AUTARQUIA ASSOCIADA À UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

**RADIOATIVIDADE NATURAL, ELEMENTOS MAIORES E TRAÇOS DETERMINADOS EM
PRODUTOS NACIONAIS DERIVADOS DA
*Nicotiana tabacum L.***

Aline Sebastiane Gonçalves Ramos de Oliveira

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

**Orientadora:
Profa. Dra. Sandra Regina Damatto**

**São Paulo
2017**

INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES
Autarquia associada à Universidade de São Paulo

**RADIOATIVIDADE NATURAL, ELEMENTOS MAIORES E TRAÇOS DETERMINADOS EM
PRODUTOS DERIVADOS DA *Nicotiana tabacum* L.**

Aline Sebastiane Gonçalves Ramos de Oliveira

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

**Orientadora:
Profa. Dra. Sandra Regina Damatto**

#

Versão Corrigida
Versão Original disponível no IPEN

São Paulo
2017

Dedico este trabalho primeiramente à DEUS,
pois sem ele nada em minha vida seria
possível e todos que acreditaram e me
apoiaram durante essa jornada.

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me sustentado todo esse tempo.

Ao Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares e a Comissão Nacional de energia Nuclear pela oportunidade e condição para realizar este trabalho.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro.

A minha orientadora, Dra. Sandra Regina Damatto, por todo conhecimento transmitido, dedicação, compreensão e paciência durante o desenvolvimento deste trabalho.

A Dra. Vera Lucia Salvador por todo ensinamento e colaboração no desenvolvimento desta pesquisa.

A minha família por todo apoio. Ao meu marido Rodrigo Fabiano meu companheiro e amigo. Ao Isaac Fabiano por toda a felicidade que ele me proporciona a cada manhã. À minha mãe Elizabeth Ramos e a minha avó Eurides Barbosa por todo o empenho e dedicação a mim e a minha família durante essa caminhada.

A Dra. Bárbara Paci Mazzilli pela oportunidade de se realizar esse trabalho no Laboratório de Radiometria Ambiental.

Aos amigos e companheiros de laboratório Arthur Athayde, André Rodrigo, Joseilton Marques, Levi Francisco, Amanda Prilip, Amanda Shiagasi, Denise Sanny, Laissa Adriana, Pedro Gonçalves e Thiago Santos.

Aos colegas do Laboratório de Radiometria Ambiental: Paulo Renê, Marcelo Máduar, Marcelo Bessa, Lucio Leonardo, Luiz Flavio, Marcos Medrado, Dra. Brigitte Pecequilo, Marcia de Campos e Cátia Saueia por todo apoio e incentivo.

A todos aqueles que acreditaram em mim.....

.....Muito Obrigado.

Entrega o teu caminho ao Senhor; confia nele, e o mais ele fará.

Salmo 37:5

Mire na lua. Mesmo que você erre cairá entre as estrelas.

Les Brown

RESUMO

de OLIVEIRA, ALINE S. G. R. **Radioatividade natural, elementos maiores e traços determinados em produtos nacionais derivados da *Nicotiana tabacum* L.** 2017. 174 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN- CNEN/SP, São Paulo.

O consumo de tabaco é uma das principais causas de doenças e morte prematuras no mundo; é a segunda droga mais consumida entre os adolescentes brasileiros, sendo considerado uma importante porta de entrada para o uso de drogas ilícitas. O Brasil é o segundo produtor mundial de tabaco e desde de 1993 destaca-se como o maior exportador. Os radionuclídeos naturais das séries do ^{232}Th e ^{238}U são encontrados no tabaco em baixas concentrações absorvidos diretamente do solo ou por deposição foliar. No ato de fumar ocorre a transferência desses radionuclídeos através da queima do tabaco para os tecidos e órgãos humanos podendo gerar lesões cancerígenas, sendo o mais relevante o câncer de pulmão. Existem poucos dados sobre a caracterização radiológica e elementar dos derivados do tabaco brasileiros, o que torna relevante o presente estudo que teve como objetivos a determinação da radioatividade natural e da concentração de elementos maiores e traços em derivados de tabaco produzidos e comercializados no Brasil. As técnicas analíticas empregadas foram alfa e beta total após separação radioquímica para os radionuclídeos ^{226}Ra , ^{228}Ra e ^{210}Pb com determinação em detector proporcional de fluxo gasoso e baixa radiação de fundo, espectrometria alfa após separação radioquímica para o radionuclídeo ^{210}Po , análise por ativação com nêutrons instrumental (INAA) e fluorescência por dispersão de raios X (EDXRF) para determinação de ^{238}U , ^{232}Th , elementos maiores e traços. Foram analisados produtos derivados da *Nicotina tabacum* L. de diferentes marcas adquiridas em tabacarias: cigarro não aromatizados, cigarro aromatizado, charuto, rapé, cigarro de palha e fumo de corda. Pela técnica de INAA foi possível determinar a concentração de 19 elementos e pela técnica de EDXRF de 31 elementos o que possibilitou uma ampla caracterização multielementar e as técnicas analíticas empregadas se mostraram complementares. Os elementos que apresentaram

maiores valores de concentração foram o Ca e o K entre todas as amostras amostragem e entre todos os radionuclídeos naturais determinados o ^{228}Ra apresentou maiores valores de concentração de atividade. A partir da concentração de atividade determinada foram calculadas a dose anual estimada e a dose anual efetiva para os radionuclídeos ^{210}Pb e ^{210}Po , levando-se em consideração um consumo anual de 3,65 kg de tabaco por ano. A dose anual efetiva variou de 69,5 $\mu\text{Sv ano}^{-1}$ à 121 $\mu\text{Sv ano}^{-1}$. Os produtos que apresentaram maiores valores de concentração e consequentemente maiores valores de dose anual efetiva, para a maioria dos radionuclídeos analisados, foram os cigarros de palha e fumos de corda.

Palavras-chave: *Nicotiana tabacum* L., INAA, EDXRF, radioquímica, dose efetiva anual, radioatividade natural

ABSTRACT

de OLIVEIRA, ALINE S. G. R. **Natural radioactivity, major and trace elements determined in Brazilian products derived from *Nicotiana tabacum* L.** 2017. 174 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear) – Instituto de Pesquisas energéticas e Nucleares – IPEN- CNEN/SP, São Paulo.

Tobacco use is one of the leading causes of premature illness and death in the world; is the second most consumed drug among Brazilian adolescents, being considered an important gateway to the use of illicit drugs. Brazil is the second largest tobacco producer in the world and since 1993 it has been the largest exporter. The natural radionuclides from the ^{232}Th and ^{238}U series are found in tobacco at low concentrations absorbed directly from the soil or by foliar deposition. In the act of smoking occurs the transference of these radionuclides through the burning of the tobacco to the human tissues and organs and they can generate carcinogenic lesions, being the lung cancer the most relevant. There are few data on the elemental and radiological characterization of Brazilian tobacco products, which makes relevant the present study that had as objectives the determination of the natural radioactivity and the concentration of major and trace elements in tobacco products produced and marketed in Brazil. The analytical techniques employed were gross alpha and beta, after radiochemical separation for the radionuclides ^{226}Ra , ^{228}Ra and ^{210}Pb with determination in a gaseous flow proportional detector of low background radiation, alpha spectrometry after radiochemical separation for the radionuclide ^{210}Po , instrumental neutron activation analysis (INAA) and X-ray scattering fluorescence (EDXRF) for determination of ^{238}U , ^{232}Th , major and trace elements. *Nicotina tabacum* L. products from different brands acquired in cigar stores were analyzed: non-flavored cigarettes, flavored cigarettes, cigar, snuff, straw cigarettes and rope smoke. Using the INAA technique, it was possible to determine the concentration of 19 elements and with the EDXRF technique 31 elements, which enabled a wide multielementar characterization; the analytical techniques employed were complementary. The elements that presented the highest concentration values were Ca and K among all the samples and among

all the natural radionuclides determined the ^{228}Ra presented higher values of activity concentration. The estimated annual dose and annual effective dose for the ^{210}Pb and ^{210}Po radionuclides were calculated from the determined activity concentration, taking into account an annual consumption of 3.65 kg of tobacco per year. The effective annual dose ranged from $69.5 \mu\text{Sv y}^{-1}$ to $121 \mu\text{Sv y}^{-1}$. The products with the highest concentration values and hence the highest annual effective dose for the majority of the radionuclides analyzed were straw cigarettes and rope smoke.

Key words: *Nicotiana tabacum* L., INAA, EDXRF, radiochemistry, annual effective dose, natural radioactivity

SUMÁRIO

	Página
1 INTRODUÇÃO.....	21
1.1 Tabagismo: questão de saúde pública.....	24
1.2 A toxicidade dos derivados do tabaco.....	28
1.3 Radionuclídeos naturais no tabaco.....	31
1 OBJETIVOS.....	36
3 PARTE EXPERIMENTAL.....	37
3.1 Amostragem.....	37
3.2 Metodologias Analíticas.....	38
3.2.1 Análise por Ativação com Nêutrons Instrumental (INAA)	39
3.2.2 Espectrometria de Fluorescência de Raios-X (EDXRF).....	43
3.2.3 Metodologia de determinação ^{226}Ra , ^{228}Ra e ^{210}Pb	45
3.2.3.1 Determinação de ^{226}Ra e ^{228}Ra	45
3.2.3.2 Determinação do ^{210}Pb	48
3.2.3.3 Determinação do ^{210}Po	50
3.3 Avaliação de Dose	53
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	54
4.1 Análise por Ativação com Nêutrons Instrumental – INAA.....	54
4.1.1 Precisão e exatidão da INAA.....	54
4.1.2 Determinação do limite inferior de detecção (LID).....	59
4.2 Espectrometria de Fluorescência de Raios-X (EDXRF).....	61

4.2.1 Precisão e exatidão da EDXRF.....	61
4.2.2 Determinação do limite de determinação do método (LDM).....	65
4.3 Determinação da radiação de fundo	68
4.4 Determinação da eficiência de contagem para as medidas de ^{226}Ra , ^{228}Ra e ^{210}Pb	68
4.4.1 Determinação da eficiência de contagem alfa total para a medida de ^{226}Ra	68
4.4.2 Determinação da eficiência de contagem beta de ^{226}Ra para a medida de ^{228}Ra	69
4.4.3 Determinação da eficiência de contagem beta de ^{228}Ra	70
4.4.4 Determinação da eficiência de contagem beta de ^{210}Pb	70
4.4.5 Determinação da eficiência do espectrômetro alfa.....	71
4.4.6 Determinação da curva de calibração do espectrômetro alfa.....	71
4.5 Determinação do limite inferior de detecção para as metodologias de dos radionuclídeos ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{210}Pb e ^{210}Po	72
4.6 Verificação das metodologias.....	73
4.7 Resultados das metodologias para os derivados da <i>Nicotiana tabacum</i> L.....	73
4.7.1 Análise de Ativação com Nêutrons Instrumental – INAA.....	74
4.7.1.1 Elementos maiores Ca, K, Fe, e Na	75
4.7.1.2 Elementos Traço As, Ba, Br, Co, Cr, Cs, Hf, Rb, Sb, Se, Ta, Th, U e Zn.....	79
4.7.1.3 Elementos Terras Raras Ce, Eu, La, Lu, Nd, Sc, Sm, Tb e Yb.....	87
4.7.2 Espectrometria de Fluorescência de Raios-X (EDXRF).....	93
4.7.2.1 Elementos maiores Al, Ca, Cl, Fe, K, I, Mg, Mn, P e S.....	93
4.7.2.2 Elementos traço As, Br, Cd, Co, Cr, Cs, Cu, Hg, Ni, Pb, Rb, Sb, Se, Sr, Th, U, V, e Zn.....	101
4.7.2.3 Elementos Terras Raras La, Nd e Sm.....	115

4.7.3 Radionuclídeos Naturais ^{226}Ra , ^{210}Pb , ^{210}Po , ^{238}U , ^{228}Ra e ^{232}Th	118
4.7.4 Avaliação da dose.....	126
4.7.4.1 Dose estimada.....	126
4.7.4.2 Dose anual efetiva.....	128
4.8 Caracterização química inorgânica e radiológica dos derivados da <i>Nicotiana tabacum</i> L. estudados.....	128
 5 CONCLUSÃO.....	 133
 6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	 135
 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	 136
 APENDICE	
APÊNDICE A.1 Concentração dos elementos determinados em mg kg^{-1} nos cigarros não aromatizados determinados pela técnica INAA;.....	144
APÊNDICE A.2 Concentração dos elementos determinados em mg kg^{-1} nos cigarros aromatizados determinados pela técnica INAA;.....	146
APÊNDICE A.3 Concentração dos elementos determinados em mg kg^{-1} nos cigarros de palha determinados pela técnica INAA;.....	147
APÊNDICE A.4 Concentração dos elementos determinados em mg kg^{-1} nos charutos determinados pela técnica INAA;.....	149
APÊNDICE A.5 Concentração dos elementos determinados em mg kg^{-1} nos fumos de corda e rapé determinados pela técnica INAA;.....	150

APÊNDICE B.1 Concentração dos elementos determinados em mg kg^{-1} nos cigarros não aromatizados determinados pela técnica EDXRF;.....	153
APÊNDICE B.2 Concentração dos elementos determinados em mg kg^{-1} nos cigarros aromatizados determinados pela técnica EDXRF;.....	157
APÊNDICE B.3 Concentração dos elementos determinados em mg kg^{-1} nos cigarros de palha determinados pela técnica EDXRF;.....	159
APÊNDICE B.4 Concentração dos elementos determinados em mg kg^{-1} nos charutos determinados pela técnica EDXRF;.....	162
APÊNDICE B.5 Concentração dos elementos determinados em mg kg^{-1} nos fumos de corda e rapés determinados pela técnica EDXRF;.....	164
APÊNDICE C.1 Concentração dos radionuclídeos estudados em mBq g^{-1} nos cigarros aromatizados;.....	170
APÊNDICE C.2 Concentração dos radionuclídeos estudados em mBq g^{-1} nos cigarros não aromatizados;.....	171
APÊNDICE C.3 Concentração dos radionuclídeos estudados em mBq g^{-1} nos cigarros de palha;.....	172
APÊNDICE C.4 Concentração dos radionuclídeos estudados em mBq g^{-1} nos charutos;.....	172
APÊNDICE C.5 Concentração dos radionuclídeos estudados em mBq g^{-1} nos fumos de corda e rapés.....	173

