



LUIZA ALVES ARAÚJO

**USO DE FLUORESCÊNCIA DE RAIOS X PORTÁTIL PARA
ANÁLISE QUALITATIVA DA COMPOSIÇÃO ELEMENTAR
DE RAÍZES E TUBÉRCULOS**

**LAVRAS -MG
2023**

LUIZA ALVES ARAÚJO

**USO DE FLUORESCÊNCIA DE RAIOS X PORTÁTIL PARA ANÁLISE
QUALITATIVA DA COMPOSIÇÃO ELEMENTAR DE RAÍZES E
TUBÉRCULOS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Química, para a obtenção do título de bacharel.

Prof. Dr. Bruno Teixeira Ribeiro

Orientador

**LAVRAS–MG
2023**

LUIZA ALVES ARAÚJO

**USO DE FLUORESCÊNCIA DE RAIOS X PORTÁTIL PARA ANÁLISE
QUALITATIVA DA COMPOSIÇÃO ELEMENTAR DE RAÍZES E
TUBÉRCULOS**

**USING PORTABLE X-RAY FLUORESCENCE FOR QUALITATIVE
ANALYSIS OF THE ELEMENTAL COMPOSITION OF ROOTS AND TUBERS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Química, para a obtenção do título de bacharel.

APROVADA em 25 de julho de 2023.

Dr. Geila Santos Carvalho

UFLA

Dr. Mariene Helena Duarte

UFLA

Prof. Dr. Bruno Teixeira Ribeiro

Orientador

**LAVRAS-MG
2023**

*Aos meus pais, Fabiana e Paulo Sérgio
À minha irmã, Júlia
Aos meus avós, Ari e Dilma
Aos amigos que me acompanharam ao
longo do caminho.*

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais, Fabiana e Paulo Sérgio pelo apoio e confiança durante toda trajetória, por nunca duvidarem e sempre demonstrarem orgulho de sua filha.

Agradeço à minha irmã Júlia, por sempre me apoiar e me inspirar a ser minha melhor versão.

Ao professor e orientador Bruno Ribeiro Teixeira, pelas oportunidades, conselhos, confiança e aprendizados.

Ao grupo de pesquisa do Departamento de Ciência do Solos, alunos da pós-graduação e da graduação, Marcela, Lays, Mikaela, Kellen, Bruna, Rafaella e Pedro, pelo companheirismo e pela troca de ensinamentos.

Aos meus amigos Walber, Kevyn, Gabriel, Danilo, Marcela e Maria Eduarda, pelo apoio emocional durante essa caminhada, pelos conselhos e por sempre acreditarem no meu potencial.

Aos amigos do curso de Química Bacharelado, Bruna, Jordany, Rodrigo, Raphael e Artur, com quem convivi intensamente durante os últimos anos, pelo companheirismo e pela troca de experiências.

Aos amigos do “Núcleo da Adriene”, por compartilharem comigo tantos momentos de descobertas e aprendizado e por todo o companheirismo ao longo deste percurso.

A CAPES e ao CNPq pelo apoio à pesquisa.

*“Na vida, não existe nada a temer, mas a
entender.” (Marie Curie)*

RESUMO

A determinação da composição química de raízes e tubérculos é de extrema importância, visando a segurança alimentar e a saúde humana, levando em conta o potencial nutricional e econômico dessas hortaliças. Optou-se por utilizar a técnica de espectrometria de fluorescência de raios X portátil (pXRF), da qual é uma excelente escolha devido a sua capacidade de realizar análises *in situ*, rápida e sem o uso de reagentes. Portanto, o objetivo deste trabalho foi determinar a sensibilidade de um pXRF por meio de análises qualitativas e quantitativas da composição química e respectivas concentrações de seis espécies de raízes e tubérculos sendo eles a batata comum, batata baroa, batata asterix, batata doce, cenoura e inhame, relacionando os resultados das amostras *in natura* e as mesmas amostras secas, considerando o teor de umidade e realizando uma comparação entre os valores obtidos com uma tabela de referência (Tabela Brasileira de Composição de Alimentos – TACO). Foram determinados quantitativamente os seguintes elementos químicos em todas as amostras, Mg, Mn, K, S, P, Cl, Cu, Zn, Cr, Al e Mo, demonstrando diferentes concentrações quando comparadas as amostras *in natura* com as secas. Todas as amostras analisadas pelo pXRF, apresentaram concentrações superiores às da literatura, onde os autores determinaram os mesmos elementos qualitativamente, mas atingiram concentrações menores quantitativamente. Foi demonstrado que o teor de umidade teve grande influência para o equipamento em relação as diferentes concentrações, onde ao comparar a relação entre as amostras *in natura* e secas (Cúmida/Cseca) com o teor de umidade, observou-se que os elementos Al, Cl, K, P, S e Zn foram mais afetados pela umidade, além disso, foi realizada uma análise de componentes principais (PCA), que mostrou que, principalmente nas amostras secas, foi possível observar uma diferenciação dos materiais analisados com bases na composição química. Por fim, comparando os dados obtidos com os dados contemplados pela TACO, observou-se que P, K e Zn foram os únicos elementos que corroboraram com as concentrações de referência. Assim, o pXRF mostrou ter grande potencial em análises qualitativas, porém, houve desvios significativos em relação às análises quantitativas. Portanto, além de propor calibrações específicas para o equipamento, recomenda-se os métodos tradicionais de análise, como a digestão ácida em bloco digestor ou micro-ondas com determinação dos elementos de interesse pela técnica de espectrometria de emissão atômica com fonte de plasma indutivamente acoplado (ICP OES) para comparações quantitativas.

Palavras-chave: Segurança alimentar. Espectrometria. Raízes e tubérculos. Análise *in situ*. Portabilidade analítica.

ABSTRACT

The determination of the chemical composition of roots and tubers is of utmost importance, aiming at food security and human health, taking into account the nutritional and economic potential of these vegetables. The decision was made to use the technique of portable X ray fluorescence spectrometry (pXRF), which is an excellent choice due to its ability to perform *in situ* analyses, quickly and without the use of reagents. Therefore, the objective of this study was to determine the sensitivity of a pXRF through qualitative and quantitative analyses of the chemical composition and respective concentrations of six species of roots and tubers, namely, common potato, batata baroa, batata asterix, sweet potato, carrot, and yam. The study compared the results of the samples in their natural state with the same samples dried, considering the moisture content and making a comparison with reference values from the Brazilian Food Composition Table (TACO). The following chemical elements were quantitatively determined in all samples: Mg, Mn, K, S, P, Cl, Cu, Zn, Cr, Al, and Mo, showing different concentrations when comparing the samples in their natural state with the dried samples. All samples analyzed by pXRF showed concentrations higher than those in the literature, where the authors determined the same elements qualitatively, but reached lower concentrations quantitatively. It was shown that the moisture content had a great influence on the equipment in relation to the different concentrations, where when comparing the relationship between the *in natura* and dried samples (Cúmido/Cdry) with the moisture content, it was observed that the elements Al, Cl, K, P, S and Zn were more affected by humidity, in addition, a principal component analysis (PCA) was performed, which showed that, mainly in dry samples, it was possible to observe a differentiation of the analyzed materials based on composition chemical. Finally, comparing the data obtained with the data contemplated by TACO, it was observed that P, K and Zn were the only elements that corroborated the reference concentrations. Thus, pXRF showed great potential in qualitative analyses, however, there were significant deviations in relation to quantitative analyses. Therefore, in addition to proposing specific calibrations for the equipment, traditional methods of analysis are recommended, such as acid digestion in a digester block or microwave with determination of the elements of interest using the atomic emission spectrometry technique with an inductively coupled plasma source. (ICP OES) for quantitative comparisons.

Keywords: Food safety. Spectrometry. Roots and tubers. *In situ* analysis. Analytical portability.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. REFERENCIAL TEÓRICO	11
3. MATERIAL E MÉTODOS	15
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	17
5. CONCLUSÃO	28
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	28

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, a agricultura influencia fortemente o desenvolvimento do país, desempenhando diversas finalidades, como a produção de alimentos, geração de empregos, produção de bioenergias e produção de matéria-prima para diferentes indústrias, proporcionando assim, um país com grande potencial econômico e socioambiental. O cultivo de alimentos é o ponto de maior destaque na agricultura, onde a mesma produz a maior parte dos suprimentos mundiais de alimentos. Portanto, o desenvolvimento de novas técnicas e tecnologias que possam ampliar tanto a qualidade quanto a quantidade dos alimentos, é algo essencial. A produção de hortaliças no Brasil recebe grande atenção devido à sua diversificação na produção agrícola, alta exportação de produtos, geração de empregos e renda e sua participação essencial na segurança alimentar.

