



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE CIENCIAS EXATAS E DA NATUREZA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM QUÍMICA

WELLEN KAREN MARCELINO SERAFIM

COMPOSIÇÃO MULTIELEMENTAR DE AMOSTRAS CRUAS E COZIDAS DE
BATATA INGLESA, CENOURA E CHUCHU USANDO ICP OES E FOTOMETRIA
DE CHAMA

Recife
2024

WELLEN KAREN MARCELINO SERAFIM

COMPOSIÇÃO MULTIELEMENTAR DE AMOSTRAS CRUAS E COZIDAS DE
BATATA INGLESA, CENOURA E CHUCHU USANDO ICP OES E FOTOMETRIA
DE CHAMA

Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Química da
Universidade Federal de Pernambuco,
como requisito parcial para obtenção do
título de mestre em química.

Área de concentração: Química Analítica.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Ana Paula Silveira Paim

Co-orientador: Prof. Dr. Iago José Santos da Silva

Recife

2024

.Catalogação de Publicação na Fonte. UFPE - Biblioteca Central

Serafim, Wellen Karen Marcelino.

Composição multielementar de amostras cruas e cozidas de batata inglesa, cenoura e chuchu usando ICP OES e fotometria de chama / Wellen Karen Marcelino Serafim. - Recife, 2024.

106f.: il.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco, Ciências Exatas e da Natureza, Programa de Pós-Graduação em Química, 2024.

Orientação: Ana Paula Silveira Paim.

Coorientação: Iago José Santos da Silva.

Inclui referências e apêndice.

1. Cidades pernambucanas; 2. Batata inglesa; 3. Cenoura; 4. Chuchu; 5. Cocção; 6. Minerais. I. Paim, Ana Paula Silveira. II. Silva, Iago José Santos da. III. Título.

UFPE-Biblioteca Central

WELLEN KAREN MARCELINO SERAFIM

"Composição multielementar de amostras cruas e cozidas de batata inglesa, cenoura e chuchu usando ICP OES e fotometria de chama."

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação no Departamento de Química Fundamental da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Química.

Aprovada em: 10/06/2024

BANCA EXAMINADORA



Documento assinado digitalmente
ANA PAULA SILVEIRA PAIM
Data: 10/06/2024 09:41:59-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof^a. Ana Paula Silveira Paim (Orientadora)

Universidade Federal de Pernambuco



Documento assinado digitalmente
WANESSA MELCHERT MATTOS
Data: 10/06/2024 10:54:09-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof^a. Wanessa Melchert Mattos

Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - Universidade de São Paulo



Documento assinado digitalmente
JOSE FRANCIELSON QUEIROZ PEREIRA
Data: 10/06/2024 11:53:20-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. José Francielson Queiroz Pereira

Universidade Federal Rural de Pernambuco

DEDICATÓRIA

Esta dissertação é dedicada à memória de minha amada mãe, Rita Marcelino (*in memoriam*), como uma expressão de profundo reconhecimento por todos os anos de dedicação e amor incondicional que ela gentilmente compartilhou comigo.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, gostaria de expressar minha gratidão a Deus, detentor de toda sabedoria. Agradeço-lhe por sua infinita generosidade. Ele me guiou para lugares que jamais imaginei alcançar, e por isso, tenho apenas motivos para agradecer.

Expresso minha gratidão aos meus familiares queridos, meu pai, minha irmã, meu irmão e especialmente à minha mãe, Rita Marcelino (*in memoriam*), que sempre me apoiou e encorajou a seguir em frente.

Quero expressar todo o meu amor e gratidão ao meu querido noivo, Isaque Oliveira. Ele é a âncora que me segura firme quando os ventos da vida sopram com força, nunca permitindo que eu desista dos meus sonhos.

Também sou grata às minhas primas Danúbia e Davyllen por todo companheirismo e conselhos.

À minha orientadora, Prof^a Dr^a Ana Paula Silveira Paim, por indicar o caminho a seguir, pela orientação, disponibilidade, confiança, afeto e amizade.

Ao meu coorientador, Prof. Dr. Iago José Santos da Silva, pela disponibilidade, paciência e incentivo.

A Felipe por toda ajuda nas análises estatísticas.

À Ihasmyn, especialista do ICP OES, pela sua generosidade e orientações.

Às minhas amigas de longa data, Anne, Brenda, Loemí, Suennia e Wyllamys, agradeço pela companhia.

Aos meus queridos amigos e amigas do Laboratório de Espectroanalítica Aplicada (LEA).

Ao Programa de Pós-graduação em Química da Universidade Federal de Pernambuco, à Central Analítica da UFPE (DQF), ao Centro de Apoio à Pesquisa da UFRPE (CENAPESQ) ao Laboratório de Saneamento Ambiental (LSA) pelo suporte instrumental oferecido. Agradeço também ao CNPq pela concessão da bolsa de mestrado.

RESUMO

A batata inglesa, a cenoura e o chuchu estão entre os alimentos vegetais mais consumidos e produzidos globalmente. Logo, é importante desenvolver métodos analíticos capazes de avaliar a composição mineral desses alimentos, principalmente após o cozimento. Uma vez que, o processo de cocção pode alterar significativamente o conteúdo e a biodisponibilidade de minerais essenciais, afetando o valor nutricional e a saúde dos consumidores. Entre os procedimentos empregados para decompor a matéria orgânica em amostras alimentares, tem se destacado a digestão por via úmida, utilizando ácidos oxidantes assistida por radiação micro-ondas. Neste estudo, foi estabelecido um método de decomposição para batata inglesa, utilizando uma combinação de HNO_3 e H_2O_2 , visando determinar minerais (Al, Ca, Cr, Cu, Fe, K, Mn, Na e Pb) por meio da Espectrometria de Emissão Óptica com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP OES) e fotometria de chama. Foi empregado um planejamento fatorial 2^3 para o processo de decomposição, realizado em triplicata, com inclusão do ponto central. As variáveis investigadas foram: concentração de HNO_3 , tempo e temperatura de digestão. As respostas analíticas consideradas foram o teor de carbono (RCC) e acidez residual (RA), com prioridade para as condições que resultam em níveis mais baixos destas variáveis. Após análise estatística dos resultados, a condição selecionada foi determinada da seguinte forma: 500 mg de amostra, 6 mL de HNO_3 1 mol L^{-1} , 2 mL de H_2O_2 30%, 15 minutos de digestão no topo da rampa de aquecimento, e uma temperatura de 170 °C. A condição estabelecida para batata inglesa, também foi aplicada em amostras de cenoura e chuchu de diferentes regiões do estado de Pernambuco, tanto cruas quanto cozidas em panela de alumínio ou em um forno de micro-ondas. Cozinhar em uma panela resultou em aumento de Cu e Fe, enquanto o K diminuiu na maioria das amostras. Nenhuma tendência clara de aumento ou diminuição foi observada para outros minerais durante o processo de cozimento.

Palavras-chave: cidades pernambucanas, batata inglesa, cenoura, chuchu, cocção, minerais.

ABSTRACT

The potato, carrot, and chayote are among the most consumed and produced vegetable foods globally. Therefore, it is important to develop analytical methods capable of evaluating the mineral composition of these foods, especially after cooking. Since the cooking process can significantly alter the content and bioavailability of essential minerals, it affects the nutritional value and health of consumers. Among the procedures employed to decompose the organic matter in food samples, wet digestion using oxidizing acids assisted by microwave radiation has stood out. In this study, a decomposition method for potatoes was established using a combination of HNO_3 and H_2O_2 , aiming to determine minerals (Al, Ca, Cr, Cu, Fe, K, Mn, Na, and Pb) through Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry (ICP OES) and flame photometry. A 2^3 factorial design was employed, for the decomposition process, carried out in triplicate, including the central point. The investigated variables were the concentration of HNO_3 , digestion time, and temperature. The analytical responses considered were the carbon content (RCC) and residual acidity (RA), with priority given to conditions resulting in lower levels of these variables. After statistical analysis of the results, the selected condition was determined as follows: 500 mg of sample, 6 mL of 1 mol L^{-1} HNO_3 , 2 mL of H_2O_2 30%, 15 minutes of digestion at the top of the heating ramp, and a temperature of 170°C . The established condition was applied for English potatoes, carrots, and chayotes from different regions of the state of Pernambuco, both raw and cooked in a pot or in a microwave oven. Cooking in a pot resulted in an increase in Cu and Fe, while K decreased in most samples. No clear trend of increase or decrease was observed for other minerals during the cooking process.

Keywords: Pernambuco cities, potatoes, carrots, chayotes, cooking, minerals.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Mapa do consumo de verduras e legumes em diferentes regiões do Brasil.	19
Figura 2 – Consumo de verduras e legumes no estado de Pernambuco e em algumas das cidades: Belém de Maria, Camucim de São Félix, Serra Talhada, Ouricuri e Petrolina.	20
Figura 3 – Principais Cultivares de Batata-Inglesa: (A) Baronesa; (B) BRS Ana; (C) BRS Eliza; (D) Cristal; (E) EPAGRI 361- Catucha; (F) BRS Clara; (G) Macaca; (H) BRSIPR Bel.; (I) BRS F63 Camila.....	23
Figura 4 – Raízes de cenouras do grupo Brasília (A), Nantes (B) e Kuroda (C).	29
Figura 5 – Morfologia do chuchu e seus diversos tipos. (A) à esquerda, representação da planta de chuchu exibindo (a) flores estaminadas, (b) folhas, (c) raízes e (d) frutos. (B) ilustração à direita mostra a variabilidade de chuchus cultivados, disponíveis no mercado global.....	30
Figura 6 – Fornos de Micro-ondas da Milestone. (A) modelo Start D; (B) modelo Ethos Easy.	44
Figura 7 – ICP OES Perkin Elmer, modelo Optima 7000 DV.	44
Figura 8 – Gráfico dos efeitos padronizados para a resposta de carbono residual, a partir das soluções obtidas após a aplicação do planejamento experimental 2 ³	54
Figura 9 – Gráfico dos efeitos padronizados para a resposta de acidez residual, a partir das soluções obtidas após a aplicação do planejamento experimental 2 ³	55
Figura 10 – Score e loadings para as amostras de batata Inglesa (modo de preparo).	81
Figura 11 – Scores e loadings para as amostras de cenoura (modo de preparo).	83
Figura 12 – Scores e loadings para as amostras de chuchu (modo de preparo).	85

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Evolução da produção e plantio de batata inglesa no Brasil entre 2010-2020.	24
Tabela 2 – Revisão da literatura com trabalhos que avaliaram a composição mineral da batata crua e/ou cozida.	26
Tabela 3 – Minerais e suas diversas funções no corpo humano.	34
Tabela 4 – Revisão da literatura sobre métodos de digestão de amostras alimentícias utilizando ácido nítrico diluído em conjunto com peróxido de hidrogênio.	38
Tabela 5 – Parâmetros operacionais utilizados nas determinações multielementares por ICP OES.....	45
Tabela 6 – Parâmetros instrumentais utilizados nas determinações elementares por Fotometria de chama.	45
Tabela 7 – Matriz do planejamento fatorial 2^3 para a digestão das amostras de batata inglesa, com ponto central.....	46
Tabela 8 – Ensaios realizados para execução do planejamento experimental: combinações dos fatores e níveis.	47
Tabela 9 – Dados físicos-químicos de HNO_3	49
Tabela 10 – Valores de RCC obtidos nos testes preliminares realizados com amostra de batata inglesa.	51
Tabela 11 – Planejamento experimental 2^3 aplicado a amostra de batata-inglesa. ...	53
Tabela 12 – Equações das curvas analíticas e valores do coeficiente de correlação de todos os metais estudados pelas técnicas ICP OES e fotometria de chama para a análise de amostras de batata inglesa.	56
Tabela 13 – Limites de detecção e quantificação instrumentais pela técnica ICP OES e Fotometria de chama para Na e K.	57
Tabela 14 – Resultados da avaliação da exatidão utilizando os materiais certificados de Arroz Integral CRM-Agro C1001a e Arroz Integral Biodinamico CRM-Agro C1002a.	58
Tabela 15 – Equações das curvas analíticas dos elementos estudados e seus respectivos valores de coeficiente de correlação para cenoura e chuchu.	60
Tabela 16 – Concentração de alumínio em amostras de batata inglesa, cenoura e chuchu, cruas e submetidas a diferentes processos de cocção (mg kg^{-1}).	62
Tabela 17 – Determinação dos metais na água pura e em água fervida na panela. 63	

Tabela 18 – Análise multielementar da panela de alumínio por meio da caracterização utilizando a técnica de EDXRF, a partir de amostras coletadas tanto do fundo quanto da lateral da panela.	63
Tabela 19 – Concentração de cálcio em amostras de batata inglesa, cenoura e chuchu, cruas e submetidas a diferentes processos de cocção (mg kg^{-1}).	66
Tabela 20 – Concentração de cobre em amostras de batata inglesa, cenoura e chuchu, cruas e submetidas a diferentes processos de cocção (mg kg^{-1}).	69
Tabela 21 - Concentração de ferro em amostras de batata inglesa, cenoura e chuchu, cruas e submetidas a diferentes processos de cocção (mg kg^{-1}).	71
Tabela 22 – Concentração de cromo em amostras de batata inglesa, cenoura e chuchu, cruas e submetidas a diferentes processos de cocção (mg kg^{-1}).	73
Tabela 23 – Concentração de potássio em amostras de batata inglesa, cenoura e chuchu, cruas e submetidas a diferentes processos de cocção (mg kg^{-1}).	75
Tabela 24 – Concentração de sódio em amostras de batata inglesa, cenoura e chuchu, cruas e submetidas a diferentes processos de cocção (mg kg^{-1}).	77
Tabela 25 – Concentração de manganês em amostras de batata inglesa, cenoura e chuchu, cruas e submetidas a diferentes processos de cocção (mg kg^{-1}).	79
Tabela 26 – Pesos das variáveis das duas primeiras componentes principais obtidos das amostras de batata inglesa.	81
Tabela 27 – Pesos das variáveis das duas primeiras componentes principais obtidos das amostras de cenoura.	83
Tabela 28 – Pesos das variáveis das duas primeiras componentes principais obtidos das amostras de chuchu.	84
Tabela 29 – Pontos de penalidade (PPs) para eco-escala analítica.	87

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AAS – Atomic Absorption Spectrometry (Espectrometria de Absorção Atômica).

ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária

FAES – Flame Atomic Emission Spectrometry (Espectrometria de Emissão Atômica com Chama)

GF-AAS – Graphite Furnace - Atomic Absorption Spectrometry (Espectrometria de Absorção Atômica em Forno de Grafite)

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ICP-MS – Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry (Espectrometria de Massas com Plasma Acoplado Indutivamente)

ICP OES – Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry (Espectrometria de Emissão Óptica com Plasma Acoplado Indutivamente)

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial

LD – Limite de detecção

LQ – Limite de quantificação

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

MRC – Material de referência certificado

OMS – Organização Mundial da Saúde

NEPA – Núcleo de Estudos e Pesquisas em Alimentação

PC – Principal Component (Componente Principal)

PCA – Principal Components Analysis (Análise de Componentes Principais)

RA – Acidez Residual (do inglês, Residual Acidity)

RCC – Residual Carbon Content (teor de carbono residual)

RSD – Relative standard deviation (desvio padrão relativo)

S – Desvio padrão

SISVAN – Sistema de Vigilância Alimentar e Nutricional

TACO – Tabela Brasileira de Composição de Alimentos

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO DA LITERATURA	16
2.1 Alimentos de origem vegetal	16
2.1.1 Benefícios para a saúde	16
2.1.2 Alimentos de origem vegetal: produção e consumo	17
2.2 Influência da cocção na composição mineral dos alimentos	20
2.3 Composição, consumo e produção da batata inglesa	23
2.4 Composição, consumo e produção da cenoura	27
2.5 Composição, consumo e produção do chuchu	30
2.6 Os minerais	32
2.6.1 Preparo de amostras para quantificação de minerais	35
2.7 Quimiometria	39
3 OBJETIVOS	40
3.1 Objetivo geral	40
3.2 Objetivos específicos	41
4 MATERIAIS E MÉTODOS	41
4.1 Materiais	41
4.1.1 Limpeza do material	41
4.2 Reagentes e padrões	42
4.3 Amostras de batata inglesa, cenoura e chuchu	42
4.4 Equipamentos	43
4.5 Teste preliminar do método de digestão de batata inglesa	45
4.5.1 Planejamento e otimização do método de digestão de batata inglesa	46
4.5.2 Determinação do Carbono Residual	47
4.5.3 Determinação da acidez residual	48
4.6 Digestão das amostras de cenoura e chuchu	49
4.7 Análise Estatística	50
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	50
5.1 Planejamento e otimização do método de digestão de batata inglesa	50
5.2 Validação do método	55
5.2.1 Linearidade	55
5.2.2 Limite de detecção e quantificação	56
5.2.3 Exatidão	57

5.3 Digestão das amostras de cenoura e chuchu	59
5.4 Quantificação dos minerais nas amostras de batata inglesa, cenoura e chuchu	60
5.4.1 Chumbo.....	60
5.4.2 Alumínio	61
5.4.3 Cálcio	65
5.4.4 Cobre.....	68
5.4.5 Ferro.....	70
5.4.6 Cromo.....	72
5.4.7 Potássio.....	74
5.4.8 Sódio	76
5.4.9 Manganês.....	78
5.5 Análise exploratória dos dados empregando PCA	80
5.5.1 PCA para os diferentes métodos de cocção da amostra de batata inglesa	80
5.5.2 PCA para os diferentes métodos de cocção da amostra de cenoura.....	83
5.5.3 PCA para os diferentes métodos de cocção da amostra de chuchu	84
5.6 Eco-Escala	86
6 CONCLUSÃO	88
REFERÊNCIAS.....	90
APÊNDICE A – RESUMO SIMPLIFICADO	105

1 INTRODUÇÃO

O consumo alimentar no Brasil é uma janela para compreender a nutrição, bem como a história, cultura, tradições e o impacto da urbanização e globalização. A urbanização tem levado a mudanças no consumo alimentar devido à falta de tempo para preparar e comprar alimentos, resultando na preferência por alimentos ultra processados. Entretanto as abordagens nutricionais contemporâneas estão começando a refletir uma transformação fundamental na concepção da saúde (Costa, 2021; Biesalski, 2009).

O crescente acúmulo de conhecimento sobre os efeitos da dieta na regulação em nível genético e molecular está reformulando a perspectiva sobre o papel desempenhado pela nutrição, levando ao desenvolvimento de novas estratégias alimentares. Reconhece-se agora que a dieta não apenas fornece os nutrientes essenciais para satisfazer as demandas metabólicas do corpo, mas também possui o potencial de desempenhar um papel significativo na promoção da saúde humana (Biesalski, 2009).

Segundo o Ministério da Saúde (2016), produtos de origem vegetal têm se destacado cada vez mais no setor de alimentos e bebidas, impulsionados por argumentos que abrangem preocupações com a causa animal, prevenção de doenças e preservação ambiental. Existe uma variedade de alimentos de origem vegetal que possuem variação no seu conteúdo energético e nutricional, sendo altamente recomendados devido às suas propriedades saudáveis. O consumo de frutas, verduras e legumes exercem um papel essencial na melhoria da qualidade de vida (Slivan, 2012).

Os alimentos de origem vegetal apresentam uma riqueza em nutrientes essenciais para o bom funcionamento do organismo humano. Vegetais, frutas, verduras e legumes são fontes fundamentais de uma variedade de substâncias vitais, incluindo vitaminas, sais minerais e fibras, que desempenham papéis cruciais na manutenção da saúde e prevenção de doenças (Recine & Radaelli, 2002; Brasil 2016).

Mediante o exposto, observa-se que é de grande relevância avaliar a composição mineral dos alimentos. Existem três tipos de aplicações de análises alimentícias: controle de qualidade de rotina, que tem por objetivo checar tanto a matéria prima como o produto acabado; a fiscalização, que é utilizada para verificar o

cumprimento da legislação e, por fim; a pesquisa, que busca desenvolver ou adaptar métodos analíticos exatos, precisos, sensíveis, dentre outras características, para a determinação de analitos no alimento (Cecchi, 2003).

Diferentes categorias de métodos analíticos são utilizadas para determinar a concentração ou quantidade de substâncias desejadas. Entre essas categorias, os métodos espectrométricos têm experimentado notáveis avanços em termos de instrumentação. Técnicas como a fotometria de chama, a espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP OES) e a espectrometria de massas com plasma indutivamente acoplado (ICP-MS) têm desempenhado um papel fundamental no desenvolvimento de métodos para determinação de analitos em diferentes faixas de concentração, bem como para especiação (ICP-MS).

Em especial, a fotometria de chama tem sido empregada na quantificação de Na e K em diferentes tipos de alimentos. Estudos conduzidos por Yaghi, et al. (2021) quantificou Na e K em batatas fritas. De Abreu et al. (2023) fez uso da técnica para quantificar K em diversos tipos de alimentos dentre eles cenoura e batata inglesa. Sampaio, et al. (2023) fez uso da técnica para quantificar K em amostras de diversas hortaliças, dentre elas cenoura e batata inglesa. Além da fotometria de chama, ICP OES também tem sido bastante empregada na determinação elementar em amostras de alimentos como tomate (Bressy, 2013), tamarindo, carambola (Karasakal, 2021), cenoura, batata, pimenta, pepino (Dundar, 2017), dentre outros.

Considerando o exposto, o presente trabalho surgiu da necessidade de avaliar a composição mineral da batata, cenoura e chuchu produzidas no estado de Pernambuco, bem como avaliar a influência dos diferentes métodos de cocção, a fim de determinar os minerais Al, Ca, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Na e Pb por ICP OES e fotometria de chama, visto que há poucas metodologias para digestão de amostra de batata inglesa, cenoura e chuchu disponíveis na literatura científica até o momento.

Os alimentos vegetais, ao serem cozidos em altas temperaturas e por longos períodos, podem perder seus nutrientes. Esta pesquisa foi impulsionada pela preocupação de que uma preparação inadequada leve à perda dessas propriedades nutritivas, resultando em alimentos que apenas saciem a fome, mas não ofereçam os nutrientes essenciais à dieta humana. Diante disto, torna-se útil fornecer ao público mais informações sobre melhores métodos para preparar e cozinhar alimentos vegetais, a fim de minimizar quaisquer perdas de nutrientes.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Alimentos de origem vegetal

2.1.1 Benefícios para a saúde

Segundo o Ministério da Saúde (Brasil, 2016), ao longo da história, os alimentos de origem vegetal sempre foram destacados nas orientações dietéticas por conterem vitaminas (C e A), minerais (eletrólitos), fitoquímicos (antioxidantes) e fibra alimentar. Além disso, contêm agentes anti-inflamatórios, compostos que atuam como antioxidantes e auxiliam na redução do risco de desenvolvimento de doenças crônicas não transmissíveis (Slivan, 2019). A recomendação do Ministério da Saúde (2008) é ingerir, no mínimo, 400 g diários de frutas, legumes e verduras, o equivalente a cinco porções por dia. Essa orientação visa diminuir as chances de desenvolver câncer e prevenir enfermidades cardiovasculares e diabetes tipo II.

Estudos também comprovaram a atuação dos alimentos de origem vegetal como agentes anti-obesidade devido à presença de fitoquímicos. Esses agentes desempenham uma função de supressão no crescimento do tecido adiposo. A gordura corporal está profundamente ligada aos indicadores de estresse oxidativo e inflamação, e uma alimentação abundante em frutas e vegetais pode influenciar positivamente esses marcadores metabólicos associados à gordura corporal em mulheres com excesso de peso (Dhandevi; Jeewon, 2015).

As vantagens para a saúde proporcionada pelos vegetais não devem ser atribuídas exclusivamente a um composto isolado ou um único tipo de vegetal, mas sim a um conjunto que oferecem proteção mais eficaz contra certas doenças crônicas. Embora o mecanismo pelo qual os vegetais reduzem o risco dessas doenças seja complexo, diversos elementos presentes em cada alimento são propensos a contribuir para o benefício geral à saúde humana (Ramya, 2019).

Infelizmente, o baixo consumo de frutas, verduras e legumes é um problema mundialmente conhecido, o que acarreta em uma baixa ingestão de fibras alimentares, micronutrientes e compostos bioativos. Segundo o Ministério da Saúde (Brasil, 2022) um levantamento realizado no ano de 2017 comprovou que cerca de 11 milhões de mortes prematuras no mundo estavam relacionadas a alimentação

inadequada e ao consumo insuficiente de frutas, verduras e legumes. Embora o Brasil seja um dos grandes produtores de frutas, verduras e legumes, a população brasileira apresenta um baixo consumo destes alimentos. Dados mostraram que apenas 37,4% da população fazem ingestão adequada de frutas e 23,5% de verduras e legumes. Segundo dados de 2019 do Sistema de Vigilância de Fatores de Risco e Proteção para Doenças Crônicas por Inquérito Telefônico (Brasil, 2022), praticamente em todas as capitais estaduais, menos da metade dos adultos consome regularmente frutas, legumes e verduras em pelo menos cinco dias na semana.

2.1.2 Alimentos de origem vegetal: produção e consumo

O Brasil desempenha importante papel na garantia da segurança alimentar global, sendo o setor agropecuário um dos mais importantes e inovadores da economia brasileira. Atualmente, esse país é o terceiro maior produtor de alimentos no mundo, reunindo milhares de agricultores familiares, médios produtores e grandes empresários do agronegócio. O país contém uma vasta diversidade alimentar, que provém dos diferentes processos históricos e que também sofre influência da localização geográfica, cenário socioeconômico e agrário e da ascendência dos produtores rurais (Lopes, 2023; Oliveira, 2015).

Os alimentos de maior produção no Brasil, no ano de 2022, foram soja, milho em grão, cana-de-açúcar, café, trigo, arroz, mandioca, laranja, banana, entre outros (IBGE, 2022). Em especial, a agricultura familiar embora ocupe uma menor parcela de área produtiva, desempenha um papel muito importante na produção de alimentos e na criação de empregos no meio rural (Lima, 2021).

Na região nordeste do Brasil, é notória a presença significativa de estabelecimentos de agricultura familiar. Dados publicados em 2017 revelaram que o número de unidades atinge 1.838.846, com a região contribuindo significativamente para esse total, que soma 3.897.408 unidades em todo o país. O estado de Pernambuco possui cerca de 232.611 unidades (Sampaio, 2020).

Ainda no nordeste brasileiro, a cana-de-açúcar desponta como o principal produto agrícola, com cultivos expressivos em Alagoas, seguido por Pernambuco e Paraíba. Além disso, há um significativo destaque para o cultivo de algodão no Ceará, Paraíba e Rio Grande do Norte, assim como de soja na Bahia e Maranhão. Além do

cultivo da cana-de-açúcar, o estado de Pernambuco possui destaque no plantio da mandioca, que possui um cultivo mais expressivo na região do Agreste, entretanto é espalhado por todo o estado; logo, torna-se fundamental quando considera-se a ocupação de mão de obra (Castro, 2012; Cuenca, 2006). O estado também é produtor de feijão, cebola, melancia, tomate, manga, maracujá, goiaba, banana (Bezerra, 2015), arroz, milho, café, soja (IBGE, 2023), batata inglesa (Flori, 2000), cenoura (EMBRAPA, 2004), chuchu (Caldas Júnior, 2009) dentre outros alimentos.

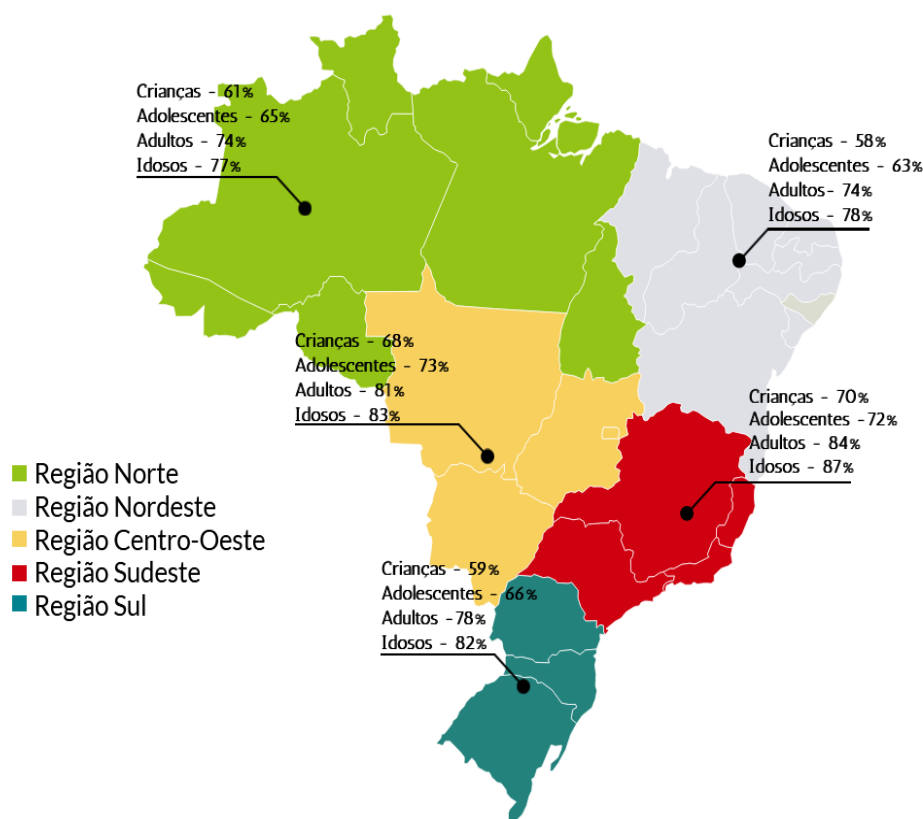
Informações sobre o consumo de alimentos de origem vegetal são registradas em portais como o Sistema de Vigilância Alimentar e Nutricional (SISVAN). Esse sistema coleta dados como consumo de verduras e legumes, monitorando o estado nutricional da população atendida em diferentes programas de saúde, como os Estabelecimentos Assistenciais de Saúde, a Estratégia Saúde da Família e o Programa de Agentes Comunitários de Saúde. Seu objetivo principal é avaliar e acompanhar o estado nutricional e alimentar de pessoas atendidas pelo Sistema Único de Saúde (SUS), abrangendo todas as faixas etárias, desde crianças até gestantes, independentemente de características como sexo, raça/cor ou escolaridade (SISVAN, 2024; SISVAN, 2017).

A coleta de informações através do SISVAN é conduzida por intermédio de formulários de registros de ingestão alimentar. As fichas destinadas à avaliação dos registros de consumo alimentar propõem a análise dos alimentos ingeridos no dia precedente. As perguntas possibilitam que qualquer membro da equipe de Atenção Básica faça uma avaliação contínua dos registros e sugira práticas alimentares apropriadas e saudáveis. Para auxiliar na avaliação em grupo, são empregados indicadores. O indicador para o consumo de verduras e legumes é calculado levando em consideração a razão Número de indivíduos que consumiram vegetais / Número total de indivíduos avaliados (Brasil, 2015).

Os dados coletados pelo SISVAN revelam padrões interessantes no consumo de verduras e legumes em diferentes regiões do Brasil, conforme ilustrado no mapa apresentado na Figura 1. Uma análise detalhada dos índices de consumo nessas localidades sugere uma tendência consistente independente da região, a população idosa é apontada como a maior consumidora desse grupo de alimentos. Esse comportamento uniforme pode indicar preferências alimentares consolidadas ou mesmo influências socioeconômicas e culturais comuns que impactam as escolhas alimentares dos idosos em todo o país. Por outro lado, é evidente que as crianças, em

todas as regiões, estão entre os grupos com menor taxa de consumo de verduras e legumes. Essa tendência pode estar relacionada a uma variedade de fatores, como preferências alimentares em desenvolvimento, influências familiares ou acesso limitado a esses alimentos.