LISTA DE TABELAS

Página

TABELA 3.1 – Elementos determinados por análise por ativação neutrônica, concentrações dos elementos nos materiais de referência (mg kg^{-1}), radioisótopos formados na ativação, energia dos raios gama utilizados na espectrometria gama e meias-vidas.....	42
TABELA 3.2 – Concentrações nos materiais de referência (mg kg^{-1} , *%), usados na calibração e validação dos resultados pela análise por EDXRF.....	44
TABELA 4.1 – Concentrações médias calculadas e concentrações certificadas, em mg kg^{-1} , para o material de referência Soil 1 utilizando Montanna II e Tomato Leaves como padrões.....	55
TABELA 4.2 – Concentrações médias calculadas e concentrações certificadas, em mg kg^{-1} , para o material de referência Montanna II utilizando Soil 1 e Tomato Leaves como padrões.....	56
TABELA 4.3 – Concentrações médias calculadas e concentrações certificadas, em mg kg^{-1} , para o material de referência Tomato Leaves utilizando Soil 1 e Montanna II como padrões.....	57
TABELA 4.4 – Limites inferiores de determinação para os elementos estudados por INAA, em mg kg^{-1} , para os materiais de referência Soil 1, Montanna II e Tomato Leaves.....	60
TABELA 4.5 – Concentrações médias calculadas e concentrações certificadas, em mg kg^{-1} (*%), para o material de referência Peach Leaves.....	62
TABELA 4.6 – Concentrações médias calculadas e concentrações certificadas, em mg kg^{-1} (*%), para o material de referência Sargasso.....	63
TABELA 4.7 – Concentrações médias calculadas e concentrações certificadas, em mg kg^{-1} (*%), para o material de referência Tomato Leaves.....	64
TABELA 4.8 – Limites de determinação do método para os elementos estudados por EDXRF, em mg kg^{-1} (* em %), para os materiais de referencia Peach Leaves, Sargasso e Tomato Leaves.....	67
TABELA 4.9 – Resultados obtidos para o LID dos radionuclídeos ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{210}Pb e ^{210}Po em mBq g^{-1} (DPR) e erros relativo (ER).....	72
TABELA 4.10 – Valores de Atividade de concentração calculada e certificada dos radionuclídeos ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{210}Pb e ^{210}Po em Bq kg^{-1} , intervalo de confiança, desvios padrão relativo e erros relativo.....	73
TABELA 4.11 – Valores médios, mínimos e máximos de concentração dos elementos Ca, Fe, K e Na (%) nos derivados da <i>Nicotiana tabacum</i> L., pela técnica de INAA.....	76

TABELA 4.12 – Concentração do elemento Se (mg kg^{-1}) nas amostras de fumo de corda e rapé pela técnica de INAA.....	80
TABELA 4.13 – Valores médios, mínimos e máximos de concentração dos elementos traço As, Ba, Br, Co, Cr, Cs, Hf, Rb e Zn (mg kg^{-1}) nos derivados da <i>Nicotiana tabacum</i> L., pela técnica de INAA.....	81
TABELA 4.14 – Concentração do elemento Th (mg kg^{-1}) nas amostras de cigarro de palha, fumo de corda e rapé pela técnica de INAA.....	81
TABELA 4.15 – Valores médios, mínimos e máximos de concentração do elemento Ce, La, Sc e Sm (mg kg^{-1}) nos derivados da <i>Nicotiana tabacum</i> L., pela técnica de INAA	88
TABELA 4.16 – Concentração do elemento Eu (mg kg^{-1}) nas amostras de cigarro de palha, fumo de corda e rapé pela técnica de INAA.....	89
TABELA 4.17 – Concentração do elemento Tb (mg kg^{-1}) nas amostras de cigarro de palha, fumo de corda e rapé pela técnica de INAA.....	89
TABELA 4.18 – Concentração do elemento Yb (mg kg^{-1}) nas amostras de cigarro de palha, fumo de corda e rapé pela técnica de INAA	89
Tabela 4.19 - Intervalo de concentração de elementos terras raras, mg kg^{-1} , presente trabalho e de Kabata-Pendias (2010).....	92
Tabela 4.20 – Concentrações médias em mg kg^{-1} (*%) no presente trabalho e de cigarros egípcios pela técnica INAA.	93
Tabela 4.21 - Valores médios, mínimos e máximos de concentração dos elementos Al, Ca, Cl, Fe, K, I, Mg, Mn, P e S em % nos derivados da <i>Nicotiana tabacum</i> L., pela técnica de EDXRF.....	94
Tabela 4.22 - Valores médios, mínimos e máximos de concentração dos elementos traço As, Br, Cd, Co, Cr, Cs, Cu, Hg, Ni, Pb, Rb, Sb, Se, Sr, Th, U, V e Zn (mg kg^{-1}) nos derivados da <i>Nicotiana tabacum</i> L., pela técnica de EDXRF.....	102
Tab. 4.23 - Valores médios, mínimos e máximos de concentração dos elementos terras raras La, Nd e Sm (mg kg^{-1}) nos derivados da <i>Nicotiana tabacum</i> L., pela técnica de EDXRF.....	116
TABELA 4.24 - Valores médios de concentração determinados no presente trabalho e nem cigarros mexicanos (mg kg^{-1}).....	118
TABELA 4.25 - Valores médios mínimos e máximos de concentração do radionuclídeos naturais (mBq g^{-1}).....	120
TABELA 4.26 – Concentração dos radionuclídeos ^{210}Pb e ^{210}Po (mBq g^{-1}) em amostras de charutos.....	126
TABELA 4.27 – Dose anual estimada dos radionuclídeos ^{210}Pb e ^{210}Po ($\mu\text{Sv ano}^{-1}$) nos derivados de tabaco analisados e de artigos da literatura.....	128

TABELA 4.28 – Intervalo de concentração dos elementos determinados pela técnica de INAA em mg kg^{-1} (*%), nos derivados de tabaco analisados130

TABELA 4.29 – intervalo de concentração dos elementos determinados pela técnica de EDXRF em mg kg^{-1} (*%), nos derivados de tabaco analisados131

TABELA 4.29 – intervalo de concentração dos radionuclídeos naturais determinados em mBq g^{-1} , nos derivados de tabaco analisados132

LISTA DE FIGURAS

	Página
FIGURA 1.1 – Registro de um europeu fumando cachimbo em 1594.....	22
FIGURA 1.2 – Ilustração da colheita do tabaco.....	23
FIGURA 1.3 – Ramos de tabaco no Brasão das Armas da República.....	24
FIGURA 1.4 – Advertência sobre os malefícios dos cigarros.....	26
FIGURA 1.5 – Advertência sobre a fumaça toxica dos cigarros.	27
FIGURA 1.6 – Série de decaimento natural do ^{238}U	31
FIGURA 1.7 – Série de decaimento natural do ^{232}Th	32
FIGURA 3.1 - Exemplos de derivados de tabaco	38
FIGURA 3.2 – amostras secas e maceradas.....	39
FIGURA 3.3 – Amostras acondicionadas para irradiação.....	40
FIGURA 3.4 – Detector germânio hiperpuro (HPGe).....	40
FIGURA 3.5 – Espectro obtido na análise multielementar por INAA.....	41
FIGURA 3.6 – Amostras de derivados de tabaco pesadas.....	45
FIGURA 3.7 - Amostras em processo de dissolução e eliminação da matéria orgânica.....	46
FIGURA 3.8 – Precipitado de Ba(Ra)SO_4	47
FIGURA 3.9 – Precipitado de PbCrO_4	49
FIGURA 3.10 – Detector proporcional de fluxo gasoso de baixa radiação de fundo.....	49
FIGURA 3.11 – Deposição espontânea de ^{209}Po e ^{210}Po sob agitação.....	51
FIGURA 3.12 – ^{209}Po e ^{210}Po depositados	51
FIGURA 3.13 - Espectrômetro alfa	52
FIGURA 3.14 - Espectro obtido na análise de ^{210}Po	52
FIGURA 4.1 – Z score material de referência Soil 1 pela INAA.....	58
FIGURA 4.2 – Z score material de referência Montanna II pela INAA.....	58
FIGURA 4.3 – Z score material de referência Tomato Leaves pela INAA.....	58
FIGURA 4.4 – Z-score material de referência Peach Leaves pela técnica EDXRF.....	66

FIGURA 4.5 – Z-score material de referência Sargasso pela técnica EDXRF.....	66
FIGURA 4.6 – Z-score material de referência Tomato Leaves pela técnica EDXRF.....	66
FIGURA 4.7 – Variação da concentração do elemento Ca (%) nos derivados da <i>Nicotiana tabacum</i> L. pela técnica de INAA.....	77
FIGURA 4.8 – Variação da concentração do elemento K (%) nos derivados da <i>Nicotiana tabacum</i> L. pela técnica de INAA.....	78
FIGURA 4.9 – Variação da concentração do elemento Fe (%) nos derivados da <i>Nicotiana tabacum</i> L. pela técnica de INAA.....	79
FIGURA 4.10 – Variação da concentração do elemento Na (%) nos derivados da <i>Nicotiana tabacum</i> L. pela técnica de INAA.....	79
FIGURA 4.11 – Variação da concentração do elemento As (mg kg ⁻¹) nos derivados da <i>Nicotiana tabacum</i> L. pela técnica de INAA.....	82
FIGURA 4.12 – Variação da concentração do elemento Ba (mg kg ⁻¹) nos derivados da <i>Nicotiana tabacum</i> L. pela técnica INAA.....	83
FIGURA 4.13 – Variação da concentração do elemento Br (mg kg ⁻¹) nos derivados da <i>Nicotiana tabacum</i> L. pela técnica INAA.....	83
FIGURA 4.14 – Variação da concentração do elemento Co (mg kg ⁻¹) nos derivados da <i>Nicotiana tabacum</i> L. pela técnica INAA.....	84
FIGURA 4.15 – Variação da concentração do elemento Cr (mg kg ⁻¹) nos derivados da <i>Nicotiana tabacum</i> L. pela técnica INAA.....	84
FIGURA 4.16 – Variação da concentração do elemento Cs (mg kg ⁻¹) nos derivados da <i>Nicotiana tabacum</i> L. pela técnica INAA.....	85
FIGURA 4.17 – Variação da concentração do elemento Hf (mg kg ⁻¹) nos derivados da <i>Nicotiana tabacum</i> L. pela técnica INAA.....	85
FIGURA 4.18 – Variação da concentração do elemento Rb (mg kg ⁻¹) nos derivados da <i>Nicotiana tabacum</i> L. pela técnica INAA.....	86
FIGURA 4.19 – Variação da concentração do elemento Zn (mg kg ⁻¹) nos derivados da <i>Nicotiana tabacum</i> L. pela técnica INAA.....	86
FIGURA 4.20 – Variação da concentração do elemento Th (mg kg ⁻¹) nos derivados da <i>Nicotiana tabacum</i> L. pela técnica INAA.....	87
FIGURA 4.21 – Variação da concentração do elemento Ce (mg kg ⁻¹) nos derivados da <i>Nicotiana tabacum</i> L. pela técnica INAA.....	90
FIGURA 4.22 – Variação da concentração do elemento La (mg kg ⁻¹) nos derivados da <i>Nicotiana tabacum</i> L. pela técnica INAA.....	90

FIGURA 4.23 – Variação da concentração do elemento Sc (mg kg ⁻¹) nos derivados da <i>Nicotiana tabacum</i> L. pela técnica INAA.....	91
FIGURA 4.24 – Variação da concentração do elemento Sm (mg kg ⁻¹) nos derivados da <i>Nicotiana tabacum</i> L. pela técnica INAA.....	92
FIGURA 4.25 – Variação da concentração do elemento Al (%) nos derivados da <i>Nicotiana tabacum</i> L. pela técnica EDXRF.	95
FIGURA 4.26 – Variação da concentração do elemento Ca (%) nos derivados da <i>Nicotiana tabacum</i> L. pela técnica EDXRF.....	96
FIGURA 4.27 – Variação da concentração do elemento Cl (%) nos derivados da <i>Nicotiana tabacum</i> L. pela técnica EDXRF.....	97
FIGURA 4.28 – Variação da concentração do elemento Fe (%) nos derivados da <i>Nicotiana tabacum</i> L. pela técnica EDXRF.....	97
FIGURA 4.29 – Variação da concentração do elemento I (%) nos derivados da <i>Nicotiana tabacum</i> L. pela técnica EDXRF.....	98
FIGURA 4.30 – Variação da concentração do elemento K (%) nos derivados da <i>Nicotiana tabacum</i> L. pela técnica EDXRF.....	98
FIGURA 4.31 – Variação da concentração do elemento Mg (%) nos derivados da <i>Nicotiana tabacum</i> L. pela técnica EDXRF.....	99
FIGURA 4.32 – Variação da concentração do elemento Mn (%) nos derivados da <i>Nicotiana tabacum</i> L. pela técnica EDXRF.....	100
FIGURA 4.33 – Variação da concentração do elemento P (%) nos derivados da <i>Nicotiana tabacum</i> L. pela técnica EDXRF.....	100
FIGURA 4.34 – Variação da concentração do elemento S (%) nos derivados da <i>Nicotiana tabacum</i> L. pela técnica EDXRF.....	101
FIGURA 4.35 – Variação da concentração do elemento P (mg kg ⁻¹) nos derivados da <i>Nicotiana tabacum</i> L. pela técnica EDXRF.....	104
FIGURA 4.36 – Variação da concentração do elemento Br (mg kg ⁻¹) nos derivados da <i>Nicotiana tabacum</i> L. pela técnica EDXRF.....	105
FIGURA 4.37 – Variação da concentração do elemento Cd (mg kg ⁻¹) nos derivados da <i>Nicotiana tabacum</i> L. pela técnica EDXRF.....	106
FIGURA 4.38 – Variação da concentração do elemento Co (mg kg ⁻¹) nos derivados da <i>Nicotiana tabacum</i> L. pela técnica EDXRF.....	106
FIGURA 4.39 – Variação da concentração do elemento Cr (mg kg ⁻¹) nos derivados da <i>Nicotiana tabacum</i> L. pela técnica EDXRF.....	107
FIGURA 4.40 – Variação da concentração do elemento Cs (mg kg ⁻¹) nos derivados da <i>Nicotiana tabacum</i> L. pela técnica EDXRF.....	108

