AUTARQUIA ASSOCIADA À UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

**ESTUDO DE DIETA TOTAL APLICADO NA AVALIAÇÃO DE INGESTÃO DE ELEMENTOS
ESSENCIAIS, TÓXICOS E RADIONUCLÍDEOS NATURAIS NAS
POPULAÇÕES URBANA E RURAL DE POÇOS DE CALDAS**

MYCHELLE MUNYCK LINHARES ROSA

**Tese apresentada como parte dos
requisitos para obtenção do Grau de
Doutor em Ciências na Área
de Tecnologia Nuclear - Aplicações**

Orientadora:

Profa. Dra. Vera Akiko Maihara

Coorientador:

Prof. Dr. Paulo Sergio Cardoso da Silva

São Paulo

2018

INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES

Autarquia associada à Universidade de São Paulo

**ESTUDO DE DIETA TOTAL APLICADO NA AVALIAÇÃO DE INGESTÃO DE ELEMENTOS
ESSENCIAIS, TÓXICOS E RADIONUCLÍDEOS NATURAIS NAS
POPULAÇÕES URBANA E RURAL DE POÇOS DE CALDAS**

MYCHELLE MUNYCK LINHARES ROSA

**Tese apresentada como parte dos
requisitos para obtenção do Grau de
Doutora em Ciências na Área de
Tecnologia Nuclear Aplicações**

Orientadora:

Profa. Dra. Vera Akiko Maihara

Coorientador:

Prof. Dr. Paulo Sergio Cardoso da Silva

Versão Corrigida

Versão Original Disponível no IPEN

**São Paulo
2018**

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho,
para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte

Como citar:

ROSA, M. M. L. ***Estudo de dieta total aplicado na avaliação de ingestão de elementos essenciais, tóxicos e radionuclídeos naturais nas populações urbana e rural de Poços de Caldas***. 2018. 148 p. Tese (Doutorado em Tecnologia Nuclear), Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN-CNEN/SP, São Paulo. Disponível em: <www.teses.usp.br> (data de consulta no formato: dd/mm/aaaa)

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de geração automática da Biblioteca IPEN/USP,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Rosa, Mychelle Munyck Linhares

Estudo de dieta total aplicado na avaliação de ingestão de elementos essenciais, tóxicos e radionuclídeos naturais nas populações urbana e rural de Poços de Caldas / Mychelle Munyck Linhares Rosa; orientadora Vera Akiko Maihara; co-orientador Paulo Sergio Cardoso da Silva. -- São Paulo, 2018.
148 p.

Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Nuclear (Aplicações) -- Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, 2018.

1. Estudo de Dieta Total (EDT). 2. Elementos Essenciais. 3. Elementos Tóxicos. 4. Radionuclídeos Naturais. I. Maihara, Vera Akiko, orient. II. Silva, Paulo Sergio Cardoso da, co orient. III. Título.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Autor: Mychelle Munyck Linhares Rosa

Título: Estudo de dieta total aplicado na avaliação de ingestão de elementos essenciais, tóxicos e radionuclídeos naturais nas populações urbana e rural de Poços de Caldas

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Nuclear da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Doutora em Ciências.

Data: 30 / 05 / 2018

Banca Examinadora

Prof^a. Dra.: Vera Akiko Maihara

Instituição: IPEN/SP

Presidente

Prof^a. Dra.: Déborah Inês Teixeira Fávaro

Instituição: IPEN/SP

Julgamento: Aprovada

Prof^a. Dra.: Vanusa Maria Delage Feliciano

Instituição: CDTN/MG

Julgamento: Aprovada

Prof^a. Dra.: Cátia Heloisa Rosignoli Saueia

Instituição: UNINOVE/SP

Julgamento: Aprovada

Dedico este trabalho à minha família,
pois é a base de tudo.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, que ilumina sempre os meus caminhos, me dá todo conforto e coragem para enfrentar os obstáculos encontrados.

À Dra. Vera Akiko Maihara, pela orientação, amizade, dedicação, compreensão, auxílio e todo apoio na concretização deste trabalho.

Ao Dr. Paulo Sergio Cardoso da Silva, pela orientação, esclarecimentos, colaboração e todos os ensinamentos.

Aos meus amados familiares: pai Benedito Rosa, mãe Elizete Linhares Rosa, irmã Luciene Linhares Rosa, irmão André Linhares Rosa e sobrinha Alícia Linhares Rosa que sempre me incentivaram, apoiaram, deram palavras de encorajamento e ajudaram a enxergar que todo sacrifício valeria a pena.

Ao grande amigo Luan Cheberle, por me escutar, não deixar desistir, todo apoio na realização do trabalho, toda paciência e momentos de descontrações.

À equipe do Laboratório de Poços de Caldas (LAPOC), que foram essenciais para a execução deste trabalho e sempre muito amigos, especialmente à Dra. Maria Helena Taddei, Sandra Cheberle, Marcelo Ferreira, Giovani Bergamini, Maria José de Souza, Fernanda Tiné, Heleine Almeida, Rita Frizzo, Dinarte Mendes, Rodrigo Bonifácio, Nivaldo Silva, Pedro Claudiano, Silvana Pereira, Marco Antônio Silva, Luiza Mara, Eder Guerrero, Heber Caponi e José Flávio Macacini.

Aos amigos: Ricardo Smith (mágico das formatações), Rafaella Castilho, Alessandro Teixeira, Thais Teixeira, Géslica Batista, Patrícia Fonseca, Thiago Raffai, Marcílio Spínola, Janaína D'avila, Júlia Rocha, Wanderson Jacinto, Mariane de Carvalho e Tarcísio de Carvalho que sempre torceram pela concretização deste sonho.

À Dra. Roseane Avegliano pela colaboração na elaboração das listas de alimentos.

Ao Laboratório de Análise por Ativação Neutrônica (LAN) do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN) e ao Laboratório de Poços de Caldas (LAPOC) da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) pela oportunidade de realização do trabalho experimental. A empresa Ambientis Radioproteção pela parceria e compreensão durante a execução do trabalho.

E a todos que de alguma forma contribuíram para execução deste trabalho.

“Quando tiver que escolher entre estar certo e ser gentil, escolha ser gentil.”

Dr. Wayne W. Dyer

RESUMO

ROSA, M. M. L. ***Estudo de dieta total aplicado na avaliação de ingestão de elementos essenciais, tóxicos e radionuclídeos naturais nas populações urbana e rural de Poços de Caldas***. 2018. 150 p. Tese (Doutorado em Tecnologia Nuclear), Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN/CNEN/SP, São Paulo.

A segurança alimentar é uma necessidade fundamental e de grande preocupação pública em todo o mundo. A Organização Mundial de Saúde (WHO) recomenda o Estudo de Dieta Total (EDT) como sendo o método mais adequado de estimativa para as ingestões de contaminantes e nutrientes para um país ou grandes grupos populacionais. A implantação de um estudo relacionando a ingestão de alimentos em uma Região de Elevada Radioatividade Natural (HBRA) motivou o presente estudo, uma vez que no planalto de Poços de Caldas há ocorrência de anomalias radiativas com concentrações naturais significativas de urânio e tório. O presente estudo teve por objetivo avaliar e comparar as ingestões de elementos essenciais, tóxicos e radionuclídeos, a partir dos alimentos que compõem as dietas das populações urbana e rural, da cidade de Poços de Caldas. As determinações das concentrações dos elementos essenciais e tóxicos foram realizadas aplicando-se a técnica de análise por ativação neutrônica (As, Ca, Cl, Co, Cr, Fe, K, Mg, Mn, Na e Zn), espectrometria de absorção atômica com forno de grafite (Cd, Cu e Pb) e por geração de vapor frio (Hg). As determinações dos radionuclídeos foram realizadas aplicando-se as técnicas de análise por espectrometria gama (^{40}K), separação radioquímica seguida de contagem alfa e beta total (^{210}Pb , ^{226}Ra e ^{228}Ra) e espectrometria alfa (^{210}Po , ^{228}Th , ^{230}Th , ^{232}Th , ^{234}U , ^{235}U e ^{238}U). Os grupos de alimentos foram estabelecidos de acordo com os dados de consumo da região sudeste do país, obtidos pela Pesquisa Orçamentária Familiar (POF) 2008-2009 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). A lista final totalizou 82 alimentos distribuídos em 20 grupos, incluindo a água, e com massa total de 3,6180 Kg. Com o EDT aplicado para a região do Planalto de Poços de Caldas, foi possível observar que as ingestões diárias média para todos os elementos essenciais na dieta da população urbana apresentaram valores mais elevados quando comparados à dieta da população rural, porém não apresentaram diferenças estatisticamente significativas. As dietas estudadas foram deficientes nos elementos essenciais Ca, K, Mg e Se quando comparadas aos valores de ingestão diária recomendados. Os teores dos elementos tóxicos Cd e Pb no presente estudo estiveram dentro do intervalo relatado pela WHO a partir de EDT realizados em diversos países e/ou diferentes regiões no mundo. A ingestão total do elemento tóxico Hg foi encontrada muito abaixo do limite estabelecido pela WHO. Em relação aos radionuclídeos naturais, o cálculo de dose efetiva comprometida por ingestão da região rural (0,89 mSv/ano) apresentou-se 61% mais elevado quando comparado à região urbana (0,56 mSv/ano). Isto pode ser explicado pelo fato dos maiores pontos de anomalias radioativas estarem localizados na zona rural. Porém, a partir dos valores encontrados no presente estudo não apresentaram níveis que representassem ameaça à saúde da população deste planalto.

Palavras-chave: Estudo de Dieta Total (EDT). Elementos Essenciais. Elementos Tóxicos. Radionuclídeos Naturais.

ABSTRACT

ROSA, M. M. L. ***Total diet study applied in the evaluation of ingestion of essential, toxic elements, and natural radionuclides in the urban and rural populations of Poços de Caldas.*** 2018. 150 p. Thesis (Doctorate in Nuclear Technology), Nuclear and Energy Research Institute, IPEN/CNEN/SP, São Paulo.

Food security is a fundamental need and a great public concern throughout the world. The World Health Organization (WHO) recommends the Total Diet Study (TDS) as the most appropriate method of estimating the intake of contaminants and nutrients for a country or large population groups. The implementation of a study relating food intake in a High Background Radiation Area (HBRA) motivated the present study, since in the Poços de Caldas plateau there are occurrences of radiative anomalies with significant natural concentrations of uranium and thorium. Therefore, the objective is to evaluate and to compare the intakes of essential, toxic elements, and radionuclides from the foods that composed the diets of the urban and rural populations of the city. The concentration determination of the essential and toxic elements was performed using the neutron activation analysis (As, Ca, Cl, Co, Cr, Fe, K, Mg, Mn, Na and Zn) and atomic absorption spectrometry with graphite furnace (Cd, Cu and Pb) and cold vapor atomic (Hg). The determination of radionuclides was performed by gamma spectrometry (^{40}K), radiochemical separation followed by total alpha and beta counting (^{210}Pb , ^{226}Ra and ^{228}Ra) and alpha spectrometry (^{210}Po , ^{228}Th , ^{230}Th , ^{232}Th , ^{234}U , ^{235}U and ^{238}U). The food groups were established according to consumption data from the southeast region of the country obtained by the Household food budget survey POF 2008-2009 by the Brazilian Institute for Geography and Statistics (IBGE). The final list contained 82 foods distributed in 20 groups, including drinking water, and with a total mass of 3.6180 kg. The TDS applied to the region of the Poços de Caldas Plateau allowed to observe that the average daily intakes for all the essential elements in the urban population diet presented higher values compared to the diet of the rural population but did not present statistical differences. The essential elements Ca, K, Mg and Se were deficient in the diets studied compared to the recommended daily intake values. The toxic element level of Cd and Pb in the present study were within the range reported by the WHO from TDS conducted in several countries and/or different regions in the world. The total intake of the toxic element Hg was found well below the established limit by WHO. Intake effective dose compromised calculation of the rural region (0.89 mSv/year) was 61% higher compared to the urban region (0.56 mSv/year). This can be explained by the fact that the highest points of radioactive anomalies in the plateau are located in the rural zone, but the values found in the present study do not present levels that represent a threat to the health of the population in this plateau.

Keywords: Total Diet Study (TDS). Essential Elements. Toxic Elements. Natural Radionuclides.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Lista de alimentos utilizada em cada composto	53
Tabela 2 - Resultados obtidos no controle de qualidade das medições por INAA	68
Tabela 3 - Resultados obtidos no controle de qualidade das medições por GF AAS e CV AAS.....	69
Tabela 4 - Resultados obtidos no controle de qualidade das medições radiométricas	71
Tabela 5 - Grupo de alimentos e consumo da dieta total a partir da POF (2008-2009)	72
Tabela 6 - Concentração dos elementos essenciais nos compostos da lista de alimentos das dietas urbana e rural de Poços de Caldas	74
Tabela 7 - Ingestão diária dos elementos essenciais nos compostos da lista de alimentos das dietas urbana e rural de Poços de Caldas	81
Tabela 8 - Valores de RDA e UL comparando as dietas urbana e rural de Poços de Caldas.....	84
Tabela 9 - Concentração dos elementos tóxicos nos compostos da lista de alimentos das dietas urbana e rural de Poços de Caldas	95
Tabela 10 - Ingestão diária dos elementos tóxicos nos compostos da lista de alimentos das dietas urbana e rural de Poços de Caldas	99
Tabela 11 - Concentração dos radionuclídeos nos compostos da lista de alimentos das dietas urbana e rural de Poços de Caldas – Série do ^{238}U	104
Tabela 12 - Concentração dos radionuclídeos nos compostos da lista de alimentos das dietas urbana e rural de Poços de Caldas – Série do ^{232}Th	106
Tabela 13 - Concentração dos radionuclídeos nos compostos da lista de alimentos das dietas urbana e rural de Poços de Caldas – ^{40}K	107
Tabela 14 - Valores de referência de concentração de radionuclídeos naturais em alimentos	108
Tabela 15 - Coeficiente para dose efetiva comprometida por ingestão.....	110
Tabela 16 - Valores de dose efetiva comprometida por ingestão de cada radionuclídeo nas dietas urbana e rural de Poços de Caldas – Série do ^{238}U	111
Tabela 17 - Valores de dose efetiva comprometida por ingestão de cada radionuclídeo nas dietas urbana e rural de Poços de Caldas – Série do ^{232}Th	113

Tabela 18 - Valores de dose efetiva comprometida por ingestão de cada radionuclídeo nas dietas urbana e rural de Poços de Caldas – ⁴⁰ K.....	114
Tabela 19 - Dose efetiva comprometida por ingestão de alimentos nas dietas urbana e rural de Poços de Caldas.....	120
Tabela 20 - Cálculo de P ($T \leq t$) bi-caudal para comparação das dietas das populações urbana e rural de Poços de Caldas	123
Tabela 21 – Comparação de EDT realizados no Brasil.....	125

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Pontos de Anomalias no Planalto de Poços de Caldas	22
Figura 2 - Série Natural do ^{232}Th	27
Figura 3 - Série Natural do ^{238}U	28
Figura 4 - Série Natural do ^{235}U	29
Figura 5 - Esquema do decaimento do ^{40}K	30
Figura 6 – Desenvolvimento da Lista de Alimentos.....	50
Figura 7 – Planalto de Poços de Caldas com indicação dos pontos de coleta da dieta da região rural.....	52
Figura 8 - Preparação das amostras	54
Figura 9 - Distribuição e quantificação das amostras	58
Figura 10 - Materiais de Referências INAA	69
Figura 11 - Materiais de Referências AAS	70
Figura 12 - Material de Referência – IAEA-Soil-327.....	71
Figura 13 - Ingestão de cálcio nas dietas das populações de Poços de Caldas.....	85
Figura 14 - Ingestão de cloro nas dietas das populações de Poços de Caldas	86
Figura 15 - Ingestão de cobalto nas dietas das populações de Poços de Caldas.....	87
Figura 16 - Ingestão de cromo nas dietas das populações de Poços de Caldas	87
Figura 17 - Ingestão de cobre nas dietas das populações de Poços de Caldas	88
Figura 18 - Ingestão de ferro nas dietas das populações de Poços de Caldas.....	89
Figura 19 - Ingestão de potássio nas dietas das populações de Poços de Caldas...	89
Figura 20 - Ingestão de magnésio nas dietas das populações de Poços de Caldas.	90
Figura 21 - Ingestão de manganês nas dietas das populações de Poços de Caldas	90
Figura 22 - Ingestão de sódio nas dietas das populações de Poços de Caldas	91
Figura 23 - Ingestão de selênio nas dietas das populações de Poços de Caldas.....	92
Figura 24 - Ingestão de zinco nas dietas das populações de Poços de Caldas.....	93
Figura 25 - Ingestão de arsênio nas dietas das populações de Poços de Caldas ..	100
Figura 26 - Ingestão de cádmio nas dietas das populações de Poços de Caldas...	101
Figura 27 - Ingestão de mercúrio nas dietas das populações de Poços de Caldas	101
Figura 28 - Ingestão de chumbo nas dietas das populações de Poços de Caldas .	102
Figura 29 - Dose efetiva comprometida por ingestão de ^{238}U nas dietas urbana e rural das populações de Poços de Caldas.....	115

Figura 30 - Dose efetiva comprometida por ingestão de ^{234}U nas dietas urbana e rural das populações de Poços de Caldas.....	115
Figura 31 - Dose efetiva comprometida por ingestão de ^{230}Th nas dietas urbana e rural das populações de Poços de Caldas.....	116
Figura 32 - Dose efetiva comprometida por ingestão de ^{226}Ra nas dietas urbana e rural das populações de Poços de Caldas.....	116
Figura 33: Dose efetiva comprometida por ingestão de ^{210}Pb nas dietas urbana e rural das populações de Poços de Caldas.....	117
Figura 34: Dose efetiva comprometida por ingestão de ^{210}Po nas dietas urbana e rural das populações de Poços de Caldas.....	117
Figura 35: Dose efetiva comprometida por ingestão de ^{232}Th nas dietas urbana e rural das populações de Poços de Caldas.....	118
Figura 36: Dose efetiva comprometida por ingestão de ^{228}Ra nas dietas urbana e rural das populações de Poços de Caldas.....	118
Figura 37: Dose efetiva comprometida por ingestão de ^{228}Th nas dietas urbana e rural das populações de Poços de Caldas.....	119
Figura 38: Dose efetiva comprometida por ingestão de ^{40}K nas dietas urbana e rural das populações de Poços de Caldas.....	119

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	15
1.1 Estimativas de Consumo de Alimentos	17
1.2 Estudo de Dieta Total.....	18
1.3 Regiões de Elevada Radioatividade Natural.....	20
1.4 Planalto de Poços de Caldas	20
1.5 Minerais – Elementos Essenciais.....	23
1.6 Elementos Tóxicos	24
1.7 Radioatividade Natural	24
1.8 Séries Naturais.....	25
1.9 Efeitos Associados à Radionuclídeos	30
1.10 Estudo de Câncer.....	32
1.11 Motivação – Justificativa	33
1.12 Contribuição Original do Trabalho.....	33
2 OBJETIVOS.....	34
2.1 Objetivo Geral	34
2.2 Objetivos Específicos	34
3 METODOLOGIAS ANALÍTICAS	35
3.1 Análise por Ativação Neutrônica Instrumental (INAA).....	35
3.2 Espectrometria de Absorção Atômica com Forno de Grafite (GF AAS) e por Geração de Vapor Frio (CV AAS)	36
3.3 Espectrometria Gama	37
3.4 Separações Radioquímicas – Determinações Radiométricas com Contagem dos Emissores Alfa e Beta Total	40
3.5 Separação Radioquímica e Contagem por Espectrometria Alfa	42
3.6 Validação das Metodologias	43

3.7 Cálculo de Limites de Detecção dos Elementos Determinados pelas Metodologias Utilizadas	43
3.8 Cálculo de Ingestão dos Elementos	47
3.9 Cálculo de Dose Efetiva Comprometida.....	47
4 EXPERIMENTAL	49
4.1 Lista de Alimentos	49
4.2 Amostragem e Preparação das Amostras.....	51
4.3 Análise por Ativação com Nêutrons Instrumental (INAA)	54
4.4 Espectrometria de Absorção Atômica com Forno de Grafite e Geração de Vapor Frio	56
4.5 Determinações Radiométricas	57
4.6 Espectrometria Gama	60
4.7 Separação Radioquímica com Contagem dos Emissores Alfa e Beta Total – Determinação de ^{226}Ra , ^{228}Ra e ^{210}Pb	61
4.8 Espectrometria Alfa	63
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	67
5.1 Validação das Metodologias	67
5.2 Lista de Alimentos	72
5.3 Concentração dos Elementos Essenciais	73
5.4 Ingestão dos Elementos Essenciais.....	80
5.5 Concentração dos Elementos Tóxicos	94
5.6 Ingestão dos Elementos Tóxicos	98
5.7 Concentração dos Radionuclídeos	103
5.8 Valores de Doses Efetivas Comprometidas	109
5.9 Comparação entre as Dietas das Populações Urbana e Rural	122
5.10 Comparação dos EDT Realizados no Brasil	124
6 CONCLUSÃO	126
7 REFERÊNCIAS	128

ANEXO I	142
ANEXO II	146
ANEXO III	149
ANEXO IV	150

ESTUDO DE DIETA TOTAL APLICADO NA AVALIAÇÃO DE INGESTÃO DE ELEMENTOS ESSENCIAIS, TÓXICOS E RADIONUCLÍDEOS NATURAIS NAS POPULAÇÕES URBANA E RURAL DE POÇOS DE CALDAS

1 INTRODUÇÃO

A segurança alimentar é uma necessidade fundamental e de grande preocupação pública em todo o mundo. Os riscos alimentares para a saúde são cada vez mais evidentes. O fornecimento de um alimento inseguro ou nutricionalmente inadequado também apresenta dimensões comerciais, econômicas e políticas que tornaram a segurança alimentar uma grande preocupação dos governos, indústria alimentícia e consumidores em todo o mundo. Através do monitoramento da dieta de uma população é possível estimar as ingestões de contaminantes e/ou nutrientes, que devem ser controlados (MOY & VANNOORT, 2013).

A necessidade de dietas saudáveis e de boa qualidade requer a capacidade de detectar a presença de possíveis contaminantes, bem como a sua composição nutricional. Desta forma, o conhecimento dos níveis de concentração de elementos essenciais ou tóxicos consumidos pela população por meio da alimentação, tornou-se de grande importância (ROSSETTI, 2015; BRASIL, 2014).

A crescente demanda por segurança alimentar vem estimulando a pesquisa sobre o risco associado ao consumo de alimentos contaminados por agrotóxicos, elementos tóxicos, radionuclídeos e toxinas. Cabe às autoridades de saúde pública a responsabilidade de assegurar que estas substâncias não estejam presentes em alimentos, a níveis que adversamente afetem a saúde das pessoas (ABRASCO, 2012; AWUDU et al, 2012).

Muitas substâncias químicas consumidas têm importância, não apenas por sua perspectiva nutricional, mas também pelos efeitos prejudiciais que podem causar. Elementos químicos, do ponto de vista toxicológico e nutricional, exercem uma influência maior sobre a saúde humana do que se pensava anteriormente, podendo afetar órgãos do corpo, causando sérias consequências à saúde, como câncer, deficiências e danos cerebrais. A relação entre nutrientes, especialmente

micronutrientes e elementos tóxicos deve ser avaliada (COSTA, 2013; BRASIL, 2014).

O estudo da avaliação da ingestão de um determinado contaminante por uma população envolve dados que refletem os padrões de consumo de alimentos. Esses dados são obtidos por meio de pesquisas de consumo nacionais reais, uma vez que nem sempre permitem ou identificam associações entre ingestão e efeitos em nível individual (ROSSETTI, 2015).

A Organização Mundial de Saúde (OMS) ressalta a necessidade de monitoração de produtos químicos presentes em alimentos, com intuito de a população ter acesso às informações sobre alimentação segura em relação aos elementos que apresentam efeitos tóxicos que afetam a saúde, visto que os consumidores, na maioria das vezes, não têm condições de identificar os causadores de toxicidade. Do mesmo modo, é fundamental conhecer o papel dos elementos essenciais para a saúde humana (GIMOU et al, 2014; WHO, 2012).

A OMS recomenda o Estudo de Dieta Total (EDT) como sendo o método mais adequado para avaliar as ingestões de contaminantes e nutrientes presentes em alimentos mais consumidos por um país ou por grandes grupos populacionais, obtidos de dados de consumo alimentar populacional.

Os minerais são nutrientes, em sua maioria, considerados essenciais para a alimentação, sendo divididos em macronutrientes e micronutrientes ou elementos traço. Todo elemento essencial pode se tornar tóxico quando ingerido em quantidades muito elevadas, porém há alguns elementos que são considerados tóxicos em qualquer quantidade na alimentação dos seres humanos, sendo eles: As, Cd, Hg e Pb (CHEKRI et al, 2012; ARNICK et al, 2012).

Isótopos radioativos (radionuclídeos) estão presentes naturalmente no meio ambiente e em toda espécie de matéria. A radiação é originária de materiais radioativos encontrados no solo, água e ar, podendo ser detectada em alimentos e água e a concentração de radionuclídeos naturais varia de acordo com vários fatores, como a geologia local, clima e práticas agrícolas (CAVALCANTE, 2017; SANTOS, 2015; CANBAZOGLU & DOGRU, 2013).

Estudos que avaliam o dano biológico, no homem, decorrente de exposição de radionuclídeos naturais das séries do ^{238}U e do ^{232}Th , que possuem meias-vidas longas, são muito importantes (LAURIA et al, 2012; ROSA, 2012). Esses estudos

são particularmente realizados em regiões que apresentam elevada radioatividade natural, as chamadas HBRA (High Background Radiation Area). Entre as HBRA, o Planalto de Poços de Caldas (MG) é mundialmente conhecido por apresentar diversas anomalias radioativas.

No Brasil existem poucos grupos de pesquisa direcionados à avaliação do estado nutricional de grupos populacionais, utilizando a metodologia do estudo de dieta total. A implantação de um estudo relacionando a ingestão de alimentos em uma região de elevada radioatividade natural motivou a realização do presente trabalho, uma vez que na região estudada há ocorrência de anomalias radiativas com concentrações naturais significativas de urânio e tório. Nessas áreas, a radiação de fundo pode ser bem mais elevada do que em regiões onde não ocorrem anomalias. Uma vez que os maiores pontos de anomalias radioativas encontrados no planalto de Poços de Caldas estão localizados na região rural, além da dieta da população da região urbana, foi estudada também a dieta da população rural.

1.1 Estimativas de Consumo de Alimentos

Diversos estudos realizados com o objetivo de se avaliar a presença de nutrientes e contaminantes presentes nos alimentos consumidos demonstram a preocupação de fornecer dietas saudáveis à população (MOY & VANNOORT, 2013; AVEGLIANO et al, 2008, 2011).

Os países devem estabelecer limites legais para contaminantes em alimentos e monitorar a obediência a tais limites. Esse tipo de monitoramento é essencial para a proteção das pessoas, para facilitar o comércio e para avaliar os riscos de Saúde Pública (ABRASCO, 2012).

É de responsabilidade das autoridades nacionais de saúde garantir que substâncias tóxicas (agrotóxicos, toxinas que ocorrem naturalmente, elementos tóxicos e outros contaminantes) não estejam presentes em alimentos, a níveis que afetem a saúde da população (AVEGLIANO, 2012; VIM et al, 2014; GIMOU et al, 2014). Os radionuclídeos naturais e artificiais também são incluídos na lista de contaminantes que devem ser monitorados (PATRA et al, 2014; MELI et al, 2013).

A coleta de dados válidos sobre consumo de alimentos por uma população é um problema difícil de ser superado, antes que qualquer avaliação de ingestão de um contaminante possa ser feita. Os dados de consumo de uma população devem refletir os seus padrões de consumo alimentares típicos. Esses dados de consumo devem ser fornecidos por pesquisas de consumo nacionais atuais, embora pesquisas nacionais amplas nem sempre permitam ou identifiquem associações entre ingestão e efeitos em nível individual (AVEGLIANO, 2009; NOTARNICOLA et al, 2017).

Estimativas que abordam médias de consumo podem levar à subestimação da ingestão de alimentos por alguns grupos dentro da população e a uma superestimação de ingestão por outros. Entretanto, quando se tem informações sobre a magnitude da variação na ingestão do nutriente, é possível avaliar o erro potencial. Tal informação pode ser conseguida por meio de dados obtidos em pesquisas populacionais. Essa magnitude indica a precisão da média de ingestão habitual observada do indivíduo em relação ao nutriente analisado. Sendo assim, estudos complementares podem ser necessários para esclarecer os resultados obtidos (SALA et al, 2017; USDA, 2015).

1.2 Estudo de Dieta Total

A OMS recomenda o Estudo de Dieta Total (EDT), também conhecido como Estudo da Cesta de Mercado (*Market Basket Study*), como sendo o método mais adequado de estimativa para as ingestões de contaminantes e nutrientes para um país ou para grandes grupos populacionais (MOY & VANNOORT, 2013).

É uma ferramenta essencial usada para monitorar produtos químicos, como agrotóxicos, contaminantes e nutrientes presentes nos alimentos, estimar exposições alimentares e caracterizar o risco associado à saúde (PERELLÓ et al, 2015; MOY & VANNOORT, 2013).

O EDT é uma abordagem adotada mundialmente para estimar o consumo de nutrientes de interesse por análises químicas, para uma população durante um período específico, organizado com alimentos que refletem uma dieta total definida. As quantidades de alimentos consumidos são obtidas por pesquisas, e a preparação

dos alimentos é realizada da mesma maneira em que normalmente seriam consumidos pela população (MOY & VANNOORT, 2013; WHO, 2002, 2006).

O uso da metodologia de EDT se baseia em três princípios essenciais:

- Representatividade da dieta, isto é, o quanto a dieta analisada se aproxima dos hábitos alimentares de uma população estudada;
- Divisão dos alimentos analisados, como e onde são coletados e como são separados para sua utilização como amostras;
- Preparação dos alimentos como prontos para consumo, deve ser realizada antes de passarem pela análise (WHO, 2011).

O uso das Pesquisas de Orçamentos Familiares (POF) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) é uma das maneiras de se determinar dados de consumo de alimentos para serem utilizados nos EDTs (MAIHARA et al, 2001, 2004; AVEGLIANO et al, 2015).

Um trabalho pioneiro sobre Estudo da Dieta Total foi desenvolvido no IPEN pelo Laboratório de Análise por Ativação Neutrônica (LAN), no qual foram avaliadas as ingestões dietéticas de elementos essenciais e tóxicos em dieta da população do Estado de São Paulo. Nesse estudo foram utilizados os dados da POF de 2002-2003 para a obtenção dos alimentos mais consumidos. Foram determinadas concentrações dos elementos As, Cd, Ca, Cr, Fe, Na, K, Se e Zn em alimentos agrupados em 30 compostos. O estudo apontou uma baixa ingestão dos elementos essenciais em relação aos valores de ingestões desses elementos em outros países. Quanto aos elementos tóxicos, os valores de concentração encontrados foram abaixo dos limites máximos de tolerância, estabelecidos pela legislação brasileira para risco de ingestão. Os resultados encontrados permitiram obter dados de EDT realizado no Brasil para comparar com EDTs já realizados em outros países (AVEGLIANO, 2009; AVEGLIANO et al, 2011).

Um segundo estudo utilizando o EDT, com dados da POF 2008-2009 do IBGE, foi realizado para a avaliação de ingestão dietética dos elementos essenciais e tóxicos referente à região Sudeste do Brasil. Foram determinados os elementos As, Br, Ca, Cd, Cl, Co, Cr, Cs, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Rb, Sc, Se e Zn. Para os elementos essenciais na alimentação os valores encontrados estavam dentro das recomendações nutricionais para os elementos Cl, Cu, Fe, Mg, Mn, Se e Zn. Para os

elementos Ca, Cr e K, as ingestões dietéticas encontravam-se abaixo dessas recomendações. Em relação aos elementos tóxicos As e Cd, os valores encontrados estiveram muito abaixo dos limites estabelecidos pela legislação (AMBROGÍ et al, 2016).

1.3 Regiões de Elevada Radioatividade Natural

Regiões de elevada radioatividade natural (High Background Radiation Areas – HBRA) têm despertado muito interesse do ponto de vista de proteção radiológica (LAURIA et al, 2012).

Uma região de alto background é definida como uma área ou um complexo de construções onde a radiação natural no solo, ar (outdoor e indoor), água, alimentos, etc. levam a uma elevada exposição, seja ela interna ou externa, que resulta em uma dose efetiva anual para o público acima dos níveis estabelecidos (HENDRY et al, 2009).

Veiga e Koifman (2005) apresentaram uma visão geral das HBRA brasileiras e avaliaram se a mortalidade de câncer em moradores de Poços de Caldas, Araxá e Guarapari é mais alta quando comparada às taxas de mortalidades de seus respectivos Estados. Os resultados mostraram que as cidades de Poços de Caldas e Guarapari apresentaram taxas maiores do que seria esperado para a respectiva população de referência. Porém, os níveis de radiação natural nestas regiões não podem ser associados à excessiva mortalidade de câncer, visto que outros aspectos de exposição ambiental deveriam ser estudados.