As leguminosas, como raízes e tubérculos, possuem estruturas capazes de reter muitos nutrientes, por isso são fonte de vitaminas, minerais, fibras e carotenoides. Considerando que estão quase sempre presentes na alimentação de toda a população, é de extrema importância a realização de análises quanto à sua composição química e nutricional, pois essa determinação auxilia na validação de estratégias de biofortificação de alimentos, além de que, por estarem em contato direto com o solo, há também a preocupação com a presença de elementos potencialmente poluentes.

Embora os métodos tradicionais de análise sejam caros e demorados, há uma alternativa interessante para realização dessas análises, sendo essa a utilização do equipamento por fluorescência de raios X portátil (pXRF), tendo em vista que o mesmo é capaz de realizar uma análise rápida, *in situ* e sem o uso de reagentes químicos.

Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi verificar a sensibilidade de um espectrômetro de fluorescência de raios X portátil (pXRF) em análises qualitativas e quantitativas da composição elementar de raízes e tubérculos, relacionando os resultados das amostras *in natura* e as mesmas amostras secas, considerando o teor de umidade e realizando uma comparação entre os valores obtidos com uma tabela de referência (Tabela Brasileira de Composição de Alimentos – TACO).

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A importância das raízes e tubérculos escolhidos

Segundo Oliveira (2014, p.14) “Raízes e tubérculos são a base da alimentação popular, são espécies imprescindíveis do ponto de vista de segurança alimentar para muitos grupos de agricultores familiares e de subsistência”. Dessa forma, entende-se que essas hortaliças desempenham um papel fundamental na alimentação, justamente por serem fontes de nutrientes, vitaminas e proteínas, além da sua disponibilidade para quase toda população.

Ao considerar a agricultura do país, seu cultivo é assertivo quanto ao aumento do potencial socioeconômico e na geração de empregos, além do benefício em relação à saúde alimentar.

Alimentos como a batata inglesa, batata doce, batata baroa ou o inhame, devem ser os principais componentes na maioria das refeições, isso por serem uma grande fonte de energia. Segundo Silva (2018, p.158), “(...) para que atinja o indicado de 2.000 kcal para um adulto, recomenda-se que haja o consumo de pelo menos seis porções diárias desses alimentos”.

A batata comum (*Solanum tuberosum L.*) ou batata inglesa, é considerada a quarta cultura mais importante em nível mundial, sendo superada apenas pelo trigo, arroz e milho (FELTRAN, 2002). É um dos alimentos mais consumidos no mundo, sendo essa, a hortaliça mais plantada no Brasil (CARDOSO, 2007), podendo estar presente em uma gama de receitas pela sua versatilidade como matéria prima, fornecendo diversos carboidratos, vitaminas do complexo B, potássio e fibras.

Diferente da batata inglesa, a batata doce (*Ipomoea batatas*) é um alimento mais calórico e que possui um baixo teor de proteínas e gorduras, sendo rica em carboidratos de baixo índice glicêmico, que auxiliam na redução do risco de diabetes, obesidade e ajudam no controle do apetite (GZH, 2015).

A cenoura (*Daucus carota L.*) é a quinta hortaliça mais cultivada no Brasil em ordem de importância econômica (MAROUELLI, 2007) e uma das principais olerícolas mais produzidas e consumidas no Brasil. A cenoura possui uma grande fonte de carotenóides, fibras, vitaminas, minerais e outros componentes bioativos, proporcionando uma série de benefícios para a saúde do consumidor (TEIXEIRA, 2008).

O inhame (*Dioscorea cayanensis* Lam) é um alimento que possui um alto teor de carboidratos, além de conter ação antioxidante. Entre as propriedades nutricionais, o inhame é superior a batata inglesa e a mandioca, apresentando um elevado teor de proteínas e teores de minerais, como o cálcio, ferro e o fósforo, além de diversas vitaminas (DIAS, 2020).

A batata baroa (*Arracacia xanthorrhiza*), também conhecida como mandioquinha-salsa ou batata fiúza, responde de forma diferenciada às condições de manejo, onde, a depender da qualidade do solo e dos nutrientes disponibilizados nele, a mesma pode acumulá-los em diferentes quantidades, apesar de que o acúmulo nem sempre promove uma maior produtividade (BALBINO, 2018), assim, a mesma possui grandes fontes de minerais e vitaminas.

A batata Asterix (*Solanum tuberosum* L.), sendo uma das variações da batata inglesa, se destaca pela sua alta concentração de amido, propriedade essa influencia positivamente sua análise sensorial. Além disso, possui diversos minerais e vitaminas importantes, sendo também uma ótima fonte de fibras.

Dessa forma, o consumo de hortaliças como as raízes e tubérculos, é importante para uma alimentação balanceada e saudável devido à composição nutricional que esses alimentos oferecem, por serem uma rica fonte de nutrientes, são alimentos essenciais para o bom funcionamento do organismo humano.

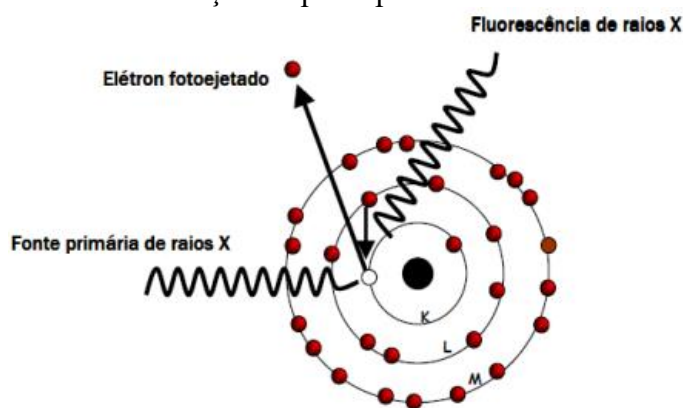
2.2 Espectrometria portátil por fluorescência de raios X

A espectrometria por fluorescência de raios X, também conhecida como “XRF”, é uma técnica analítica muito utilizada em diversas áreas, sendo essas de interesse agrônomo, industrial, geológico, arqueológico e ambiental (SANTOS et al., 2013). Segundo Weindorf (2014, p.2) “Durante anos, a espectrometria de fluorescência de raios X tem sido conhecida por fornecer dados elementares precisos em uma ampla gama de matrizes”. Nesse contexto, vale ressaltar que tal técnica se torna ainda mais completa pela capacidade de analisar vários elementos simultaneamente em poucos segundos em diferentes tipos de amostras, sejam elas sólidas ou líquidas, como amostras de solo, fertilizantes e corretivos agrícolas, alimentos, plantas, entre outros (SANTOS, 2013).

A técnica possui um método qualitativo e semiquantitativo, onde, quando um átomo é exposto a uma fonte de radiação de alta energia, como, um tubo de raios X ou uma outra fonte radioativa, os elementos presentes na amostra são excitados pela absorção

do feixe primário e emitem suas próprias linhas características de fluorescência de raios X (HOLLER; SKOOG; CROUCH, 2009). Dessa forma temos que, quando um material é exposto a raios X, a interação dos raios X com os átomos do material faz com que os elétrons nos átomos sejam excitados. Quando esses elétrons retornam aos seus estados originais de energia, eles emitem raios X de energias características específicas de cada elemento presente no material, conforme demonstrado na Figura 1 (RIBEIRO, 2017).

Figura 1 - Demonstração do princípio da técnica de XRF.



Fonte: Cilla.

Uma desvantagem em relação a técnica de XRF, é que a mesma não possui sensibilidade suficiente para detectar elementos com números atômicos (Z) baixos, onde, a dificuldade em detectá-los aumenta com a diminuição dos valores de “ Z ” (HOLLER; SKOOG; CROUCH, 2009), isso ocorre pois os mesmos possuem uma baixa sensibilidade e uma baixa energia de fluorescência, fazendo assim, com que o equipamento não consiga detectar seus raios X característicos.