FIGURA 4.41 – Variação da concentração do elemento Cu (mg kg ⁻¹) nos derivados da <i>Nicotiana tabacum</i> L. pela técnica EDXRF.....	108
FIGURA 4.42 – Variação da concentração do elemento Hg (mg kg ⁻¹) nos derivados da <i>Nicotiana tabacum</i> L. pela técnica EDXRF.....	109
FIGURA 4.43 – Variação da concentração do elemento Hg (mg kg ⁻¹) nos derivados da <i>Nicotiana tabacum</i> L. pela técnica EDXRF.....	109
FIGURA 4.44 – Variação da concentração do elemento Hg (mg kg ⁻¹) nos derivados da <i>Nicotiana tabacum</i> L. pela técnica EDXRF.....	110
FIGURA 4.45 – Variação da concentração do elemento Rb (mg kg ⁻¹) nos derivados da <i>Nicotiana tabacum</i> L. pela técnica EDXRF.....	111
FIGURA 4.46 – Variação da concentração do elemento Sb (mg kg ⁻¹) nos derivados da <i>Nicotiana tabacum</i> L. pela técnica EDXRF.....	111
FIGURA 4.47– Variação da concentração do elemento Se (mg kg ⁻¹) nos derivados da <i>Nicotiana tabacum</i> L. pela técnica EDXRF.....	112
FIGURA 4.48 – Variação da concentração do elemento Sr (mg kg ⁻¹) nos derivados da <i>Nicotiana tabacum</i> L. pela técnica EDXRF.....	112
FIGURA 4.49 – Variação da concentração do elemento Th (mg kg ⁻¹) nos derivados da <i>Nicotiana tabacum</i> L. pela técnica EDXRF.....	113
FIGURA 4.50 – Variação da concentração do elemento U (mg kg ⁻¹) nos derivados da <i>Nicotiana tabacum</i> L. pela técnica EDXRF.....	113
FIGURA 4.51 – Variação da concentração do elemento V (mg kg ⁻¹) nos derivados da <i>Nicotiana tabacum</i> L. pela técnica EDXRF.....	114
FIGURA 4.52 – Variação da concentração do elemento Zn (mg kg ⁻¹) nos derivados da <i>Nicotiana tabacum</i> L. pela técnica EDXRF.....	114
FIGURA 4.53 – Variação da concentração do elemento La (mg kg ⁻¹) nos derivados da <i>Nicotiana tabacum</i> L. pela técnica EDXRF.....	116
FIGURA 4.54 – Variação da concentração do elemento Nd (mg kg ⁻¹) nos derivados da <i>Nicotiana tabacum</i> L. pela técnica EDXRF.....	117
FIGURA 4.55 – Variação da concentração do elemento Sm (mg kg ⁻¹) nos derivados da <i>Nicotiana tabacum</i> L. pela técnica EDXRF.....	117
FIGURA 4.56 – Variação da concentração do radionuclídeo ²²⁶ Ra (mBq g ⁻¹) nos derivados da <i>Nicotiana tabacum</i> L.	120
FIGURA 4.57 – Variação da concentração do radionuclídeo ²¹⁰ Pb (mBq g ⁻¹) nos derivados da <i>Nicotiana tabacum</i> L.	121
FIGURA 4.58 – Variação da concentração do radionuclídeo ²¹⁰ Po (mBq g ⁻¹) nos derivados da <i>Nicotiana tabacum</i> L.	122

FIGURA 4.59 – Variação da concentração do radionuclídeo ^{238}U (mBq g^{-1}) nos derivados da <i>Nicotiana tabacum</i> L.	122
FIGURA 4.60 – Variação da concentração do radionuclídeo ^{228}Ra (mBq g^{-1}) nos derivados da <i>Nicotiana tabacum</i> L.	123
FIGURA 4.61 – Variação da concentração do radionuclídeo ^{232}Th (mBq g^{-1}) nos derivados da <i>Nicotiana tabacum</i> L.	123
FIGURA 4.62 – Concentração média dos radionuclídeos em mBq cigarro^{-1}	124
FIGURA 4.63 – Concentração dos radionuclídeos ^{226}Ra , ^{210}Pb e ^{210}Po (mBq cigarro^{-1}) em amostras de cigarros: presente trabalho e dados da literatura.....	125
FIGURA 4.64 – Dose média estimada de ^{210}Pb e ^{210}Po ($\mu\text{Sv ano}^{-1}$) nos derivados de tabaco analisados.....	126
FIGURA 4.65 – Dose média estimada de ^{210}Pb e ^{210}Po ($\mu\text{Sv ano}^{-1}$) em amostras de cigarro do presente trabalho e da literatura.....	127
FIGURA 4.66 – Dose anual efetiva ($\mu\text{Sv ano}^{-1}$)	128

1 INTRODUÇÃO

O levantamento sobre a população tabagista brasileira realizada pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) em 2013 constatou que 21,9 milhões de pessoas fazem uso de produtos derivados do tabaco, fumado ou não fumado, de uso diário ou ocasional, sendo a forma mais consumida o cigarro industrializado. Esse número representa 15% de toda a população brasileira, número bastante significativo considerando que o tabagismo é um dos principais fatores de risco evitáveis à saúde. Morrem aproximadamente 7 milhões de pessoas todo ano de causa diretamente relacionada ao consumo de tabaco. O tabaco gera um custo superior a US\$1,4 trilhões em cuidados de saúde e perda de produtividade no mundo (WHO, 2017).

O tabaco é um insumo conhecido no território brasileiro muito antes da chegada dos portugueses; originário dos Andes, o tabaco chegou ao Brasil pela migração dos índios no Continente Americano (SOUZA CRUZ, 2016; SINDITABACO, 2016). O cultivo da planta no território nacional começou antes mesmo da colonização portuguesa pelas tribos indígenas (SINDITABACO, 2016). As folhas da planta eram usadas pelos indígenas em rituais e cerimônias religiosas na busca de uma leveza xamânica que permitia o alcance de um estado de sonho onde era possível interação com os espíritos e mortos; porém, somente era usado pelos grandes pajés (AVELAR, 2010).

Na história pré-colonial um outro uso para o tabaco era o medicinal, para cura de ferimentos, enxaquecas e dores de estômago, sendo que este podia ser consumido de diversas formas: mascado, aspirado, bebido e fumado (SINDITABACO, 2016).

Também conhecido como petyn (no tupi) ou ainda betum, petema, peti, petigma, petima, petume, pitima, pituma, potum e petum, o tabaco foi documentado em diversas incursões europeias ao território brasileiro em meados do século XVI. Estes o relatavam como uma erva fascinante gerando admiração e encanto aos que a conheciam (MELLO Jr e KOCKEL, 2010).

Aos poucos o tabaco deixou de ser uma planta cultivada somente pelos indígenas para rituais religiosos e passou a ser um dos principais produto

comerciais destinado à Europa durante o período imperial brasileiro (SINDITABACO, 2016).

As primeiras plantações de tabaco pelos colonos portugueses eram destinadas ao consumo próprio (BONATO, 2006), mas a medida em que europeus experimentavam a erva, seu consumo e procura aumentava e após um século passou a ser conhecido e consumido no mundo inteiro. O tabaco era considerado um bom passatempo (SINDITABACO, 2016). A FIG.1.1 apresenta a ilustração de um europeu fumando cachimbo.

FIGURA 1.1 – Registro de um europeu fumando cachimbo em 1594 (www.ajaraujo.com.br)

Mudas da planta de tabaco também foram levadas para a Europa pelas expedições portuguesas difundindo o uso para muitos países da Europa, África e do Oriente (SINDITABACO, 2016) e se tornou um importante produto oferecido pela Companhia das Índias Ocidentais (BONATO, 2006).

O cultivo comercial do tabaco no Brasil, iniciou-se na Bahia com a finalidade de produto de trocas comerciais com a Europa, garantindo a mão-de-obra escrava para o cultivo e ao mesmo tempo o beneficiamento do açúcar (SILVEIRA, DORNELLES e FERRARI, 2012); este cultivo foi crescendo à medida em que se intensificava a necessidade de escravos. Pacotes de folhas secas ou rolos viravam moedas de troca com navios negreiros da Guiné e Angola durante o século XIX (CAETANO, 2003, MARQUES, 2011). A FIG. 1.2 é uma ilustração da colheita de folhas de tabaco no estado da Bahia.

FIGURA 1.2 – Ilustração da colheita do tabaco (<http://www.brasilcult.pro.br>)

Em 1674 foi criada a Junta de Administração do Tabaco com a finalidade legislativa e reguladora para a produção do tabaco, dando início à uma pesada tributação ao insumo. Neste período o tabaco nacional tinha três destinos: exportação do produto considerado de primeira e segunda qualidade para Lisboa, aproximadamente 60% da produção, e esta reexportada para os demais mercados consumidores da Europa; uma parte da classificada como de terceira qualidade era negociada com navios negreiros e o restante destinava-se ao consumo local (BONATO, 2006).

O tabaco e a aguardente eram consideradas produtos vitais no cotidiano escravagista, eram vistos como substâncias suavizadoras das árduas funções exercidas pelos escravos (AVELAR, 2010).

Após 1810 com a abertura dos portos às nações amigas do Brasil o cultivo da planta se desconcentrou e a partir de 1850 iniciou-se a produção nos estados de Minas Gerais, Rio Grande do Sul e Santa Catarina (SOUZA CRUZ, 2016; SINDITABACO, 2016).

A importância do tabaco está destacada também no brasão das Armas da República do Brasil que possui ramos de tabaco, FIG. 1.3 (SINDITABACO, 2016).

FIGURA 1.3 – Ramos de tabaco no Brasão das Armas da República (www2.planalto.gov.br)

No cenário atual, o Brasil é o segundo produtor mundial de tabaco e desde 1993 destaca-se como o maior exportador oferecendo produto de alta qualidade. Na safra 2014/15 foram registradas 692 mil toneladas de tabaco e 85% foram destinados ao mercado externo; 97 países consomem o tabaco brasileiro, sendo os principais compradores a União Europeia com 43%, seguida pelo Extremo Oriente (25%) e América do Norte (11%) (SINDITABACO, 2016).

O cultivo do tabaco representa uma importante atividade agrícola principalmente para os estados do Sul do Brasil que produz 95% do volume total de tabaco, distribuído em três estados - 51% no Rio Grande do Sul, 29% em Santa Catarina e 20% no Paraná. Os 5% restantes são cultivados nos Estados da Bahia e Alagoas, onde são encontradas as fábricas de charuto. O tabaco representou, em 2015, 1,14 % do total das exportações com um faturamento de mais de US\$ 2,19 bilhões (SINDITABACO, 2016).

A industrialização do tabaco introduziu no mercado novos produtos e derivados mais baratos tornando-os acessíveis a população de baixa renda. Outro grande popularizador do consumo do tabaco foram as guerras onde os cigarros eram sempre vistos nas mãos dos soldados (BONATO, 2006).

Outro grande responsável pela popularização dos derivados de tabaco, principalmente o cigarro a partir da década de 60 foi o setor cinematográfico, com filmes e propagandas que transformaram o ato de fumar em um fenômeno da moda (BONATO, 2006).

1.1 Tabagismo: questão de saúde pública

Considerado como uma doença neurocomportamental o tabagismo está associado a diversos distúrbios como ansiedade, depressão, problemas

psiquiátricos e baixa autoestima, além dos fatores culturais e genéticos que induzem ao ato de fumar. Não é um estilo de vida, charme, fator de sociabilidade ou expressão de livre arbítrio, as pessoas fumam não porque querem mas porque são dependentes (SILVA et al, 2016).

O tabagismo geralmente se inicia ainda na adolescência, antes de desenvolver plenamente o conhecimento sobre o poder viciante, as questões de saúde e mortalidade associados ao tabaco (HECHT, 2012).

O tabaco é a segunda droga mais consumida entre os estudantes brasileiros e segundo o próprio Governo é considerado uma importante porta de entrada para o uso das drogas ilícitas (INCA, 2011).

O uso de tabaco é uma das principais causas de doença e morte prematuras no mundo (HARRIS e ANTHENELLI, 2005), contribuindo para uma parcela considerável (4,1%) da carga global de doenças e vem aumentando rapidamente em países em desenvolvimento e entre as mulheres.

A principal malignidade associada ao consumo de tabaco é o câncer de pulmão, aproximadamente 90% dos casos. Estima-se que em 2016 foram diagnosticados 17.330 novos casos em homens e 10.890 em mulheres, e aproximadamente um 1.700.000 novos casos por ano no planeta, causando 1.400.000 mortes por ano (A.C.CAMARGO, 2017).

Além do câncer de pulmão o consumo do tabaco também está relacionado a diversos outros tipos de câncer, como o de colo de útero, da cavidade oral, de esôfago, de bexiga e o de laringe; e está associado também a doenças respiratórias e cardiovasculares. A incidência dessas doenças está relacionada ao tempo do hábito de fumar e com a quantidade de cigarros fumados por dia (INCA, 2017).

O tabagismo é responsável por 10% dos óbitos globais, sendo considerado a principal causa previsível de morbidade e mortalidade no mundo, gerando importante custo aos cofres públicos com consultas, hospitalizações, exames, procedimentos de alta complexidade e recursos humanos (PINTO e UGÁ, 2011).

Em 2001, por determinação do Governo brasileiro, foram incluídas nas embalagens de produtos de tabaco advertências sanitárias informando os malefícios do consumo de tabaco e o número de telefone do Disque Saúde – Pare de Fumar, como apresentado na FIG 1.4.

FIGURA 1.4 – Advertência sobre os malefícios dos cigarros. (www2.inca.gov.br)

Sabe-se que na fumaça do cigarro existem mais de 5.000 compostos químicos, sendo alguns agentes tóxicos, irritantes, inflamatórios e co-carcinogênicos, incluindo 73 compostos carcinogênicos (HECHT, 2012) e que na planta de tabaco existem metais tóxicos ao organismo humano, provenientes da absorção do solo, fertilizantes e pesticidas, e que no processo de industrialização do cigarro esses elementos podem ter suas concentrações aumentadas (TALIO, LUCONI e FERNANDEZ, 2011). A FIG. 1.5 é a imagem de advertência sobre a toxicidade da fumaça dos cigarros usadas nas campanhas de conscientização do Ministério da Saúde.

Mais de 20 substâncias presentes na fumaça do cigarro são conhecidas como carcinogênicas pulmonares, dentre elas estão os hidrocarbonetos aromáticos voláteis, metais como o cádmio e elementos químicos radioativos como o ^{210}Po . A nicotina é o principal composto químico responsável pela dependência do tabagista, mas não é considerado um causador de câncer de pulmão (HECHT, 2012).

