de cádmio para hortaliças de folhas e ervas aromáticas frescas. Dessa forma, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a absorção de cádmio pelas raízes e frutos de pimentões da espécie *Capsicum Annum* pertencentes as variedades de pimentões verde e quadrado vermelho, cultivados em solos contaminados com soluções de CdCl₂.2H₂O (cloreto de cádmio dihidratado p.a.) com diferentes concentrações. A Espectrometria de Emissão Atômica com Plasma Induzido por Micro-ondas (MIP-AES) foi empregada para a quantificação de cádmio nas amostras de raízes e frutos dos pimentões.

2 DESENVOLVIMENTO

O trabalho foi realizado no período entre abril/2020 e fevereiro/2021, no campus da Universidade Federal do Triângulo Mineiro (UFTM), localizada em Uberaba (MG).

O experimento foi desenvolvido a partir de sementes acondicionadas em bandejas de polietileno com capacidade de 36 tubetes (1 planta/tubete) que continham 30 mL de produto comercial constituído por casca de pinus, fibras naturais e enriquecido com fertilizante mineral. As mudas obtidas após 77 dias de cultivo foram transplantadas para sacos muda com dimensões de 20 cm de diâmetro e 30 cm de altura, preenchidos com um produto comercial constituído por uma mistura de terra vegetal e substrato.

As informações referentes aos parâmetros físico-químicos do solo utilizado para o cultivo dos pimentões foram obtidas a partir de análises do produto comercial.

O delineamento experimental levou em consideração a triplicata das plantas para cada concentração de solução contaminante (0,00; 5,00; 10,00 e 15,00 mg L⁻¹ Cd²⁺), perfazendo o total de doze plantas de cada variedade de pimentão. As soluções contaminantes foram preparadas a partir da diluição da solução estoque 1000 mg L⁻¹ em CdCl₂.2H₂O (cloreto de cádmio dihidratado p.a.) [13].

A contaminação ocorreu após 87 dias da semeadura, em que foram aplicados 300 mL das soluções contaminantes selecionadas para cada muda, como descrito anteriormente [14].

Durante o período de cultivo (255 dias), o solo foi regado com água de abastecimento urbano, a fim de manter a umidade para favorecer o desenvolvimento das plantas. Após a colheita, as raízes e os frutos das plantas foram higienizados com água de torneira corrente para a remoção de resíduos do solo e matéria orgânica. Em seguida, foram mergulhados em béqueres contendo 200 mL de água deionizada, secos em papel absorvente e dispostos em sacos plásticos devidamente rotulados. Subsequente a essa etapa, as amostras de raízes e frutos foram encaminhadas à secagem em estufa



previamente aquecida, à temperatura de 105°C, por um período de 24 h [15]. As amostras secas foram retiradas da estufa e acondicionadas em um dessecador até que atingissem a temperatura ambiente, sendo pesadas em intervalos de 4h e recolocadas na estufa até a massa constante [16]. Posteriormente, foram moídas com auxílio de um almofariz e pistilo antes da pesagem. A massa de 0,50 g das amostras foi submetida ao preparo por via úmida em bloco digestor, na presença dos ácidos nítrico e perclórico (2:1), até atingir 210°C e se obter um extrato incolor [17]. A quantificação de cádmio foi realizada por meio da técnica Espectrometria de Emissão Atômica com Plasma Induzido por Micro-ondas (MIP-AES) [18].

Para esclarecer qual modelo de regressão melhor caracteriza a absorção de cádmio pelas variedades dos pimentões em estudo, foram elaboradas curvas analíticas com análises linear e polinomial, e os respectivos valores de ajuste de R^2 foram determinados com o objetivo de se avaliara previsibilidade dos resultados.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A fim de confirmar se os teores de cádmio absorvidos pelas raízes e frutos das variedades dos pimentões seriam advindos da aplicação das soluções contaminantes de $CdCl_2 \cdot 2H_2O$ em estudo, e não do solo utilizado para o cultivo, análises dos parâmetros físico-químicos do produto comercial foram realizadas e os teores correspondentes a acidez potencial, alumínio, sódio, potássio, cálcio, magnésio, fósforo e cádmio, matéria orgânica (M.O), argila, silte, areia e o valor do pH, estão demonstrados na tabela 1.