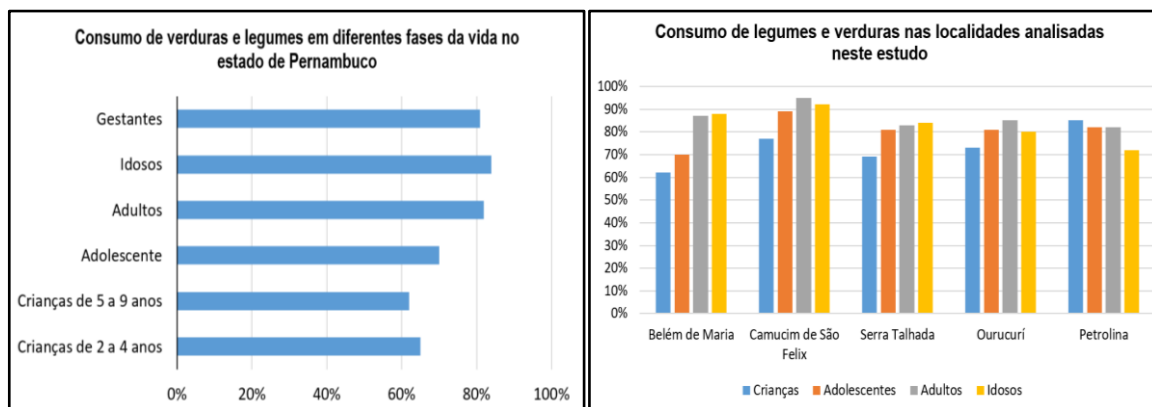
Figura 1 – Mapa do consumo de verduras e legumes em diferentes regiões do Brasil.



Fonte: SISVAN, 2022.

Em relação ao estado de Pernambuco, os dados revelam uma tendência concordante com o resto do país: os idosos lideram o consumo (84 %), seguidos pelos adultos (82 %), gestantes (81 %), adolescentes (70 %) e, por fim, crianças de 2 a 4 anos (65 %) e de 5 a 9 anos (62 %) (Figura 2). Além disso, foram coletados dados específicos sobre o consumo de verduras e legumes em algumas cidades estudadas no presente trabalho. Em Belém de Maria, Camocim de São Felix e Serra Talhada, destaca-se o consumo mais expressivo entre idosos e adultos. Por outro lado, em Ouricuri, o consumo é predominante entre os adultos (85 %), enquanto em Petrolina são as crianças que consomem verduras e legumes em maior quantidade (85 %).

Figura 2 – Consumo de verduras e legumes no estado de Pernambuco e em algumas das cidades: Belém de Maria, Camucim de São Félix, Serra Talhada, Ouricuri e Petrolina.



Fonte: SISVAN, 2022.

Em relação aos adolescentes, um estudo que investigou o padrão de consumo de frutas, sucos naturais e verduras/hortaliças entre adolescentes em várias regiões de Pernambuco revelou uma associação significativa entre a localização geográfica e os hábitos alimentares desses jovens. Constatou-se que os adolescentes que vivem na região do semiárido apresentaram uma menor probabilidade de apresentar baixo consumo de frutas, verduras e hortaliças, bem como uma menor probabilidade de adotar condutas alimentares de risco, em comparação com seus pares que residem na região metropolitana de Recife. Esse panorama demonstrou a real necessidade de estratégias direcionadas para incentivar um maior consumo de vegetais, especialmente entre as faixas etárias mais jovens e residentes em centros urbanos, visando promover uma alimentação mais equilibrada e saudável em todo o país e, em específico, em Pernambuco (Martins, 2020).

2.2 Influência da cocção na composição mineral dos alimentos

Desde meados do século XX, houve uma diminuição no hábito de cozinhar em casa em vários países. No entanto, o aumento das taxas de obesidade trouxe um foco renovado à culinária caseira. Com a crescente adoção de dietas baseadas em alimentos vegetais, muitos consumidores estão agora preparando vegetais, como legumes, batatas e leguminosas com maior frequência (Dimple, 2023). Nesse contexto, vem sendo estudado o impacto que diferentes métodos de preparo caseiro, especialmente a cocção, têm sobre a variedade de nutrientes presentes em diferentes

tipos de alimentos (Fabbri, 2016; Formaggio et al., 2020; Coe, 2022; Sobral et al., 2018; Kaushik et al., 2010; Hao et al., 2019).

É válido ressaltar que métodos inadequados de cozimento podem prejudicar a qualidade dos vegetais, afetando sabor, cor, textura e nutrientes como vitaminas, minerais e antioxidantes. A extensão dessa perda varia conforme o tipo de vegetal, os métodos de preparação, os materiais utilizados na culinária e a habilidade do cozinheiro. Logo, torna-se essencial aplicar técnicas adequadas para preservar os nutrientes e as características sensoriais dos alimentos durante o preparo (Gelaye, 2023).

Considerando a relevância de compreender os efeitos do cozimento na composição dos alimentos, diversos estudos procuraram investigar se há perda ou ganho na composição mineral conforme os diferentes métodos de preparo. Daiuto et al. (2015) realizaram estudos visando verificar o método de cozimento mais adequado (vapor, imersão ou micro-ondas) para o preparo de abóbora, brócolis, cenoura e couve-flor. Os pesquisadores quantificaram os minerais (Ca, Fe, K, Mg, P e Zn). Com os diferentes processos de cocção observou-se que houve perda dos minerais, entretanto, o método de cozimento realizado à vapor e em micro-ondas resultaram nas menores perdas de minerais.

Outro estudo buscou avaliar a influência da cocção na concentração de Na e K em amostras de abobrinha, brócolis e cenoura. Foi realizado um desenho experimental com delineamento 3x4, que correspondeu a 3 vegetais e 4 métodos de cocção, sendo eles: imersão, vapor, micro-ondas seco e vapor micro-ondas, com triplicata para cada método de cocção. Os resultados mostraram que a cocção realizada com a imersão das amostras levou a perda de Na e K, enquanto que os processos envolvendo forno micro-ondas resultaram em menores perdas (Nascimento, 2016).

Ikanone & Oyekan (2014) investigaram os efeitos da fervura e fritura no conteúdo total de carboidratos, vitamina C e minerais em amostras de batata inglesa e batata doce. Este estudo se propôs a compreender como diferentes métodos de preparo afetam a composição nutricional desses alimentos populares. Os minerais quantificados foram: Ca, Cu, Fe, Mg, Na e Zn. Os pesquisadores relataram que a composição da batata inglesa e doce cozidas eram diferentes da forma crua. Além disso, observaram que, com a fervura, não houve perdas de Fe e Cu, enquanto, na fritura Ca, Mg, Na e Zn apresentaram as menores perdas, em ambas as amostras.

Amostras de milho, trigo, grão de bico, arroz, ovo, batata, tomate, espinafre, pimentão e diferentes produtos lácteos também foram estudadas. As amostras passaram por diferentes métodos de cocção sendo eles: assar, ferver, cozinhar no vapor, cozinhar no micro-ondas e cozinhar sob pressão. Os extratos aquosos das amostras foram analisados para diferentes conteúdos de nutrientes (vitaminas, proteínas, etc.). Os resultados mostraram que existe uma menor perda de proteína fervendo os alimentos, enquanto que para a vitamina C a perda é maior na fervura e menor no cozimento por micro-ondas (Tyagi; Kharkwal, 2015).

Um estudo investigou o impacto do processo de cocção convencional na composição nutricional de amostras de batata inglesa e inhame. Os minerais analisados incluíram Ca, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, P e Zn. Os resultados revelaram uma redução significativa nos teores de Cu, Fe, K, Mg, Na e Zn e diminuição de Ca e P para a amostra de batata inglesa (Lewu; Adebola; Afolayan, 2010).

Narwojsz et al. (2020) realizaram um estudo com amostras de batata inglesa. Os minerais quantificados foram: Ca, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, P e Zn. Os métodos de cocção avaliados foram: ebulição, cozinhar no vapor (panela de aço), cozinhar no vapor (forno combinado), no micro-ondas e grelhar. Os vários métodos de tratamento térmico aplicados no estudo resultaram em mudanças na concentração de compostos minerais. Geralmente, as maiores perdas foram observadas para K, Mn e Zn. Por outro lado, para Ca, Cu, Fe e P, foram observadas maiores concentrações em comparação com as amostras cruas.

Pereira et al. (2017) desenvolveram um catálogo de fatores de cocção, evidenciando os ganhos e perdas de peso dos alimentos durante o processo de cozimento. Para isso, utilizaram diversas técnicas, como calor úmido (ebulição e vapor) e calor seco (assar, fritar e grelhar). Diversos alimentos foram estudados, incluindo arroz, ervilha, batata inglesa, cenoura, chuchu, beterraba, cará, inhame, batata doce, quiabo, repolho, entre outros. Notou-se que o chuchu e a batata inglesa apresentaram fatores de cocção <1 , indicando redução de peso, enquanto a cenoura, quando cozida em ebulição, aumentou de peso e no vapor apresentou redução

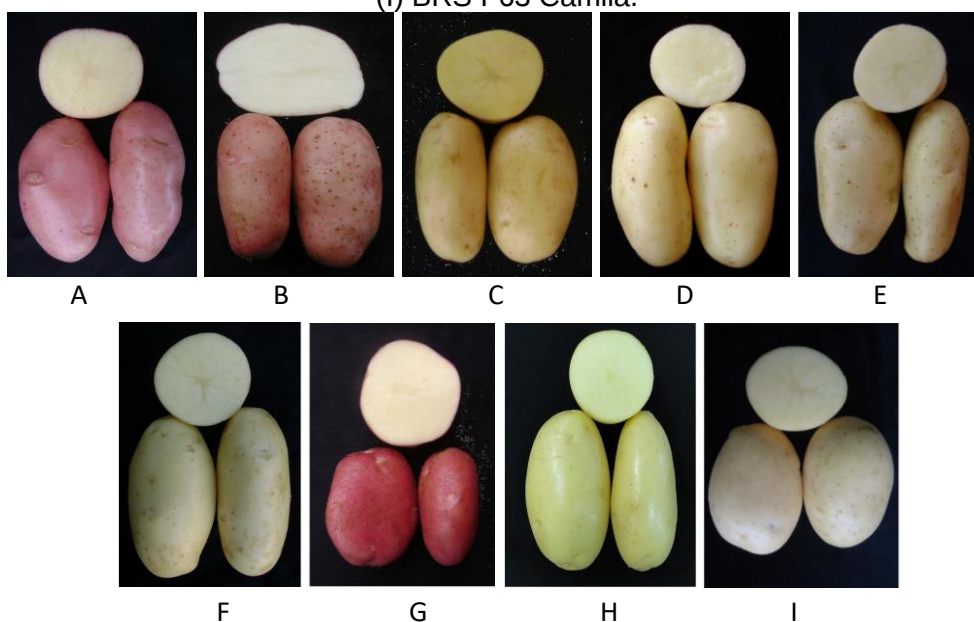
Onyeka e Ibeawuchi (2021) realizaram uma pesquisa mais detalhada dos efeitos da cocção, pois também foi estudado a influência da panela utilizada. No estudo, seis tipos de panelas com cinco alimentos diferentes foram utilizados para investigar a influência das panelas nos macro e micronutrientes em amostras de inhame, arroz, carne bovina, tomate e feijão-caupi. A análise mostrou que a panela

fornada em titânio oferecia a melhor proteção (retenção) de micronutrientes, enquanto a panela de alumínio oferecia a menor proteção, independentemente da amostra de alimento cozida. Na cocção usando panela de titânio é necessário menos água isso certamente viabiliza uma menor lixiviação dos nutrientes. De maneira geral a pesquisa evidenciou que a panela pode ter impacto na perda de nutrientes dos alimentos, uma vez que o consumo constante de alimentos cozidos em algumas panelas pode levar a desnutrição.

2.3 Composição, consumo e produção da batata inglesa

A batata (*Solanum Tuberosum L.*), que também é conhecida como batatinha ou batata inglesa, é consumida há mais de oito mil anos, sendo originária da Cordilheira dos Andes (América Latina). Ela chegou na Europa em meados de 1570, onde tornou-se um alimento muito importante, em especial na Inglaterra, e desse fato vem o surgimento do nome batata inglesa. Em meados de 1620 chegou na América do Norte, onde também se tornou um alimento bastante popular (EMBRAPA, 2015). No Brasil, a batata chegou no final do século XIX, na região Sul do país, onde há condições favoráveis para a produção da cultura. Atualmente, existem aproximadamente 4.500 variedades de batata inglesa cultivadas, e a Figura 3 trás as principais cultivares desenvolvidos (Earle, 2019).

Figura 3 – Principais Cultivares de Batata-Inglesa: (A) Baronesa; (B) BRS Ana; (C) BRS Eliza; (D) Cristal; (E) EPAGRI 361- Catucha; (F) BRS Clara; (G) Macaca; (H) BRSIPR Bel.; (I) BRS F63 Camila.



Fonte: EMBRAPA, 2023.

Este tubérculo é bastante consumido pelo mundo e ocupa a quarta posição de culturas alimentares mais importantes do mundo em relação ao volume de produção, seguido do trigo, arroz e milho. A China é considerada o maior produtor, enquanto que os principais consumidores são os bielorrussos, cujo consumo é de aproximadamente 189 kg por pessoa ao longo de um ano. O Brasil ocupa o 20º lugar neste ranking, com produção total de $3,6 \times 10^6$ t (Earle, 2019; FAOSTAT, 2018; IBGE, 2018). Anualmente, 376 milhões de toneladas de batata inglesa são cultivadas globalmente (Keringingo, 2022).

No ano de 2020, o Brasil foi responsável pela produção de 3,7 milhões de toneladas de batata inglesa, com área de plantação estimada em 117.263 ha, tendo o rendimento de 32.134 kg/ha (IBGE, 2022). A Tabela 1 apresenta dados sobre área plantada e produção de batata inglesa no Brasil.

Tabela 1 - Evolução da produção e plantio de batata inglesa no Brasil entre 2010-2020.

Ano	Área Plantada (Hectares)	Quantidade Produzida (Toneladas)
2010	145.682	3.547.510
2011	149.292	3.917.234
2012	136.019	3.731.798
2013	128.118	3.553.772
2014	132.077	3.689.836
2015	131.943	3.867.681
2016	129.953	3.851.396
2017	118.176	3.655.069
2018	120.43	3.728.953
2019	116.97	3.711.744
2020	117.263	3.767.769

Fonte: IBGE (2022), adaptado por Amaral (2023).

A batata inglesa é essencialmente composta por uma proporção de 80% de água e 20% de matéria sólida. Dentro dessa matéria sólida, aproximadamente de 60% a 80% corresponde ao amido, fazendo dela uma excelente fonte de carboidratos, ao mesmo tempo que possui um baixo teor de gordura. Além disso, contém fibras dietéticas, vitaminas e uma ampla gama de compostos benéficos para a saúde, como fitonutrientes com propriedades antioxidantes. Ela também é uma fonte de proteínas,

incluindo a patatina, que exerce ação contra os radicais livres e possui macro e microminerais (Raigond et al., 2020).

É importante destacar que o valor nutricional da batata pode variar dependendo dos acompanhamentos e dos métodos de preparo utilizados. Dado que o amido presente na batata não é prontamente digerível, as batatas geralmente são submetidas a algum processo de cozimento antes do consumo. Seja cozinhando, assando ou usando outros métodos culinários, esses processos de preparo afetam a composição da batata de maneiras diversas (Raigond et al., 2020). Devido a isso, alguns pesquisadores têm se dedicado a examinar a composição mineral da batata crua, bem como o impacto de diferentes métodos de cocção.

Esposito et al. (2015) conduziram um estudo para avaliar a concentração de cádmio e chumbo em 750 amostras de vegetais, incluindo a batata inglesa. A investigação partiu da necessidade de avaliar os riscos aos quais os consumidores estão expostos devido às práticas ilegais de queima de resíduos e seu descarte em terras agrícolas na região de Câmpania, no sudoeste da Itália. A mineralização das amostras foi feita por meio de um forno micro-ondas usando ácido nítrico (HNO_3) (67 a 69%) e peróxido de oxigênio (H_2O_2) (30%). As amostras foram digeridas sob pressão por 10 min a 190 °C, para a determinação de oligoelementos por meio de um espectrômetro de absorção atômica com forno de grafite (GF-AAS). Os resultados mostraram que as amostras continham um nível de contaminação muito pequeno devido à presença de cádmio e chumbo.

Dobosy et al. (2020) investigaram a acumulação de iodo por batata inglesa e cenoura cultivadas em diferentes solos utilizando água de irrigação contendo iodo nas concentrações de 0,1 e 0,5 mg L⁻¹. O processo de mineralização da amostra foi realizado em um sistema de digestão assistido por radiação micro-ondas foram usados HNO_3 67% e H_2O_2 30%. Os resultados obtidos mostraram que a concentração de iodo nos tubérculos de batata não aumentou significativamente com a biofortificação, entretanto, a cenoura, independente das propriedades do solo, apresentou um potencial de acumulação maior que o da batata.

Sim et al. (2023) realizaram uma análise dos aspectos físico-químicos de três variedades de batata, cultivadas por períodos distintos de 80, 90 e 100 dias. Como pré-tratamento das amostras foi realizada a mineralização com HNO_3 usando um sistema de digestão assistido por radiação micro-ondas. O teor de K e P foram determinados por ICP OES. Os resultados obtidos mostraram que a concentração

média, das três variedades de batatas, para o K foi de $2403 \pm 84 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$ sendo maior que a de P de $294 \pm 26 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$. Entretanto, não foi observado diferença significativa entre as três variedades, mas o período de cultivo necessário para cada cultivar atingir seu valor máximo no teor de mineral foi diferente.

Liang et al. (2023) realizaram um estudo abrangente sobre batata inglesa na condição crua e cozida, onde foram avaliados componentes nutricionais e propriedades sensoriais de dez tipos de batatas da província de Xinjiang, na China. Os componentes determinados foram proteínas, açúcar redutor, amido, fibra dietética, gordura bruta, Ca, Fe, K, P e vitaminas C, B1, B2, B3 e B6. O procedimento adotado no preparo das amostras para a determinação de Ca, Fe, K e P foi o seguinte: a amostra, juntamente com uma mistura de HNO_3 65% (v/v) e H_2O_2 30% (v/v) foi digerida usando um sistema de digestão por radiação micro-ondas. Posteriormente, as amostras foram analisadas por ICP-MS.

No estudo de Liang et al. (2023), foram obtidos resultados bastante interessantes, sendo observada a existência de relação entre a concentração de alguns minerais com a cor e estado de amolecimento das amostras. Os pesquisadores observaram que batatas cozidas que possuíam uma maior concentração de cálcio e menor teor de proteína ficaram mais escuras e menos amarelas. Possivelmente, isto ocorreu devido a reação do cálcio com ácido clorogênico, que pode levar a formação de compostos estáveis que fazem com que os tubérculos fiquem pretos. Já os minerais ferro e fósforo tiveram relação significativamente negativa com o amolecimento, enquanto que as fibras dietéticas uma relação positiva, chegando-se à conclusão de que as cultivares de batata com maior fibra dietética e menores teores de ferro e fósforo amoleceram mais após o cozimento. Esses são alguns dos trabalhos envolvendo o estudo da composição mineral da batata, e outros estudos estão listados na Tabela 2.

Tabela 2 – Revisão da literatura com trabalhos que avaliaram a composição mineral da batata crua e/ou cozida.

Amostra	Origem das amostras	Preparo da amostra	Elementos determinados	Técnica de quantificação	Referência
Batata inglesa	Provo e Orem, Utah, EUA	MW: 0,0001 g de amostra e 3,0 mL de HNO_3 15,7 mol L^{-1}	Ca, Cu, Fe, K, Mg, Na e Zn	ICP OES	Griffiths et al., 2012.

Batata inglesa	Reino Unido	MW: 200 mg de amostra, 5 mL de HNO ₃ 65% e 1 mL de H ₂ O ₂ 30%	N, P, K, S, Ca e Mg	ICP OES	Palmer. et al., 2013.
Batata inglesa	-	MW: 0,2000 g de amostra, 2 mL de HNO ₃ 65% e 1 mL de H ₂ O ₂ 30%	Cd	ICP-MS	Chen, et al., 2014.
Batata inglesa, e grãos de milho	Norte do Kosovo e sul da Sérvia	MW: 0,5 g de amostra, 7 mL de HNO ₃ 65% e 1 mL H ₂ O ₂ 30%	As	ICP OES	Barac et al., 2015.
Batata inglesa	Espanha	MW: 8 mL de HNO ₃ 69% e 2 mL de H ₂ O ₂ 30%	Zn	ICP OES	Vera et al., 2018.
Batata inglesa	-	MW: 1 g de tubérculo homogeneizado ou 0,1 g de pó de folha, caule ou raiz seca, 1 mL de H ₂ O, 1 mL HNO ₃ 69%, e 0,5 mL de H ₂ O ₂ 30%	Cd	ICP-MS	Mengist et al., 2018.
Batata inglesa	China	MW: 250 mg de amostra, 8 mL de HNO ₃ 65% e após 1 hora, 2 mL H ₂ O ₂ 30% foram adicionados.	Na, K, Mg, Ca, Fe, Mn, Cu e P	ICP-MS	Jaggan; Mu; Sun, 2020.
Batata inglesa	África	MW: 0,4 g de amostra, 75 mL de HNO ₃ 70% e 30 mL de H ₂ O ₂	Fe, K, Na e Zn	ICP OES	Thopola, 2020

ICP OES - Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry (Espectrometria de Emissão Óptica com Plasma Acoplado Indutivamente); ICP-MS - Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (Espectrometria de Massas com Plasma Acoplado Indutivamente). MW - digestão assistida por radiação micro-ondas.

Fonte: A autora, 2024.

2.4 Composição, consumo e produção da cenoura

A cenoura (*Daucus carota*) é uma raiz tuberosa amplamente consumida em todo o mundo e possui uma longa história, remontando aos tempos antigos. Sua origem pode ser rastreada até o sudoeste da Ásia, especificamente na região do Afeganistão. A partir de uma subespécie natural da cenoura selvagem, conhecida como *Daucus carota* subsp. *sativus*, ao longo de séculos, foram realizadas cuidadosas seleções para atenuar o amargor, realçar a doçura e reduzir a presença do núcleo lenhoso. Inicialmente, no estado selvagem, esta raiz era diminuta e amarga, com um

apelo alimentar limitado. Contudo, devido a anos de cultivo e intervenção humana, auxiliados pela natureza, a cenoura se transformou em um vegetal extraordinariamente versátil, apresentando uma variedade de cores, formas e tamanhos (Stolarczyk; Janick, 2011; Char, 2017).

Se tratando de valor nutricional, a cenoura está entre as hortaliças mais importantes no mundo (Ahmad et al., 2019; Dawid, et al., 2015). É uma valiosa fonte de minerais essenciais, fundamentais para as funções metabólicas do corpo humano, como Ca, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, P e Zn. A distribuição desses nutrientes pode variar de acordo com a variedade da cenoura e as condições de cultivo (Sharma, 2012). Além disso, a cenoura também contém carboidratos, proteínas e fibras. Estudos sobre a qualidade nutricional de suplementos alimentares à base de cenoura em pó mostraram que são uma excelente fonte de proteína bruta, fibra bruta, ferro, cálcio e fibra dietética (Singh; Kulshrestha, 2008).

A cenoura é uma das hortaliças mais significativas em termos de cultivo global, abrangendo uma área de aproximadamente 1,1 milhão de hectares e alcançando uma produção de cerca de 37 milhões de toneladas. No Brasil, ocupa uma posição de destaque entre as cinco principais hortaliças cultivadas, abrangendo mais de 20 mil hectares de área e uma produção anual superior a 700 mil toneladas. As regiões mais proeminentes na produção de cenouras no país incluem São Gotardo-MG, a microrregião de Irecê-BA, Cristalina-GO, Marilândia do Sul-PR e Caxias do Sul-RS, que combinadas abrangem quase 16 mil hectares, conforme informações do Anuário Brasileiro de Hortaliças de 2017 (EMBRAPA, 2021).

A cenoura é uma hortaliça particularmente suscetível às flutuações climáticas, com ênfase na temperatura. A temperatura exerce um impacto direto sobre o processo de germinação, ocorrendo de forma ideal em uma faixa de temperatura entre 20 °C e 30 °C, normalmente dentro de um período de 7 a 10 dias após o plantio. Além disso, as cenouras prosperam em solos de textura média, que sejam profundos e bem drenados, enriquecidos com matéria orgânica e com pH próximo a 6,0. No entanto, é interessante notar que a maioria das regiões de produção de cenoura atualmente se encontra no cerrado brasileiro, onde os solos tendem a ser naturalmente ácidos e com baixa fertilidade (EMBRAPA, 2021).

No mercado brasileiro, os consumidores têm uma preferência clara por cenouras que atendam a determinados critérios de qualidade. Idealmente, as cenouras devem ter superfície lisa, desprovidas de raízes laterais ou secundárias, e

devem exibir uniformidade em relação ao comprimento e diâmetro. As medidas preferidas são tipicamente um comprimento que varia de 15 cm a 20 cm e um diâmetro entre 3 cm e 4 cm. A coloração desejada é um tom de laranja intenso, sem qualquer presença de pigmentação verde ou roxa na parte superior, conhecida como ombro, das raízes (EMBRAPA 1999).

Como resultado, praticamente todas as variedades de cenouras registradas junto ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) seguem esse padrão comercial estabelecido. Existem aproximadamente 300 cultivares de cenouras registradas junto ao MAPA, e a maioria delas foi desenvolvida para atender a essas especificidades do consumidor brasileiro (EMBRAPA, 2021). Na Figura 4 são mostrados alguns grupos de cenouras cultivadas no Brasil.

Figura 4 – Raízes de cenouras do grupo Brasília (A), Nantes (B) e Kuroda (C).



Fonte: EMBRAPA, 2021.

A cenoura é um tesouro nutricional pois oferece diversos benefícios à saúde. Ajuda a fortalecer o sistema imunológico e contribui para a cicatrização de feridas, graças à sua riqueza em nutrientes essenciais. Possui propriedades que beneficiam o coração e o fígado, sendo uma aliada na redução do colesterol e na proteção hepática. Sua ação antibacteriana, antifúngica e capacidade antienvhecimento a tornam um ingrediente valioso para a saúde da pele e na prevenção de infecções. Os nutrientes presentes na cenoura também têm impacto na fertilidade e oferecem efeitos analgésicos e anti-inflamatórios, ajudando na redução de dores e inflamações (Varshney, 2022).

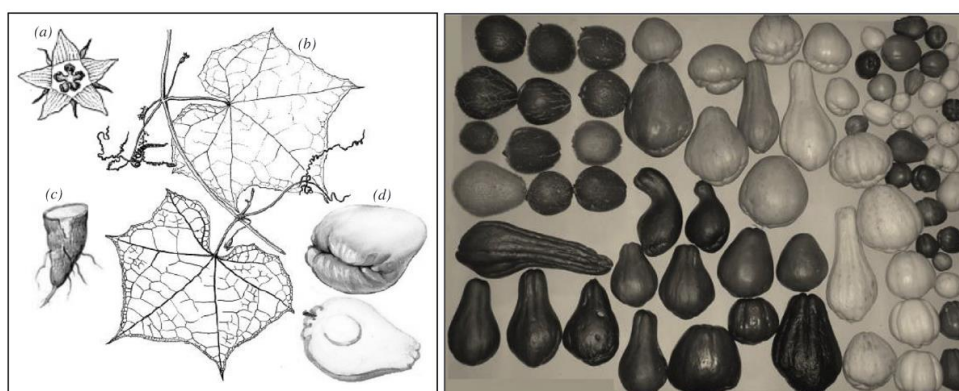
Devido à riqueza de nutrientes, alguns métodos analíticos foram desenvolvidos para a análise da composição da cenoura. Wang et al. (2014) usaram a técnica de ICP-MS para determinar cádmio em diferentes alimentos, incluindo a cenoura. O processo de digestão envolveu o uso de reagentes digestores e forno micro-ondas,

utilizando 0,5 g de amostra, 12 mL de HNO_3 (65%) e 4 mL de H_2O_2 . Martorell et al. (2011) também utilizaram ICP-MS para analisar As, Cd, Hg e Pb em cenoura e outras amostras alimentícias. O processo de digestão envolveu o uso de forno micro-ondas, utilizando 0,10 g de amostra, 3 mL de HNO_3 (65%), 3 mL de H_2O_2 (30%) e 2 mL de água ultrapura. Pereira et al. (2024) fizeram uso de forno de micro-ondas e solução de HNO_3 (65%) PA para digerir amostras de cenoura e tomate visando a quantificação de As e Se.

2.5 Composição, consumo e produção do chuchu

O chuchu (*Sechium edule* Swartz) (Figura 5) é um fruto conhecido há séculos e, atualmente, está entre as 10 hortaliças mais consumidas no Brasil devido ao seu potencial nutritivo e sabor suave (Alvares, 2021). Faz parte da família Curcubitaceae, a qual também pertencem o maxixe, melão, pepino, dentre outros. Provém de uma planta herbácea de ramas bastante longas, originária da América Central e do México, onde continua sendo considerada um alimento básico e também é utilizado para fins medicinais. Nestes países, a planta é consumida por completo (das raízes às folhas), enquanto que no Brasil comumente consome-se apenas o fruto (Lopes, 1994; Alvares, 2021). Comumente é consumido após diferentes métodos de preparo, podendo ser fervido, assado, recheado, amassado, frito, recortado, em conserva etc, ou como verdura no preparo de sopas (Alvares, 2021; Mashine, 2023). Na Figura 5 (A) é possível observar a morforlogia do chuchu e Figura 5 (B) a variabilidade de chuchus existente.

Figura 5 – Morfologia do chuchu e seus diversos tipos. (A) à esquerda, representação da planta de chuchu exibindo (a) flores estaminadas, (b) folhas, (c) raízes e (d) frutos. (B) ilustração à direita mostra a variabilidade de chuchus cultivados, disponíveis no mercado global.



(A)

(B)

Fonte: Vieira, 2019.

A composição nutricional do chuchu é altamente influenciada por uma série de fatores, como variações climáticas, região geográfica, métodos de cultivo, estágio de desenvolvimento da planta e, até mesmo, os processos pelos quais passa desde a colheita até o consumo. Embora o fruto maduro, de coloração verde, seja a parte mais comum do chuchu, utilizada na alimentação, os frutos em estágio de imaturidade, as folhas jovens, os brotos e as raízes tuberosas também são consumidos em várias práticas culinárias, oferecendo uma fonte significativa de nutrientes essenciais. Dessa maneira, a variedade de partes comestíveis do chuchu não apenas amplia sua versatilidade na alimentação, mas também oferece uma gama diversificada de nutrientes, contribuindo para a saúde e nutrição (Vieira, 2019).

O fruto, com sua elevada composição de água, destaca-se por ser uma fonte rica em fibras e nutrientes essenciais. Apesar de 95% de sua estrutura ser composta por água, o chuchu contém vitaminas, como a A, B1 e C, além de minerais fundamentais, como K, Fe, Mg e P. É notável também por seu baixo teor calórico, facilitando sua inclusão em dietas, e pela facilidade de digestão que oferece. Além disso, sua composição inclui lipídios, proteínas e carboidratos, complementando seu valor nutricional de maneira abrangente e equilibrada (Marouelli, 2013; Silva, 2022).

O chuchu continua ganhando destaque como um importante alimento no Brasil, o principal produtor mundial dessa hortaliça. O país possui uma produção anual expressiva de 271.344 toneladas, com o Espírito Santo liderando a produção, alcançando 49.972 toneladas (Santos & Barros, 2022). Essa produção representa um valor total superior a R\$ 133 milhões.