FIGURA 1.5 – Advertência sobre a fumaça toxica dos cigarros. (www2.inca.gov.br)

Os efeitos nocivos do tabaco ultrapassam as gerações, aumentando os riscos de doenças respiratórias nas gerações futuras em até 3 vezes, mesmo que gerações intermediárias não tenham sido tabagistas; o não tabagista tem melhor qualidade de vida e vive 10 a 15 anos a mais (SILVA et al, 2016).

ZAGA, et al. (2011) cita que até a segunda metade do século XX o câncer de pulmão era considerado uma doença extremamente rara. Após esses período a doença teve um aumento tão rápido que passou a ser considerada uma epidemia em homens de países desenvolvidos; nos países que adotaram alguma medida de controle da dependência do tabaco nos anos cinquenta, a incidência de câncer de pulmão reduziu.

Os fumantes passivos também são de grande preocupação pois como estão expostos à fumaça do tabaco onde vivem ou trabalham também estão propensos a desenvolver câncer de pulmão, devido a inalação da corrente secundária produzida na combustão dos produtos de tabaco, sendo esta uma importante fonte de poluição ambiental (WÜNSCH FILHO, 2010).

A poluição tabagística ambiental é formada pela fumaça inalada pelo fumante, denominada corrente primaria e a fumaça que sai da ponta do cigarro, denominada corrente secundaria, sendo esta última corresponde a 96% do tempo total da queima dos derivados do tabaco (INCA, 2017).

Segundo informações do Ministério da Saúde (INCA, 2017) a fumaça inalada pelo não-fumante tem oito vezes mais monóxido de carbono, três vezes mais nicotina e até cinquenta vezes mais substâncias cancerígenas que a fumaça tragada pelo fumante.

Um estudo realizado com 400 amostras necrópsicas de mulheres não tabagistas que não tiveram mortes relacionadas à doenças respiratórias ou câncer, apresentou resultados com valores significativamente mais elevados de lesões pré-cancerosas no epitélio pulmonar em mulheres com cônjuges tabagistas do que as casadas com não fumantes (TRICHOPOULOS, 1992).

1.2 A toxicidade dos derivados do tabaco

Diversos trabalhos relatam a toxicidade dos derivados do tabaco, dentre eles alguns estudos prévios realizados no Brasil avaliaram e quantificam a presença de elementos tóxicos ao ser humano em amostras de cigarro brasileiro, como o trabalho de PERES (1999) que estudou a presença de ^{210}Pb e ^{210}Po , o de FRANCISCONI et al. (2011) que determinaram a presença de As, Se, Sb e Cr; e o de SILVA et al. (2013) que determinaram os teores de Cd, Hg e Pb.

EXLEY et al. (2006) verificaram elevados teores de alumínio em amostras de tabaco jamaicano. Os autores explicaram que o Al é volatilizado durante a queima do tabaco e entra nos pulmões na forma de partículas da porção gasosa da fumaça. Durante o processo de queima, o Al pode formar complexos gasosos que são rapidamente dissolvidos nas membranas celulares e entram assim no sistema orgânico e é eliminado pela urina. O Al particulado retido nos pulmões apresenta grande potencial de indução de reações inflamatórias. Por ação mucociliar este é removido dos pulmões para o intestino e posteriormente expelido do organismo, explicando assim o porquê de tabagistas apresentarem teores mais elevados de Al na urina do que os não fumantes.

PANTA et al. (2008) analisaram o conteúdo de Hg presente em amostras de cigarros, de charutos e de tabaco de mascar norte americanos e verificaram que os charutos apresentaram quantidade significativamente maiores que os cigarros e o tabaco de mascar. Os autores citam que a fumaça do cigarro é uma importante fonte de Hg devido à volatilidade do metal e que as concentrações do elemento

variaram com o tipo, local e forma como a planta de tabaco foi cultivada. A análise de Hg em produtos de tabaco é importante para a saúde humana e monitoramento ambiental.

PAPPAS (2011) fez um levantamento de diversos metais e metalóides tóxicos e ou cancerígenos presentes nos cigarros e derivados de tabaco não fumados, dentre eles o Al, As, Ba, Be, Cd, Cr, Cu, Fe, Pb, Mn, Hg, Ni, Co, e Si, podendo ser encontrados na forma iônica ou gasosa elementar. O autor ressalta o estudo de produtos de tabaco são importantes pois conferem riscos à saúde.

MOHAPATRA et al. (2014) em um estudo de metais pesados em cigarros indianos, constataram que o tabagismo é um contribuinte no desenvolvimento do câncer de mama. Esse estudo demonstrou a carcinogenicidade do Cd, um metal de grande citotoxicidade e capaz de transformar células epiteliais normais em células potencialmente carcinogênicas. Os autores citam também que além do Cd o Hg, Cr, Cu e Zn estão presentes no tabaco e também são considerados metais citotóxicos.

ELDRIDGE et al. (2015) estudaram a variabilidade de compostos tóxicos de três tipos de cigarros com o propósito de entender a representatividade ao longo de um período de tempo, e dentre os compostos tóxicos estudados estavam os metais Se, As, Hg, Cd, Ni, Cr, e Pb. Verificaram que o coeficiente de variação da concentração ficou abaixo de 15% para a maioria dos analitos estudados. Os elementos Hg e Se tiveram concentrações abaixo de 0,031 µg/g.

MILNEROWICZ et al. (2015) cita que na fumaça do tabaco existem mais de trinta metais, dentre eles o Al, As, Cd, Hg, Ni e Pb que são capazes de interferir nos processos celulares, nas reações bioquímicas e na homeostase celular, devido principalmente à suas capacidades de gerar radicais livres que promovem um desequilíbrio pro-oxidante/ antioxidante, induzindo assim uma resposta inflamatória no organismo.

O mercúrio é um dos metais pesados mais tóxicos presentes no meio ambiente e de fácil absorção como vapor pelos pulmões, penetrando facilmente pela barreira hematoencefálica e barreira placentária podendo causar danos ao

sistema nervoso central. O Hg também pode causar um desequilíbrio de cálcio celular, danificar mitocôndrias e consequentemente danos ou até a morte celular (MILNEROWICZ et al., 2015)

PIADÉ et al. (2015) analisaram o conteúdo de tabaco de 568 amostras de cigarros canadenses e segundo os autores a transferência de Cd, As e Pb para a fumaça é consideráveis. Citam também que o peso corporal de cádmio (quantidade de cádmio acumulada no organismo) em fumantes é duas vezes maior que em não fumantes, sendo esse fato observado quando se avalia a concentração do elemento no tecido ósseo. Associam o Cd ao câncer de pulmão, pâncreas, mama, próstata, endométrio e bexiga urinária e a doenças não cancerígenas dos rins e ossos.

Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS) tabagistas são mais expostos ao As do que os não-tabagistas, pois as plantas de tabaco absorvem o As presente naturalmente no solo, mas o uso de inseticidas ricos em arseniato de chumbo elevam o potencial de exposição do tabagista ao elemento (WHO, 2017).

A exposição prolongada ao As pode causar câncer de bexiga e de pulmão, dentre outros efeitos adversos a saúde como neurotoxicidade, diabetes, doenças pulmonares e cardiovasculares (WHO, 2017).

Além dos elementos considerados quimicamente tóxicos a saúde existem outros elementos que são essenciais para o crescimento da planta de tabaco que podem reagir durante a combustão do cigarro formando compostos halogenados tóxicos, como o Br e Cl. No tabaco foram identificados 242 compostos halogenados sendo destes 192 halogenados pelo Cl e 12 pelo Br (MÜLLER et al., 2011).

1.3 Radionuclídeos naturais no tabaco

Os radionuclídeos naturais das séries do ^{238}U e ^{232}Th , FIG. 1.6 e FIG1.7, são encontrados normalmente em baixas concentrações no tabaco provenientes do solo ou por deposição foliar (ABD EL-AZIZA, KHATERA E AL-SEWAIDAN, 2005; CHAUHAN E CHAUHAN, 2014). Desde a década de 60 alguns estudos relatam a presença de ^{210}Po e ^{210}Pb tanto na fase gasosa como na particulada da

fumaça de cigarros, ambos radionuclídeos filhos do ^{226}Ra e da série de decaimento natural do ^{238}U , (KILTHAU, 1996), FIG. 1.6.

As plantas de tabaco absorvem esses radionuclídeos do solo durante seu crescimento, mas além do solo outra forma de absorção é a deposição foliar principalmente do ^{210}Pb que é produto de decaimento do ^{222}Rn de ocorrência natural na atmosfera (KILTHAU, 1996; IWAOKA e YONEHARA, 2012; ZAGA, et al. 2011).

FIGURA 1.6 – Série de decaimento natural do ^{238}U (IVANOVICH e HARMON, 1992)

FIGURA 1.7 – Série de decaimento natural do ^{232}Th (IVANOVICH e HARMON, 1992)

Livre na atmosfera o ^{222}Rn , gás inerte, é encontrado no solo pelo decaimento do ^{226}Ra (série do ^{238}U) e escapa para o ar. Esse gás se liga a partículas de poeira que se acumulam nas folhas de tabaco. Estas por sua vez apresentam características que facilitam a impregnação desse radionuclídeo. As folhas de tabaco apresentam projeções pegajosas, resinosas, insolúveis em água em ambos os lados fazendo com que as folhas apresentem concentrações de até 10.000 vezes maiores que a concentração nas demais partes da planta (KARAGUEUZIAN et al., 2012). O ^{222}Rn produz em seu decaimento o ^{210}Pb que por sua vez decai para o ^{210}Po , este último responsável pela maior parte da

radioatividade dos cigarros. O ^{210}Pb e o ^{210}Po formam complexos insolúveis com a resina das folhas de tabaco altamente resistente a lavagem por precipitação ou processo de cura das folhas de tabaco (KARAGUEUZIAN et al., 2012; ZAGA, et al., 2011).

As concentrações desses radionuclídeos presentes nas plantas de tabaco variam conforme a região do plantio e com os métodos de cultivo da planta. Plantas de tabaco indianas apresentaram cinco vezes menos ^{210}Po do que plantas norte americanas. Essas diferenças consideráveis nas concentrações dos radionuclídeos se deve as diferentes precipitações naturais, a radioatividade natural do solo e diferenças do pH do solo cultivado e ao tipo de fertilização usada (KILTHAU, 1996; ZAGA, et al., 2011).

No ato de fumar ocorre a transferência desses radionuclídeos, por meio da queima do tabaco, para os tecidos e órgãos humanos (KILTHAU, 1996; ABD EL-AZIZA, KHATERA E AL-SEWAIDAN, 2005; CHAUHAN E CHAUHAN, 2014). O ^{210}Po e o ^{210}Pb são volatilizados à temperatura de queima dos cigarros (SAKODA, 2012) e se depositam nos tecidos pulmonares dos tabagistas gerando dose de radiação localizada superiores as doses naturais dos não-tabagistas. Esta exposição por longos períodos aumentam significativamente o risco de indução de lesões cancerígenas (KILTHAU, 1996).

Alguns estudos verificaram que a concentração de ^{210}Po na urina de fumantes é cerca de seis vezes maior que na de não fumantes e que a taxa de câncer de bexiga aumenta consideravelmente em relação aos que não fumam. Outros estudos mostram que concentrações de ^{210}Pb e ^{210}Po nas costelas e tecidos alveolares dos fumantes são cem vezes mais altas que nos não fumantes. O ^{210}Po também pode ser encontrado nos tecidos ósseos dos tabagista devido a sua afinidade relativamente alta por este tecido, aumentando o risco de leucemia e tornando este como um marcador tumoral (KILTHAU, 1996).

Alguns fertilizantes, principalmente os fosfatados, usados nas plantações de tabaco, podem alterar a fisiologia das plantas, modificando a absorção dos minerais do solo pelas raízes das plantas e consequentemente aumentando o teor de radionuclídeos absorvidos, dentre os quais o ^{226}Ra que

apresenta maior potencial de translocação e acúmulo na planta (CHAUHAN E CHAUHAN, 2014), e com isso, aumenta os teores do ^{210}Po e ^{210}Pb nas folhas de tabaco (KILTHAU, 1996).

Experimentos em plantas de feijão mostram que mais de 90% do ^{210}Pb depositado nas folhas ficam retidos na planta e aproximadamente 30% do ^{210}Po , e que pequenas concentrações do ^{210}Po se transloca para outras partes da planta (ATHALYE, 1972).

Um estudo realizado com charutos brasileiros apresentou concentrações médias de ^{210}Po (26 mBq g⁻¹) e de ^{210}Pb (15 mBq g⁻¹), maiores do que as encontradas em charutos cubanos (^{210}Po 5 mBq g⁻¹ e ^{210}Pb 2 mBq g⁻¹) e norte-americanos (^{210}Po 16,9 mBq g⁻¹ e ^{210}Pb 5,4 mBq g⁻¹) (KELECON, 2002).

Os filtros comumente encontrados nos cigarros comerciais retêm uma parte insignificante dos radionuclídeos, sendo praticamente toda a concentração desses encontradas na fumaça do cigarro inalada diretamente para os pulmões (KILTHAU, 1996). Cerca de 50% do ^{210}Po de um cigarro é transferido com a fumaça, 35% permanecem na bituca e 15% são encontrados nas cinzas (ZAGA, et al., 2011).

Segundo ZAGA, et al. (2011) citam que os níveis de ^{210}Po encontrado no sangue, urina, fígado, rim, coração, pulmão e alguns músculos e ossos chegam a ser até seis vezes maior que o de um não fumante.

Estudos realizados desde a década de 60 relatam a presença de ^{210}Po e ^{210}Pb tanto na fase gasosa como na particulada da fumaça de cigarros (KILTHAU, 1996; KARAGUEUZIAN et al., 2012), alertando sobre o risco potencial de câncer devido a radioatividade da fumaça do cigarro. Porém, as indústrias não alertaram os consumidores sobre este potencial risco, proibiram quaisquer publicações relacionadas à radioatividade do tabaco e resistiram às pesquisas de remoção desses radionuclídeos das folhas de tabaco, argumentando desacreditar na veracidade, reprodutibilidade e confiabilidade dos dados publicados (KARAGUEUZIAN et al., 2012).