Tabela 1: *Caracterização físico-química do solo*

Parâmetro físico-químico	Valor
pH	5,90
H + Al (cmolc dm ⁻³)	2,40
Al ³⁺ (cmolc dm ⁻³)	0,92
Na ⁺ (cmolc dm ⁻³)	0,17
K ⁺ (cmolc dm ⁻³)	0,08
Ca ²⁺ (cmolc dm ⁻³)	0,97
Mg ²⁺ (cmolc dm ⁻³)	0,08
P (mg dm ⁻³)	9,00
CO (g kg ⁻¹)	2,45
Cd ²⁺ (mg dm ⁻³)	0,00
Argila (g kg ⁻¹)	340,0
Silte (g kg ⁻¹)	32,0
Areia (g kg ⁻¹)	628,0
M. O. (%)	3,80

Os valores mencionados na tabela 1 asseguraram que a absorção de cádmio não foi proveniente do solo de cultivo, portanto, não ocorreu durante o período de desenvolvimento das sementes até o



transplântio (77 dias). Como a aplicação das soluções contaminantes foi feita após 87 dias da sementeira (Figura 1), fica confirmado que a disponibilidade de cádmio no solo e, conseqüentemente, os teores absorvidos pelas variedades dos pimentões se deve, de fato,  aplicação das soluções contaminantes.

Figura 1: Mudras de pimentões verde e quadrado vermelho após o transplântio.



Nenhuma das concentrações das soluções contaminantes que foram aplicadas ao solo interferiu no desenvolvimento, florescimento e frutificação das variedades dos pimentões, uma vez que as plantas contaminadas com a solução do branco analítico ($0,00 \text{ mg L}^{-1} \text{ Cd}^{2+}$) tiveram períodos de produção de frutos aproximadamente iguais às que receberam as soluções de concentrações $5,00$; $10,00$ e $15,00 \text{ mg L}^{-1} \text{ Cd}^{2+}$. Os pimentões das variedades verde e quadrado vermelho floresceram após 158 dias da sementeira e a coleta dos frutos e raízes ocorreu após 255 dias.

Anteriormente a quantificação de cádmio, as amostras de frutos e raízes foram acondicionadas em placas de Petri organizadas em bandejas (Figura 2), e levadas à estufa para a etapa de desidratação.

Figura 2: Acondicionamento de amostras de frutos e raízes, destinadas à desidratação.



Nota: a - Amostras de pimentões “quadrado vermelho” e “verde”. b - Amostras de raízes de pimentões “quadrado vermelho” e “verde”.

Em posse da matéria desidratada e seca, as amostras foram encaminhadas ao preparo por via úmida [17] e  etapa de quantificação, realizada por meio da Espectrometria de Emissão Atômica com



Plasma Induzido por Micro-ondas (MIP-AES).

O transporte de cádmio para as regiões superiores dos pimentões verde e quadrado vermelhose deve à mecanismos que ocorrem nas raízes via xilema e processos de imobilização do metal nas paredes celulares [8].

Os teores de cádmio obtidos pelas raízes de ambas variedades dos pimentões foram similares, entretanto, conforme os valores das concentrações das soluções contaminantes aumentava, maiores teores do metal tóxico foram absorvidos por ambas. A avaliação da absorção de cádmio pelas raízes dos pimentões demonstrou que as duas variedades absorveram $1,99 \text{ mg L}^{-1} \text{ Cd}^{2+}$, quando foi aplicada a solução contaminante $15,00 \text{ mg L}^{-1} \text{ Cd}^{2+}$. Os maiores teores de cádmio foram absorvidos pelas raízes em relação aos frutos (Tabela 2), caracterizando uma redução significativa do transporte do metal para as regiões superiores das plantas. Em estudo realizado com pimentas do gênero *Capsicum* envolvendo o metal cádmio, Xin et al. [19] observaram a ocorrência de maiores concentrações do metal acumuladas nas raízes em relação às folhas e frutos. Os resultados descritos neste estudo estão de acordo com os obtidos no presente trabalho. Segundo Lombi et al. [20], a imobilização de cádmio na parte externa e interna das raízes é uma das primeiras barreiras de defesa da planta com relação à toxicidade proveniente de metais. Em geral, os níveis de cádmio são superiores nas raízes em relação aos frutos, acumulando-se, principalmente no vacúolo ou na parede celular, dificultando o transporte para as regiões superiores [21].