Após diversos estudos baseando-se na técnica, foram criadas algumas variações da mesma, sendo uma delas a espectrometria por fluorescência de raios X portátil, também conhecida como “pXRF”, que, como o nome sugere, é um equipamento portátil, muito útil para análises tanto em campo quanto em laboratórios. As medições em campo, como em análises de solo, podem ser realizadas na própria superfície do solo, já as medições em laboratório, comumente utilizam-se amostras de solo em frações menores, como a argila, onde, utiliza-se por exemplo, uma peneira para preparar a amostra (RIBEIRO et al., 2017).

O método XRF possui diversas vantagens, podendo ser usado para análises *in situ*, possuindo uma análise não-destrutiva, é um método relativamente rápido, possuindo uma alta confiabilidade ao realizar medições em poucos segundos, e se caracteriza por baixos

custos, não havendo gastos em relação a reagentes, onde possui como única necessidade, copos medidores ou tubos plásticos especiais para pó e amostras líquidas (FRYDRYCH; JUROWSKI, 2023).

2.3 Uso da Fluorescência de raio-X em raízes e tubérculos

A determinação da composição química das raízes e tubérculos é de extrema importância, seja para determinar seu valor nutricional, como também para verificar se as estratégias de biofortificação são bem-sucedidas, se é necessário corrigir problemas de fertilidade do solo e práticas de adubação (CECÍLIO FILHO, 2013) e, sobretudo, para determinar se estão presentes no solo elementos potencialmente poluentes, considerando que nos tubérculos e principalmente nas raízes como a cenoura, batata-doce e a beterraba, essas que estão acomodadas diretamente nos solos, os nutrientes são absorvidos fortemente pelas raízes e caules dessas hortaliças.

Uma técnica altamente qualificada para realizar esse tipo de análise é a Espectrometria de Emissão Óptica por Plasma Indutivamente Acoplado (ICP OES), no entanto, a análise ICP OES é demorada e requer equipamentos caros, pessoas altamente qualificadas para análises de rotina, digestão de amostras, reagentes tóxicos e calibração de instrumentos (SOSA, 2018).

Dessa forma, o uso da fluorescência de raios X portátil é uma excelente alternativa, devido à possibilidade da determinação de vários compostos químicos simultaneamente e rapidamente, além da possibilidade de realizar a análise *in situ* diretamente na matriz, evitando o uso de reagentes na preparação de amostras, economizando tempo e custos.

Um exemplo da utilização do pXRF em análises de alimentos, foi na avaliação de oligoelementos em arroz e produtos de arroz, proposta por Fleming (2015), onde o autor realizou análises utilizando o equipamento portátil de XRF e comparou os resultados obtidos com o espectrômetro de massa com plasma indutivamente acoplado (ICP-MS). Em relação aos elementos escolhidos pelo autor (As, Mn, Fe, Cu, Zn e Ni), as concentrações de todos os compostos químicos forneceram uma correlação semelhante entre as duas técnicas, tendo apenas como exceção, o níquel, onde o mesmo não apresentou uma correlação significativa.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Para realização deste trabalho, foram selecionadas amostras de raízes e tubérculos de forma aleatória em um supermercado da cidade de Lavras, MG. Os tubérculos e raízes escolhidos foram: batata comum, batata doce, batata asterix, batata baroa, cenoura e o inhame.

Após a coleta, as raízes/tubérculos foram cortados ao meio, obtendo-se 10 partes expondo-se o seu interior.

As 10 partes obtidas funcionaram como repetição, sendo realizada uma leitura para cada uma delas. Para a realização das leituras, a janela contendo o tubo de raios X e o detector foi coberta com filme Prolene colocando, em seguida, a amostra exatamente na projeção da janela. Foi utilizado um pXRF da marca Bruker S1 Titan 800 no modo de calibração do fabricante (*GeoExploration*) durante 60s (FIGURA 2).

Figura 2 – Detalhe de procedimento para análise de amostras *in natura* utilizando o equipamento de fluorescência de raios X portátil.



Fonte – Do autor (2023).

Após as leituras das amostras no pXRF, os pedaços analisados foram descascados e transferidos para caixas de papelão com massa conhecida tendo-se o registro da amostra úmida (*in natura*). As amostras foram secas em estufa a 60° C até peso constante (FIGURA 3). Após secagem, as amostras foram novamente pesadas para a obtenção da massa seca (FIGURA 4). A umidade da amostra foi calculada pela Equação 1. Os valores de umidade obtidos são apresentados na Tabela 1 e variaram de 75,5% (Batata doce) a 90,7% (Cenoura).

$$U = \frac{Mu - Ms}{Mu} \cdot 100 \quad (1)$$

Onde: M_u é a massa da amostra úmida (*in natura*) em g; M_s é a massa seca em g.

Figura 3 – Detalhe de amostras *in natura* acondicionadas em recipiente de papel para posteriormente serem levados a estufa.



Fonte – Do autor (2023).

Figura 4 – Detalhe das amostras secas após permanecer em estufa por cerca de 3 dias.



Fonte – Do autor (2023).

Tabela 1 - Cálculo do teor de umidade para todas as amostras.

Amostras	Teor de umidade (%)
Batata comum	85,90
Cenoura	90,67
Batata doce	75,46
Batata asterix	80,61
Batata baroa	77,38
Inhame	78,46

Fonte – Do autor (2023).

Com o auxílio de um triturador automático, as amostras secas foram maceradas (FIGURA 5). O material obtido foi acondicionado em potes plásticos e lacrados com filme Prolene para posterior análise via pXRF. Cada amostra foi analisada com uso do

pXRF nas mesmas condições descritas anteriormente com cinco repetições das leituras por amostra.

Figura 5 – Detalhe de amostras secas após procedimento de moagem utilizando um triturador automático.



Fonte – Do autor (2023).

Com base nas concentrações obtidas com pXRF na condição úmida (*in natura*) e seca, determinou-se a relação $C_{úmida}/C_{seca} \cdot 100$. As concentrações *in natura* obtidas com pXRF foram comparadas com aquelas reportadas na Tabela Brasileira de Composição de Alimentos – TACO - 2ª versão (TACO-UNICAMP, 2006) (TABELA 2). As concentrações médias dos elementos presentes em alimentos reportadas na TACO são obtidas após digestão da amostra seguida da determinação ICP OES.

Tabela 2 - Composição química contemplada pela TACO em mg/100g.

Cultura	Mg	Mn	P	S	K	Cu	Zn
Batata comum	15	0,10	39	0	302	0,09	0,2
Cenoura	25	0,13	27	2	206	0,04	0,3
Batata doce	17	0,18	36	9	340	0,11	0,2
Batata asterix	-	0,1	45,2	0	505,2	0,0001	0,2
Batata baroa	12	0,07	45	0	505	0,05	0,2
Inhame	29	0,15	65	0	568	0,17	0,3

Fonte: TACO – UNICAMP (2006).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após análise com pXRF, 11 elementos foram consistentemente identificados e quantificados: magnésio (Mg), alumínio (Al), fósforo (P), enxofre (S), cloro (Cl), potássio (K), cromo (Cr), manganês (Mn), cobre (Cu), zinco (Zn) e molibdênio (Mo). Essa lista

contém tanto elementos importantes para a nutrição vegetal e humana, como elementos potencialmente poluentes (Cr).

Nas Tabelas 3 e 4 é apresentada a estatística descritiva das concentrações dos elementos obtidos via pXRF na condição úmida (*in natura*) e seca, respectivamente.

Com base nos valores das concentrações médias obtidas na condição *in natura* (TABELA 3), foi possível observar que as concentrações decresceram da seguinte forma e apresentaram concentrações similares para todas raízes e tubérculos analisados: K>Mg>Cl>Al>Mo>Mn>Cr>Cu>Zn, enquanto as concentrações de P e S demonstraram variabilidade em todas as amostras.

A batata doce foi uma exceção, onde a mesma apresentou concentrações elevadas para Mn (0,015%) e concentrações baixas para K (0,334%) em relação as demais amostras, demonstrando a seguinte ordem: Mg>K>Cl>Al>Mn>Mo>Cr>Cu>Zn.

No trabalho apresentado por Santos (2019), a quantificação das amostras de batata doce (*in natura*) de cultivares convencionais foram realizadas por espectrometria de emissão atômica por plasma indutivamente acoplado, onde as concentrações médias dos minerais seguiram a seguinte ordem: K>Mg>P>Zn>Mn>Cu. Demonstrando assim, que a variabilidade encontrada na batata doce sobre o Mg e o K deve ser explorada.