1.4 Planalto de Poços de Caldas

O Planalto de Poços de Caldas possui o aspecto de uma caldeira abatida de um vulcão de aproximadamente 35 km de diâmetro, causada pela associação de eventos tectônicos, processos de intemperismo e erosão (BOSSEW et al, 2015).

O Planalto de Poços de Caldas possui diversas anomalias radioativas mundialmente conhecidas, sendo que uma delas, o Morro do Ferro, apresenta uma das mais elevadas taxas de dose externa natural do mundo. No planalto está localizada também a primeira mineradora de urânio em escala comercial realizada no País, a Indústrias Nucleares do Brasil (INB) que atualmente, encontra-se em processo de descomissionamento.

Um pouco do histórico dessa região:

1948 – Foi detectada radioatividade em minerais de zircônio no Planalto Poços de Caldas.

1959 – A Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) iniciou uma usina para extração de urânio, encerrada em 1961.

1965 – Descobertas as jazidas no Campo do Agostinho (urânio e molibdênio).

1970 – Descobertas as jazidas de urânio do Campo do Cercado (atual INB).

1974 – Abertura das primeiras galerias de urânio no Campo do Cercado. Nesse mesmo ano foi criado o Laboratório de Poços de Caldas (LAPOC) da CNEN.

1982 – Iniciou-se a exploração comercial de urânio.

1995 – Paralisação da lavra.

A situação da população residente nos municípios sob influência da região vulcânica de Poços de Caldas é de especial interesse para a Vigilância em Saúde relacionada a fatores físicos, porquanto apresenta um quadro rico para estudos que acrescentem conhecimentos sobre a exposição de longa duração à radioatividade natural em regiões dotadas de anomalias geológicas com alta concentração de minerais radioativos (PROJETO PLANALTO POÇOS DE CALDAS, 2009).

Na Figura 1 são apresentados os pontos de anomalias presentes na região com o urânio (U) e tório (Th) encontrados separadamente, sendo o U associado ao zircônio ou molibidênio e o Th com óxidos de ferro e manganês, atentando-se que os pontos de anomalia, quase em sua totalidade, encontram-se na zona rural do planalto.

Figura 1 - Pontos de Anomalias no Planalto de Poços de Caldas

A Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), o Instituto Nacional do Câncer (Inca), a Secretaria Estadual de Saúde de Minas Gerais e as Secretarias Municipais de Saúde de Poços de Caldas, Andradas, Ibityúra de Minas, Santa Rita de Caldas e Caldas se uniram em um projeto para investigar a relação entre a incidência de câncer e a radiação natural elevada da região. Neste estudo, medições que fazem referência à radiação externa, ou seja, ao ar livre da radiação natural no planalto foram realizadas. Foram percorridos 5.039 km nas malhas viárias urbanas e rurais dos municípios de Andradas, Caldas, Poços de Caldas, Santa Rita de Caldas e Ibityúra de Minas, localizados a um raio de 20 km da mina de urânio, medindo, por GPS, 417.324 pontos. Essas medições foram realizadas durante um ano, com aparelhos chamados dosímetros, instalados em residências de Poços de Caldas, Caldas e Andradas, sorteadas por amostragem randômica.

Como resultado, obteve-se que os valores de doses médias foram inferiores a 5 mSv/ano, o que corresponde à radioatividade normal, exceto em três locais com valores elevados (acima de 10 mSv/ano): Campo do Cercado e Morro do Taquari, ambos na zona rural de Caldas e o Morro do Ferro, na zona rural de Poços de Caldas. Os níveis de radiação na população, que trabalha nos arredores, e o acesso a esses locais são monitorados periodicamente. Já as medições da radiação domiciliar foram necessárias devido ao fato de que o gás radônio é identificado como fonte de radiação natural interna e, segundo a OMS, a sua inalação é a segunda maior causa de câncer de pulmão no mundo (SES-MG, 2013).

1.5 Minerais – Elementos Essenciais

Micronutrientes são vitaminas e minerais necessários na dieta da população em quantidades relativamente pequenas (USDA, 2015). De acordo com Arnick e colaboradores (2012) a maior parte dos minerais é considerada essencial, sendo divididos em macro e micromineral (elementos traço):

- **Macrominerais:** são aqueles elementos cuja necessidade diária é de 100 mg ou superior a isto, tais como Ca, Cl, Mg, K, Na, entre outros.
- **Microminerais ou elementos traço:** são aqueles elementos cuja necessidade diária é muito inferior, em torno de 15 mg, tais como Fe, I, Mn, Zn, ou ainda

aqueles que são consumidos alguns microgramas por dia, tal como Se, Cr e Co.

A maior parte dos minerais pode levar a doenças, por deficiência, bem definidas quando suas ingestões são insuficientes ou por toxicidade quando são excessivas (CHEKRI et al, 2012; ARNICK et al, 2012). Sendo assim, a carência ou o consumo excessivo desses elementos essenciais pode acarretar danos, mesmo sem necessariamente produzir mudanças clínicas definitivas (USDA, 2015).

1.6 Elementos Tóxicos

Existem muitos elementos que podem apresentar-se como tóxicos quando consumidos, devido aos seus efeitos altamente prejudiciais na saúde dos indivíduos. Alguns deles são considerados como importantes poluentes ambientais, tais como As, Be, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Sb e Zn (BAKIRCIOGLU et al, 2018).

Alguns desses elementos são necessários em pequena quantidade na alimentação dos seres humanos, como Cu, Mn, V e Zn. Porém, níveis excessivos desses elementos tornam-se extremamente tóxicos. Os considerados mais perigosos são Cd, Hg e Pb, pois mesmo presentes em concentrações extremamente baixas, são altamente tóxicos para os indivíduos. O consumo de alimentos com altos teores de elementos tóxicos pode induzir a toxicidade crônica por acúmulo no fígado e rins dos mesmos (MUÑOZ et al, 2017; STORELLI et al, 2012).

Para alguns elementos como Hg, Cd e Pb, além de afetar o metabolismo de alguns dos elementos essenciais, até os dias atuais não foi encontrada nenhuma função essencial (MUÑOZ et al, 2017).

1.7 Radioatividade Natural

A crosta terrestre contém radionuclídeos que constituem a maior fonte de material radioativo de ocorrência natural (NORM - Naturally Occurring Radioactive Materials) no meio ambiente. A maioria desses radionuclídeos pertence às cadeias

de decaimento que se iniciam com ^{235}U , ^{238}U e ^{232}Th (CANBAZOGLU & DOGRU, 2013).

Materiais radioativos de ocorrência natural fazem parte de tudo que nos cerca. Tanto o planeta quanto a atmosfera terrestre contêm diferentes espécies radioativas naturais. Desde o seu aparecimento na Terra, o homem encontra-se exposto à radiação proveniente dos radionuclídeos presentes na crosta terrestre, conhecidos como NORM. Devido ao uso crescente da radioatividade em suas diversas aplicações, aumentou o interesse pela determinação da exposição às radiações, às quais o homem pode estar sujeito. Essas radiações têm origem na natureza (fontes naturais) ou em atividades do próprio homem (fontes artificiais) (LAURIA et al, 2012).

Em média, o ser humano recebe cerca de 2,4 mSv de dose efetiva comprometida a cada ano, devido à estas fontes naturais de radiação (CNEN, 2011). A taxa de dose efetiva comprometida anual é classificada em quatro níveis pela Comissão Internacional de Proteção Radiológica (ICRP) e Padrão de Segurança Básica Internacional (IBSS):

- Baixo: até 5,0 mSv/ano (ou seja, duas vezes o valor da média mundial que é de 2,4 mSv/ano segundo a UNSCEAR, 2000);
- Médio: valor entre 5,0 e 20 mSv/ano;
- Alto: entre 20 a 50 mSv/ano;
- Muito alto: equivale a valor superior a 50 mSv/ano (HENDRY et al, 2009; IAEA, 1996).

1.8 Séries Naturais

A desintegração de um isótopo natural de número atômico elevado, o qual dá origem a outro isótopo também radioativo e assim sucessivamente, até alcançar uma forma isotópica estável, constitui uma série de decaimento radioativo ou série radioativa natural (LAURIA et al, 2012).

Antes de se tornarem estáveis, durante as desintegrações sucessivas, estes tendem a atingir o equilíbrio radioativo. Em cada um desses sucessivos decaimentos os núcleos emitem partículas alfa, beta e/ou radiação gama. Essas sequências de núcleos são denominadas *Séries Radioativas* (HENDRY et al, 2009; CANBAZOGLU & DOGRU, 2013).

A radiação oriunda de isótopos radioativos das séries radioativas naturais do tório (^{232}Th) e urânio (^{238}U e ^{235}U), como também do radioisótopo do potássio (^{40}K), são os maiores contribuintes da radiação natural terrestre (MEHRA, 2009). Nas Figuras 2, 3, 4 e 5 são apresentadas as séries naturais do ^{232}Th , ^{238}U e ^{235}U e esquema de decaimento do ^{40}K , respectivamente.

Cada uma dessas séries é iniciada a partir de um isótopo do urânio ou tório, tendo uma meia-vida longa, comparada à idade do sistema solar (aproximadamente 4,5 bilhões de anos) e termina em um isótopo estável do chumbo e o ^{40}K termina em um isótopo estável de cálcio. Destas séries, frequentemente a do ^{235}U é a menos detectada, devido à pequena porcentagem do isótopo na natureza (VASCONCELOS, 2010).

Do ponto de vista radiológico e dosimétrico, as séries radioativas naturais do ^{238}U e do ^{232}Th , são as principais responsáveis pelas exposições radioativas naturais do homem na Terra, sendo as que mais contribuem para a taxa de dose efetiva comprometida proveniente de fontes naturais. A radiação gama emitida por esses radioisótopos naturais representa a principal fonte externa de radiação do corpo humano (UNSCEAR, 2000; LU & ZHANG, 2006).

As três vias pelas quais os radionuclídeos podem atingir o ser humano são:

- (a) ingestão;
- (b) inalação e,
- (c) exposição externa e devido a contaminação.

Os radionuclídeos naturais depositados internamente em diversos órgãos do corpo humano por ingestão derivam de 3 fontes principais:

- Ingestão de poeira,
- Ingestão de alimentos,
- Ingestão de água.

Figura 2 - Série Natural do ^{232}Th

Fonte: Eisenbud & Gesell, 1997 – Eisenbud, M.; Gesell, T. "Environmental radioactivity from natural, industrial and military sources". Academic Press, San Diego, California, USA (1997)

Figura 3 - Série Natural do ^{238}U

Fonte: Eisenbud & Gesell, 1997 – Eisenbud, M.; Gesell, T. "Environmental radioactivity from natural, industrial and military sources". Academic Press, San Diego, California, USA (1997)

Figura 4 - Série Natural do ^{235}U

Fonte: Eisenbud & Gesell, 1997 – Eisenbud, M.; Gesell, T. "Environmental radioactivity from natural, industrial and military sources". Academic Press, San Diego, California, USA (1997)

Figura 5 - Esquema do decaimento do ^{40}K

Fonte: CORRADINI, Ensaios com a radioatividade natural do Potássio, 2012

Uma fração significativa de radionuclídeos pode ser proveniente de outras fontes, como radônio de materiais de construção, solo, rocha ou, chumbo e polônio, dos cigarros. O ^{210}Pb é a fonte primária do ^{210}Po , responsável pela maior parte da dose equivalente devido a subsérie do ^{210}Pb (PONDEIRO, 2006).

1.9 Efeitos Associados à Radionuclídeos

Sabe-se que alimentos e águas contêm radionuclídeos naturais, que contribuem para a dose interna após a ingestão. Os alimentos constituem-se como um dos principais modos de exposição humana à radiação (AWUDU et al, 2012).

Os radionuclídeos podem ser transferidos do solo para os alimentos nele cultivados. Um estudo avaliando o fator de transferência (FT) de radionuclídeos de meia vida longa para alimentos da cultura local foi realizado em um distrito do sul da Índia, Kanyakumari. Os principais alimentos estudados foram arroz, frutas, vegetais e tapioca. Os resultados apresentaram valores maiores de FTs dos radionuclídeos nos grãos (arroz) e tubérculos (tapioca), quando comparados com os outros alimentos analisados (SHANTHI et al, 2012).

Um estudo realizado por Garcia e colaboradores (2006) determinou os níveis de concentração de urânio natural na dieta dos moradores da cidade de São Paulo

em amostras de alimentos típicos de adultos. No trabalho, foram avaliadas a ingestão de urânio e sua acumulação nos tecidos e órgãos em função do tempo e quantidade ingerida. O consumo médio observado foi de 0,97 µg de urânio por dia. Os resultados obtidos foram comparados com modelos experimentais de outras localidades e com modelos da Comissão Internacional de Proteção Radiológica (ICRP), que também estava de acordo com a constatação de que o consumo deste elemento em alimentos tende a variar entre 0,7 e 1,4 µg/dia.

A determinação dos níveis de radionuclídeos em alimentos é de grande importância para a saúde humana. O sistema de espectrometria gama foi usado na determinação das concentrações de ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K e ^{137}Cs em frutas e vegetais, frequentemente consumidos, cultivados na região de Elazig na Turquia e foi avaliada a ingestão anual. Esta região é rica em fontes minerais e realiza diversas atividades de mineração (Cr, Cu, F, Fe, Mo, Mn, Pb, Zn e W). No estudo, foi encontrada dose de radiação devido ao consumo desses alimentos, menor que a média mundial para alimentos, de 110 µSv/ano, e não apresentou níveis que representasse uma ameaça à saúde da população (CANBAZOGLU & DOGRU, 2013).

Venturini e Sordi (1999) avaliaram a ingestão de alguns radionuclídeos (^{40}K , ^{228}Ra , ^{226}Ra e ^{137}Cs) por espectrometria gama em dieta típica brasileira, incluindo alguns tipos de frutas, vegetais, cereais e carnes. As doses anuais permitidas dos radionuclídeos ^{40}K , ^{228}Ra , ^{226}Ra e ^{137}Cs para adultos foram estimadas em 87,4 µSv, 36,7 µSv, 4,9 µSv e 0,04 µSv, respectivamente. Neste trabalho foi observada uma concentração elevada de ^{137}Cs em alguns condimentos analisados e valores de doses abaixo dos limites permitidos, para todos os radionuclídeos analisados.

A ingestão de radionuclídeos das séries naturais de decaimento do urânio e tório pelo homem varia muito, dependendo dos hábitos alimentares e da concentração dos radionuclídeos nos alimentos e na água. Devido aos elevados níveis de radionuclídeos, habitantes de áreas de elevada radiação de fundo (HBRA) podem ingerir maiores quantidades de radionuclídeos através da água ou alimentos, comparados aos habitantes de áreas com radiação de fundo normal (NBRA) (LAURIA et al, 2012).

Saber a atividade dos radionuclídeos a que um indivíduo é exposto de maneira geral é importante a fim de:

- Estimar a dose radioativa individual recebida por um indivíduo do público;
- Avaliar a eficiência das técnicas para eliminação de radionuclídeos incorporados;
- Identificar fontes de radionuclídeos;
- Avaliar a contribuição da dose total devido ao consumo de alimentos;
- Avaliar a radiação de fundo de áreas de interesse (TADDEI et al, 2001).

Um estudo da determinação de radionuclídeos produtos de decaimento do urânio e tório em alimentos e água potável foi realizado na região de Buena. Esta região pertence ao Estado do Rio de Janeiro e é rica em tório, sendo considerada uma HBRA. Os valores de concentração de radionuclídeos nos alimentos e água potável de Buena alcançaram valores até 100 vezes mais altos, que os valores de referência internacional (LAURIA et al, 2012).

1.10 Estudo de Câncer

O câncer foi sempre considerado como uma doença com maior ocorrência em países desenvolvidos, com ampla disponibilidade de recursos financeiros. Porém, este quadro se alterou nas últimas décadas e parte considerável da incidência dos casos de câncer no mundo, pode ser constatada em países em desenvolvimento, portanto, com carência de recursos financeiros (FERLAY et al, 2012; JEMAL et al, 2010).

Cada vez mais as questões ambientais e ocupacionais têm merecido destaque na incidência do câncer. Neste sentido, foi criada a área de vigilância do câncer, pela Secretaria de Saúde de Poços de Caldas, relacionado ao trabalho e ao ambiente, que tem atuado na elaboração e na execução de estudos que visam o desenvolvimento de modelos de vigilância, para que haja redução da morbidade e da mortalidade, decorrentes da exposição a agentes cancerígenos, presentes nas atividades laborais e no ambiente (PROJETO PLANALTO POÇOS DE CALDAS, 2009).

1.11 Motivação – Justificativa

No Projeto Planalto Poços de Caldas que relacionou o índice de câncer da população de Poços de Caldas com os níveis de radioatividade ambiental, não foi considerada a contribuição dos alimentos como possível fonte de radionuclídeos para a dose efetiva comprometida da população estudada. Em vista disso, verificou-se a necessidade de implantação de um estudo relacionando a ingestão de alimentos em uma região com concentrações naturais significativas de urânio e tório em diversos pontos, sabendo-se que a radiação de fundo, pode ser bem maior do que em regiões onde não é observada elevada concentração destes radionuclídeos. Desse modo, o objetivo deste trabalho foi também contribuir para trabalhos futuros sobre os índices naturais de radiação, por meio da ingestão de alimentos no planalto de Poços de Caldas, além de avaliar se os níveis dos elementos essenciais e tóxicos, estão dentro dos limites adequados para a saúde da população estudada.

1.12 Contribuição Original do Trabalho

Este trabalho apresenta como contribuição original o estudo da ingestão de elementos essenciais, tóxicos e radioativos em alimentos que compõem a dieta da população residente em uma região de elevada radioatividade natural, localizada no Planalto de Poços de Caldas, através da análise química direta dos alimentos, utilizando a metodologia do estudo de dieta total (EDT), visto que estes dados são praticamente inexistentes no Brasil. Em relação à ingestão de radionuclídeos, a partir dos alimentos consumidos em áreas HBRA, os estudos são ainda mais escassos, não existindo estudo utilizando a metodologia de EDT.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar e comparar as ingestões de elementos essenciais, tóxicos e radionuclídeos a partir dos alimentos que compõem as dietas das regiões urbana e rural de Poços de Caldas, região de elevada radioatividade natural.

2.2 Objetivos Específicos

- Determinação das concentrações dos elementos essenciais: Ca, Cl, Co, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Se e Zn;
- Determinação das concentrações dos elementos tóxicos: As, Cd, Hg e Pb;
- Calcular as ingestões dos elementos essenciais e tóxicos e verificar se os valores de ingestões dos elementos essenciais atendem as recomendações nutricionais e se as ingestões dos elementos tóxicos estão dentro dos limites de tolerância;
- Determinação das concentrações de atividades dos radionuclídeos ^{40}K , ^{210}Pb , ^{210}Po , ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{232}Th , ^{230}Th , ^{228}Th , ^{234}U , ^{235}U e ^{238}U ;
- Calcular a dose efetiva comprometida devido à ingestão dos radionuclídeos;
- Comparar as ingestões dos elementos essenciais, tóxicos e concentração dos radionuclídeos entre as dietas das populações urbana e rural.

3 METODOLOGIAS ANALÍTICAS

3.1 Análise por Ativação Neutrônica Instrumental (INAA)

A Análise por Ativação com Nêutrons (NAA) comparativa consiste em submeter, simultaneamente, a amostra e o padrão a um fluxo de nêutrons provenientes de um reator nuclear ou outra fonte de nêutrons. Os elementos constituintes da amostra e do padrão interagem com esses nêutrons, sofrendo reações nucleares e formando isótopos radioativos.

Uma vez que cada isótopo produzido no processo de ativação possui características de emissão próprias (meia vida e energia das partículas ou radiação gama emitida), é possível efetuar determinações das concentrações dos elementos de interesse por comparação com padrões dos elementos com concentrações conhecidas.

A detecção dos radionuclídeos formados é feita por espectrometria gama, utilizando detectores semicondutores de germânio hiperpuro, que possuem alta resolução, que permitem determinações multielementares.

Os espectros de raios gama obtidos são analisados por programas de computação, que localizam os fotopicos, determinam suas energias e calculam suas áreas.

A concentração é obtida pela comparação de áreas de picos referentes a padrões, que são ativados juntamente com as amostras, utilizando-se para o cálculo a seguinte equação (1):

$$C_a^i = \frac{(A_a^i m_p) e^{\lambda(t_a - t_p)}}{A_p^i m_a} \quad (1)$$

Onde:

C_a^i : Concentração do elemento i na amostra (mg/kg).

A_a^i : Atividade do elemento i na amostra (cps).

A_p^i : Atividade do elemento i no padrão (cps).

m_a e m_p : Massas da amostra e padrão, respectivamente (g).

λ : Constante de decaimento do radioisótopo (s^{-1}).

t_a : Tempo de decaimento da amostra (s).

t_p : Tempo de decaimento do padrão (s).

3.2 Espectrometria de Absorção Atômica com Forno de Grafite (GF AAS) e por Geração de Vapor Frio (CV AAS)

A espectrometria de absorção atômica é uma técnica que se baseia na medida da absorção da radiação eletromagnética que provém de uma fonte de radiação de átomos no estado fundamental. O elemento de interesse absorve a radiação incidente, proveniente de uma fonte de radiação primária, uma lâmpada, em um comprimento de onda específico, selecionado por um monocromador (separador da linha espectral de interesse de outras linhas).

Quando a fonte de radiação externa de radiação incide sobre o vapor do analito, em uma frequência (comprimento de onda) apropriada, pode ser absorvida pelos átomos do analito e promovê-los a um estado excitado, e ao voltar para seu estado fundamental, o átomo transfere seu excesso de energia. A quantidade de energia absorvida é proporcional à concentração do elemento na amostra.

Quando a atomização é realizada em forno grafite pirolítico, tem-se a espectrometria de absorção atômica com atomização eletrotérmica em forno grafite (GF AAS). Devido à elevada pressão de vapor, o mercúrio é determinado pela técnica espectrometria de absorção atômica com geração de vapor frio (CV AAS).

A grandeza física de medida é a absorbância e a relação matemática entre absorbância e concentração, é dada pela Lei de Lambert-Beer. Aplicando-se esta lei é possível relacionar a concentração de átomos no estado fundamental com a absorção, através da equação (2):

$$A = \log I_0/I_t = ALC \quad (2)$$

Onde:

A: Absorbância.

I_0 : Intensidade da radiação emitida pela fonte de luz.

I_t : Intensidade de radiação transmitida (não absorvida).

A: Coeficiente de absorção molar do meio.

L: Espessura da célula de absorção.

C: Concentração de átomos no estado fundamental.

A técnica AAS apresenta alta seletividade e relativamente poucas interferências, uma vez que as transições eletrônicas ocorrem em comprimentos de onda específicos para cada elemento. Os espectrômetros de absorção atômica são constituídos de seis componentes principais:

- 1) fonte de radiação,
- 2) sistema de introdução de amostras,
- 3) sistema de atomização;
- 4) monocromador;
- 5) sistema de detecção e
- 6) dispositivos de leitura.

Esses componentes são combinados de forma adequada e compacta, conectados a sistemas computadorizados, para o controle operacional do equipamento e o tratamento de dados.

3.3 Espectrometria Gama

A espectrometria gama pode ser utilizada para a determinação de uma grande variedade de radionuclídeos em diferentes matrizes. A potencialidade desta técnica permite o estudo de emissores gama em uma ampla faixa de energia. Uma de suas vantagens está na capacidade de determinar, simultaneamente, diferentes radionuclídeos em uma mesma amostra, sem a necessidade de separação química. Na espectrometria gama é utilizado material semicondutor como germânio para o

sistema de detecção (LAURIA et al., 2007). Os detectores de germânio hiperpuros (HPGe) são os mais utilizados, devido à alta resolução em energia e à possibilidade de medir atividades de radionuclídeos que emitem radiação gama. Os detectores são conectados a analisadores multicanais e softwares apropriados para identificação e quantificação dos radionuclídeos.

A emissão de raios gama geralmente ocorre em decorrência de um decaimento radioativo, por exemplo, após a emissão de partículas alfa ou beta. Ao emitir partículas alfa ou beta, na maioria das vezes, um núcleo decai para um estado excitado do núcleo descendente, que então alcançará seu estado fundamental pela liberação de um ou mais raios gama. Considerando que esses raios gama são característicos do decaimento de cada radionuclídeo e têm suas energias e intensidades conhecidas, torna-se possível fazer a identificação e a quantificação de um ou mais radionuclídeos presentes em um determinado material, por meio de espectrometria de radiação gama. A atividade dos elementos presentes na amostra depende da taxa de contagem dos raios gama emitidos.

As vantagens do uso da espectrometria gama com detector de germânio são devidas principalmente ao seu tempo de resolução (aproximadamente 10^{-8} s) e sua linearidade de resposta, em uma ampla faixa de energia. As atividades de um grande número de radionuclídeos podem ser determinadas simultaneamente, além de ser uma técnica não destrutiva. É um método de boa precisão para análise de radionuclídeos.

A determinação da atividade é realizada utilizando-se a equação (3):

$$A = \frac{N}{\varepsilon \cdot \gamma \cdot m \cdot t_s \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3} \quad (3)$$

Onde:

A: Concentração de atividade do radionuclídeo.

N: Número líquido de contagens (área líquida) registrado por segundo sob o fotopico correspondente ao raio-gama emitido pelo radionuclídeo, conforme equação (4):

$$N = N_s - \frac{t_s}{t_b} \cdot N_b \quad (4)$$

Onde:

N_s : É o número líquido de contagens registrado por segundo, sob o fotopico correspondente ao raio-gama emitido pelo radionuclídeo no espectro da amostra.

N_b : É o número líquido de contagens registrado por segundo sob o fotopico correspondente ao raio-gama emitido pelo radionuclídeo no respectivo espectro de background.

t_s : É o tempo vivo de aquisição do espectro da amostra.

t_b : É o tempo vivo de aquisição do espectro de background.

ε : É a eficiência do sistema na detecção do raio-gama com energia correspondente ao fotopico.

γ : É a intensidade absoluta de emissão gama correspondente à energia do fotopico.

m : É a massa da amostra.

K_1 : É o fator de correção para o decaimento do radionuclídeo, dada pela equação (5):

$$K_1 = \exp \left(- \frac{\ln 2 \cdot \Delta t}{T_{1/2}} \right) \quad (5)$$

Onde:

$T_{1/2}$: É a meia-vida do radionuclídeo.

Δt : É o tempo decorrido desde a data de coleta até a realização da medida na amostra no detector.

K_2 : É o fator de correção de decaimento do radionuclídeo durante o tempo de contagem.

K_3 É o fator de correção devido a auto atenuação da radiação dado pela equação (6):

$$K_3 = \exp (-\mu(E)\rho t) \quad (6)$$

Onde:

μ : é o coeficiente de atenuação de massa expresso em cm^2/g na energia E da radiação

ρt : é a massa média por unidade de área (g/cm^2).

Para a determinação do radionuclídeo ^{40}K nas amostras das dietas, não foram aplicados os fatores de correção K_2 e K_3 .

3.4 Separações Radioquímicas – Determinações Radiométricas com Contagem dos Emissores Alfa e Beta Total

Este método foi empregado para separação química de rádio e chumbo dos demais elementos presentes em uma amostra e separação entre si por precipitação seletiva, constituindo-se em um método indireto de determinação. Esta técnica é vantajosa, pois apresenta como característica principal, uma baixa radiação de fundo e, conseqüentemente, um limite de detecção também muito baixo.

A separação radioquímica seguida de contagem alfa e beta total, além de ser muito mais sensível, pois consegue detectar atividades aproximadamente três vezes menores em relação a espectrometria gama, é um método alternativo para avaliação desses radionuclídeos. Outra vantagem da separação radioquímica é que se utiliza uma massa muito pequena em relação à espectrometria gama, na qual é necessário utilizar uma massa relativamente grande para se obter uma boa sensibilidade.

O detector de fluxo gasoso é um contador que possui no seu interior uma câmara de gás e filamentos metálicos extremamente finos. Quando a partícula (alfa ou beta) chega à câmara, ioniza o gás Ar-CH_4 (argônio-metano). Esse gás ionizado se dirige para o filamento para se descarregar e é quantificado quanto à atividade em contagens por minutos. Cada partícula, alfa ou beta, tem um patamar ideal de tensão de contagem, que é estabelecido após a montagem e calibração periódica. Nesse patamar se fixa a alta voltagem para serem feitas as contagens alfa, que são diferentes das contagens beta.

A determinação da atividade do ^{226}Ra é realizada utilizando-se a equação (7):

$$A_{^{226}\text{Ra}} = \frac{C_a - C_{bg}}{60.R_q.m.\eta_{abs(^{226}\text{Ra})} \cdot [1 + k.(1 - e^{-\lambda_{^{222}\text{Rn}}.t})]} \quad (7)$$

Onde:

$A_{^{226}\text{Ra}}$: Concentração de atividade do ^{226}Ra (Bq/kg).

C_a : Taxa de contagem total da amostra (cpm).

C_{bg} : Taxa de contagem total do Background (cpm).

R_q : Recuperação química.

m : Massa da amostra utilizada (kg).

$\eta_{abs(\text{Ra-226})}$: Coeficiente de auto absorção.

$\lambda_{(\text{Rn-222})}$: Constante de desintegração do ^{222}Rn (0,181 d⁻¹).

t : Tempo transcorrido entre a precipitação do Ra e a contagem da amostra (dias).

k : Fator de auto absorção.

A determinação da atividade do ^{228}Ra é realizada utilizando-se a equação (8):

$$A_{^{228}\text{Ra}} = \frac{C_a - C_{bg}}{60.R_q.Q.\epsilon_{^{228}\text{Ra}}} - \frac{\epsilon_{^{226}\text{Ra}}.A_{^{226}\text{Ra}}}{\epsilon_{^{228}\text{Ra}}} \quad (8)$$

Onde:

$A_{^{228}\text{Ra}}$: Concentração de atividade do ^{228}Ra (Bq/kg).

C_a : Taxa de contagem total da amostra (cpm).

C_{bg} : Taxa de contagem total do Background (cpm).

R_q : Recuperação química.

m : Massa da amostra utilizada (kg).

$\epsilon_{\text{Ra-228}}$: Eficiência de contagem beta do ^{228}Ra .

$\epsilon_{\text{Ra-226}}$: Eficiência de contagem beta do ^{226}Ra .

$A_{(\text{Ra-226})}$: Atividade do ^{226}Ra (Bq/kg).

A determinação da atividade do ^{210}Pb é realizada utilizando-se a equação (9):

$$A_{^{210}\text{Pb}} = \frac{C_a - C_{bg}}{60.R_q.m.\epsilon_{\beta} \cdot [1 - e^{-\lambda_{^{210}\text{Bi}}.t})]} \quad (9)$$

Onde:

$A_{^{210}\text{Pb}}$: Concentração de atividade do ^{210}Pb (Bq/kg).

C_a : Taxa de contagem total da amostra (cpm).

C_{bg} : Taxa de contagem total do Background (cpm).

R_q : Rendimento químico.

m : Massa da amostra utilizada (kg).

ε_β : Eficiência de contagem β do ^{210}Bi .

$\lambda_{(\text{Bi-210})}$: Constante de desintegração do ^{210}Bi ($0,1383 \text{ d}^{-1}$).

t : Tempo transcorrido entre a precipitação do PbCr_2O_7 e a contagem da amostra (dias).

3.5 Separação Radioquímica e Contagem por Espectrometria Alfa

Este método baseia-se em uma separação química de alto grau de purificação, podendo-se utilizar resinas de troca iônica e extração cromatográfica, a fim de reduzir ao máximo a espessura da fonte a ser quantificada, visto que as partículas alfas apresentam curto alcance por interagir com o meio.

O método possibilita a determinação de isótopos emissores de radiação alfa com sensibilidade comparável à técnica de Espectrometria de Massa por Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-MS). As principais vantagens da espectrometria alfa são: elevada sensibilidade devido à baixa atividade de fundo e a alta seletividade para partículas alfa.

A determinação da atividade é realizada utilizando-se a equação (10):

$$A_n = \frac{C_a - C_{bg}}{t \cdot m_a \cdot R_q \cdot \varepsilon} \quad (10)$$

Onde:

A_n : Concentração de atividade do radionuclídeo (Bq/kg).

C_a : Contagem total da amostra (cps).

C_{bg} : Contagem do branco ou *background* (cps).

t : Tempo de contagem (s).

m_a : Massa utilizada da amostra (kg).

R_q : Recuperação do traçador.

ε : Eficiência do detector.

3.6 Validação das Metodologias

Para a validação das metodologias de INAA e de AAS foi empregado o teste E_n Score, no qual os valores obtidos de $0 < |E_n| < 1$ foram considerados satisfatórios e os resultados, dentro da faixa de valores certificados em um nível de significância de 95%, podendo ser calculado pela equação (11):

$$E_n = \frac{C_i - C_{ref\ i}}{\sqrt{U_i^2 + U_{ref\ i}^2}} \quad (11)$$

Onde:

E_n : Valor de E_n Score.