Comparando-se a absorção de cádmio pelos pimentões verde e quadrado vermelho, foi observado que os da variedade verde absorveram maiores teores nos frutos e nas raízes, em relação ao quadrado vermelho, quando menores concentrações de soluções contaminantes foram aplicadas (Tabela 2).

Tabela 2: Teores de cádmio absorvidos por pimentões verde e quadrado vermelho.

Concentração de cádmio aplicada ao solo (mg L^{-1})	Concentração de cádmio absorvida (mg L^{-1})			
	Pimentão quadrado vermelho		Pimentão verde	
	Raiz	Fruto	Raiz	Fruto
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5,00	0,25	0,00	0,33	0,00
10,00	1,50	0,08	1,67	0,09
15,00	1,99	0,19	1,99	0,17

Segundo Araújo [22], as diferenças entre os teores de cádmio absorvidos por pimentões podem ser explicadas em função das variações na composição de minerais e metais tóxicos presentes no solo, tipo de adubação, período de cultivo e irrigação. Entretanto, esses fatos não justificam a diferença dos teores obtidos neste trabalho, uma vez que utilizamos um produto comercial, cujos parâmetros físico-



químicos foram previamente analisados, e o período de cultivo e irrigação foram idênticos para ambas as variedades. Assim, as diferenças dos teores podem ser explicadas pelas demandas específicas por nutrientes de cada planta, que varia de acordo com a sua maturidade fisiológica. Em estudo realizado com pimentões, Albuquerque [23] discute os índices de velocidade de germinação, desenvolvimento e produção de frutos, e associa os processos metabólicos da planta às diferentes taxas de absorção de nutrientes e metais tóxicos.

As baixas concentrações de cádmio absorvidas pelas raízes e frutos podem ser justificadas pela pouca profundidade do solo de cultivo (ca de 20 cm), de forma que o plantio foi realizado em sacos muda [24]. Essa profundidade geralmente resulta no decréscimo da concentração de metais tóxicos e nutrientes que seriam provavelmente absorvidos pelas plantas, em função de perdas por lixiviação quando se ocorre o arraste dos metais pela adição de água, e/ou erosão no solo quando se formam caminhos preferenciais de escoamento [25]. Os processos de lixiviação e erosão afetam a retenção de água no solo, alterando as suas características e ocasionando os efeitos mencionados [26]. Entretanto, os resultados obtidos pelas absorções citadas anteriormente podem estar associados à distribuição subcelular do cádmio e as suas diferentes formas químicas no solo (Cd^{2+} , CdSO_4 , CdCl_4^{2-} , CdCl^+ , CdHCO^+), uma vez que ocorrem interações com os demais íons presentes nesse ambiente, justificando a existência das referidas formas [27].

Comparando as concentrações de cádmio absorvidas pelas raízes das duas variedades de pimentões por meio dos gráficos representados nas Figuras 3 e 4, observa-se um comportamento ascendente para as curvas de ajustes linear e polinomial, conforme as concentrações das soluções contaminantes aplicadas ao solo aumentam.

Figura 3: Curvas de ajuste linear e polinomial (raízes de pimentão quadrado vermelho).