Vale lembrar que a batata doce foi a amostra com menor teor de umidade (75,5%), sendo este um aspecto importante ao relacionar as diferenças de concentrações encontradas.

O coeficiente de variação é utilizado para analisar a dispersão de dados, assim, dizemos que quando o coeficiente possui uma alta dispersão significa que seus valores são maiores que 30%, enquanto que coeficientes de baixa dispersão possuem valores menores de 15% e por fim, coeficiente de média dispersão possui valores de 15 a 30%.

Os coeficientes de variação do Mn foram altos para todas as amostras, demonstraram assim o quão heterogêneo foram os dados, com valores de 83,3% (batata doce), 55% (batata asterix), 51,8% (cenoura), 49,1% (batata comum), 36,3% (inhame) e 34,8% (batata baroa).

Para o Mg, Al, Cl e Cr em todas as amostras apresentaram-se valores de coeficiente de variação de baixa e média dispersão, demonstrando assim, dados mais homogêneos.

Já para o P, o coeficiente de variação foi de alta dispersão para batata doce (42%), batata baroa (51%) e inhame (39%), enquanto que para as outras amostras, o mesmo apresentou variações de média e baixa dispersão.

Para o K, observou-se coeficiente de variação de todos os tipos de dispersões, sendo alta para a batata doce (46%) e a cenoura (33,2%), média para a batata baroa (26,9%) e o inhame (25,9%) e baixa dispersão para batata comum (11,9%) e batata asterix (12,8%).

Para o S, apresentou variações de alta dispersão para quase todas as amostras, com exceção da cenoura e da batata doce, onde, o elemento não foi quantificado na cenoura e na batata doce houve a quantificação em apenas uma análise das 10 repetições.

Para o Cu e o Zn, não houve a apresentação de valores de coeficiente de variação com baixa dispersão, apenas média e alta dispersão, obtendo assim dados mais heterogêneos.

Para o Mo, a batata comum (19,8%), cenoura (18,1%), e o inhame (15,1%) demonstraram coeficientes de variação de média dispersão, enquanto que a batata doce (11%) e na batata baroa (15%) apresentaram um coeficiente de baixa dispersão e apenas a batata asterix (43,8%) apresentou um coeficiente de alta dispersão.

Tabela 3 - Estatística descritiva das amostras *in natura*.

Cultura	Parâmetro	Mg (%)	Al (%)	P (%)	S (%)	Cl (%)	K (%)	Cr (%)	Mn (%)	Cu (%)	Zn (%)	Mo (%)
Batata comum	Média	0,4955	0,0873	0,0614	0,0207	0,3136	0,5522	0,0044	0,0052	0,0003	0,0002	0,0089
	Mediana	0,4838	0,0883	0,0614	0,0194	0,3139	0,5576	0,0048	0,0045	0,0003	0,0002	0,0091
	Máximo	0,6627	0,1048	0,0636	0,0278	0,3828	0,6624	0,0055	0,0096	0,0006	0,0003	0,0107
	Mínimo	0,2990	0,0634	0,0591	0,0160	0,2415	0,4723	0,0034	0,0028	0,0002	0,0001	0,0067
	Desvio padrão	0,1085	0,0147	0,0032	0,0051	0,0391	0,0655	0,0009	0,0025	0,0001	0,0001	0,0018
	Coef. Variação	21,8900	16,8085	5,1866	24,7384	12,4558	11,8701	19,5892	49,0728	36,7423	30,0000	19,7826
Cenoura	Média	0,4890	0,0830	0,0287	0,0000	0,3934	0,6440	0,0040	0,0045	0,0003	0,0002	0,0082
	Mediana	0,5070	0,0834	0,0277	0,0000	0,3840	0,5792	0,0036	0,0041	0,0004	0,0002	0,0087
	Máximo	0,5776	0,1201	0,0344	0,0000	0,4649	0,9740	0,0054	0,0076	0,0005	0,0002	0,0101
	Mínimo	0,3598	0,0577	0,0239	0,0000	0,3474	0,3970	0,0030	0,0023	0,0002	0,0001	0,0060
	Desvio padrão	0,0766	0,0188	0,0053	0,0000	0,0374	0,2138	0,0011	0,0023	0,0001	0,0000	0,0015
	Coef. Variação	15,6694	22,6005	18,5453	0,0000	9,5044	33,2076	27,2549	51,7989	36,3318	26,4520	18,1446
Batata doce	Média	0,4888	0,0735	0,0372	0,0350	0,3223	0,3336	0,0033	0,0149	0,0004	0,0002	0,0076
	Mediana	0,4890	0,0691	0,0372	0,0350	0,3320	0,2996	0,0030	0,0099	0,0004	0,0002	0,0079
	Máximo	0,5783	0,1028	0,0483	0,0350	0,3916	0,5653	0,0048	0,0343	0,0005	0,0003	0,0086
	Mínimo	0,2830	0,0510	0,0261	0,0350	0,2092	0,1679	0,0023	0,0043	0,0003	0,0001	0,0064
	Desvio padrão	0,0928	0,0154	0,0157	0,0000	0,0475	0,1535	0,0010	0,0124	0,0001	0,0001	0,0008
	Coef. Variação	18,9761	20,9729	42,1983	0,0000	14,7373	46,0074	29,9372	83,2933	18,2419	44,0959	11,0087
Batata asterix	Média	0,4688	0,0782	0,0752	0,0347	0,4430	0,6973	0,0045	0,0048	0,0003	0,0003	0,0085
	Mediana	0,4549	0,0767	0,0683	0,0445	0,4400	0,6743	0,0044	0,0039	0,0003	0,0003	0,0092
	Máximo	0,6281	0,0963	0,1015	0,0506	0,5169	0,7998	0,0060	0,0104	0,0005	0,0004	0,0123
	Mínimo	0,3976	0,0591	0,0464	0,0120	0,3863	0,5404	0,0026	0,0027	0,0002	0,0002	0,0023
	Desvio padrão	0,0617	0,0132	0,0197	0,0177	0,0463	0,0890	0,0012	0,0026	0,0001	0,0001	0,0037
	Coef. Variação	13,1652	16,9163	26,1801	50,9345	10,4461	12,7582	27,5336	54,9954	30,0000	30,4916	43,8180
Batata baroa	Média	0,4441	0,0842	0,0200	0,0279	0,2962	0,6875	0,0039	0,0055	0,0004	0,0002	0,0094
	Mediana	0,4573	0,0840	0,0154	0,0295	0,2928	0,6580	0,0037	0,0055	0,0003	0,0002	0,0094
	Máximo	0,6246	0,1066	0,0317	0,0441	0,4010	1,0809	0,0052	0,0075	0,0005	0,0003	0,0104
	Mínimo	0,2587	0,0637	0,0129	0,0087	0,2039	0,4877	0,0027	0,0021	0,0002	0,0001	0,0084
	Desvio padrão	0,1208	0,0146	0,0102	0,0188	0,0606	0,1850	0,0010	0,0019	0,0001	0,0001	0,0014
	Coef. Variação	27,2130	17,3733	51,0465	67,2904	20,4474	26,9083	26,4130	34,8024	28,5129	40,4061	15,0448
Inhame	Média	0,4680	0,0933	0,0507	0,0396	0,2835	0,8192	0,0035	0,0037	0,0003	0,0003	0,0080
	Mediana	0,4671	0,0954	0,0627	0,0396	0,2745	0,9270	0,0036	0,0037	0,0003	0,0003	0,0079
	Máximo	0,6564	0,1156	0,0689	0,0491	0,3580	1,0892	0,0048	0,0058	0,0005	0,0004	0,0094
	Mínimo	0,2976	0,0587	0,0273	0,0301	0,1772	0,4938	0,0029	0,0022	0,0002	0,0001	0,0068
	Desvio padrão	0,0967	0,0153	0,0197	0,0134	0,0563	0,2125	0,0006	0,0013	0,0001	0,0001	0,0012
	Coef. Variação	20,6712	16,4417	38,8780	33,9268	19,8516	25,9388	16,6855	36,3257	28,7480	33,8815	15,1383

Fonte – Do autor (2023).