C_i : Concentração do elemento i obtido no estudo.

$C_{ref\ i}$: Concentração no certificado para o elemento i.

U_i : Incerteza expandida da concentração do valor encontrado para o elemento i.

$U_{ref\ i}$: Incerteza expandida da concentração do valor certificado para o elemento i.

3.7 Cálculo de Limites de Detecção dos Elementos Determinados pelas Metodologias Utilizadas

Limite de Detecção (LD) é a menor concentração que um analito pode ser detectado pela metodologia utilizada para quantificação do mesmo. O LD é a concentração mínima de um analito medido e declarada com 95% ou 99% de confiança, de que a concentração do analito é maior que zero (U.S. EPA, 2014).

Os LDs dos elementos presentes nas amostras analisadas por INAA foram calculados, segundo a União Internacional de Química Pura e Aplicada (IUPAC), relacionando o BG (radiação de fundo) e o tempo vivo de medição (Live Time – LT), baseando-se na equação (12) abaixo (CURRIE, 1999):

$$L_D = \frac{3\sqrt{BG}}{LT} \quad (12)$$

Onde:

L_D : Limite de detecção.

BG : *Background* (radiação de fundo).

LT : Tempo vivo de contagem.

Os valores de BG foram obtidos diretamente de dados emitidos pelos espectros, para as energias dos elementos de interesse, para cada composto analisado.

Os LDs dos elementos determinados pela técnica de AAS foram calculados diretamente da curva de calibração, construída utilizando a técnica de regressão e considerando um nível de confiança de 95 %, seguindo as equações (13 e 14):

$$A_{Ld} = A_o \cdot 3 \cdot \sigma_o \quad (13)$$

$$C_{Ld} = \frac{A_{Ld} - A_o}{a} \quad (14)$$

Onde:

A_{Ld} : Absorbância do LD.

A_o : Média dos valores obtidos para a absorbância da solução branco.

σ_o : Desvio padrão dos valores obtidos para a absorbância da solução branco.

C_{Ld} : Concentração do LD.

a: Coeficiente angular da curva de calibração.

Nos ensaios radiométricos para a técnica de determinação de ^{226}Ra , ^{228}Ra e ^{210}Pb por separação radioquímica, foram realizadas 10 (dez) medições de contagens por minuto (cpm) do background no equipamento Contador Alfa e Beta Total. O LD em cpm foi estimado a partir da equação (15):

$$L_D = \bar{x} + 3 \sigma \quad (15)$$

Onde:

L_D : Limite de detecção.

$\bar{x}$: Média das observações obtidas.

σ : Desvio padrão obtido a partir dos resultados das amostras.

Nos ensaios radiométricos para a determinação de radionuclídeos por espectrometria gama ou espectrometria alfa, o LD foi definido em função do limite crítico (L_c), que é um sinal observado acima de um nível que o mesmo possa ser detectado em relação ao background, pelos equipamentos espectrômetros gama ou alfa. O L_c foi calculado pelo software do equipamento utilizado a partir de medidas do background ou branco, conforme equação abaixo (16):

$$L_c = k \sigma_0 = k \sqrt{\mu_B + \mu_I + \sigma_B^2 + \sigma_I^2} \quad (16)$$

Onde:

L_c : Limite crítico.

K: 1,645 para 95% de confiança.

σ_0 : Desvio padrão do background ou branco.

μ_B : Valor do espectro contínuo (contagens obtidas ao longo de um fotopico).

μ_I : Valor de interferência do background (determinada por uma medida separada resultante da área líquida de alguma atividade no background ou do branco).

σ_B^2 : Variância do background ou branco;

σ_I^2 : Variância do background dos interferentes ou branco.

O LD é calculado a partir do valor de L_c , conforme equação (17):

$$L_D = k^2 + 2L_c \quad (17)$$

Onde:

L_D : Limite de Detecção.

K : 1,645 para 95% de confiança.

L_c : Limite crítico.

No software de Espectrometria (Genie 2000), o termo que descreve o Limite de Quantificação é a concentração de Atividade Mínima Detectável (MDA), a qual depende das condições adotadas para a realização da medição (como por exemplo o tempo de contagem ou a alíquota da amostra analisada) e de características radiométricas do sistema em estudo. Deste modo, é definido a partir da equação (18), obtida pelo software do equipamento utilizado na análise; o valor de MDA é calculado a partir do valor de LD.

$$MDA = \frac{L_D}{T_l \epsilon' Y V k_c k_w C_f} \quad (18)$$

Onde:

MDA : Concentração de atividade mínima detectável.

L_D : Limite de detecção do sistema.

ϵ' : Eficiência geral de detecção.

Y : Yield de energia sob consideração (espectrometria gama) ou recuperação química (espectrometria alfa).

V : Alíquota da amostra.

K_c : Fator de correção de decaimento durante a contagem.

K_w : Fator de correção de decaimento do nuclídeo desde a coleta até o momento da contagem, se necessário.

C_f : fator de correção quanto a diluição da amostra.

3.8 Cálculo de Ingestão dos Elementos

Para o cálculo de ingestão foram utilizados dados do IBGE (2011) de consumo dos alimentos para a região estudada, conforme a equação (19):

$$I_D = \sum (M_A * C_P) \quad (19)$$

Onde:

I_D : Ingestão diária média.

M_A : Quantidade consumida por dia em cada grupo de alimento.

C_P : Concentração do elemento em cada grupo de alimento pronto para o consumo.

3.9 Cálculo de Dose Efetiva Comprometida

As doses recebidas dos radionuclídeos por ingestão de alimentos por grupos populacionais podem ser calculadas a partir de medições de suas concentrações de atividade presentes nos alimentos, das taxas de consumo e coeficientes de dose. Estes podem ser descritas pela equação (20) (ICRP, 2012):

$$E_A = \sum_j \sum_f C_{jf} \cdot M_{jA} \cdot T \cdot h_{jA} \quad (20)$$

Onde:

E_A : Dose efetiva comprometida (mSv) por grupo.

C_{jf} : Concentração média (Bq/kg) de radionuclídeo nos alimentos.

M_{jA} : Quantidade (kg/dia) consumida por dia pelo grupo alimentar A.

T: Tempo total (dias) considerado.

h_{jA} : Coeficiente de ingestão de dose efetiva comprometida (mSv/Bq) de radionuclídeo para o grupo alimentar A.

4 EXPERIMENTAL

4.1 Lista de Alimentos

Para a realização do presente estudo, a composição dos alimentos que constituíram as dietas da população urbana e rural foi obtida a partir da Pesquisa de Orçamento Familiar (POF) de 2008-2009, do IBGE (2011). Os alimentos foram estabelecidos de acordo com os dados de consumo para a região sudeste do Brasil. Na Figura 6 é apresentado um fluxograma com um resumo do desenvolvimento da lista de alimentos.

A lista de alimentos utilizada no presente estudo foi desenvolvida pela Doutora Roseane Avegliano da seguinte maneira (AVEGLIANO *et al.*, 2015):

Primeiro passo: foi realizada uma seleção dos alimentos comumente consumidos na região sudeste do Brasil, que se baseou no consumo médio per capita de alimentos, totalizando 103 itens alimentares. De acordo com o IBGE (2011) os alimentos foram organizados em 21 grupos principais. Classificação dos grupos: Cereais, Feijões, Vegetais, Legumes, Raízes, Frutas, Nozes e sementes, Farinha e massas, Produtos de confeitaria como Bolos e Biscoitos, Carnes, Ovos, Laticínios, Doces, Óleos e gorduras, Bebidas, Pizza, petiscos e sanduíches, Sopas, Molhos e Misturas. Os alimentos foram considerados em termos de média per capita de consumo, em gramas por dia, representando 100% do total diário do peso dos alimentos consumidos pela população. A média de consumo diário total de alimentos foi de 1.606,60 gramas.

Segundo passo: foi realizada uma subdivisão do grupo de alimentos. O agrupamento realizado pelo IBGE foi baseado em alimentos de composições nutricionais semelhantes ou de acordo com sua similaridade de ingrediente principal. Assim sendo, frango (aves), carne bovina, carne suína e peixe são classificados como carnes. Como este grupo pode conter diferenças significativas de nutrientes e contaminantes, subgrupos de carne adicionais foram criados para este estudo. O grupo de carnes foi dividido em 5 grupos: frango (aves), carne bovina, carne suína,

peixe, carne industrializada e processada. Consequentemente, a lista resultou em 25 grupos de alimentos.

Terceiro passo: complementar a lista com alimentos normalmente consumidos na Região Sudeste do Brasil. Informações sobre o consumo de sal e farinha de trigo não estavam disponíveis. Sabendo-se que o sal é conhecido como uma fonte significativa de sódio, foi incluído como um alimento adicional e foi considerado como um alimento em um grupo. A farinha de trigo foi incluída devido à sua importância no fornecimento de elementos essenciais, principalmente ferro, já que é fortificada com o mesmo. A farinha de trigo foi incluída no grupo alimentar das Farinhas, Massas e Panificados. Com a inclusão de sal e farinha de trigo, a Lista de Alimentos apresentou 1.617,97 gramas de consumo diário per capita de alimentos e 105 itens.

Quarto passo: redução do número de alimentos. Dentre os 105 itens, 23 alimentos que não apresentavam informação, foram classificados como "Outros tipos". Assim, a lista foi reduzida para 82 itens alimentares.

Figura 6 – Desenvolvimento da Lista de Alimentos

Quinto passo: agrupamento de alimentos, a fim de reduzir o número de grupos, agrupando os alimentos com composição nutricional similar ou que apresentavam similaridade dos principais ingredientes dos seus alimentos. Após a agregação dos grupos, a lista de alimentos resultou em 19 grupos de alimentos, incluindo 82 alimentos e pesando 1.617,97 g. No presente estudo foi incluído o grupo de água potável (foi considerado o consumo médio de 2 litros/dia), totalizando no final uma dieta de 3.617,97g, composta por 20 grupos de alimentos.

4.2 Amostragem e Preparação das Amostras

O estudo abrangeu a coleta dos alimentos na região urbana e na região rural. Na região urbana os alimentos foram adquiridos em supermercados e feiras livres da cidade de Poços de Caldas. Para a dieta da região rural, a maioria dos alimentos, principalmente os vegetais, hortaliças, produtos de laticínios e ovos, foi adquirido em propriedades rurais de produção própria. Para a realização da coleta foram percorridos sítios e fazendas da região, tendo o apoio dos moradores para a aquisição dos alimentos, porém a lista desta região foi preparada de acordo com a disponibilidade dos alimentos nos pontos de coletas. Na Figura 7 é apresentado um mapa do planalto de Poços de Caldas indicando os pontos de coleta da dieta da zona população rural.

A amostragem e a preparação dos alimentos foram realizadas segundo os grupos descritos na POF 2008-2009 do IBGE (2011), sendo que cada grupo foi considerado um composto. Foram preparados compostos de 500 g, quantidade suficiente para a realização de todas as análises, de acordo com o estudo de Avegliano e colaboradores (2015).

Os alimentos consumidos após seu cozimento foram preparados sem a utilização de temperos, condimentos, óleos e gorduras, outros ingredientes não foram introduzidos durante a preparação, exceto a adição de água deionizada (AVEGLIANO et al, 2015).

Na Tabela 1 é apresentada a lista de alimentos de cada grupo de alimentos. Algumas substituições foram realizadas para os grupos alimentares da zona rural. Os detalhes das quantidades e alimentos utilizados são apresentados nos Anexos I e II.

Figura 7 – Planalto de Poços de Caldas com indicação dos pontos de coleta da dieta da região rural

Tabela 1- Lista de alimentos utilizada em cada composto

Grupo Alimentar	Alimentos
1 – Cereais	Arroz polido, arroz integral e milho em grão
2 – Leguminosas	Feijão rajado e feijão preto
3 – Hortaliças	Alface, couve, repolho, brócolis, cenoura, chuchu, pepino, tomate, batata doce, batata inglesa e mandioca
4 – Frutas	Abacaxi, morango, banana prata, laranja pera, maçã, mamão, manga, melancia, tangerina, uva e salada de frutas
5 – Oleaginosas cruas	Amendoim e castanha do Pará
6 – Farinhas, massas e panificados	Farinha de mandioca, farofa, cereais matinais, massas, macarrão instantâneo, macarrões e preparações a base de macarrões, farinha de trigo, pão francês e pão integral
7 – Bolos e biscoitos	Bolos, biscoitos doces, biscoito salgado e biscoito recheado
8 – Carnes bovinas	Alcatra
9 – Carnes suínas	Pernil
10 – Carnes de frangos	Frango inteiro
11 – Peixes	Sardinha fresca, sardinha em conserva e filé de merluza
12 – Carnes processadas e vísceras	Linguiça, salsicha, mortadela, presunto e fígado bovino
13 – Ovos	Ovo de galinha
14 – Laticínios	Leite integral, leite desnatado, vitamina de frutas, queijo minas e iogurte natural
15 – Doces	Chocolate, achocolatado em pó, doce a base de leite, doces de frutas em pasta, sorvete
16 – Óleos e gorduras	Óleo de soja
17 – Bebidas	Bebida destilada, cerveja, vinho, suco de frutas envasado, refrigerante de cola, bebidas lácteas com sabor e adoçadas, bebida à base de soja, café e chá
18 – Industrializados	Pizza, salgados fritos e assados, salgadinhos industrializados (tipo chips), sanduíches, sopas e caldos, molho de tomate e preparações mistas (prato de comida região sudeste)
19 – Sal	Sal
20 – Água	Água potável

Após o preparo, cada composto foi muito bem homogeneizado manualmente ou utilizando-se um processador doméstico. Em seguida, separou-se uma alíquota para realização da análise por ativação neutrônica e absorção atômica

(aproximadamente 100 g). O restante das amostras (aproximadamente 400 g) foi levado à estufa para secagem em temperatura de aproximadamente 75°C até obter peso constante. Em seguida, foi triturado e embalado em frascos de polietileno, que foram previamente desmineralizados, até o momento das análises radiométricas.

Na Figura 8 é apresentado um fluxograma que com o esquema de preparação das amostras.

Figura 8 - Preparação das amostras

4.3 Análise por Ativação com Nêutrons Instrumental (INAA)

A INAA foi empregada para a determinação das concentrações dos elementos As, Ca, Cl, Co, Cr, Fe, K, Mg, Mn, Na, Se e Zn. A quantificação por INAA

foi realizada no Laboratório de Ativação Neutrônica (LAN) do Centro de Reator de Pesquisas (CRPq) do IPEN - CNEN/SP.

4.3.1 Preparação das Amostras para INAA

Foram pesadas e seladas em recipientes plásticos, previamente desmineralizados com água deionizada e solução de ácido nítrico PA diluído, cerca de 100 mg e 150 mg das amostras liofilizadas, para as irradiações curtas e longas, respectivamente.

4.3.2 Preparação dos padrões sintéticos dos elementos de interesse

Os padrões dos elementos As, Ca, Cl, Co, Cr, Fe, K, Mg, Mn, Na, Se e Zn foram preparados a partir de solução padrão da marca SPEX CERTIPREP, e após diluições apropriadas, foram pipetados em filtro de papel Whatman 40 e secos sob lâmpada de infravermelho ou em temperatura ambiente, de acordo com o elemento. Após a secagem, as tiras de papel filtro foram acondicionadas em sacos plásticos limpos e desmineralizados, e selados, da mesma forma que as amostras.

4.3.3 Irradiação das amostras e dos padrões

Para as irradiações curtas, as amostras, juntamente com padrões dos elementos, foram irradiadas por 20 segundos em fluxo de nêutrons da ordem de $1 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, em sistema pneumático do reator nuclear de pesquisa IEA-R1 do IPEN-CNEN/SP para a determinação de Cl, K, Mg, Mn e Na. Para a determinação de As, Ca, Co, Cr, Fe, Se e Zn, nas irradiações longas, as amostras e os padrões foram irradiados por 8 horas em fluxos de nêutrons entre $4,5$ e $5,5 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. As amostras foram irradiadas com os respectivos padrões sintéticos e materiais de referência em diferentes recipientes plásticos de irradiação.

4.3.4 Medições das Atividades – Espectrometria Gama

As medições das atividades emitidas pelos radioisótopos produzidos na irradiação das amostras e dos padrões foram realizadas em um detector gama de germânio hiperpuro (HPGe) modelo GX3018 da Canberra com resolução de 1,64 keV do ^{60}Co para o pico de 1332,5 keV. Os espectros foram analisados utilizando-se o programa GENIE 2000, que fornece as energias da radiação gama dos radioisótopos de interesse e as respectivas áreas dos picos. No Anexo III são apresentados os radionuclídeos, energias e meia-vida utilizados na determinação de cada elemento por INAA.

4.4 Espectrometria de Absorção Atômica com Forno de Grafite e Geração de Vapor Frio

As concentrações de Cd, Cu e Pb foram determinadas por GF AAS e a concentração de Hg foi determinada por CV AAS, localizados no Laboratório de Absorção Atômica do LAN/CRPq do IPEN – CNEN/SP.

4.4.1 Dissolução das Amostras

As análises por Espectrometria de Absorção Atômica com Forno de Grafite (GF AAS) e por Geração de Vapor Frio (CV AAS) foram empregadas após a dissolução prévia da amostra para a leitura nos espectrômetros. Na preparação da amostra, cerca de 0,3 a 0,8 g de amostra foi digerida com 10 mL de ácido nítrico concentrado no forno de micro-ondas MARS6 da CEM Corporation. As condições do método de digestão “Food” do forno estão especificadas no Anexo IV. A solução resultante foi levada a um volume adequado.

As amostras foram quantificadas no espectrômetro de absorção atômica com forno de grafite da Perkin Elmer modelo AAnalyst 800 com correção Zeeman para a determinação de cádmio, cobre e chumbo. Para a determinação de mercúrio, as

amostras foram quantificadas no equipamento *Flow Injection Mercury System* (FIMS-100) da Perkin Elmer. As melhores condições de análise foram estudadas para a determinação de concentrações traço e ultra traço de Cd, Cu, Pb e Hg. Foi realizado um branco dos reagentes em paralelo para controle da contaminação externa. No Anexo IV são também apresentados os parâmetros utilizados para as determinações de cada elemento por AAS.

4.5 Determinações Radiométricas

Após secas e trituradas as amostras destinadas às análises radiométricas foram distribuídas da seguinte forma:

- Análises por espectrometria gama para determinação de ^{40}K .
- Lixiviação ácida e quantificação por espectrometria alfa para determinação de ^{210}Po .
- Restante da amostra foi calcinada a 450 °C por 24 horas, foi realizada a adição dos traçadores ^{232}U e ^{229}Th e dos carreadores BaCl_2 e $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$. Realizou-se a dissolução total da mesma utilizando dissolução ácida. Em seguida, separadas as alíquotas para a quantificação de ^{234}U , ^{235}U , ^{238}U , ^{228}Th , ^{230}Th e ^{232}Th por espectrometria alfa e, por último, a quantificação de ^{226}Ra , ^{228}Ra e ^{210}Pb por contagem em sistema proporcional de fluxo gasoso alfa e beta total.

Na Figura 9 é apresentado um fluxograma que apresenta o esquema de distribuição das amostras para quantificação.

Todas as determinações radiométricas foram realizadas no Laboratório de Poços de Caldas (LAPOC) da CNEN/MG.

4.5.1 Separação Radioquímica

O processo diretamente associado aos procedimentos de separação radioquímica consiste em quatro etapas principais: adição de traçadores e

carreadores; dissolução (digestão) da amostra; separação do analito da matriz principal dos outros radionuclídeos presentes na amostra (grupo de alimentos); e transformação da fração separada numa fonte adequada para determinação e quantificação da concentração de atividade do analito.

Figura 9 - Distribuição e quantificação das amostras

4.5.2 Dissolução da Amostra

As amostras sólidas necessitaram ser solubilizadas de modo a produzir uma solução aquosa homogênea para os processos de separação e realização das análises. A completa dissolução (abertura) assegura a disponibilização completa do analito na amostra.

São conhecidos quatro procedimentos de dissolução de amostras dos quais alguns foram utilizados neste trabalho, sendo eles: fusão, dissolução ácida, lixiviação ácida e dissolução por micro-ondas.

A dissolução ácida utilizando ácido nítrico e ácido perclórico foi realizado em uma alíquota referente a 200 gramas de cada grupo alimentar para as determinações dos isótopos de urânio, isótopos de tório, rádio e chumbo-210.

A lixiviação ácida utilizando ácido nítrico foi utilizada em uma alíquota referente à 50 gramas de cada grupo alimentar para a determinação de polônio-210.

As massas apresentadas foram utilizadas em todos os grupos alimentares com exceção dos grupos de sal, óleos e gorduras, nos quais foram utilizadas alíquotas inferiores devido às dificuldades de abertura. Por último, no grupo da água potável foi utilizada uma alíquota superior (total de 2000 g) para melhorar o limite de detecção dos ensaios.

4.5.3 Adição de Traçadores e Carreadores

Durante o processo de separação radioquímica, pode-se perder uma parte do analito durante os processos. Assim faz-se necessária determinação do rendimento químico, ou seja, a fração recuperada do carreador ou traçador adicionado.

O cálculo de rendimento químico é realizado dividindo-se a quantidade do traçador ou carreador encontrada, pela quantidade adicionada no início da dissolução das amostras.

Neste trabalho, foram adicionados antes da dissolução das amostras os carreadores de BaCl_2 e $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$, traçadores de ^{232}U , ^{229}Th e ^{209}Po , sendo as seguintes concentrações por amostra:

- BaCl_2 : 20 mg;
- $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$: 20 mg;
- ^{232}U : 0,040 Bq;
- ^{229}Th : 0,035 Bq;
- ^{209}Po : 0,040 Bq

4.6 Espectrometria Gama

Neste estudo a técnica de análise por espectrometria gama foi empregada para a determinação da concentração de atividade de ^{40}K . Uma massa de aproximadamente 50 gramas de cada amostra foi selada em pote de acrílico para a quantificação do radionuclídeo.

4.6.1 Equipamento

Foi utilizado um sistema de Espectrometria Gama Canberra modelo GX4510 com detector HPGe (eficiência relativa de 45%), com resolução de 1,9 keV do ^{60}Co para o pico de 1332,5 keV e software Genie 2000 para aquisição e tratamento dos dados.

4.6.2 Calibração do Equipamento – Espectrômetro Gama

Para a calibração de energia foram utilizadas fontes pontuais de ^{210}Pb , ^{137}Cs e ^{60}Co certificadas pela Amersham e fornecidas pelo Instituto de Radioproteção e Dosimetria (IRD/CNEN-RJ).

Foi medida a radiação de fundo, o *background* (BG) e em seguida realizada a calibração da eficiência, utilizando-se soluções padrão de diferentes isótopos, tais como ^{210}Pb , ^{137}Cs , ^{152}Eu , da mesma procedência das fontes pontuais, com atividade total de aproximadamente 100 Bq de cada radionuclídeo, adicionados em alumina suprapuro. Essa alumina foi acondicionada em potes de acrílico (geometria idêntica a das amostras), para ser analisada no espectrômetro gama, possibilitando assim a calibração e conseqüentemente a determinação dos radionuclídeos emissores gama em toda faixa de 30 a 2000 keV.

4.7 Separação Radioquímica com Contagem dos Emissores

Alfa e Beta Total – Determinação de ^{226}Ra , ^{228}Ra e ^{210}Pb

A técnica de separação radioquímica com contagem alfa e beta total é utilizada para a determinação simultânea de rádio e chumbo.

4.7.1 Determinação de Ra e Pb

Uma alíquota da amostra que sofreu dissolução (referente a 100 g) foi tomada e acrescentou-se água deionizada até completar um volume de aproximadamente 1000 mL. Os carreadores de Ra e Pb, 20 mg de cada um, foram adicionados. Em seguida, foram adicionados ácido cítrico, algumas gotas de indicador alaranjado de metila e NH_4OH , até a viragem para o meio básico (pH 4,5 a 5,0).

Os carreadores de Pb e Ba foram adicionados para aumentar a concentração desses elementos na solução para atingir o ponto de solubilidade e o ácido cítrico para complexar Pb e Fe presentes nas amostras, para que não fossem precipitados após adição do NH_4OH .

Adicionou-se H_2SO_4 3M, para precipitar os íons como sulfatos. Após decantação, descartou-se o sobrenadante e ao precipitado adicionou-se ácido amino-tri-acético, conhecido comercialmente como TITRIPLEX I, juntamente com solução de NaOH 6 M, água deionizada e algumas gotas de indicador vermelho de metila. Após completa dissolução, adicionou-se sulfato de amônio $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 25 mg/mL e precipitou-se o bário e o rádio com ácido acético glacial, deixando o chumbo complexado em solução. Separou-se o sobrenadante para análise do chumbo.

O precipitado foi lavado com solução de acetato de amônio 40%, e adicionado ao sobrenadante, de modo a complexar qualquer chumbo que ainda estivesse absorvido no precipitado. Ao precipitado adicionaram-se ácido etilenodiaminotetracético (EDTA), água deionizada e NH_4OH , duas a três gotas de indicador vermelho de metila e aqueceu-se até completa dissolução do precipitado.

Adicionou-se $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 25 mg/mL e precipitou-se o rádio após adição de ácido acético glacial, como $\text{Ba}(\text{Ra})\text{SO}_4$. O precipitado foi filtrado em papel de filtro de

membrana Millipore 0,45 μm . Armazenou-se o filtro por 30 dias, para esperar o equilíbrio radioativo.

Ao sobrenadante, contendo o ^{210}Pb separado anteriormente, foi adicionado Na_2S 1 M, para precipitar o chumbo na forma de sulfeto. Adicionou-se HNO_3 5 M e levou-se a chapa aquecedora até dissolver o sulfeto com formação de enxofre, onde o enxofre elementar é formado e o chumbo permanece em solução. Seguiu-se o aquecimento até secar, e em seguida foram adicionados água deionizada, acetato de amônio 40% e solução de $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 30% para precipitar o chumbo como PbCr_2O_7 . As amostras foram armazenadas por 30 dias após a precipitação, para que o equilíbrio radioativo fosse atingido.

4.7.2 Equipamento

As contagens alfa e beta totais das amostras foram realizadas em um contador proporcional de fluxo gasoso de ultrabaixo background Modelo S5-XLB Tennelec Canberra. O gás utilizado no detector é o gás P-10, uma mistura de 90% de argônio e 10% de metano. As partículas carregadas, alfa e beta, interagem no meio gasoso, causando a ionização das moléculas, no qual se aplica alta tensão, levando-se a formação de íons que produzem um sinal elétrico na saída do detector.

4.7.3 Calibração do Equipamento – Contador Proporcional de Fluxo Gasoso

Para a calibração da eficiência de contagem foram utilizados padrões preparados a partir de soluções fornecidas pelo Instituto de Radioproteção e Dosimetria (IRD/CNEN-RJ) de atividades conhecidas ^{210}Pb , ^{226}Ra e ^{228}Ra . As condições de contagens das amostras foram estabelecidas pela contagem dos padrões. Para realizar as medições, foram utilizados padrões de calibração de ^{241}Am para contagem alfa, $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ para contagens beta, com atividade de aproximadamente 10 Bq, para cada um destes. O levantamento de radiação de fundo foi realizado diariamente, juntamente com a contagem das amostras.

4.8 Espectrometria Alfa

A técnica de quantificação por espectrometria alfa foi utilizada para a quantificação dos isótopos de urânio, isótopos de tório e ^{210}Po .

4.8.1 Determinação dos Isótopos de Urânio e Tório

Uma alíquota da amostra que sofreu dissolução (referente a 100 g) foi utilizada para esta quantificação. As amostras foram as reservadas em meio fortemente ácido (HNO_3 8M) da abertura para separação radioquímica e quantificação por espectrometria alfa. Adicionou-se traçador de ^{229}Th e ^{232}U com atividade total de 0,05 Bq, para determinar a recuperação química das análises.

No primeiro grupo de amostras (região urbana) foi realizada a seguinte metodologia: a amostra foi percolada em uma coluna aniônica (resina Dowex[®] 1 x 2, Sigma Aldrich Inc.) previamente condicionada em meio HNO_3 8 M. A coluna foi lavada com ácido nesta mesma molaridade para retirar os isótopos de urânio e outros interferentes para análises de tório. O meio nítrico da coluna foi mudado para meio clorídrico mediante a percolação de HCl concentrado e o efluente dessa etapa foi utilizado para determinação dos isótopos de tório. A solução eluída foi seca em chapa aquecedora e os sais dissolvidos com H_2SO_4 , sulfeto de sódio 0,3 M e água deionizada. O pH foi ajustado entre 2 e 3 com H_2SO_4 e NH_4OH , utilizando o azul de timol como indicador. Após esta etapa, a amostra foi encaminhada para a eletrodeposição de tório.

O efluente da coluna aniônica da etapa anterior foi utilizado para determinação de urânio, o qual foi levado à chapa aquecedora, evaporado e os sais dissolvidos com uma pequena alíquota de HNO_3 3 M. Para a separação dos isótopos de urânio, foi utilizada a coluna cromatográfica UTEVA (Eichron Technologies Inc.), pré-condicionada com ácido na mesma molaridade. Após a percolação da amostra, a coluna foi lavada com três pequenas porções do mesmo ácido. Em seguida o urânio foi eluído com HCl 0,1 M.

A fração eluída foi levada à chapa aquecedora, evaporada e os sais dissolvidos com sulfato de amônio 0,8 M. O pH foi ajustado entre 2 e 3 com H_2SO_4 e NH_4OH , utilizando o azul de timol como indicador. Após esta etapa, a amostra de urânio foi encaminhada para a eletrodeposição.

No segundo grupo de amostras (dieta da região rural) foi realizada a seguinte metodologia: a amostra foi retomada em meio HNO_3 3M e as resinas cromatográficas TEVA e UTEVA, ambas da Eichron Technologies Inc., foram acopladas uma sobre a outra e a amostra foi percolada, simultaneamente, pelas duas resinas. As colunas foram lavadas com três pequenas porções de HNO_3 3M, em seguida foram separadas.

O tório foi eluído da coluna TEVA com uma pequena porção de HCl 6 M e mais duas porções de HCl 9 M. A fração eluída foi microprecipitada com uma solução de Fluoreto de Cério. O precipitado obtido foi filtrado utilizando-se filtro de polipropileno com 0,1 μm de porosidade e 2,5 cm de diâmetro e foi seco sob lâmpada e encaminhado para quantificação da concentração de atividade por Espectrometria Alfa.

O urânio retido na coluna UTEVA foi eluído e para a sua determinação nas amostras da dieta rural, seguiu-se o mesmo procedimento das amostras da dieta urbana (primeiro grupo).

4.8.2 Eletrodeposição

O tório da solução final das amostras do primeiro grupo foi eletrodepositado em plaquetas de prata, previamente polidas sob corrente elétrica de 1,0 A e 10 volts, durante 90 minutos em célula de acrílico, com anodo de platina e base de latão para o contato elétrico. O catodo, constituído de plaquetas de prata de 2,5 cm de diâmetro, foi encaixado na base metálica e rosqueada na célula de acrílico.

O urânio da solução final de todas as amostras (região urbana e rural) foi eletrodepositado também em plaquetas de prata, polidas sob corrente elétrica de 1,2 A e 10 volts, durante 90 minutos, nas mesmas condições do tório.

Uma vez completado o processo de eletrodeposição das amostras, foi iniciado a medida de concentração de atividade por espectrometria alfa.

4.8.3 Determinação de ^{210}Po

Para determinação do ^{210}Po , foi utilizada uma alíquota referente a 50 gramas de amostra e adicionou-se cerca de 0,05 Bq do traçador ^{208}Po . A amostra passou por lixiviação ácida com HNO_3 , por aproximadamente 24 horas e ao final deste período foi adicionado peróxido de hidrogênio para eliminação de matéria orgânica. Em seguida, foi feita uma filtração para separar o sobrenadante de eventual resíduo. A amostra foi levada à chapa aquecedora, evaporada e os sais dissolvidos com HCl 1,5 M. Adicionou-se ácido ascórbico para eliminar a interferência do ferro na etapa de deposição. Após esta etapa, a amostra de polônio foi encaminhada para a deposição espontânea.

4.8.4 Deposição Espontânea

A deposição espontânea do polônio foi realizada em plaquetas de prata, previamente polida em uma célula (frasco) de politetrafluoretileno (PTFE) comercialmente conhecido como *Teflon*[®]. O frasco foi colocado dentro de um béquer com água e aquecido à temperatura de 80 a 90 °C durante 4 horas. A célula de *Teflon*[®] possuía em sua parte superior uma abertura, que possibilitava a agitação da solução com o emprego de um agitador mecânico. Após a deposição espontânea, a amostra foi encaminhada para a quantificação por espectrometria alfa.