O plantio de chuchu é próspero porque possui facilidade de adaptação em diferentes condições climáticas. Uma prática bastante comum é plantar o chuchu ao longo de cercas, por cima de arbustos e, até mesmo, em árvores. Para uma boa colheita, recomenda-se uma temperatura entre 13–21 °C, uma vez que temperaturas inferiores a 13 °C prejudicam os frutos, enquanto aquelas acima de 28 °C favorecem o crescimento excessivo e a queda de flores e frutos imaturos (EMBRAPA, 1994).

As características organolépticas do chuchu têm despertado interesse na fabricação de produtos processados, tendo os mercados de alimentos e bebidas como campos promissores. Atualmente, sabe-se do potencial efeito do chuchu como inibidor

da glucosidase, que contribui para prevenir o desenvolvimento de diabetes mellitus tipo 2. Um estudo também relatou a atuação do chuchu na redução do peso corporal, do tecido adiposo e na regulação do conteúdo lipídico hepático.

O chuchu possui também propriedades antioxidantes, sendo capaz de proteger o corpo humano dos radicais livres e retardar o desenvolvimento de doenças crônicas. Estudiosos também desenvolveram ampla aplicação do chuchu nas indústrias cosmética e de higiene, em desenvolvimento de produtos como hidratantes, produtos de limpeza, protetor solar, dentre outros. O fruto também é consumido com o objetivo de controlar a pressão arterial (Vieira, 2019; Pu, 2021; Nunes, 2015).

Alguns métodos analíticos foram desenvolvidos para avaliar a composição mineral do chuchu. Hidalgo et al. (2016) propuseram um método de digestão para a quantificação de elementos como Al, As, Ba, Ca, Cd, Co, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Pb, Sr e Zn. O procedimento envolveu o uso de um forno de micro-ondas para digestão de 500 mg da amostra com 5 mL de HNO_3 (65%) e 2 mL de H_2O_2 (30%).

Santos et al. (2002) também analisaram amostras de chuchu. Para a determinação de Ra e Pb, utilizaram um forno de micro-ondas, pesaram 10 g de amostra de cinza, que foram digeridas com HNO_3 e HCl e co-precipitaram como Ba(Ra,Pb)SO_4 adicionando H_2SO_4 e BaCl_2 . Para a determinação de Th e U, 0,2 g da cinza da amostra foi dissolvida com HNO_3 (65%) no forno de micro-ondas. Após 72 horas de digestão, as amostras foram diluídas (1:20) com água.

2.6 Os minerais

Segundo a Organização Mundial de Saúde, o corpo humano necessita de micronutrientes como vitaminas e minerais (OMS, 2023). Os micronutrientes desempenham um papel crucial com duas principais funções. Primeiramente, atuam como componentes essenciais no metabolismo intermediário, agindo como co-fatores ou integrando enzimas vitais. Em segundo lugar, esses micronutrientes desempenham um papel no sistema de combate aos radicais livres. Nas condições de doença, onde o metabolismo oxidativo está em alta, danos nos ácidos graxos das membranas celulares são comuns. Os micronutrientes agem como defensores contra essas lesões oxidativas, atuando como eliminadores de radicais livres e protegendo os tecidos contra danos (Leite, 2005).

Especialmente, os minerais, objeto de estudo deste trabalho, em conjunto com as vitaminas, desempenham funções importantes no organismo humano. Dado que não são produzidos pelo corpo, é fundamental obter esses minerais por meio de alimentos e suplementos para garantir uma ingestão adequada. Uma vez absorvidos, os minerais não permanecem estáticos, mas são distribuídos pelo corpo e, eventualmente, eliminados através da excreção (Tsuji, 2016; Brasil, 2008).

Os minerais desempenham funções vitais no corpo humano, desde a regulação de processos enzimáticos e a manutenção do equilíbrio osmótico e ácido-base, até a facilitação da transferência de substâncias pelas membranas celulares, além de contribuírem para estímulos nervosos e musculares. Os minerais Ca, K, Mg e Na estão entre os minerais mais estudados quanto ao seu potencial efeito sobre a pressão arterial. O K e Na desempenham papéis essenciais na regulação dos fluidos dentro e fora das células, influenciando a pressão sanguínea. O sal de cozinha, composto principalmente por cloreto de sódio, constitui a principal fonte de sódio, representando cerca de 40% desse mineral (Brasil, 2008).

Os minerais podem ser encontrados na forma iônica ou como constituintes de compostos como enzimas, hormônios e proteínas estruturais, trabalhando em conjunto de maneira coordenada para garantir funções específicas e essenciais (Cardoso; Magro, 2021). As fontes primárias de minerais para o corpo são os alimentos naturais, tanto de origem vegetal quanto animal. Esses alimentos fornecem minerais na forma de complexos orgânicos naturais prontamente utilizados pelo organismo.

Nos complexos, os minerais estão envolvidos pelos aminoácidos, formando uma estrutura onde o mineral fica no centro, impedindo sua reação com outras substâncias. Trata-se de um fenômeno natural no qual os elementos minerais inorgânicos são transformados em formas orgânicas que podem ser facilmente absorvidas no trato digestivo, sendo então transportados para a corrente sanguínea. Nessa configuração, minerais como ferro, cálcio, magnésio, entre outros, estão ligados a aminoácidos provenientes da digestão de proteínas (Brasil, 2008; Siddiq, 2018).

O corpo humano, durante os processos metabólicos, requer diferentes nutrientes. Dentre eles, cerca de 23 elementos minerais que se dividem em dois grupos, os macrominerais e os microminerais, sendo os primeiros aqueles presentes em maiores proporções nos tecidos do corpo, levando a maiores quantidades na dieta,

com necessidade diária igual ou superior a 100 mg. Os macrominerais incluem Ca, K, Mg, Na, P e S (Tsuji, P. A., 2016; De La Guardia, 2015; Siddiq, 2018).

Os microminerais são igualmente essenciais para a dieta humana, embora requeridos em quantidades menores, com necessidades diárias geralmente abaixo de 100 mg. Existe também um terceiro grupo, o dos oligoelementos que possuem uma necessidade diária inferior a 18 mg. Os oligoelementos, como Co, Cr, Cu, Fe, I, Mn, Mo, Se e Zn também são nutrientes inorgânicos essenciais (Leite, 2005; Blake, 2008; Prashanth et al. 2015). As principais funções e modos específicos de ação dos macrominerais e microminerais são apresentados na Tabela 3, entretanto, nem todos possuem requisitos definidos ou funções claras.

Tabela 3 – Minerais e suas diversas funções no corpo humano.

Minerais	Funções Metabólicas	Modos de ação bioquímicos	Onde encontrar
Cálcio ^b	Componente dos ossos e dentes. Envolvido na coagulação sanguínea e comunicação intracelular	Excitabilidade e contratilidade de músculos estriados por transmissão de condução nervosa	Leite e derivados, sardinha e mariscos
Cromo ^a	Metabolismo de carboidratos, ajuda a manter níveis normais de glicose no sangue	Potencializa a ação da insulina e metabolismo das lipoproteínas	Óleo de milho, mariscos, cereais integrais, carnes e água potável
Cobre ^a	Síntese de colágeno e elastina. Atua como antioxidante e na formação de hemoglobina, glóbulos vermelhos e enzimas	Componente das numerosas metaloenzimas, envolvido na cadeia respiratória e no metabolismo do ferro	Fígado, mariscos, feijão, aves, chocolates e castanhas
Magnésio ^b	Componente dos ossos e dentes. Atua no relaxamento muscular e cofator para sistemas enzimáticos	Transmissão de condução nervosa. Envolvido no processo enzimático de produção de energia	Cereais integrais, carnes, leite, vegetais e chocolate
Manganês ^a	Auxilia na formação dos ossos	Enzimas envolvidas em aminoácidos, colesterol e metabolismo dos carboidratos	Frutas, castanha e leguminosas
Zinco ^a	Síntese de proteínas, função no sistema imunológico e envolvido na maturação sexual	Componente de múltiplas enzimas e proteínas. Cofator enzimático em DNA e envolvido na regulação de expressão genética	Fígado, mariscos, farelo de trigo, leite e derivados e leguminosas
Ferro ^a	Transporte de oxigênio e elétrons. Atua no metabolismo celular (como parte de enzimas do citocromo)	Componente de heme/mioglobina e numerosas enzimas	Carnes, fígados, leguminosas, feijão e vegetais
Fósforo ^b	Componente dos ossos e dentes. Componente de alguns lipídios. Manutenção do pH. Armazenamento e transferência de	Reserva de energia como ATP e CP	Leite e derivados, gema de ovo, carnes, peixes e aves

energia e síntese de nucleotídeos			
Potássio ^b	Mantém o volume de fluido dentro/fora de células. Atua para atenuar o aumento da pressão arterial em resposta à ingestão excessiva de sódio. Diminui marcadores de renovação óssea e recorrência de pedras nos rins	Geração e transmissão de impulso dos nervos	Frutas, leite, carnes e vegetais
Sódio ^b	Mantém o volume de fluido fora das células, atua na contração muscular	Controle de ácido-base, equilíbrio água e sal; Geração e transmissão de impulso nervoso	Sal de cozinha, alimentos do mar, alimentos de origem animal

^a Microminerais

^b Macrominerais

Fonte: De la Guardia (2015) e Recine (2002).

É crucial ressaltar a natureza singular das funções dos minerais, uma vez que cada um deles desempenha um papel específico e fundamental no corpo, independentemente de serem classificados como macro ou microminerais. Os microminerais, embora sejam componentes essenciais das estruturas biológicas, têm uma característica preocupante: mesmo em doses levemente superiores às necessárias para suas funções fisiológicas, podem se tornar tóxicos. Essa propriedade coloca uma ênfase adicional na importância do equilíbrio cuidadoso e preciso desses elementos no organismo, já que sua superabundância pode resultar em efeitos adversos à saúde (De la Guardia, 2015).

É fundamental considerar a relação entre os riscos associados à ingestão excessiva e à ingestão insuficiente de minerais. Um exemplo disso é o papel do cobre no processo inicial da utilização do ferro durante a hematopoiese. A falta de cobre pode resultar em acúmulo de ferro no fígado, ao passo que um excesso desse mineral pode reduzir os níveis de ferro no fígado, evidenciando assim a importância do cobre na metabolização do ferro. Além disso, o cobre se encontra presente no plasma sanguíneo como parte da eritrocuprina, uma proteína plasmática responsável pelo transporte desse elemento (Soetan et al., 2010; Garcia-Casal et al., 2019).

2.6.1 Preparo de amostras para quantificação de minerais

Para a quantificação de nutrientes inorgânicos em amostras alimentícias, técnicas como espectrometria de absorção atômica com chama (FAAS) e a ICP OES são bastante utilizadas (Okada, 2007; Miller-ihli, 1996). Entretanto, essas técnicas

analíticas exigem um preparo prévio das amostras, uma vez que, comumente, as amostras não estão na sua forma livre, podendo estar, por exemplo, na forma de complexo, (Krug; Rocha, 2019).

Dentre os procedimentos de amostras os mais comuns de serem realizados são dissolução (ou solubilização) em meio ácido ou alcalino, abertura (decomposição por via seca), digestão (decomposição por via úmida), dentre outros (Sousa et., 2015). Especialmente a digestão por via úmida tem sido bastante empregada no preparo de amostras alimentícias. De maneira geral, a decomposição por via úmida é feita por meio do aquecimento da amostra na presença de um ácido mineral oxidante concentrado, mistura de ácido oxidante com peróxido de hidrogênio ou misturas de ácidos oxidantes (Krug; Rocha, 2019).

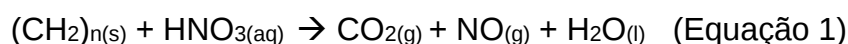
Diferentes ácidos são utilizados no processo como o perclórico (HClO_4), HNO_3 e sulfúrico (H_2SO_4), que têm diferentes propriedades oxidantes. O HClO_4 , altamente oxidante, reage violentamente com matéria orgânica. Para evitar a formação de percloratos instáveis, geralmente é combinado com HNO_3 . O H_2SO_4 , embora oxidante, reage mais lentamente, sendo usado com outros ácidos para otimizar o processo. O ácido fluorídrico (HF) também é utilizado, é capaz de dissolve materiais com sílica e aço, mas seu uso requer extrema cautela devido ao risco de graves queimaduras que podem passar despercebidas, permitindo que o ácido atinja os ossos, causando dor intensa e, em casos extremos, morte (Sousa et al., 2015).

O HNO_3 é o ácido mineral oxidante mais amplamente empregado devido à disponibilidade de soluções comerciais purificadas e de equipamentos que realizam sua purificação. Suas reações geram nitratos metálicos, que na maioria das vezes são solúveis em água. Com um poder oxidante moderado, pode ser utilizado em altas temperaturas, como em refluxo ou sistemas fechados (Sousa et al., 2015). Nas últimas duas décadas, tem-se buscado utilizar o HNO_3 diluído e notou-se que, apesar da diminuição no poder oxidante, a eficiência da digestão não é comprometida. A manutenção da eficiência depende do fornecimento de O_2 na atmosfera interna do frasco, que pode ser realizado através do uso de H_2O_2 , uma vez que isso possibilita a regeneração do HNO_3 .

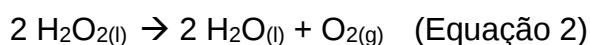
O ciclo de reações dentro de um frasco de digestão fechado inicia com a oxidação da matéria orgânica, quando ocorre também a geração de NO em estado gasoso (Equação 1). O peróxido de hidrogênio (Equação 2) é um agente oxidante adicional muito utilizado e atua como gerador de O_2 . O NO produzido na Eq. 1 então

reage com o O_2 também em estado gasoso (Equação 3), proveniente da decomposição do agente oxidante adicional. Posteriormente, o NO_2 gasoso produzido é absorvido pela solução, reagindo com a porção aquosa do meio líquido (Equação 4), resultando na formação de HNO_3 (reagente recuperado) e HNO_2 . O subproduto HNO_2 se decompõe em H_2O , NO_2 e NO (Equação 5), reiniciando o ciclo de reações com o NO , desde que ainda haja presença de O_2 na fase gasosa do recipiente de reação (Equação 3) (Krug; Rocha, 2019).

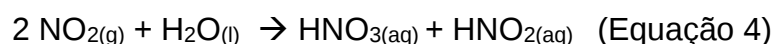
Digestão da matéria orgânica com HNO_3 :



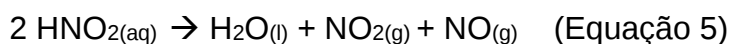
Decomposição do oxidante auxiliar:



Recuperação do reagente HNO_3 :



Decomposição do subproduto HNO_2 :



Como mostrado, a necessidade da presença de O_2 no meio reacional tem sido suprida com uso de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) (Krug; Rocha 2019). O HNO_3 quando regenerado, permite ser utilizado de forma mais diluída, alinhando-se aos Princípios da Química Verde. Essa abordagem busca criar produtos químicos e processos que reduzam ou eliminem substâncias prejudiciais à saúde humana e ao meio ambiente. Esse conceito, também associado à tecnologia limpa, já foi difundido na indústria e integrado ao meio acadêmico, influenciando o ensino e a pesquisa (Lenardão et al., 2003).

A combinação do HNO_3 e H_2O_2 tem sido amplamente explorada em várias aplicações descritas na literatura. Um exemplo, é seu uso no preparo de amostras alimentícias, para posterior quantificação da composição, como evidenciado por diversos estudos referenciados na Tabela 4. Esses reagentes digestores têm se mostrado eficazes para preparar as amostras, permitindo uma análise precisa e abrangente de sua composição mineral.

Tabela 4 – Revisão da literatura sobre métodos de digestão de amostras alimentícias utilizando ácido nítrico diluído em conjunto com peróxido de hidrogênio.

Amostras	Reagentes	Analitos	Deteção	Método de preparo de amostra	Referência
Feijão-preto, farelo de aveia, farelo de trigo e extrato de soja	10,0 mL HNO ₃ 5 mol L ⁻¹ e 10 mL H ₂ O ₂ 12%	Ca, Cu, Mg, Mn, Fe e Zn	FAAS	Digestão assistida por micro-ondas	De Souza; Coelho; Rodrigues, 2020
Sopas instantâneas	7,5 mL HNO ₃ 2 mol L ⁻¹ e 1 mL H ₂ O ₂ 30%.	Cu, K, Mg, Mn, P e Zn	ICP OES e MIP OES	Digestão assistida por micro-ondas	Carvalho, 2022
Cenoura, couve-flor, abóbora e espinafre	5,0 mL HNO ₃ 0,5 mol L ⁻¹ e 2 mL H ₂ O ₂ 10 %	Al, As, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb, , e Zn	FAAS e ICP OES	Extração assistida por ultrassom	-UL-HAQ, Iftikhar et al. 2021
Ervas medicinais	1,38 mL HNO ₃ 4 mol L ⁻¹ e 1 mL H ₂ O ₂ 6,0%	As, Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Na, P, Pb, Sr e Zn	ICP OES	Digestão assistida por aquecimento condutivo	Junior et al., 2023
Romã, laranja, limão, manga e toranja	5,0 mL HNO ₃ 0,5 mol L ⁻¹ e 2 mL H ₂ O ₂ 10%	Ca, Cu, Fe, K, Mg, Mn e Zn	FAAS	Digestão assistida por aquecimento condutivo	Saleem et al., 2021
Farinhas de ameixa;amaranto; berinjela; banana verde; cenoura; casca de laranja; jabuticaba; maçã etc.	4,0 mL HNO ₃ 3,0 mol L ⁻¹ e 0,5 mL H ₂ O ₂ 30%	Cu, Fe e Zn	ICP OES	Digestão assistida por micro-ondas	Souza, 2023
Cacau, manga, pupunha, jaca, caja, mamão, maracujá e acerola	6,0 mL HNO ₃ 2,0 mol L ⁻¹ e 3,0 mL H ₂ O ₂ 30%	C, Fe, K, Mg, Mn, Na, P e Zn	ICP OES	Digestão assistida por micro-ondas	Guedes et al., 2022
Trigo	3 mL HNO ₃ 8 mol L ⁻¹ e 3 mL H ₂ O ₂ 33%	Al, As, Ca, Cd, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Rb, Se, V e Zn,	ICP MS	Digestão assistida por micro-ondas	Alhagri et al., 2023
Leite	6 mL HNO ₃ 0,1 mol L ⁻¹ e 2 mL H ₂ O ₂ 30%	Al, As, Ba, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Ni, Pb, Sb, Se e Zn	ICP-MS E ICP OES	Digestão assistida por micro-ondas	Lee et al., 2022
Farinha	8 ml HNO ₃ 7 mol L ⁻¹ e 2 mL H ₂ O ₂ 30%	Al, Ca, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Pb e Zn,	ICP OES	Digestão assistida por micro-ondas	Costa, 2018

MIP OES – Microwave Induced Plasma Optical Emission Spectrometry (Espectrometria de Emissão Óptica com Plasma Induzido por Micro-Ondas); ICP OES - Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry (Espectrometria de Emissão Óptica por Plasma Acoplado Indutivamente); ICP-MS - Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (Espectrometria de Massas com Plasma Indutivamente Acoplado); FAAS - Flame Atomic Absorption Spectrometry (Espectrometria de Absorção Atômica com Chama).

A utilização da radiação de micro-ondas se destaca entre os métodos para aquecer e digerir amostras (Tabela 5), sendo uma prática adotada há muitos anos. Em meados de 1975, a sugestão de empregar fornos micro-ondas para decompor amostras inorgânicas e orgânicas foi introduzida, tornando-se um método essencial na preparação dessas amostras (Abu-samra; Morris; Koirtyohann, 1975). O procedimento é bastante empregado no preparo de amostra porque possibilita a rápida decomposição em comparação com os métodos baseados em aquecimento condutivo (Krung & Rocha 2019).

O emprego da radiação micro-ondas resulta da interação entre as micro-ondas e o sistema amostra/ácido, desencadeando o movimento das espécies em solução através da migração de íons ou rotações de dipolo. Esse movimento é provocado pelas alterações repetidas do campo eletromagnético. Este calor gerado não é proveniente de uma fonte externa ao sistema, mas sim da interação entre as micro-ondas e as moléculas do sistema amostra/ácido. Esse calor induz a decomposição da matriz da amostra (Arruda, 1997; Krung & Rocha, 2019; Mitra, 2004).

2.7 Quimiometria

A quimiometria é a aplicação do conhecimento estatístico e matemático para resolver problemas na química. Essa abordagem transdisciplinar permite análises mais abrangentes e precisas, promovendo uma compreensão mais profunda de fenômenos químicos complexos. Ao utilizar métodos quantitativos e computacionais, a quimiometria viabiliza a interpretação de dados experimentais, a otimização de processos e a tomada de decisões fundamentadas (Barros Neto; Scarminio; Bruns, 2010; Ferreira, 2015; Fernández, 2011).

As técnicas quimiométricas podem ser agrupadas em três grandes grupos: planejamento e otimização de experimentos, calibração multivariada e reconhecimentos de padrões, sendo que esta última ainda pode ser subdividida em técnicas supervisionadas e não supervisionadas. Quando se tem por objetivo conhecer se determinado fator possui ou não influência em uma resposta, o planejamento e otimização de experimentos é útil. Existem diferentes vantagens ao se usar um planejamento, sendo elas: minimização da quantidade de ensaios sem prejuízo da qualidade da informação; análise conjunta de múltiplas variáveis, isolando seus impactos individuais; escolha das variáveis que influem num processo com

número reduzido de ensaios, dentre outras vantagens (Barros Neto; Scarminio; Bruns, 2010; Ferreira, 2015; Button, 2005).

O primeiro passo na construção de um planejamento experimental é estabelecer quais são os fatores e as respostas de interesse. Os fatores são as variáveis que o pesquisador consegue manipular ou controlar durante um experimento, e podem ser de natureza qualitativa, como o tipo de catalisador utilizado, ou quantitativa, como a variação de temperatura. Enquanto que as respostas são as variáveis de saída. Para aplicação do planejamento experimental também é necessário especificar os níveis em que cada fator será estudado. Logo, torna-se necessário que os fatores possuam pelo menos dois níveis. Um delineamento fatorial completo para k fatores com dois níveis pode ser chamado de planejamento fatorial 2^k (Barros Neto; Scarminio; Bruns, 2010; Ferreira, 2015).

No âmbito do reconhecimento de padrões, visa-se identificar semelhanças e diferenças entre amostras com base nas medições realizadas, permitindo estudos com um grande número de variáveis. A representação gráfica desempenha um papel crucial na interpretação desses resultados. Diversos algoritmos foram desenvolvidos para criar representações visuais que possibilitem a compreensão das informações contidas nos conjuntos de dados analíticos. Entre eles, destacam-se a análise de agrupamento hierárquico (HCA) e a análise de componentes principais (PCA) (Otto, 1999; Correia; Ferreira. 2007).

Diferentes trabalhos de análise de amostras alimentícias aplicaram o estudo de PCA para observar similaridades ou diferenças no conjunto de dados obtidos em relação a composição, origem, ou influência do processo de cocção (Andrade, 2019; Bai et al., 2022; De Freitas et al., 2019; Da Silva et. al., 2018; De Souza et al., 2016; Irineo Filho et al., 2020; Lima et al., 2019; Oliveira, 2021; Pérez-Rodríguez et al., 2021; Silva et al., 2022; Silva et al., 2019; Sharma et al., 2023).

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

Determinar a composição mineral de amostras cruas e cozidas de batata inglesa, cenoura e chuchu oriundas de diferentes municípios de Pernambuco.

3.2 Objetivos específicos

- Conduzir um planejamento fatorial para determinar a ótima condição de digestão de batata inglesa, obtendo-se baixos teores de carbono e acidez residual;
- Desenvolver um método analítico que emprega HNO_3 diluído na etapa de digestão de batata inglesa e, conseqüentemente, alinhado aos fundamentos da Química Verde;
- Validar o método desenvolvido;
- Realizar digestões de amostras reais de batata inglesa, cenoura e chuchu;
- Avaliar a presença dos elementos Al, Ca, Cr, Cu, Fe, K, Mn, Na e Pb em amostras de batata inglesa, cenoura e chuchu empregando ICP OES e Fotometria de chama;
- Examinar o aumento ou diminuição da concentração dos minerais avaliados após a cocção dos alimentos;
- Utilizar a ferramenta quimiométrica PCA para a análise e interpretação de padrões e tendências nos conjuntos de dados.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Materiais

As soluções foram preparadas a partir de reagentes analíticos com alto grau de pureza e foi utilizada água deionizada (resistividade específica de 18,2 $\text{M}\Omega\cdot\text{cm}$ a 25 °C (Direct-Q® 3 UV, Milli-Q, Merck Millipore, Molsheim, França).

4.1.1 Limpeza do material

Antes de serem utilizadas, as vidrarias foram lavadas com detergente neutro e água ultrapura. Os frascos de teflon usados nas digestões também foram lavados com detergente neutro, em seguida foram submersos em solução de HNO_3 10%(v/v), por no mínimo 12h para descontaminação. Posteriormente, foram lavados com água ultrapura por três vezes e cuidadosamente deixados para secar.

4.2 Reagentes e padrões

O teor de carbono originalmente presente nas amostras de batata inglesa foi determinado utilizando-se um método espectrofotométrico. Para tanto, foram preparadas soluções estoque de dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$ PA, Dinâmica, Brasil) a partir da dissolução do sólido em água deionizada para uma concentração final de 50 mg L^{-1} .

Também foi utilizada uma solução de carbono preparada a partir da dissolução de D-glicose anidra PA (Synth, São Paulo, Brasil); soluções de 100, 250, 500, 750, 1.000, 2.500 e 5.000 mg L^{-1} de carbono foram preparadas para a determinação dos teores de carbono nos digeridos.

Para a digestão das amostras de batata inglesa, cenoura e chuchu foram utilizados HNO_3 65% (m/m) (Dinâmica) e H_2O_2 30% (Neon).

Na validação, foi usada uma solução padrão multielementar da marca Merck contendo todos os elementos de interesse (Al, Ca, Cr, Cu, Fe, K, Mn, Na e Pb) na concentração de 1000 mg L^{-1} .

Os materiais de referência certificados utilizados na etapa da avaliação da exatidão foram: Arroz Integral CRM-Agro C1001a e Arroz Integral Biodinamico CRM-Agro C1002a.

As soluções de calibração padrão utilizadas na Fotometria de chama foram preparadas a partir dos sais dos metais, sendo cloreto de potássio (Nuclear, São Paulo, Brasil) e cloreto de sódio (Química Moderna, São Paulo, Brasil). As concentrações das soluções utilizadas no procedimento foram de 2,0; 5,0; 10,0; 20,0; 30,0; 40,0; 50,0; 60,0; 80,0 e 100 mg L^{-1} de Na e K.

4.3 Amostras de batata inglesa, cenoura e chuchu

Visando obter uma representatividade no estudo, buscou-se adquirir amostras de cada mesorregião do estado de Pernambuco, que correspondem ao Agreste, Sertão e Zona da Mata. Desta forma, as amostras foram coletadas nas cidades de: Belém de Maria, Buíque, Camocim de São Félix, Chã Grande, Orobó, Ouricuri, Petrolina, Recife e Serra Talhada. Foram adquiridas vinte e três amostras das diferentes cidades, sendo 8 amostras de batatas, 7 amostras de cenouras e 8 amostras de chuchus.

O pré-tratamento das amostras, iniciou com a lavagem em água corrente para remoção das impurezas mais grosseiras, seguida de uma lavagem com água destilada para limpeza mais completa. Utilizou-se um descascador de legumes para remover as cascas, com o objetivo de eliminar essa variável e evitar contaminação por partículas do solo.

Em seguida, os vegetais foram triturados com o auxílio de um multiprocessador de alimentos doméstico (123Util, 3 Lâminas em Aço Inox, 500 mL) e submetidos à secagem em estufa. As amostras de batata inglesa ficaram na estufa por 12 horas e o chuchu e a cenoura por 24 horas, a uma temperatura de 65 °C. Após a secagem, as amostras foram novamente trituradas, desta vez em um moinho doméstico com lâmina de aço inoxidável (Philips Walita, Viva Collection), peneiradas em uma peneira do tipo fina e acondicionadas em um dessecador. O mesmo procedimento de secagem foi aplicado às amostras após a cocção.

Para o processo de cocção dos alimentos, foram empregados aproximadamente 100 g de cada amostra fresca juntamente com 200 mL de água destilada em uma panela de alumínio (Panelux). As amostras foram submetidas à fervura, na temperatura de aproximadamente 100 °C, sendo necessário 20 minutos para a batata inglesa e 15 minutos para a cenoura e o chuchu atingirem uma textura comestível. O cozimento também foi realizado em forno micro-ondas (Panasonic), na potência de 7000 W por 8 minutos.

4.4 Equipamentos

As amostras foram submetidas à digestão em dois fornos de micro-ondas distintos (Figura 6). Um deles é o modelo Start D da Milestone (Soriso, Itália) que comporta 10 frascos de Teflon® com volume de reagentes recomendado entre 8 a 12 mL, possui potência máxima de 1200 W e vem equipado com sensor de temperatura in-situ. O segundo forno utilizado foi o ETHOS EASY, também da Milestone, com potência máxima de 1900 W e sensor de temperatura easyTEMP por infravermelho. Além disso, utilizou-se o rotor MAXI-44, capaz de acomodar até 44 recipientes Teflon® 100 mL.

Figura 6 – Fornos de Micro-ondas da Milestone. (A) modelo Start D; (B) modelo Ethos Easy.



Fonte: Manual do fabricante (Milestone).

A determinação da concentração dos elementos Al, Ca, Co Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Mo, P e Pb foi realizada por meio de um ICP OES da marca Perkin Elmer, modelo Optima 7000 DV (Figura 7).

Figura 7 – ICP OES Perkin Elmer, modelo Optima 7000 DV.



Fonte: Central de química analítica, UFPE (2023).

O equipamento foi operado em configuração axial; sistema de detectores de estado sólido CCD; sistema ótico purgado com argônio; ótica Echelle. A faixa de comprimento de onda foi de 160 a 900 nm. O sistema de introdução de amostra

emprega câmara tipo Scott e nebulizador de fluxo cruzado. As condições operacionais estão descritas na Tabela 5.

Tabela 5 – Parâmetros operacionais utilizados nas determinações multielementares por ICP OES.

Parâmetro operacional	Especificação
Potência de radiofrequência (kW)	1,3
Vazão do gás de nebulização (L min ⁻¹)	0,8
Vazão do gás auxiliar (L min ⁻¹)	0,2
Vazão do gás do plasma (L min ⁻¹)	15
Replicatas	3
Nebulizador	Fluxo cruzado
Câmara de nebulização	Scott
Vista de observação do plasma	Axial
Comprimento de onda (nm)	Al - 396,153; Cd - 228,802; Cr - 267,716 Cu - 327,393; Fe - 238,204; Mg - 285,213; Mn - 257,610; P - 213,617; Pb - 220,353 Zn - 213,857

Fonte: A autora, 2024

As quantificações de Na e K foram realizadas utilizando um Fotômetro de chama (marca Digimed - modelo DM-61). Os parâmetros instrumentais usados, assim como as linhas espectrais empregadas na determinação elementar estão descritos na Tabela 6.

Tabela 6 – Parâmetros instrumentais utilizados nas determinações elementares por Fotometria de chama.

Parâmetro instrumental	Especificação
Detectores Ópticos	Filtros de interferência com bandas passantes menores que 12 nm, nos seguintes comprimentos de onda. Na: 589 nm; K: 766 nm
Consumo de Amostra	5 mL min ⁻¹
Combustível	GLP (Gás Liquefeito de Petróleo)
Oxidante	Ar isento de pó e óleo, à pressão de 20 psi e vazão de 9 L/minuto

Fonte: Manual de instruções do equipamento (Digimed).