Nos últimos anos a população brasileira vem se conscientizando dos diversos problemas de saúde causados pelo consumo de cigarros, graças às campanhas publicitárias. Porém, pouco se discute sobre o uso de outros derivados do tabaco, e dos problemas que estes também possam causar a saúde humana. Devido a estas mesmas campanhas publicitárias alertando sobre os perigos de cigarro, alguns derivados do tabaco, como narguilé ou tabaco de mascar, tiveram seu consumo aumentado, principalmente entre adolescentes e jovens, pelo simples fato de se pensar que se não há fumaça para ser tragada não ocorrerão problemas pulmonares (VIEGAS, 2008; RICKERT et al.; 2009).

O estudo da composição química inorgânica elementar, concentração de radionuclídeos naturais e a estimativa de dose gerada nos fumantes são realizados há muitos anos em todo o mundo, porém ainda existem poucos trabalhos na literatura sobre os derivados de tabaco produzidos, comercializados e consumidos no Brasil.

2 OBJETIVOS

O presente trabalho teve como objetivos a determinação dos radionuclídeos naturais ^{238}U , ^{226}Ra , ^{210}Pb e ^{210}Po da série de decaimento do ^{238}U , ^{232}Th e ^{228}Ra da série de decaimento do ^{232}Th e a concentração de elementos maiores e traços, Al, As, Ba, Br, Ca, Cd, Ce, Co, Cr, Cs, Eu, Fe, Hf, Hg, I, K, La, Lu, Mg, Mn, Nd, P, Rb, S, Sb, Sc, Se, Sm, Ta, Tb, Th, U, Yb e Zn em derivados da *Nicotiana tabacum* L. produzidos e comercializados no Brasil e também a dose efetiva anual devido ao uso destes derivados. As técnicas analíticas utilizadas foram a análise por ativação com nêutrons instrumental – INAA e fluorescência de raios X para a determinação de ^{238}U , ^{232}Th , elementos maiores e traços, a medida alfa e beta total após separação radioquímica para a determinação dos radionuclídeos ^{226}Ra , ^{210}Pb e ^{228}Ra , e espectrometria alfa após separação radioquímica para o radionuclídeo ^{210}Po .

3 PARTE EXPERIMENTAL

3.1 Amostragem

Todas as amostras analisadas de produtos derivados da *Nicotiana tabacum* L. foram adquiridas em comércios populares e tabacarias nacionais

Os derivados de tabaco escolhidos para a amostragem foram: cigarros não aromatizados, cigarros aromatizados (mentolados e de cravo), charutos, cigarros de palha (folhas de tabaco secas e desfiadas, envoltas em palhas de milho) e fumo de corda (folhas de tabaco secas enroladas – formato de rolo e desfiado; natural e aromatizado). O fumo de corda pode ser consumido queimado em cigarros de palha ou papel, em cachimbos ou na forma não queimada inalando o pó diretamente ou mascado. Além destes foram também analisados amostras de rapé que são folhas de tabaco torradas e moídas, em pó, podendo ser acrescido de outras substâncias como aromatizantes – forma de uso inalado. Na FIG. 3.1 são apresentados exemplos de derivados de tabaco: cigarros, cigarros de palha, charutos, fumo de corda em rolo e rapé, respectivamente

No total foram analisadas 82 amostras sendo 20 de cigarros convencionais, 9 de cigarros aromatizados, 14 de cigarros de palha, 6 charutos, 2 rapés e 31 de fumo de corda desfiado e em rolo.

Este trabalho buscou analisar uma grande variedade de derivados de tabaco para uma real caracterização dos principais produtos nacionais. Dentre os cigarros adquiridos foram analisados os produtos das três principais empresas do seguimento no mercado brasileiro, as principais e mais consumidas marcas, variações de preço e de intensidades.

FIGURA 3.1 - Exemplos de derivados de tabaco (a- cigarro; b- cigarro de palha; c – charuto; d – fumo de corda; e - rapé)

3.2 Metodologias Analíticas

Foram empregadas as técnicas analíticas: Análise por Ativação com Nêutrons Instrumental - INAA, Espectrometria de Fluorescência de Raios-X, para determinar dos elementos maiores, traços e terras raras; medida alfa e beta total e espectrometria alfa após separação radioquímica, para a determinação de ^{226}Ra , ^{210}Pb e ^{210}Po da série de decaimento natural do ^{238}U e ^{228}Ra da série de decaimento natural do ^{232}Th .

Para as técnicas analíticas INAA e EDXRF as amostras “in natura” foram retiradas de suas embalagens originais, removidos os papeis, palhas de milho e filtros, ficando exclusivamente a parte que continha o tabaco. Foram levadas a estufa a 50°C por aproximadamente 62 h e, posteriormente, maceradas e homogeneizadas em almofariz de vidro até ficarem na forma de pó, FIG. 3.2 – amostras secas e maceradas.

FIGURA 3.2 – amostras secas e maceradas.

3.2.1 Análise por Ativação com Nêutrons Instrumental (INAA)

A INAA é uma técnica analítica não destrutiva que permite determinar até 40 elementos químicos a partir do bombardeamento por nêutrons em um reator nuclear, formando radionuclídeos artificiais em um estado altamente excitado, estes por sua vez sofrem desintegração nuclear emitindo raios gamas característicos (BODE, 1996).

Consiste em uma técnica de análise multielementar utilizada em diferentes áreas e para diferentes materiais como produtos agrícolas, produtos ambientais, produtos industriais, arqueologia, entre outros (SUSSA, 2017).

Neste trabalho a análise por ativação com nêutrons foi utilizada para a determinação de 27 elementos, sendo eles: As, Ba, Br, Ca, Ce, Co, Cr, Cs, Eu, Fe, Hf, K, La, Lu, Na, Nd, Rb, Sb, Sc, Se, Sm, Ta, Tb, Th, U, Yb e Zn.

Aproximadamente de 250 mg de amostra foram pesados e acondicionadas em sacos de polietileno previamente limpos, FIG. 3.3. As amostras foram irradiados por um período de 6h, sob um fluxo de nêutrons térmicos de $10^{12} \text{ n cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ no Reator de Pesquisa IEA-R1 do IPEN (DAMATTO, 2010).

Junto com as amostras foram irradiados materiais de referência certificado: Soil 1 da Agência Internacional de Energia Atômica – IAEA, Montanna II Soil e Tomato Leaves ambos do Instituto Nacional de Padrões e Tecnologia – NIST (TAB. 3.1), as massas irradiadas dos materiais de referência foram aproximadamente 190 mg de cada um.

FIGURA 3.3 – Amostras acondicionadas para irradiação.

Os elementos As, Br, K, La, Na, Nd, Sb, Sm e U foram determinados após 7 dias da irradiação das amostras e os demais elementos após 15 dias. Utilizou-se um detector germânio hiperpuro (HPGe) com janela de berílio modelo da marca ORTEC, com sistema eletrônico associado, Multicanal 919E ETHERNIM da ORTEC, um computador com programa emulador de multicanal Maestro da ORTEC (Maestro, 2001) e programa de análise de espectros InterWinner-WinnerGamma 6.0 da ORTEC (ORTEC. INTERWINNERTM 6.0 MCA, 2004 para a medida dos emissores gama, e a FIG. 3.5 mostra um exemplo de espectro obtido na análise multielementar por INAA.

FIGURA 3.4 – Detectores de germânio hiperpuro (HPGe).

FIGURA 3.5 – Espectro obtido na análise multielementar por INAA

Os radioisótopos formados pela ativação foram identificados pelas suas energias de raios gama e as concentrações foram calculadas pela comparação de áreas de picos da amostra e dos padrões que foram ativados simultaneamente. Após a irradiação ambos são medidos em condição geométrica idêntica pelo detector. Para o cálculo foi utilizada a expressão (3.1) (BODE,1996).

$$C_{ai} = (A_a^i \cdot m_p \cdot C_{pi}) \cdot e^{\lambda \cdot (t_a - t_p)} / A_p^i \cdot m_a \quad (3.1)$$

Em que:

C_a^i : Concentração do elemento i na amostra em mg kg^{-1} ;

C_p^i : Concentração do elemento i no padrão em mg kg^{-1} ;

A_a^i : Atividade do elemento i na amostra em cps;

A_p^i : Atividade do elemento i no padrão em cps;

m_a e m_p : massas da amostra e padrão, respectivamente em g;

λ constante de decaimento do radioisótopo em min^{-1} ;

$t_a - t_p$: diferença de tempo entre as contagens da amostra e padrão em minutos

Na TAB 3.1 são apresentados os elementos determinados na INAA com suas respectivas concentrações nos materiais de referência em mg kg^{-1} , os radioisótopos formados na INAA com suas energias de raios gama utilizados na espectrometria gama e suas meias-vidas.

TABELA 3.1 – Elementos determinados por análise por ativação neutrônica, concentrações dos elementos nos materiais de referência (mg kg^{-1}), radioisótopos formados na ativação, energia dos raios gama utilizados na espectrometria gama e meias-vidas.

Elemento	Soil 1	Montanna II Soil	Tomato Leaves	Radioisótopo	E (KeV)	Meia Vida
As	$27,6 \pm 2,9$	107 ± 5	$0,112 \pm 0,004$	^{76}As	559,1	26,32h
Ba	639 ± 53	730 ± 15	63	^{131}Ba	496,33	11,8d
Br			1300	^{82}Br	554 e 776	35,5h
Ca		24200 ± 600	50500 ± 900	^{47}Ca	1296,09	4,54d
Ce	117 ± 17	$6,7 \pm 0,2$	2	^{141}Ce	145,44	32,5d
Co	$19,8 \pm 1,5$	$9,89 \pm 0,18$	$0,57 \pm 0,02$	^{60}Co	1173,24 e 1332,5	5,72a
Cr	104 ± 9	$52,3 \pm 2,9$	$1,99 \pm 0,006$	^{57}Cr	320,08	27,7d
Cs	$7 \pm 0,9$		0,053	^{134}Cs	795,85	2,06a
Eu	$1,6 \pm 0,5$	$1,1 \pm 0,2$		^{152}Eu	121,78 e 1408,01	13,33a
Fe	67400 ± 1700	28200 ± 400	368 ± 7	^{59}Fe	1099,25 e 1291,6	44,5d
Hf	$4,2 \pm 0,6$	$9,2 \pm 0,2$	0,14	^{181}Hf	482,18	742,39d
K	14500 ± 2100	25300 ± 1000	27000 ± 500	^{42}K	1524,7	12,36h
La	$52,6 \pm 3,1$	38 ± 1	2,3	^{140}La	328,76 e 1596,21	44,5d
Lu	$0,54 \pm 0,13$			^{177}Lu	208,37	6,71d
Na	1700 ± 100	12000 ± 100	136 ± 4	^{24}Na	1368,68	14,95h
Nd		29 ± 2		^{147}Nd	91,1 e 531,02	10,98d
Rb	113 ± 11	120 ± 3	$14,89 \pm 0,27$	^{86}Rb	1076,64	18,66d
Sb	$1,31 \pm 0,12$	$23,8 \pm 1,4$	$0,063 \pm 0,006$	^{122}Sb	564,12	2,7d
Sc	$17,3 \pm 1,1$	$8,5 \pm 0,1$	0,1	^{46}Sc	889,28	83,81d
Se	$2,85 \pm 0,14$	2	$0,054 \pm 0,003$			
Sm	$9,25 \pm 0,51$	$5,93 \pm 0,28$	0,19	^{153}Sm	103,18	46,27h
Ta	$1,58 \pm 0,58$	1		^{182}Ta	1189,05 e 1221,41	114,5d
Tb	$1,4 \pm 0,46$	0,8		^{160}Tb	879,38	72,3d
Th	14 ± 1	15 ± 1	0,12	^{233}Th	312,01	27d
U	$4,02 \pm 0,33$	$3,01 \pm 0,12$	0,035	^{239}Np	228,18 e 277,6	2,36d
Yb	$3,42 \pm 0,65$	3		^{169}Yb	177,21 e 197,98	32,02d
Zn	223 ± 20	414 ± 11	$30,9 \pm 0,7$	^{65}Zn	1115,6	243,9d

Os valores apresentados sem os respectivos desvios padrões correspondem a valores informativos

3.2.2 Espectrometria de Fluorescência de Raios-X (EDXRF)

A técnica de EDXRF foi usada para determinação das concentrações de elementos químicos Al, As, Ba, Br, Ca, Cd, Ce, Cl, Co, Cr, Cs, Cu, Fe, Hg, K, La, Mg, Mn, Ni, Nd, P, Pb, Rb, S, Sb, Se, Sm, Sr, Th, U, Zn, sendo uma técnica não destrutiva e sem necessidade de pré-tratamentos. As amostras foram colocadas em um suporte para amostra com filme de polipropileno.

O equipamento utilizado foi o EDX-720 da Shimadzu Corporation do Centro de Química e Meio Ambiente do IPEN/CNEN-SP, e os parâmetros de operação foram: tubo de raios X de Ródio, tensão de Na a Sc de 15 kV e de Ti a V de 50 kV; corrente ajustada automaticamente de no máximo 1mA; colimador de 5 mm; detector de Si-Li; resfriamento com N₂ líquido; tempo de medida de 100 s e 6 repetições por amostra (BONA et al, 2007).

Para calcular a curva de calibração e verificar a precisão e exatidão da metodologia foram utilizados três materiais de referência: Tomato Leaves e Peach Leaves ambos do Instituto Nacional de Padrões e Tecnologia – NIST e o Sargasso (CRM nº9) do Instituto Nacional para Estudos Ambientais – NIES.

Na TAB3.2 são apresentados os elementos determinados pelo método EDXRF com suas respectivas concentrações nos materiais de referência (mg kg⁻¹ e %).

TABELA 3.2 – Concentrações nos materiais de referência (mg kg^{-1} , *%), usados na calibração e validação dos resultados pela análise por EDXRF.