4.8.5 Equipamento

A quantificação dos isótopos de tório foi realizada por espectrometria alfa em equipamento modelo Alpha Analyst da Canberra Industries, com detectores de barreira de superfície PIPS (Passivated Implanted Planar Silicon), de 450 mm² de área ativa, 18 keV (FWHM) de resolução, eficiência de contagem de 17- 19% para uma distância fonte-detector de 0,5 cm, calibrado para energia de 3 a 10 MeV.

4.8.6 Calibração do Equipamento – Espectrômetro Alfa

Para a calibração de energia e eficiência de contagem no espectrofotômetro alfa foi utilizada uma fonte padronizada eletrodepositada contendo 1,602 Bq de ^{238}U , 1,573 Bq de ^{234}U , 1,685 Bq ^{239}Pu e 1,647 Bq de ^{241}Am , certificada pela Analytics Inc. Modelo SRS 63997-121. Para aquisição e análise de dados foi utilizado o *Software GENIETM 2000*.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Validação das Metodologias

5.1.1 Análise por Ativação Neutrônica Instrumental (INAA)

Foram utilizados os materiais de referência Mixed Polish Herbs (INCT-MPH-2) do Institute of Nuclear Chemistry and Technology da Polônia e Whole Egg Powder SRM 8415, Bovine Liver SRM 1577b e Oyster Tissue SRM 1566b do National Institute of Standard and Technology dos EUA. Na Tabela 2 e na Figura 10 são apresentados os valores do teste E_n Score dos materiais de referências utilizados na INAA, os quais foram considerados satisfatórios para a maioria dos elementos, exceto para os elementos Cl, Mg e Na no material Oyster Tissue e Co para Whole Egg Powder.

5.1.2 Espectrometria de Absorção Atômica (AAS)

Foram utilizados os materiais de referência Mixed Polish Herbs do Institute of Nuclear Chemistry and Technology da Polônia (INCT-MPH-2), e do National Institute of Standard and Technology dos EUA: Bovine Liver (BL) SRM 1577b e Typical Diet SRM 1548a. Na Tabela 3 e na Figura 11 são apresentados os valores do teste E_n Score, para os materiais de referências utilizados na AAS, os quais foram considerados satisfatórios para a maioria dos elementos, exceto para Cu no material de referência Bone Liver e Typical Diet.

Tabela 2 - Resultados obtidos no controle de qualidade das medições por INAA

Elemento	-	INCT-MPH-2: Mixed Polish Herbs	Whole Egg Powder	Bovine Liver	Oyster Tissue
As (ug/g)	Este trabalho	0,193 ± 0,018	-	0,051 ± 0,006	-
	Certificado	0,191 ± 0,023	(0,01) ^a	(0,05) ^a	-
	E _n Score	0,07	-	0,18	-
Ca (ug/g)	Este trabalho	10327 ± 313	2472 ± 178	144 ± 26	-
	Certificado	10800 ± 700	2480 ± 190	116 ± 4	-
	E _n Score	0,62	0,03	1,09	-
Cl (ug/g)	Este trabalho	2877 ± 163	5000 ± 524	2608 ± 172	4311 ± 325
	Certificado	2840 ± 200	5080 ± 320	2780 ± 60	5140 ± 100
	E _n Score	0,14	0,13	0,95	2,44
Co (ng/g)	Este trabalho	222 ± 11	22,3 ± 1,0	254 ± 22	-
	Certificado	210 ± 25	12 ± 5	(250) ^a	-
	E _n Score	0,43	2,02	0,16	-
Cr (ng/g)	Este trabalho	-	341 ± 96	-	-
	Certificado	-	370 ± 180	-	-
	E _n Score	-	0,14	-	-
Fe (ug/g)	Este trabalho	482 ± 28	99,5 ± 5,9	186 ± 12	-
	Certificado	(460) ^a	112 ± 16	184 ± 15	-
	E _n Score	0,79	0,73	0,09	-
K (ug/g)	Este trabalho	18118 ± 978	3175 ± 147	9780 ± 732	6179 ± 431
	Certificado	19100 ± 1200	3190 ± 370	9940 ± 20	6520 ± 90
	E _n Score	0,63	0,04	0,22	0,78
Mg (ug/g)	Este trabalho	2782 ± 238	297 ± 38	569 ± 36	1169 ± 37
	Certificado	2920 ± 180	305 ± 27	601 ± 28	1085 ± 23
	E _n Score	0,46	0,17	0,71	1,93
Mn (ug/g)	Este trabalho	202 ± 21	1,87 ± 0,24	10,8 ± 1,1	17,8 ± 1,7
	Certificado	191 ± 12	1,78 ± 0,38	10,5 ± 1,7	18,5 ± 0,2
	E _n Score	0,45	0,21	0,17	0,40
Na (ug/g)	Este trabalho	374 ± 23	3771 ± 332	2380 ± 224	3032 ± 116
	Certificado	(350) ^a	3170 ± 340	2420 ± 60	3297 ± 53
	E _n Score	1,04	0,00	0,17	2,07
Se (ng/g)	Este trabalho	-	1353 ± 184	752 ± 35	-
	Certificado	-	1390 ± 170	730 ± 60	-
	E _n Score	-	0,15	0,32	-
Zn (ug/g)	Este trabalho	31,9 ± 1,3	64,9 ± 5,7	122,7 ± 8,7	-
	Certificado	33,5 ± 2,1	67,5 ± 7,6	127 ± 16	-
	E _n Score	0,65	0,27	0,24	-

a: valor informativo

Figura 10 - Materiais de Referências INAA

INCT-MPH-2: Mixed Polish Herbs; WE: Whole Egg Powder; BL: Bovine Liver; OT: Oyster Tissue

Tabela 3 - Resultados obtidos no controle de qualidade das medições por GF AAS e CV AAS

Elemento	-	INCT-MPH-2: Mixed Polish Herbs	Bovine Liver	Typical Diet
Cd (ng/g)	Este trabalho	209 ± 16	474 ± 42	38,7 ± 2,9
	Certificado	199 ± 15	500 ± 30	35 ± 15
	E_n Score	0,46	0,50	0,24
Cu (ug/g)	Este trabalho	7,6 ± 1,1	183,6 ± 3,0	2,76 ± 0,25
	Certificado	7,77 ± 0,61	160 ± 8	2,32 ± 0,16
	E_n Score	0,14	2,76	1,48
Hg (ng/g)	Este trabalho	17,4 ± 3,1	-	4,23 ± 0,69
	Certificado	17,6 ± 1,6	(3) ^a	(5) ^a
	E_n Score	0,06	-	-
Pb (ug/g)	Este trabalho	1,87 ± 0,43	-	-
	Certificado	2,16 ± 0,23	0,129 ± 0,004	0,044 ± 0,009
	E_n Score	0,59	-	-

a: valor informativo

Figura 11 - Materiais de Referências AAS

INCT-MPH-2: Mixed Polish Herbs; BL: Bovine Liver; TD: Typical Diet

5.1.3 Determinações Radiométricas

O Material de Referência IAEA-327-Soil (IAEA, 2001) foi analisado para validação das metodologias utilizadas para as determinações radiométricas. Na Tabela 4 e Figura 12 são apresentados os resultados da análise do material de referência e os valores certificados para os ensaios radiométricos, os quais foram considerados satisfatórios, mostrando que os métodos aplicados para determinação dos radioisótopos são confiáveis e precisos.

Foram apresentados dois valores para a determinação de tório, visto que foram utilizadas duas metodologias diferentes durante os ensaios e, para ambas, os resultados foram satisfatórios.

Tabela 4 - Resultados obtidos no controle de qualidade das medições radiométricas

Radionuclídeo	Determinações Radiométricas (Bq/kg)	Valor Certificado (Bq/kg)	Intervalo de Confiança 95%
^{40}K	688 ± 17	621	612 – 630
^{210}Pb	$49,0 \pm 7,0$	58,8	53,9 – 63,7
^{210}Po	$59,7 \pm 3,4$	58,8 ^(a)	53,9 – 63,7
^{226}Ra	$36,5 \pm 1,3$	34,1	32,7 – 35,5
^{228}Ra	$35,0 \pm 4,0$	38,7	37,8 – 39,6
^{228}Th ^(b)	$37,0 \pm 1,7$	38,2	37,2 – 39,2
^{228}Th ^(c)	$37,3 \pm 1,6$	38,2	37,2 – 39,2
^{230}Th ^(b)	$33,3 \pm 1,5$	34,1	32,4 – 35,8
^{230}Th ^(c)	$33,2 \pm 1,6$	34,1	32,4 – 35,8
^{232}Th ^(b)	$37,6 \pm 1,7$	38,7	37,2 – 40,2
^{232}Th ^(c)	$37,2 \pm 1,5$	38,7	37,2 – 40,2
^{234}U	$33,4 \pm 1,7$	31,9	30,4 – 33,4
^{235}U	$1,6 \pm 0,2$	1,43 ^(d)	1,22 – 1,64
^{238}U	$33,2 \pm 1,7$	32,8	31,4 – 34,2

(a) Valor de ^{210}Pb considerando-se o equilíbrio radioativo; (b) Análise por Eletrodeposição; (c) Análise por microprecipitação; (d) Valor informativo.

Figura 12 - Material de Referência – IAEA-Soil-327

(a) Valor de ^{210}Pb considerando-se o equilíbrio radioativo; (b) Análise por Eletrodeposição; (c) Análise por microprecipitação.

5.2 Lista de Alimentos

Para a elaboração da lista de alimentos deste trabalho foram considerados apenas os alimentos mais consumidos na região sudeste, que foi a escolhida por conter o estado de Minas Gerais, onde está localizada a cidade de Poços de Caldas. Depois da escolha dos alimentos consumidos nessa região, a lista final englobou 82 alimentos agrupados em 20 grupos (incluindo o grupo de água potável) e com massa total de 3,6180 Kg. Os compostos ou grupos de alimentos assim como as taxas de consumo diário de cada um deles, são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Grupo de alimentos e consumo da dieta total a partir da POF (2008-2009)

	Composto/Grupos	Consumo médio diário (Kg)
1	Cereais (CE)	0,1909
2	Leguminosas (LE)	0,2236
3	Hortaliças (HOR)	0,0785
4	Frutas (FR)	0,0819
5	Oleaginosas Cruas (OC)	0,0002
6	Farinha, Massas e Panificados (FMP)	0,1083
7	Bolos e Biscoitos (BB)	0,0299
8	Carnes Bovinas (CBO)	0,0671
9	Carnes Suínas (CSU)	0,0097
10	Carnes de Frango (CFR)	0,0330
11	Peixes (PEI)	0,0149
12	Carnes Processadas e Vísceras (CPV)	0,0143
13	Ovos (OVO)	0,0099
14	Laticínios (LAT)	0,0760
15	Doces (DOC)	0,0238
16	Óleos e Gorduras (OG)	0,0076
17	Bebidas (BE)	0,5637
18	Produtos Industrializados (IND)	0,0801
19	Sal (SAL)	0,0046
20	Água (AG)	2,0000
	Total	3,6180

5.3 Concentração dos Elementos Essenciais

Na Tabela 6 estão apresentados os resultados e desvio padrão para os elementos essenciais obtidos nas dietas das populações urbana e rural de Poços de Caldas. A perda de água durante a preparação pelo processo de liofilização foi considerada para o cálculo da concentração dos alimentos prontos para consumo.

Alguns grupos de alimentos não foram liofilizados, sendo eles: Bolos e Biscoitos; Doces, Óleos e Gorduras; Bebidas; Sal; e Água.

A seguir serão apresentadas as faixas de concentração obtidas para os elementos determinados nos alimentos analisados, assim como serão discutidas as suas funções no organismo humano: A principal diferença entre as concentrações dos elementos nas dietas das populações urbanas e rural pode ser explicada pela composição alimentícia de cada grupo, conforme apresentado nos Anexos I e II.

Ca: O cálcio é um elemento essencial ao ser humano, tendo como principais funções a formação estrutural e manutenção do esqueleto, regulação da contração muscular e ainda é o principal elemento da membrana celular. A falta deste elemento pode causar a osteoporose, hipertensão e câncer de colo. Porém o Ca está presente em muitas fontes de alimentos, sendo rara sua carência profunda (SILVA et al, 2012).

No presente estudo, as concentrações mais elevadas de Ca foram apresentadas para o grupo dos peixes (3361 $\mu\text{g/g}$) na dieta da população urbana e no grupo de laticínios (1305 $\mu\text{g/g}$) na dieta da população rural de Poços de Caldas.

Na composição da dieta da população urbana foi adicionada sardinha enlatada. O peixe quando conservado em óleo de soja ou em azeite na lata não perde nenhuma propriedade nutricional. A espinha do peixe, é cozida dentro da lata de aço inox e consumida juntamente com o mesmo, tornando-se uma fonte rica em cálcio, uma porção de 60 g apresenta mais cálcio que um copo de leite (FAGURY, 2012). Isto provavelmente é a causa do alto valor obtido para Ca no grupo dos peixes na dieta da população urbana.

Tabela 6 - Concentração dos elementos essenciais nos compostos da lista de alimentos das dietas urbana e rural de Poços de Caldas

Composto	Ca (µg/g)		Cl (µg/g)		Co (ng/g)		Cr (ng/g)	
	Região Urbana	Região Rural	Região Urbana	Região Rural	Região Urbana	Região Rural	Região Urbana	Região Rural
Cereais	28,4 ± 1,6	18,1 ± 0,9	249 ± 19	60 ± 12	26,3 ± 0,4	5,8 ± 0,1	186 ± 3	< 17
Leguminosas	385 ± 21	149 ± 13	42 ± 5	25 ± 4	14,0 ± 0,7	37,5 ± 0,5	< 42	98,5 ± 6,4
Hortaliças	353 ± 15	888 ± 53	276 ± 53	389 ± 37	1,7 ± 0,1	6,7 ± 0,3	3,7 ± 0,5	31,5 ± 1,4
Frutas	118 ± 9	92 ± 26	61 ± 2	229 ± 22	10,4 ± 1,0	2,1 ± 0,2	61,5 ± 15,8	10,7 ± 0,8
Oleaginosas cruas	749 ± 47	229 ± 15	9758 ± 515	4482 ± 206	152 ± 25	19 ± 3	186 ± 31	328 ± 214
Farinhas, massas e panificados	259 ± 24	87 ± 9	5271 ± 155	3249 ± 302	17,6 ± 2,2	5,6 ± 0,4	570 ± 7	< 8,5
Bolos e biscoitos	1028 ± 58	727 ± 79	1758 ± 1570	4767 ± 401	23,3 ± 1,5	16,6 ± 2,8	116 ± 10	508 ± 202
Carnes bovinas	105 ± 11	77 ± 6	832 ± 119	770 ± 95	5,16 ± 0,03	9,5 ± 1,2	< 16	< 11
Carnes suínas	164 ± 2	36 ± 5	596 ± 63	7631 ± 238	5,8 ± 0,2	8,7 ± 3,1	< 14	92 ± 4
Carnes de frangos	152 ± 34	89 ± 12	915 ± 13	576 ± 31	4,4 ± 0,1	5,7 ± 0,3	43 ± 3	39 ± 7
Peixes	3361 ± 81	1167 ± 57	2949 ± 220	253 ± 5	19 ± 3	18 ± 1	94 ± 6	< 7,7
Carnes processadas e vísceras	371 ± 25	85 ± 7	13807 ± 2244	12154 ± 866	22 ± 2	7 ± 1	88 ± 3	55 ± 48
Ovos	418 ± 19	409 ± 14	1617 ± 44	1050 ± 84	5,1 ± 1,9	3,6 ± 0,4	< 6,4	20 ± 4
Laticínios	1837 ± 90	1305 ± 42	192 ± 158	1133 ± 75	2,59 ± 0,04	2,3 ± 0,4	< 9,1	< 5,6
Doces	1925 ± 42	1027 ± 20	1104 ± 71	1087 ± 91	65,2 ± 2,8	< 0,59	< 11	< 10
Óleos e gorduras	< 5,5	< 12,5	1,9 ± 0,2	< 1,9	< 0,32	< 0,39	< 2,2	< 1,8
Bebidas	91,1 ± 7,9	26,4 ± 0,2	ND	ND	1,30 ± 0,19	2,08 ± 0,21	1,62 ± 0,25	1,12 ± 0,03
Industrializados	480 ± 16	208 ± 6	6210 ± 696	3094 ± 665	13 ± 2	6,0 ± 0,4	92 ± 16	51 ± 5
Sal	<3600	<3600	661930 ± 79921	631008 ± 56416	<65	<65	<2500	<2500
Água	<0,60	<1,1	nd	nd	<0,079	<0,036	<0,20	<0,14

nd: não determinado

Cont.Tabela 6 - Concentração dos elementos essenciais nos compostos da lista de alimentos das dietas urbana e rural de Poços de Caldas

Composto	Cu (µg/g)		Fe (µg/g)		K (µg/g)		Mg (µg/g)	
	Região Urbana	Região Rural	Região Urbana	Região Rural	Região Urbana	Região Rural	Região Urbana	Região Rural
Cereais	0,66 ± 0,01	0,93 ± 0,08	1,57 ± 0,13	1,39 ± 0,14	346 ± 22	360 ± 34	98 ± 6	124 ± 9
Leguminosas	1,4 ± 0,02	2,2 ± 0,2	14,0 ± 1,0	11,6 ± 0,4	3891 ± 187	3239 ± 134	319 ± 48	372 ± 27
Hortaliças	0,37 ± 0,004	0,53 ± 0,04	1,5 ± 0,2	5,3 ± 0,5	1642 ± 120	2907 ± 255	119 ± 17	251 ± 35
Frutas	0,96 ± 0,01	0,29 ± 0,01	1,7 ± 0,2	0,94 ± 0,03	1954 ± 123	1801 ± 37	153 ± 9	137 ± 4
Oleaginosas cruas	< 0,15	0,98 ± 0,02	25,5 ± 2,6	13,3 ± 1,3	5856 ± 276	5310 ± 661	1833 ± 75	1614 ± 132
Farinhas, massas e panificados	0,68 ± 0,06	1,2 ± 0,1	28,7 ± 1,7	12,5 ± 1,7	863 ± 63	599 ± 33	213 ± 17	169 ± 3
Bolos e biscoitos	1,4 ± 0,09	0,64 ± 0,14	42 ± 3	22 ± 4	1290 ± 71	1315 ± 73	206 ± 14	168 ± 15
Carnes bovinas	0,55 ± 0,07	0,41 ± 0,02	36 ± 1	15 ± 1,5	4752 ± 213	3312 ± 118	310 ± 33	168 ± 42
Carnes suínas	0,47 ± 0,09	0,49 ± 0,004	6,6 ± 0,2	7,6 ± 1,0	5113 ± 213	2103 ± 297	356 ± 12	91 ± 12
Carnes de frangos	0,35 ± 0,02	0,52 ± 0,003	6,3 ± 0,2	7,7 ± 0,6	5150 ± 194	1740 ± 95	395 ± 21	140 ± 19
Peixes	0,42 ± 0,003	<0,15	34,2 ± 0,5	2,9 ± 0,2	3378 ± 16	1589 ± 61	379 ± 43	145 ± 17
Carnes processadas e vísceras	< 0,15	0,30 ± 0,01	18,8 ± 0,8	9,5 ± 0,9	2381 ± 162	2082 ± 120	162 ± 16	124 ± 4
Ovos	0,46 ± 0,09	0,39 ± 0,01	8,9 ± 0,9	15,8 ± 1,7	1174 ± 127	862 ± 65	86 ± 8	87 ± 1
Laticínios	< 0,15	0,06 ± 0,01	0,8 ± 0,3	1,2 ± 0,07	1475 ± 153	1068 ± 17	72 ± 8	60 ± 16
Doces	1,5	0,27 ± 0,01	33,3 ± 0,5	2,7 ± 0,2	2935 ± 193	1751 ± 88	393 ± 20	171 ± 19
Óleos e gorduras	< 0,15	< 0,15	< 0,3	< 0,4	< 6,3	< 11,2	12 ± 3	< 2,1
Bebidas	< 0,15	< 0,15	0,51 ± 0,05	0,41 ± 0,03	343 ± 20	376 ± 20	nd	nd
Industrializados	0,54 ± 0,01	0,28 ± 0,004	17,5 ± 0,6	8,2 ± 0,8	1621 ± 71	1236 ± 135	166 ± 13	100 ± 28
Sal	< 0,15	< 0,15	<35	<35	nd	nd	nd	nd
Água	< 0,15	< 0,15	<0,014	<0,017	3,64 ± 0,35	2,8 ± 0,8	ND	ND

nd: não determinado

Cont.Tabela 6: Concentração dos elementos essenciais nos compostos da lista de alimentos das dietas urbana e rural de Poços de Caldas

Composto	Mn (µg/g)		Na (µg/g)		Se (ng/g)		Zn (µg/g)	
	Região Urbana	Região Rural	Região Urbana	Região Rural	Região Urbana	Região Rural	Região Urbana	Região Rural
Cereais	5,61 ± 0,15	2,14 ± 0,12	103 ± 2	1,7 ± 0,2	< 8,3	< 4,3	6,7 ± 0,5	4,8 ± 0,4
Leguminosas	3,6 ± 0,3	2,4 ± 0,3	9,5 ± 0,6	1,85 ± 0,07	< 17,6	< 12,0	9,5 ± 0,5	5,05 ± 0,25
Hortaliças	1,8 ± 0,2	2,7 ± 0,2	41,3 ± 3,5	35,6 ± 4,3	14,7 ± 3,7	< 7,7	7,0 ± 0,9	3,2 ± 0,05
Frutas	4,6 ± 0,2	2,4 ± 0,09	7,1 ± 0,02	3,8 ± 0,3	< 4,6	< 2,4	1,4 ± 0,1	0,8 ± 0,2
Oleaginosas cruas	14 ± 1	15 ± 0,3	6045 ± 448	3331 ± 322	6931 ± 1060	65 ± 6	26,7 ± 1,7	20,0 ± 1,6
Farinhas, massas e panificados	4,0 ± 0,3	2,9 ± 0,4	4417 ± 467	732 ± 78	9,1 ± 0,4	< 5,9	7,9 ± 0,4	5,3 ± 0,6
Bolos e biscoitos	7,4 ± 1,1	2,5 ± 0,2	4895 ± 54	4365 ± 155	25,8 ± 1,7	45 ± 5	9,6 ± 0,9	9,0 ± 0,7
Carnes bovinas	0,14 ± 0,01	0,07 ± 0,01	907 ± 88	780 ± 87	70 ± 3	74 ± 5	72 ± 3	54 ± 3
Carnes suínas	0,17 ± 0,02	0,17 ± 0,2	652 ± 40	5402 ± 521	95 ± 7	74 ± 9	25 ± 2	18 ± 3
Carnes de frangos	0,14 ± 0,01	0,14 ± 0,03	886 ± 15	526 ± 25	110 ± 8	72 ± 4	11,3 ± 0,7	11,8 ± 0,2
Peixes	3,4 ± 0,4	2,0 ± 0,4	1892 ± 144	247 ± 15	550 ± 16	97 ± 10	13,6 ± 0,5	5,0 ± 0,2
Carnes processadas e vísceras	0,8 ± 0,1	0,42 ± 0,04	8327 ± 558	8905 ± 903	83 ± 6	48 ± 3	25,6 ± 0,5	18,4 ± 1,0
Ovos	0,23 ± 0,02	0,36 ± 0,03	1383 ± 47	817 ± 79	201 ± 19	85 ± 14	11 ± 0,3	11 ± 1,5
Laticínios	0,31 ± 0,03	0,62 ± 0,07	1121 ± 69	716 ± 30	18,2 ± 1,1	< 11,2	6,6 ± 0,5	5,6 ± 0,2
Doces	2,3 ± 0,1	1,0 ± 0,1	662 ± 29	501 ± 61	< 13,7	12 ± 1	10,0 ± 0,4	5,2 ± 0,2
Óleos e gorduras	< 0,006	< 0,009	0,4 ± 0,1	< 0,4	< 6,1	< 7,6	< 0,03	< 0,03
Bebidas	nd	nd	48,3 ± 4,0	46,0 ± 3,4	<1,7	<1,3	0,40 ± 0,05	0,19 ± 0,01
Industrializados	2,3 ± 0,1	0,9 ± 0,1	3864 ± 209	1819 ± 109	22 ± 1	28 ± 2	9,8 ± 0,6	3,9 ± 0,3
Sal	nd	nd	383404 ± 3837	375948 ± 13091	<70	<70	<1,3	6,75 ± 1,6
Água	nd	nd	2,58 ± 0,80	1,8 ± 0,50	<0,34	<0,77	<0,0037	<0,0013

nd: não determinado

Cl: O cloro tem importante função gástrica, auxilia na digestão, auxilia na formação do suco gástrico. O corpo humano se caracteriza por apresentar um pH neutro, e depende do cloro para que se mantenha essa característica, equilibrando os níveis de acidez. Sua deficiência pode provocar problemas digestivos, alteração em articulações, perda de dentes, transtornos metabólicos ou perda de cabelo (TRAMONTE et al, 2012).

O composto de sal apresentou os valores de concentração mais elevado para o elemento Cl (661930 e 631008 µg/g) nas dietas de ambas regiões. Isto pode ser explicado pela associação do cloro em sua forma de cloreto ao sódio na composição do sal de cozinha.

Co: O cobalto é um elemento micronutriente, constituinte da vitamina B₁₂ (cianocobalamina). É essencial para a normalização da função de todas as células, em particular das células da medula óssea, sistemas nervoso e gastrointestinal. As maiores fontes deste elemento para a dieta alimentar são os peixes, nozes, vegetais verdes e cereais (AMBROGÍ, 2016; AMBROGÍ et al, 2016).

No presente estudo, o composto dos doces (65,2 ng/g) da dieta da região urbana e o composto das leguminosas (37,5 ng/g) da dieta da região rural apresentaram concentrações mais elevadas para o elemento Co.

Cr: O cromo é um elemento traço essencial para a dieta do ser humano. Sua função está associada a normalização da insulina e redução de doenças vasculares. O desenvolvimento de diabetes pode ser associado à deficiência deste elemento (SILVA et al, 2012).

O composto de farinha, massas e panificados da dieta da região urbana (570 ng/g) e o compostos de bolos e biscoitos da dieta da região rural (508 ng/g) apresentaram concentrações mais elevadas para o Cr.

Cu: O cobre é um elemento essencial que funciona como componente de várias enzimas e atua como oxidases, na redução de oxigênio molecular. Sua toxicidade nos seres humanos é rara e sua deficiência pode ocasionar em anemias e fragilidade nos ossos (GIMOU et al, 2014).

No presente estudo o composto de doces (1,5 µg/g) da dieta da população urbana e o composto das leguminosas (2,2 µg/g) da dieta da população rural, apresentaram as concentrações mais elevadas para o cobre.

Fe: O ferro atua principalmente na síntese de células vermelhas do sangue. A importância deste elemento na alimentação se deve ao seu papel estrutural na hemoglobina e mioglobinas, que são proteínas carregadoras de oxigênio; a falta deste elemento pode prejudicar a oxigenação tecidual. A ausência de ferro no sangue pode causar a diminuição das defesas imunitárias e é um fator agravante para a anemia (LOEF & WALACH, 2012).

No Brasil, pelo fato da população apresentar um índice de anemia bastante elevado, o Ministério da Saúde decidiu assegurar que toda a farinha de trigo consumida no país fosse fortificada com ferro e ácido fólico. Em consequência os pães, bolos, doces e outros alimentos que apresentam farinha em sua composição, também apresentam este elemento (BRASIL, 2015).

Como esperado, os compostos de bolos e biscoitos apresentaram concentrações mais elevadas para Fe (42 e 22 µg/g) para as dietas das populações de ambas as regiões, visto que a base destes alimentos é a farinha de trigo.

K: O potássio participa do equilíbrio ácido-base no líquido intracelular, da regulação da pressão osmótica, da condução dos impulsos nervosos, da contração muscular e da função da membrana celular. Sua importância para a saúde humana ainda tem sido estudada, enfatizando os seus efeitos positivos e uso potencial na saúde pública. Uma alta ingestão de potássio tem mostrado proteger as pessoas de uma série de condições que afetam o sistema cardiovascular, rins e ossos (WHO, 2012b).

No presente estudo o composto das oleaginosas cruas apresentou concentrações mais elevadas em ambas as regiões analisadas para o elemento K (5856 e 5310 µg/g).

Mg: O magnésio atua como cofator em mais de 300 reações enzimáticas, desempenhando importante papel no metabolismo da glicose, no equilíbrio da insulina e na síntese de proteínas e ácidos nucleicos. Atua ainda na estabilidade da membrana neuromuscular e cardiovascular e como regulador fisiológico da função hormonal e imunológica (VOLPE, 2013).

O composto das oleaginosas cruas apresentou concentrações mais elevadas para o elemento Mg (5856 e 5310 µg/g), nas regiões analisadas.

Mn: O manganês está relacionado à formação de ossos e às reações específicas do metabolismo de aminoácidos, colesterol e carboidratos. É um componente de muitas enzimas (GIMOU et al, 2014).

O composto das oleaginosas cruas apresentou os valores de concentração mais elevados para o elemento Mn (14 e 15 µg/g), nas dietas da população de Poços de Caldas.

Na: O sódio possui importantes funções no organismo, tais como regulação da pressão arterial e osmótica, responsável pela absorção de aminoácidos, transmissão de impulsos nervosos, manutenção do equilíbrio hídrico e importante componente do fluido extracelular. O sal de cozinha contribui com cerca de 40% do Na ingerido. O consumo de sal tem se associado aos vários efeitos prejudiciais à saúde. Foram observadas evidências da associação entre alto consumo de sódio e doenças cardiovasculares e renais, acidente vascular cerebral e hipertrofia ventricular esquerda (BORGES, 2014; MUÑOZ et al, 2017).

Como esperado, a concentração mais elevada de Na encontrada no presente estudo foi no composto de sal (383404 e 375948 µg/g) nas dietas de ambas as regiões. Porém, também foram encontradas elevadas concentrações deste elemento no composto das carnes processadas e vísceras (8327 e 8905 µg/g), grupo que apresenta os embutidos, fonte conhecida de sódio.

Se: O selênio desempenha um importante papel antioxidante para os seres humanos em pequenas concentrações. Alguns estudos apresentam o Se como um agente quimiopreventivo para alguns tipos de cânceres (próstata, pulmão e cólon) e tem um efeito benéfico em diversas patologias. A deficiência de Se pode acarretar em cardiomiopatia e osteoartrite (INTOSH et al, 2014; MARTENS et al, 2012).

No presente estudo, o composto das oleaginosas cruas (6931 ng/g) da dieta da população urbana e o composto dos peixes (97 ng/g) da dieta da população rural, apresentaram concentrações mais elevadas para o elemento Se.

O composto das oleaginosas cruas da dieta da população rural apresentou uma concentração baixa deste elemento comparada a dieta da população da região urbana, cerca de 100 vezes mais baixo. Isto pode ser explicado devido à composição da mesma não apresentar Castanha do Pará.

As concentrações dos elementos nos alimentos que compõem o grupo das oleaginosas cruas são muito mais elevadas que as de outros alimentos (MAZOKOPAKIS & LIONTIRIS, 2017).

Zn: O zinco é de grande importância para o corpo humano. Ele fortalece o sistema imune, deixando o organismo mais forte no combate a doenças causadas por vírus, fungos e bactérias. A carência deste elemento no organismo pode provocar alteração na sensibilidade dos sabores, queda de cabelo, dificuldade de cicatrização e até problemas de crescimento e desenvolvimento nas crianças (YUYAMA et al, 2012).

O composto das oleaginosas cruas apresentou concentrações mais elevadas, em ambas as regiões analisadas, para o elemento Zn (26,7 e 20,0 µg/g).

5.4 Ingestão dos Elementos Essenciais

Para o cálculo de ingestão diária para cada elemento foram utilizados dados do IBGE (2011) de consumo de alimentos, indicados na Tabela 5, conforme a equação 19 do item 3.8.

Na Tabela 7 são apresentados os resultados de ingestão diária média dos elementos essenciais obtidos nas dietas das regiões urbana e rural de Poços de Caldas. A ingestão diária total para cada elemento é a soma das ingestões de todos os compostos analisados.

Os valores de referência de ingestão dietética (Dietary Reference Intakes - DRI) são um conjunto de valores de referência de ingestão, de determinado nutriente, utilizados na avaliação da dieta de um grupo de indivíduos saudáveis. Estes valores desenvolvidos para a população americana e canadense apresentam as recomendações dietéticas (Recommended Dietary Allowance – RDA), as quais estão relacionadas à quantidade de nutriente suficiente para atender as necessidades nutricionais (entre 97 e 98 %) de um grupo de indivíduos saudáveis, de uma determinada população.