4.5 Teste preliminar do método de digestão de batata inglesa

Inicialmente, realizou-se um teste preliminar em triplicata, com amostras de batata inglesa comercializadas na cidade de Recife. Estes testes tiveram como objetivo a determinação de uma condição (reagentes para a digestão e programa de aquecimento) que fornecesse uma decomposição eficiente da amostra. O parâmetro

testado tomou como base a recomendação de uma nota técnica da Milestone (SK-10 High Pressure Rotor, Ground Vegetable). Os parâmetros de digestão descritos são os seguintes: 500 mg de amostra, 6 mL de HNO_3 65% ($14,44 \text{ mol L}^{-1}$) e 2 mL de H_2O_2 30%. Também foram avaliadas as concentrações de $7,5 \text{ mol L}^{-1}$, $3,75 \text{ mol L}^{-1}$, 2 mol L^{-1} , 1 mol L^{-1} e $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ de HNO_3 . Programação do micro-ondas: 15 min até atingir 200°C e mais 15 min em 200°C , em uma potência de 1200 W. A eficiência da decomposição das amostras de teste foi avaliada por RCC.

4.5.1 Planejamento e otimização do método de digestão de batata inglesa

A partir dos resultados obtidos no teste preliminar, foi conduzido um planejamento fatorial 2^3 (Tabela 7), que envolveu três fatores com dois níveis cada, além de um ponto central. O objetivo deste estudo foi avaliar o impacto de três variáveis no processo de digestão de amostras de batata inglesa. As variáveis investigadas foram a concentração de HNO_3 , o tempo e a temperatura de digestão.

Para a digestão, foram pesados 500 mg de batata inglesa previamente seca, triturada e peneirada, diretamente em frascos de Teflon®. Em seguida, adicionou-se 6 mL de HNO_3 em diferentes concentrações e 2 mL de H_2O_2 . O procedimento foi realizado com a repetição do ponto central.

Tabela 7 – Matriz do planejamento fatorial 2^3 para a digestão das amostras de batata inglesa, com ponto central.

Fatores		(-)	(0)	(+)
A	Tempo de digestão no topo da rampa de aquecimento (min)	15	25	35
B	Concentração de HNO_3 (mol L^{-1})	1	2	3
C	Temperatura no topo da rampa de aquecimento ($^\circ\text{C}$)	170	200	230

Fonte: A autora, 2024.

Para realizar o planejamento experimental, foram requeridos oito testes específicos, complementados por três repetições do ponto central. Esse ponto central representou os níveis intermediários dos fatores indicados na Tabela 8. Essa abordagem permite explorar os efeitos dos fatores em diferentes condições, garantindo uma análise abrangente e robusta do experimento. No total foram realizados 11 ensaios, incluindo as repetições do ponto central, todos realizados de

forma aleatória. As combinações dos diferentes níveis dos fatores nos ensaios estão apresentadas na Tabela 8.

Tabela 8 – Ensaios realizados para execução do planejamento experimental: combinações dos fatores e níveis.

Ensaio	A	B	C
1	-	-	-
2	+	-	-
3	-	+	-
4	+	+	-
5	-	-	+
6	+	-	+
7	-	+	+
8	+	+	+
9	0	0	0

Fonte: A autora, 2024.

4.5.2 Determinação do Carbono Residual

Para a determinação do RCC, análises foram conduzidas utilizando um bloco digestor (COD reator 45600, Hach, EUA), seguindo o método proposto por da Silva e colaboradores (2020), baseado em medidas de absorvância no comprimento de onda de 620 nm.

Inicialmente, foi construída uma curva de calibração. Nesse processo, em tubos de ensaio com rosca (Hach, EUA), foram adicionados 1 mL do padrão correspondente de carbono 50, 100, 200, 300, 400, 1000 e 2000 mg L⁻¹, seguidos de 1,5 mL de solução de K₂Cr₂O₇ (50 g L⁻¹) e mais 2,5 mL de H₂SO₄ concentrado. Posteriormente os tubos foram tampados e homogeneizados em agitador vórtex (Q-220B2, Quimis, Brasil) e levados para o bloco digestor a 150 °C por 2 h. Após retirar os tubos do bloco digestor e atingir a temperatura ambiente, procedeu-se à medição da absorvância no comprimento de onda de 620 nm utilizando os próprios tubos como cubetas.

Para a determinação do teor de carbono originalmente presente nas amostras, pesou-se até 3 mg da amostra, que foi então transferida para o respectivo tubo. Em seguida, adicionou-se o K₂Cr₂O₇ (50 g L⁻¹) e o H₂SO₄ concentrado. Nos ensaios com os digeridos, em vez de adicionar 3 mg de amostra, colocou-se 1 mL da solução do

digerido no tubo. Posteriormente, os mesmos procedimentos, descritos anteriormente na construção da curva com o bloco digestor e a análise UV-vis foram realizados.

4.5.3 Determinação da acidez residual

A determinação da acidez residual envolveu a realização de uma titulação ácido-base em cada uma das amostras digeridas, que foram previamente diluídas para atingir um volume final de 15 mL. Essas titulações foram conduzidas utilizando uma solução de hidróxido de sódio (NaOH) padronizada. Cada uma das 11 amostras experimentais, bem como as soluções de brancos, foi submetida a esse processo em triplicata (n=3).

Para a titulação, uma alíquota de 500 µL foi retirada da amostra diluída (com volume final de 15 mL) e transferida para um Erlenmeyer. Em seguida, foram adicionados 4 mL de água destilada e 3 gotas de uma solução alcoólica de fenolftaleína a 1% (m/v). Como agente titulante, utilizou-se uma solução (NaOH) com concentração de 0,1246 mol L⁻¹, a qual foi previamente padronizada com hidrogenoftalato de potássio (KHP) a 0,050 mol L⁻¹. Na Equação 6, observa-se a relação estequiométrica entre o ácido e a solução titulante (NaOH), que é de proporção 1:1 e a fórmula matemática para determinar a concentração molar com base no volume da solução titulante utilizado.



$$M_{\text{acidez}} = \frac{(V_{\text{gasto}}) * (M_{\text{NaOH}})}{V_{\text{total}}}$$

Onde:

M_{acidez} : concentração do HNO₃ no digerido

V_{gasto} : volume de NaOH necessário na titulação

M_{NaOH} : concentração da solução titulante de NaOH (0,1246 mol L⁻¹)

V_{total} : volume de digerido empregado na titulação (0,500 mL)

Para converter a acidez residual de molaridade para porcentagem (v/v), foram adotados os valores de massa molar e densidade do ácido nítrico descritos por Rumble (2020) na 101^a edição do Handbook of Chemistry and Physics, conforme indicado na Tabela 9.

Tabela 9 – Dados físicos-químicos de HNO₃.

Parâmetros	Valores
Massa molar (MM)	63,013 g mol ⁻¹
Densidade (D)	1,5129 g cm ⁻³

Fonte: Rumble (2020)

A Equação 7 foi utilizada para estimar o valor da acidez residual. O resultado foi expresso em termos da acidez residual, % (v/v).

$$RA = (\text{mol L}^{-1} \cdot 63,013 \text{ g mol}^{-1} \cdot (100 \text{ mL} / 1000 \text{ mL})) / 1,5129 \text{ g cm}^{-3} \quad (\text{Equação 7})$$

O processo de avaliação do carbono residual e da acidez foi conduzido tanto nos digeridos dos testes preliminares quanto nos ensaios do planejamento experimental. Além disso, essas análises foram realizadas nos digeridos após a definição das condições ideais de preparo das amostras.

4.6 Digestão das amostras de cenoura e chuchu

O procedimento experimental aplicado à cenoura e ao chuchu seguiu um método de digestão desenvolvido anteriormente pelo nosso grupo de pesquisa Serafim et al. (2023), que foi submetido a um processo de validação. Essa validação foi realizada por meio da avaliação da acidez remanescente e do carbono orgânico dissolvido e de uma análise minuciosa da exatidão, utilizando materiais de referência certificados que apresentam matriz vegetal semelhantes à das amostras analisadas no presente estudo. Os materiais certificados utilizados foram: (SRM NIST 1568a (Farinha de arroz); CRM-Agro C1001a (Arroz integral); CRM USP/Embrapa Agro C1002a (Arroz integral Biodinamico); CRM USP/Embrapa Agro C1004a (Polpa de tomate); CRM USP/Embrapa Agro C1006a (Farinha de soja) e CRM USP/ Embrapa Agro C1007a (Café verde).

Além disso, é relevante destacar que o coeficiente de correlação observado se aproximou significativamente do valor ideal de 1,0 em todas as análises realizadas, fortalecendo a confiabilidade dos resultados obtidos. Os limites de quantificação encontrados variaram de 0,14 (Cr) a 3,6 µg g⁻¹ (Na). As exatidões dos dados obtidos confirmam a eficácia do método proposto para a análise desses elementos nas

amostras de cenoura e chuchu. A metodologia adotada para a preparação das amostras envolveu 5 mL de HNO_3 0,5 mol L^{-1} e 2,5 mL de H_2O_2 30% para digerir 100 mg de amostra.

4.7 Análise Estatística

Para uma análise mais detalhada dos resultados, o software Minitab foi empregado para realizar a avaliação da acidez residual e do carbono residual. Além disso, com o auxílio do programa *The Unscrambler* foi conduzida uma análise exploratória das amostras de batata inglesa, cenoura e chuchu por meio da Análise de Componentes Principais (PCA). Nesse processo, uma matriz de dados de dimensão 66x8, representando as concentrações de Al, Ca, Cu, Fe, Cr, K, Na e Mn, foi utilizada. Os dados foram pré-processados com auto-escalamento para garantir a consistência das análises, equalizando as escalas e maximizando a variância explicada por cada componente principal. Essa abordagem permitiu uma investigação mais aprofundada da variabilidade dos elementos minerais nas amostras de batata inglesa, sem envolver influências pessoais ou subjetivas.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Planejamento e otimização do método de digestão de batata inglesa

Visando estabelecer condições mais favoráveis para digestão de amostras de batata inglesa, foi necessário conduzir um planejamento experimental. Inicialmente, para elaborar um planejamento, é fundamental definir os valores dos fatores a serem investigados. No âmbito do nosso estudo, os fatores incluem: concentração de HNO_3 , temperatura e tempo. De antemão, com o propósito de determinar os valores da concentração de HNO_3 , foram testados os seguintes níveis: 14,44; 7,5; 3,75; 2; 1 e 0,5 mol L^{-1} .

Após a digestão, constatou-se que os digeridos exibiam uma coloração amarelada semelhante nas diversas concentrações de HNO_3 testadas. Uma vez que, mesmo com coloração amarelada, os digeridos podem apresentar um RCC aceitável, buscou-se avaliar a eficiência da digestão por meio do RCC. Este é um importante parâmetro que possibilita estimar o quão próximo se está da oxidação total da matéria

orgânica a CO₂ e, conseqüentemente, a disponibilidade dos metais para posterior quantificação (Gouveia et al., 2001; Krug; Rocha, 2019).

O RCC estima a relação entre a massa de carbono solúvel no digerido final com a massa de carbono inicialmente presente na matriz. Pode ser determinado a partir dos teores de carbono original da amostra (C_o) e o remanescente (C_r) após a digestão em termos de concentração (mg L⁻¹) usando a (Equação 8):

$$\text{RCC (\%)} = (\text{C}_r / \text{C}_o) \times 100 \quad (\text{Equação 8})$$

Para determinar o teor de C_o e C_r, foi utilizado o método desenvolvido por da Silva e colaboradores (2020), uma adaptação do método original proposto por Krushevskia et al. (1992). O procedimento é fundamentado na oxidação da matriz orgânica, realizada pela ação do cromo hexavalente em um ambiente ácido. O produto gerado por essa reação é monitorado por meio de medidas de absorvância na faixa visível do espectro eletromagnético. Os valores obtidos para o RCC estão listados na Tabela 10. O digerido obtido após digestão utilizando HNO₃ com concentração de 0,5 mol L⁻¹ não foi avaliado, porque continha muitos sólidos de amostra não digerida.

Tabela 10 – Valores de RCC obtidos nos testes preliminares realizados com amostra de batata inglesa.

Teste	HNO ₃ (mol L ⁻¹)	RCC (%m/m) ^a
1	14,4	4,2 ± 1,0
2	7,5	12,3 ± 2,3
3	3,75	15,6 ± 1,1
4	2,0	12,6 ± 2,9
5	1,0	20,8 ± 2,1

^a Valor médio ± desvio padrão (n = 3).

Fonte: A autora, 2024.

Soluções com concentrações elevadas de compostos orgânicos podem causar instabilidade do plasma do ICP OES e, com isso, acarretar uma intensificação da emissão de fundo e interferir em processos de transferência de carga. De acordo com Krug; Rocha (2019), em digeridos de amostras predominantemente compostas por amido, valores de RCC entre 2 e 11 % (m/m) são considerados aceitáveis.

Considerando que segundo a EMBRAPA batata inglesa é composta principalmente por água, representando aproximadamente 80% de sua composição,

e cerca de 16% de carboidratos, com o amido sendo o principal componente desse grupo, pode-se inferir que a concentração de 2 mol L^{-1} de HNO_3 poderia ser adotada como o valor intermediário no planejamento experimental, considerando-se os resultados apresentados na Tabela 10.

Antes da utilização da solução 2 mol L^{-1} na metodologia, foi conduzido um teste t para verificar a existência de diferenças estatísticas entre os ensaios 3, 4 e 5. Após a realização do teste com um nível de confiança de 95%, todos os valores calculados para os testes t foram inferiores ao valor crítico de t. Indicando que não foram encontradas diferenças estatisticamente significativas entre as médias das três medidas.

Com objetivo de examinar se o uso do HNO_3 na concentração de 1 mol L^{-1} também levaria à formação de uma solução com baixos valores de RCC, decidiu-se estabelecer a concentração de 1 mol L^{-1} como o ponto mais baixo e, conseqüentemente, a concentração de 3 mol L^{-1} como o nível mais alto no delineamento experimental.

Além de variar a concentração do ácido, a temperatura e o tempo também foram ajustados. Uma vez que, ao examinar os fatores que impactam a eficácia da digestão em um processo, é importante abordar não somente a concentração e/ou volume dos reagentes utilizados, mas também o tempo de aquecimento e a temperatura. Em estudo conduzido por Tuzen et al. (2004) observou-se uma associação significativa entre o tempo e a eficiência da digestão, concluindo-se que prolongamento da fase de digestão resultava em uma maior extração dos elementos de interesse.

Enquanto nos testes preliminares o tempo no topo da rampa de aquecimento foi de 15 minutos, no planejamento experimental foram testados intervalos de 15, 25 e 35 minutos. Quanto à temperatura, a condição avaliada nos testes preliminares tornou-se a condição intermediária no planejamento experimental, quando as temperaturas testadas foram 170, 200 e 230 °C.

Após a definição dos valores e fatores do planejamento experimental, estabeleceu-se que as respostas de interesse seriam o RCC em conjunto com a acidez residual. Para a acidez residual, recomenda-se que o valor não seja superior a 10% (v/v) para a determinação por técnicas espectrométricas atômicas, visando evitar dificuldades no processo de introdução da solução no atomizador. Na Tabela 11 estão

contidos os valores obtidos de carbono e acidez residual dos digeridos após o delineamento experimental.

Tabela 11 – Planejamento experimental 2³ aplicado a amostra de batata-inglesa.

Fatores			(-)	(0)	(+)
A	Tempo de digestão no topo da rampa de aquecimento (min)		15	25	35
B	Concentração de HNO ₃ (mol L ⁻¹)		1	2	3
C	Temperatura no topo da rampa (°C)		170	200	230
Ensaio	A	B	C	RCC (%, m/m)	AR (%, v/v)
1	-	-	-	9,81± 0,33	1,21 ± 0,11
2	+	-	-	23,6± 5,2	2,75 ± 0,94
3	-	+	-	10,6± 1,3	2,90 ± 0,11
4	+	+	-	15,7± 3,2	3,84 ± 0,35
5	-	-	+	16,5± 1,6	0,58 ± 0,05
6	+	-	+	7,31± 0,12	0,54 ± 0,13
7	-	+	+	6,30± 0,55	3,50 ± 0,13
8	+	+	+	5,12± 0,69	3,21 ± 0,16
9	0	0	0	10,3± 2,6	2,07 ± 0,18
10	0	0	0	9,05± 1,34	1,92 ± 0,11
11	0	0	0	9,73± 2,85	1,71 ± 0,15

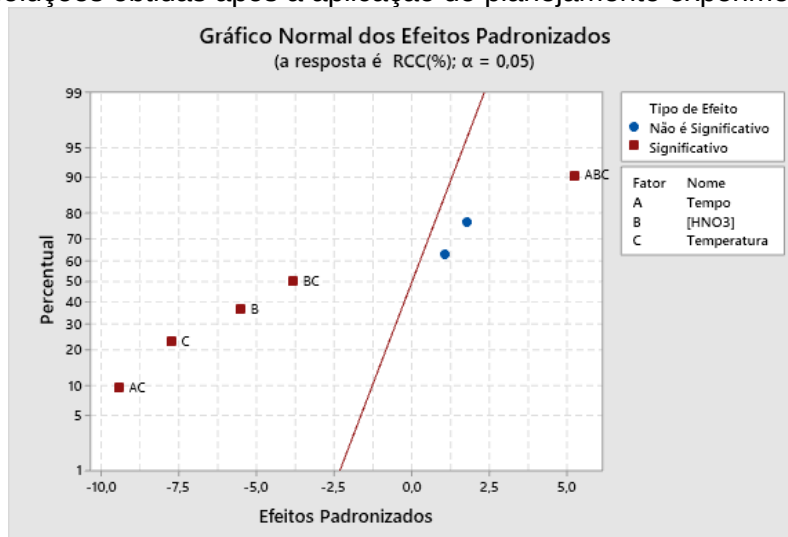
Fonte A autora, 2024.

Os resultados obtidos revelaram que as soluções dos ensaios 1, 3, 6, 7, 8, 9, 10 e 11 continham um valor de RCC inferior a 11%, com o ensaio 6 destacando-se como o mais eficiente, considerando o uso da solução ácida em baixa concentração. As condições do ensaio 6 foram: HNO₃ 1 mol L⁻¹, 35 minutos de digestão a uma temperatura de 230°C. No que diz respeito à acidez residual, todos os valores encontram-se abaixo do limite máximo permitido de 10%, indicando que todas as condições testadas estão dentro das normas estabelecidas.

Inicialmente, foi gerado o gráfico Normal de Efeitos Padronizados (Figura 8), uma ferramenta usada para avaliar a relevância e a magnitude dos efeitos dos fatores em contexto específico. Ao observar o gráfico, tornou-se possível identificar quais variáveis exercem influência significativa sobre a resposta relacionada ao RCC. Os efeitos principais e de interação AC, C, B, BC e ABC são estatisticamente significativos

a um nível de significância de 5%, enquanto que efeitos principais e de interação A e AB não foram considerados significativos. Além disso, o gráfico também indica a direção desses efeitos e para os fatores C e B é possível observar que quando há um aumento dos mesmos observa-se uma diminuição da resposta.

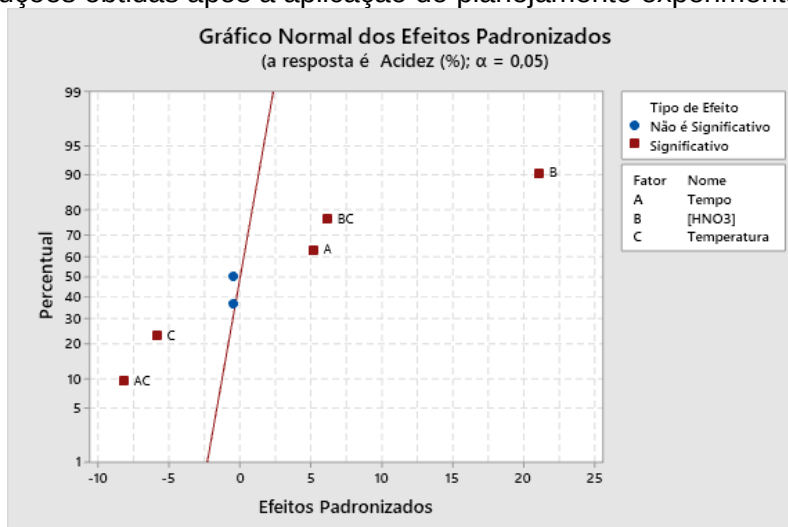
Figura 8 – Gráfico dos efeitos padronizados para a resposta de carbono residual, a partir das soluções obtidas após a aplicação do planejamento experimental 2³.



Fonte: A autora, 2024.

Em conjunto com a análise do carbono residual, também foram avaliados os resultados da acidez residual (Figura 9). Conforme o esperado, o fator (B), que corresponde à concentração de HNO₃, destacou-se como o mais significativo em termos de sua influência sobre a resposta. No entanto, vale ressaltar que efeitos principais e de interação AC, BC, C e A também demonstraram ter um impacto na resposta relacionada à acidez residual. Enquanto que efeitos de interação ABC e AB não foram considerados significativos. Por outro lado, os fatores B e C demonstra uma influência negativa na resposta, indicando que, ao passar do nível inferior para o nível superior desse fator, ocorre uma diminuição na acidez residual.

Figura 9 – Gráfico dos efeitos padronizados para a resposta de acidez residual, a partir das soluções obtidas após a aplicação do planejamento experimental 2^3 .



Fonte: A autora, 2024.

Com base nos resultados contidos no *software* o ensaio seis era o ensaio que resultaria em um baixo valor de acidez e RCC (RCC: $7,31 \pm 0,12\%$ e acidez: $0,54 \pm 0,133\%$). Entretanto, observou-se que o ensaio 1 também permitiu a obtenção de valores baixos de RCC ($9,81 \pm 0,33\%$) e acidez residual ($1,21 \pm 0,11\%$), tendo como vantagem menores condições de tempo e temperatura para o processo de mineralização da amostra, comparando-se com o ensaio 6. Diante disto, o ensaio 1 foi escolhido para a realização da digestão das amostras de batata inglesa. As condições do ensaio foram: 500 mg de amostra, 6 mL de HNO₃ 1 mol L⁻¹, 2 mL de H₂O₂ 30%, 15 minutos de digestão no topo da rampa de aquecimento, a uma temperatura de 170 °C.

5.2 Validação do método

Com a condição ótima estabelecida, deu-se início a etapa de validação do método analítico, por meio da avaliação de alguns parâmetros de desempenho como: linearidade, limites de detecção e quantificação, e exatidão.

5.2.1 Linearidade

A avaliação da linearidade do método foi realizada através do cálculo do coeficiente de correlação (r) das curvas analíticas. A ANVISA estabelece um valor mínimo de 0,990 para o coeficiente de correlação, a fim de evidenciar o ajuste linear dos dados (ANVISA, 2017). As curvas analíticas para todos os minerais estudados foram obtidas com 7 concentrações distintas (a ANVISA exige, no mínimo, 5 níveis distintos de concentração e a USEPA, no mínimo, 3 níveis). Na Tabela 12 são apresentados os valores de (r) e as equações das curvas analíticas obtidas para cada elemento usando as técnicas Fotometria de chama (Na e K) e ICP OES (Al, Ca, Cr, Cu, Fe, Mg e Pb). Foi possível observar que apenas a curva para o Ca não está em conformidade com o esperado.

Tabela 12 – Equações das curvas analíticas e valores do coeficiente de correlação de todos os metais estudados pelas técnicas ICP OES e fotometria de chama para a análise de amostras de batata inglesa.

Metal	Equação da curva analítica ^a	Coeficiente de correlação (r)
Al	$S = 198050C - 21015$	0,9994
Ca	$S = 80629C + 453804$	0,9891
Cr	$S = 111161C + 4752,2$	0,9992
Cu	$S = 217612C + 14639$	0,9989
Fe	$S = 127217C - 4897,2$	0,9999
K	$S = 1,0093C - 0,088$	0,9998
Mg	$S = 262525C - 8070,9$	0,9984
Na	$S = 1,0364C + 0,2757$	0,9999
Pb	$S = 5182,1C + 361,45$	0,9998

^aS = sinal analítico; C = concentração (mg L^{-1}).

Fonte: A autora, 2024.

5.2.2 Limite de detecção e quantificação

Limite de detecção (LD) é a menor concentração do analito presente em uma amostra que pode ser detectado, porém não necessariamente quantificado, de acordo com as condições experimentais estabelecidas. Enquanto que o limite de quantificação (LQ) corresponde à menor quantidade do analito em uma amostra que pode ser determinada com exatidão e precisão aceitáveis sob as condições experimentais estabelecidas. Ambos os limites podem ser estimados com base na curva analítica, calculados pelas Equações 9 e 10 (ANVISA, 2017; INMETRO, 2020).

$$LD = 3,3s/b \quad (\text{Equação 9})$$

Onde:

s: desvio padrão da resposta analítica das soluções do branco;

b: coeficiente angular da curva analítica de cada metal.

$$LQ = 10s/b \quad (\text{Equação 10})$$

Onde:

s: desvio padrão da resposta analítica das soluções do branco;

a: coeficiente angular da curva analítica de cada metal.

Na Tabela 13 estão listados os limites calculados para os metais determinados. Observa-se que o menor valor do limite de detecção foi para o Cr 0,001 mg kg⁻¹ e o maior foi para o Ca, com valor de 0,176 mg kg⁻¹. Para o limite de quantificação, o menor valor foi 0,0053 mg kg⁻¹ (Cr) e o maior valor foi 0,53 mg kg⁻¹ (Ca).

Tabela 13 – Limites de detecção e quantificação instrumentais pela técnica ICP OES e Fotometria de chama para Na e K.

Metal	LD (mg kg ⁻¹) ^a	LQ (mg kg ⁻¹) ^a	LD (mg L ⁻¹)	LQ (mg L ⁻¹)
Al	1,4	4,5	0,048	0,15
Ca	5,4	15,9	0,180	0,53
Cr	0,051	0,16	0,0017	0,0053
Cu	0,39	1,18	0,013	0,039
Fe	1,7	5,1	0,057	0,17
K	0,99	2,8	0,033	0,094
Mn	0,33	1,0	0,011	0,034
Na	9,3	24,9	0,31	0,83
Pb	0,57	1,68	0,019	0,056

^a Para calcular os LD e LQ em mg kg⁻¹, a seguinte relação foi utilizada: LQ (mg kg⁻¹) = LQ (mg L⁻¹) x 30 e LD (mg kg⁻¹) = LD (mg L⁻¹) x 30.

Fonte: A autora, 2024.

5.2.3 Exatidão

A avaliação da exatidão do método analítico foi realizada com materiais certificados de arroz, sendo eles Arroz Integral CRM-Agro C1001a e Arroz Integral Biodinamico CRM-Agro C1002a, e os resultados obtidos estão contidos na Tabela 14.

A prática de utilizar materiais certificados de arroz na validação de métodos de análise de amostras de batata é frequente, pois ambos os alimentos são ricos em amido (Sixto, 2023 e Norton, 2013).

As avaliações dos resultados foram feitas por meio da comparação entre a diferença absoluta entre a média dos valores medido e certificado (Δm) (Equação 11) e a incerteza expandida (U_{Δ}) (Equação 12) (Linsinger, 2010).

$$\Delta m = |C_M - C_{CRM}| \quad (\text{Equação 11})$$

Onde:

Δm : diferença absoluta entre a média do valor medido e valor certificado;

C_M : valor médio medido;

C_{CRM} : valor certificado.

Posteriormente, a incerteza u_{Δ} foi medida utilizando a Equação 12:

$$u_{\Delta} = \sqrt{u_M^2 + u_{CRM}^2} \quad (\text{Equação 12})$$

Onde:

u_{Δ} : incerteza combinada de resultado e valor certificado;

u_m : incerteza da medição resultado;

u_{CRM} : incerteza do valor certificado.

A incerteza expandida U_{Δ} , correspondente a um nível de confiança de aproximadamente 95%, é obtida pela multiplicação por um fator cobertura (k), geralmente igual a 2. Se $\Delta m \leq U_{\Delta}$, não há diferença estatisticamente significativa entre os valores comparados.

Tabela 14 – Resultados da avaliação da exatidão utilizando os materiais certificados de Arroz Integral CRM-Agro C1001a e Arroz Integral Biodinamico CRM-Agro C1002a.

Elemento	Valor experimental ^a (mg kg ⁻¹)	Valor certificado (mg kg ⁻¹) CRM-Agro C1002a	Valor experimental ^a (mg kg ⁻¹)	Valor certificado (mg kg ⁻¹) CRM-Agro C1001a	U_{Δ} (95%) ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	Δm
Al	12,0 ± 0,8	13,6 ± 3,5	*	*	3,60	1,56
Ca	*	*	120,3 ± 6,5	89,5 ± 32,2	32,85	30,8

Cu	2,01 ± 0,29	1,87 ± 0,23	*	*	0,37	0,14
Fe	13,7 ± 0,9	13,3 ± 1,3	17,4 ± 0,2	17,0 ± 1,3	1,60 1,31	0,4 0,4
Mg	1150 ± 69	1264 ± 56	1301 ± 27	1258 ± 116	88 119	114 43
Mn	17,3 ± 1,2	18,6 ± 1,0	68,0 ± 1,5	62,0 ± 4,4	1,60 4,64	1,04 6
Na	*	*	109 ± 5	117 ± 28	28	8
K	2084 ± 41	2058 ± 86	1901 ± 104	1852 ± 319	95 335	26 49

^aValor médio ± desvio-padrão (n = 9);

*Valor não declarado no certificado de análise do MRC.

* Cores - azul: CRM-Agro C1002a, vermelho: CRM-Agro C1001a

Fonte: A autora, 2024.

Com base nos dados da Tabela 14, conclui-se que não houve diferença estatística para Al, Ca, Cu, Fe, Na e K. No entanto, observou-se uma diferença estatística para Mg, na análise do CRM-Agro C1002a. Em contrapartida, o analito Mn, apresentou diferença estatística no CRM-Agro C1001a. Dado que a análise considerou os valores de incerteza em dois materiais, conclui-se que as medidas de Mg e Mn apresentaram um alto grau de confiabilidade em um dos CRMs avaliados.

5.3 Digestão das amostras de cenoura e chuchu

Para o preparo das amostras de cenoura e chuchu, para posterior quantificação dos minerais, foi aplicado o método desenvolvido por Serafim et al. (2023). Para o desenvolvimento da metodologia, a melhor condição de digestão ácida foi determinada pelo estudo dos efeitos de interação, bem como avaliação do gráfico de Pareto, através de um planejamento fatorial, a fim de permitir a otimização da composição ácida da mistura digestora em conjunto com outras variáveis de processo (tempo e temperatura).

O método foi validado para a decomposição de amostras de arroz, cenoura e chuchu (tanto crus quanto cozidos) utilizando HNO₃ diluído. Os limites de quantificação do método variam de 0,14 (Cr) a 3,4 mg kg⁻¹ (Pb), tendo os coeficientes de correlação próximo a um em todos os casos.

As curvas de calibração obtidas após a análise no ICP OES e fotometria de chama para a quantificação dos metais nas amostras de cenoura e chuchu estão listadas na Tabela 15.

Tabela 15 – Equações das curvas analíticas dos elementos estudados e seus respectivos valores de coeficiente de correlação para cenoura e chuchu.

Metal	Equação da curva analítica ^a	Coeficiente de correlação (r)
Al	$S = 32140C - 380008$	0,9979
Ca	$S = 195500C - 158913$	0,9997
Cr	$S = 153875C + 1547,9$	0,9996
Cu	$S = 298896C + 11049$	0,9997
Fe	$S = 170579C - 240,34$	0,9992
K	$S = 1,0174C - 0,3708$	0,9999
Mg	$S = 373629C - 18828$	0,9992
Na	$S = 1,0364xC + 0,2757$	0,9999
Pb	$S = 8323,3C - 802,41$	0,9878

^aS = sinal analítico; C = concentração (mg L⁻¹).