Elemento	Peach Leaves	Sargasso	Tomato Leaves
Al	249 $\pm$ 8	215	598 $\pm$ 12
As	115 $\pm$ 9	107 $\pm$ 5	0,112 $\pm$ 0,004
Ba	124 $\pm$ 4		63
Br	11	270	1300
*Ca	1,56 $\pm$ 0,02	1,34 $\pm$ 0,05	5,05 $\pm$ 0,09
Cd	0,03	0,15 $\pm$ 0,02	1,52 $\pm$ 0,04
Ce	10		2
Cl	360 $\pm$ 19	51.000	6600
Co	0,07	0,12 $\pm$ 0,01	0,57 $\pm$ 0,02
Cr	1	0,2	1,99 $\pm$ 0,006
Cs		0,04	0,053
Cu	3,7 $\pm$ 0,4	4,9 $\pm$ 0,2	4,70 $\pm$ 0,14
Fe	220	187 $\pm$ 6	368 $\pm$ 7
Hg	0,031 $\pm$ 0,007	0,04	0,034 $\pm$ 0,004
I	0,3	520	0,85
*K	2,43 $\pm$ 0,03	6,10 $\pm$ 0,20	2,7 $\pm$ 0,05
La	9		2,3
*Mg	0,432 $\pm$ 0,008	0,65 $\pm$ 0,03	1,2
Mn	98 $\pm$ 3	21,2 $\pm$ 1,0	246 $\pm$ 8
Na	24 $\pm$ 2	1,70 $\pm$ 0,08	136 $\pm$ 4
Nd	7		
Ni	0,69 $\pm$ 0,09		1,59 $\pm$ 0,07
*P		0,26	0,216 $\pm$ 0,004
Pb	0,87 $\pm$ 0,03	1,35 $\pm$ 0,05	
Rb	19	24 $\pm$ 2	14,89 $\pm$ 0,27
*S	0,2	1,2	0,96
Sb	0,02	0,04	0,063 $\pm$ 0,006
Se	0,120 $\pm$ 0,009	0,05	0,054 $\pm$ 0,003
Sm	1		0,19
Sr	53 $\pm$ 4	0,100 $\pm$ 0,003	85
Th	0,05		0,12
U	0,015	0,4	0,035
V	0,37 $\pm$ 0,03	1,0 $\pm$ 0,1	0,835 $\pm$ 0,010
Zn	17,9 $\pm$ 0,4	15,6 $\pm$ 1,2	30,9 $\pm$ 0,7

Os valores apresentados sem os respectivos desvios padrões correspondem a valores informativos

3.2.3 Metodologia de determinação ^{226}Ra , ^{228}Ra e ^{210}Pb

Na determinação dos radionuclídeos ^{226}Ra , ^{228}Ra e ^{210}Pb foi utilizada a metodologia de medida alfa e beta total após separação radioquímica por apresentar como característica principal uma baixa radiação de fundo e consequentemente um limite inferior de detecção também baixo, ideal para quantificar radionuclídeos em amostras ambientais (OLIVEIRA, 1993)

A análise sequencial dos radionuclídeos é composta por pré-tratamento da amostra, separação radioquímica dos radionuclídeos por coprecipitações, determinação dos rendimentos químicos do método e medida alfa e beta total. A técnica também é vantajosa por eliminar cátions interferente de elementos químicos estáveis como o Al^{3+} , o Fe^{3+} , o Ca^{2+} entre outros e outros radionuclídeos naturais (OLIVEIRA, 1993).

3.2.3.1 Determinação de ^{226}Ra e ^{228}Ra

As amostras foram retiradas de sua embalagem, removidos o papel envolvente e filtro, em seguida pesadas em balança analítica, aproximadamente 2,5g de cada amostra, em béqueres codificados (FIG. 3.6), adicionados aproximadamente 50 mL de HNO_3 conc. (PA), 1 mL de carregador de Ba^{2+} (20 mg Ba mL^{-1}) e 1 mL de carregador de Pb^{2+} (20 mg Pb mL^{-1}) e deixadas em repouso por aproximadamente 48 horas para digestão a frio. Após este período as amostras foram levadas à chapa aquecedora em temperatura de aproximadamente 200°C , para dissolução e adicionou-se H_2O_2 40% para eliminação da matéria orgânica (FIG. 3.7).

FIGURA 3.6 – Amostras de derivados de tabaco pesadas

FIGURA 3.7 - Amostras em processo de dissolução (a) e eliminação da matéria orgânica (b)

As amostras foram transferidas para béqueres de 2 L e o volume elevado a 1 L. Adicionou-se 70 mL de ácido sulfúrico 3 mol L⁻¹ sob agitação para a precipitação; aguardou-se até o dia seguinte para decantar todo o precipitado. O sobrenadante foi descartado com uso de uma bomba à vácuo e o precipitado foi transferido para tubo de centrifuga com ajuda água superpura para lavagem; centrifugado a 2000 rpm por 10 min. O sobrenadante resultante foi descartado e o precipitado foi lavado com ácido sulfúrico 0,1 mol L⁻¹. Novamente a amostra foi centrifugada e descartado o sobrenadante.

Ao precipitado foram adicionados 2,0 g de ácido nitrilotriacético – NTA (Titriplex I), 40 mL de água superpura, indicador vermelho de metila e 7 mL de NaOH 6 mol L⁻¹, em seguida foi aquecido em banho-maria até a solubilização total do precipitado. Adicionou-se 5 mL de sulfato de amônio (25 g L⁻¹) e ácido acético glacial para ajuste do pH entre 4,5 – 5,0, precipitando assim o sulfato de bário e rádio e mantendo o chumbo complexado em solução. Deixou-se a solução decantar até o dia seguinte.

No dia seguinte a solução foi centrifugada a 2000 rpm por 10 min e o sobrenadante foi separado para análise de chumbo. O precipitado foi lavado com acetato de amônio 20% e centrifugado novamente, sendo o sobrenadante resultante adicionado ao anterior.

Adicionou ao precipitado de sulfato de bário e rádio 2,0 g de ácido diaminotetraacético sal dissódico (EDTA), 40 mL de água e 7 mL de hidróxido de amônio 25%. Em seguida a amostra foi levada à chapa aquecedora em banho-maria até a solubilização total do precipitado. Adicionou-se 5 mL de sulfato de amônio (25 g L⁻¹) e ácido acético glacial precipitando novamente o sulfato de bário e rádio final. No dia seguinte a solução foi filtrada com filtro de fibra de vidro, FIG. 3.8.

FIGURA 3.8 – Precipitado de Ba(Ra)SO₄

O ²²⁶Ra e o ²²⁸Ra foram determinado após 21 dias da precipitação usando a medida alfa e beta total do precipitado de sulfato de bário e rádio respectivamente em um detector proporcional de fluxo gasoso de baixa radiação de fundo.

A concentração de atividade do ²²⁶Ra foi determinada pela expressão (3.2):

$$A(^{226}\text{Ra}) = \frac{R_a - R_0}{R_q \cdot E \cdot m \cdot \text{fabs} \cdot [1 + k(1 - e^{-\lambda t})]} \quad (3.2)$$

Em que:

A (²²⁶Ra) = concentração de atividade de ²²⁶Ra na amostra em mBq g⁻¹

R_a = taxa de contagem total da amostra em cps

R₀ = taxa de contagem da radiação de fundo em cps

R_q = rendimento químico

E = eficiência de contagem em cpm dps⁻¹

m = massa da amostra em g

fabs (²²⁶Ra) = coeficiente de auto absorção do ²²⁶Ra no precipitado de Ba(Ra)SO₄

λ = constante de desintegração do ²²²Rn (0,181d⁻¹)

t = tempo transcorrido entre a precipitação do Ba(Ra)SO₄ e a contagem em dias

k = constante de auto absorção

O rendimento químico (R_q) do procedimento foi determinado gravimetricamente a partir da massa de carregador de bário adicionado; 1 mL de carregador de bário (20 mg mL⁻¹) correspondente à 34,0 mg Ba(Ra)SO₄.

A concentração de atividade de ^{228}Ra foi determinada segundo a expressão (3.3):

$$A(^{228}\text{Ra}) = \frac{R_n - B_g}{60 \cdot R_q \cdot \text{Ef}\beta(^{228}\text{Ra}) \cdot m} - \frac{\text{Ef}\beta(^{226}\text{Ra}) \cdot A(^{226}\text{Ra})}{\text{Ef}\beta(^{228}\text{Ra})} \quad (3.3)$$

Em que:

$A(^{228}\text{Ra})$ = concentração de atividade do ^{228}Ra , em mBq.g^{-1} ;

R_n = taxa de contagem beta total obtida em cps;

B_g = taxa de radiação de fundo beta total em cps;

R_q = rendimento químico;

$\text{Ef}\beta(^{228}\text{Ra})$ = eficiência de contagem beta total, calculada pela medida de um precipitado padrão de $\text{Ba}(^{228}\text{Ra})\text{SO}_4$ em dps^{-1} ;

$\text{Ef}\beta(^{226}\text{Ra})$ = eficiência de contagem beta total, calculada pela medida de um precipitado padrão de $\text{Ba}(^{226}\text{Ra})\text{SO}_4$ em dps^{-1} ;

$A(^{226}\text{Ra})$ = concentração de atividade calculada para o ^{226}Ra , em Bq g^{-1} ;

m = massa da amostra em g

3.2.3.2 Determinação do ^{210}Pb (MOREIRA, 1993)

A solução de chumbo complexado foi aquecida em banho-maria e adicionado 1 mL de sulfeto de sódio (Na_2S) 1 mol L^{-1} , precipitando sulfeto de chumbo.

Após a decantação do precipitado, a suspensão foi centrifugada a 2000 rpm por 30 min, o sobrenadante foi descartado, o precipitado lavado com água superpura. O processo de centrifugação foi repetido e descartado o sobrenadante. O precipitado foi dissolvido com ácido nítrico concentrado a quente.

A solução foi filtrada com papel qualitativo com auxílio de água superpura e adicionou-se ao filtrado acetato de amônio 40% até ajuste do pH entre 4,5 – 5,0. Aqueceu-se a solução até ebulição e adicionou-se 2,5 mL de cromato de sódio 30%, precipitando o chumbo na forma de cromato. No dia seguinte após decantação, a mistura foi filtrada a vácuo com filtro de fibra de vidro, FIG. 3.9.

FIGURA 3.9 – Precipitado de PbCrO_4

O rendimento químico do procedimento também foi determinado gravimetricamente a partir da massa de carregador de chumbo adicionado; 1 mL de carregador de Pb (20 mg Pb mL^{-1}) corresponde a uma massa de 31,2 mg PbCrO_4 . O ^{210}Pb foi determinado após 10 dias da precipitação, pela medida beta total do precipitado PbCrO_4 , em um detector proporcional de fluxo gasoso de baixa radiação de fundo, FIG. 3.10.

FIGURA 3.10 – Detector proporcional de fluxo gasoso de baixa radiação de fundo.

A concentração de atividade de ^{210}Pb foi determinada segundo a expressão (3.4):

$$A(^{210}\text{Pb}) = \frac{R_a - R_0}{R_q \cdot E \cdot m \cdot (1 - e^{-\lambda t})} \quad (3.4)$$

Em que:

$A(^{210}\text{Pb})$ = concentração de atividade de ^{210}Pb na amostra em mBq g^{-1}

R_a = taxa de contagem total da amostra em cpm

R_0 = taxa de contagem da radiação de fundo em cpm

R_q = rendimento químico

E = eficiência de contagem em cpm dps⁻¹

m = massa da amostra em g

t = tempo transcorrido entre a precipitação do PbCrO_4 e a contagem em dias

λ = constante de desintegração do ^{210}Bi ($0,183\text{d}^{-1}$)

3.2.3.3 Determinação do ^{210}Po

A análise de ^{210}Po neste trabalho foi realizada por espectrometria alfa, após deposição espontânea em disco de cobre segundo Nieri Neto, (1996), que cita que uma importante propriedade do polônio é a sua deposição espontânea em diversas superfícies metálicas, como o cobre, níquel ou prata, a partir de soluções ácidas, proporcionando a separação do polônio dos demais radionuclídeos naturais. Outra vantagem do método é a deposição homogênea de camada fina sendo possível a realização de espectrometria alfa após a deposição (MOREIRA, 1993; NIERI NETO, 1996).

O rendimento químico pode ser determinado adicionando ao método um traçador de polônio (NIERI NETO, 1996), que nesta metodologia foi usado o traçador ^{209}Po .

As amostras foram retiradas de sua embalagem, removidos o papel envolvente e filtro, em seguida pesadas em balança analítica, aproximadamente 3,0g de cada amostra, em béqueres previamente codificados, adicionados aproximadamente 50 mL de HNO_3 conc. (PA), 0,1 mg de traçador ^{209}Po , deixadas em repouso por aproximadamente 48 horas para digestão a frio. Após este período as amostras foram levadas à chapa aquecedora em temperatura de aproximadamente 70°C, para dissolução e adicionou-se H_2O_2 40% para eliminação da matéria orgânica.

Mantiveram-se as amostras na chapa aquecida em temperatura de aproximadamente 70°C até a secura e posteriormente foi feita a mudança do meio para clorídrico com a adição de 5mL de HCl 6,25 mol L⁻¹ e levado novamente a secura por três vezes, após foi elevado o volume com acréscimo de água super pura a um volume de 200 mL.

Após o resfriamento da amostra adicionou-se 0,5 g de ácido ascórbico e o ajustou o pH na faixa de 1,5 a 2,0 com auxílio de HCl ou NH_4OH . Na solução foi

colocada a cela de deposição com o disco de cobre previamente polido e limpo e levado a agitação contínua e temperatura de aproximadamente 70°C por 4 horas para a deposição espontânea dos dois isótopos de polônios, FIG.3.11.

FIGURA 3.11 – Deposição espontânea de ^{209}Po e ^{210}Po sob agitação.

Após a deposição o disco foi retirado, lavado com água superpura e seco em chapa aquecedora a 70°C, FIG. 3.12.

FIGURA 3.12 – ^{209}Po e ^{210}Po depositados

A medida da atividade foi feita em um espectrômetro alfa com detector de barreira de superfície por 150.000 segundos da marca Camberra, FIG.3.13.