Tabela 7 - Ingestão diária dos elementos essenciais nos compostos da lista de alimentos das dietas urbana e rural de Poços de Caldas

Composto	Ca (mg/dia)		Cl (mg/dia)		Co (µg/dia)		Cr (µg/dia)	
	Região Urbana	Região Rural	Região Urbana	Região Rural	Região Urbana	Região Rural	Região Urbana	Região Rural
Cereais	5,42	3,46	47,50	11,40	5,02	0,11	35,57	-
Leguminosas	86,07	33,36	9,48	5,59	3,12	8,39	-	22,02
Hortaliças	27,69	69,67	21,69	30,51	0,13	0,52	0,29	2,47
Frutas	9,68	7,57	4,97	18,75	0,85	0,18	5,04	0,87
Oleaginosas cruas	0,15	0,05	1,89	0,90	0,03	0,004	0,04	0,07
Farinhas, massas e panificados	28,10	9,39	570,90	351,89	1,90	0,61	61,74	-
Bolos e biscoitos	30,72	21,73	52,58	142,53	0,70	0,50	3,46	15,18
Carnes bovinas	7,06	5,19	55,83	51,67	0,35	0,64	-	-
Carnes suínas	1,59	0,35	5,78	74,02	0,06	0,08	-	0,89
Carnes de frangos	5,03	2,93	30,18	19,02	0,14	0,19	1,41	1,29
Peixes	50,08	17,39	43,94	3,78	0,28	0,28	1,40	-
Carnes processadas e vísceras	5,31	1,22	197,44	173,80	0,31	0,10	1,25	0,79
Ovos	4,13	4,05	16,01	10,40	0,05	0,04	-	0,20
Laticínios	139,58	99,17	143,81	86,11	0,20	0,17	-	-
Doces	45,81	24,44	26,27	25,86	1,55	-	-	-
Óleos e gorduras	-	-	0,01	-	-	-	-	-
Bebidas	51,35	14,88	-	-	0,73	1,17	0,91	0,63
Industrializados	38,42	16,67	497,45	247,87	1,04	0,48	7,38	4,05
Sal	-	-	3045	2903	-	-	-	-
Água	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	536,19	331,52	4771	4157	16,46	13,46	118,49	48,46

Cont. Tabela 7 - Ingestão diária dos elementos essenciais nos compostos da lista de alimentos das dietas urbana e rural de Poços de Caldas

Composto	Cu (mg/dia)		Fe (mg/dia)		K (mg/dia)		Mg (mg/dia)	
	Região Urbana	Região Rural	Região Urbana	Região Rural	Região Urbana	Região Rural	Região Urbana	Região Rural
Cereais	0,13	0,18	0,30	0,27	66,04	68,68	18,69	23,73
Leguminosas	0,30	0,49	3,14	2,60	870,05	724,18	71,22	83,27
Hortalças	0,03	0,04	0,11	0,42	128,93	228,22	9,31	19,72
Frutas	0,08	0,02	0,14	0,08	160,00	147,46	12,53	11,20
Oleaginosas cruas	-	0,0002	0,01	0,003	1,17	1,06	0,37	0,32
Farinhas, massas e panificados	0,07	0,13	3,11	1,35	93,47	64,83	23,06	18,32
Bolos e biscoitos	0,04	0,02	1,25	0,64	38,57	39,30	6,15	5,03
Carnes bovinas	0,04	0,03	2,43	1,00	318,88	222,22	20,78	11,26
Carnes suínas	0,005	0,005	0,06	0,07	49,60	20,40	3,45	0,88
Carnes de frangos	0,01	0,02	0,21	0,25	169,96	57,41	13,03	4,63
Peixes	0,01	-	0,51	0,04	50,33	23,67	5,65	2,16
Carnes processadas e vísceras	-	0,004	0,27	0,14	34,05	29,78	2,31	1,78
Ovos	0,005	0,004	0,09	0,16	11,62	8,53	0,85	0,86
Laticínios	-	0,005	0,06	0,09	112,64	81,16	5,47	4,54
Doces	0,04	0,01	0,79	0,06	69,86	41,68	9,35	4,07
Óleos e gorduras	-	-	-	-	-	-	0,09	-
Bebidas	-	-	0,29	0,23	193,35	211,95	-	-
Industrializados	0,07	0,02	1,40	0,84	129,83	98,97	13,31	8,01
Sal	-	-	-	-	-	-	-	-
Água	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	0,83	0,98	14,17	8,24	2506	2075	215,62	199,78

Cont. Tabela 7 - Ingestão diária dos elementos essenciais nos compostos da lista de alimentos das dietas urbana e rural de Poços de Caldas

Composto	Mn (mg/dia)		Na (mg/dia)		Se (µg/dia)		Zn (mg/dia)	
	Região Urbana	Região Rural	Região Urbana	Região Rural-	Região Urbana	Região Rural	Região Urbana	Região Rural
Cereais	1,07	0,41	19,60	0,33	-	-	1,28	0,91
Leguminosas	0,81	0,55	2,13	0,41	-	-	2,12	1,13
Hortaliças	0,14	0,21	3,24	2,80	1,15	-	0,55	0,25
Frutas	0,38	0,20	0,58	0,31	-	-	0,11	0,06
Oleaginosas cruas	0,003	0,003	1,21	0,67	1,39	0,01	0,01	0,004
Farinhas, massas e panificados	0,44	0,31	478,40	79,31	0,99	-	0,86	0,57
Bolos e biscoitos	0,22	0,08	146,35	130,50	0,77	1,34	0,29	0,27
Carnes bovinas	0,01	0,005	60,87	52,34	4,71	4,96	4,82	3,60
Carnes suínas	0,002	0,002	6,33	52,40	0,92	0,71	0,24	0,18
Carnes de frangos	0,004	0,005	29,24	17,35	3,64	2,37	0,37	0,39
Peixes	0,05	0,03	28,19	3,68	8,20	1,45	0,20	0,08
Carnes processadas e vísceras	0,01	0,01	119,07	127,35	1,19	0,69	0,37	0,26
Ovos	0,002	0,004	13,69	8,09	1,99	0,84	0,11	0,11
Laticínios	0,02	0,05	85,23	54,42	1,38	-	0,50	0,42
Doces	0,05	0,02	15,76	11,93	-	0,28	0,24	0,12
Óleos e gorduras	-	-	0,003	-	-	-	-	-
Bebidas	-	-	27,23	25,93	-	-	0,23	0,11
Industrializados	0,19	0,07	309,49	145,72	1,74	2,21	0,79	0,31
Sal	-	-	1764	1729	-	-	-	0,03
Água	-	-	5,16	3,6	-	-	-	-
Total	3,40	1,96	3116	2446	28,07	14,86	13,09	8,80

Além dos valores de recomendações dietéticas, existe também uma regulamentação de limite superior tolerável de ingestão (Tolerable Upper Intake Level – UL), um limite máximo que os nutrientes podem ser ingeridos diariamente, ou seja, é o valor mais alto de ingestão diária de um nutriente que não colocaria em risco este indivíduo (IOM, 1998). Na Tabela 8 são apresentados os valores de RDA, UL e os valores de ingestão diária encontrados no presente estudo.

Tabela 8 - Valores de RDA e UL comparando as dietas urbana e rural de Poços de Caldas

Elemento		Valores	Região Urbana	Região Rural
Ca (mg/dia)	RDA	800 – 1000	536	332
	UL	2500		
Cl (mg/dia)	RDA	1800 – 2300	4771	4157
	UL	-		
Cr (µg/dia)	RDA	20 - 35	118	48
	UL	-		
Cu (mg/dia)	RDA	0,7	0,8	1,0
	UL	10		
Fe (mg/dia)	RDA	12 - 18	14	8,0
	UL	45		
K (mg/dia)	RDA	3510	2506	2075
	UL	-		
Mg (mg/dia)	RDA	255 – 350	216	200
	UL	576		
Mn (µg/dia)	RDA	1,8 – 2,3	3,4	2,0
	UL	11		
Na (mg/dia)	RDA	1200 – 1500	3116	2446
	UL	2300		
Se (µg/dia)	RDA	45 – 55	28	15
	UL	400		
Zn (mg/dia)	RDA	6,8 – 9,4	13	8,7
	UL	40		

A disponibilidade de um determinado nutriente em um alimento influencia o seu efeito benéfico de ingestão para a população, porém o seu consumo excessivo pode gerar uma gravidade de toxicidade, por isso precisam ser considerados em um processo de avaliação de riscos relacionados à alimentação (COZZOLINO, 2015).

Um estudo realizado por Ambrogí e colaboradores (2016), que determinou os elementos essenciais presentes na dieta da população da região sudeste do Brasil, aplicando o EDT, obteve ingestão diária de Ca variando de 0,21 mg/dia para amostras de oleaginosas cruas a 218,3 mg/dia, para o grupo de laticínio. No presente estudo verificou-se um intervalo entre 0,15 e 139,58 mg/dia para a dieta da população urbana e entre 0,05 e 99,17 mg/dia, para a dieta da população rural, para

os mesmos compostos do estudo de Ambrogí e colaboradores (2016). Na Figura 13 é apresentado o consumo diário de Ca para as dietas das populações urbana e rural de Poços de Caldas.

A ingestão dietética diária de cálcio no Brasil está abaixo das recomendações nutricionais (800 – 1000 mg/dia). Isto também foi observado no presente estudo, sendo encontrado um consumo de 536 e 332 mg/dia, para as dietas das populações urbana e rural, respectivamente. Quando não há possibilidade de ingestão deste elemento por meio de fontes nutricionais, é recomendável a administração de suplementos de cálcio, visto que sua carência pode acarretar diversos problemas para a saúde (SILVA et al, 2012).

Figura 13 - Ingestão de cálcio nas dietas das populações de Poços de Caldas

A ingestão total de cloro para a população urbana e rural foi de 4771 e 4157 mg/dia, respectivamente, variando de 0,01 a 3045 mg/dia para a população urbana e entre 0,90 e 2903 mg/dia, para a população rural, sendo os valores mais elevados obtidos para o composto de sal, em ambas regiões. O cloro é um elemento com poucos dados relacionados à sua ingestão.

A recomendação nutricional para o cloro está entre 1800 e 2300 mg/dia. O presente estudo esteve acima das recomendações para este elemento. Na Figura 14 é apresentado o consumo diário de Cl para as dietas das populações urbana e rural de Poços de Caldas.

No presente estudo foram encontrados valores de 16,46 e 13,46 $\mu\text{g}/\text{dia}$ para a ingestão de cobalto para a população urbana e rural da cidade de Poços de Caldas, respectivamente. Valores semelhantes em EDT foram encontrados para a dieta da população libanesa (11,4 $\mu\text{g}/\text{dia}$), sueca (11 $\mu\text{g}/\text{dia}$) e italiana (15 a 57 $\mu\text{g}/\text{dia}$) (TURCONI et al, 2009). Na Figura 15 é apresentado o consumo diário de Co para as dietas das populações urbana e rural de Poços de Caldas.

A recomendação nutricional de cromo está entre 20 e 35 $\mu\text{g}/\text{dia}$. No presente estudo os valores encontrados para a dieta da população urbana (118 $\mu\text{g}/\text{dia}$) e da população rural (48 $\mu\text{g}/\text{dia}$), foram superiores ao recomendado. Para este elemento não é apresentado limite superior tolerável. Na dieta da população urbana o composto das farinhas, massas e panificados (61,74 $\mu\text{g}/\text{dia}$) foi o que mais colaborou para a ingestão de Cr, já para a dieta da população rural, foi o composto das leguminosas (22,02 $\mu\text{g}/\text{dia}$). Na Figura 16 é apresentado o consumo diário de Cr para as dietas das populações urbana e rural de Poços de Caldas.

Figura 14 - Ingestão de cloro nas dietas das populações de Poços de Caldas

Figura 15 - Ingestão de cobalto nas dietas das populações de Poços de Caldas **Figura 16 - Ingestão de cromo nas dietas das populações de Poços de Caldas**

No presente estudo a ingestão total de cobre para a população urbana (0,83 mg/dia) e para a população rural (0,98 mg/dia) foram mais baixos que os encontrados para a dieta da população do sudeste brasileiro (2,96 mg/dia), da China (1,1 mg/dia), Espanha (1,04 – 1,40 mg/dia) e França (1,93 mg/dia), que também utilizaram EDT para a realização da avaliação (AMBROGI et al, 2016). Porém, os valores encontrados no presente estudo estão próximos a recomendação nutricional

de 0,7 mg/dia. Na Figura 17 é apresentado o consumo diário de Cu para as dietas das populações urbana e rural de Poços de Caldas.

Figura 17 - Ingestão de cobre nas dietas das populações de Poços de Caldas

A ingestão dietética total de ferro da população urbana estudada foi de 13,88 mg/dia e da população rural foi de 8,01 mg/dia. Os valores encontrados se aproximam da dieta italiana entre 6,4 e 19,5 mg/dia utilizando EDT (D'AMATO et al, 2013). Os valores encontrados estão acima das recomendações nutricionais, porém abaixo do limite máximo tolerável (45 mg/dia).

Na Figura 18 é apresentado o consumo diário de Fe para as dietas das populações urbana e rural de Poços de Caldas.

Um EDT realizado em Valdivia, no Chile (MUÑOZ et al, 2017), encontrou um total de 2077,5 mg/dia de ingestão de potássio, valor próximo ao presente estudo, de 2506 mg/dia para a população urbana e 2075 mg/dia para a população rural, da cidade de Poços de Caldas, porém ambos valores abaixo das recomendações nutricionais. Na Figura 19 é apresentado o consumo diário de K para as populações urbana e rural de Poços de Caldas.

Nos EDTs realizado no Brasil foi encontrado para o elemento essencial magnésio um total de ingestão diária de: 175 mg/dia (AVEGLIANO et al, 2011) e 315 mg/dia (AMBROGÍ et al, 2016). No presente estudo, terceiro EDT realizado no Brasil, foi encontrado 216 mg/dia para a população urbana e 200 mg/dia para a população rural, ficando abaixo das recomendações nutricionais de Mg. Na Figura

20 é apresentado o consumo diário de Mg para as dietas das populações urbana e rural de Poços de Caldas.

O composto de leguminosas para as dietas das duas regiões foi que mais contribuiu para a ingestão de Fe, K e Mg, que se deve ao grande consumo de feijões pelas populações estudadas.

Figura 18 - Ingestão de ferro nas dietas das populações de Poços de Caldas

Figura 19 - Ingestão de potássio nas dietas das populações de Poços de Caldas

Figura 20 - Ingestão de magnésio nas dietas das populações de Poços de Caldas

A ingestão dietética total de manganês da população urbana foi de 3,4 mg/dia e da população rural foi 2,0 mg/dia, os valores que se aproximam da dieta francesa de 2,3 mg/dia de acordo com Arnich e colaboradores (2012), que também utilizaram EDT. Os valores encontrados estão dentro das recomendações nutricionais (1,8 – 2,3 mg/dia) para a população rural e acima para a população urbana, porém abaixo do limite máximo tolerável (11 mg/dia). Na Figura 21 é apresentado o consumo diário de Mn para as dietas das populações urbana e rural de Poços de Caldas.

Figura 21 - Ingestão de manganês nas dietas das populações de Poços de Caldas

No presente estudo os valores encontrados para o sódio foram acima das recomendações nutricionais (1200 – 1500 mg/dia) e do limite máximo tolerável (2300 mg/dia) para as dietas das populações urbana e rural (3116 e 2446 mg/dia, respectivamente). Esta tendência de elevado consumo de sódio também é observada em diversos estudos realizados mundialmente (MUÑOZ et al, 2017). Na Figura 22 é apresentado o consumo diário de Na para as dietas das populações urbana e rural de Poços de Caldas.

Figura 22 - Ingestão de sódio nas dietas das populações de Poços de Caldas

Sabe-se que mundialmente o sal (NaCl) é consumido em uma quantidade muito mais elevada em relação a recomendação da Organização Mundial da Saúde. Em longo prazo é um fator para o surgimento de doenças causadas pela ingestão de Na em excesso. O brasileiro consome em média 14 g de sal, sendo que o limite considerado saudável é inferior a 6 g, fator que pode causar o aumento do volume de fluxo sanguíneo nas artérias e consequentemente a pressão alta (BORGES, 2014).

Recomenda-se calcular a relação entre a ingestão diária de sódio e potássio, de acordo com a WHO (2012b). Uma relação benéfica para a saúde é de aproximadamente 1:1,8 para a razão Na/K. No presente estudo foi obtida uma razão de 1:0,8 tanto para a dieta da população urbana, quanto para a dieta da população

rural, o que representa um risco à saúde, apresentando um fator potencial para o risco de hipertensão.

Vários estudos realizados com a população brasileira indicaram a baixa ingestão de selênio (AVEGLIANO et al, 2011), o que também foi observado no presente estudo. Foram encontrados valores abaixo das recomendações nutricionais (45 – 55 $\mu\text{g}/\text{dia}$) para a dieta da população urbana (28 $\mu\text{g}/\text{dia}$) e para a dieta da população rural (15 $\mu\text{g}/\text{dia}$). Na Figura 23 é apresentado o consumo diário de Se para as dietas das populações urbana e rural de Poços de Caldas.

Figura 23 - Ingestão de selênio nas dietas das populações de Poços de Caldas

As recomendações nutricionais para o zinco estão entre 6,8 e 9,4 mg/dia. No presente estudo, as dietas das populações urbana e rural (12,9 e 8,7 mg/dia) estiveram acima das recomendações, porém ainda estão abaixo do limite máximo tolerável (40 mg/dia). O grande consumo de carnes pode explicar os valores elevados encontrados. Na Figura 24 é apresentado o consumo diário de Zn para as dietas das populações urbana e rural de Poços de Caldas.

Foi possível observar que os valores de ingestão diária média para todos os elementos essenciais, para as classes de alimentos analisados foram mais elevados para a dieta da população urbana, quando comparados aos da população rural, com exceção do Cu. Isto pode ser explicado pelo fato da população urbana consumir mais alimentos industrializados, porém as diferenças não são significativas, comprovadas estatisticamente (ver item 5.9).

Figura 24 - Ingestão de zinco nas dietas das populações de Poços de Caldas

É importante ressaltar que a diversidade dos valores encontrados pode também estar associada às características dos locais de coletas dos compostos alimentares.

5.5 Concentração dos Elementos Tóxicos

Na Tabela 9 são apresentados os resultados e desvio padrão para os elementos tóxicos obtidos nas dietas das populações urbana e rural de Poços de Caldas. A perda de água durante a preparação pelo processo de liofilização também foi considerada para o cálculo da concentração dos alimentos prontos para consumo.

A seguir serão apresentadas as faixas de concentração obtidas para os elementos tóxicos determinados nos alimentos analisados, assim como serão discutidos os seus efeitos no organismo humano:

As: O arsênio é amplamente distribuído em águas naturais e muitas vezes está associado a fontes geológicas e contribuições antrópicas. O uso de inseticidas arsênicos e os combustíveis fósseis tornam-se grandes fontes de As. Os efeitos tóxicos do elemento As dependem do estado de oxidação e das espécies químicas. Em sua forma inorgânica é considerado cancerígeno e está principalmente relacionado ao câncer de pulmão, rim e bexiga, bem como doenças de pele (MUÑOZ et al, 2017; WHO, 2012).

Tabela 9 - Concentração dos elementos tóxicos nos compostos da lista de alimentos das dietas urbana e rural de Poços de Caldas

Composto	As (µg/dia)		Cd (ng/g)		Hg (ng/g)		Pb (ng/g)	
	Região Urbana	Região Rural	Região Urbana	Região Rural	Região Urbana	Região Rural	Região Urbana	Região Rural
Cereais	0,05 ± 0,004	0,04 ± 0,001	1,89 ± 0,04	8,15 ± 0,30	1,32 ± 0,02	0,39 ± 0,01	< 28,5	307,3 ± 0,2
Leguminosas	< 0,001	< 0,020	6,31 ± 0,14	1,88 ± 0,09	0,49 ± 0,21	< 0,02	151,9 ± 0,3	< 28,5
Hortalças	2,96 ± 0,25	0,0011 ± 0,0003	6,17 ± 0,02	7,94 ± 0,12	0,26 ± 0,002	0,22 ± 0,02	38,2 ± 0,1	< 28,5
Frutas	0,0014 ± 0,0004	< 0,001	2,63 ± 0,18	4,31 ± 0,02	0,24 ± 0,02	< 0,02	< 28,5	489 ± 2
Oleaginosas cruas	0,0031 ± 0,003	< 0,021	6,10 ± 0,12	17,14 ± 0,61	2,19 ± 0,02	1,49 ± 0,10	< 28,5	707 ± 3
Farinhas, massas e panificados	< 0,023	< 0,013	3,58 ± 0,01	5,23 ± 0,11	0,57 ± 0,08	< 0,02	< 28,5	< 28,5
Bolos e biscoitos	< 0,039	0,0146 ± 0,0005	<1,2	15,03 ± 0,34	< 0,02	< 0,02	< 28,5	472 ± 3
Carnes bovinas	< 0,009	< 0,017	<1,2	<1,2	2,91 ± 0,59	1,44 ± 0,23	< 28,5	< 28,5
Carnes suínas	< 0,011	< 0,030	16, 59 ± 0,51	2,77 ± 0,06	1,99 ± 1,17	1,24 ± 0,10	721 ± 2	< 28,5
Carnes de frangos	< 4,40	< 0,202	<1,2	<1,2	2,52 ± 0,03	1,65 ± 0,12	< 28,5	< 28,5
Peixes	1,13 ± 0,05	0,042 ± 0,004	29,39 ± 0,46	2,11 ± 0,02	14,64 ± 0,26	17,46 ± 0,11	39 ± 2	21,5 ± 0,7
Carnes processadas e vísceras	0,11 ± 0,01	< 0,039	8,06 ± 0,09	2,43 ± 0,32	1,25 ± 0,09	1,49 ± 0,05	< 28,5	< 28,5
Ovos	< 0,068	0,006 ± 0,002	4,93 ± 0,10	<1,2	1,30 ± 0,05	1,00 ± 0,01	65 ± 1	< 28,5
Laticínios	< 0,020	< 0,007	2,55 ± 0,02	1,46 ± 0,03	< 0,02	0,26 ± 0,10	< 28,5	57 ± 2
Doces	< 0,010	< 0,012	<1,2	29,02 ± 0,60	< 0,02	< 0,02	< 28,5	1676 ± 26
Óleos e gorduras	< 0,0005	< 0,0007	52,52 ± 0,31	<1,2	< 0,02	< 0,02	2013 ± 136	262 ± 1
Bebidas	<0,87	<0,23	<1,2	8,82 ± 0,65	< 0,02	< 0,02	64 ± 2	204 ± 6
Industrializados	< 0,017	< 0,273	11,84 ± 0,09	4,64 ± 0,02	0,37 ± 0,03	< 0,02	333 ± 6	77,5 ± 0,1
Sal	<0,31	< 0,27	<1,2	<1,2	< 0,02	< 0,02	< 28,5	< 28,5
Água	< 0,23	< 0,23	<1,2	<1,2	< 0,02	< 0,02	< 28,5	< 28,5

A Resolução RDC nº42 de 29 de agosto de 2013 do Ministério da Saúde (Brasil, 2013) estabeleceu limites máximos de arsênio para alguns alimentos, dos quais podemos destacar: 0,30 mg/kg para o arroz e seus derivados; 0,10 mg/kg para hortaliças e leguminosas; 1,00 mg/kg para peixes crus, congelados ou refrigerados.

No presente estudo o As foi encontrado dentro dos limites estabelecidos pelo Ministério da Saúde para o composto de cereais (arroz e seus derivados) com valores de concentração de 0,05 e 0,04 mg/kg para a dieta da população urbana e rural, respectivamente.

Os valores encontrados para o composto das hortaliças (2,96 mg/kg) e peixes (1,13 mg/kg) na dieta da população urbana estão acima dos limites estabelecidos. Já os valores obtidos para a dieta da população rural, estão dentro dos limites estabelecidos para arsênio, sendo 0,001 e 0,042 mg/kg, para o composto das hortaliças e peixes, respectivamente.

Cd: A presença de cádmio nos alimentos pode ser resultado da contaminação do solo e da água tanto por fontes naturais como por atividades antrópicas. Este elemento se acumula no corpo humano e afeta negativamente vários órgãos como: fígado, rins, pulmões, ossos, placenta, cérebro e sistema nervoso central (MUÑOZ et al, 2017; APOSTOLI & CATALANI, 2011).

No presente estudo o composto dos óleos e gorduras apresentou concentração mais elevada para Cd (52,52 ng/g) na dieta da população urbana. Já o composto dos doces da região rural apresentou concentração mais elevada deste elemento (17,46 ng/g).

A variação da concentração deste elemento nos vegetais, incluindo raízes e tubérculos, está normalmente abaixo de 0,05 µg/g (MAIHARA et al, 2016), fato esse também verificado no presente estudo, para as dietas de ambas as populações.

Hg: Uma vez lançado no meio ambiente, Hg é rapidamente transformado em compostos orgânicos por microrganismos aquáticos, como o metil-mercúrio (MeHg), que é mais tóxico do que na forma elementar e nas formas inorgânicas. Sais de mercúrio afetam principalmente o trato gastrointestinal e os rins, podendo causar grave dano renal (WHO, 2012). Os compostos de Hg inorgânicos e orgânicos são absorvidos através do trato gastrointestinal e afetam outros sistemas dos seres humanos através desta via (MUÑOZ et al, 2017).

Os compostos orgânicos de Hg são mais facilmente absorvidos através da ingestão. Mais de 90% de MeHg pode ser absorvido e acumulado no corpo com o

risco de causar efeitos maléficos aos sistemas neurológicos, cardiovasculares e reprodutivos (CHENG et al., 2013).

No presente estudo, o composto dos peixes nas dietas da população urbana e rural apresentaram concentrações mais elevadas (14,64 e 17,46 ng/g, respectivamente).

Pb: O chumbo é um metal tóxico encontrado em grandes quantidades naturalmente no meio ambiente, sendo resultados de atividades antrópicas tais como mineração, pintura, fabricação de baterias, entre outras. As fontes de chumbo nos alimentos podem ser diversas, incluindo solo residual nos alimentos, deposição atmosférica, abastecimento de água e contato com equipamentos no processamento ou embalagens (WHO, 2012; U.S. CONSUMER PRODUCT SAFETY COMMISSION, 2008).

Nos seres humanos, o principal órgão alvo da toxicidade do chumbo é o sistema nervoso central, particularmente durante o desenvolvimento de fetos e em crianças recém-nascidas. Nos adultos, os efeitos adversos na saúde incluem doenças renais crônicas e aumento da pressão arterial. (USDA, 2015; WHO, 2012).

No presente estudo o composto dos óleos e gorduras apresentou concentração mais elevada para Pb (2013 ng/g) na dieta da população urbana. Já o composto dos doces da região rural apresentou concentração mais elevada deste elemento (1676 ng/g).

De acordo com a Comissão de Segurança de Produtos do Consumidor norte-americana (U.S. CONSUMER PRODUCT SAFETY COMMISSION, 2008) o teor máximo de chumbo presente em amostras alimentícias deve ser de 90 µg/g, ou seja, 90000 ng/g. Os valores encontrados no presente estudo estiveram bem abaixo deste teor máximo.

A Resolução RDC nº42 de 29 de agosto 2013 estabeleceu limites máximos para algumas categorias de alimentos, dentre eles o leite (20 ng/g), sal (2000 ng/g), óleos e gorduras (100 ng/g), doces (100 ng/g) e peixes crus (100 ng/g). No presente estudo foi possível observar níveis mais elevados aos estabelecidos para os compostos dos laticínios (57 ng/g), doces (1676 ng/g) e óleos e gorduras (262 ng/g), oleaginosas (707 ng/g) e frutas (489 ng/g) da dieta da população rural e para o composto dos óleos e gorduras (2013 ng/g) e alimentos industrializados (333 ng/g), da dieta da população urbana.

Os elementos tóxicos ou contaminantes não são encontrados uniformemente nos alimentos. É possível observar variações significantes nas concentrações em diferentes alimentos e ainda nos mesmos alimentos de diferentes regiões (VIN et al, 2014), o que pode ser comprovado no presente estudo comparando os compostos e ainda as dietas da população urbana e rural.

5.6 Ingestão dos Elementos Tóxicos

Para o cálculo de ingestão dos elementos tóxicos foram utilizados dados do IBGE (2011), indicados na Tabela 5 e a equação 19 do item 3.8. Na Tabela 10 são apresentados os resultados de ingestão diária média dos elementos tóxicos obtidos nas dietas das regiões urbana e rural de Poços de Caldas. A ingestão diária total para cada elemento é a soma das ingestões de todos os compostos analisados.

Foi possível observar no presente estudo, que o composto alimentar que mais contribuiu para ingestão diária de As (0,23 mg) foi o composto das hortaliças na dieta da população urbana. Já o composto dos cereais foi o que mais contribuiu para a ingestão diária de As (0,01 mg) na dieta da população rural. Na Figura 25 é apresentado o consumo diário de As para as dietas das populações urbana e rural de Poços de Caldas.

Na 72^a reunião do JECFA (Joint FAO/WHO Expert Committee on Foods Additives), foram estabelecidos os valores de 2 a 7 µg por kg de peso corpóreo por dia, como limite máximo tolerável de arsênio. Considerando um indivíduo de 70 kg, a ingestão pode variar de 0,14 a 0,49 mg/dia (FAO/WHO, 2011a). No presente estudo, as ingestões diárias das dietas das populações urbana e rural (0,26 e 0,01 mg/dia, respectivamente), estavam dentro do intervalo relatado pelo JECFA.

No presente estudo foi encontrada uma ingestão diária total de cádmio de 5,17 µg para a população urbana e de 10,20 µg para a população rural. Os valores encontrados apresentam semelhança com o segundo estudo realizado na França utilizando o EDT por Arnich e colaboradores (2012), que encontraram uma ingestão diária média de 11,20 µg, considerando um indivíduo adulto de 70 kg.

Tabela 10 - Ingestão diária dos elementos tóxicos nos compostos da lista de alimentos das dietas urbana e rural de Poços de Caldas

Composto	As (mg/dia)		Cd (µg/dia)		Hg (µg/dia)		Pb (µg/dia)	
	Região Urbana	Região Rural	Região Urbana	Região Rural	Região Urbana	Região Rural	Região Urbana	Região Rural
Cereais	0,01	0,01	0,36	1,56	0,25	0,07	-	58,66
Leguminosas	-	-	1,41	0,42	0,11	-	33,96	-
Hortaliças	0,23	0,0001	0,48	0,62	0,02	0,02	3,00	-
Frutas	0,0001	-	0,22	0,35	0,02	-	-	40,06
Oleaginosas cruas	0,00001	-	0,001	0,003	0,0004	0,0003	-	0,14
Farinhas, massas e panificados	-	-	0,39	0,57	0,06	-	-	-
Bolos e biscoitos	-	0,0004	-	0,45	-	-	-	0,14
Carnes bovinas	-	-	-	-	0,20	0,10	-	-
Carnes suínas	-	-	0,16	0,03	0,02	0,01	7,00	-
Carnes de frangos	-	-	-	-	0,08	0,05	-	-
Peixes	0,02	0,001	0,44	0,03	0,22	0,26	0,59	-
Carnes processadas e vísceras	0,002	-	0,12	0,03	0,02	0,02	-	-
Ovos	-	0,0001	0,05	-	0,01	0,01	0,65	-
Laticínios	-	-	0,19	0,11	-	-	-	4,34
Doces	-	-	-	0,69	-	-	-	39,89
Óleos e gorduras	-	-	0,40	-	-	-	15,30	1,99
Bebidas			-	4,97	-	-	36,14	115,16
Industrializados	-	-	0,95	0,37	0,03	-	26,64	6,21
Sal			-	-	-	-	-	-
Água			-	-	-	-	-	-
Total	0,26	0,01	5,17	10,20	1,04	0,54	123,27	280,56

Figura 25 - Ingestão de arsênio nas dietas das populações de Poços de Caldas

Na 73ª reunião do JECFA, o comitê decidiu por expressar a ingestão tolerável de cádmio como valor mensal na forma de ingestão tolerável máxima provisória (PTMI – provisional tolerable monthly intake), como sendo 25 μg por kg de cádmio de peso corporal (FAO/WHO, 2011b). Foi possível observar que a estimativa de ingestão encontrada de Cd no presente estudo de 2,22 e 4,38 μg por kg de peso corpóreo por mês, das populações urbana e rural respectivamente, considerando um indivíduo adulto de 70 kg, estiveram dentro do intervalo relatado pelo JECFA. Na Figura 26 é apresentado o consumo diário de Cd para as dietas das populações urbana e rural de Poços de Caldas.

Na 72ª reunião do JECFA foi estabelecido o valor de 4 μg por kg de peso corpóreo por dia, como limite máximo tolerável para ingestão de mercúrio inorgânico. Considerando um indivíduo de 70 kg, essa ingestão pode ser de até 280 $\mu\text{g}/\text{dia}$ (FAO/WHO, 2011c). Esse valor é muito mais elevado ao encontrado no presente estudo, para as dietas das populações urbana (1,04 $\mu\text{g}/\text{dia}$) e rural (0,54 $\mu\text{g}/\text{dia}$) de Poços de Caldas. Sendo assim, a ingestão diária estimada de Hg não representa um risco para a saúde da população. Na Figura 27 é apresentado o consumo diário de Hg para as dietas das populações urbana e rural de Poços de Caldas.