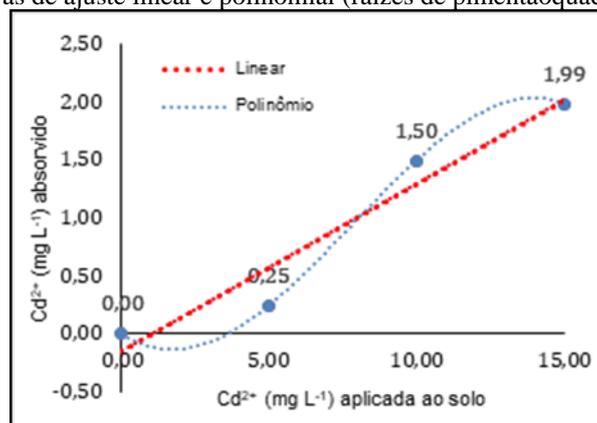
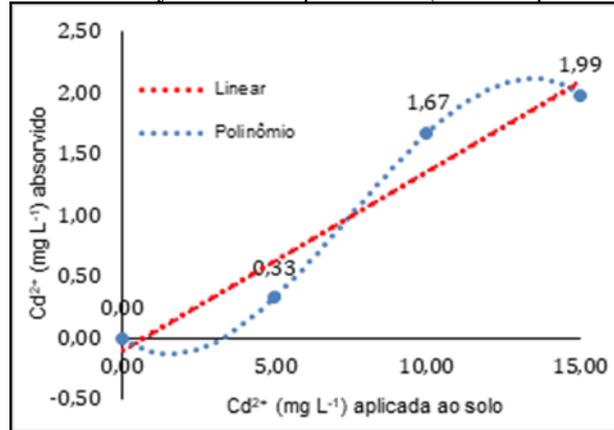




Figura 4: Curvas de ajuste linear e polinomial (raízes de pimentãoverde).



Por meio das análises linear e polinomial (Figuras 3 e 4), nota-se o aumento percentual significativo de 600 e 506% na taxa de absorção de cádmio pelas raízes das variedades dos pimentões verde e quadrado vermelho, respectivamente, quando é calculada a razão entre os resultados obtidos das concentrações correspondentes a 10,00 e 5,00 mg L⁻¹. Entretanto, quando se compara a razão entre os resultados das concentrações 15,00 e 10,00 mg L⁻¹, percebe-se uma redução na taxa de absorção de cádmio, afetando a inclinação das curvas lineares. Considerando esses últimos valores de concentrações, o percentual correspondeu a 33% para o pimentão da variedade quadrado vermelho e 19% para a verde.

Comportamento similar pode ser verificado com relação à absorção de cádmio pelos frutos de ambas as variedades dos pimentões, em que as curvas linear e polinomial estão demonstradas nas figuras 5 e 6.

Figura 5: Curvas de ajuste linear e polinomial dos resultados das análises de frutos de pimentão quadrado vermelho.

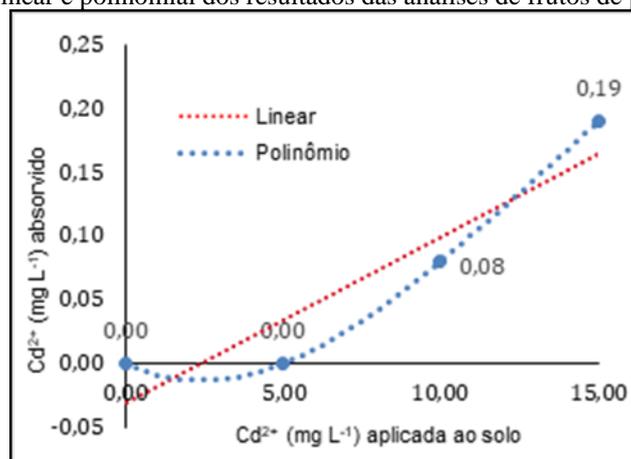
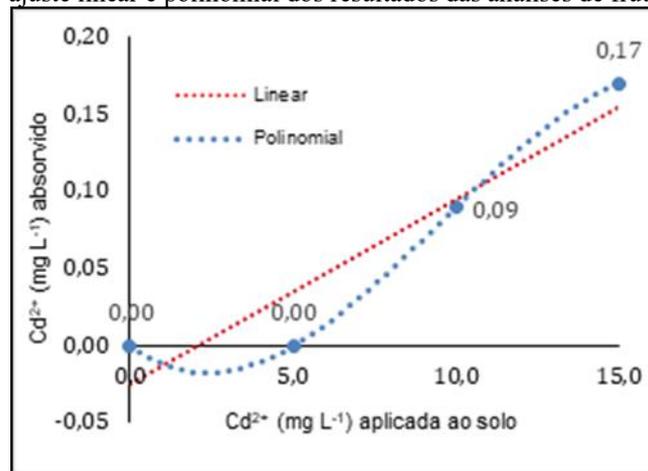




Figura 6: Curvas de ajuste linear e polinomial dos resultados das análises de frutos de pimentão verde.