Já nas amostras secas, conforme a Tabela 4, considerando as médias encontradas, as concentrações foram similares entre todas as amostras e decresceram da seguinte forma: $K > Mg > Al > Cr > Mn > Cu \geq Zn$.

Mesmo apresentando concentrações parecidas, a batata doce novamente apresentou concentrações variadas de K e Mn em relação às demais, e além disso, apresentou concentrações menores de Al e Zn.

Segundo o trabalho de Wang et al. (2013), o mesmo confere que nas matérias secas de batata comum e batata doce os teores de K, Mg, Mn e Cu são elevados, seguindo essa mesma ordem em relação às concentrações.

No trabalho de Krupskaya et al. (2015), as concentrações (em mg/kg) encontradas na condição seca utilizando o XRF, foi: K (2,8385 e 1,0689), Cu (0,0026 e 0,0016) e Zn (0,0015 e 0,0006) para a batata comum e a cenoura respectivamente. Ao comparar com os dados obtidos pelo pXRF, foi possível observar uma maior concentração para todos os elementos nas amostras secas analisadas.

De acordo com os valores apontados pela tabela de referência (TACO-UNICAMP, 2006), todas as amostras secas apresentaram concentrações média excessivamente superiores para todos os elementos em todas as amostras.

Segundo Sosa et al. (2018), temos que as análises realizadas em amostras de raízes e tubérculos possuem uma maior dificuldade na determinação em comparação a outros tipos de culturas, visto que o risco de contaminação por parte do contato direto com o solo é maior. Essa contaminação nem sempre está relacionada diretamente com elementos potencialmente poluentes, elementos benéficos para a saúde humana e vegetal, quando encontrados em excesso, podem trazer malefícios da mesma forma (CHAKRABORTY, 2017).

Assim, ao observar as diferentes concentrações encontradas para todos os elementos, tanto nas amostras úmidas quanto nas secas, a possibilidade de contaminação tanto pelo solo quanto pela influência da umidade é, portanto, possível.

Para evitar ou minimizar os efeitos da contaminação do solo, a superfície da amostra a ser analisada deve ser devidamente limpa para remover quaisquer detritos que possam interferir na detecção.

Em relação ao Mo, a cenoura apresentou concentrações baixas do mesmo, enquanto na batata baroa não foi quantificado na amostra seca, diferentemente do que ocorreu na amostra úmida. Essa constatação implicaria que a quantificação de Mo nas

amostras úmidas foi detectada a partir de contaminações e/ou efeito de matriz ocasionado pelo fator de umidade.

O Al, P, Cl, K e Zn apresentaram os coeficientes de variação mais homogêneos em todas as amostras, onde o maior valor apresentado foi na batata doce com um coeficiente de 16,1% (Al).

O Cr e o Mn apresentaram valores mais heterogêneos para as amostras de batata comum (30,2% e 31,3% respectivamente), batata asterix (36,3% e 35,3% respectivamente) e a batata baroa (24% e 32% respectivamente).

O Cu apresentou coeficiente de variação de baixa dispersão apenas para a batata doce (5,1%) e a batata asterix (13,5%). Já o inhame, demonstrou um coeficiente de alta dispersão (48,1%) para o Cu, enquanto as demais amostras apresentaram valores de média dispersão.

Para o S, a única amostra a apresentar um coeficiente de alta dispersão foi a batata doce (55,7%), enquanto as demais amostras demonstraram um coeficiente de variação homogêneo.

Para o Mg, todas as amostras obtiveram coeficiente de variação de média dispersão, com exceção apenas da batata asterix (10%), qual foi a única a apresentar um coeficiente de baixa dispersão.

Já para o Mo, a cenoura e o inhame obtiveram a quantificação em apenas uma análise das 5 repetições, enquanto na batata baroa o Mo não foi quantificado. Já na batata doce (19,2%) e na batata asterix (29,8%) seu coeficiente de variação apresentou média dispersão.

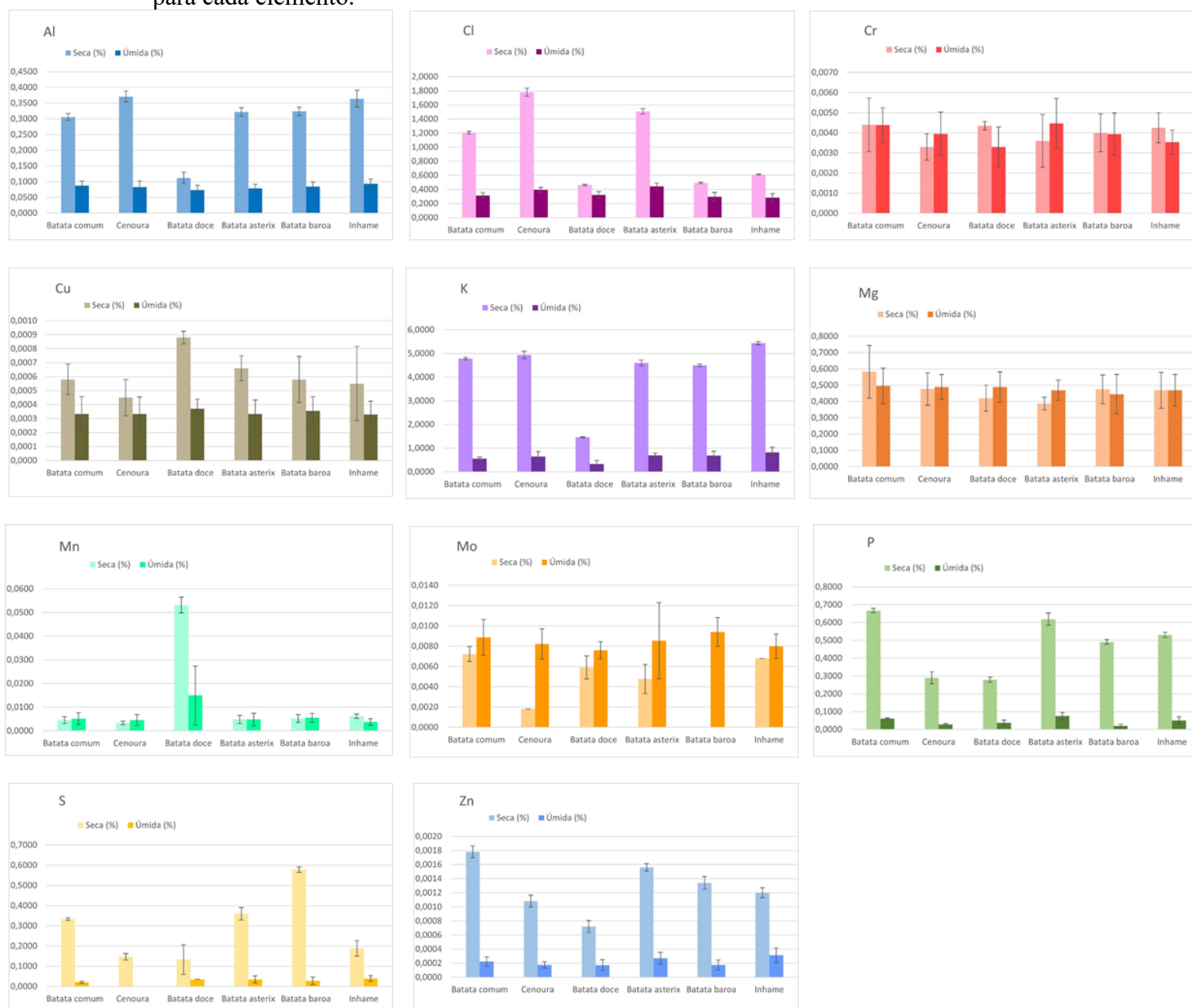
Tabela 4 - Estatística descritiva das amostras secas.