Figura 26 - Ingestão de cádmio nas dietas das populações de Poços de Caldas **Figura 27** - Ingestão de mercúrio nas dietas das populações de Poços de Caldas

A partir da 73ª reunião do JEFCA, concluiu-se que era impossível estabelecer um valor de ingestão máxima tolerável por índice de massa corpórea de chumbo, que pudesse ser considerado seguro para a saúde humana (FAO/WHO, 2011d).

No presente estudo foi encontrada uma ingestão diária total de chumbo de 123,27 µg para a dieta da população urbana e de 280,56 µg para a dieta da

população rural. Considerando um indivíduo adulto de 70 kg, a ingestão média encontrada de Pb foi de 1,76 e 4,01 μg por kg de peso corpóreo por dia, para as populações urbana e rural, respectivamente. A dieta da população urbana está dentro do intervalo relatado pela WHO (2011) a partir de EDT realizados em diversos países e/ou diferentes regiões no mundo, entre 0,02 e 3 μg por kg de peso corpóreo por dia, porém para a dieta da população rural, o valor encontrado está acima dos relatados. Na Figura 28 é apresentado o consumo diário de Pb para as dietas das populações urbana e rural de Poços de Caldas.

Figura 28 - Ingestão de chumbo nas dietas das populações de Poços de Caldas

Foi possível observar que a ingestão diária média dos compostos, para todos os elementos tóxicos analisados, com exceção do cádmio, da dieta da população urbana sempre apresentou valores mais elevados comparados aos da população rural de Poços de Caldas. Entretanto as diferenças não foram consideradas estatisticamente significativas (ver item 5.9).

5.7 Concentração dos Radionuclídeos

O estudo dos radionuclídeos nos alimentos da dieta das populações urbana e rural de Poços de Caldas é de grande importância, visto que esta é uma região de elevado “background”.

Nas Tabelas 11, 12 e 13 são apresentadas as concentrações e incertezas expandidas dos radionuclídeos das séries do ^{238}U , ^{232}Th e ^{40}K , respectivamente, nas dietas das populações urbana e rural de Poços de Caldas.

As concentrações de radionuclídeos naturais nos alimentos podem variar devido às diferentes condições ambientais, práticas agrícolas e outros fatores que afetam sua transferência do meio ambiente para plantas e produtos de origem animal. As doses devidas ao consumo de alimentos variam de acordo com os tipos de alimentos que são consumidos em uma determinada região (IAEA, 2016).

Entre os radionuclídeos provenientes da série de decaimento do ^{238}U , o rádio é de grande interesse devido sua abundância natural, grande mobilidade no ambiente, meia-vida longa e por sua ligação com a mineração de urânio e de outros minérios que possuem o urânio associado. Como o elemento alcalino terroso Ra tem relativamente elevada mobilidade no ambiente e dentre os radionuclídeos naturais é o elemento que tem maior potencial de transferência entre os diversos compartimentos ambientais (RIBEIRO, 2004).

O rendimento químico para as determinações de ^{210}Pb , ^{226}Ra e ^{228}Ra , no presente estudo, estiveram entre 67 e 89 % para Pb e 80 e 94 % para Ra. Para ^{210}Po entre 57 e 100%, para os isótopos de tório entre 52 e 100 % e para os isótopos de urânio, entre 63 e 100 %.

Na determinação dos isótopos de urânio também foi possível realizar a determinação de ^{235}U , porém para todos os compostos analisados os valores apresentados foram abaixo do limite de detecção (0,01 Bq/kg).

Os solos brasileiros, em geral, apresentam teores de tório superiores aos de urânio. Portanto, há uma tendência destes apresentarem teores ^{228}Ra maiores que os de ^{226}Ra (LAURIA et al, 1997; LINSALATA et al, 1989) e, conseqüentemente, a maioria dos alimentos de origem vegetal no Brasil apresentam maiores teores de ^{228}Ra comparados aos de ^{226}Ra (LAURIA et al, 1998, VASCONCELLOS et al, 1999). Isto também foi observado no presente estudo, nas concentrações de atividades da maior parte dos grupos analisados nas dietas das populações urbana e rural.

Tabela 11 - Concentração dos radionuclídeos nos compostos da lista de alimentos das dietas urbana e rural de Poços de Caldas – Série do ^{238}U

Composto	^{238}U (Bq/kg)		^{234}U (Bq/kg)		^{230}Th (Bq/kg)	
	Região Urbana	Região Rural	Região Urbana	Região Rural	Região Urbana	Região Rural
Cereais	< 0,006	< 0,006	< 0,01	< 0,01	< 0,006	< 0,006
Leguminosas	< 0,006	0,011 ± 0,002	< 0,01	0,02 ± 0,01	< 0,006	< 0,006
Hortaliças	< 0,006	< 0,006	< 0,01	< 0,01	< 0,006	< 0,006
Frutas	0,011 ± 0,002	0,011 ± 0,002	0,011 ± 0,002	< 0,01	< 0,006	0,011 ± 0,002
Oleaginosas cruas	0,074 ± 0,005	0,11 ± 0,02	0,12 ± 0,01	0,19 ± 0,02	0,03 ± 0,01	0,074 ± 0,005
Farinhas, massas e panificados	0,013 ± 0,002	0,011 ± 0,002	0,022 ± 0,002	< 0,01	0,01 ± 0,004	0,013 ± 0,002
Bolos e biscoitos	0,091 ± 0,006	0,02 ± 0,002	0,08 ± 0,01	0,02 ± 0,01	0,06 ± 0,01	0,091 ± 0,006
Carnes bovinas	< 0,006	< 0,006	0,01 ± 0,002	< 0,01	< 0,006	< 0,006
Carnes suínas	0,006 ± 0,001	0,006 ± 0,001	0,01 ± 0,001	< 0,01	< 0,006	0,006 ± 0,001
Carnes de frangos	0,026 ± 0,003	0,006 ± 0,001	0,03 ± 0,003	< 0,01	< 0,006	0,026 ± 0,003
Peixes	0,04 ± 0,003	0,064 ± 0,005	0,05 ± 0,004	0,07 ± 0,01	0,03 ± 0,005	0,04 ± 0,003
Carnes processadas e vísceras	0,01 ± 0,002	0,009 ± 0,002	0,02 ± 0,002	< 0,01	< 0,006	0,01 ± 0,002
Ovos	< 0,006	< 0,006	< 0,01	< 0,01	< 0,006	< 0,006
Laticínios	< 0,006	< 0,006	0,01 ± 0,002	< 0,01	< 0,006	< 0,006
Doces	0,02 ± 0,002	0,015 ± 0,002	0,03 ± 0,003	0,02 ± 0,01	0,02 ± 0,01	0,02 ± 0,002
Óleos e gorduras	0,04 ± 0,01	0,037 ± 0,009	0,05 ± 0,01	0,05 ± 0,01	< 0,006	0,04 ± 0,01
Bebidas	0,007 ± 0,001	0,009 ± 0,002	< 0,01	0,02 ± 0,01	< 0,006	0,007 ± 0,001
Industrializados	0,012 ± 0,002	0,024 ± 0,003	0,02 ± 0,002	0,03 ± 0,01	< 0,006	0,012 ± 0,002
Sal	< 0,006	0,02 ± 0,007	0,06 ± 0,01	0,04 ± 0,01	< 0,006	< 0,006
Água	< 0,006	< 0,006	< 0,01	< 0,01	< 0,006	< 0,006

Cont. Tabela 11 - Concentração dos radionuclídeos nos compostos da lista de alimentos das dietas urbana e rural de Poços de Caldas – Série do ^{238}U

Composto	^{226}Ra (Bq/kg)		^{210}Pb (Bq/kg)		^{210}Po (Bq/kg)	
	Região Urbana	Região Rural	Região Urbana	Região Rural	Região Urbana	Região Rural
Cereais	0,03 ± 0,01	0,15 ± 0,05	0,11 ± 0,10	0,10 ± 0,03	0,12 ± 0,03	0,18 ± 0,02
Leguminosas	0,27 ± 0,07	0,26 ± 0,07	1,21 ± 0,30	1,40 ± 0,21	0,11 ± 0,03	0,15 ± 0,02
Hortaliças	0,34 ± 0,07	1,64 ± 0,16	0,07 ± 0,02	0,07 ± 0,03	0,13 ± 0,03	0,16 ± 0,02
Frutas	0,09 ± 0,04	0,21 ± 0,06	0,17 ± 0,06	0,23 ± 0,07	0,13 ± 0,05	0,16 ± 0,02
Oleaginosas cruas	2,29 ± 0,17	2,60 ± 0,20	0,23 ± 0,06	0,32 ± 0,08	0,23 ± 0,03	0,47 ± 0,02
Farinhas, massas e panificados	0,18 ± 0,06	0,32 ± 0,07	0,23 ± 0,08	0,26 ± 0,07	0,20 ± 0,03	0,21 ± 0,02
Bolos e biscoitos	0,34 ± 0,07	0,33 ± 0,06	0,03 ± 0,01	0,03 ± 0,01	0,15 ± 0,03	0,18 ± 0,02
Carnes bovinas	0,08 ± 0,04	0,09 ± 0,04	0,20 ± 0,07	0,24 ± 0,07	0,14 ± 0,03	0,12 ± 0,03
Carnes suínas	0,07 ± 0,03	0,08 ± 0,03	0,23 ± 0,08	0,33 ± 0,07	0,07 ± 0,02	0,17 ± 0,02
Carnes de frangos	0,03 ± 0,01	0,04 ± 0,01	< 0,02	0,12 ± 0,03	0,10 ± 0,03	0,20 ± 0,02
Peixes	0,05 ± 0,02	0,23 ± 0,06	0,57 ± 0,14	0,88 ± 0,15	5,05 ± 0,28	7,13 ± 0,26
Carnes processadas e vísceras	0,04 ± 0,01	0,05 ± 0,01	1,38 ± 0,30	1,33 ± 0,29	0,61 ± 0,05	0,63 ± 0,05
Ovos	0,15 ± 0,05	0,76 ± 0,11	< 0,02	0,45 ± 0,90	0,12 ± 0,03	0,31 ± 0,03
Laticínios	0,06 ± 0,02	0,07 ± 0,03	0,03 ± 0,01	0,12 ± 0,04	0,12 ± 0,03	0,18 ± 0,03
Doces	0,08 ± 0,03	0,09 ± 0,03	< 0,02	< 0,02	0,15 ± 0,03	0,18 ± 0,02
Óleos e gorduras	0,08 ± 0,03	0,08 ± 0,03	1,11 ± 0,31	1,00 ± 0,32	0,34 ± 0,09	0,42 ± 0,10
Bebidas	< 0,02	0,14 ± 0,05	0,28 ± 0,07	0,25 ± 0,04	0,08 ± 0,02	0,95 ± 0,02
Industrializados	0,10 ± 0,04	0,24 ± 0,06	0,48 ± 0,12	0,40 ± 0,04	0,09 ± 0,02	0,10 ± 0,02
Sal	0,03 ± 0,01	0,05 ± 0,02	6,46 ± 1,53	5,95 ± 1,70	0,32 ± 0,10	0,29 ± 0,08
Água	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,01	< 0,01

Tabela 12 - Concentração dos radionuclídeos nos compostos da lista de alimentos das dietas urbana e rural de Poços de Caldas – Série do ^{232}Th

Composto	^{232}Th (Bq/kg)		^{228}Ra (Bq/kg)		^{228}Th (Bq/kg)	
	Região Urbana	Região Rural	Região Urbana	Região Rural	Região Urbana	Região Rural
Cereais	< 0,01	< 0,01	0,26 ± 0,03	0,25 ± 0,06	0,12 ± 0,01	0,19 ± 0,01
Leguminosas	< 0,01	0,03 ± 0,01	< 0,02	0,46 ± 0,14	0,35 ± 0,02	0,59 ± 0,02
Hortalças	< 0,01	0,01 ± 0,01	0,55 ± 0,20	1,53 ± 0,34	0,37 ± 0,02	0,68 ± 0,04
Frutas	0,01 ± 0,003	0,01 ± 0,01	0,03 ± 0,01	0,12 ± 0,05	0,14 ± 0,01	0,21 ± 0,01
Oleaginosas cruas	0,03 ± 0,01	< 0,01	3,88 ± 0,99	4,18 ± 0,56	4,05 ± 0,15	0,87 ± 0,12
Farinhas, massas e panificados	0,01 ± 0,004	< 0,01	0,26 ± 0,09	0,30 ± 0,13	0,15 ± 0,02	0,39 ± 0,02
Bolos e biscoitos	0,06 ± 0,01	< 0,01	< 0,02	0,12 ± 0,03	0,30 ± 0,02	0,29 ± 0,44
Carnes bovinas	< 0,01	0,02 ± 0,01	1,01 ± 0,27	1,10 ± 0,14	0,10 ± 0,01	0,40 ± 0,06
Carnes suínas	< 0,01	0,01 ± 0,01	0,07 ± 0,02	0,15 ± 0,03	0,04 ± 0,01	0,36 ± 0,04
Carnes de frangos	< 0,01	< 0,01	0,54 ± 0,09	0,89 ± 0,12	0,03 ± 0,01	0,19 ± 0,01
Peixes	0,03 ± 0,004	0,02 ± 0,01	0,18 ± 0,07	0,27 ± 0,09	0,12 ± 0,01	0,30 ± 0,04
Carnes processadas e vísceras	< 0,01	0,01 ± 0,01	0,06 ± 0,04	0,08 ± 0,02	0,25 ± 0,01	0,37 ± 0,05
Ovos	< 0,01	< 0,01	0,21 ± 0,09	1,33 ± 0,42	0,08 ± 0,01	0,50 ± 0,08
Laticínios	< 0,01	< 0,01	0,19 ± 0,07	0,15 ± 0,04	0,05 ± 0,01	0,87 ± 0,17
Doces	< 0,01	0,10 ± 0,01	0,32 ± 0,09	0,42 ± 0,09	0,07 ± 0,01	0,77 ± 0,02
Óleos e gorduras	< 0,01	0,02 ± 0,01	0,41 ± 0,02	0,38 ± 0,03	0,31 ± 0,05	0,45 ± 0,07
Bebidas	< 0,01	< 0,01	0,13 ± 0,05	0,15 ± 0,03	0,03 ± 0,01	0,03 ± 0,01
Industrializados	< 0,01	< 0,01	0,20 ± 0,07	0,38 ± 0,10	0,07 ± 0,01	0,57 ± 0,02
Sal	< 0,01	< 0,01	1,30 ± 0,04	1,00 ± 0,25	0,26 ± 0,04	0,21 ± 0,04
Água	< 0,01	< 0,01	< 0,02	< 0,02	< 0,01	< 0,01

Tabela 13 - Concentração dos radionuclídeos nos compostos da lista de alimentos das dietas urbana e rural de Poços de Caldas – ^{40}K

Composto	^{40}K (Bq/kg)	
	Região Urbana	Região Rural
Cereais	134 ± 15	180 ± 13
Leguminosas	111 ± 15	257 ± 23
Hortaliças	54 ± 13	221 ± 19
Frutas	47 ± 10	168 ± 11
Oleaginosas cruas	110 ± 12	319 ± 16
Farinhas, massas e panificados	16 ± 4	32 ± 4
Bolos e biscoitos	46 ± 9	49 ± 12
Carnes bovinas	135 ± 17	152 ± 19
Carnes suínas	155 ± 17	184 ± 12
Carnes de frangos	128 ± 20	180 ± 13
Peixes	118 ± 15	268 ± 24
Carnes processadas e vísceras	75 ± 14	96 ± 13
Ovos	28 ± 7	41 ± 7
Laticínios	49 ± 10	52 ± 11
Doces	133 ± 15	142 ± 11
Óleos e gorduras	52 ± 3	54 ± 3
Bebidas	17 ± 4	21 ± 4
Industrializados	142 ± 15	207 ± 18
Sal	96 ± 10	108 ± 10
Água	6,6 ± 0,3	7 ± 1

Na Tabela 14 são apresentados os valores de referência de concentração de radionuclídeos naturais em alimentos e água potável, de acordo com a UNSCEAR (2000).

Um estudo realizado por Fathabadi e colaboradores (2017) determinou a concentração da atividade do ^{226}Ra na dieta da população de uma cidade costeira do norte do Irã, Ramsar, que entre as HBRA do todo mundo, é considerada extremamente importante. Este radionuclídeo foi determinado por espectrometria alfa em cerca de 150 diferentes amostras, que são de plantio local e de grande consumo. A concentração de atividade média de ^{226}Ra foi para: carne 0,005 Bq/kg, peixe 0,041 Bq/kg, frango 0,046 Bq/kg, ovo 0,718 Bq/kg, arroz 0,037 Bq/kg, leite 0,033 Bq/kg, queijo 0,052 Bq/kg e feijão 0,012 Bq/kg. Os valores no presente estudo

foram mais altos ou iguais para a maioria dos alimentos, em particular aqueles referentes à região rural, que também é uma característica de uma HBRA.

Tabela 14 - Valores de referência de concentração de radionuclídeos naturais em alimentos

Produto Alimentício	Concentração (Bq/kg)							
	²³⁸ U	²³⁰ Th	²²⁶ Ra	²¹⁰ Pb	²¹⁰ Po	²³² Th	²²⁸ Ra	²²⁸ Th
Derivados do leite	0,001	0,0005	0,005	0,015	0,015	0,0003	0,005	0,0003
Carne	0,002	0,002	0,015	0,080	0,060	0,001	0,010	0,001
Grãos	0,020	0,010	0,080	0,050	0,060	0,003	0,060	0,003
Legumes	0,020	0,020	0,050	0,080	0,100	0,015	0,040	0,015
Tubérculos e Frutas	0,003	0,0005	0,030	0,030	0,040	0,0005	0,020	0,0005
Peixes	0,030	0,010	0,100	0,200	2,000	0,010	n.d. ^(a)	0,100
Água potável	0,001	0,0001	0,0005	0,010	0,005	0,00005	0,0005	0,00005

(a) n.d.: nenhum dado publicado disponível.

As concentrações de atividade de ²²⁶Ra no presente estudo, em comparação aos valores de referência de UNSCEAR (Tabela 14), encontram-se mais elevados nos produtos lácteos, grãos (feijão), carne, vegetais, frutas de ambas as regiões e peixe da região rural.

Devido à sua alta radiotoxicidade, o ²¹⁰Po é uma preocupação no ponto de vista de proteção radiológica. Sabe-se que o ²¹⁰Po é acumulado pela maioria dos organismos marinhos através dos alimentos que eles consomem. Uma pesquisa realizada por Meli e colaboradores (2014) estudou a concentração da atividade de ²¹⁰Po numa dieta italiana. A tendência total da concentração de atividade de ²¹⁰Po para produtos de origem animal foi: molusco > crustáceo > peixe >> carne > ovos > queijo > leite. Para produtos que não eram de origem animal, a concentração da atividade ²¹⁰Po seguiu a tendência: vegetal > farinha > arroz > frutas > macarrão > outros vegetais > legumes. A mesma tendência foi observada no presente estudo para ²¹⁰Po; as maiores concentrações foram obtidas em ambas as regiões no peixe, produtos de origem animal e por último, nos produtos de origem vegetal.

Nas concentrações das atividades de ²²⁸Ra e ²²⁸Th (da série do ²³²Th), foi possível observar para a maioria dos grupos analisados, que valores mais elevados foram obtidos para a região rural em comparação a região urbana. Esta variação

observada pode ser causada por diferenças nas propriedades químicas e físicas do solo das diferentes áreas produtoras, pelas suas diferenças climáticas, pelo uso de fertilizantes fosfatados, ou mesmo causados por características de uma HBRA (SOHRABI, 2013; LAURIA et al, 2012).

As concentrações dos radionuclídeos ^{210}Pb , ^{210}Po , ^{228}Ra e ^{228}Th na maioria dos produtos analisados, foram superiores aos valores de referência da UNSCEAR (2000), o que pode ser explicado como uma das características de uma HBRA.

O ^{40}K é um radionuclídeo que ocorre naturalmente em uma relação fixa com o potássio estável. Isso ocorre porque o potássio é um elemento essencial para os seres humanos e sua concentração no corpo, controlada por processos metabólicos (IAEA, 2016).

Foi possível observar, para a maioria dos radionuclídeos, uma elevada concentração de atividade no grupo das oleaginosas cruas. A maior concentração de atividade para os radionuclídeos ^{226}Ra (2,29 e 2,60 Bq/kg), ^{228}Ra (3,88 e 4,18 Bq/kg), ^{228}Th (4,05 e 0,87 Bq/kg) e ^{234}U (0,074 e 0,11 Bq/kg), nas dietas das populações urbanas e rurais, respectivamente. Os valores mais elevados de ^{40}K (319 Bq/kg) e ^{238}U (0,11 Bq/kg), foram encontrados na dieta rural. Em geral, as concentrações de atividades em nozes cultivadas no Brasil, são até mil vezes maiores que as de outros alimentos (MAZOKOPAKIS & LIONTIRIS, 2017).

5.8 Valores de Doses Efetivas Comprometidas

As doses efetivas comprometidas recebidas dos radionuclídeos, por ingestão de alimentos por grupos populacionais, podem ser calculadas a partir de medições de suas concentrações de atividade presentes nos alimentos, das taxas de consumo e coeficientes de dose. Na Tabela 15 é apresentado o coeficiente para dose efetiva comprometida por ingestão de cada um dos radionuclídeos naturais analisados (ICRP, 2012).

Tabela 15 - Coeficiente para dose efetiva comprometida por ingestão

Radionuclídeos	Coeficiente de Ingestão de Dose (mSv/Bq)
²³⁸ U	$4,40 \times 10^{-5}$
²³⁴ U	$4,90 \times 10^{-5}$
²³⁰ Th	$2,10 \times 10^{-4}$
²²⁶ Ra	$2,80 \times 10^{-4}$
²¹⁰ Pb	$6,80 \times 10^{-4}$
²¹⁰ Po	$2,40 \times 10^{-4}$
²³² Th	$2,20 \times 10^{-4}$
²²⁸ Ra	$6,70 \times 10^{-4}$
²²⁸ Th	$7,20 \times 10^{-5}$
⁴⁰ K	$6,20 \times 10^{-6}$
²³⁵ U	$4,60 \times 10^{-5}$

Nas Tabelas 16, 17 e 18 são apresentados os valores de dose efetiva comprometida por ingestão de alimentos dos radionuclídeos das séries do ²³⁸U, ²³²Th e ⁴⁰K, respectivamente, de cada composto nas dietas das populações urbana e rural de Poços de Caldas, calculados a partir da equação 20 do item 3.9. Nas tabelas também são apresentadas as somas totais de contribuição de dose efetiva comprometida, por ingestão de alimento de cada radionuclídeo, por ano.

Ao contrário do que foi encontrado para as concentrações de atividades dos radionuclídeos, não foi o grupo das oleaginosas cruas a que apresentou a maior contribuição para a dose efetiva comprometida por ingestão de alimentos, mas sim os grupos dos cereais e das leguminosas, para ambas as regiões urbana e rural. Isso foi devido ao elevado consumo desses dois grupos de alimentos pela população brasileira.

Tabela 16 - Valores de dose efetiva comprometida por ingestão de cada radionuclídeo nas dietas urbana e rural de Poços de Caldas – Série do ^{238}U

Composto	^{238}U (mSv/ano)		^{234}U (mSv/ano)		^{230}Th (mSv/ano)	
	Região Urbana	Região Rural	Região Urbana	Região Rural	Região Urbana	Região Rural
Cereais	-	-	-	-	-	-
Leguminosas	-	$3,94 \times 10^{-5}$	-	$5,99 \times 10^{-5}$	-	-
Hortalças	-	-	-	-	-	$2,35 \times 10^{-4}$
Frutas	$1,45 \times 10^{-5}$	$1,45 \times 10^{-5}$	$1,61 \times 10^{-5}$	-	-	-
Oleaginosas cruas	$2,38 \times 10^{-7}$	$3,53 \times 10^{-7}$	$4,31 \times 10^{-7}$	$6,79 \times 10^{-7}$	$4,75 \times 10^{-7}$	$2,15 \times 10^{-7}$
Farinhas, massas e panificados	$2,26 \times 10^{-5}$	$1,91 \times 10^{-5}$	$4,27 \times 10^{-5}$	$1,74 \times 10^{-5}$	$9,13 \times 10^{-5}$	$5,22 \times 10^{-4}$
Bolos e biscoitos	$4,38 \times 10^{-5}$	$9,60 \times 10^{-6}$	$4,49 \times 10^{-5}$	-	$1,38 \times 10^{-7}$	-
Carnes bovinas	-	-	$1,20 \times 10^{-5}$	-	-	$3,50 \times 10^{-4}$
Carnes suínas	$9,34 \times 10^{-7}$	$9,34 \times 10^{-7}$	$1,22 \times 10^{-6}$	-	-	$2,75 \times 10^{-5}$
Carnes de frangos	$1,38 \times 10^{-5}$	$3,18 \times 10^{-6}$	$1,47 \times 10^{-5}$	$4,12 \times 10^{-6}$	-	$3,29 \times 10^{-5}$
Peixes	$9,09 \times 10^{-6}$	$1,53 \times 10^{-5}$	$1,25 \times 10^{-5}$	-	$3,31 \times 10^{-5}$	-
Carnes processadas e vísceras	$2,30 \times 10^{-6}$	$2,07 \times 10^{-6}$	$4,60 \times 10^{-6}$	$3,07 \times 10^{-6}$	-	$5,04 \times 10^{-5}$
Ovos	-	-	$1,24 \times 10^{-6}$	-	-	-
Laticínios	-	-	$1,36 \times 10^{-5}$	$8,14 \times 10^{-6}$	-	$2,16 \times 10^{-4}$
Doces	$7,26 \times 10^{-6}$	$5,73 \times 10^{-6}$	$1,15 \times 10^{-5}$	$6,83 \times 10^{-6}$	$3,47 \times 10^{-5}$	$8,94 \times 10^{-5}$
Óleos e gorduras	$4,75 \times 10^{-6}$	$4,53 \times 10^{-6}$	$6,53 \times 10^{-6}$	$6,13 \times 10^{-6}$	-	$1,22 \times 10^{-5}$
Bebidas	$6,35 \times 10^{-5}$	$8,14 \times 10^{-5}$	$9,09 \times 10^{-5}$	$1,81 \times 10^{-4}$	-	-
Industrializados	$1,54 \times 10^{-5}$	$3,09 \times 10^{-5}$	$2,43 \times 10^{-5}$	$3,58 \times 10^{-5}$	$6,75 \times 10^{-5}$	$1,72 \times 10^{-4}$
Sal	-	$1,48 \times 10^{-6}$	$5,18 \times 10^{-6}$	$2,88 \times 10^{-6}$	-	-
Água	-	-	-	-	-	-
Total	$1,98 \times 10^{-4}$	$2,28 \times 10^{-4}$	$3,02 \times 10^{-4}$	$3,26 \times 10^{-4}$	$3,65 \times 10^{-4}$	$1,71 \times 10^{-3}$

Cont. Tabela 16 - Valores de dose efetiva comprometida por ingestão de cada radionuclídeo nas dietas urbana e rural de Poços de Caldas – Série do ^{238}U

Composto	^{226}Ra (mSv/ano)		^{210}Pb (mSv/ano)		^{210}Po (mSv/ano)	
	Região Urbana	Região Rural	Região Urbana	Região Rural	Região Urbana	Região Rural
Cereais	$6,24 \times 10^{-4}$	$2,91 \times 10^{-3}$	$5,04 \times 10^{-3}$	$4,56 \times 10^{-3}$	$2,02 \times 10^{-3}$	$3,03 \times 10^{-3}$
Leguminosas	$6,28 \times 10^{-3}$	$6,02 \times 10^{-3}$	$6,72 \times 10^{-2}$	$7,77 \times 10^{-2}$	$2,10 \times 10^{-3}$	$2,98 \times 10^{-3}$
Hortaliças	$2,76 \times 10^{-3}$	$1,32 \times 10^{-2}$	$1,35 \times 10^{-3}$	$1,37 \times 10^{-3}$	$8,61 \times 10^{-4}$	$1,09 \times 10^{-3}$
Frutas	$7,77 \times 10^{-4}$	$1,74 \times 10^{-3}$	$3,35 \times 10^{-3}$	$4,56 \times 10^{-4}$	$9,60 \times 10^{-4}$	$1,14 \times 10^{-3}$
Oleaginosas cruas	$4,67 \times 10^{-5}$	$5,33 \times 10^{-5}$	$1,12 \times 10^{-5}$	$1,60 \times 10^{-5}$	$4,02 \times 10^{-6}$	$8,21 \times 10^{-6}$
Farinhas, massas e panificados	$2,03 \times 10^{-3}$	$3,50 \times 10^{-3}$	$6,21 \times 10^{-3}$	$6,86 \times 10^{-3}$	$1,92 \times 10^{-3}$	$1,99 \times 10^{-3}$
Bolos e biscoitos	$1,05 \times 10^{-3}$	$1,02 \times 10^{-3}$	$2,52 \times 10^{-4}$	$2,52 \times 10^{-4}$	$3,80 \times 10^{-4}$	$4,67 \times 10^{-4}$
Carnes bovinas	$5,62 \times 10^{-4}$	$5,91 \times 10^{-4}$	$3,26 \times 10^{-3}$	$4,05 \times 10^{-3}$	$7,92 \times 10^{-4}$	$7,23 \times 10^{-4}$
Carnes suínas	$6,46 \times 10^{-5}$	$7,45 \times 10^{-5}$	$5,55 \times 10^{-4}$	$7,96 \times 10^{-4}$	$5,95 \times 10^{-5}$	$1,45 \times 10^{-4}$
Carnes de frangos	$9,45 \times 10^{-5}$	$1,18 \times 10^{-4}$	-	$1,00 \times 10^{-3}$	$2,89 \times 10^{-4}$	$5,62 \times 10^{-4}$
Peixes	$8,07 \times 10^{-5}$	$3,52 \times 10^{-4}$	$2,10 \times 10^{-3}$	$3,24 \times 10^{-3}$	$6,57 \times 10^{-3}$	$9,31 \times 10^{-3}$
Carnes processadas e vísceras	$6,42 \times 10^{-5}$	$7,88 \times 10^{-5}$	$4,89 \times 10^{-3}$	$4,71 \times 10^{-3}$	$7,59 \times 10^{-4}$	$7,92 \times 10^{-4}$
Ovos	$1,53 \times 10^{-4}$	$7,67 \times 10^{-4}$	-	$1,11 \times 10^{-3}$	$1,07 \times 10^{-4}$	$2,65 \times 10^{-4}$
Laticínios	$4,27 \times 10^{-4}$	$5,04 \times 10^{-4}$	$5,66 \times 10^{-4}$	$2,26 \times 10^{-3}$	$7,74 \times 10^{-4}$	$1,21 \times 10^{-3}$
Doces	$1,97 \times 10^{-4}$	$2,26 \times 10^{-4}$	-	-	$3,07 \times 10^{-4}$	$3,69 \times 10^{-4}$
Óleos e gorduras	$6,53 \times 10^{-5}$	$6,21 \times 10^{-5}$	$2,10 \times 10^{-3}$	$1,89 \times 10^{-3}$	$2,28 \times 10^{-4}$	$2,78 \times 10^{-4}$
Bebidas	-	$8,07 \times 10^{-3}$	$3,91 \times 10^{-2}$	$3,43 \times 10^{-2}$	$3,94 \times 10^{-3}$	$4,71 \times 10^{-2}$
Industrializados	$8,43 \times 10^{-4}$	$1,96 \times 10^{-3}$	$9,53 \times 10^{-3}$	$7,92 \times 10^{-3}$	$6,10 \times 10^{-4}$	$6,86 \times 10^{-4}$
Sal	$1,22 \times 10^{-5}$	$2,49 \times 10^{-5}$	$7,37 \times 10^{-3}$	$6,79 \times 10^{-3}$	$1,29 \times 10^{-4}$	$1,18 \times 10^{-4}$
Água	-	-	-	-	$2,02 \times 10^{-3}$	$3,03 \times 10^{-3}$
Total	$1,61 \times 10^{-2}$	$4,12 \times 10^{-2}$	$1,53 \times 10^{-1}$	$1,59 \times 10^{-1}$	$2,10 \times 10^{-3}$	$2,98 \times 10^{-3}$

Tabela 17 - Valores de dose efetiva comprometida por ingestão de cada radionuclídeo nas dietas urbana e rural de Poços de Caldas – Série do ^{232}Th