O transporte de cádmio das raízes para os frutos das duas variedades de pimentões foi evidenciado a partir da solução de concentração de 10,00 mg L⁻¹ (Figuras 5 e 6). A seletividade da planta, a capacidade de tolerar e/ou não acumular os metais tóxicos, impedindo que elevadas concentrações de cádmio sejam absorvidas e transportadas aos frutos podem explicar esse fato [8]. A análise das curvas polinomiais e lineares, demonstrou que possíveis teores de cádmio poderiam ser absorvidos quando a faixa de concentração das soluções contaminantes variou entre 5,00 e 10,00 mg L⁻¹, no entanto, estes valores são desconhecidos, uma vez que concentrações nessa faixa não foram avaliadas, no entanto, por meio dos modelos desenvolvidos, principalmente pelo modelo Polinomial para as raízes e frutos ($R^2 = 1,0$) estes valores, podem ser previstos até a concentração de 15,00 mg L⁻¹. Estudos envolvendo concentrações de soluções contaminantes com valores intermediários aos citados anteriormente são recomendados, a fim de se conhecer o valor exato da concentração em que a absorção de cádmio pelos frutos dos pimentões de ambas as variedades se iniciou.

As equações obtidas por meio dos ajustes de regressão e os respectivos valores de R^2 estimados, estão descritos nas tabelas 3 e 4.

Tabela 3: Equações de ajuste de regressão (raiz e fruto de pimentão quadrado vermelho)

Modelo de regressão	Equação de regressão	R^2
Linear ^a	$y = 0,013x - 0,03$	0,87
Linear ^b	$y = 0,1444x - 0,148$	0,94
Polinomial ^a	$y = -7^{-05}x^3 + 0,0026x^2 - 0,0113x - 8^{-15}$	1,00
Polinomial ^b	$y = -0,0023x^3 + 0,0552x^2 - 0,1673x - 1^{-13}$	1,00

Nota: y = concentração cádmio absorvida (mg L⁻¹), x = concentração cádmio aplicada ao solo (mg L⁻¹). a = fruto, b = raiz.



Tabela 4: Equações de ajuste de regressão (raiz e fruto de pimentão verde)

Modelo de regressão	Equação de regressão	R ²
Linear ^a	$y = 0,012x - 0,025$	0,90
Linear ^b	$y = 0,1462x - 0,099$	0,93
Polinomial ^a	$y = -0,0001x^3 + 0,0038x^2 - 0,0157x - 7-15$	1,00
Polinomial ^b	$y = -0,0027x^3 + 0,0608x^2 - 0,1703x - 1-13$	1,00
Nota: y = concentração cádmio absorvida (mg L ⁻¹), x = concentração cádmio aplicada ao solo (mg L ⁻¹). a = fruto, b = raiz.		

As equações de regressão linear descritas nas tabelas 3 e 4, forneceram uma previsibilidade de resultados tanto para a faixa de concentrações de soluções de cádmio adicionadas ao solo, como para maiores valores quando calculados, respeitando o comportamento crescente de absorção notado, entretanto, não fornece resultados precisos por meio do ajuste ($0,87 < R^2 < 0,95$).

Considerando as equações de regressão referentes ao modelo polinomial (Tabelas 3 e 4), nota-se um perfeito ajuste dos resultados com relação às equações cúbicas ($R^2 = 1$), contudo as mesmas forneceram uma melhor previsibilidade na faixa de concentrações entre 0,00 e 15,00 mg L⁻¹. Para concentrações de cádmio acima de 15,00 mg L⁻¹, as equações cúbicas não garantem a precisão dos dados, resultando em baixos valores de cádmio acumulados nas raízes e frutos, contradizendo o comportamento da curva crescente, uma vez que não foi identificado um valor fixo/constante referente à absorção de cádmio, conforme aumentava a concentração da solução adicionada ao solo.

Em uma pesquisa que objetivou avaliar a absorção de metais tóxicos por pimentões verdes e tomates cultivados em solos com resíduos de fosfogesso, os autores observaram que os teores de cádmio eram crescentes e variaram proporcionalmente, na medida em que a concentração de fosfogesso aumentava. Por meio do ajuste de regressão linear, os autores obtiveram a equação: $y = 0,071x + 0,1172$, e valor de R igual a 0,93 [28]. Os resultados desta pesquisa estão de acordo com os obtidos no presente trabalho, sendo que os valores de R e dos coeficientes de regressão foram similares e demonstraram um comportamento de absorção de cádmio proporcional ao aumento da concentração do metal tóxico aplicada ao solo.