Cultura	Parâmetro	Mg (%)	Al (%)	P (%)	S (%)	Cl (%)	K (%)	Cr (%)	Mn (%)	Cu (%)	Zn (%)	Mo (%)
Batata comum	Média	0,5830	0,3058	0,6673	0,3329	1,2043	4,7826	0,0044	0,0046	0,0006	0,0018	0,0072
	Mediana	0,5085	0,3044	0,6655	0,3357	1,2015	4,7601	0,0042	0,0039	0,0006	0,0018	0,0074
	Máximo	0,8160	0,3179	0,6843	0,3371	1,2277	4,8521	0,0061	0,0066	0,0007	0,0019	0,0082
	Mínimo	0,4129	0,2924	0,6566	0,3224	1,1805	4,7293	0,0032	0,0034	0,0004	0,0017	0,0063
	Desvio padrão	0,1616	0,0114	0,0114	0,0060	0,0191	0,0516	0,0013	0,0014	0,0001	0,0001	0,0007
	Coef. Variação	27,7170	3,7141	1,7135	1,8155	1,5878	1,0784	30,2082	31,3451	18,8870	4,7003	10,2437
Cenoura	Média	0,4767	0,3708	0,2900	0,1467	1,7803	4,9356	0,0033	0,0033	0,0005	0,0011	0,0018
	Mediana	0,4616	0,3757	0,2994	0,1415	1,7868	4,9538	0,0034	0,0032	0,0005	0,0011	0,0018
	Máximo	0,5882	0,3876	0,3172	0,1656	1,8311	5,0726	0,0039	0,0043	0,0006	0,0012	0,0018
	Mínimo	0,3709	0,3467	0,2320	0,1302	1,6849	4,6922	0,0026	0,0024	0,0003	0,0010	0,0018
	Desvio padrão	0,1000	0,0167	0,0333	0,0164	0,0574	0,1509	0,0007	0,0007	0,0001	0,0001	0,0000
	Coef. Variação	20,9749	4,5152	11,4676	11,1608	3,2238	3,0570	19,8710	21,2343	28,6888	7,7469	0,0000
Batata doce	Média	0,4205	0,1116	0,2791	0,1329	0,4625	1,4599	0,0044	0,0531	0,0009	0,0007	0,0059
	Mediana	0,4523	0,1101	0,2789	0,1676	0,4611	1,4691	0,0044	0,0524	0,0009	0,0007	0,0059
	Máximo	0,5091	0,1397	0,2987	0,1742	0,4752	1,4788	0,0045	0,0588	0,0009	0,0008	0,0067
	Mínimo	0,3271	0,0895	0,2593	0,0221	0,4525	1,4308	0,0042	0,0503	0,0008	0,0006	0,0051
	Desvio padrão	0,0795	0,0180	0,0151	0,0740	0,0092	0,0192	0,0002	0,0033	0,0000	0,0001	0,0011
	Coef. Variação	18,9073	16,1274	5,4164	55,6849	1,9784	1,3153	4,8766	6,2986	5,0820	11,6203	19,1758
Batata asterix	Média	0,3874	0,3218	0,6185	0,3595	1,5097	4,6015	0,0036	0,0048	0,0007	0,0016	0,0048
	Mediana	0,3723	0,3153	0,6295	0,3545	1,5224	4,6482	0,0030	0,0055	0,0006	0,0016	0,0045
	Máximo	0,4342	0,3433	0,6495	0,3967	1,5428	4,7153	0,0051	0,0065	0,0008	0,0016	0,0063
	Mínimo	0,3462	0,3093	0,5769	0,3293	1,4507	4,4409	0,0027	0,0025	0,0006	0,0015	0,0035
	Desvio padrão	0,0389	0,0137	0,0343	0,0307	0,0380	0,1173	0,0013	0,0017	0,0001	0,0001	0,0014
	Coef. Variação	10,0521	4,2608	5,5476	8,5534	2,5203	2,5484	36,3242	35,2514	13,5519	3,5110	29,7675
Batata baroa	Média	0,4741	0,3235	0,4913	0,5780	0,4933	4,4947	0,0040	0,0052	0,0006	0,0013	0,0000
	Mediana	0,4428	0,3219	0,4989	0,5779	0,4909	4,5302	0,0040	0,0055	0,0006	0,0013	0,0000
	Máximo	0,5835	0,3386	0,5043	0,5904	0,5116	4,5382	0,0050	0,0070	0,0007	0,0015	0,0000
	Mínimo	0,3632	0,3088	0,4745	0,5579	0,4832	4,4336	0,0031	0,0025	0,0003	0,0013	0,0000
	Desvio padrão	0,0880	0,0136	0,0136	0,0135	0,0116	0,0545	0,0009	0,0017	0,0002	0,0001	0,0000
	Coef. Variação	18,5715	4,1998	2,7686	2,3308	2,3447	1,2129	23,5407	32,5162	28,3305	6,6748	0,0000
Inhame	Média	0,4681	0,3641	0,5299	0,1888	0,6122	5,4367	0,0043	0,0061	0,0006	0,0012	0,0068
	Mediana	0,4829	0,3701	0,5251	0,2038	0,6116	5,4293	0,0043	0,0063	0,0006	0,0012	0,0068
	Máximo	0,6219	0,3924	0,5552	0,2117	0,6247	5,4991	0,0051	0,0070	0,0008	0,0013	0,0068
	Mínimo	0,3483	0,3252	0,5163	0,1208	0,6019	5,3518	0,0033	0,0050	0,0002	0,0011	0,0068
	Desvio padrão	0,1106	0,0268	0,0149	0,0382	0,0081	0,0632	0,0007	0,0009	0,0003	0,0001	0,0000
	Coef. Variação	23,6205	7,3733	2,8138	20,2216	1,3294	1,1633	17,3438	14,3187	48,1046	5,8926	0,0000

Fonte – Do autor (2023).

Na Figura 6 é apresentada uma comparação das raízes e tubérculos para cada elemento e, também, o efeito do teor de umidade da amostra. Exceto para Cr, Mo e Mg, as concentrações obtidas na condição seca foram significativamente superiores à condição *in natura*.

Figura 6 - Comparação entre as médias secas e úmidas (*in natura*) e seu desvio padrão para cada elemento.



Fonte – Do autor (2023).

Considerando o teor de umidade, os resultados de comparação esperados deveriam demonstrar concentrações superiores nas amostras secas do que nas amostras *in natura*. Isso ocorre porque durante as análises de pXRF, a água é considerada como o principal fator que influencia a precisão das concentrações dos elementos, uma vez que a água presente nas partículas dos vegetais pode absorver ou difundir parte dos raios X emitidos pela amostra, reduzindo assim a intensidade dos sinais detectados (SILVA, 2022).

Ao observar os elementos que seguiram a relação esperada, temos que praticamente todos são compostos que possuem massa atômica baixa ($Z \leq 26$), condição essa que dificulta a quantificação de alguns elementos, devido a sua baixa energia de emissão (SKOOG et.al, 2009; FRYDRYCH; JUROWSKI, 2023).

Segundo Santana (2019), ao relacionar a baixa massa atômica com o teor de umidade, devemos considerar que a quantificação do elemento de interesse depende da energia de fluorescência específica de cada composto, onde, quanto menor o peso atômico, menor será sua energia de emissão e conseqüentemente o mesmo poderá sofrer uma maior influência pela umidade.

O Cr e o Mg apresentaram concentrações aproximadas para todas as raízes/tubérculos, tanto nas amostras secas quanto nas úmidas, demonstrando assim, que os mesmos não foram afetados pelo teor de umidade.

Já o Mo, apresentou concentrações similares para todas as amostras úmidas, enquanto que nas secas houve variações de menores concentrações, demonstrando assim que a umidade possivelmente influenciou sua detecção com o efeito de matriz.

Dentre todas as amostras, a batata doce foi a que demonstrou maior discrepância nos resultados em relação às demais amostras, principalmente no Mn e Cu, onde a mesma obteve as maiores concentrações em relação às demais amostras, tanto na seca quanto na úmida. Onde o Mn obteve 0,053% na amostra seca, enquanto que nas demais raízes/tubérculos, a concentração média foi de 0,006% (inhame) a 0,003% (cenoura).

Essa constatação confere com a ordem de valores encontrados na literatura (TACO-UNICAMP, 2006), onde a batata doce apresenta concentrações superiores para esses dois minerais em relação às demais amostras. Além disso, a batata doce e a cenoura apresentaram menores concentrações de P (0,279% e 0,290% respectivamente) nas amostras secas, onde novamente, está de acordo com a ordem descrita na literatura (TACO-UNICAMP, 2006).