Composto	^{232}Th (mSv/ano)		^{228}Ra (mSv/ano)		^{228}Th (mSv/ano)	
	Região Urbana	Região Rural	Região Urbana	Região Rural	Região Urbana	Região Rural
Cereais	-	-	$1,21 \times 10^{-2}$	$1,18 \times 10^{-2}$	$5,80 \times 10^{-4}$	$9,60 \times 10^{-4}$
Leguminosas	-	$5,91 \times 10^{-4}$	-	$2,54 \times 10^{-2}$	$2,05 \times 10^{-3}$	$3,47 \times 10^{-3}$
Hortaliças	-	$5,66 \times 10^{-5}$	$1,05 \times 10^{-2}$	$2,94 \times 10^{-2}$	$7,74 \times 10^{-4}$	$1,40 \times 10^{-3}$
Frutas	$7,88 \times 10^{-5}$	$8,54 \times 10^{-5}$	$6,02 \times 10^{-4}$	$2,48 \times 10^{-3}$	$2,93 \times 10^{-4}$	$4,45 \times 10^{-4}$
Oleaginosas cruas	$4,67 \times 10^{-7}$	-	$1,90 \times 10^{-4}$	$2,04 \times 10^{-4}$	$2,12 \times 10^{-5}$	$4,56 \times 10^{-6}$
Farinhas, massas e panificados	$9,56 \times 10^{-5}$	-	$6,94 \times 10^{-3}$	$7,99 \times 10^{-3}$	$4,31 \times 10^{-4}$	$1,10 \times 10^{-3}$
Bolos e biscoitos	$1,49 \times 10^{-4}$	-	-	$8,76 \times 10^{-4}$	$2,35 \times 10^{-4}$	$2,30 \times 10^{-4}$
Carnes bovinas	-	$1,08 \times 10^{-4}$	$1,66 \times 10^{-2}$	$1,81 \times 10^{-2}$	$1,72 \times 10^{-4}$	$6,97 \times 10^{-4}$
Carnes suínas	-	$7,01 \times 10^{-6}$	$1,76 \times 10^{-4}$	$3,56 \times 10^{-4}$	$9,16 \times 10^{-6}$	$9,16 \times 10^{-5}$
Carnes de frangos	-	-	$4,34 \times 10^{-3}$	$7,15 \times 10^{-3}$	$2,51 \times 10^{-5}$	$1,66 \times 10^{-4}$
Peixes	$3,35 \times 10^{-5}$	$2,15 \times 10^{-5}$	$6,61 \times 10^{-4}$	$9,75 \times 10^{-4}$	$4,67 \times 10^{-5}$	$1,18 \times 10^{-4}$
Carnes processadas e vísceras	-	$1,38 \times 10^{-5}$	$2,20 \times 10^{-4}$	$2,90 \times 10^{-4}$	$9,23 \times 10^{-5}$	$1,39 \times 10^{-4}$
Ovos	-	-	$5,00 \times 10^{-4}$	$3,22 \times 10^{-3}$	$2,03 \times 10^{-5}$	$1,30 \times 10^{-4}$
Laticínios	-	-	$3,55 \times 10^{-3}$	$2,75 \times 10^{-3}$	$8,98 \times 10^{-5}$	$1,74 \times 10^{-3}$
Doces	-	$1,93 \times 10^{-4}$	$1,84 \times 10^{-3}$	$2,45 \times 10^{-3}$	$4,49 \times 10^{-5}$	$4,82 \times 10^{-4}$
Óleos e gorduras	-	$1,34 \times 10^{-5}$	$7,59 \times 10^{-4}$	$7,04 \times 10^{-4}$	$6,21 \times 10^{-5}$	$9,02 \times 10^{-5}$
Bebidas	-	-	$1,76 \times 10^{-2}$	$2,00 \times 10^{-2}$	$4,85 \times 10^{-4}$	$5,04 \times 10^{-4}$
Industrializados	-	-	$3,83 \times 10^{-3}$	$7,45 \times 10^{-3}$	$1,54 \times 10^{-4}$	$1,20 \times 10^{-3}$
Sal	-	-	$1,47 \times 10^{-3}$	$1,13 \times 10^{-3}$	$3,14 \times 10^{-5}$	$2,51 \times 10^{-5}$
Água	-	-	-	-	-	-
Total	$3,57 \times 10^{-4}$	$1,09 \times 10^{-3}$	$8,19 \times 10^{-2}$	$1,43 \times 10^{-1}$	$5,62 \times 10^{-3}$	$1,30 \times 10^{-2}$

Tabela 18 - Valores de dose efetiva comprometida por ingestão de cada radionuclídeo nas dietas urbana e rural de Poços de Caldas – ^{40}K

Composto	^{40}K (mSv/ano)	
	Região Urbana	Região Rural
Cereais	$5,80 \times 10^{-2}$	$7,77 \times 10^{-2}$
Leguminosas	$5,62 \times 10^{-2}$	$1,30 \times 10^{-1}$
Hortaliças	$9,60 \times 10^{-3}$	$3,94 \times 10^{-2}$
Frutas	$8,72 \times 10^{-3}$	$3,11 \times 10^{-2}$
Oleaginosas cruas	$4,96 \times 10^{-5}$	$1,45 \times 10^{-4}$
Farinhas, massas e panificados	$3,91 \times 10^{-3}$	$7,85 \times 10^{-3}$
Bolos e biscoitos	$3,11 \times 10^{-3}$	$3,31 \times 10^{-3}$
Carnes bovinas	$2,05 \times 10^{-2}$	$2,31 \times 10^{-2}$
Carnes suínas	$3,40 \times 10^{-3}$	$4,05 \times 10^{-3}$
Carnes de frangos	$9,56 \times 10^{-3}$	$1,34 \times 10^{-2}$
Peixes	$3,98 \times 10^{-3}$	$9,05 \times 10^{-3}$
Carnes processadas e vísceras	$2,43 \times 10^{-3}$	$3,11 \times 10^{-3}$
Ovos	$6,28 \times 10^{-4}$	$9,20 \times 10^{-4}$
Laticínios	$8,43 \times 10^{-3}$	$8,94 \times 10^{-3}$
Doces	$7,15 \times 10^{-3}$	$7,67 \times 10^{-3}$
Óleos e gorduras	$8,94 \times 10^{-4}$	$9,27 \times 10^{-4}$
Bebidas	$2,17 \times 10^{-2}$	$2,68 \times 10^{-2}$
Industrializados	$2,57 \times 10^{-2}$	$3,76 \times 10^{-2}$
Sal	$1,00 \times 10^{-3}$	$1,12 \times 10^{-3}$
Água	$2,99 \times 10^{-2}$	$3,17 \times 10^{-2}$
Total	$2,75 \times 10^{-1}$	$4,58 \times 10^{-1}$

Nas Figuras 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37 e 38 são apresentadas as doses efetivas comprometidas por ingestão de cada um dos radionuclídeos determinados, para cada composto, nas dietas das populações urbana e rural de Poços de Caldas.

O composto das leguminosas apresentou os valores de dose efetiva comprometida por ingestão de alimentos mais elevados para os radionuclídeos ^{210}Pb ($6,72 \times 10^{-2}$ e $7,77 \times 10^{-2}$ mSv/ano) e ^{228}Th ($2,05 \times 10^{-3}$ e $3,47 \times 10^{-3}$ mSv/ano), para as dietas das duas regiões, para o ^{210}Po ($2,10 \times 10^{-3}$ mSv/ano) e ^{226}Ra ($6,28 \times 10^{-5}$ mSv/ano) da dieta da região urbana e para ^{40}K ($1,30 \times 10^{-1}$ mSv/ano) e ^{232}Th ($5,91 \times 10^{-4}$ mSv/ano), da dieta da população da região rural.

Figura 29 - Dose efetiva comprometida por ingestão de ^{238}U nas dietas urbana e rural das populações de Poços de Caldas

Figura 30 - Dose efetiva comprometida por ingestão de ^{234}U nas dietas urbana e rural das populações de Poços de Caldas

Figura 31 - Dose efetiva comprometida por ingestão de ^{230}Th nas dietas urbana e rural das populações de Poços de Caldas

Figura 32 - Dose efetiva comprometida por ingestão de ^{226}Ra nas dietas urbana e rural das populações de Poços de Caldas

Figura 33: Dose efetiva comprometida por ingestão de ^{210}Pb nas dietas urbana e rural das populações de Poços de Caldas

Figura 34: Dose efetiva comprometida por ingestão de ^{210}Po nas dietas urbana e rural das populações de Poços de Caldas

Figura 35: Dose efetiva comprometida por ingestão de ^{232}Th nas dietas urbana e rural das populações de Poços de Caldas

Figura 36: Dose efetiva comprometida por ingestão de ^{228}Ra nas dietas urbana e rural das populações de Poços de Caldas

Figura 37: Dose efetiva comprometida por ingestão de ^{228}Th nas dietas urbana e rural das populações de Poços de Caldas

Figura 38: Dose efetiva comprometida por ingestão de ^{40}K nas dietas urbana e rural das populações de Poços de Caldas

O composto dos cereais apresentou os valores mais elevados de dose efetiva comprometida para ^{40}K ($5,80 \times 10^{-2}$ mSv/ano), da dieta da região urbana e ^{210}Po ($3,03 \times 10^{-3}$ mSv/ano) da dieta da região rural. Já no composto das hortaliças a dose

efetiva comprometida foi mais elevada para ^{226}Ra ($1,32 \times 10^{-2}$ mSv/ano) e ^{228}Ra ($2,94 \times 10^{-2}$ mSv/ano) na dieta da região rural. O composto das bebidas, nas dietas de ambas regiões, foi mais elevado para ^{234}U ($9,09 \times 10^{-5}$ e $1,81 \times 10^{-4}$ mSv/ano) e ^{238}U ($6,35 \times 10^{-5}$ mSv/ano) e na dieta da região urbana, para ^{228}Ra ($1,76 \times 10^{-2}$ mSv/ano).

O composto de bolos e biscoitos apresentou a doses efetivas comprometidas mais elevadas para ^{230}Th ($1,38 \times 10^{-4}$ mSv/ano) e ^{232}Th ($1,49 \times 10^{-4}$ mSv/ano), na dieta da região urbana. Já o composto de farinha, massas e panificados apresentou os valores de dose efetiva comprometida mais elevados para ^{230}Th ($5,22 \times 10^{-4}$ mSv/ano), na dieta da população rural.

Na Tabela 19 é apresentada a soma das contribuições de doses efetivas comprometidas anual de cada radionuclídeo determinado, para as populações urbana e rural da cidade de Poços de Caldas, considerando o cálculo da massa de alimentos 3.618 kg da ingestão diária por adulto (Tabela 5).

Tabela 19 - Dose efetiva comprometida por ingestão de alimentos nas dietas urbana e rural de Poços de Caldas

Radionuclídeos	Dieta Região Urbana (mSv/ano)	Dieta Região Rural (mSv/ano)
^{238}U	$1,98 \times 10^{-4}$	$2,28 \times 10^{-4}$
^{234}U	$3,02 \times 10^{-4}$	$3,26 \times 10^{-4}$
^{230}Th	$3,65 \times 10^{-4}$	$1,71 \times 10^{-3}$
^{226}Ra	$1,61 \times 10^{-2}$	$4,12 \times 10^{-2}$
^{210}Pb	$1,53 \times 10^{-1}$	$1,59 \times 10^{-1}$
^{210}Po	$2,28 \times 10^{-2}$	$7,22 \times 10^{-2}$
^{232}Th	$3,57 \times 10^{-4}$	$1,09 \times 10^{-3}$
^{228}Ra	$8,19 \times 10^{-2}$	$1,43 \times 10^{-1}$
^{228}Th	$5,62 \times 10^{-3}$	$1,30 \times 10^{-2}$
^{40}K	$2,75 \times 10^{-1}$	$4,58 \times 10^{-1}$
Dose Efetiva Comprometida Total	$5,55 \times 10^{-1}$	$8,90 \times 10^{-1}$

No presente estudo, foi possível observar uma diferença nos resultados encontrados nas dietas das regiões urbana e rural. Para a maior parte dos compostos as concentrações de atividades encontradas nas regiões rurais foram mais elevadas, com poucas exceções. Da mesma forma, o cálculo de dose por

ingestão da região rural apresentou-se 61% mais elevado comparado à região urbana. Isto pode ser explicado pelo fato dos maiores pontos de anomalias radioativas no planalto estarem localizados na zona rural.

Em média, como apresentando anteriormente, o ser humano recebe cerca de 2,4 mSv de dose equivalente efetiva a cada ano, devido às fontes naturais de radiação, sendo 0,3 mSv deste total devido à ingestão de alimentos e água, podendo ter uma variação entre 0,2 e 0,8 mSv (CNEN, 2011). Além desta radiação natural, a CNEN admite um incremento de dose de 1 mSv/ano acima do valor do “background” de uma determinada região, para um indivíduo do público (CNEN, 2014).

Diante deste contexto, os valores encontrados para os grupos de amostras analisadas, no presente estudo, 0,56 e 0,89 mSv/ano para as dietas das populações urbana e rural, respectivamente, não apresentam níveis que representem ameaça à saúde da população, porém pode-se ainda ressaltar que existem erros associados nestas medições, os quais não foram considerados, como por exemplo, os pontos de coletas das amostras da região rural não abrangeu todo o planalto, devido a indisponibilidade de amostras.

O Projeto Planalto de Poços de Caldas (2009) apresenta uma avaliação da radiação natural e do risco de câncer com a possível influência das condições ambientais da região sobre a saúde humana. Foi realizado um estudo de dose média efetiva, da radiação ionizante natural externa gama, em todo o Planalto de Poços de Caldas e foram obtidas doses aritméticas médias de 0,98 mSv/ano (0,30 a 3,74 mSv/ano) para a população urbana e de 1,09 mSv/ano (0,15 a 95,05 mSv/ano), para a população rural. Foram encontrados três locais com doses muito elevadas, todos no interior da caldeira vulcânica: no Morro do Ferro (95,5 mSv/ano), no Campo do Cercado – Mina de Urânio (14,43 mSv/ano) e no Morro do Taquari (13,56 mSv/ano). Essas áreas possuem baixa (ou nula) densidade demográfica. Baseando-se nos valores de doses médias apresentados, é possível afirmar que o planalto de Poços de Caldas corresponde ao baixo nível quanto à classificação de uma HBRA (valores inferiores a 5 mSv/ano) (ALIYU & RAMLI, 2015; SOHRABI, 2013).

Existem poucas pesquisas relacionando radioatividade à dieta das populações. Um estudo realizado no país de Gana avaliou a ingestão diária dos radionuclídeos naturais ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{228}Th e ^{40}K por medidas radiométricas

realizadas por espectrometria gama. Foi verificado que todas as amostras apresentavam um alto teor de ^{40}K no intervalo de 87,77 a 368,50 Bq/kg. No presente estudo, nas regiões do planalto de Poços de Caldas, este alto teor de ^{40}K também foi obtido, apresentando o intervalo de 6,6 a 155 Bq/kg para a região urbana e entre 7 e 319 Bq/kg para a região rural. A dose efetiva comprometida anual total do país de Gana foi estimada em 4,64 mSv. A ingestão diária de radionuclídeos nos alimentos consumidos pelo público do país de Gana, em geral, foi de 411,32 Bq e a dose diária resultante da ingestão de radionuclídeos nos alimentos foi de 0,01 mSv (AWUDU et al, 2012).

Um estudo utilizando o EDT foi realizado para avaliar a dose efetiva comprometida por ingestão de alimentos da população da cidade de São Paulo, no qual as concentrações de atividades de ^{234}U , ^{235}U , ^{238}U , ^{228}Th , ^{230}Th , ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{228}Ra e ^{210}Pb foram determinadas em 19 grupos de alimentos, sendo que o valor encontrado foi de 0,145 mSv/ano (ROSA et al, 2015). O valor de dose efetiva comprometida por ingestão de alimentos da cidade de São Paulo foi bem inferior ao encontrado no presente trabalho. Esta diferença pode ser explicada uma vez que não foram incluídas as análises dos radionuclídeos ^{40}K e ^{210}Po , e como observado no presente estudo o radionuclídeo ^{40}K é o maior contribuinte para a elevação da dose efetiva comprometida por ingestão de alimentos de uma população.

Embora os riscos de câncer aumentem proporcionalmente com a dose, qualquer valor de dose efetiva recebida por uma pessoa, abaixo de 100 mSv, não apresenta nenhum aumento significativo dos riscos da mesma desenvolver câncer devido á dose de radiação (UNSCEAR, 2000).

5.9 Comparação entre as Dietas das Populações Urbana e Rural

Para a comparação e análise dos dados das dietas das populações urbana e rural, foi aplicado o teste t para amostras independentes, a fim de verificar a existência de diferenças entre os elementos essenciais e tóxicos na ingestão dietética e entre as concentrações dos radionuclídeos determinados. O teste foi realizado pela comparação do valor de P ($T \leq t$) bi-caudal com o valor de 5% para o

nível de significância adotado. Quando esse valor foi inferior ao nível de significância (0,05), rejeitou-se H_0 , ou seja, considerou-se diferença entre as dietas.

Na Tabela 20 são apresentados os valores de $P (T \leq t)$ bi-caudal, calculados para as ingestões dos elementos essenciais e tóxicos, e ainda para as concentrações dos radionuclídeos das dietas das populações urbana e rural de Poços de Caldas.

Tabela 20 - Cálculo de $P (T \leq t)$ bi-caudal para comparação das dietas das populações urbana e rural de Poços de Caldas

Elemento / Radionuclídeo	P (T ≤ t) bi-caudal
Ca	0,2894
Cl	0,8837
Co	0,7640
Cr	0,3429
Cu	0,8058
Fe	0,2700
K	0,7034
Mg	0,8830
Mn	0,3310
Na	0,7872
Se	0,2094
Zn	0,4240
As	0,2826
Cd	0,3451
Hg	0,2740
Pb	0,1593
²³⁸ U	0,9856
²³⁴ U	0,7429
²³⁰ Th	0,2047
²²⁶ Ra	0,3953
²¹⁰ Pb	0,9371
²¹⁰ Po	0,6463
²³² Th	0,4704
²²⁸ Ra	0,6678
²²⁸ Th	0,7434
⁴⁰ K	0,0244

Foi possível observar com os valores de p , que não há diferença significativa entre as ingestões dos elementos essenciais e tóxicos nas dietas das populações urbana e rural, pois todos elementos apresentaram valores de p superiores a 0,05, ou seja, aceita-se a hipótese H_0 de que não há diferença entre as amostras, dos dois grupos analisados.

Pode-se observar ainda com os valores de p que dentre os radionuclídeos analisados, apenas o ^{40}K apresenta diferença entre as concentrações de atividade das dietas das populações urbana e rural, pois foi o único a apresentar valor de p inferior a 0,05, rejeitando-se a hipótese H_0 para este radionuclídeo.

A diferença encontrada para este radionuclídeo pode ser explicada devido à composição da lista dos alimentos da dieta da população rural, geralmente com produção local, principalmente os laticínios, vegetais, ovos e legumes, podendo contribuir para a elevação da concentração do radionuclídeo, pois os maiores pontos de anomalias radioativas no planalto estão localizados na zona rural, conforme já mencionado anteriormente.

5.10 Comparação dos EDT Realizados no Brasil

Na Tabela 21 são apresentados os valores da ingestão total dos elementos essenciais dos três trabalhos realizados no Brasil utilizando a metodologia do EDT: o realizado por Avegliano e colaboradores (2011), o segundo por Ambrogí e colaboradores (2016) e o terceiro o presente estudo. Os três EDT brasileiros foram aplicados considerando a dieta da população de uma cidade no sudeste do país. O primeiro EDT foi realizado com os dados da POF 2002-2003, enquanto os outros dois realizados com os dados da POF 2008-2009, onde os alimentos consumidos fora do domicílio foram também considerados. As ingestões dietéticas foram comparadas pela aplicação da análise de variância ANOVA com uma confiabilidade estatística de 95%. Nesta análise, quando o valor é superior ao nível de significância (0,05), considera-se a hipótese nula para H_0 , ou seja, as medidas são iguais entre si. Quando o valor for inferior ao nível de significância, as medidas não são iguais.

A análise de variância das dietas apresentou um valor p de 0,8310, superior a 0,05, podendo-se então afirmar que não há diferença significativa entre os três estudos realizados no Brasil, em relação às ingestões dietéticas dos elementos essenciais e tóxicos avaliados.

Tabela 21 – Comparação de EDT realizados no Brasil

Elemento	1° EDT Estado de SP	2° EDT Região Sudeste*	3° EDT Poços de Caldas*	
			Região Urbana	Região Rural
Ca (mg/dia)	275	641	536	332
Cl (mg/dia)	nd	2129	4771	4157
Co (µg/dia)	nd	31	16,46	13,46
Cr (µg/dia)	8,7	8,1	118	48
Cu (mg/dia)	nd	2,96	0,83	0,98
Fe (mg/dia)	5,7	20	14	8,2
K (mg/dia)	861	2745	2506	2075
Mg (mg/dia)	175	315	216	200
Mn (µg/dia)	1,34	3,9	3,4	2
Na (mg/dia)	1928	2466	3116	2446
Se (µg/dia)	56	56	28	15
Zn (mg/dia)	15	16	13	8,7
As (mg/dia)	1,53	0,042	0,26	0,01
Cd (µg/dia)	1,32	3,42	5,17	10,2
Hg (µg/dia)	nd	nd	1,04	0,54
Pb (µg/dia)	nd	nd	123,27	280,56

* Com contribuição de alimentos consumidos fora do domicílio
nd: não determinado

6 CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou os resultados obtidos a partir do Estudo de Dieta Total (EDT) utilizando a Pesquisa Orçamentária Familiar (POF 2008-2009), do Instituto Brasileiro de Geografia Estatística (IBGE), aplicado na região do Planalto de Poços de Caldas, terceiro realizado no Brasil e o primeiro em uma região de elevada radioatividade natural (HBRA).

Foram analisadas as dietas as populações urbana e rural da cidade, aplicando-se técnicas analíticas já estabelecidas, como: análise por ativação com nêutrons instrumental, espectrometria de absorção atômica com forno de grafite e geração de vapor frio, quantificação de radionuclídeos por espectrometria gama, espectrometria alfa e por contagem em sistema proporcional de fluxo gasoso alfa e beta total. E inclusão de técnica de microprecipitação para determinação de tório na dieta da população rural. Todas as técnicas foram validadas realizando o estudo de materiais de referências e consideradas satisfatórias, de acordo com os resultados analíticos obtidos.

Foram avaliados os teores dos elementos essenciais, tóxicos e radionuclídeos naturais. Foi realizada a avaliação das ingestões diárias dos elementos essenciais e tóxicos, assim como a avaliação das doses efetivas comprometidas devido à ingestão dos radionuclídeos das séries naturais, em ambas dietas analisadas.

Para os elementos essenciais Ca, K, Mg e Se as dietas se apresentaram deficientes, para ambas populações estudadas, quando comparadas aos valores de ingestão diária recomendadas. Já para os elementos Cl, Cr, Cu e Na de ambas as populações estudadas e os elementos Fe, Mn e Zn, da dieta da população urbana, apresentaram valores mais elevados em relação às recomendações nutricionais. Porém, alguns destes ainda ficaram abaixo do limite tolerável de ingestão, não apresentando possibilidade de danos à saúde, mesmo com um elevado consumo diário.

Foi possível observar que a ingestão diária média de todos os elementos essenciais na dieta da população urbana apresentou valores mais elevados comparados à dieta da população rural de Poços de Caldas embora estatisticamente, estes valores não apresentem diferenças significativas

Com relação aos elementos tóxicos analisados, a concentração de As foi encontrado dentro dos limites estabelecidos pelo Ministério da Saúde para o composto de cereais nas dietas estudadas.

A partir do cálculo de ingestão diária, os elementos tóxicos As e Cd, estiveram dentro do intervalo seguro relatado pela JECFA (Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives), para ambas populações estudadas. Para o elemento Hg a ingestão total foi encontrada muito inferior em relação a recomendação máxima pela JECFA, para ambas as dietas analisadas. A ingestão do elemento tóxico Pb, foi comparada com outros EDT realizados em diversos países e/ou diferentes regiões no mundo e para a dieta da população urbana estava dentro dos intervalos relatados, porém para a dieta da população rural, o valor encontrado estava acima.

O cálculo de dose efetiva comprometida por ingestão, para a dieta da população da região rural apresentou-se 61% mais elevado comparado à dieta da população da região urbana. Isto pode ser explicado pelo fato dos maiores pontos de anomalias radioativas no planalto estarem localizados na zona rural.

O ser humano recebe cerca de 2,4 mSv de dose equivalente efetiva a cada ano, devido às fontes naturais de radiação, sendo 0,3 mSv deste total, devido à ingestão de alimentos e água, com uma variação entre 0,2 e 0,8 mSv. Além da radiação natural a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) admite um incremento de dose de 1 mSv/ano acima do valor do background de uma determinada região, para um indivíduo do público.

Com os dados obtidos, a partir das amostras analisadas, pode-se concluir que os valores encontrados no presente estudo não apresentam níveis que representem uma possível ameaça à saúde da população, porém é importante ressaltar que alguns erros não foram associados a estes cálculos, principalmente em relação a coleta de amostras que compuseram a dieta da população rural

A medida da radioatividade nos grupos de alimentos usando o EDT foi extremamente importante para monitorar os níveis de radiação aos quais a população é exposta direta ou indiretamente, em particular a determinação dos radionuclídeos naturais das séries do urânio e tório, como apresentados para a população de Poços de Caldas, cidade com radioatividade natural elevada.

Com o presente estudo, utilizando a metodologia de EDT para avaliar os elementos essenciais, tóxicos e radionuclídeos naturais, permite-se ao país ter dados para trabalhos futuros avaliando a dieta de uma população de HBRA.

7 REFERÊNCIAS

ABRASCO – Associação Brasileira de Saúde Coletiva – Dossiê ABRASCO – *Um alerta sobre impactos dos agrotóxicos na Saúde*. 88 p. 2012.

AKELE, M. L.; ABEBE, D. L.; ALEMU, A. K.; ASSEFA, A. G.; MADHUSUDHA, A.; OLIVEIRA, R. R. Analysis of trace metal concentrations in raw cow's milk from three dairy farms in North Gondar, Ethiopia: chemometric approach. ***Journal of Environmental Monitoring and Assessment***, v.189, p. 499, 2017.

ALIYU, A. S.; RAMLI, A. T. Review: The world's high background natural radiation areas (HBNRAs) revisited: A broad overview of the dosimetric, epidemiological and radiobiological issues. ***Journal of Radiation Measurements***, v. 73, p. 51- 59, 2015.

AMBROGÍ, J. B. ***Avaliação dos teores de elementos essenciais e tóxicos em alimentos da dieta da população de São Paulo, segundo a POF 2008-2009***. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, Brasil. 2016. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/85/85131/tde-26092016-145056/pt-br.php>>. Acesso em: 16 jun. 2017.

AMBROGÍ, J. B.; AGEGLIANO, R. P.; MAIHARA, V. A. Essential element contents in food groups from the second Brazilian total diet study. ***Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry***, v. 307, p. 2209 – 2216. 2016. DOI 10.1007/s10967-015-4591-6.

APOSTOLI, P., CATALANI, S. Metal ions affecting reproduction and development. ***Journal of Metal Ions Life Sciences***. v. 8, p. 263-303, 2011.

ARNICH, N.; SIROTA, V.; RIVIÈREA, G.; JEANA, J.; NOËLB, L.; GUÉRINB, T.; LEBLANCA, J. C. Dietary exposure to trace elements and health risk assessment in the 2nd French Total Diet Study. ***Journal of Food and Chemical Toxicology***, v. 50 (7), p. 2432-2449, 2012.

AVEGLIANO, R. P.; MAIHARA, V. A.; SILVA, F. F. da. Metodologia de Estudo de Dieta Total no Estado de São Paulo para estimativa de ingestão dietética de elementos tóxicos e essenciais: a elaboração da Cesta de Mercado (Market Basket). ***Jornal Ciência e Tecnologia de Alimentos***, v. 28, n. 1, p. 90-97, 2008.

AVEGLIANO, R.P. **Estudo de Dieta Total no Estado de São Paulo: Estimativa de Ingestão Dietética de Elementos Tóxicos (arsênio, cádmio e mercúrio) e Essenciais (cálcio, ferro, sódio, selênio e zinco)**. Tese de doutorado. Universidade de São Paulo, Brasil. 2009. Disponível em: <http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/43/130/43130681.pdf>. Acesso em: 1 jun. 2017.

AVEGLIANO, R.P.; MAIHARA, V. A.; SILVA, F. F. da. A Brazilian Total Diet Study: evaluation of essential elements. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 24, n. 7, p. 1009-1016, 2011.

AVEGLIANO, R.P.; MAIHARA, V. A.; FERNANDO, F. Development of the Food List for a Brazilian Total Diet Study. **Journal of Food Science and Technology**, v. 35, n. 1, p. 207-212, 2015.

AWUDU, A. R.; FAANU, A.; DARKO, E. O.; EMI-REYNOLDS, G.; ADULKPO, O. K.; KPEGLO, D. O.; OTOO, F.; LAWLUVI, H.; KPODZRO, R.; LI, I. D.; OBENG, M.K.; AGYEMAN, B. Preliminary studies on ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{228}Th and ^{40}K concentration in foodstuffs consumed by inhabitants of Accra metropolitan area, Ghana. **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, v. 291, p. 635-641, 2012.

BAKIRCIOGLU, D.; TOPRAKSEVER, N.; YURTSEVER, S.; KIZILDERE, M.; KURTULUS, Y. B. Investigation of macro, micro and toxic element concentrations of milk and fermented milks products by using an inductively coupled plasma optical emission spectrometer, to improve food safety in Turkey. **Microchemical Journal**, v. 136, p. 133–138, 2018.

BORGES, V. A. **O alto teor de sódio presente nos alimentos e suas consequências: um estudo de caso com alunos do 9º ano no município de IV Centenário**. Monografia de pós-graduação. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil. 2014. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/4395/1/MD_ENSCIE_II_2014_89.pdf>. Acesso em: 28 abr. 2018.

BOSSEW, P.; SILVA, N. C. DA; OLIVEIRA, R. J. Natural Radiation in the Geological Anomaly of Poços de Caldas Plateau, Minas Gerais, Brazil. **Journal of Radiation Emergency Medicine**. v. 4 (2), p. 7-12, 2015.

BRASIL – Ministério da Saúde. Resolução da Diretoria Colegiada nº 42 de 29 de agosto de 2013. **Dispõe sobre o Regulamento Técnico MERCOSUL sobre limites máximos de Contaminantes Inorgânicos em Alimentos**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 30 agosto 2013.

BRASIL – Ministério da Saúde. Guia alimentar para a população brasileira. 2a ed. Brasília – DF, 2014. Disponível em: <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/guia_alimentar_populacao_brasileira_2e_d.pdf>. Acesso em: 01 dez. 2017.

BRASIL – Ministério da Saúde – PNAN – Plano Nacional de Alimentação e Nutrição 2015 - 2020, 2015. Disponível em: <<https://www.minsaude.gov.br/index.php/documentosite/331-plano-nacional-alimentacao-e-nutricao-2015-2020/file>>. Acesso em: 15 jan. 2018.

CANBAZOBLU, C.; DOGRU, M. A preliminary study on ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K and ^{137}Cs activity concentrations in vegetables and fruits frequently consumed by inhabitants of Elazig Region, Turkey. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, v. 295, p. 1245-1249, 2013.

CAVALCANTE, F. **Avaliação da radioatividade natural e artificial em rações comerciais para animais domésticos**. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, Brasil. 2017. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/85/85131/tde-16052017-112333/pt-br.php>> . Acesso em: 1 jun. 2017.

CHEKRI, R.; NOËL, L.; MILLOUR, S.; VASTELA, C.; KADARA, A.; SIROTB, V.; LEBLANCB, J. C.; GUÉRINA, T. Calcium, magnesium, sodium and potassium levels in foodstuffs from the second French Total Diet Study. *Journal of Food Composition and Analysis*, v. 25 (2), p. 97-107, 2012.

CHENG, Z.; WANG, H.S.; DU, J.; STHIANNOPKAO, S.; XING, G.H., KIM, K.W.; YASIN, M. S. M.; HASHIM, J. H., WONG, M. H. Dietary exposure and risk assessment of mercury via total diet study in Cambodia. *Journal of Chemosphere*, v. 92, p. 143-149, 2013.

CNEN – Comissão Nacional de Energia Nuclear. *Entendendo um pouco sobre as doses de radiação e a sua unidade de medida Sievert*, 2011. Disponível em:

<http://www.cnen.gov.br/noticias/documentos/entendendo_radiacao.pdf>. Acesso em: 30 nov. 2017.

CNEN – Comissão Nacional de Energia Nuclear. Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica – CNEN NN 3.01. 2014. Disponível em: <<http://www.cnen.gov.br/normas-tecnicas>>. Acesso em: 30 nov. 2017.

CORRADINI, L. Ensaios com a radioatividade natural do Potássio. Sites Google, 2012. Disponível em: <<https://sites.google.com/site/potassio40/>>. Acesso em: 13 fev. 2018.

COSTA, B. E. S. **Extração Seletiva por Ponto Nuvem Para Pré-Concentração e Especificação de Arsênio Inorgânico em Matriz Alimentícia Empregando Espectrometria de Absorção Atômica Eletrotérmica em Forno de Grafite**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Goiás, Brasil. 2013. Disponível em: < <https://repositorio.bc.ufg.br/tede/handle/tede/4055>>. Acesso em: 7 jun. 2017.