A porcentagem correspondente à variação do transporte de cádmio das raízes para os frutos correspondeu a 5,3% para a variedade de pimentão quadrado vermelho e 5,4% para a verde, quando foi aplicada ao solo a solução contaminante 10,00 mg L⁻¹ Cd²⁺. Estes valores tenderam a ser maiores, conforme a concentração das soluções aumentava, atingindo 8,5% para a 15,00 mg L⁻¹ (Tabela 2). Dessa forma é possível inferir que a suscetibilidade à concentração de cádmio nas variedades de pimentões quadrado vermelho e verde depende do nível de contaminação do solo, da capacidade das plantas em tolerar a presença do metal tóxico, da capacidade de absorção das raízes e mobilidade do metal através do tecido celular da planta, até acumular-se na região dos frutos. A translocação pelas diferentes regiões da planta é diferenciada, na medida em que se afasta do contato com o solo de



cultivo.

4 CONCLUSÕES

Ambas as variedades de pimentões verde e quadrado vermelho acumularam cádmio em suas raízes e frutos. As taxas de absorção de cádmio foram maiores nas raízes em comparação aos frutos, variando proporcionalmente com o aumento da concentração da solução contaminante aplicada ao solo de cultivo.

Recomenda-se o uso moderado de agrotóxicos, principalmente os que contenham cádmio em sua composição, mesmo que em baixas concentrações.

A Espectrometria de Emissão Atômica com Plasma Induzido por Micro-ondas utilizada para a quantificação de cádmio nas amostras de raízes e frutos de pimentões verde e quadrado vermelho se mostrou eficaz, por fornecer resultados concordantes e satisfatórios com trabalhos da literatura.

Para trabalhos futuros é indicado que concentrações de soluções contaminantes de cádmio na faixa entre 0,00 e 15,00 mg L⁻¹ sejam avaliadas para as mesmas variedades de pimentões, a fim de se conhecer o valor exato de concentração em que a absorção se iniciou.



REFERÊNCIAS

- EMBRAPA HORTALIÇAS, Produção Integrada de pimentão. Embrapa, Ano VIII – Número 27 2019.
- CARVALHO, S. I. C. de & BIANCHETTI, L. de B. Botânica e recursos genéticos. In: PIMENTAS CAPSICUM. RIBEIRO, C. S. da C.; LOPES, C. A.; CARVALHO, S. I. C. [et al.]. Brasília: Embrapa Hortaliças, 200p, 2008.
- SILVA, G. Nutrição Mineral e Produtividade de pimentão (*Capsicum annum* L.) em resposta a diferentes biofertilizantes líquidos no solo. Universidade Federal da Paraíba. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Areia, 2006.
- CLOVIS, K.; FACHINELLO, A. Crescimento da Demanda Mundial de Alimentos e Restrições do Fator Terra no Brasil Junho de 2018 Revista de Economia e Sociologia Rural 56 (2): 195-212. Universidade Federal de Santa Catarina, 2018.
- SALMÓRIA, A. C. F.; HERNANDEZ, I. R. J.; CURTARELLI, I. B.; RICHTER, L. G.; VERPLOTZ, M. G.; KLEIMMANN, S. S. Agrotóxicos: benefícios e malefícios para a produção e sociedade – Análise dos dados do CEPON – Centro de pesquisa oncológicas, Trabalho de Conclusão do PIC-Química. Instituto Federal Catarinense. Araquari – SC. 2016.
- SANTOS, D, S. Metais pesados em áreas agrícolas e cerrado nativo no oeste da bahia. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Uberlândia, 2019.
- ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária). Programa de Análise de Resíduos de Agrotóxicos em Alimentos – PARA. Relatório de atividades de 2011 e 2012, 2013.
- KERBAUY, G. B. Fisiologia Vegetal. 1 ed. Guanabara Koogan, 472p, 2004.
- FERREIRA, MIRIÃ MARIA ALMEIDA DE ABREU SILVA. Toxidez de cádmio inibe o crescimento e altera a absorção de nutrientes do girassol. Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, BA, 2013.
- NIRMAL, K.J.I.; SONI, H.; KUMAR, R. N.; BHATT, I. Hyperaccumulation and mobility of heavy metals in vegetable crops in India. The Journal of Agriculture and Environment, v.10, p. 29- 38, 2009.
- WANG, J. L. et al. Determination of organophosphorus pesticide residues in vegetables by anenzyme inhibition method using α -naphthyl acetate esterase extracted from wheat flour. Journal of Zhejiang University Science B, v. 13, p. 267-273, 2012.
- ATSDR - AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY. Priority List of Hazardous Substances, 2013.
- MENHAM, J.; DENNEY, R. C.; BARNES, J. D.; THOMAS, M. Vogel. Análise química quantitativa. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, p. 1 – 659, 2002.
- MARIA, J.N.P. Absorção e distribuição de cádmio e zinco em plantas de alface e cenoura, Universidade Federal de Viçosa, 2001.
- Instituto Adolfo Lutz (São Paulo). Métodos físico-químicos para análise de alimentos /coordenadores Odair Zenebon, Neus Sadocco Pascuet e Paulo Tiglia -- São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 4º ed, p. 1020, 2008.