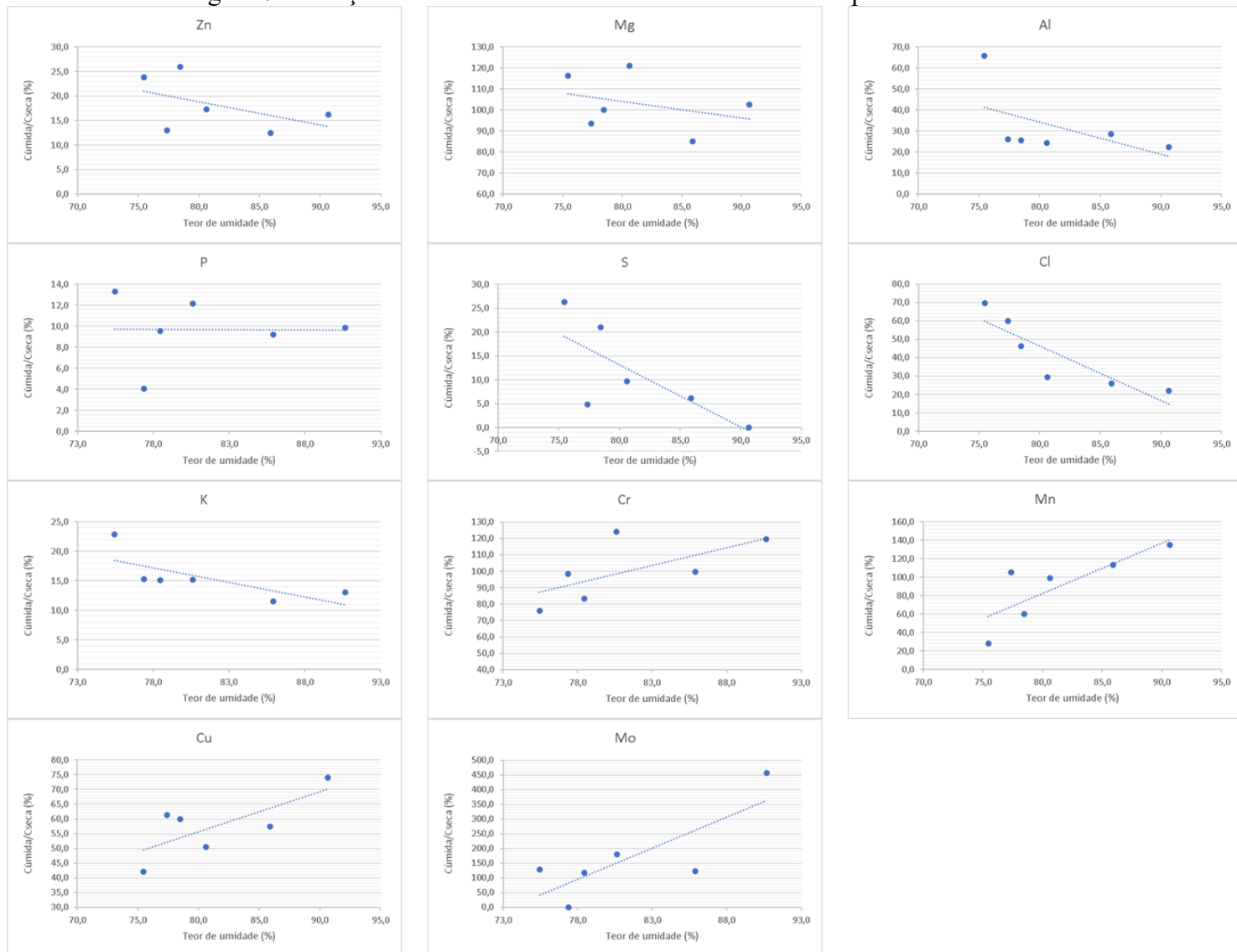
Na Figura 7 são apresentadas as relações entre a $C_{úmida}/C_{seca}$ e o teor de umidade. O resultado esperado era de que, quanto maior fosse o teor de umidade, menor seria a relação $C_{úmida}/C_{seca}$.

Assim, o comportamento esperado para essa relação foi observado para Al, Cl, K, P, S e Zn, enquanto que para Cr, Mn, Mo, Cu e Mg apresentaram um comportamento inverso.

Observando essa divisão, foi possível relacionar que todos os elementos que seguiram o comportamento esperado são elementos considerados leves, ou seja, que

possuem peso atômico menor, enquanto que os que não seguiram, possuem elementos de maior massa atômica. Porém, o Zn foi a única exceção, onde, mesmo sendo considerado um elemento pesado, apresentou um ótimo comportamento.

Figura 7 - Relação entre a Cúmida/Cseca e o teor de umidade para cada elemento.

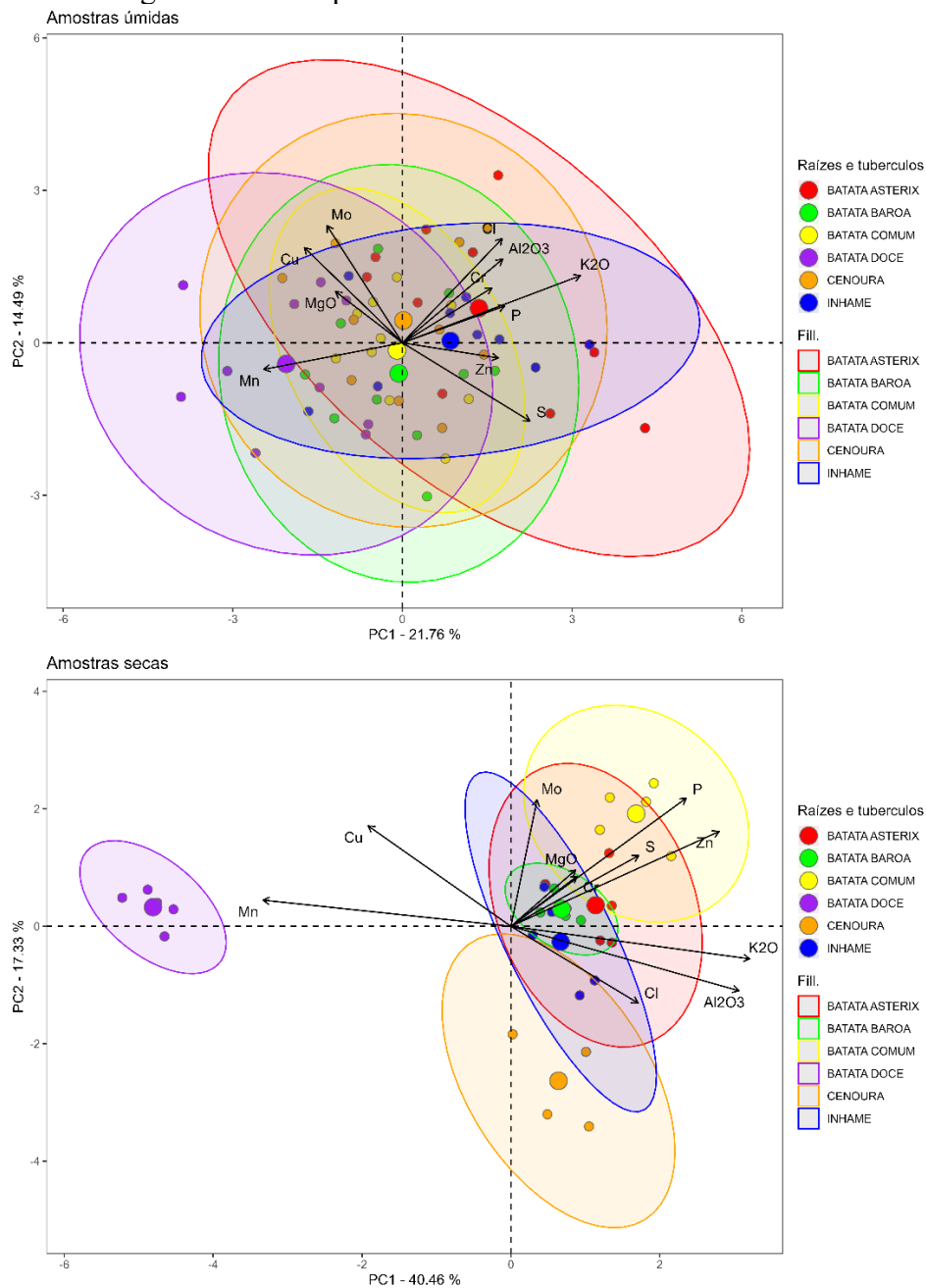


Fonte – Do autor (2023).