COZZOLINO, S. M. F. **Biodisponibilidade de Nutrientes**. Ed. Manole. 4a Ed. ISBN: 9788520445235, 2015.

CURRIE L.A. Nomenclature in evaluation of analytical methods including detection and quantification capabilities (IUPAC Recommendations 1995) **Journal Analytica Chimica Acta**, v.391, p:105-126, 1999.

D'AMATO, M.; TURRINI, A.; AURELI, F.; MORACCI, G.; RAGGI, A.; CHIARAVALLE, E.; MANGIACOTTI, M.; CENCI, T.; ORLETTI, R.; CANDELA, L.; SANDRO, A.; CUBADDA, F. Dietary exposure to trace elements and radionuclides: the methodology of the Italian Total Diet Study 2012-2014. **Annali dell'Istituto Superiore di Sanità**, v. 49 (3), p. 271 – 280, 2013.

DURANTE, M.; MANTI, L. Human response to high-background radiation environments on Earth and in space. **Advanced in Space Research Journal**. v. 42, p. 999-1007, 2008.

EISENBUD, M.; GESELL, T. Environmental radioactivity from natural, industrial and military sources. **Academic Press**, San Diego, California, USA, 1997.

FAGURY, T. Peixe enlatado é opção de consumo prática e saudável USP ESALQ – Assessoria de Comunicação, 2012. Disponível em: <<http://www.guiadaculinaria.com.br/>>. Acesso em: 05 mai. 2018.

FAO/WHO – Food and Agriculture Organization / World Health Organization. Evaluations of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA): ARSENIC, Seventy-second meeting, Geneva, 2011a. Disponível em: <<http://apps.who.int/food-additives-contaminants-jecfa-database/chemical.aspx?chemID=1863>>. Acesso em: 05 mai. 2018.

FAO/WHO – Food and Agriculture Organization / World Health Organization. Evaluations of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA): CADMIUM, Seventy-third meeting, Geneva, 2011b. Disponível em: <<http://apps.who.int/food-additives-contaminants-jecfa-database/PrintPreview.aspx?chemID=1376>>. Acesso em: 05 mai. 2018.

FAO/WHO – Food and Agriculture Organization / World Health Organization. Evaluations of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA): MERCURY, Seventy-second meeting, Geneva, 2011C. Disponível em: <<http://apps.who.int/food-additives-contaminants-jecfa-database/PrintPreview.aspx?chemID=1806>>. Acesso em: 05 mai. 2018.

FAO/WHO – Food and Agriculture Organization / World Health Organization. Evaluations of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA): LEAD, Seventy-third meeting, Geneva, 2011d. Disponível em: <<http://apps.who.int/food-additives-contaminants-jecfa-database/chemical.aspx?chemID=3511>>. Acesso em: 05 mai. 2018.

FATHABADI, N.; SALEHI, A.A.; NADDAFI, K.; KARDAN, M.R.; YUNESIAN, M.; NODEHI, R.N.; DEEVBAND, M.R.; SHOOSHTARI, M.G.; HOSSEINI, S.S.; KARIMI M. Radioactivity levels in the mostly local foodstuff consumed by residents of the high level natural radiation areas of Ramsar, Iran. ***Journal of Environmental Radioactivity***, vol. 169-170, p. 209-213, 2017.

FERLAY, J. Estimated Cancer Incidence, Mortality and Prevalence Worldwide in 2012. Lyon, França: International Agency for Research on Cancer, WHO. 2008. Disponível em: <<http://globocan.iarc.fr>>. Acesso em: 30 mar. 2017.

GARCIA, F.; BARIONI, A.; ARRUDA-NETO, J. D. T.; DEPPMAN, A.; MILIAN, F. MESA, J.; RODRÍGUEZ, O. Uranium levels in the diet of São Paulo City residents. ***Journal Environment International***. v. 32, p. 697-703, 2006.

GIMOU, M. M.; POUILLOT, R.; CHARRONDIERE, U. R.; NOEL, L.; GUÉRIN, T.; LEBLANC, J. C. Dietary exposure and health risk assessment for 14 toxic and essential trace elements in Yaoundé: the Cameroonian total diet study. ***Food Additives & Contaminants***. v. 31 (6), p. 1064 – 1080, 2014.

HENDRY, J. H., SIMON, S. L., WOJCIK, A., SOHRABI, M., BURKART, W., CARDIS, E., LAURIER, D., TIRMARCHE, M. E HAYATA I. Human exposure to high natural background radiation: what can it teach us about radiation risks. ***Journal of Radiation Protection***. 29, A29-A42, 2009.

IAEA – International Atomic Energy Agency. **International Basic Safety Standards, (IBSS) for Protection Against Ionizing Radiation**. Safety Series 115, 1996.

IAEA – International Atomic Energy Agency. Reference Sheet: Reference Material IAEA-327 radionuclides in soil. Viena, 2001. Disponível em: <http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/32/042/32042411.pdf>. Acesso em 20 fev. 2017.

IAEA – International Atomic Energy Agency. **TECDOC- 1788. Criteria for Radionuclide Activity Concentrations for Food and Drinking Water**. Vienna, 2016.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2011). *Pesquisa de Orçamentos Familiares (POF) 2008-2009*: Análise de consumo alimentar no Brasil. Rio de Janeiro. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pof/2008_2009_analise_consumo/pofanalise_2008_2009.pdf>. Acesso em: 26 mai. 2017.

ICRP – International Commission on Radiological Protection (2012) Compendium of Dose Coefficients based on ICRP Publication 60. 41(1): 119. Disponível em: <[http://www.icrp.org/docs/P%20119%20JAICRP%2041\(s\)%20Compendium%20of%20Dose%20Coefficients%20based%20on%20ICR%20Publication%2060.pdf](http://www.icrp.org/docs/P%20119%20JAICRP%2041(s)%20Compendium%20of%20Dose%20Coefficients%20based%20on%20ICR%20Publication%2060.pdf)>. Acesso em: 22 nov. 2017.

IOM – Institute of Medicine. Dietary Reference Intakes: A Risk Assessment Model for Establishing Upper Intake Levels for Nutrients. Washington, DC: National Academy Press, 1998. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20845565>>. Acesso em: 01 dez. 2017.

INTOSH, G.H.; HU, Y., YOUNG G. P. Food selenium and the prevention of colorectal cancer. ***Selenium in the environment and Human Health*** – Bañuelos, Lin & Yin (Eds). Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-1-138-00017-9, 2014.

JEMAL, A. Global patterns of cancer incidence and mortality rates and trends. ***Cancer Epidemiology, Biomarkers and Prevention***. Philadelphia, v.19, n. 8, p. 1893-1907, 2010.

LAURIA, D. C.; CONTI, L. F.; SOUZA, E. M.; HACON, S. Ingestão de radionuclídeos por uma população de uma região rica em monazita. In: Encontro Científico da Sociedade Brasileira de Biociências Nucleares, 1997.

LAURIA, D. C.; VASCONCELLOS, L. M. H.; GODOY, M. L. P.; ACAR, M. E. D.; ROLDÃO, L. L. Razão de concentração planta-solo para ^{232}Th , ^{238}U , ^{226}Ra e ^{228}Ra em uma região brasileira rica em monazita. ***Revista Brasileira de Toxicologia***, v. 11, n. 2, p. 31-35, 1998.

LAURIA, D. C.; MARTINS, N. S. F.; ZENARO, R. Monitoração radiológica ambiental. ***Instituto de Radioproteção e Dosimetria – IRD***, Rio de Janeiro, v. 1, p. 166, 2007.

LAURIA, D. C.; ROCHEDO, E. R. R.; GODOY, M. L. D. P.; SANTOS, E.E.; HACON, S. S. Naturally occurring radionuclides in food and drinking water from a thorium-rich area. ***Journal of Radiation and Environmental Biophysics***. v. 51, p. 367-374, 2012.

LINSALATA, P.; MORSE, R. S.; FORD, H.; EISENBUD, M.; PENNA FRANCA, E.; CASTRO, M. B. de; LOBAO, N.; SACHETT, I.; CARLOS, M. An assessment of soil-to-plant concentration ratios for some natural analogues of the transuranic elements. ***Health Physics***. v. 56, n.1., p. 33-46, 1989.

LOEF, M.; WALACH, H. Copper and iron in Alzheimer's Disease: A systematic review and its dietary implications. **British Journal of Nutrition**. v. 107(1), p. 7-19, 2012.

LU, X.; ZHANG, X. Measurement of Natural Radioactivity in Sand Samples Collected from the Baoji Weihe Sands Park, China. **Environmental Geology Journal**. v. 50, p. 977-982, 2006.

MAIHARA V.A.; FÁVARO D.T.; SILVA V.N.; GONZAGA I.B.; SILVA V.L.; CUNHA I.L.; VASCONCELLOS M.B.A.; COZZOLINO S.M.F. Analysis of mineral constituents in duplicate portion diets of two university student groups by instrumental neutron activation analysis; **Journal of Radioanalytical Nuclear Chemistry**, v. 249, n. 1. p. 21-24, 2001.

MAIHARA V.A.; GONZAGA I.B.; SILVA V.L.; FÁVARO D.I.T.; VASCONCELLOS M.B.A.; COZZOLINO S.M.F. Daily dietary selenium intake of selected Brazilian population groups. **Journal of Radioanalytical Nuclear Chemistry**, v. 59, n. 3, p. 465-468, 2004.

MAIHARA, V. A.; MOREIRA, E.; AVEGLIANO, R. P. **Estimativa de ingestão dietética de elementos essenciais (Ca, Co, Cr, Fe, Na, K, Se e Zn) e tóxicos (As, Cd, Hg e Pb) pela análise de alimentos que compõem uma cesta de mercado: estudo de dieta total segundo IBGE POF 2008-2009**. Projeto FAPESP Processo: 13/08869-6, 2013 – 2015 Comunicação Pessoal.

MAIHARA, V. A.; FÁVARO, D. I. T.; BARBOSA F. Elementos Tóxicos. In: COZZOLINO, S. M. F. (Org.). **Biodisponibilidade de Nutrientes**. 5 ed. Barueri: Manole, p. 913-948, 2016.

MÁRSICO, E. T. **Bioacumulação de ^{210}Po e ^{210}Pb em Pescados**. Universidade Federal Fluminense – Tese (Doutorado) – 2005.

MARTENS, I. B. G.; MARTENS, A.; COZZOLINO, S. M. F. Selênio. In: COZZOLINO, S. M. F (Org.). **Biodisponibilidade de nutrientes**. 4.ed. Barueri: Manole, p. 721-766, 2012.

MAZOKOPAKIS, E.E.; LIONTIRIS, M. I. Commentary: Health Concerns of Brazil Nut Consumption. **Journal of Alternative and Complementary Medicine**, vol. 00, p. 1-4, 2017.

MEHRA, R. Radiological Risk Assessment in Soil Samples of Western Haryana, India. ***International Journal of Mathematical, Computational, Physical, Electrical and Computer Engineering***. v. 3, n.6, 2009.

MELI. M. A.; CANTALUPPI, C.; DESIDERI, D.; BENEDETTI, C.; FEDUZI, L.; CECCOTTO, F.; FASSON, A. Radioactivity measurements and dosimetric evaluation in meat of wild and bred animals in central Italy. ***Food Control Journal***, v. 30, p.272-279, 2013.

MELI. M. A.; DESIDERI, D.; ROSELLI, C.; A.; FEDUZI, L. Assessment of ^{210}Po in Italian diet. ***Food Chemistry Journal***, vol. 155, p. 87–90, 2014.

MOY, G. G.; VANNOORT, R. W. ***Total Diet Studies***. Springer. New York – NY, 2013.

MUÑOZ, O.; ZAMORANO, P.; GARCIA, O.; BASTÍAS, J. M. Arsenic, cadmium, mercury, sodium, and potassium concentrations in common foods and estimated daily intake of the population in Valdivia (Chile) using a total diet study. ***Food and Chemical Toxicology Journal***, v. 109, p. 1125 – 1134, 2017.

NOTARNICOLA, B.; TASSIELLI, G.; RENZULLI, P. A.; CASTELLANI, V.; SALA, S. Environmental impacts of food consumption in Europe. ***Journal of Cleaner Production***, v. 140, p. 753-765, 2017.

OMS – Organização Mundial de Saúde. ***Elementos traço na nutrição e saúde humanas***. São Paulo: Roca, 1998.

PATRA, A. C.; MOHAPATRA, S.; SAHOO, S. K.; LENKA, P.; DUBEY, J. S.; THAKUR, V. K.; KUMAR, A. V.; RAVI, P. M.; TRIPATHI, R.M. Assessment of ingestion dose due to radioactivity in selected food matrices and water near Vizag, India ***Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry***, v.300, p. 903–910, 2014.

PERELLÓ, G.; VICENTE, E.; CASTELL, V.; LLOBET, J. M.; NADAL, M.; DOMINGO, J.L. Dietary intake of trace elements by the population of Catalonia (Spain): results from a total diet study. ***Food Additives & Contaminants: Part A***. v. 32, p. 748-755, 2015.

PONDEIRO, E. M. B. D. ***Avaliação de modelos de impacto ambiental para deposição de resíduos sólidos contendo radionuclídeos naturais em instalações mínero-industriais***. Tese (Doutorado) – Engenharia mecânica da

Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: <http://w2.files.scire.net.br/atrio/ufrj-pem_upl/THESIS/666/pemufrj2006dscelizabethmaypontedeiro.pdf>. Acesso em: 19 abr. 2017.

PROJETO PLANALTO DE POÇOS DE CALDAS. Pesquisa câncer e radiação natural: Minas Gerais Brasil: 2004 a 2009 / Secretaria de Estado de Saúde de Minas Gerais. – Belo Horizonte: SESMG, 96 p., 2009.

RIBEIRO, F. C. A. Manejo agrícola e teores de radionuclídeos naturais em vegetais cultivados no Rio de Janeiro. Dissertação de Mestrado. Instituto de Radioproteção e Dosimetria da Comissão Nacional de Energia Nuclear, Brasil. 2004. Disponível em: <http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/39/107/39107623.pdf>. Acesso em: 1 jun.2017.

ROSA, M. M. L.; MAIHARA, V. A.; TADDEI, M. H. T.; SILVA, M. A.; FERREIRA, M. T. Determination of ^{228}Th , ^{232}Th , and ^{228}Ra in wild mushroom from a naturally high radioactive region in Brazil. Anais: ***International Nuclear Atlantic Conference (INAC)***, Belo Horizonte-MG, 2011.

ROSA, M. M. L. Avaliação dos teores de U, Th, ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{210}Pb e outros elementos de interesse presentes em cogumelos em uma região de elevada radioatividade natural no Brasil. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, Brasil. 2012. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/85/85131/tde-04062012-152126/en.php>>. Acesso em: 7 jun. 2017.

ROSA, M. M. L.; MAIHARA, V. A.; TADDEI, M. H. T. Determination of ^{226}Ra , ^{228}Ra , and ^{210}Pb in wild mushroom and soils collected in Poços de Caldas. *International Anais: Conference on the Analysis of Geological and Environmental Materials (GEOANALYSIS)*, Búzios-RJ, 2012.

ROSA, M. M. L.; MAIHARA, V. A.; CUSTÓDIO, L. G.; CHEBERLE, L. T. V.; TADDEI, M. H. T. Determination of ^{226}Ra , ^{228}Ra , and ^{210}Pb in mushroom from a naturally high radioactive region. Anais: ***International Nuclear Atlantic Conference (INAC)***, Recife-PE, 2013.

ROSA, M. M. L.; TADDEI, M. H. T.; CHEBERLE, L. T. V.; FERREIRA, M. T.; SANTOS, S. M. C.; AVEGLIANO, R. P.; BERGAMINI, G.; MAIHARA, V. A.

“Determination of ^{234}U , ^{235}U , ^{238}U , ^{228}Th , ^{230}Th , ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{228}Ra , and ^{210}Pb in foods from Brazilian Total Diet”. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, v. 306 (3), p. 695-700, 2015.

ROSSETTI, F. X. **Consumo alimentar, estado nutricional e percepção de segurança alimentar e nutricional entre estudantes de uma universidade pública**. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, Brasil. 2015. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11141/tde-06042015-110216/pt-br.php>>. Acesso em: 8 jan. 2018.

SALA, S.; ANTON, A.; MCLAREN, S. J.; NOTARNICOLA, B.; SAOUTER, E.; SONESSON, U. In quest of reducing the environmental impacts of food production and consumption. *Journal of Cleaner Production*, v. 140, p. 387-398, 2017.

SANTOS, T. O. **Radionuclídeos Naturais em Minas Subterrâneas Brasileiras**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil. 2015. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/handle/1843/BUBD-A7MG62>>. Acesso em 6 abr. 2018.

SCHORSCHER, H.D. **The regional geology, mineralogy and geochemistry of the Poços de Caldas alkaline complex, Minas Gerais, Brazil. Poços de Caldas Report nº 1**. Indústrias Nucleares do Brasil. Poços de Caldas Project, p. 1-36, 1991.

SES-MG – Secretaria de Estado da Saúde de Minas Gerais. **Programa de Avaliação e Vigilância do Câncer e seus fatores de risco de Minas Gerais - Situação do câncer em Minas Gerais e suas macrorregiões de saúde**. Belo Horizonte - MG, 360 p., 2013.

SHANTHI, G.; KUMARAN, J. T. T.; RAJ, G. A. G.; MANIYAN, C. G. Transfer factor of the radionuclides in food crops from high-background radiation area of south west India. *Journal of Radiation Protection Dosimetry*. v. 149, n. 3, p. 327-352, 2012.

SILVA, A. G. H.; PIRES, L. V.; COZZOLINO, S. M. F. Cálcio. In: COZZOLINO, S. M. F. (Org.). **Biodisponibilidade de nutrientes**. 4.ed. Barueri: Manole, p. 579-612, 2012.

SOHRABI, M. World high background natural radiation areas: Need to protect public from radiation exposure. ***Journal of Radiation Measurements***. v. 50, p. 166 – 171, 2013.

STORELLI, M. M.; NORMANNO, G.; BARONE, G.; DAMBROSIO, A.; ERRICO, L.; GAROFALO, R.; GIACOMINELLI-STUFFLER R. Toxic metals (Hg, Cd, and Pb) in fishery products imported into Italy: suitability for human consumption. ***Journal Food Protection***, v.75(1), p.189-94, 2012.

TADDEI, M. H. T.; SILVA, N. C.; FERNANDES, E. A. N.; CIPRIANI, M. Determination of alpha-emitting isotopes of uranium and thorium in vegetables and excreta. ***Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry***, v. 248, n. 2, p. 483-486, 2001.

TRAMONTE, V. L. C. G.; CALLOU, K. R. A.; COZZOLINO, S. M. F. Sódio, Cloro e Potássio. In: COZZOLINO, S. M. F. (Org.). ***Biodisponibilidade de nutrientes***. 4.ed. Barueri. Manole, p. 555-578, 2012.

TURCONI, G.; MINOIA, C.; RONCHI, A.; ROGGI, C. Dietary exposure estimates of twenty-one trace elements from a total diet study carried out in Pavia, Northern Italy. ***British Journal of Nutrition***, v. 101 (8), p. 1200-1208, 2009.

UNSCEAR – United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. ***Sources and effects of ionizing radiation***". New York: UNSCEAR, 652 p., 2000.

USDA – U.S. Department of Agriculture. ***"Dietary guidelines for Americans 2005"***. Washington, D.C. 2015.

U.S. - Consumer Product Safety Commission. Ban of lead-containing paint and certain consumer products bearing lead-containing, 16 C.F.R. 1303. Washington (DC) 20207, 2008. Disponível em: <<https://www.federalregister.gov/articles/2008/12/19/E8-30238/ban-of-lead-containing-paint-and-certain-consumer-productsbearing-lead-containing-paint#h-4>>. Acesso em: 13 jan. 2018.

U.S. EPA – United States Environmental Protection Agency. ***Test Methods for Evaluating Solid Waste SW 846***, chapter 3, revision 5, 2014.

VASCONCELLOS, L. M. H.; LAURIA, D. C.; SILVA, L. H. C.; TADDEI, J. F. Relação entre as massas úmida, seca e de cinzas em materiais biológicos – uma ferramenta para amostragens em campo e análise de amostras. **Química Nova**, v. 22, n. 6, p. 889-893, 1999.

VASCONCELOS, D. C. **Estudo da Radioatividade Natural em Areias de Praias do Extremo Sul da Bahia Utilizando Métodos de Análises Nucleares**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil. 2010.

VEIGA, L. H. S.; KOIFMAN, S. Pattern of cancer mortality in some Brazilian HBRA. **International Congress Series Journal**, v. 1276, p. 110-113, 2005.

VENTURINI, L.; SORDI, G. A. A. Radioactivity in and committed effective dose from some Brazilian foodstuffs. **Health Physics**, v. 76, n. 3, p. 311, 1999.

VIN, K.; PAPADOPOULOS, A.; CUBADDA, F.; AURELI, F.; BASEGMEZ, H. I.O.; D'AMATO, M.; COSTER, S.; D'EVOLI, L.; ESTEBAN, M. T. L.; JURKOVIC, M.; LUCARINI, M.; OZER, H.; JUAN, P. M. F. S.; SIOEN, I.; SOKOLIC, D.; TURRINI, A.; SIROT, V. TDS exposure project: Relevance of the Total Diet Study approach for different groups of substances. **Food and Chemical Toxicology Journal**, v. 73, p.21–34, 2014.

VOLPE S. L. Magnesium in disease prevention and overall health. **Advances in Nutrition Journal**, v. 4(3), p. 378S–83S, 2013.

WHO – World Health Organization. International Workshop in Cooperation with the Pan American Health Organization: GEMS/FOOD TOTAL DIET STUDIES-JOINT USFDA/WHO. Aug. 1999, Kansas City. Report Geneve: WHO, 1999. Disponível em: < http://www.who.int/foodsafety/publications/chem./tds_aug1999/en>. Acesso em: 08 jan. 2017.

WHO – World Health Organization. LATIN. American Total Diet Studies Workshop, 8-13 July. 2002, Buenos Aires. Report Geneva: WHO, 2002. Disponível em: <http://www.who.int/foodsafety/publications/chem/tds_july2002>. Acesso em: 08 jan. 2017.

WHO – World Health Organization. **Antimony in Drinking water, background document for preparation of WHO Guidelines for Drinking water quality**. (WHO/SDE/WSH/03.04/74). Geneva: WHO, 2003.

WHO – World Health Organization. Food Safety Department. **GEMS/Food Total Diet Studies**. In: International Workshop on Total Diet Studies, 4th, 23-27 October 2006, Deijing, China. Report... Geneva; 2006. Disponível em: <http://www.who.int/foodsafety/publications/chem/TDS_Beijing_2006_en.pdf> Acesso em: 27 mar. 2017.

WHO - World Health Organization. **Regional Office for South-East Asia. Regional Workshop on Total Diet Studies**, Jakarta-Indonesia. Dezembro 2007.

WHO - World Health Organization. Summary and Conclusions – **72nd Meeting of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives**. p. 1-53, 2010.

WHO - World Health Organization. **Safety evaluation of certain food additives and contaminants – JECFA**. Paper presented at: 73rd Meeting of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. WHO Food Additives Series 64. 2011.

WHO - World Health Organization. **Safety evaluation of certain food additives and contaminants – JECFA**. Paper presented at: 74th Meeting of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. WHO Food Additives Series 65. 2012.

WHO - World Health Organization. Guideline: Potassium Intake for Adults and Children. Geneva, Switzerland: World Health Organization (WHO). 2012b. Disponível em: <http://www.who.int/nutrition/publications/guidelines/potassium_intake/en/>. Acesso em: 15 jan. 2018.

YUYAMA L. K. O., YONEKURA L., AGUIAR J. P. L., RODRIGUES M. L. C. F., COZZOLINO S. M. F. Zinco. In: Cozzolino SMF. **Biodisponibilidade de nutrientes**. 4. Ed. Barueri: Manole, p.695-720, 2012.

ANEXO I

Lista de Alimentos – Dieta Região Urbana

Grupo de Alimentos	Alimento	Quantidade para composto de 500 g (g)
Cereais	Arroz polido	464,30
	Arroz integral	16,13
	Milho em grão	19,57
Leguminosas	Feijão rajado	499,54
	Feijão preto	0,46
Hortaliças	Alface	69,46
	Couve	93,23
	Repolho	20,11
	Abóbora	24,37
	Cenoura	12,67
	Chuchu	11,70
	Pepino	2,92
	Tomate	77,00
	Batata doce	5,93
	Batata inglesa	152,94
	Batata inglesa frita	4,61
	Mandioca	25,05
Frutas	Abacaxi	7,31
	Morango	7,31
	Banana d'água	123,01
	Laranja pera	146,94
	Maçã	83,11
	Mamão	45,88
	Manga	16,62
	Melancia	21,94
	Tangerina	27,93
	Uva	7,31
	Salada de frutas	12,63

Cont. Lista de Alimentos – Dieta Região Urbana

Grupo de Alimentos	Alimento	Quantidade para composto de 500 g (g)
Oleaginosas cruas	Amendoim	350
	Castanha do Pará	100
	Azeitona	50
Farinhas, massas e panificados	Farinha de mandioca	3,69
	Farofa	6,93
	Cereais matinais	5,08
	Massas	22,63
	Macarrão instantâneo	30,48
	Macarrões e preparações a base de macarrões	156,09
	Farinha de trigo	31,26
	Pão francês	240,60
	Pão integral	3,23
Bolos e biscoitos	Bolos	244,15
	Biscoito doce	66,97
	Biscoito salgado	116,77
	Biscoito recheado	72,12
Carnes bovinas	Alcatra	500
Carnes suínas	Pernil	500
Carnes de frango	Frango inteiro	500
Peixes	Sardinha fresca	395,83
	Sardinha em conserva	13,89
	Bacalhau	90,28
Carnes processadas e vísceras	Linguiça	200,79
	Salsicha	125,98
	Mortadela	55,12
	Presunto	51,18
	Fígado bovino	66,93
Ovos	Ovos de galinha	500

Cont. Lista de Alimentos – Dieta Região Urbana

Grupo de Alimentos	Alimento	Quantidade para composto de 500 g (g)
Laticínios	Leite integral de vaca pasteurizado	262,46
	Leite desnatado	41,79
	Vitaminas de frutas	59,38
	Queijo minas	60,12
	Iogurte natural	76,25
Doces	Chocolate em pó	109,09
	Achocolatados em pó	36,36
	Doces a base de leite	169,70
	Doces de frutas em pasta	33,33
	Sorvete	151,52
Óleos e gorduras	Óleo de soja	500
Bebidas	Bebidas destiladas	0,72
	Cerveja	32,30
	Vinho	1,44
	Suco de frutas envasado	132,47
	Refrigerante de Cola	100,79
	Bebidas lácteas com sabor e adoçadas	25,27
	Bebidas à base de soja	2,35
	Café	194,19
	Chá	10,47
Industrializados	Pizzas	29,34
	Salgados fritos e assados	78,65
	Salgadinhos industrializados (tipo chips)	4,37
	Sanduíches	89,26
	Sopas e caldos	264,04
	Molho de tomate	4,37
	Preparações mistas (prato de comida região Sudeste)	29,96

Cont. Lista de Alimentos – Dieta Região Urbana

Grupo de Alimentos	Alimento	Quantidade para composto de 500 g (g)
Sal	Sal refinado	500
Água	Água potável	2000

ANEXO II

Lista de Alimentos – Dieta Região Rural

Grupo de Alimentos	Alimento	Quantidade para composto de 500 g (g)
Cereais	Arroz polido	480,43
	Milho em grão	19,57
Leguminosas	Feijão rajado	500
Hortaliças	Alface	69,46
	Couve	93,23
	Repolho	20,11
	Abobrinha	24,37
	Cenoura	12,67
	Acelga	11,70
	Brócolis	2,92
	Batata inglesa	77,00
	Couve flor	5,93
	Alface	152,94
	Couve	4,61
	Repolho	25,05
Frutas	Morango	14,62
	Banana	168,89
	Laranja pera	146,94
	Maçã	71,81
	Manga	49,87
	Tangerina (mexerica)	27,93
	Uva	7,31
	Salada de frutas	12,63
Oleaginosas cruas	Amendoim	400
	Azeitona	100

Cont. Lista de Alimentos – Dieta Região Rural

Grupo de Alimentos	Alimento	Quantidade para composto de 500 g (g)
Farinhas, massas e panificados	Farinha de mandioca	3,69
	Farofa	6,93
	Farinha de pão	5,08
	Massas	22,63
	Macarrões e preparações a base de macarrões	186,57
	Farinha de trigo	31,26
	Pão francês	243,83
Bolos e biscoitos	Bolos	244,15
	Biscoito	255,85
Carnes bovinas	Maminha	500
Carnes suínas	Pernil	500
Carnes de frango	Frango inteiro	500
Peixes	Tilápia	395,83
	Lambari	104,17
Carnes processadas e vísceras	Linguiça	200,79
	Salsicha	125,98
	Presunto	106,30
	Bacon	66,93
Ovos	Ovos de galinha	500
Laticínios	Leite de vaca	304,25
	Vitaminas de frutas	59,38
	Queijo minas	60,12
	Iogurte	76,25
Doces	Chocolate	109,09
	Achocolatados em pó	36,36
	Doces a base de leite	169,70
	Doces de frutas em pasta	184,85
Óleos e gorduras	Óleo de soja	500

Cont. Lista de Alimentos – Dieta Região Rural

Grupo de Alimentos	Alimento	Quantidade para composto de 500 g (g)
Bebidas	Bebidas destiladas	0,72
	Cerveja	32,30
	Vinho	1,44
	Suco de frutas	132,47
	Refrigerante de Cola	100,79
	Café	196,54
	Chá	35,74
Industrializados	Salgados fritos e assados	107,99
	Salgadinhos industrializados (tipo chips)	4,37
	Sandwiches	89,26
	Sopas e caldos	264,04
	Molho de tomate	4,37
	Preparações mistas (prato de comida região Sudeste)	29,96
Sal	Sal refinado	500
Água	Água potável	2000

ANEXO III

Radionuclídeos, energias e meia-vida utilizados para a determinação
cada elemento na INAA

Elemento	Radionuclídeo	Energia (KeV)	Meia Vida
As	⁷⁶ As	559,10	26,32 h
Ca	⁴⁷ Ca	159,00*	4,54 d
		1297,09	
Cl	³⁸ Cl	1642,69*	37,24 min
		2167,68	
Co	⁶⁰ Co	1173,24*	5,27 a
		1332,50	
Cr	⁵¹ Cr	320,08	27,7 d
Fe	⁵⁹ Fe	1099,25*	5,27 a
		1291,60	
K	⁴² K	1524,58	12,36 h
Mg	²⁷ Mg	1014,43	9,46 min
Mn	⁵⁶ Mn	846,8	2,58 h
		1810,72*	
Na	²⁴ Cr	1368,60	14,96 h
Se	⁷⁵ Se	136,01	119,77 d
		264,66*	
		279,54	
Zn	⁶⁵ Zn	1115,6	243,9 d

*Energia do fotopico recomendado

ANEXO IV

Condições do método “Food” para dissolução das amostras para a análise por GF
AAS

Rampa de aquecimento	Entre 20 e 25 minutos
Patamar	15 minutos
Temperatura máxima	210 °C
Potência	Entre 1030 e 1800 W

Parâmetros utilizados para as determinações de cada elemento por AAS.

Elemento	Parâmetros	
Cd	Lâmpada de Cd	EDL
	Comprimento de onda utilizado	228,8 nm
	Fenda	0,7 nm
	Corrente da lâmpada	230 mA
	Volume de injeção da amostra	20 µL
	Volume de injeção do modificador químico	10 µL
Cu	Lâmpada de Cu	Catodo oco
	Comprimento de onda utilizado	324,8 nm
	Fenda	0,7 nm
	Corrente da lâmpada	15 mA
	Volume de injeção da amostra	20 µL
	Volume de injeção do modificador químico	10 µL
Hg	Volume de injeção	500 µL
	Fluxo do carregador	10 mL/min
	Fluxo do redutor	6 mL/min
	Fluxo de argônio (gás de arraste)	50 mL/min
Pb	Lâmpada de Pb	EDL
	Comprimento de onda utilizado	283,3 nm
	Fenda	0,7 nm
	Corrente da lâmpada	440 mA
	Volume de injeção da amostra	20 µL
	Volume de injeção do modificador químico	10 µL

INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES
Diretoria de Pesquisa, Desenvolvimento e Ensino
Av. Prof. Lineu Prestes, 2242 – Cidade Universitária CEP: 05508-000
Fone/Fax(0XX11) 3133-8908
SÃO PAULO – São Paulo – Brasil
<http://www.ipen.br>

**O IPEN é uma Autarquia vinculada à Secretaria de Desenvolvimento, associada
à Universidade de São Paulo e gerida técnica e administrativamente pela
Comissão Nacional de Energia Nuclear, órgão do
Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação.**