Fonte: A autora, 2024.

5.4 Quantificação dos minerais nas amostras de batata inglesa, cenoura e chuchu

Após a conclusão da validação do método analítico, procedeu-se à quantificação dos analitos nas amostras provenientes de diversas cidades, as quais foram submetidas a diferentes processos de cocção. Este procedimento visou avaliar as variações nas concentrações dos componentes determinados após a exposição a distintas formas de preparação culinária. A análise das amostras permitiu a obtenção de dados sobre como os níveis de analitos foram influenciados pelos variados métodos de cocção empregados nas diferentes localidades estudadas.

5.4.1 Chumbo

Entre os analitos cuja quantificação foi almejada, o Pb apresentou uma concentração abaixo do limite de detecção para todas as amostras. Essa constatação

é relevante, considerando as implicações tóxicas associadas a esse metal. Entretanto, é importante destacar que diversos fatores exercem influência na acumulação de Pb nos alimentos, abrangendo desde as concentrações dos metais no solo até os movimentos dos metais desde o solo até a superfície das raízes, o transporte dos metais da superfície das raízes para o interior destas e a translocação dos metais das raízes para outras partes da planta (Magna et al. 2013).

Essas constatações sugerem que a concentração de Pb no alimento tende a ser baixa, salvo em alguns casos de contaminação identificada (Correia, et al., 2016; Lima et al., 2013). Portanto, é possível inferir que, em condições normais, a presença de Pb em culturas como cenoura é controlada, refletindo em concentrações que estão aquém de níveis prejudiciais à saúde.

5.4.2 Alumínio

A Tabela 16 contém as concentrações de Al presentes nas amostras provenientes de diversas cidades, após distintos processos de cocção. Em algumas cidades as amostras não foram disponibilizadas por falta de cultivo local. A análise da Tabela 16 revela dados específicos sobre a presença e quantidade de Al nas amostras, fornecendo uma visão detalhada do impacto dos diferentes métodos de preparação culinária na concentração desse elemento. É válido pontuar que a consideração pós-cocção é essencial para compreender como as práticas de culinária podem influenciar as características químicas das amostras e, por conseguinte, contribuir para uma compreensão mais completa das implicações associadas à presença de Al nas diversas localidades examinadas.

Tabela 16 – Concentração de alumínio em amostras de batata inglesa, cenoura e chuchu, cruas e submetidas a diferentes processos de cocção (mg kg^{-1}).

Amostras/ Cidade	Batata (Crua) ^a	Batata (Cozida) ^{a,b}	Batata (MW) ^{a,c}	Cenoura (Crua) ^a	Cenoura (Cozida) ^{a,b}	Cenoura (MW) ^{a,c}	Chuchu (Cru) ^a	Chuchu (Cozido) ^{a,b}	Chuchu (MW) ^{a,c}
Belém de Maria	4,6 ± 0,2	17,1 ± 1,8	*	190 ± 2	246 ± 4	206 ± 7	204 ± 1	213 ± 6	204 ± 3
Buíque	12,5 ± 1,2	15,7 ± 9,0	10,1 ± 0,1	213 ± 5	232 ± 7	217 ± 3	243 ± 8	184 ± 1	199 ± 2
Camocim de São Felix	*	*	*	*	*	*	196 ± 4	215 ± 5	216 ± 2
Chã Grande	9,7 ± 0,6	36,9 ± 4,5	*	209 ± 3	219 ± 3	238 ± 21	202 ± 4	218 ± 5	*
Orobó	4,4 ± 0,1	21,2 ± 2,6	14,7 ± 1,3	202 ± 22	209 ± 5	205 ± 6	196 ± 1	212 ± 8	200 ± 4
Ouricuri	4,9 ± 0,1	16,6 ± 1,0	4,8 ± 0,3	195 ± 2	218 ± 4	210 ± 4	194 ± 5	205 ± 2	200 ± 4
Petrolina	5,3 ± 0,1	12,9 ± 0,4	5,7 ± 3,3	*	*	*	*	*	*
Recife	9,2 ± 0,8	21,9 ± 0,1	7,0 ± 2,6	9,2 ± 2,5	19,7 ± 8,2	11,7 ± 0,8	6,4 ± 0,1	17,2 ± 1,3	8,5 ± 0,1
Serra Talhada	5,3 ± 0,7	21,9 ± 0,1	17,3 ± 1,7	190 ± 4	234 ± 30	208 ± 2	196 ± 1	223 ± 4	210 ± 1
Faixa de concentração	4,4 - 12,5	12,9 - 36,9	4,8 - 17,3	9,2 - 213	19,7 - 246	11,7 - 238	6,4 - 243	17,2 - 223	8,5 - 216

^aValor médio ± desvio-padrão (n = 3).

<LD - abaixo do limite de detecção.

*- amostra não disponibilizada.

Cozida – Cocção em panela

MW – Cocção em forno de micro-ondas.

Fonte: A autora, 2024.

Com base nos dados contidos na Tabela 16, observou-se que várias amostras de batata inglesa, cenoura e chuchu de diferentes regiões demonstraram um aumento na concentração de Al após serem cozidas em panela. No entanto, os resultados também revelaram que algumas amostras apresentaram um aumento, enquanto outras mostraram uma diminuição na concentração de Al após serem cozidas em panela ou em forno micro-ondas. Um exemplo é a cidade de Ouricuri, onde a concentração do mineral aumentou nas amostras de batata cozinhada na panela, enquanto para as amostras cozidas no forno micro-ondas não foi verificada diferença significativa em relação a amostra crua.

Existem diferentes fatores que podem influenciar a transferência do metal para o alimento, e dentre esses fatores incluem-se o nível de acidez do meio, a duração do processo de cozimento, a presença de espécies que demonstrem afinidade pelo Al e o tempo de utilização do utensílio. Variáveis também importantes de serem avaliadas

são a água e composição da panela utilizada no processo de cocção. A avaliação da água destilada utilizada na cocção (Tabela 17) revelou que a concentração de Al no líquido encontrava-se abaixo do limite de detecção. Portanto, é possível inferir que o aumento observado não teve origem na água utilizada na cocção.

Tabela 17 – Determinação dos metais na água pura e em água fervida na panela.

Metal	Água pura (mg L ⁻¹)	Água fervida sem o alimento (branco) (mg L ⁻¹)
Al	<LD	1,44
Ca	<LD	<LD
Cr	<LD	<LD
Cu	<LD	<LD
Fe	0,04	0,01
K	0,02	<LD
Mg	<LD	0,2
Na	0,03	<LD
Pb	<LD	<LD

<LD - abaixo do limite de detecção.

Fonte: A autora, 2024.

Em relação à panela, um estudo realizado por da Silva et al. (2022) investigou a composição de uma panela da mesma marca utilizada neste procedimento experimental. A caracterização foi realizada por meio da análise de amostras do fundo e da lateral da panela usando a fluorescência de raios X por energia dispersiva EDXRF. Apenas as concentrações elementares acima de 0,1% foram apresentadas (Tabela 18).

Tabela 18 – Análise multielementar da panela de alumínio por meio da caracterização utilizando a técnica de EDXRF, a partir de amostras coletadas tanto do fundo quanto da lateral da panela.

Elemento	Concentração (% m m ⁻¹) ^a	
	Fundo	Lateral
Al	94,9 ± 0,7	97,8 ± 0,9
Ca	0,3 ± 0,2	0,2 ± 0,2
Cr	< 0,1	< 0,1
Cu	< 0,1	< 0,1
Fe	0,47 ± 0,03	0,48 ± 0,08
K	< 0,1	0,11 ± 0,01
Mn	< 0,1	< 0,1
Mo	< 0,1	< 0,1
Ni	< 0,1	< 0,1
P	4,0 ± 0,5	1,3 ± 0,7
Ta	< 0,1	< 0,1

^aValor médio $\pm$ desvio-padrão (n = 3).

Fonte: da Silva et al. (2022).

Com base nos dados, constatou-se que a panela utilizada apresentou um teor de alumínio de $94,9 \pm 0,7\%$ m m⁻¹ no fundo e $97,8 \pm 0,9\%$ m m⁻¹ nas laterais. Tendo em vista a suscetibilidade do alumínio à corrosão, é plausível considerar que esse fenômeno tenha contribuído para o aumento da concentração de alumínio nas amostras analisadas. Em consideração à potencial lixiviação de alumínio a partir da panela para a água, foi conduzido um experimento visando analisar a concentração de alumínio na água fervida na panela desprovida de adição de alimentos. O resultado revelou uma concentração média de 15,92 mg/L de alumínio na água fervida, indicando a transferência significativa de alumínio da panela para o líquido durante o processo de fervura.

Um estudo realizado por Lúcio (2010) analisou o uso de alguns utensílios na cocção de arroz. Os resultados mostraram que o uso da panela e colher de alumínio apresentaram maior migração deste para o arroz em comparação a utensílios feitos de polietileno e vidro. Outra pesquisa conduzida por Campos et al. (2020) demonstrou a influência da panela na concentração de Al em amostra de fígado, a qual teve um aumento de 40% após a cocção. É importante ressaltar que transferência do Al para a dieta humana tem sido objeto de muitos estudos nos últimos anos devido a suposições de que o Al influencia no desenvolvimento da Doença de Alzheimer.

O aumento na concentração de Al devido aos processos de cocção suscitou uma reflexão sobre a possível influência do pH do meio. Sabe-se que a batata e a cenoura exibem valores de pH mais ácido, registrando, respectivamente, valores entre 5,40-5,90 e 4,5, enquanto o chuchu varia em uma faixa mais neutra, entre 6,58-7,27 (Anon, 1962; Borges et al., 2015; Alves et al., 2010). Segundo Jorge (2013), o Al integra a classe dos metais suscetíveis à corrosão, sendo que seu comportamento exibe uma dependência significativa em relação à natureza do ambiente circundante. O pH, por sua vez, configura-se como um dos fatores de maior influência sobre as propriedades do Al ou de suas ligas quando inseridos em meios aquosos. A estabilidade da camada protetora é mais pronunciada quando o pH do ambiente se aproxima da neutralidade, diminuindo de maneira gradual à medida que o pH se desloca para faixas mais ácidas ou alcalinas.

A correlação entre o aumento da concentração de Al alumínio em alimentos cozidos e a acidez do pH, evidenciada nessas amostras, encontra respaldo em

estudos anteriores. Um exemplo é o trabalho realizado por Dantas et al. (2007) que identificou uma maior transferência de Al para molho de tomate durante o preparo, caracterizado por seu baixo valor de pH.

Ammar et al. (2023) observaram a influência da acidez na migração do Al. Esses autores também apontaram outros fatores que podem influenciar essa transferência, incluindo a qualidade e tipo da panela (fabricante), a temperatura e o tempo de cozimento, tendo observado que as panelas de pressão têm um impacto significativo na migração desse elemento químico.

Diante dos resultados obtidos, nota-se que o pH é um fator importante no processo de lixiviação do metal do utensílio para o alimento. Essas conclusões reforçam a importância de considerar não apenas as condições de preparo e cocção, mas também as características do alimento e, especialmente, o pH do meio como fatores determinantes na transferência de Al para os alimentos.

No Brasil, ainda não existe uma regulamentação específica sobre os níveis seguros de Al em alimentos, mas a Resolução nº 285 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária, de 21 de maio de 2019, veda a utilização de aditivos alimentares que contenham Al em diversas categorias de produtos alimentícios.

5.4.3 Cálcio

Na Tabela 19, estão apresentados os resultados da determinação de Ca nas amostras. Ao contrário do que é observado para a concentração de Al, nota-se, para a maioria das amostras, uma tendência de redução na concentração de Ca devido aos processos de cocção. Essa variação indica a influência significativa dos métodos de preparo na composição mineral das amostras, sugerindo que os processos de cocção desempenham um papel importante na modificação da concentração de Ca nas amostras analisadas.

Tabela 19 – Concentração de cálcio em amostras de batata inglesa, cenoura e chuchu, cruas e submetidas a diferentes processos de cocção (mg kg⁻¹).

Amostras/ Cidade	Batata (Crua) ^a	Batata (Cozida) ^{a,b}	Batata (MW) ^{a,c}	Cenoura (Crua) ^a	Cenoura (Cozida) ^{a,b}	Cenoura (MW) ^{a,c}	Chuchu (Cru) ^a	Chuchu (Cozido) ^{a,b}	Chuchu (MW) ^{a,c}
Belém de Maria	29,8 ± 6,6	8,9 ± 1,2	*	555 ± 78	349 ± 34	566 ± 105	239 ± 24	228 ± 14	238 ± 10
Buíque	<LD	<LD	<LD	798 ± 58	651 ± 90	727 ± 70	733 ± 87	485 ± 89	683 ± 130
Camocim de São Felix	*	*	*	*	*	*	383 ± 25	168 ± 9	433 ± 8
Chã Grande	234 ± 12	229 ± 13	*	710 ± 24	491 ± 30	555 ± 59	658 ± 54	522 ± 47	*
Orobó	360 ± 45	332 ± 83	374 ± 29	568 ± 25	315 ± 47	553 ± 32	544 ± 70	256 ± 18	321 ± 7
Ouricuri	145 ± 11	140 ± 19	142 ± 3	530 ± 46	446 ± 36	364 ± 11	313 ± 15	158 ± 24	212 ± 12
Petrolina	336 ± 6	210 ± 5	192 ± 3	*	*	*	*	*	*
Recife	157 ± 1	80,5 ± 4,8	107 ± 4	909 ± 11	716 ± 5	712 ± 49	537 ± 2	471 ± 3	508 ± 19
Serra Talhada	201 ± 2	68 ± 8	131 ± 5	645 ± 47	337 ± 60	714 ± 14	264 ± 19	232 ± 40	123 ± 8
Faixa de concentração	29,8 - 360	8,9 - 332	107 - 374	530 - 909	315 - 716	364 - 727	239 - 733	158 - 522	238 - 683

^aValor médio ± desvio-padrão (n = 3).

<LD - abaixo do limite de detecção.

*- amostra não disponibilizada.

^bCozida - Cocção por aquecimento condutivo em panela de alumínio.

^cMW – Cozida por radiação micro-ondas.

Fonte: A autora, 2024.

A redução dos minerais pode ocorrer durante os processos de cozimento devido à sua solubilidade em água ou aquecimento (Yadav et al., 2022). A diminuição na concentração de Ca, assim como de outros minerais, durante o cozimento não resulta da destruição desses nutrientes, mas sim em sua dissolução na água de cocção. Como exemplo disto a análise da água após o cozimento da cenoura em forno micro-ondas para a amostra da cidade de Buíque revelou uma concentração de 14,1 mg L⁻¹ de Ca.

Resultados parecidos com esses foram obtidos em outros estudos realizados por Santos; Abreu; Carvalho (2003), com amostras de folhas de brócolis, couve-flor e folhas de couve, nos quais foi observado que o processo de cocção não apenas diminui a concentração de Ca em todas as amostras como também os teores de P, K,

Mg e Fe. Marafon et al. (2018) também observaram que a cocção reduziu cerca de 55% da concentração de Ca em amostras de brócolis.

Entretanto, nesse trabalho foi obtido um resultado pouco comum durante a análise; algumas amostras submetidas ao cozimento no forno de micro-ondas apresentaram um aumento na concentração de Ca (Tabela 19), como o chuchu da cidade de Camocim de São Felix. Essa observação peculiar encontra paralelos em estudos anteriores, ao quais relataram aumento de alguns minerais após o processo de cocção. Scheibler et al. (2010) identificaram aumento de K e de Na em batatas desidratadas e cozidas no micro-ondas, bem como aumento de sódio em cenouras.

Outros estudos, como o de Goran et al. (2016) com amostras de carne bovina cozida no micro-ondas, Oghbaei e Prakash (2017) com amostras de grama verde e Sallas et al. (2019) com amostras de cenoura, também relataram variações nos teores de Ca, incluindo aumento e redução em diferentes contextos de processamento. Essa diversidade de resultados destaca a importância de mais pesquisas para validar e compreender completamente os efeitos do processamento de alimentos, especialmente no que diz respeito às alterações no teor de Ca.

Além dos efeitos da cocção, também foi possível concluir que os alimentos estudados apresentam uma elevada concentração de Ca, constituindo um benefício substancial para a nossa saúde. O Ca, um elemento de importância vital para o organismo, desempenha um papel crucial na mineralização óssea. Sua relevância se estende, sobretudo, à saúde óssea, abrangendo desde o estágio inicial de formação até a subsequente manutenção da estrutura e rigidez do esqueleto (Bueno, 2008).

Conforme orientações do *National Institutes of Health* (2024) a ingestão diária recomendada de Ca para adultos é estabelecida em 1000 mg dia⁻¹, enquanto para adolescentes é de 1300 mg dia⁻¹. No entanto, constata-se que o consumo real no país está consideravelmente aquém do preconizado. Uma pesquisa conduzida com adolescentes de 12 a 17 anos, abrangendo diversas localidades em 124 cidades nas cinco regiões do país, revelou uma situação preocupante. Os resultados indicaram que 99% de jovens do sexo feminino e 94%-97% de jovens do sexo masculino apresentaram inadequação na ingestão de Ca (Azevedo et al., 2017).

Com base nesses resultados, a análise da composição mineral da batata inglesa, cenoura e chuchu oferece informações valiosas à população, indicando que o consumo desses alimentos pode atuar como uma medida para suprir deficiências dietéticas e, assim, prevenir potenciais danos à saúde. Importa ressaltar que a

utilização do forno de micro-ondas emerge como a abordagem mais apropriada quando se busca preservar a concentração de Ca.

5.4.4 Cobre

Na Tabela 20 estão contidos os dados obtidos na quantificação de cobre nas amostras, ao analisar minuciosamente torna-se evidente que as amostras de cenoura e chuchu exibem, em média, um teor de Cu significativamente mais elevado em comparação com as amostras de batata inglesa. Importante ressaltar que há uma notável similaridade nas concentrações desse mineral entre as amostras de cenoura e chuchu. Esse paralelismo merece destaque, pois sugere uma tendência consistente na presença desse elemento nos dois vegetais. Essa análise mais detalhada das concentrações de Cu nas diferentes amostras contribui para uma compreensão mais completa do perfil mineral desses alimentos.

É válido pontuar que a cocção de maneira geral acarretou um leve aumento na concentração de Cu nas amostras. Sabe-se que a concentração de Cu na panela de alumínio utilizada neste procedimento experimental é $< 0,1 \text{ \% m m}^{-1}$ (Tabela 18). No entanto, em um estudo realizado com amostras de arroz, feijão, inhame e banana-da-terra foi relatado que a concentração de Cu em todos os alimentos após a cocção foi maior naqueles cozidos utilizando panela de alumínio do que de aço inoxidável (Dan; Ebong, 2013).

Tabela 20 – Concentração de cobre em amostras de batata inglesa, cenoura e chuchu, cruas e submetidas a diferentes processos de cocção (mg kg^{-1}).

Amostras/ Cidade	Batata (Crua) ^a	Batata (Cozida) ^{a,b}	Batata (MW) ^{a,c}	Cenoura (Crua) ^a	Cenoura (Cozida) ^{a,b}	Cenoura (MW) ^{a,c}	Chuchu (Cru) ^a	Chuchu (Cozido) ^{a,b}	Chuchu (MW) ^{a,c}
Belém de Maria	<LD	7,4 ± 2,4	*	2,6 ± 0,1	5,7 ± 0,1	5,8 ± 0,1	5,3 ± 0,1	5,9 ± 0,1	5,3 ± 0,1
Buíque	0,94 ± 0,19	1,1 ± 0,1	1,1 ± 0,1	5,6 ± 0,1	5,9 ± 0,1	5,8 ± 0,1	5,5 ± 0,1	5,6 ± 0,1	5,5 ± 0,1
Camocim de São Felix	*	*	*	*	*	*	<LD	0,82 ± 0,04	0,59 ± 0,05
Chã Grande	2,0 ± 0,5	2,8 ± 0,6	*	5,5 ± 2,3	5,4 ± 0,1	5,7 ± 0,1	5,5 ± 0,1	5,3 ± 1	*
Orobó	2,4 ± 0,1	4,0 ± 0,3	4,7 ± 0,6	4,6 ± 0,2	5,5 ± 0,1	4,3 ± 0,1	4,7 ± 0,1	5,4 ± 0,2	4,6 ± 0,1
Ouricuri	1,7 ± 0,8	1,5 ± 0,3	1,3 ± 0,1	5,0 ± 0,1	1,7 ± 0,1	5,3 ± 0,1	4,6 ± 0,1	5,2 ± 0,1	5,0 ± 0,1
Petrolina	1,7 ± 0,1	6,3 ± 1,0	3,4 ± 0,2	*	*	*	*	*	*
Recife	3,3 ± 0,3	4,7 ± 0,1	4,5 ± 0,2	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Serra Talhada	2,6 ± 0,4	3,5 ± 0,2	5,0 ± 0,2	4,7 ± 0,1	5,5 ± 0,1	5,4 ± 0,1	5,0 ± 0,1	5,6 ± 0,1	5,5 ± 0,1
Faixa de concentração	0,94 - 3,3	1,1 - 7,4	1,1 - 5,0	2,6 - 5,6	1,7 - 5,9	4,3 - 5,8	4,6 - 5,5	0,82 - 5,9	0,59 - 5,5

^aValor médio ± desvio-padrão (n = 3).

<LD - abaixo do limite de detecção.

*- amostra não disponibilizada.

^bCozida - Cocção por aquecimento condutivo em panela de alumínio.

^cMW – Cozida por radiação micro-ondas.

Fonte: A autora, 2024.

Os resultados da quantificação de Cu (Tabela 20) para amostras cruas, despertaram o interesse em avaliar na literatura o que os pesquisadores têm encontrado. Bvenura e Afolayan (2012) analisaram a presença de metais pesados em vegetais cultivados em jardins domésticos, e dentre os metais determinados, as seguintes concentrações foram encontradas para o Cu: 0,62 mg kg^{-1} no repolho; 3,08 mg kg^{-1} na cenoura; 6,87 mg kg^{-1} no espinafre; 8,70 mg kg^{-1} na cebola; e 7,46 mg kg^{-1} no tomate.

Um segundo levantamento que examinou 373 amostras de cenoura provenientes de várias regiões da China revelou que a concentração de Cu em cenouras variava. A menor concentração, de 20 mg kg^{-1} , foi encontrada em cenouras da cidade de Chugoku, enquanto a maior concentração, de 64 mg kg^{-1} , foi registrada em cenouras de Kanto. Os resultados indicaram diferenças significativas nos valores

médios de Cu entre as províncias, embora não tenha havido variação significativa entre os tipos de solo (Kawada et al., 2002). Em uma pesquisa subsequente, Bambara et al. (2023) analisou a presença de Cu em diversas hortaliças, incluindo cenouras, e constatou uma concentração média de $17,6 \text{ mg kg}^{-1}$. Por sua vez, Garcia et al. (2022) examinou amostras de batata inglesa, encontrando uma quantidade média de $1,92 \pm 0,04 \text{ mg kg}^{-1}$.

5.4.5 Ferro

Na quantificação do teor de Fe nas amostras, conforme apresentado na Tabela 21, observa-se uma tendência geral de aumento na concentração do referido elemento após o processo de cocção. Resultados parecidos foram obtidos por Coutinho (2021), que também relatou aumento na concentração de Fe em amostras de batata após o processo de cocção. Essa variação na concentração de Fe sugere que o processo de cocção pode influenciar a liberação desse mineral para os alimentos, indicando possíveis interações entre o recipiente de cozimento e o alimento ou a água usada na cocção. É válido ressaltar que a panela utilizada no experimento contém uma concentração média de Fe de $0,47 \pm 0,03 \% \text{ m m}^{-1}$ no fundo e $0,48 \pm 0,08 \% \text{ m m}^{-1}$ na lateral (Tabela 18).

Adicionalmente, a análise da água utilizada para cocção revelou uma concentração de $0,04 \text{ mg L}^{-1}$ (Tabela 17). Logo, nota-se que o alimento demonstrou uma capacidade significativa de absorver o Fe quando inserido em um meio que o contenha. Esse resultado demonstra a interação entre os alimentos e os utensílios de cozinha/ modo de preparo, destacando a relevância de escolher cuidadosamente os materiais dos utensílios.

Tabela 21 - Concentração de ferro em amostras de batata inglesa, cenoura e chuchu, cruas e submetidas a diferentes processos de cocção (mg kg⁻¹).

Amostras/ Cidade	Batata (Crua) ^a	Batata (Cozida) ^{a,b}	Batata (MW) ^{a,c}	Cenoura (Crua) ^a	Cenoura (Cozida) ^{a,b}	Cenoura (MW) ^{a,c}	Chuchu (Cru) ^a	Chuchu (Cozido) ^{a,b}	Chuchu (MW) ^{a,c}
Belém de Maria	19,3 ± 1,2	24,3 ± 2,9	*	14,3 ± 1,7	27,9 ± 2,2	31,4 ± 9,8	19,8 ± 1,1	40,9 ± 1,6	34 ± 16
Buíque	27,1 ± 1,1	37,0 ± 2,1	28,1 ± 8,1	22,1 ± 2,0	43,8 ± 1,2	45,8 ± 1,2	79,5 ± 1,8	126,6 ± 7,9	49,7 ± 4,0
Camocim de São Felix	*	*	*	*	*	*	27,3 ± 1,0	29,1 ± 1,0	28,1 ± 1,5
Chã Grande	17,9 ± 0,7	17,2 ± 0,6	*	39 ± 13	42,4 ± 0,3	95,7 ± 2,8	46,1 ± 5,2	19,0 ± 0,7	*
Orobó	13,8 ± 0,6	24,3 ± 1,5	30,1 ± 2,4	12,0 ± 0,8	62,4 ± 5,5	31,2 ± 1,3	13,4 ± 1,9	<LD	13,4 ± 0,6
Ouricuri	20,6 ± 0,1	30,4 ± 1,6	36,2 ± 3,5	29,1 ± 5,1	<LD	18,2 ± 1,0	7,6 ± 1,9	30,3 ± 1,5	23,8 ± 1,4
Petrolina	15,7 ± 0,2	20,1 ± 1,1	13,7 ± 2,1	*	*	*	*	*	*
Recife	20,0 ± 1,2	21,1 ± 0,8	23,5 ± 0,3	58,5 ± 8,8	48,8 ± 1,1	55,4 ± 1,2	64,8 ± 0,1	73,6 ± 7,1	74,1 ± 0,7
Serra Talhada	24,9 ± 3,4	22,9 ± 1,7	27,1 ± 1,6	20,6 ± 5,0	31,6 ± 9,4	39,6 ± 4,0	24,3 ± 1,6	54,4 ± 1,9	51,4 ± 3,0
Faixa de concentração	13,8 - 27,1	17,2 - 37,0	13,7 - 36,2	12,0 - 58,5	27,9 - 62,4	18,2 - 95,7	7,6 - 79,5	19,0 - 126,6	13,4 - 74,1

^aValor médio ± desvio-padrão (n = 3).

<LD - abaixo do limite de detecção.

*- amostra não disponibilizada.

^bCozida - Cocção por aquecimento condutivo em panela de alumínio.

^cMW – Cozida por radiação micro-ondas.

Fonte: A autora, 2024.

A absorção do Fe pelo alimento foi bastante expressiva em um trabalho conduzido por Geerligts et al. (2004) no qual os pesquisadores relataram que o teor de Fe em milho, feijão e legumes preparados com panela de Fe aumentou de 3,15 para 147,32 ug g⁻¹. Em outra pesquisa conduzida por Adish et al. (1999) a concentração de Fe no preparo de legumes foi identificada como aproximadamente 1,5 vezes maior quando cozidos em panelas de ferro em comparação com o alimento cru.

Um teste realizado durante três meses com crianças entre 2 e 5 anos mostrou que o consumo de alimento cozidos em panela de Fe tem o potencial de diminuir a proporção de crianças anêmicas de 57% para 13% (Adish, 1999). Os resultados apresentados acima evidenciam a notável capacidade dos alimentos em absorver Fe.

Este conhecimento tem encontrado aplicação na sociedade, onde se buscam meios de enriquecer alimentos com o referido mineral.

Embora o consumo de Fe proporcione diversos benefícios segundo o *National Institutes of Health* (2022), se consumido em excesso pode acarretar inflamação estomacal, úlceras e diminuição da absorção de Zn. Doses extremamente altas, na casa das centenas ou milhares de miligramas, podem resultar em falência de órgãos, coma, dentre outras sequelas. Diante disto, o Ministério da Saúde (Brasil, 2005) recomenda um consumo de 14 mg dia⁻¹ para adultos, 9 mg dia⁻¹ para lactantes e 9 mg dia⁻¹ para crianças entre 7-10 anos.

5.4.6 Cromo

Ao analisar os resultados da presença de Cr nas amostras em questão (Tabela 22), é notável que as amostras de batata inglesa exibem uma concentração bastante reduzida desse elemento. Baixos teores de Cr também foram identificados em estudos anteriores com amostras de batata inglesa. Cònsolo (2015) relatou que o teor de Cr encontrado nas suas amostras foi de $0,03 \pm 0,0002$ mg kg⁻¹. Em outra pesquisa que abrangeu diversas variedades de batatas frescas consumidas na ilha de Tenerife (Ilhas Canárias, Espanha), os valores encontrados variaram de $0,69 \pm 0,12$ até $3,53 \pm 1,95$ mg 100 g⁻¹ de amostra (Luís et al., 2011). Um terceiro estudo, focalizado em amostras de batatas italianas, revelou um teor médio de Cr de 0,066 µg (Di Giacomo et al., 2007).

Em relação às amostras de cenoura, observou-se que as amostras de Buíque, tiveram uma leve diminuição na concentração de Cr após a aplicação de diferentes processos de cocção. Esses resultados corroboram com descobertas semelhantes apresentadas por Razzak em 2023, que demonstrou uma diminuição na concentração de Cr em amostras de cenoura após o processo de cocção, passando de 8,3 mg kg⁻¹ para 7,7 mg kg⁻¹.

Em consonância com essas conclusões, um estudo adicional conduzido por Joshua em 2012, utilizando diversas amostras de vegetais, incluindo abóbora e espinafre, também indicou que a concentração de Cr diminuiu à medida que o tempo de cocção aumentou. As amostras foram submetidas à cocção, com tempos de exposição de 5, 15, 20, 25 e 30 minutos. Os resultados dessas análises revelaram

uma tendência consistente de redução na concentração de Cr à medida que o tempo de cocção se estendia.

Essas descobertas destacam a influência significativa do processo de cocção na concentração de Cr em vegetais, sugerindo que a manipulação térmica pode desencadear alterações nas propriedades químicas desses alimentos. Portanto, tais estudos contribuem para uma compreensão mais aprofundada dos efeitos dos métodos de preparo na composição nutricional dos vegetais, o que é essencial para orientar práticas alimentares saudáveis.

Tabela 22 – Concentração de cromo em amostras de batata inglesa, cenoura e chuchu, cruas e submetidas a diferentes processos de cocção (mg kg⁻¹).