FIGURA 3.13 - Espectrômetro alfa

FIGURA 3.14 - Espectro obtido na análise de ^{210}Po

O cálculo da concentração de atividade do ^{210}Po foi determinado pela expressão (3.5).

$$A^{210}\text{Po} = \frac{cpsa \cdot mt \cdot At}{cpst \cdot ma} \quad (3.5)$$

Em que:

$A^{210}\text{Po}$ = concentração de atividade ^{210}Po na amostra em mBq g^{-1}

At = atividade do traçador de ^{209}Po mBq g^{-1}

cpsa = taxa de contagem total da amostra em cps

cpst = taxa de contagem do traçador de ^{209}Po em cps

mt = massa do traçador em g

ma = massa da amostra em g

3.3 Avaliação de Dose

Para o cálculo da dose anual estimada foi levado em consideração que um cigarro tem aproximadamente 0,5 g de tabaco e que um fumante consome um maço de cigarro por dia contendo 20 cigarros, portanto uma massa de 10 g de tabaco por dia ou 3,65 kg por ano. As frações ingeridas dos radionuclídeos estudados, da fumaça para os pulmões, seguiram os indicados na referência bibliográfica atual: ^{210}Po de 0,5 (TAHIR, 2008) e de ^{210}Pb de 0,2 (BEGY, 2015). Para o cálculo da dose anual estimada foi utilizada a seguinte expressão (3.6):

$$D = Ma \times A \times FCD \times FI \quad (3.6)$$

Em que:

D: Dose anual estimada em Sv ano^{-1} ;

Ma: massa de tabaco consumida por ano em kg;

A: concentração de atividade média calculada em mBq g^{-1}

FCD: fator de conversão de dose para o radionuclídeo em Sv Bq^{-1} ;

FI: fração ingerida do radionuclídeo

Os valores de FCD foram obtidos da Publicação 119 do ICRP (International Committee Radiological Protection), $1,0 \times 10^{-6} \text{ Sv Bq}^{-1}$ para o ^{210}Pb e de $3,3 \times 10^{-1} \text{ Sv Bq}^{-1}$ para o ^{210}Po (ICRP, 2013).

Para o cálculo da dose anual efetiva (D_A) foi usada a expressão (3.7)

$$D_A = D_{Po} + D_{Pb} \quad (3.7)$$

Em que:

D_A : Dose anual efetiva em μSv

D_{Po} : Dose efetiva para o radionuclídeo ^{210}Po em μSv

D_{Pb} : Dose efetiva para o radionuclídeo ^{210}Pb em μSv

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise por Ativação com Nêutrons Instrumental – INAA

4.1.1 Precisão e exatidão da INAA

Para verificação da precisão e exatidão da metodologia foram utilizados os materiais de referencia (Soil 1, Montanna II e Tomato Leaves), calculando-se a concentração de um padrão em função dos outros dois: Soil 1 em função do Montanna II e Tomato Leaves; Montanna II em função do Soil 1 e Tomato Leaves; e Tomato Leaves em função do Soil 1 e Montanna II. Os cálculos foram realizados em dez medidas para cada padrão.

Nas TAB. 4.1, 4.2 e 4.3 são apresentados os valores de concentração para os elementos determinados nos materiais de referência analisados. A precisão do metodo variou 2 a 20% para o Soil 1, de 2 a 20% para o Montanna II e 3 a 18% para o Tomato Leaves. A exatidão do método variou de 2 a 28% para o Soil 1, 1 a 17% para o Montanna II e 1 a 13% para o Tomato Leaves.

Calculou-se o erro relativo (ER) das medidas para avaliar a exatidão e o desvio padrão relativo (DPR) para avaliar a precisão do método, seguindo as expressões, 4.1 e 4.2 respectivamente.

$$ER = \frac{Ci - C_{iref}}{C_{iref}} \times 100 \quad (4.1)$$

Em que

- ER: erro relativo expresso em porcentagem;
- Ci: concentração do elemento de interesse medido no padrão de referência;
- C_{iref}: valor de referência do elemento de interesse no padrão.

$$DPR = \frac{S}{\bar{x}} \cdot 100 \quad (4.2)$$

Em que:

DPR: desvio padrão relativo em %

S: desvio padrão dos resultados de concentração material de referência;

x: media dos resultados de concentração do material de referência

TABELA 4.1 – Concentrações médias calculadas e concentrações certificadas, em mg kg^{-1} , para o material de referência Soil 1 utilizando Montanna II e Tomato Leaves como padrões.

Elemento	Valor Calculado	Valor Certificado	DPR	ER
As	30 ± 2	$27,6 \pm 2,9$	13	10
Ba	666 ± 82	639 ± 53	20	4
Ce	97 ± 8	117 ± 17	14	17
Co	$16,7 \pm 0,5$	$19,8 \pm 1,5$	12	16
Cr	100 ± 9	104	18	4
Cs	$6,0 \pm 0,4$	7,0	10	14
Eu	$1,6 \pm 0,3$	1,6	13	7
Fe	64103 ± 2033	67400 ± 1700	14	5
Hf	$4,7 \pm 0,5$	4,2	8	13
K	14985 ± 2065	14500	15	3
La	49 ± 2	$52,6 \pm 3,1$	11	7
Lu	$0,50 \pm 0,02$	0,54	14	8
Na	1616 ± 101	1700	12	5
Rb	115 ± 9	113 ± 11	14	2
Sb	$1,3 \pm 0,2$	1,31	18	2
Sc	$16,0 \pm 0,3$	17,3	5	7
Sm	$8,0 \pm 0,3$	9,25	14	14
Tb	$1,3 \pm 0,2$	1,4	13	8
Th	14 ± 2	14 ± 1	12	2
U	$2,9 \pm 1,1$	4,02	12	28
Yb	$3,0 \pm 0,1$	3,42	10	13
Zn	229 ± 9	223 ± 20	2	2

DPR = Desvio padrão relativo e ER = erro relativo. Os valores apresentados sem os respectivos desvios padrões correspondem a valores informativos.

TABELA 4.2 – Concentrações médias calculadas e concentrações certificadas, em mg kg^{-1} , para o material de referência Montanna II utilizando Soil 1 e Tomato Leaves como padrões.

Elemento	Valor Calculado	Valor Certificado	DPR	ER
As	101 $\pm$ 11	107 $\pm$ 5	10	6
Ba	720 $\pm$ 99	730 $\pm$ 15	15	5
Ca	29707 $\pm$ 3495	24200 $\pm$ 600	4	12
Ce	77 $\pm$ 6	70	11	9
Co	9,1 $\pm$ 0,3	9,89 $\pm$ 0,18	8	7
Cr	49 $\pm$ 5	52,3 $\pm$ 2,9	2	6
Cs	6,8 $\pm$ 0,9	6,7 $\pm$ 0,2	12	2
Eu	1,0 $\pm$ 0,3	1,1	12	10
Fe	29488 $\pm$ 826	28200 $\pm$ 400	6	4
Hf	9,1 $\pm$ 0,7	9,2	15	2
K	26518 $\pm$ 4400	25300 $\pm$ 1000	12	5
La	40 $\pm$ 2	38	4	5
Lu	0,5 $\pm$ 0,1	0,5	17	7
Na	11123 $\pm$ 782	12000 $\pm$ 100	16	7
Rb	126 $\pm$ 11	120 $\pm$ 3	19	5
Sb	24 $\pm$ 2	23,8 $\pm$ 1,4	13	1
Sc	8,4 $\pm$ 0,3	8,5	20	1
Sm	6,0 $\pm$ 0,3	5,93 $\pm$ 0,28	12	1
Tb	0,9 $\pm$ 0,1	0,8	13	17
Th	15 $\pm$ 2	15 $\pm$ 1	12	1
U	3,4 $\pm$ 0,2	3,01 $\pm$ 0,12	14	11
Yb	3,2 $\pm$ 0,2	3	9	6
Zn	423 $\pm$ 11	414 $\pm$ 11	5	4

DPR = Desvio padrão relativo e ER = erro relativo. Os valores apresentados sem os respectivos desvios padrões correspondem a valores informativos.

TABELA 4.3 – Concentrações médias calculadas e concentrações certificadas, em mg kg⁻¹, para o material de referência Tomato Leaves utilizando Soil 1 e Montanna II como padrões.

	Valor Calculado	Valor Certificado	DPR	ER
Ba	66 ± 10	63	8	4
Ca	50770 ± 660	50500 ± 900	3	1
Ce	1,9 ± 0,3	2	17	7
Co	0,64 ± 0,04	0,57 ± 0,02	5	13
Cr	2,0 ± 0,2	1,99 ± 0,006	10	1
Fe	366 ± 19	368 ± 7	3	1
Hf	0,14 ± 0,02	0,14	9	1
K	27545 ± 5429	27000 ± 500	5	2
La	2,2 ± 0,1	2,3	13	5
Na	141 ± 13	136 ± 4	8	3
Rb	14 ± 1	14,89 ± 0,27	18	7
Sc	0,102 ± 0,004	0,1	7	2
Sm	0,20 ± 0,02	0,19	10	7
Th	0,12 ± 0,03	0,12	16	1
Zn	27 ± 2	30,9 ± 0,7	9	11

DPR = Desvio padrão relativo e ER = erro relativo. Os valores apresentados sem os respectivos desvios padrões correspondem a valores informativos.

Foi utilizado o critério estatístico do Z-score para verificar os valores calculados com os valores referenciais para verificar a exatidão da metodologia. O cálculo da diferença padronizada ou valor de Z-score (Z) (BODE, 1996) foi calculado pela seguinte expressão (4.3):

$$Z = \frac{C_i - C_{iref}}{S_i} \quad (4.3)$$

Em que:

C_i: concentração média do elemento de interesse medido na padrão de referência;

C_{iref}: valor de referência do elemento de interesse no padrão;

S_i: desvio padrão do elemento de interesse medido no padrão de referência;

Usou-se a concentração média de dez medidas de cada padrão para os cálculos do Z-score. Os valores são apresentados nas FIG. 4.1, 4.2 e 4.3.

Para $|Z| < 2$ os resultados são considerados satisfatórios; $2 < |Z| \leq 3$ os resultados são considerados questionáveis e $|Z| > 3$ os resultados são considerados insatisfatórios.

FIGURA 4.1 – Z score material de referência Soil 1 pela INAA.

FIGURA 4.2 – Z score material de referência Montanna II pela INAA.

FIGURA 4.3 – Z score material de referência Tomato Leaves pela INAA.

4.1.2 Determinação do limite inferior de detecção (LID)

Os limites de detecção para os elementos determinados por INAA foram calculados utilizando os materiais de referência SL1, Montanna II e Tomato Leaves, segunda a expressão (4.4)

$$LID = \frac{3C_{ref} \cdot \sqrt{Bg}}{T \cdot C \cdot M} \quad (4.4)$$

Em que:

LID: limite inferior de determinação (mg kg^{-1});

C_{ref} : valor certificado do elemento no padrão (mg kg^{-1});

Bg: contagens da radiação de fundo do elemento analisado (contagens);

T: tempo de contagem (s);

C: contagens do elemento de interesse (cps)

M: massa da amostra.

Os valores obtidos são apresentados na TAB. 4.4.

TABELA 4.4 – Limites inferiores de determinação para os elementos estudados por INAA, em mg kg⁻¹, para os materiais de referência Soil 1, Montanna II e Tomato Leaves.

Elementos	Soil1	Montanna II	Tomato Leaves
As	1,4	1,8	*
Ba	103	96	39
Br	-	-	5,2
Ca	-	7192	7147
Ce	3,01	1,9	0,79
Co	0,71	0,49	0,13
Cr	4,42	2,9	0,82
Cs	0,80	-	0,04
Eu	0,09	0,09	-
Fe	937	643	140
Hf	0,29	0,34	0,09
K	3860	3020	6388
La	0,75	0,62	0,53
Lu	0,05	-	-
Na	19	41	44
Nd	-	32	-
Rb	13	11	4,5
Sb	0,21	16	*
Sc	0,13	0,95	0,01
Se	0,41	0,29	-
Sm	0,45	0,68	0,04
Ta	0,47	0,22	-
Tb	0,12	0,05	-
Th	0,38	0,38	*
U	0,64	0,48	-
Yb	0,62	0,30	-
Zn	13	18	5,3

* não determinado

- não possui valores de referência do elemento na padrão

4.2 Espectrometria de Fluorescência de Raios-X (EDXRF)

4.2.1 Precisão e exatidão da EDXRF

A curva de calibração foi ajustada a partir das leituras dos padrões. Foram realizadas sete leituras para cada elemento analisado dos três padrões e calculado valores médios que foram comparados com os valores certificados dos padrões.

Para verificar a precisão das medidas foi aplicado o desvio padrão relativo (DPR), o qual é uma medida normalizada de dispersão de uma distribuição de probabilidade ou de frequência, calculado pela expressão (4.5).

$$DPR = \frac{S}{\bar{x}} \cdot 100 \quad (4.5)$$

Em que:

DPR: desvio padrão relativo em %

S: desvio padrão dos resultados de concentração material de referência;

x: média dos resultados de concentração do material de referência;

Também foi calculado o erro relativo (ER) das medidas para avaliar a exatidão do método, seguindo a expressão (4.6):

$$ER = \frac{Ci - C_{ref}}{C_{ref}} \cdot 100 \quad (4.6)$$

Em que

- ER: erro relativo expresso em porcentagem;
- Ci: concentração do elemento de interesse medido no padrão de referência;
- C_{ref}: valor de referência do elemento de interesse no padrão.

Nas TAB 4.5, 4.6 e 4.7 são apresentados as concentrações médias calculadas, as concentrações certificadas, os desvios padrões relativos (DPR) e os erros relativos (ER). A precisão do método variou 1 a 23% para o Peach Leaves, de 1 a 12% para o Sargasso e de 1 a 15% para o Tomato Leaves. A exatidão do método variou de 1 a 28% para o Peach Leaves, 1 a 13% para o Sargasso e 1 a 15% para o Tomato Leaves.

TABELA 4.5 – Concentrações médias calculadas e concentrações certificadas, em mg kg^{-1} (*%), para o material de referência Peach Leaves.

Elemento	Valor Certificado	Valor Calculado	DPR	ER
Al	249 ± 8	226 ± 22	10	9
As	0,06 ± 0,018	0,0592 ± 0,0004	1	1
Ba	124 ± 4	124 ± 11	9	1
Br	11	11 ± 1	9	1
*Ca	1,56 ± 0,02	1,53 ± 0,03	2	2
Ce	10	11 ± 2	9	5
Cl	360 ± 19	352 ± 25	7	2
Co	0,07	0,062 ± 0,004	5	11
Cr	1	1,0 ± 0,1	8	1
Cu	3,7 ± 0,4	3,8 ± 0,3	9	2
Fe	220	224 ± 4	2	3
Hg	0,031 ± 0,007	0,032 ± 0,001	2	2
*K	2,43 ± 0,03	2,37 ± 0,13	5	3
La	9	9,5 ± 0,8	8	5
*Mg	0,432 ± 0,008	0,42 ± 0,01	2	3
Mn	98 ± 3	99 ± 5	5	1
Nd	7	8,6 ± 0,3	3	22
Ni	0,69 ± 0,09	0,84 ± 0,2	6	22
Pb	0,87 ± 0,03	0,75 ± 0,13	15	10
Rb	19	20,0 ± 0,2	1	1
*S	0,2	0,190 ± 0,001	1	5
Sb	0,02	0,0208 ± 0,0004	2	4
Se	0,120 ± 0,009	0,10 ± 0,01	7	14
Sm	1	1,1 ± 0,1	14	7
Sr	53 ± 4	49 ± 1	1	7
Th	0,05	0,064 ± 0,001	2	28
V	0,37 ± 0,03	0,34 ± 0,08	23	7
Zn	17,9 ± 0,4	17,8 ± 0,2	1	1

Os valores apresentados sem os respectivos desvios padrões correspondem a valores informativos

TABELA 4.6 – Concentrações médias calculadas e concentrações certificadas, em mg kg^{-1} (*%), para o material de referência Sargasso.