Na Figura 8 é apresentada a análise de componentes principais (PCA) com os dados de pXRF obtidos para as amostras *in natura* e secas.

Sabe-se que o objetivo do PCA é encontrar um meio de condensar a informação contida em várias variáveis originais em um conjunto menor de componentes, tendo uma perda mínima de informação.

Figura 8 – PCA aplicado nas amostras *in natura* e secas.



Fonte – Do autor (2023).

Assim, baseado nos dados obtidos, foi possível diferenciar os materiais com base na composição, principalmente para as amostras secas, isso porque nas amostras úmidas ainda há o teor de umidade, fator esse que impossibilita uma melhor separação e diferenciação dos materiais em relação a composição.

Por fim, na Figura 9 é apresentada uma comparação entre as concentrações (mg/100g) obtidas com pXRF nas amostras *in natura* com aquelas reportadas pela TACO (TACO-UNICAMP, 2006), conforme demonstrado na Tabela 2.

Figura 9 - Comparação entre os valores *in natura* com os de referência (TACO-UNICAMP, 2006).



Fonte – Do autor (2023).

Dentre os minerais contemplados pelo TACO (TACO-UNICAMP, 2006), houve dois elementos extremamente importantes presentes nas raízes e tubérculos, dos quais não foram estimados pelo pXRF, sendo esses o cálcio (Ca) e o ferro (Fe). Ao realizar a leitura das amostras, foi possível detectá-los a partir dos picos nos espectros, porém os

mesmos não foram quantificados. Isso se deve, provavelmente, pela baixa concentração desses elementos presentes nas amostras.

Ao observar os gráficos, o Mg, Mn, S e o Cu apresentaram uma grande variabilidade em relação aos valores de referência, demonstrando uma maior concentração nas amostras *in natura*.

Já o P e o K, corroboraram quase que perfeitamente, demonstrando pequenas variações entre as concentrações.

O Zn demonstrou um grande potencial, onde o mesmo apresentou valores relativamente similares com os valores reportados pela TACO, obtendo concentrações entre 0,17 mg/100g a 0,31 mg/100g, demonstrando assim, que o teor de umidade não afetou sua quantificação. Sua alta corroboração em relação aos valores de referência chamou atenção, isso porque, o Zn é um composto de extrema importância quando relacionado às estratégias de biofortificação, visando o aumento do teor desse mineral nos alimentos para combater a baixa ingestão do mesmo pelos humanos, pois o mesmo desempenha um papel indispensável para o organismo.

5. CONCLUSÃO

Pode-se concluir que o pXRF foi sensível o suficiente para realizar uma análise qualitativa, uma vez que teve a capacidade de detectar todos os minerais esperados em cada tipo de raiz/tubérculo, atendendo aos limites de detecção do equipamento.

Já pensando no potencial quantitativo do aparelho, o pXRF apresentou sensibilidade variável, onde, enquanto alguns elementos tiveram uma correlação bem sucedida contra os dados de referência (TACO), outros não conseguiram o mesmo, com a grande maioria apresentando concentrações acima do valor esperado, tanto para amostras úmidas quanto secas.

Portanto, para detecção de forma quantitativa em análises de raízes e tubérculos *in natura*, calibrações específicas em razão das concentrações obtidas após uma digestão ácida dos materiais seguida da quantificação via ICP OES são necessárias.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BALBINO, JM de S. Cultura da batata-baroa (mandioquinha-salsa): práticas da produção à pós-colheita [recurso eletrônico]. 2018.

CARDOSO, A. D. et al. Produtividade e qualidade de tubérculos de batata em função de doses e parcelamentos de nitrogênio e potássio. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, p. 1729-1736, 2007.

CECÍLIO FILHO, A. B.; PEIXOTO, F. C.. Acúmulo e exportação de nutrientes em cenoura 'Forto'. **Revista Caatinga**, v. 26, n. 1, p. 64-70, 2013.

CHAKRABORTY, S. et al. Rapid assessment of smelter/mining soil contamination via portable X-ray fluorescence spectrometry and indicator kriging. **Geoderma**, v. 306, p. 108-119, 2017.

CILLA, M. **UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA** Técnicas de Caracterização em Materiais. Disponível em: <https://www.ledmaufba.com.br/images/material_ditatico/pos_graduacao/ENGM61/ENGM61-TecnicasdeAnalisequimica.pdf>. Acesso em: 24 jul. 2023.

DIAS, J. S. R. et al. Obtenção de farinha de inhame para elaboração de barra de cereal como suplemento alimentar e funcional. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 3, p. 15716-15735, 2020.

DOS SANTOS, Ana MP et al. Mineral and centesimal composition evaluation of conventional and organic cultivars sweet potato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam) using chemometric tools. **Food chemistry**, v. 273, p. 166-171, 2019.

FELTRAN, José Carlos. Determinação das características agrônômicas, dos distúrbios fisiológicos, do estado nutricional da planta e da qualidade dos tubérculos em cultivares de batata (*Solanum tuberosum* L.). 2002.

FLEMING, D. E. et al. Portable x-ray fluorescence for assessing trace elements in rice and rice products: Comparison with inductively coupled plasma-mass spectrometry. **Applied Radiation and Isotopes**, v. 104, p. 217-223, 2015.

FRYDRYCH, Adrian; JUROWSKI, Kamil. Portable X-ray fluorescence (pXRF) as a powerful and trending analytical tool for in situ food samples analysis: A comprehensive review of application-State of the art. **TrAC Trends in Analytical Chemistry**, p. 117165, 2023.

GZH, vida. Raízes e tubérculos são ricos em nutrientes e podem fazer parte de uma dieta saudável (7 dez. 2015). Disponível em: <https://gauchazh.clicrbs.com.br/saude/vida/noticia/2015/12/raizes-e-tuberculos-sao-ricos-em-nutrientes-e-podem-fazer-parte-de-uma-dieta-saudavel-4923173.html>. Acesso em: 2 jul. 2023.

HOLLER, F. J.; SKOOG, D. A.; CROUCH, S. R. Princípios de análise instrumental. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.

KRUPSKAYA, T.K.; LOSEVA, L.; ANUFRIK, S. Possibilities of the method of an X-ray fluorescence analysis when evaluating essential element concentrations in food raw materials of plant origin. **Papers on Anthropology**, v. 24, n. 1, p. 101-106, 2015.

MAROUELLI, W. A.; OLIVEIRA, R. A.; SILVA, WL de C. Irrigação da cultura da cenoura. 2007.

OLIVEIRA, Ariane Saldanha de. Estudo da diversidade agrícola de raízes e tubérculos em assentamentos rurais no interior paulista. 2014.

RIBEIRO, B. T. et al. Portable X-ray fluorescence (pXRF) applications in tropical Soil Science. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 41, p. 245-254, 2017.

SANTANA, M.L.T. et al. Elemental Concentration via portable x-ray fluorescence spectrometry: Assessing the impact of water content. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 43, p. e029218, 2019.

SANTOS, Elenir et al. Espectrometria de fluorescência de raios-X na determinação de espécies químicas. **Enciclopédia biosfera**, v. 9, n. 17, 2013.

SILVA, Priscila Souza da. Bioquímica dos alimentos. Porto Alegre: SAGAH, 2018.

SILVA, Thainara Rebelo da. **Determinação do estado nutricional da soja in situ por fluorescência de raios X**. 2022. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

SKOOG, D.A.; HOLLER, F.J.; NIEMAN, T. A. **Princípios de Análise Instrumental**, 5ª ed. Porto Alegre: Bookman, p. 31-36; p. 317-342, 2009.

SOSA, Paola et al. Potential and application of X-ray fluorescence spectrometry to estimate iron and zinc concentration in potato tubers. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 70, p. 22-27, 2018.

TEIXEIRA, L.J.Q. **Campos Elétricos Pulsados de Alta Intensidade no Processamento de Suco de Cenoura**. 2008. 149F. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS - UNICAMP. **Tabela Brasileira de Composição de Alimentos - TACO**. 2 ed. Campinas, 2006. 113 p.

WANG, Yue et al. Chemical elemental compositions and nutrition quality of yacon, sweet potato and potato. **Journal of Modern Agriculture**, v. 2, n. 2, 2013.

WEINDORF, D. C. et.al. Advances in portable X-ray fluorescence (PXRF) for

environmental, pedological, and agronomic applications. **Advances in agronomy**, v. 128, p. 1-45, 2014.