Amostras/ Cidade	Batata (Crua) ^a	Batata (Cozida) ^{a,b}	Batata (MW) ^{a,c}	Cenoura (Crua) ^a	Cenoura (Cozida) ^{a,b}	Cenoura (MW) ^{a,c}	Chuchu (Cru) ^a	Chuchu (Cozido) ^{a,b}	Chuchu (MW) ^{a,c}
Belém de Maria	<LD	<LD	*	0,56 ± 0,02	0,80 ± 0,04	0,73 ± 0,05	0,72 ± 0,01	1,1 ± 0,1	0,76 ± 0,03
Buíque	<LD	<LD	<LD	0,73 ± 0,01	0,71 ± 0,03	0,70 ± 0,08	<LD	<LD	0,75 ± 0,03
Camocim de São Felix	*	*	*	*	*	*	1,0 ± 0,1	0,79 ± 0,05	0,84 ± 0,04
Chã Grande	<LD	<LD	*	0,66 ± 0,01	1,1 ± 0,1	1,6 ± 0,1	0,71 ± 0,11	2,2 ± 0,1	*
Orobó	<LD	<LD	<LD	<LD	0,71 ± 0,01	0,74 ± 0,01	0,17 ± 0,61	1,2 ± 0,1	0,72 ± 0,02
Ouricuri	<LD	<LD	<LD	0,63 ± 0,01	15,1 ± 0,1	0,82 ± 0,10	0,63 ± 0,05	<LD	0,61 ± 0,01
Petrolina	<LD	<LD	<LD	*	*	*	*	*	*
Recife	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Serra Talhada	<LD	<LD	<LD	0,71 ± 0,02	0,70 ± 0,06	0,69 ± 0,04	0,43 ± 0,04	0,67 ± 0,03	0,58 ± 0,01
Faixa de concentração	-	-	-	0,56 - 0,73	0,70 - 15,1	0,69 - 1,6	0,43 - 1,0	0,67 - 2,2	0,58 - 0,84

^aValor médio ± desvio-padrão (n = 3).

<LD - abaixo do limite de detecção.

*- amostra não disponibilizada.

^bCozida - Cocção por aquecimento condutivo em panela de alumínio.

^cMW – Cozida por radiação micro-ondas.

Fonte: A autora, 2024.

Em uma análise contínua dos resultados expressos na Tabela 22, é possível observar para algumas amostras um discreto aumento na concentração de Cr após passarem pelos diferentes processos de cocção. Entretanto, a análise da água utilizada no processo de cocção revelou uma concentração abaixo do limite de

detecção, enquanto a análise de uma panela semelhante a utilizada no procedimento indicou uma concentração $<1,1 \text{ \% m m}^{-1}$ (Tabela 18).

Semelhante aos estudos realizados para o Al que examinam a influência da composição do alimento, torna-se essencial a análise dos fatores que facilitam a transferência do Cr para amostras alimentícias, bem como a consideração da influência da matriz, que pode afetar a concentração do analito. Esta abordagem mais ampla permite uma compreensão mais profunda dos mecanismos subjacentes ao aumento do teor de Cr durante o processo de cocção, oferecendo informações valiosas para a condução das práticas culinárias, bem como para a compreensão dos potenciais impactos na composição nutricional dos alimentos.

5.4.7 Potássio

Para o K, observou-se uma diminuição na concentração em todas as amostras após o processo de cocção, os resultados estão contidos na Tabela 23. Similarmente, resultados comparáveis foram encontrados em um estudo conduzido por Scheibler et al. (2010) no qual foi realizada uma avaliação abrangente sobre o impacto de diferentes métodos de cocção como micro-ondas, cozimento convencional e vapor, na concentração de K em amostras de batata inglesa. Os resultados de sua pesquisa revelaram que o processo de cozimento convencional é o principal responsável pela redução do teor de K no alimento. Além disso, Copetti et al. (2010) em seus estudos também analisou amostras de batata e cenoura, abordando diversos métodos de cocção, como fervura, micro-ondas, pressão e remolho. Os resultados dessas análises indicaram que, para a batata inglesa, a cocção por micro-ondas provocou a maior perda de K, enquanto, para a cenoura, foi a cocção sob pressão que resultou na diminuição mais significativa na concentração desse mineral.

Tabela 23 – Concentração de potássio em amostras de batata inglesa, cenoura e chuchu, cruas e submetidas a diferentes processos de cocção (mg kg⁻¹).

Amostras/ Cidade	Batata (Crua) ^a	Batata (Cozida) ^{a,b}	Batata (MW) ^{a,c}	Cenoura (Crua) ^a	Cenoura (Cozida) ^{a,b}	Cenoura (MW) ^{a,c}	Chuchu (Cru) ^a	Chuchu (Cozido) ^{a,b}	Chuchu (MW) ^{a,c}
Belém de Maria	14479 ± 118	12610 ± 763	*	31204 ± 502	25889 ± 341	23302 ± 268	11643 ± 650	11353 ± 575	8966 ± 303
Buíque	18471 ± 284	10405 ± 58	10590 ± 297	33887 ± 1645	29615 ± 1096	25003 ± 1232	9058 ± 555	4375 ± 210	7838 ± 65
Camocim de São Felix	*	*	*	*	*	*	12029 ± 208	11089 ± 101	11120 ± 95
Chã Grande	24430 ± 616	13045 ± 79	*	19612 ± 569	14982 ± 490	16256 ± 426	12950 ± 151	9553 ± 431	*
Orobó	17725 ± 648	13516 ± 117	16593 ± 371	12674 ± 289	12355 ± 229	10086 ± 242	11756 ± 391	7633 ± 280	11128 ± 102
Ouricuri	16349 ± 387	14672 ± 352	9706 ± 457	28929 ± 247	21572 ± 186	20250 ± 322	8723 ± 166	7237 ± 71	8179 ± 782
Petrolina	24050 ± 458	10030 ± 140	4724 ± 570	*	*	*	*	*	*
Recife	21891 ± 176	10824 ± 105	8903 ± 149	43398 ± 194	35596 ± 1887	31631 ± 96	20966 ± 312	16535 ± 648	14407 ± 568
Serra Talhada	8416 ± 234	8140 ± 268	8227 ± 45	29231 ± 271	20992 ± 217	20457 ± 203	21874 ± 446	12312 ± 976	8789 ± 213
Faixa de concentração	8416 - 24430	8140 - 14672	4724 - 16593	12674 - 43398	12355 - 35596	10086 - 31631	8723 - 21874	7237 - 16535	7838 - 14407

^aValor médio ± desvio-padrão (n = 3).

<LD - abaixo do limite de detecção.

*- amostra não disponibilizada.

^bCozida - Cocção por aquecimento condutivo em panela de alumínio.

^cMW – Cozida por radiação micro-ondas.

Fonte: A autora, 2024.

Sampaio et al. (2023) investigaram os efeitos de diferentes métodos de cocção, tais como cocção em panela uma vez e duas vezes, pressão, vapor e micro-ondas em amostras de batata inglesa e cenoura. Os resultados indicaram que a cocção sob pressão resultou na maior perda de K na amostra de batata inglesa, enquanto a imersão em água pela segunda vez foi responsável pela maior redução na concentração de K na cenoura.

Pigoli (2012) relatou em sua pesquisa a diminuição do K em polpa de cenoura submetida a diferentes processos de cocção. Os métodos avaliados foram: cocção em panela, por vapor, em panela de pressão e micro-ondas. Os pesquisadores perceberam que a maior perda de K ocorreu nas amostras cozidas em forno de micro-ondas. Os pesquisadores também avaliaram a casca da cenoura e a maior perda foi na cocção realizada em panela de pressão. Essas conclusões convergentes de

diferentes pesquisadores destacam a sensibilidade do K aos diferentes processos culinários, fornecendo informações valiosas para a compreensão dos efeitos da cocção na composição nutricional desses alimentos.

Os dados apresentados nesta pesquisa, conforme dispostos na Tabela 23, assumem uma importância significativa ao buscar abordagens na preparação dos alimentos que visem a minimização das perdas de K. Tendo em vista que a Organização Mundial da Saúde (2006) preconiza um consumo diário de 3500 mg desse mineral, torna-se evidente que a batata inglesa, a cenoura e o chuchu se destacam como alimentos com notável potencial para atender às necessidades corporais desse importante nutriente.

É válido ainda pontuar que o mineral K sofre reduções substanciais durante o processo culinário. Dependendo do tipo de alimento, segundo Santos (2018) essas perdas podem alcançar valores próximos a 70%. Portanto, optar por métodos de preparo que preservem a água de cocção, como o caso de sopas de vegetais e ensopados, pode representar uma estratégia crucial para mitigar essas perdas.

5.4.8 Sódio

Em relação a determinação do teor de Na (Tabela 24) nas amostras de cenoura e chuchu, observou-se que a amostra de cenoura (Belém de Maria) foi a única em que ocorreu uma redução tanto nas amostras cozidas em panela quanto nas preparadas por forno de micro-ondas. Em contrapartida, no caso do chuchu (Belém de Maria) houve um aumento na concentração de Na após o processo de cocção em panela.

A diminuição no teor de Na após o cozimento de cenoura e chuchu também foi observada em estudos conduzidos por Nascimento (2019). No estado inicial, as amostras de cenoura e chuchu cruas apresentavam concentrações de Na de $20,0 \pm 1,0 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$ e $16,0 \pm 0,7 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$, respectivamente, após a cocção, esses valores diminuíram para $16,0 \pm 0,9 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$ e $12,0 \pm 0,8 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$, respectivamente, indicando uma alteração significativa durante o processo de preparo.

Na Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TACO) (NEPA, 2011), as amostras de chuchu e cenoura cruas e cozida também apresentam uma perda na concentração de Na no valor de 0,2 para 0,1 $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$ para ambos os alimentos. Biežanowska-kopeć et al. (2016) fez um estudo com amostras de cenouras e observou que a concentração de Na diminui após o processo de cocção $771,9 \pm 15,6$

mg 100g⁻¹ para 473,0 ± 18,6 mg 100 g⁻¹. Uma ressalva interessante feita pelos pesquisadores é que as variações nos teores de micro e macroelementos ao longo do tempo de cozimento das cenouras não seguem uma direção uniforme, manifestando-se em aumento, diminuição e ausência de alterações.

Em relação a amostras que tiveram aumento de Na, Serafim et al. (2023) também relataram aumento do teor de Na em amostras de cenouras e chuchu após o processo de cocção. O teor de Na na amostra de cenoura crua foi de 2841 ± 24 ug. g⁻¹ e após a cocção 4257 ± 50 ug. g⁻¹ e para as amostras de chuchu cru e cozido foram respectivamente 245 ± 11 e 1991 ± 39 ug. g⁻¹.

De Castro et al. (2021) também observou em suas pesquisas o aumento no teor de Na ao cozinhar cenoura usando cinco diferentes processos e, em todos, os pesquisadores reportaram o aumento na concentração. Na amostra de cenoura crua, a concentração foi de 3,6 ± 0,1 mg 100 g⁻¹, quando cozida em panela 4,7 ± 0,4 mg 100 g⁻¹ e cozimento em micro-ondas 5,2 ± 0,2 mg 100 g⁻¹ de amostra.

Tabela 24 – Concentração de sódio em amostras de batata inglesa, cenoura e chuchu, cruas e submetidas a diferentes processos de cocção (mg kg⁻¹).

Amostras/ Cidade	Batata (Crua) ^a	Batata (Cozida) ^{a,b}	Batata (MW) ^{a,c}	Cenoura (Crua) ^a	Cenoura (Cozida) ^{a,b}	Cenoura (MW) ^{a,c}	Chuchu (Cru) ^a	Chuchu (Cozido) ^{a,b}	Chuchu (MW) ^{a,c}
Belém de Maria	1143 ± 16	2166 ± 204	*	1001 ± 77	612 ± 38	452 ± 31	92 ± 21	195 ± 51	107 ± 25
Buíque	1370 ± 210	1720 ± 15	1403 ± 23	495 ± 30	452 ± 29	522 ± 4	239 ± 44	111 ± 25	113 ± 21
Camocim de São Felix	*	*	*	*	*	*	136 ± 19	79,1 ± 4,4	89,7 ± 5,8
Chã Grande	1238 ± 125	1247 ± 123	*	541 ± 57	435 ± 48	733 ± 72	274 ± 31	161 ± 36	*
Orobó	1085 ± 15	1709 ± 198	1562 ± 51	10718 ± 245	11633 ± 206	7130 ± 175	358 ± 34	155 ± 32	72,2 ± 11,6
Ouricuri	1043 ± 2	1473 ± 2	1142 ± 49	4874 ± 101	9006 ± 137	7705 ± 105	380 ± 28	97 ± 19	113 ± 6
Petrolina	1077 ± 2	1242 ± 169	1122 ± 66	*	*	*	*	*	*
Recife	1159 ± 29	1303 ± 248	1304 ± 99	15900 ± 272	8766 ± 42	12772 ± 728	5100 ± 12	4780 ± 170	4509 ± 553
Serra Talhada	1121 ± 58	1148 ± 35	1112 ± 67	1630 ± 52	1158 ± 70	1512 ± 75	115,1 ± 23,3	79,4 ± 21,8	112 ± 17
Faixa de concentração	1043 - 1370	1148 - 2166	1112 - 1562	495 - 15900	435 - 11633	452 - 12772	92 - 5100	79,1 - 4780	72,2 - 4509

^aValor médio ± desvio-padrão (n = 3).

<LD - abaixo do limite de detecção.

*- amostra não disponibilizada; ^bCozida - Cocção por aquecimento condutivo em panela de alumínio;

^cMW – Cozida por radiação micro-ondas.

Fonte: A autora, 2024.

No contexto das amostras de batata, o Na apresentou um comportamento oposto, sendo retido após a aplicação dos métodos de cocção, resultando em quantidades mais elevadas nas amostras analisadas. Esta retenção é possivelmente atribuída à presença de amido na batata, o qual, ao ser aquecido, atua como um coloide, retendo íons pequenos, como o Na (Copetti et al., 2010). Uma vez que a água destilada que foi utilizada na cocção apresentou uma concentração de $0,03 \text{ mg L}^{-1}$ de Na, possivelmente houve retenção dos íons.

A TACO (2011) corrobora com essas observações ao registrar o aumento do teor de Na após a cocção da batata inglesa. Para a amostra crua é mencionado um valor na forma de traço e após a cocção o teor de Na é relatado como $2 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$. Esses dados ressaltam a dinâmica complexa da interação entre a composição dos alimentos e os métodos de preparo, evidenciando a influência significativa do amido na retenção de Na durante o processo de cocção da batata.

Outras pesquisas realizadas exploraram o aumento do teor de Na em amostras de batata inglesa, analisando quatro variedades distintas de batata doméstica, tanto no estado cru quanto depois de cozidas por fervura. As variedades estudadas incluíram Superior, Dejima, Vale Bora e Rosa. Os resultados desses estudos apontaram que as variedades Superior e Rosa apresentaram um aumento significativo no teor de Na após o processo de cocção, enquanto Dejima e Vale Rosa mostraram uma diminuição. Essa constatação amplia a compreensão sobre a dinâmica da variação do Na em diferentes cultivares de batata e destacam a importância de considerar a diversidade genética ao avaliar as alterações nos elementos químicos durante os processos culinários (Jin et al., 2016).

5.4.9 Manganês

A determinação de Mn em amostras de batata inglesa revelou concentrações abaixo do limite de quantificação, indicando uma baixa presença desse mineral (Tabela 25). No que diz respeito às amostras de cenoura e chuchu, observou-se que o processo de cocção influenciou significativamente a absorção de Mn. Em algumas amostras, a cocção em forno de micro-ondas resultou no maior ganho desse mineral, enquanto em outras, a cocção em panela foi mais eficaz. Notavelmente, apenas uma amostra de chuchu (Chã Grande) apresentou perda de manganês após o processo de cocção.

A análise da água utilizada no processo de cocção mostrou que a concentração do manganês estava abaixo do limite de detecção. A panela utilizada tem na sua composição $<0,1 \text{ \% m.m}^{-1}$ de Mn (Tabela 18). Logo, observa-se a necessidade de realizar mais pesquisas sobre os diferentes fatores que podem acarretar no aumento da concentração do mineral.

Tabela 25 – Concentração de manganês em amostras de batata inglesa, cenoura e chuchu, cruas e submetidas a diferentes processos de cocção (mg kg^{-1}).

Amostras/ Cidade	Batata (Crua) ^a	Batata (Cozida) ^{a,b}	Batata (MW) ^{a,c}	Cenoura (Crua) ^a	Cenoura (Cozida) ^{a,b}	Cenoura (MW) ^{a,c}	Chuchu (Cru) ^a	Chuchu (Cozido) ^{a,b}	Chuchu (MW) ^{a,c}
Belém de Maria	<LD	<LD	*	$3,5 \pm 0,3$	$4,4 \pm 0,4$	$5,4 \pm 0,8$	$8,7 \pm 0,4$	$10,1 \pm 0,7$	$12,5 \pm 0,8$
Buíque	<LD	<LD	<LD	$4,3 \pm 0,4$	$8,8 \pm 0,2$	$8,7 \pm 1,1$	$17,1 \pm 1,2$	$19,8 \pm 2,8$	$18,3 \pm 2,0$
Camocim de São Felix	*	*	*	*	*	*	<LD	$9,5 \pm 0,1$	$8,2 \pm 0,3$
Chã Grande	<LD	<LD	*	$7,2 \pm 0,4$	$9,6 \pm 0,4$	$7,7 \pm 0,4$	$9,6 \pm 0,8$	$3,7 \pm 0,1$	*
Orobó	<LD	<LD	<LD	$14,5 \pm 1,2$	$21,8 \pm 0,6$	$16,0 \pm 0,8$	$6,2 \pm 0,1$	<LD	$13,6 \pm 0,8$
Ouricuri	<LD	<LD	<LD	$14,7 \pm 0,9$	<LD	$18,6 \pm 0,4$	$8,5 \pm 1,2$	$10,1 \pm 0,7$	$7,2 \pm 0,6$
Petrolina	<LD	<LD	<LD	*	*	*	*	*	*
Recife	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Serra Talhada	<LD	<LD	<LD	$8,9 \pm 1,1$	$12,8 \pm 0,9$	$15,8 \pm 0,5$	$2,1 \pm 0,2$	$8,7 \pm 0,4$	$11,6 \pm 0,1$
Faixa de concentração	-	-	-	$3,5$ - $14,7$	$4,4$ - $21,8$	$5,4$ - $18,6$	$6,2$ - $17,1$	$3,7$ - $19,8$	$7,2$ - $18,3$

^aValor médio $\pm$ desvio-padrão ($n = 3$).

<LD - abaixo do limite de detecção.

*- amostra não disponibilizada.

^bCozida - Cocção por aquecimento condutivo em panela de alumínio.

^cMW – Cozida por radiação micro-ondas.

Fonte: A autora, 2024.

Este mineral também foi quantificado em amostras de cenouras em um estudo realizado por Lisiewska et al. (2006) onde foi observado uma diminuição após o processo de cocção. Nas amostras de cenoura crua tinha-se um valor de $0,094 \pm 0,010 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$ e após cozidas, o valor foi de $0,066 \pm 0,009 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$. A TACO reportou uma diminuição na concentração de Mn em amostras de batata inglesa após o processo de cocção, sendo o valor de 0,10 para 0,07 $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$, enquanto que para a cenoura a cocção não influenciou no teor de Mn, tendo a concentração de 0,05 mg

100 g⁻¹. Enquanto que para o chuchu diminuiu de 0,08 para 0,07 mg 100 g⁻¹ de amostra.

Entretanto, outro estudo reportou o aumento na concentração de Mn em amostra de cenoura cozidas em panela. A concentração de Mn na amostra crua foi de 18 mg kg⁻¹ e após o processo de cocção em panela passou a ser de 16 mg kg⁻¹ (Razzak, et al., 2023).

Diante dos resultados também é possível concluir que a cenoura e chuchu são alimentos que podem auxiliar na ingestão adequada de Mn. Os benefícios associados ao Mn abrangem uma variedade de funções no organismo, incluindo sua ação hipoglicemiante, influência no metabolismo das gorduras, proteção das células hepáticas e participação na biossíntese de proteínas e mucopolissacarídeos das cartilagens. Além disso, o manganês desempenha um papel crucial no metabolismo dos neurotransmissores.

É importante destacar que a deficiência desse mineral no organismo pode impactar negativamente o crescimento, resultar em anormalidades no esqueleto, causar disfunções reprodutivas, diminuir a tolerância à glicose e provocar alterações no metabolismo de carboidratos e gorduras. Portanto, a manutenção adequada dos níveis de manganês é essencial para a saúde e o funcionamento adequado do corpo.

5.5 Análise exploratória dos dados empregando PCA

Realizou-se uma Análise de Componentes Principais (PCA) para examinar a existência de padrões de comportamento entre as diferentes amostras, levando em consideração sua origem, método de preparo e tipo de vegetal. Os resultados menores que o LD foram substituídos pelo respectivo valor do LD do metal, conforme indica Ferreira (2015). Inicialmente, foram gerados gráficos para avaliar a influência do processo de cocção na composição mineral dos alimentos, considerando todos os analitos quantificados. Entretanto, optou-se por remover Cr e Mn da análise devido à falta de dados específicos (resultados menores que o LD) para a batata e à percepção de que sua inclusão não agregava valor aos resultados.

5.5.1 PCA para os diferentes métodos de cocção da amostra de batata inglesa

Inicialmente, foi gerada a PCA para as amostras de batata inglesa os pesos para cada variável estão listados na Tabela 26.

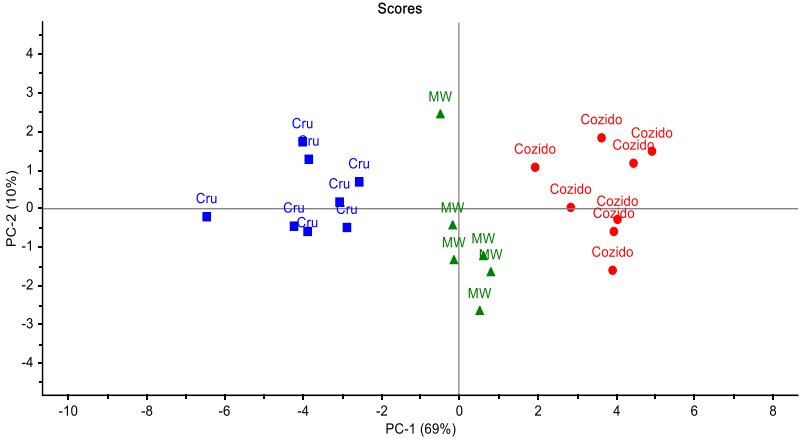
Tabela 26 – Pesos das variáveis das duas primeiras componentes principais obtidos das amostras de batata inglesa.

	Al	Ca	Cu	Fe	K	Na?
PC1	0,0133	0,0368	- 0,1533	- 0,1189	0,4453	-0,8732
PC2	0,3780	0,3094	0,1457	0,1309	0,7672	0,3667

Fonte: A autora, 2024.

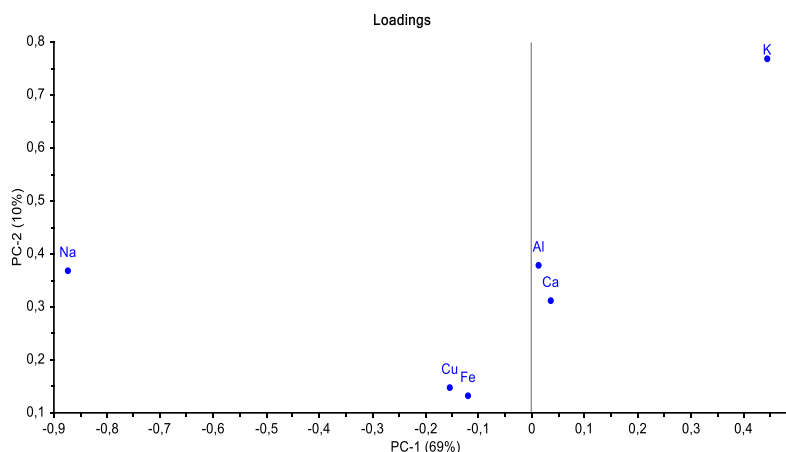
A Figura (10 A) contém o gráfico de score e loadings para amostras de batata inglesa, nela é possível observar de maneira clara o agrupamento das amostras devido aos diferentes processos de cocção. A análise dos scores e loadings permite inferir sobre o comportamento das amostras. Ao examinar o gráfico dos scores, observa-se claramente o agrupamento das amostras de batata em três categorias distintas: cruas, cozidas pelo método de micro-ondas (MW) e cozidas em panela. Pelo gráfico dos loadings (Figura 10 B) pode-se verificar alta correlação entre Cu e Fe e entre Al e Ca, o que significa que esses metais apresentam a mesma informação quanto a explicação da variabilidade dos dados.

Figura 10 – Score e loadings para as amostras de batata Inglesa (modo de preparo).



(A) Gráfico de scores.

Fonte: A autora, 2024.



(B) Gráfico de Loadings.

Fonte: A autora, 2024.

Realizando a análise com base na PC1, que apresenta 69% da variância dos dados, em conjunto com os dados contidos na Tabela 26, é possível concluir que os minerais Na e K possuem os maiores pesos em PC1. Logo, as amostras cozidas que estão concentradas na região positiva da PC1 possuem as maiores concentrações de K, enquanto que as cruas que estão na região negativa, possuem maior concentração de Na.

Tais descobertas sugerem que o método de preparo influencia significativamente a composição mineral das batatas, destacando a importância de considerar não apenas os ingredientes crus, mas também seu processamento, ao avaliar aspectos nutricionais e de saúde.

Considerando a PC2, pode-se observar certa tendência de separação entre o conjunto de dados. Ao examinar o gráfico de loadings, observa-se que o analito com o maior peso ao longo da PC2 é o K, sugerindo que as amostras processadas no forno de micro-ondas apresentam concentração média menor de K. Este resultado é corroborado pelos dados apresentados na Tabela 23, que indicam que o valor médio da quantidade de potássio presente nas amostras cozidas em forno micro-ondas é inferior ao valor médio observado nas amostras cruas e nas amostras cozidas em panela de alumínio.

Também foi possível observar que uma amostra submetida a cocção por micro-ondas (Orobó) se encontra dispersa das outras podendo ser classificada como um outlier.

5.5.2 PCA para os diferentes métodos de cocção da amostra de cenoura

Na Tabela 27 são apresentados os pesos das variáveis de PC1 e PC2. Os elementos Cu e Fe possuem os maiores pesos em PC1, logo são as variáveis que melhor explicam a variância dos dados; e em relação a PC2 destaca-se o Ca e Fe.

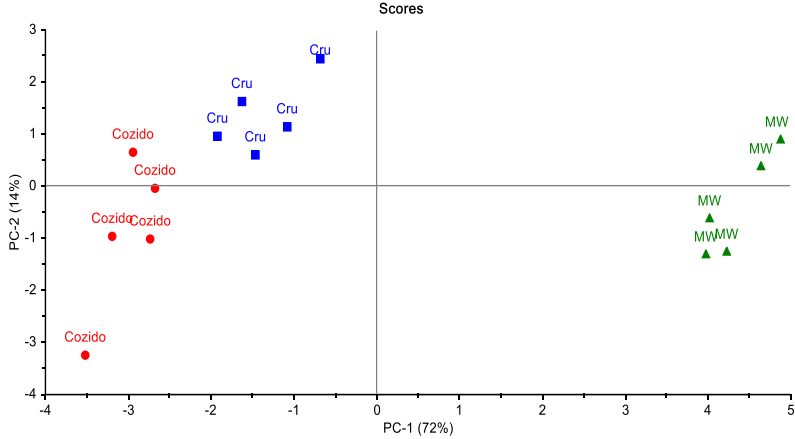
Tabela 27 – Pesos das variáveis das duas primeiras componentes principais obtidos das amostras de cenoura.

	Al	Ca	Cu	Fe	K	Na
PC1	0,084387	- 0,00642	0,979757	- 0,14793	0,098071	-0,0376
PC2	0,16133	0,738644	- 0,12245	- 0,57825	0,176938	-0,2184

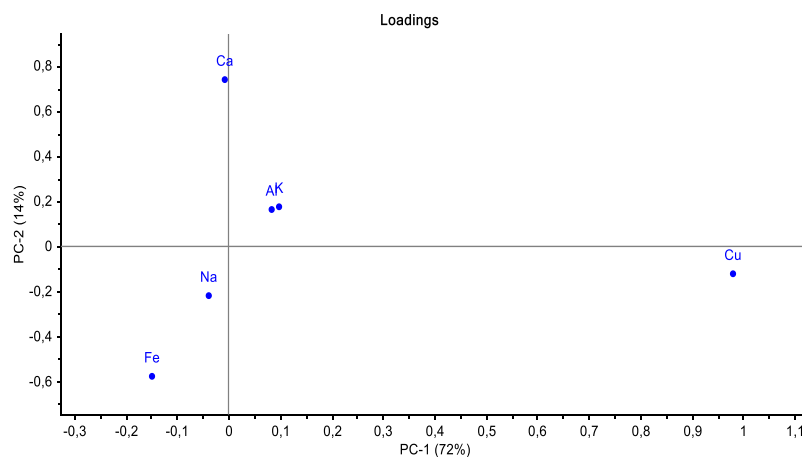
Fonte: A autora, 2024.

A Figura 11 exibe os resultados da PCA para as amostras de cenoura. Em relação a análise da PC1, destaca-se o agrupamento das amostras submetidas ao processo de cocção por micro-ondas, uma vez que as mesmas estão em uma região positiva da PC1. Logo, as amostras que estão na região de scores (Figura 11 A) positiva possuem uma alta concentração de Cu, enquanto as localizadas na região negativa possuem uma alta concentração de Fe. A composição das amostras cruas e cozidas em panela demonstra semelhanças, sugerindo que o processo de cocção convencional não teve um impacto tão pronunciado na concentração dos minerais.

Figura 11 – Scores e loadings para as amostras de cenoura (modo de preparo).



(A) Gráfico de scores.
Fonte: A autora, 2024.



(B) Gráfico de loadings.
Fonte: A autora, 2024.

Ao examinar a PC2, nota-se uma discrepância significativa em uma amostra de cenoura submetida ao processo de cocção em panela em comparação com as demais, sugerindo sua possível classificação como outlier. Além disso, fica evidente pela Figura 11 que as amostras cruas apresentam uma concentração maior de cálcio, uma vez que estão concentradas na região positiva da PC2. A validade desta afirmação é sustentada pelos dados apresentados na Tabela 19, que demonstram que a concentração média de cálcio é significativamente maior nas amostras não processadas. Essas observações ressaltam a importância de considerar os diferentes métodos de processamento ao analisar a composição nutricional dos alimentos.

5.5.3 PCA para os diferentes métodos de cocção da amostra de chuchu

Os pesos para cada variável estão listados na Tabela 28.

Tabela 28 – Pesos das variáveis das duas primeiras componentes principais obtidos das amostras de chuchu.

	Al	Ca	Cu	Fe	K	Na
PC1	0,014186	-0,05311	-0,99615	0,015298	0,064463	-0,01666
PC2	0,502032	-0,17299	-0,01959	-0,39327	-0,58416	-0,47091

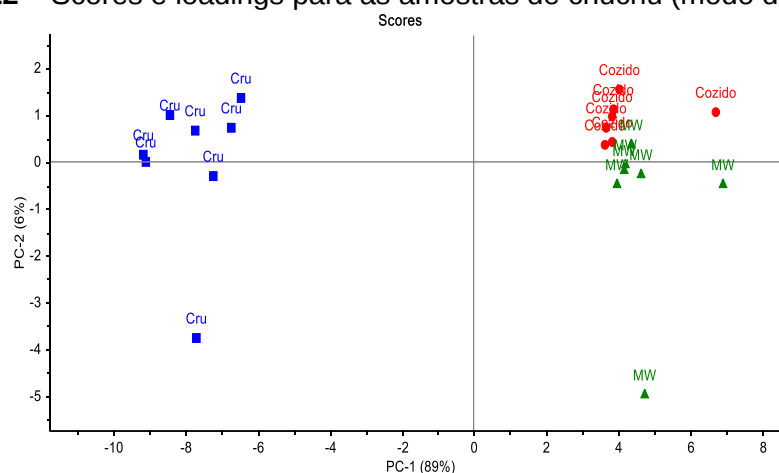
Fonte: A autora, 2024.