FILHO, D. G. A. et al. Processamento de produto farináceo a partir de beterrabas submetidas à secagem estacionária. *Acta Scientiarum Agronomy*. Maringá, v. 33, n. 2, p. 207-214, 2011.

SARRUGE, J. R.; HAAG, H. P. Análise química das plantas. Piracicaba: ESALQ, 56 p, 1974.

FURQUIM, T. V. Estudo de métodos para determinações de As, Cd, Cr, Hg e Pb em fertilizantes minerais por MIP OES. Universidade de São Paulo, São Paulo, 113 p, 2018.

Xin J, Huang B, Yang Z, Yuan J, Zhang Y (2013b) Comparison of cadmium subcellular distribution in different organs of two water spinach (*Ipomoea aquatica* Forsk.) cultivars. *Plant Soil* 372:431– 444, 2013.

LOMBI, E.; ZHAO, F.J.; McGRATH, S.P.; YOUNG, S.D.; SACCHI, G.A. Physiological evidence for a high-affinity cadmium transporter highly expressed in a *Thlaspi caerulescens* ecotype. *New Phytologist*, v. 149, n. 1, p. 53-60, 2001.

MILNER, M.J.; KOCHIAN, L.V. Investigating Heavy-metal Hyperaccumulation using *Thlaspi caerulescens* as a Model System. *Annals of Botany*, v. 102, n. 1, p. 3-13, 2008.

ARAÚJO, D. F. S. Concentrações de minerais e contaminantes físico-químicos (metais pesados e resíduos de agrotóxico) em hortaliças convencionais e orgânicas. Dissertação Mestrado – Universidade Federal de Pernambuco, Recife-PE, 2012.

ALBUQUERQUE, K. S. Aspectos fisiológicos e bioquímicos da maturação de sementes de pimentão. 120p. Tese Doutorado – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

SOARES, F. Produção de pimentão submetido a estresse hídrico e silicato de potássio em cultivo protegido. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós Graduação em Agrarias, Uberlândia, 2012.

NUÑEZ, J. E. V.; SOBRINHO, N. M. B. A.; MAZUR, N. Sistemas de preparo de solo e acúmulo de metais pesados no solo e na cultura do pimentão (*Capsicum annum* L.). *Ci. Rural*, 36: 113-119, 2006.

LOPEZ, C.C. *Fertirrigacion: Cultivos hortícolas y ornamentales*. 2. Ed. Madrid: Mundi Prensa,. 475p, 2000.

Xin J, Huang B, Liu A, Zhou W, Liao K. Identification of hot pepper cultivars containing low Cd levels after growing on contaminated soil: uptake and redistribution to the edible plant parts. *Plant Soil* 373:415–425, 2013.

Al-Hwaiti M, Al-Khashman O. Health risk assessment of heavy metals contamination in tomato and green pepper plants grown in soils amended with phosphogypsum waste materials. *Environ Geochem Health*, 2015.