Ao analisar os resultados da PCA a partir da composição mineral das amostras de chuchu (Figura 12), identificou-se que o metal mais significativo para explicar a variabilidade ao longo da PC1 foi o Cu, enquanto para PC2 foram o Al e o K. Uma

distinção clara pôde ser observada entre as amostras cozidas utilizando métodos convencionais e aquelas preparadas por meio de micro-ondas, em comparação com as amostras cruas. Além disso, notamos uma correlação entre as amostras cozidas em forno micro-ondas e aquelas cozidas em panela, sugerindo uma perda semelhante na composição mineral desses alimentos, no processo de cocção. Esse efeito pode ser uma informação relevante para estudos sobre preservação de nutrientes. Acredita-se que essa perda similar tenha ocorrido porque o chuchu contém mais água que os outros legumes analisados, o que torna o micro-ondas potencialmente mais eficaz na decomposição do chuchu em comparação com os demais.

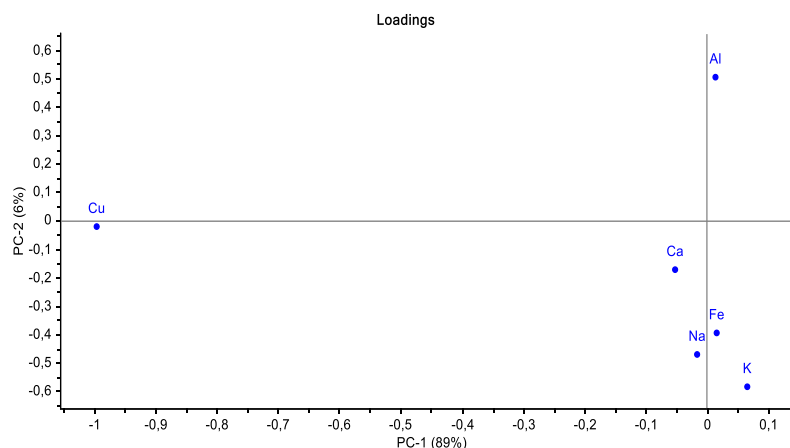
Na direção da PC1, observa-se que as amostras cruas de chuchu estão agrupadas na região negativa, indicando uma concentração mais elevada de Cu em comparação com as amostras cozidas por micro-ondas e em panela. Essa conclusão é sustentada pelo peso (negativo) atribuído à concentração de cobre nessa direção. Quanto à PC2, as amostras submetidas a cocção em panela apresentam concentrações maiores de alumínio.

Figura 12 – Scores e loadings para as amostras de chuchu (modo de preparo).



(A) Gráfico de scores.

Fonte: A autora, 2024.



(B) Gráfico de Loadings.
Fonte: A autora, 2024.

5.6 Eco-Escala

Devido ao aumento da abordagem ecológica nas análises químicas, atualmente é bastante comum que os estudos afirmem que um método é sustentável por utilizar reagentes menos prejudiciais ou por ter menor tempo de análise em relação ao consumo energético. Nesse contexto, Gałuszka (2012) sugere uma eco-escala, que estabelece critérios para avaliar a sustentabilidade ecológica de um método. A eco-escala tem três níveis: acima de 75 pontos para uma análise verde excelente; acima de 50 pontos para uma análise verde aceitável; e abaixo de 50 pontos para uma análise verde inadequada. Na Tabela 29 são exibidos os pontos de penalidade atribuídos aos métodos quando os critérios avaliados se afastam da idealidade de um método ecológico.

Tabela 29 – Pontos de penalidade (PPs) para eco-escala analítica.

	Reagentes	PP subtotal	PP total
	< 10 mL (g)	1	
Quantidade	10 –100 mL (g)	2	Quantidade PP
	> 100 mL (g)	3	X
	Nenhum	0	Perigo PP
Perigo (físico, ambiental, de saúde)	Risco menos grave	1	
	Risco mais grave	2	
INSTRUMENTOS			
	≤ 0,1 kWh por amostra		0
Energia	≤ 1,5 kWh por amostra		1
	> 1,5 kWh por amostra		2
Risco Ocupacional	Hermetização do processo Analítico		0
	Emissão de vapores e gases		3
	Nenhum		0
	< 1 mL (g)		1
	1 – 10 mL (g)		3
	> 10 mL (g)		5
Desperdício	Reciclando		0
	Degradação		1
	Passivação		2
	Sem tratamento		3

Fonte: Adaptado de GAŁUSZKA, A. et al. (2012).

Dessa forma, considerando a escala mencionada, as penalidades deste método foram as seguintes: a quantidade de reagente utilizado, sendo inferior a 10 mL (1 ponto) multiplicada pelo risco do reagente (2 pontos), resultando em 2 pontos para HNO₃ e 2 pontos para H₂O₂. No parâmetro de energia do instrumento, tanto o fotômetro de chama quanto o ICP OES consomem menos de 1,5 kWh. Portanto, cada instrumento recebe uma penalidade de 1 ponto, resultando em um total de 2 pontos. Em relação ao desperdício, há uma penalidade de 3 pontos por gerar um volume menor que 10 mL de resíduos e 3 pontos adicionais por não haver tratamento desses resíduos. Assim, o método é penalizado em um total de doze pontos. Utilizando a expressão (Eco-escala analítica = 100 – total de pontos de penalidade) é possível

concluir que a metodologia proposta se apresenta como um método verde excelente com um fator verde analítico de 88 (de 100).

6 CONCLUSÃO

A presente pesquisa desenvolveu uma técnica para digerir batata inglesa utilizando um forno de micro-ondas, com foco na determinação de (Al, Ca, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, P e Pb) via ICP OES. A combinação de $\text{HNO}_3/\text{H}_2\text{O}_2$ demonstrou ser eficaz na digestão da batata inglesa. A condição ótima de preparo da amostra foi determinada por meio de um planejamento experimental: 500 mg de amostra, 6 mL de HNO_3 1 mol L^{-1} , 2 mL de H_2O_2 30%, 15 minutos de digestão na fase inicial de aquecimento, a 170 °C.

A avaliação da exatidão do método foi conduzida utilizando dois materiais de referência, e o teste da incerteza expandida $u\Delta$, correspondente a um nível de confiança de aproximadamente 95%, foi realizado. Além disso, o método demonstrou ser linear, com valores do coeficiente de correlação superiores a 0,9891 e apresentou valores de LD e LQ do método inferiores a 5,4 mg kg^{-1} e 24,9 mg kg^{-1} , respectivamente.

O método desenvolvido foi aplicado com sucesso em oito amostras de batata inglesa de diversas regiões de Pernambuco. Além disso, um método previamente desenvolvido pelo grupo de pesquisa para amostras de cenoura e chuchu também foi aplicado com êxito. Os resultados revelam que diferentes métodos de cocção influenciam na composição mineral dos alimentos, com destaque para o aumento na concentração de alumínio em várias amostras de batata inglesa, cenoura e chuchu após o cozimento em panela de alumínio.

Também foi observado um aumento na concentração de Cu e Fe, enquanto para o K foi observada uma diminuição na maioria das amostras. Em relação aos outros analitos, não foi identificada uma tendência clara de aumento ou diminuição conforme o processo de cocção.

Este estudo representa um avanço significativo na análise mineral de alimentos, especialmente no que diz respeito à batata inglesa, bem como à contribuição para a compreensão da composição mineral de outros vegetais. A utilização de um método analítico que segue os princípios da química verde, com o

emprego de uma solução diluída de ácido nítrico, não apenas garante resultados precisos, mas também demonstra um compromisso com a sustentabilidade ambiental.

REFERÊNCIAS

- ADISH, A. A.; ESREY, S. A.; GYORKOS, T. W.; JEAN-BAPTISTE, J.; ROJHANI, A. Effect of consumption of food cooked in iron pots on iron status and growth of young children: a randomised trial. **The Lancet**, v. 353, n. 9154, p. 712-716, 1999. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(98\)04450-X](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(98)04450-X)
- AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA – ANVISA. Resolução RE Nº 899, de 29 de maio de 2003. Brasília, 2003. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2003/res0899_29_05_2003.html Acesso: 29 maio 2023.
- AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA – ANVISA. RDC No 166, de 24 de julho de 2017. Diário Oficial [Da] República Federativa Do Brasil., 2017, 22. Retrieved from <https://www20.anvisa.gov.br/coifa/pdf/rdc166.pdf>
- AHMAD, T.; CAWOOD, M.; IQBAL, Q.; ARIÑO, A.; BATOOL, A.; TARIQ R.M.S., AZAM M.; AKHTARS. 2019, Phytochemicals in *Daucus carota* and their health benefits - Review article, *Foods*, 8 (9): 424. <https://doi.org/10.3390/foods8090424>
- AL ZUBAIDY, E. A. H; MOHAMMAD, F. S.; BASSIONI, G. Effect of pH, salinity and temperature on aluminum cookware leaching during food preparation. **Int. J. Electrochem. Sci**, v. 6, n. 12, p. 6424-6441, 2011. [https://doi.org/10.1016/S1452-3981\(23\)19691-X](https://doi.org/10.1016/S1452-3981(23)19691-X)
- AZEVEDO, A. E. B. I. Como otimizar a ingestão de cálcio e o ganho de massa óssea em adolescentes. Sociedade Brasileira de Pediatria. 2017
- ALHAGRI, B. A.; ALBESHRY, M. Microwave-Assisted Digestion Using Dilute Nitric Acid and Hydrogen Peroxide for Multielement Determination in Wheat Flour by ICP-MS. **Journal of Chemistry**, v. 2023, 2023. <https://doi.org/10.1155/2023/2349838>
- ALVARES, P. H. de M.; ALVARENGA, F. V. de. A cultura do chuchu. 2021.
- ALVES, J. A.; VILAS BOAS, E. V. D. B.; VILAS BOAS, B. M.; SOUZA, É. C. D. Qualidade de produto minimamente processado à base de abóbora, cenoura, chuchu e mandioquinha-salsa. **Food Science and Technology**, v. 30, p. 625-634, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612010000300009>
- AMARAL, L. R. 105 f. 2023. Determinação multirresíduo de agrotóxicos em casca, polpa e tubérculo de batata empregando método QuEChERS e UHPLC-MS/MS. Dissertação (Mestrado em Química), Recife, PE; UFRPE, 2023.
- AMMAR, H. R.; SALEH, S. M.; SIVASANKARAN, S.; ALBADRI, A. E.; AL-MUFADI, F. A Investigation of Element Migration from Aluminum Cooking Pots Using ICP-MS. **Applied Sciences**, v. 13, n. 24, p. 13119, 2023. <https://doi.org/10.3390/app132413119>
- ANDRADE, T. B. M. de. Desenvolvimento de métodos de digestão empregando ácido diluído e de análise química por EDXRF para a batata-doce. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal Rural de Pernambuco. 2019.
- ANON. 1962. pH values of food products. *Food Eng.* 34(3): 98-99. Bridges, M. A., and Mattice, M.R. 1939. Over two thousand estimations of the pH of representative foods, *American J. Digestive Diseases*, 9:440-449.

ARRUDA, M. A. Z.; SANTELLI, R. E. Mecanização no preparo de amostras por micro-ondas: o estado da arte. *Química Nova*, v. 20, n. 6, p. 638-643, 1997. <https://doi.org/10.1590/S0100-40421997000600012>

BAI, S.; QIN, D.; CHEN, Z.; WU, S.; TANG, S.; GAO, L. WANG, P. Geographic origin discrimination of red swamp crayfish *Procambarus clarkii* from different Chinese regions using mineral element analysis assisted by machine learning techniques. **Food Control**, v. 138, p. 109047, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2022.109047>

BAMBARA, T. L.; DERRA, M.; KABORÉ, K.; TOUGMA, K. A.; CISSÉ, O. I.; ZOUGMORÉ, F. Levels of Heavy Metals in Some Vegetables and Human Health Risk Assessment in Loubila Area, Burkina Faso. **Open Journal of Applied Sciences**, v. 13, n. 9, p. 1498-1511, 2023. [10.4236/ojapps.2023.139119](https://doi.org/10.4236/ojapps.2023.139119)

BARAĆ, N.; SKRIVANJ, S.; BUKUMIRIC, Z.; BARAĆ, M.; MANOJLOVIĆ, D.; PETROVIC, R.; CORAC, A. Arsenic in Agricultural Soils of a Historically Mined and Industrial Region of Southern Serbia and Northern Kosovo: Bioavailability and Uptake by Plants Species *Zea mays* L. and *Solanum tuberosum* L. **Soil and Sediment Contamination: An International Journal**, v. 24, n. 6, p. 656-674, 2015. [10.1080/15320383.2015.997868](https://doi.org/10.1080/15320383.2015.997868)

BARROS NETO, B. De; SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R. E. Como Fazer Experimentos: Pesquisa e Desenvolvimento na Ciência e na Indústria. 4 a ed. Porto Alegre: Bookman, 2010.

BEZERRA, F. J. A.; BERNADO, T. R. R.; XIMENES, L. F.; VALENTE JUNIOR, A. S. Perfil socioeconômico de Pernambuco. 2015.

BIESALSKI, Hans-Konrad; DRAGSTED, L. O.; ELMADFA, R. G.; MULLER, M.; SCHRENCK, D.; WALTER, P. WEBER, P. Bioactive compounds: Definition and assessment of activity. **Nutrition**, v. 25, n. 11-12, p. 1202-1205, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2009.04.023>

BIEŻANOWSKA-KOPEĆ, R.; PYSZ, M.; KAPUSTA-DUCH, J.; KOPEĆ, A.; SMOLEŃ, S.; KORONOWICZ, A.; LESZCZYŃSKA, T. The effects of peeling and cooking on the mineral content and antioxidant properties in carrots enriched with potassium iodate and/or selenite (SeIV) and selenite (SeVI). **International Journal of Food Sciences and Nutrition**, v. 67, n. 8, p. 919-928, 2016. <https://doi.org/10.1080/09637486.2016.1205550>

BLAKE, S. Vitamins and minerals demystified. **Cinii**, 2008. Disponível em: [https://www.uoanbar.edu.iq/BasicEducationCollege/catalog/Blake%20-%20Vitamins%20and%20Minerals%20Demystified%20\[nutrition\]%20\(McGraw,%202008\)\(1\).pdf](https://www.uoanbar.edu.iq/BasicEducationCollege/catalog/Blake%20-%20Vitamins%20and%20Minerals%20Demystified%20[nutrition]%20(McGraw,%202008)(1).pdf). Acesso em: 10 jul. 2023.

Brasil, Food Ingredients. Dossiê: os minerais na alimentação. **Food Ingredients Brasil**, v. 8, p. 48-58, 2008.

Brasil, Ministério da Saúde. Guia alimentar para a população Brasileira: promovendo a alimentação saudável. Brasília, DF, 2005. 236p. (Série A - Normas e Manuais Técnicos).

Brasil, Ministério da saúde. Orientação para avaliação de marcadores de consumo alimentar na atenção básica. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/marcadores_consumo_alimentar_atencao_basica.pdf. Acesso em: 10 dez. 2023

Brasil, Ministério da Saúde. Secretaria de Atenção Primária à Saúde. Departamento de Promoção da Saúde. Recomendações para o aumento do consumo de frutas, legumes e

verduras / Ministério da Saúde, Secretaria de Atenção Primária à Saúde, Departamento de Promoção da Saúde. – Brasília : Ministério da Saúde, 2022.

Brasil, Ministério da Saúde. Universidade Federal de Minas Gerais. Na cozinha com as frutas, legumes e verduras / Ministério da Saúde, Universidade Federal de Minas Gerais. – Brasília : Ministério da Saúde, 2016.

Brasil, Ministério da saúde. RESOLUÇÃO-RDC Nº 269, DE 22 DE SETEMBRO DE 2005 Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2005/rdc0269_22_09_2005.html. Acesso em: 12 de nov. 2023

BRESSY, F. C.; BRITO, G. B.; BARBOSA, I.S.; TEIXEIRA, L. S. G.; KORN, M. G. A. Determination of trace element concentrations in tomato samples at different stages of maturation by ICP OES and ICP-MS following microwave-assisted digestion. **Microchemical Journal**, v. 109, p. 145-149, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2012.03.010>

BUTTON, S. T. Metodologia para planejamento experimental e análise de resultados. **São Paulo**, p. 4, 2005.

BVENURA, C.; AFOLAYAN, A. J. Heavy metal contamination of vegetables cultivated in home gardens in the Eastern Cape. **South African Journal of Science**, v. 108, n. 9, p. 1-6, 2012.. <http://dx.doi.org/10.4102/sajs.v108i9/10.696>

CALDAS JÚNIOR, G. C. 117 f. 2009 A pequena propriedade rural: um estudo da sustentabilidade e da percepção ambiental dos pequenos agricultores na localidade de Pacas, Município de Vitória de Santo Antão-PE. Dissertação (Mestrado em Administração e Desenvolvimento Rural), UFRPE, Recife – PE, 2009.

CAMPOS, N. D. S.; ALVARENGA, F. B. M.; SABARENSE, C. M.; OLIVEIRA, M. A. L. D.; TIMM, J. G.; VIEIRA, M. A.; SOUSA, R. A. D. Evaluation of the influence of different cooking pot types on the metallic elements content in edible chicken tissues by MIP OES. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 23, 2020. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.30819>

CARDOSO, A. I. I.; MAGRO, F. O. eds. Hortas: sob um olhar que você nunca viu [online]. São Paulo: Editora UNESP, 2021, 99 p. ISBN: 978-65-5714-057-4. <https://doi.org/10.7476/9786557140574>

CARMO, Camylla Borges et al. ANÁLISES QUÍMICAS EM CENOURAS MINIMAMENTE PROCESSADAS. IV Congresso Estadual de Iniciação Científica do IF Goiano. 21 a 24 de setembro de 2015

CARVALHO, L. de S. B. Avaliação de estratégias para a determinação de constituintes inorgânicos em sopas instantâneas por técnicas espectrométricas de emissão por plasma. Tese de doutorado. Universidade Federal da Bahia. 2022.

CASTRO, C. N. de. **A agricultura no Nordeste Brasileiro: oportunidades e limitações ao desenvolvimento**. Texto para Discussão, 2012.

CECCHI, H. **Fundamentos teóricos e práticos em análise de alimentos**. Editora da UNICAMP, 2003.

Central de química analítica, Universidade Federal de Pernambuco. Disponível em: <https://sites.google.com/view/cadqfufpe/fotos/equipamentos?authuser=0>. Acesso em: 14 de fev. 2024

CHAR, C. D. Carrots (*Daucus carota* L.). **Fruit and Vegetable Phytochemicals: Chemistry and Human Health, 2nd Edition**, p. 969-978, 2017.
<https://doi.org/10.1002/9781119158042.ch46>

CHEN, Z.; ZHAO, Y.; GU, L.; WANG, S.; LI, Y.; DONG, F. Accumulation and localization of cadmium in potato (*Solanum tuberosum*) under different soil Cd levels. **Bulletin of environmental contamination and toxicology**, v. 92, p. 745-751, 2014. 10.1007/s00128-014-1252-3

COE, S.; SPIRO, A. Cooking at home to retain nutritional quality and minimise nutrient losses: A focus on vegetables, potatoes and pulses. **Nutrition Bulletin**, v. 47, n. 4, p. 538-562, 2022. <https://doi.org/10.1111/nbu.12584>

CÔNSOLO, F. Z. Avaliação das concentrações de magnésio, zinco, cobre, ferro, alumínio, cromo, níquel, cobalto e molibdênio nas hortaliças tuberosas comercializadas e consumidas em Mato Grosso do Sul. 2015.

COPETTI, C.; OLIVEIRA, V. R. de; KIRINUS, P. Avaliação da redução de potássio em hortaliças submetidas a diferentes métodos de cocção para possível utilização na dietoterapia renal. **Revista de Nutrição**, v. 23, p. 831-838, 2010.
<https://doi.org/10.1590/S1415-52732010000500013>

CORREIA, L. O.; NERIS, J. B.; MARROCOS, P.; GARCIAVELASCO, F.; MARTINEZ, F. Bioacumulação de chumbo em plantas de cenoura (*Daucus carota*) e seus efeitos na saúde humana. **Gaia Scientia**, v. 10, n. 4, p. 301-318, 2016.
<http://dx.doi.org/10.21707/gaia.v10.n04a25>

CORREIA, P. R. M.; FERREIRA, M. Reconhecimento de padrões por métodos não supervisionados: explorando procedimentos quimiométricos para tratamento de dados analíticos. **Química Nova**, v. 30, p. 481-487, 2007.

COSTA, D. V. de P.; LOPES, M. S.; MENDONÇA, R. de D.; MALTA, D. C.; FREITAS, P. P. de; LOPES, A. C. S. Diferenças no consumo alimentar nas áreas urbanas e rurais do Brasil: Pesquisa Nacional de Saúde. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 26, p. 3805-3813, 2021. 10.1590/1413-81232021269.2.26752019

COSTA, W. K. O. C. da. Determinação de metais por ICP OES: decomposição por micro-ondas e análise direta de farinhas e desodorantes. 2018. Tese de doutorado. Universidade Federal de Pernambuco.

CUENCA, M. A. G.; MANDARINO, D. C. Aspectos agroeconômicos da cultura da mandioca: características e evolução da cultura no estado de Sergipe entre 1990 e 2004. 2006.

DA SILVA PEREIRA, V. Caracterização físico-química, carotenoides totais e elementos-traço em cenoura (*Daucus carota* L.) e tomate (*Lycopersicon esculentum*) orgânico e convencional. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos), UFMG, Belo Horizonte, 2014.

Da SILVA, I. J. S.; PAIM, A. P. S.; DA SILVA, M. J. Composition and estimate of daily mineral intake from samples of Brazilian rice. **Microchemical Journal**, v. 137, p. 131-138, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2017.10.006>

DA SILVA, I. J.; DA SILVA, M. M.; ROCHA, M. C. DA R.; KATO, M. T.; FRANÇA, E. J.; PAIM, A. P. S.; GOMES, M. J. F. Encontro Nacional De Química Analítica, 20º, e Congresso

Ibero-Americano de Química Analítica, 8º, 2022, Bento Gonçalves. How Cooking Methods and Utensils Affect The rice Mineral Content. Bento Gonçalves. ENQA, 2022.

DAIUTO, E. R.; VIEITES, R. L.; PIGOLI, D. R.; CARVALHO, L. R. de Estabilidade de minerais em hortaliças submetidas a diferentes métodos de cozimento. **Nativa**, v. 3, n. 2, p. 102-108, 2015. 10.31413/nativa.v3i2.2032

DAN, E. U.; EBONG, G. A. Impact of cooking utensils on trace metal levels of processed food items. **Ann Food Sci Technol**, v. 14, n. 2, p. 350-355, 2013.

DANTAS, S. T.; SARON, E. S.; DANTAS, F. B. H.; YAMASHITA, D. M.; KIYATAKA, P. H. M. Determinação da dissolução de alumínio durante cozimento de alimentos em panelas de alumínio. **Food Science and Technology**, v. 27, p. 291-297, 2007. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612007000200014>

DAWID, C.; DUNEMANN, F.; SCHWAB, W.; NOTHNAGEL, T.; HOFMANN, T. Bioactive C17-polyacetylenes in carrots (*Daucus carota* L.): current knowledge and future perspectives. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 63, n. 42, p. 9211-9222, 2015. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b04357>

De ABREU, D. B. V.; PICARD, K.; KLEIN, M. R. S. T.; GADAS, O. M.; RICHARD, C.; SILVA, M. I. B. Soaking to reduce potassium and phosphorus content of foods. **Journal of Renal Nutrition**, v. 33, n. 1, p. 165-171, 2023. <https://doi.org/10.1053/j.jrn.2022.06.010>

De CASTRO, N. T.; De ALENCAR, E. R.; ZANDONADI, R. P.; HAN, H.; RAPOSO, A.; ARIZA-MONTES, A.; BOTELHO, R. B. A Influence of cooking method on the nutritional quality of organic and conventional Brazilian vegetables: A study on sodium, potassium, and carotenoids. **Foods**, v. 10, n. 8, p. 1782, 2021. <https://doi.org/10.3390/foods10081782>

De FREITAS, C. A. B.; MÜLLER, R. C. S.; do NASCIMENTO, W. M. O.; Lima, M. (2019). Análise Multivariada da composição mineral de frutos de Camu-camu (*Myrciaria dubia*). **Revista Virtual de Química**, v. 11, n. 3.

De La GUARDIA, M.; GARRIGUES, S. **Handbook of mineral elements in food**. John Wiley & Sons, 2015.

De SOUZA, C. T.; SOARES, S. A. R.; QUEIROZ, A. F. S.; Dos SANTOS, A. M. P.; FERREIRA, S. L. C. Determination and evaluation of the mineral composition of breadfruit (*Artocarpus altilis*) using multivariate analysis technique. **Microchemical Journal**, v. 128, p. 84-88, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2016.04.001>

De SOUZA, R. M.; COELHO, M. S.; RODRIGUES, B. J. Desenvolvimento de um método para preparar amostras de material de planta para a determinação de Ca, Cu, Mg, Mn, Fe e Zn por FAAS. **Brazilian Applied Science Review**, v. 4, n. 3, p. 1811-1821, 2020. 10.34115/basrv4n3-085

DHANDEVI, P. E. M.; JEEWON, R. Fruit and vegetable intake: Benefits and progress of nutrition education interventions-narrative review article. **Iranian journal of public health**, v. 44, n. 10, p. 1309, 2015.

DI GIACOMO, F.; DEL SIGNORE, A.; GIACCIO, M. Determining the geographic origin of potatoes using mineral and trace element content. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 55, n. 3, p. 860-866, 2007. <https://doi.org/10.1021/jf062690h>

DIMPLE, D.; RAMESH, G. Cooking and Its Impact on Childhood Obesity: A Systematic Review. **Journal of Nutrition Education and Behavior**, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.jneb.2023.06.004>

DOBOSY, P.; ENDRÉDI, A.; SANDIL, S.; VETÉSI, V.; RÉKÁSI, M.; TAKÁCS, T.; ZÁRAY, G. Biofortification of potato and carrot with iodine by applying different soils and irrigation with iodine-containing water. **Frontiers in Plant Science**, v. 11, p. 593047, 2020. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.593047>

DUNDAR, M. S.; ALTUNDAG, H.; YILMAZ, A. Heavy metal determination of unfertilised vegetables and univariate analysis of the results. **Journal of Chemical Metrology**, v. 11, n. 1, 2017. <http://doi.org/10.25135/jcm.4.17.02.031>

EARLE, R. Potato. **Book Section**, p. 247, 2019.

EMBRAPA. A Cultura da batata. Disponível em: <https://www.bibliotecaagritea.org.br/agricultura/olericultura/livros/BATATA%20COLECAO%20PLANTAR%20EMBRAPA.pdf>. Acesso em: 2 set. 2023

EMBRAPA. Cultivres. Disponível em: <https://www.embrapa.br/hortalicas/batata/cultivares>. Acesso em: 14 nov. 2023.

EMBRAPA. Manual de segurança e qualidade para a cultura da cenoura. Brasília: CampoPAS, 2004. 59p. (Série Qualidade e Segurança dos Alimentos). Cenoura: *Daucus carota* L. / Agnaldo Donizete Ferreira de Carvalho [et al.]. Brasília, DF: Embrapa Hortalças, 2021. 74 p

EMBRAPA. Embrapa Hortalças. A cultura da batata. Disponível em: <https://www.embrapa.br/hortalicas/batata/custos-de-producao>. Acesso em: 10 out. 2023

ESPOSITO, M.; PICAZIO, G.; SERPE, P.; LAMBIASE, S.; CERINO, P. Content of cadmium and lead in vegetables and fruits grown in the Campania region of Italy. **Journal of food protection**, v. 78, n. 9, p. 1760-1765, 2015. <https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-15-072>

FABBRI, A. D. T.; CROSBY, G. A. A review of the impact of preparation and cooking on the nutritional quality of vegetables and legumes. **International Journal of Gastronomy and Food Science**, v. 3, p. 2-11, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2015.11.001>

FAOSTAT. 2018. FAOSTAT, banco de dados estatísticos, agricultura. Organização para alimentação e Agricultura. Roma

FERNÁNDEZ, C. M. **Quimiometria**. Universitat de València, 2011.

FERREIRA, M. M. C. **Quimiometria: conceitos, métodos e aplicações**. Editora da UNICAMP, 2015.

FLORI, J. E.; RESENDE, G. M. de. Produtividade de genótipos de batata inglesa tolerantes ao calor em duas épocas de plantio, no vale do São Francisco. **Horticultura Brasileira**, v. 18, p. 122-125, 2000.

FORMAGGIO, B. D.; De ALMEIDA, K. M.; GONÇALVES, L. C.; CORRÊA, F. F. Como Minimizar Perda De Nutriente Em Unidades De Alimentação E Nutrição. **Revista Destaques Acadêmicos**, v. 12, n. 3, 2020. <http://dx.doi.org/10.22410/issn.2176-3070.v12i3a2020.2686>

GARCIA, C. A. B.; SANTOS, M. S.; BELLIN, I. C.; DE OLIVEIRA SANTOS, É. A.; Da COSTA, S. S. L.; GARCIA, H. L. Determinação de metais em alimentos vegetais produzidos

nos perímetros irrigados Jacarecica I e Açude Macela em Sergipe. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 16, p. e559111638736-e559111638736, 2022. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i16.38736>

GAŁUSZKA, A. et al. Analytical Eco-Scale for assessing the greenness of analytical procedures. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, v. 37, p. 61-72, 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.trac.2012.03.013>

GARCIA-CASAL, M. N.; MOWSON, R.; ROGERS, L.; GRAJEDA, R. Risk of excessive intake of vitamins and minerals delivered through public health interventions: objectives, results, conclusions of the meeting, and the way forward. **Annals of the New York Academy of Sciences**, v. 1446, n. 1, p. 5-20, 2019. <https://doi.org/10.1111/nyas.13975>

GEERLIGS, P.; BRABIN; FAIRWEATHER-TAIT. Iron contents of Malawian foods when prepared in iron cooking pots. **International journal for vitamin and nutrition research**, v. 74, n. 1, p. 21-26, 2004. <https://doi.org/10.1024/0300-9831.74.1.21>

GELAYE, Y. Quality and Nutrient Loss in the Cooking Vegetable and Its Implications for Food and Nutrition Security in Ethiopia: A Review. **Nutrition and Dietary Supplements**, p. 47-61, 2023. <https://doi.org/10.2147/NDS.S404651>

GOKOGLU, N.; YERLIKAYA, P.; CENGİZ, E. Effects of cooking methods on the proximate composition and mineral contents of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). **Food chemistry**, v. 84, n. 1, p. 19-22, 2004. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(03\)00161-4](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(03)00161-4)

GORAN, G. V.; TUDOREANU, L.; ROTARU, E.; CRIVINEANU, V. Comparative study of mineral composition of beef steak and pork chops depending on the thermal preparation method. **Meat Science**, v. 118, p. 117-121, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.03.031>

GOUVEIA, S. T.; SILVA, F. V.; COSTA, L. M.; NOGUEIRA, A. R. A.; NÓBREGA, J. A. Determination of residual carbon by inductively-coupled plasma optical emission spectrometry with axial and radial view configurations. **Analytica Chimica Acta**, v. 445, 2001, p. 269–275. [https://doi.org/10.1016/S0003-2670\(01\)01255-](https://doi.org/10.1016/S0003-2670(01)01255-)

GRIFFITHS, A. M.; COOK, D. M.; EGGETT, D. L.; CHRISTENSEN, M. J. A retail market study of organic and conventional potatoes (*Solanum tuberosum*): mineral content and nutritional implications. **International Journal of Food Sciences and Nutrition**, v. 63, n. 4, p. 393-401, 2012. <https://doi.org/10.3109/09637486.2011.629602>

GUEDES, W. N.; COSTA, V. C.; SANTOS, I. A.; De CARVALHO TAVARES, I. M.; PIMETEL, A. B.; De OLIVIERA, J. R.; FRANCO, M. Microwave-Assisted Digestion Using Diluted Nitric Acid for determination of nutrients elements in different waste fruit of agroindustry by inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP OES). 2022. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1587919/v1>

HAILEMARIAM, G. A.; WUDINEH, T. A. Effect of cooking methods on ascorbic acid destruction of green leafy vegetables. **Journal of Food Quality**, v. 2020, p. 1-5, 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/8908670>

<https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/>. Acesso em: 12 set. 2023
HUI, Yiu H. et al. (Ed.). **Handbook of fruit and vegetable flavors**. Hoboken: Wiley, 2010.
HUMA, N.; ANJUM, M.; SEHAR, S.; ISSA KHAN, M.; HUSSAIN, S. Effect of soaking and cooking on nutritional quality and safety of legumes. **Nutrition & Food Science**, v. 38, n. 6, p. 570-577, 2008. 10.1108/00346650810920187

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2018. Levantamento sistemático da produção agrícola (LSPA) - Pesquisa mensal de previsão e acompanhamento das safras agrícolas no ano civil (Dezembro de 2018). Available at: <https://sidra.ibge.gov>.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2021. Levantamento sistemático da produção agrícola (LSPA). Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9201-levantamento-sistematico-da-producao-agricola.html> Acesso em: 20 out. 2023

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2022. Produção agropecuária. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/> Acesso em: 14 de set. de 2024

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2023. Censos agropecuários 1970, 1980, 1985, 1995 e 2006. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: dez. 2023

Instituto Nacional de Metrologia - INMETRO, 2020. Orientações sobre validação de métodos de ensaios químicos. Orientação sobre validação de métodos analíticos. DOQ-CGCRE-008. Revisão 09, junho/2020.

Instituto Nacional de Metrologia – INMETRO, 2003. Orientações sobre Validação de Métodos de Ensaios. Químicos; DOQ-CGCRE-008, Revisão: 01 de março de 2003
Instituto Nacional de Saúde 2005. <https://ods.od.nih.gov/pdf/factsheets/Iron-Consumer.pdf>

IRINEO FILHO, K.; JASKI, A. C.; TAKAYANAGUI, M. M.; De ANDRADRE, C. K.; BUTIK, M.; QUINAIA, S. P. Determination and chemometric evaluation of the mineral profile of maize flours. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 92, p. 103579, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2020.103579>

JAGGAN, M.; MU, T.; SUN, H. The effect of potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivars on the sensory, nutritional, functional, and safety properties of French fries. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 44, n. 12, p. e14912, 2020. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14912>

JIN, Y. X.; KIM, S. M.; KIM, S. N.; KIM, H. R.; KIM, S. C.; HWANG, J.; CHOI, Y. Food composition of raw and boiled potatoes. **Korean journal of food and cookery science**, v. 32, n. 4, p. 517-523, 2016. <https://doi.org/10.9724/kfcs.2016.32.4.517>

JORGE, N. Embalagens para alimentos. **São Paulo: Cultura Acadêmica**, 2013.

JOSHUA, Z. P.; SULEIMAN, M. M. The effect of cooking time on the vitamin C, dietary fiber and mineral compositions of some local vegetables. **Science World Journal**, v. 7, n. 1, p. 29-30, 2012.

JUNIOR, J. B. P.; CARVALHO, V. S.; FERREIRA, W. Q.; ARAUJO, R. G.; FERREIRA, S. L. Determination of Essential and Non-Essential Elements in Medicinal Herbs from Brazil Using ICP OES techniques. 2023. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2897843/v1>

KARASAKAL, A. Determination of major, minor, and toxic elements in tropical fruits by ICP-OES after different microwave acid digestion methods. **Food Analytical Methods**, v. 14, n. 2, p. 344-360, 2021. <https://doi.org/10.1007/s12161-020-01884-3>

KAUSHIK, G.; SATYA, S.; NAIK, S. N. Effect of domestic processing techniques on the nutritional quality of the soybean. **Mediterranean Journal of Nutrition and Metabolism**, v. 3, n. 1, p. 39-46, 2010. 10.3233/s12349-009-0079-7

KAWADA, T.; LEE, Y.; SUZUKI, S.; RIVAL, I. F. Copper in carrots by soil type and area in Japan: A baseline study. **Journal of trace elements in medicine and biology**, v. 16, n. 3, p. 179-182, 2002. [https://doi.org/10.1016/S0946-672X\(02\)80022-0](https://doi.org/10.1016/S0946-672X(02)80022-0)

KERINGINGO, T. Analysis of Potatoes Growing Decisions with the Analytic Hierarchy Process Method in Burundi. **EURASIAN JOURNAL OF AGRICULTURAL ECONOMICS (EJAE)**, v. 2, n. 1, p. 15-28, 2022.

KRUG, J. F., & ROCHA, F. R. P. (2019). Métodos de preparo de amostras para análise elementar (2nd ed.). São Paulo: EditSBQ (Chapters 2, 9 and 10).

LEE, J.; PARK, Y. S.; LEE, H. J.; KOO, Y. E. Microwave-assisted digestion method using diluted nitric acid and hydrogen peroxide for the determination of major and minor elements in milk samples by ICP-OES and ICP-MS. **Food chemistry**, v. 373, p. 131483, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131483>

LEITE, H. P. Metabolismo de vitaminas e oligoelementos. **Terapia nutricional no paciente pediátrico grave**. São Paulo: Atheneu, p. 220-1, 2005.

LENARDÃO, E. J.; FREITAG, R. A.; DABDOUB, M. J.; BATISTA, A. C. F.; SILVEIRA, C. D. C. "Green chemistry": os 12 princípios da química verde e sua inserção nas atividades de ensino e pesquisa. **Química Nova**, v. 26, p. 123-129, 2003.

LEWU, M. N.; ADEBOLA, P. O.; AFOLAYAN, A. J. Comparative assessment of the nutritional value of commercially available cocoyam and potato tubers in South Africa. **Journal of Food Quality**, v. 33, n. 4, p. 461-476, 2010. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4557.2010.00325.x>

LIANG, S.; LI, Y.; ZHANG, M.; GAO, X.; FENG, S.; WANG, Z. Influence of nutritional components on colour, texture characteristics and sensory properties of cooked potatoes. **CyTA-Journal of Food**, v. 21, n. 1, p. 141-150, 2023. <https://doi.org/10.1080/19476337.2023.2168762>

LIMA, A. M. Dos S. Caracterização De Nutrientes Minerais E Determinação De Pesticidas Em Hortaliças Consumidas Na Cidade De Salvador, Bahia. Tese. Universidade Federal da Bahia, Salvador – BA, 2021.

LIMA, A. M. S.; Dos SANTOS, L. O.; DAVID, J. M.; FERREIRA, S. L. C. Mineral content in mustard leaves according to the cooking method. **Food chemistry**, v. 273, p. 172-177, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.12.042>

LIMA, F. D. S.; NASCIMENTO, C. W. A. D.; ACCIOLY, A. M. D. A.; SOUSA, C. D. S.; CUNHA FILHO, F. F. D. Bioconcentração de chumbo e micronutrientes em hortaliças cultivadas em solo contaminado. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, p. 234-241, 2013. <https://doi.org/10.1590/S1806-66902013000200004>

LIMA, J. R. B. de. 117 f. 2021 Produção agrícola pernambucana frente à pandemia de covid-19: impactos e iniciativas na agricultura familiar. 2021. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente). UFPE, Recife - PE, 2021.

LINSINGER, T. Application Note 1: Comparison of a measurement result with the certified value (Revision 3), 2010. European Reference Materials. Disponível em: https://crm.jrc.ec.europa.eu/graphics/cms_docs/erm1_english.pdf. Acesso em 30 março 2024.

LISIEWSKA, Z.; KMIĘCIK, W.; GEBczyński, P. Effects on mineral content of different methods of preparing frozen root vegetables. **Food science and technology international**, v. 12, n. 6, p. 497-503, 2006. <https://doi.org/10.1177/1082013206073273>

LOPES, J. F. et al. A cultura do chuchu. 1994.

LOPES, M. A. Brasil em 50 alimentos. 2023.

LUIS, G.; RUBIO, C.; GONZÁLEZ-WELLER, D.; GUTIÉRREZ, A. J.; REVERT, C.; HARDISSON, A. Comparative study of the mineral composition of several varieties of potatoes (*Solanum tuberosum* L.) from different countries cultivated in Canary Islands (Spain). **International journal of food science & technology**, v. 46, n. 4, p. 774-780, 2011. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2011.02556.x>

MARTORELL, Isabel et al. Human exposure to arsenic, cadmium, mercury, and lead from foods in Catalonia, Spain: temporal trend. **Biological trace element research**, v. 142, p. 309-322, 2011.

MAGNA, G. A. M.; MACHADO, S. L.; PORTELLA, R. B.; CARVALHO, M. D. F. Chumbo e cádmio detectados em alimentos vegetais e gramíneas no município de Santo Amaro-Bahia. **Química Nova**, v. 36, p. 989-997, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422013000700012>

MAGNUSSON, B. Eurachem Guide: The fitness for purpose of analytical methods: a laboratory guide to method validation and related topics (2014).

MARAFON, F.; ANDOLFATTO, N.; CUNHA, V. G.; PROVENZI, E. L. D.; MARAFON, F.; DAL MAGRO, J. Análise De Minerais Em Matriz Vegetal In Natura E Após Cocção. **Simpósio em Saúde e Alimentação**, v. 2, 2018.

MARQUELLI, W. A.; DA SILVA, H. R.; LOPES, J. F. Irrigação na cultura da bucha vegetal. 2013.

MARTINS, I. C. V.; HARDMAN, C. M.; De SOUZA ANDRADE, M. L. S.; Dos SANTOS, A. R. M.; BRITO, A. L. S.; SOARES, F. C.; De BARROS, M. V. G. Diferenças regionais do consumo de frutas, verduras e hortaliças em adolescentes. **RBONE-Revista Brasileira de Obesidade, Nutrição e Emagrecimento**, v. 14, n. 88, p. 906-913, 2020.

MASHINE, L.; RIME, J.; DATTA, S.; ANGOUSANA, S.; GURAGAI, A.; ANAL, P. M. A review on chayote (*Sechium edule* (Jacq.) Swartz): the viviparous cucurbit. 2023.

MENGIST, M. F.; MILBOURNE, D.; ALVES, S.; MCLAUGHLIN, M. J.; JONES, P. W.; GRIFFIN, D. Roles of shoots and roots in cadmium uptake and distribution in tubers of potato (*Solanum tuberosum* L.). **Plant and soil**, v. 430, p. 139-149, 2018. <https://doi.org/10.1007/s11104-018-3717-3>

MILLER-IHLI, N. J. Trace element determinations in foods and biological samples using inductively coupled plasma atomic emission spectrometry and flame atomic absorption spectrometry. **J. Agric. Food Chem.**, v. 44, n. 9, p. 2675-2679, 1996. <https://doi.org/10.1021/jf950616l>

MITRA, S. (Ed.). **Sample preparation techniques in analytical chemistry**. John Wiley & Sons, 2004.

MINISTÉRIO DA SAÚDE (BR). Manual operacional para uso do sistema de vigilância alimentar e nutricional: SISVAN VERSÃO 3.0. 2017.

NARWOJSZ, A.; BOROWSKA, E. J.; POLAK-ŚLIWIŃSKA, M.; DANOWSKA-OZIEWICZ, M. Effect of different methods of thermal treatment on starch and bioactive compounds of potato. **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 75, p. 298-304, 2020.

National Institutes of Health. **Calcium** Fact Sheet for Health Professionals. Disponível em: <https://ods.od.nih.gov/factsheets/Calcium-HealthProfessional/>. Acesso em: 02 fev. 2024

NASCIMENTO, A. L. S. do. **Teor de sódio em alimentos submetidos à cocção com adição de sal**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso.

NASCIMENTO, C. Análise de minerais em hortaliças submetidas a diferentes métodos de cocção. Trabalho de conclusão de curso. Universidade de Brasília, Faculdade de Ciências da Saúde. 2016.

NORTON, G.; DEACON, C.; MESTROT, A.; FELDMANN, J.; JENKINS, P.; BASKARAN, C.; MEHARG, A. A. Arsenic speciation and localization in horticultural produce grown in a historically impacted mining region. **Environmental science & technology**, v. 47, n. 12, p. 6164-6172, 2013. <https://doi.org/10.1021/es400720r>

NOVA, P. C. C. V.; de ARRUDA, E. J.; OLIVEIRA, L. C. S. de; SANTOS, G. dos; ROEL, A. R.; STROPA, J. M. Avaliação de método convencional e digestão úmida para determinação de níveis de Fe, Mn, Ni, Cu, Co, Mg, Zn, Ca, Mo e Se em amostras secas de tomates orgânicos (*Solanum lycopersicum* L.) por Absorção Atômica de Chama (FAAS). **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v. 3, n. 4, p. 159-165, 2012. <https://doi.org/10.20873/jbb.uft.cemaf.v3n4.nova>

Núcleo de Estudos e Pesquisas em Alimentação (NEPA) (2011). Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TACO). 4ª edição revisada e ampliada. Disponível em: https://www.cfn.org.br/wp-content/uploads/2017/03/taco_4_edicao_ampliada_e_revisada.pdf. Acesso em: 07 abril 2024.

NUNES, M. G. S.; BERNARDINO, A. de O.; MARTINS, R. D. Uso de plantas medicinais por pessoas com hipertensão. 2015.

OGHBAEI, M.; PRAKASH, J. Nutritional properties of green gram germinated in mineral fortified soak water: II. Effect of cooking on total and bioaccessible nutrients and bioactive components. **Journal of food science and technology**, v. 54, p. 880-889, 2017. 10.1007/s13197-016-2382-x

OKADA, I. A.; DURAN, M. C.; BUZZO, M. L.; DOVIDAUSKAS, S.; SAKUMA, A. M.; ZENEBON, O. Validação e aplicação de metodologia analítica na determinação de nutrientes inorgânicos em arroz polido. *Food Science and Technology*, v. 27, p. 492-497, 2007. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612007000300011>

OLIVEIRA, E. N. A. de; SANTOS, D. da C. Tecnologia e processamento de frutos e hortaliças. 2015. Disponível em: <https://memoria.ifrn.edu.br/bitstream/handle/1044/363/Tecnologia%20e%20Processamento%20de%20Frutos%20e%20Hortic%20as%20.pdf?sequence=1>. Acesso em: 15 de dez. 2023

OLIVEIRA, S. S. 93 f. 2018. Estratégias analíticas para avaliação do perfil mineral e estimativa da bioacessibilidade de elementos essenciais e potencialmente tóxicos em amostras de mel. 2021. Dissertação (Mestrado em química). Salvador, BA, IFBA, 2018

ONYEKA, U. E.; IBEAWUCHI, O. N. Loss of food nutrients orchestrated by cooking pots: a common trend in developing world. **Journal of Food Science and Technology**, v. 58, p. 2906-2913, 2021. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04792-w>

PALMER, M. W.; COOPER, J.; TÉTARD-JONES, C.; ŚREDNICKA-TOBER, D.; BARAŃSKI, M.; EYRE, M.; BILSBORROW, P. E. The influence of organic and conventional fertilisation and crop protection practices, preceding crop, harvest year and weather conditions on yield and quality of potato (*Solanum tuberosum*) in a long-term management trial. **European Journal of Agronomy**, v. 49, p. 83-92, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2013.03.004>

PEREIRA, Tatiane Lima et al. Desenvolvimento de um catálogo de fator de cocção de alimentos comumente consumidos na região do Curimataú paraibano. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Nutrição). Universidade Federal de Campina.

PÉREZ-RODRÍGUEZ, M.; DIRCHWOLF, P. M.; RODRÍGUEZ-NEGRÍN, Z.; PELLERANO, R. G. Assessing mineral profiles for rice flour fraud detection by principal component analysis based data fusion. **Food Chemistry**, v. 339, p. 128125, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128125>

PARTANEN, J. I.; JUUSOLA, P. M.; MINKKINEN, P. O. Density of aqueous nitric acid solutions in the molality range 0-3.5 mol kg⁻¹ at 293.15, 289.15, 303.15 and 308.15 K. 1992.

PIGOLI, D. R. Alterações nutricionais em hortaliças decorrentes de diferentes métodos de cozimento. 2012. 64 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu, 2012.

PRASHANTH, L.; KATTAPAGARI, K. K.; CHITTURI, R. T.; BADDAM, V. R. R.; PRASAD, L. K. A review on role of essential trace elements in health and disease. **Journal of dr. ntr university of health sciences**, v. 4, n. 2, p. 75-85, 2015. 10.4103/2277-8632.158577

PU, Y. T.; LUO, Q.; WEN, L. H.; LI, Y. R.; MENG, P. H.; WANG, X. J.; TAN, G. F. Origin, evolution, breeding, and omics of chayote, an important Cucurbitaceae vegetable crop. **Frontiers in plant science**, v. 12, p. 739091, 2021. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.739091>

RAIGOND, P.; SINGH, B.; DUTT, S.; CHAKRABARTI, S. K. (Ed.). **Potato: Nutrition and Food Security**. Springer Nature, 2020.

RAMYA, V.; PATEL, Priya. Health benefits of vegetables. **International Journal of Chemical Studies**, v. 7, n. 2, p. 82-87, 2019.

RAZZAK, A.; MAHJABIN, T.; KHAN, M. R. M.; HOSSAIN, M.; SADIA, U.; ZZAMAN, W. Effect of cooking methods on the nutritional quality of selected vegetables at Sylhet City. **Heliyon**, v. 9, n. 11, 2023. E-mail addresses: razzak.official@gmail.com (A. Razzak), wahid-ttc@sust.edu (W. Zzaman). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e21709>

RECINE, E. & RADAELLI, P. Alimentação saudável. 2002. Disponível em: <https://turminha.mpf.mp.br/para-o-professor/para-o-professor/publicacoes/Alimentacaosaudavel.pdf>. Acesso em: 12 fev. 2024

SAATH, K. C. de O.; FACHINELLO, A. L. Crescimento da demanda mundial de alimentos e restrições do fator terra no Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 56, p. 195-212, 2018

SALEEM, M.; DURANI, A. I.; ALHARTHY, R. D.; AHMED, M.; SHAFIQ, M. I.; HAMEED, A.; HUSSAIN, S. M.; BASHIR, W. Ultrasound-assisted extraction of micro-and macroelements in fruit peel powder mineral supplement for osteoporosis patients and their determination by

flame atomic absorption spectrometry. **Journal of Chemistry**, v. 2021, p. 1-10, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/5151560>

SALLAS, M. D. N.; BARRETO, R. D. C.; SILVA, T. G. D.; RUGA, G. M. "O saudável e o não saudável na busca pelo bem-estar": alimentação e equilíbrio nutricional nas escolas. **Projetos Integrados (PI)**, 2019.

SAMPAIO, B. B.; DE SOUZA, F. O.; COSTA, T. M. B.; ROMANO, B. C. Determinação do teor de potássio em hortaliças submetidas a diferentes métodos de cocção. **Brazilian Journal of Development**, v. 9, n. 05, p. 15531-15542, 2023. <https://doi.org/10.34117/bjdv9n5-072>

SAMPAIO, Y. de S. B.; VITAL, T. W. Agricultura Familiar em Pernambuco: o que diz o Censo Agropecuário de 2017. **Revista Econômica do Nordeste**, v. 51, p. 155-171, 2020. <https://doi.org/10.61673/ren.2020.1263>

SANTOS, A.; GREGÓRIO, M. J.; SOUSA, S. M.; ANJO, C.; MARTINS, S.; BICA, M.; GRAÇA, P., A importância do potássio e da alimentação na regulação da pressão arterial. 2018. Disponível em: [https://scholar.google.com.br/scholar?hl=pt-BR&as_sdt=0%2C5&q=A+import%C3%A2ncia+do+pot%C3%A1ssio+e+da+alimenta%C3%A7%C3%A3o+na+regula%C3%A7%C3%A3o+da+press%C3%A3o+arterial&btnG=Acesso em: 12 dez. 2023](https://scholar.google.com.br/scholar?hl=pt-BR&as_sdt=0%2C5&q=A+import%C3%A2ncia+do+pot%C3%A1ssio+e+da+alimenta%C3%A7%C3%A3o+na+regula%C3%A7%C3%A3o+da+press%C3%A3o+arterial&btnG=Acesso+em:12+dez.2023)

SANTOS, D. H.; BARROS, Q. de S. Cultivo de chuchu. **Campo e negócio**, 2022. Disponível em: <https://revistacampoenegocios.com.br/cultivo-de-chuchu/>. Acesso em: 27 dez 2023

SANTOS, M. A. T. dos; ABREU, C. M. P. de; CARVALHO, V. D. de. Efeito de diferentes tempos de cozimento nos teores de minerais em folhas de brócolis, couve-flor e couve (*Brassica oleracea* L.). **Ciência e Agrotecnologia**, v. 27, p. 597-604, 2003. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542003000300015>

SCHEIBLER, J.; ETHUR, E. M.; DAL BOSCO, S. M.; MARCHI, M. I. Quantificação de micronutrientes em vegetais submetidos a diferentes métodos de cocção para doente renal crônico. **Conscientiae Saúde**, v. 9, n. 4, p. 549-555, 2010.

SERAFIM, W. K. M.; TORRES, B. S. S.; KUNST, T. H.; DO NASCIMENTO, A. L. S.; Da SILVA, I. J. S.; De ALMEIDA, M. Mineral Composition of Rice, Carrots, and Chayote after Microwave-Assisted Decomposition using Diluted Nitric Acid. **Brazilian Journal of Analytical Chemistry**. 2024. 10.30744/brjac.2179-3425.AR-48-2023.10.30744/brjac.2179-3425.AR-48-2023

SHARMA, K. D.; KARKI, S.; THAKUR, N. S.; ATTRI, S. Chemical composition, functional properties and processing of carrot—a review. **Journal of food science and technology**, v. 49, n. 1, p. 22-32, 2012. 10.1007/s13197-011-0310-7

SHARMA, P.; GOUDAR, G.; CHANDRAGIRI, A. K.; ANANTHAN, R.; SUBHASH, K.; CHAUHAN, A.; CHATTOPADHYAY, D. Assessment of diversity in anti-nutrient profile, resistant starch, minerals and carbohydrate components in different ricebean (*Vigna umbellata*) accessions. **Food Chemistry**, v. 405, p. 134835, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.134835>

SIDDIQ, M.; UEBERSAX, M. A. (Ed.). **Handbook of vegetables and vegetable processing**. John Wiley & Sons, 2018.

SILVA, E. dos S.; SILVA, E. G. P. da; SILVA, D. dos S.; NOVAES, C. G.; AMORIM, F. A. C.; SANTOS, M. J. da S.; BEZERRA, M. A. Evaluation of macro and micronutrient elements

content from soft drinks using principal component analysis and Kohonen self-organizing maps. **Food chemistry**, v. 273, p. 9-14, 2019.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.06.021>

SILVA, E. F. R.; SANTOS, B. R. da S.; MINHO, L. A. C.; BRANDÃO, G. C.; SILVA, M. De J.; SILVA, M. V. L.; Dos SANTOS, W. N. L.; Dos SANTOS, A. M. P. Characterization of the chemical composition (mineral, lead and centesimal) in pine nut (*Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze) using exploratory data analysis. **Food Chemistry**, v. 369, p. 130672, 2022.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130672>

SILVA, I. J. S.; LAVORANTE, A. F.; PAIM, A. P. S.; DA SILVA, M. J. **Microwaveassisted digestion employing diluted nitric acid for mineral determination in rice by ICP OES.** Food Chemistry 319 (2020) 126435. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126435>

SILVA, I. S. R. DETERMINAÇÃO DE MACROCOMPONENTES NA BERINJELA (*Solanum melongena* L) E CHUCHU (*Sechium edule* L), COMERCIALIZADOS EM FEIRAS DE PIRAPEMAS–MA. 2022. Trabalho de conclusão de curso (Química). Universidade Federal do Maranhão. São Luís – MA.

SIM, E.; KIM, J.; KIM, H. S.; PARK, H. Y.; CHOI, H. S. Physicochemical characteristics of three potato cultivars grown in different cultivation periods. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 119, p. 105215, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2023.105215>

SINGH, B.; PANESAR, P. S.; NANDA, V. Utilization of carrot pomace for the preparation of a value added product. **World Journal of Dairy & Food Sciences**, v. 1, n. 1, p. 22-27, 2006.

Sistema de Vigilância Alimentar e Nutricional (SISVAN). Ministério da Saúde © 2024. Secretaria de Atenção Primária à Saúde. Disponível em: <https://sisaps.saude.gov.br/sisvan/>. Acesso em: 10 de fev. 2024

SIXTO, A.; MOLLO, A.; IBAÑEZ, F.; PISTÓN, M. Inorganic contaminants (As, Cd, Pb) in peeled and whole potatoes and sweet potatoes. **Agrociencia Uruguay**, v. 27, 2023.

SKOOG, D. A. et al. Fundamentos de química analítica. 8ª edição. **Thompson. Mexico DF**, 2005.

SLAVIN, J. L.; LLOYD, B. (2012). *Health Benefits of Fruits and Vegetables. Advances in Nutrition*, 3(4), 506–516

SLAVIN, J. L.; LLOYD, B. Health benefits of fruits and vegetables. **Advances in nutrition**, v. 3, n. 4, p. 506-516, 2012.

SOBRAL, M. M. C.; CUNHA, S. C.; FARIA, M. A.; FERREIRA, I. M. Domestic cooking of muscle foods: Impact on composition of nutrients and contaminants. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 17, n. 2, p. 309-333, 2018.
<https://doi.org/10.1111/1541-4337.12327>

SOETAN, K. O.; OLAIYA, C. O.; OYEWOLE, O. E. The importance of mineral elements for humans, domestic animals and plants: A review. **African journal of food science**, v. 4, n. 5, p. 200-222, 2010.

SOUSA, R. A.; CAMPOS, N. S.; ORLANDO, R. Preparação de amostras para análise elementar. Apostila do programa de pós-graduação em química química analítica avançada da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), Juiz de Fora, 2015

SOUZA, T. L.; SOUZA, L. A.; BARBOSA, I. S.; SANTOS, D. C. M.; ARAUJO, R. G. O.; KORN, M. G. A. Mineral and Trace Elements in Nutritious Flours: Total Contents, In Vitro Bioaccessibility and Contribution to Dietary Intake. **Biological Trace Element Research**, v. 201, n. 9, p. 4600-4611, 2023. <https://doi.org/10.1007/s12011-022-03534-7>

STOLARCZYK, J.; JANICK, J. Carrot: history and iconography. **Chronica**, v. 51, n. 2, p. 13, 2011.

THOPOLA, T. E. Influence of priming potato (*solanum tuberosum*) seeds in solutions of three phytonematicides on potato growth and nematodes. 2020. Tese de Doutorado. Faculdade De Ciências E Agricultura, Universidade De Limpopo.

TSUJI, P. A.; CANTER, J. A.; ROSSO, L. E. Trace minerals and trace elements. **Encyclopedia of food and health** (2016): 331-338. 10.1016/B978-0-12-384947-2.00699-1

TUZEN, M.; SARI, H.; SOYLAK, M. Microwave and wet digestion procedures for atomic absorption spectrometric determination of trace metals contents of sediment samples. **Analytical Letters**, v. 37, n. 9, p. 1925-1936, 2004.

TYAGI, S. B.; KHARKWAL, M.; SAXENA, T. Impact of cooking on nutritional content of food. **DU Journal of Undergraduate Research and Innovation**, v. 1, n. 3, p. 180-186, 2015.

-UL-HAQ, I.; AHMED, E.; SHARIF, A.; AHMED, M.; AHMAD, W. Optimization of ultrasound-assisted extraction of essential and non-essential/toxic trace metals in vegetables and their determination by FAAS and ICP-oes: An evaluation of human health risk. **Food Analytical Methods**, v. 14, n. 11, p. 2262-2275, 2021. <https://doi.org/10.1007/s12161-021-02062-9>

VARSHNEY, K.; MISHRA, K. An analysis of health benefits of carrot. **International Journal of Innovative Research in Engineering & Management (IJIREM)**, v. 9, p. 211-214, 2022. <https://doi.org/10.55524/ijirem.2022.9.1.40>

VERA, R.; FONTÀS, C.; GALCERAN, J.; SERRA, O.; Anticó, E. Polymer inclusion membrane to access Zn speciation: Comparison with root uptake. **Science of the Total Environment**, v. 622, p. 316-324, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.316>

VIEIRA, E. F.; PINHO, O.; FERREIRA, I. M.; DELERUE-MATOS, C. Chayote (*Sechium edule*): A review of nutritional composition, bioactivities and potential applications. **Food chemistry**, v. 275, p. 557-568, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.09.146>
WORD HEALTH ORGANIZATION – WHO. Reducing salt intake populations: report of a WHO forum and technical meeting. Paris, 2006. p. 23.

World Health Organization (WHO). *Diet, nutrition and the prevention of chronic diseases: report of a joint WHO/FAO expert consultation* Geneva: WHO; 2003. 106 p.

YADAV, S.; ARORA, S. K.; VATS, Sristi. Vitamins and minerals: A review on processing losses and strategies to control it. 2022. 10.31031/MCDA.2023.12.000783

YAGHI, M. M.; MOHAMMED, M. Y.; TOWIER, N. A.; ELSHERIF, K. M. Analysis of Potato Chips: Evaluation of Sodium, Potassium and Chloride Contents. 2021

ZHAO, C.; LIU, Y.; LAI, S.; CAO, H.; GUAN, Y.; SAN CHEANG, W.; XIAO, J. Effects of domestic cooking process on the chemical and biological properties of dietary phytochemicals. **Trends in food science & technology**, v. 85, p. 55-66, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.01.004>

APÊNDICE A – RESUMO SIMPLIFICADO

Modalidade: Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Química da Universidade Federal de Pernambuco

Estudante: Wellen Karen Marcelino Serafim

Orientador: Prof.^a Dr.^a Ana Paula Silveira Paim / **Co-orientador:** Prof. Dr. Iago José Santos da Silva

Agência financiadora do projeto: CNPq

RESUMO SIMPLIFICADO

O desenvolvimento de métodos analíticos precisos para avaliar a composição mineral de alimentos é crucial, especialmente devido à variabilidade nos processos de preparo e seu impacto resultante sobre os nutrientes. Entre a ampla variedade de alimentos disponíveis, a batata inglesa, a cenoura e o chuchu foram escolhidos como objetos de estudo para análise, dada sua ampla importância no contexto global de consumo e produção alimentar. Dessa forma, o presente trabalho desenvolveu um método de decomposição, utilizando a combinação de HNO_3 e H_2O_2 visando a determinação da composição elementar (Al, Ca, Cr, Cu, Fe, K, Mn, Na e Pb) por meio de técnicas como Espectrometria de Emissão Óptica com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP OES) e Fotometria de chama. Os resultados evidenciaram que os diferentes métodos de cozimento impactam significativamente na composição mineral dos alimentos. Conforme era esperado, foi observado um aumento na concentração de Al em todas as amostras após o cozimento em panela do mesmo material, além de alterações em minerais como Cu, Fe e K. Essas descobertas destacam a necessidade de considerar o efeito do processamento culinário na análise nutricional dos alimentos.

Palavras-chave: cidades pernambucas, batata inglesa, cenoura, chuchu, cocção, minerais.