Elemento	Valor Certificado	Valor Calculado	DPR	ER
Al	215	206 ± 28	4	4
Br	270	270 ± 6	2	1
*Ca	$1,34 \pm 0,05$	$1,26 \pm 0,03$	2	6
*Cl	5,1	$4,8 \pm 0,1$	2	6
Co	$0,12 \pm 0,01$	$0,11 \pm 0,04$	6	8
Cr	0,2	$0,21 \pm 0,02$	10	4
Cs	0,04	$0,041 \pm 0,001$	1	3
Cu	$4,9 \pm 0,2$	$4,7 \pm 0,1$	3	4
Fe	187 ± 6	196 ± 11	2	5
Hg	0,04	$0,0406 \pm 0,0005$	1	2
I	520	501 ± 37	7	4
*K	$6,10 \pm 0,20$	$0,63 \pm 0,04$	6	2
*Mg	$0,65 \pm 0,03$	$0,58 \pm 0,02$	4	10
Mn	$21,2 \pm 1,0$	19 ± 1	9	10
*P	0,26	$0,24 \pm 0,01$	5	8
Pb	$1,35 \pm 0,05$	$1,5 \pm 0,4$	7	8
Rb	24 ± 2	24 ± 1	4	2
*S	1,2	$1,05 \pm 0,002$	1	13
Sb	0,04	$0,037 \pm 0,001$	2	7
Se	0,05	$0,050 \pm 0,001$	1	1
Sr	1000 ± 30	980 ± 67	7	2
U	0,4	$0,43 \pm 0,09$	12	7
V	$1,0 \pm 0,1$	$0,9 \pm 0,2$	8	1
Zn	$15,6 \pm 1,2$	$16,2 \pm 0,4$	3	4

Os valores apresentados sem os respectivos desvios padrões correspondem a valores informativos

TABELA 4.7 – Concentrações médias calculadas e concentrações certificadas, em mg kg^{-1} (*%), para o material de referência Tomato Leaves.

Elemento	Valor Certificado	Valor Calculado	DPR	ER
Al	598 ± 12	583 ± 33	6	3
As	0,112 ± 0,004	0,103 ± 0,015	14	8
Ba	63	54 ± 3	6	14
Br	1300	1390 ± 234	10	7
*Ca	5,05 ± 0,09	5,2 ± 0,3	5	6
Cd	1,52 ± 0,04	1,4 ± 0,2	15	5
Cl	6600	0,56 ± 0,06	11	15
Co	0,57 ± 0,02	0,53 ± 0,02	4	6
Cr	1,99 ± 0,006	1,99 ± 0,2	10	5
Cs	0,053	0,056 ± 0,003	5	5
Cu	4,70 ± 0,14	4,9 ± 0,4	8	5
Fe	368 ± 7	350 ± 18	3	5
Hg	0,034 ± 0,004	0,034 ± 0,001	3	3
I	0,85	0,82 ± 0,06	8	4
*K	2,7 ± 0,05	2,7 ± 0,2	6	1
La	2,3	2,6 ± 0,3	11	13
*Mg	1,2	1,3 ± 0,1	6	9
Mn	246 ± 8	243 ± 10	4	1
Ni	1,59 ± 0,07	1,48 ± 0,16	11	7
*P	0,216 ± 0,004	0,21 ± 0,01	3	3
Rb	14,89 ± 0,27	14 ± 1	6	7
*S	0,96	0,856 ± 0,005	1	11
Sb	0,063 ± 0,006	0,065 ± 0,008	12	3
Se	0,054 ± 0,003	0,054 ± 0,001	1	1
Sr	85	84 ± 1	1	1
Th	0,12	0,12 ± 0,02	14	1
V	0,835 ± 0,010	0,81 ± 0,06	7	4
Zn	30,9 ± 0,7	31 ± 1	9	1

Os valores apresentados sem os respectivos desvios padrões correspondem a valores informativos

Também foram calculados os valores de Z score para cada elemento de cada padrão seguindo a expressão (4.7).

$$Z = \frac{(X_{calc} - X_{ref})}{S_{ref}} \quad (4.7)$$

Em que:

Z: Z score

X_{calc} : concentração média do material de referência calculado

X_{ref} : concentração certificada do material de referência

S_{ref} : desvio padrão das medidas de concentração

Nas FIG. 4.4, 4.5 e 4.6 são apresentados os valores de Z score determinados para os elementos analisados nos materiais de referência Peach Leaves, Sargasso e Tomato Leaves utilizados na técnica de EDXRF respectivamente.

4.2.2 Determinação do limite de determinação do método (LDM)

Para verificar os valores mínimos de concentração dos elementos avaliados pela técnica de EDXRF, foi calculado o limite de determinação do método (LDM) utilizando a expressão (4.8):

$$LDM = 2 \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (C_i - \bar{C})^2}{N - 1}} \quad (4.8)$$

Em que:

LDM: Limite de determinação do Método

C_i : concentração do material de referência calculado

$\bar{C}$: média das concentrações do material de referência calculado

N: número de repetições

Os valores obtidos de LDM são apresentados na TAB 4.8.

FIGURA 4.4 – Z-score material de referência Peach Leaves pela técnica EDXRF.

FIGURA 4.5 – Z-score material de referência Sargasso pela técnica EDXRF.

FIGURA 4.6 – Z-score material de referência Tomato Leaves pela técnica EDXRF.

TABELA 4.8 – Limites de determinação do método para os elementos estudados por EDXRF, em mg kg⁻¹ (* em %), para os materiais de referencia Peach Leaves, Sargasso e Tomato Leaves.

Elemento	Peach Leaves	Sargasso	Tomato Leaves
Al	70	67	106
As	0,001	-	0,017
Ba	41,4	-	29
Br	3,4	99	751
*Ca	0,095	0,06	0,85
Cd	0,39	0,21	1,4
Cl	240	0,35	1177
Co	0,053	0,09	0,18
Cr	0,1	0,19	0,51
Cs	-	0,001	0,02
Cu	0,77	0,3	0,7
Fe	41,4	31,6	26,8
Hg	0,003	0,002	0,004
I	-	68	-
*K	0,22	0,6	0,61
La	7,02	-	1,4
*Mg	0,04	0,11	0,27
Mn	92,9	10,6	88,1
Nd	5,02	-	-
Ni	0,61	-	0,58
*P	-	0,025	0,04
Pb	0,32	1,18	-
Rb	0,52	1,62	2,55
*S	0,013	0,07	0,13
Sb	0,019	0,004	0,2
Se	0,03	0,04	0,0023
Sm	0,87	-	-
Sr	0,65	105	11,2
Th	0,036	-	0,05
U	0,098	0,13	-
V	0,09	0,7	0,58
Zn	2,41	2,2	5,4

- não possui valores de referência do elemento no padrão

* concentrações em %

4.3 Determinação da radiação de fundo

Foi utilizado para determinação das atividades de concentração alfa e beta um detector de fluxo gasoso de baixa radiação de fundo da marca Berthold, modelo LB-770-2, com dez detectores e um contador de guarda em anticoincidência e foi medida as radiações de fundo da medida alfa e beta total por 200 minutos. Para a medida alfa o valor médio de radiação de fundo foi de 0,04 cpm e para a medida beta foi de 2,6 cpm.

A radiação de fundo no detector alfa na região dos picos de interesse dos radionuclídeos ^{210}Po e ^{209}Po foi determinada por um medida do detector vazio por tempo igual ao das amostras. Os valores obtidos para os para os isótopos de polônio foi de $2,5 \times 10^{-5}$ cps.

4.4 Determinação da eficiência de contagem para as medidas de ^{226}Ra , ^{228}Ra e ^{210}Pb

As eficiências de contagem do detector proporcional para os radionuclídeos ^{226}Ra e ^{228}Ra foram realizadas de acordo com OLIVEIRA (1993) e para o radionuclídeo ^{210}Pb foi realizada de acordo com MOREIRA (1993).

4.4.1 Determinação da eficiência de contagem alfa total para a medida de ^{226}Ra (OLIVEIRA, 1993)

Foi realizada a calibração do detector de fluxo gasoso utilizando-se uma fonte eletrodepositada de ^{241}Am que foi medida em triplicata em cada detector por 60 minutos. A eficiência foi calculada usando a expressão (4.9)

$$EF\alpha(^{226}\text{Ra}) = \frac{Rn - Bg}{A_{corr}(^{231}\text{Am}) \cdot 60 \cdot RQ} \quad (4.9)$$

Em que:

$EF\alpha(^{226}\text{Ra})$: eficiência de contagem alfa para medida de ^{226}Ra , calculada pelo padrão de ^{241}Am (cps/dps)

Rn: taxa de contagem alfa medida (cpm)

Bg: radiação de fundo do detector alfa (cpm)

$A_{corr}(^{241}\text{Am})$: atividade da fonte de ^{241}Am (Bq)

RQ: rendimento químico da eletrodeposição do padrão

O resultado médio da eficiência de contagem para a medida alfa do radionuclídeo ^{226}Ra foi de 24,2%

4.4.2 Determinação da eficiência de contagem beta de ^{226}Ra para a medida de ^{228}Ra

A eficiência de contagem beta de ^{226}Ra para a medida de ^{228}Ra deve ser feita, pois no precipitado de Ba(Ra)SO_4 estão presentes esses dois radionuclídeos. Na voltagem de operação são detectadas tanto partículas alfa emitidas pelo ^{226}Ra como partículas beta emitidas pelo seus descendentes e desta forma calcular o incremento na taxa de contagem beta total obtida na medida (OLIVEIRA,1993).

A eficiência de contagem beta do ^{226}Ra foi realizada com medidas beta total de amostras de Ba(Ra)SO_4 onde foi adicionado um padrão de atividade conhecida de ^{226}Ra . Para a determinação adicionou-se uma folha de papel filtro sobre o precipitado para bloquear as partículas beta de baixa energia de seus descendentes. Foram preparadas 5 amostras e medidas por 200 minutos. A eficiência foi calculada de acordo com a expressão (4.10).

$$EF\beta(^{226}\text{Ra}) = \frac{Rn - Bg}{A_{corr}(^{226}\text{Ra}) \cdot RQ} \quad (4.10)$$

Em que:

$EF\beta(^{226}\text{Ra})$: eficiência de contagem alfa para medida de ^{226}Ra (cps/dps)

Rn: taxa de contagem beta total medida (cpm)

Bg: radiação de fundo do detector (cpm)

$A_{corr}(^{226}\text{Ra})$: atividade do padrão de ^{226}Ra (Bq)

RQ: rendimento químico

O resultado médio da eficiência de contagem para a medida beta total do radionuclídeo ^{226}Ra foi de 51,5%

4.4.3 Determinação da eficiência de contagem beta de ^{228}Ra

A eficiência beta para o ^{228}Ra foi calculada a partir do precipitado de Ba(Ra)SO_4 em amostras obtidas com adição de um padrão de atividade conhecida de ^{228}Ra e colocando um papel filtro sobre o precipitado para barrar as partículas beta de baixa energia. Foram preparadas 5 amostras e medidas por 200 minutos. A eficiência beta para o ^{228}Ra foi calculada de acordo com a expressão (4.11).

$$EF\beta(^{228}\text{Ra}) = \frac{Rn - Bg}{A_{\text{corr}}(^{228}\text{Ra}) \cdot RQ} \quad (4.11)$$

Em que:

$EF\beta(^{228}\text{Ra})$: eficiência de contagem alfa para medida de ^{228}Ra (cps/dps)

Rn : taxa de contagem beta total medida (cpm)

Bg : radiação de fundo do detector (cpm)

$A_{\text{corr}}(^{226}\text{Ra})$: atividade do padrão de ^{226}Ra corrigida para a data da medida (Bq)

RQ : rendimento químico

O resultado médio da eficiência de contagem para a medida beta total do radionuclídeo ^{228}Ra foi de 38,05%.

4.4.4 Determinação da eficiência de contagem beta de ^{210}Pb (MOREIRA, 1993)

A eficiência de contagem do ^{210}Pb foi determinada utilizando um padrão de atividade conhecida deste radionuclídeo. A eficiência foi calculada de acordo com a expressão (4.12).

$$E = \frac{R_p - Bg}{A_p \cdot RQ \cdot (1 - e^{-\lambda t})} \quad (4.12)$$

Em que:

E : eficiência de contagem do sistema (cps/dps)

R_p : taxa de contagem do padrão (cps)

Bg : radiação de fundo do detector (cps)

A_p : atividade do padrão (Bq)

RQ : rendimento químico

λ : constante de desintegração do ^{210}Bi ($0,183\text{d}^{-1}$)

t: tempo transcorrido entre a precipitação e a medida (d)

O resultado médio da eficiência de contagem para a medida beta total do radionuclídeo ^{210}Pb foi de 37,3%.

4.4.5 Determinação da eficiência do espectrômetro alfa

A determinação da eficiência do espectrômetro alfa foi realizada segundo Alencar (2008) e Ramos (2010) utilizando uma fonte eletrodepositada de ^{241}Am . Essa fonte foi medida por 100 segundos em triplicata, e o cálculo da eficiência foi efetuado de acordo com a seguinte expressão (4.13).

$$Ef = \frac{Cf}{Af} \quad (4.13)$$

Em que:

Ef = eficiência de contagem (cps dps $^{-1}$)

Cf = contagem da fonte (cps)

Af = atividade da fonte (dps)

O resultado médio encontrado foi de 45,7%.

4.4.6 Determinação da curva de calibração do espectrômetro alfa

A curva de calibração do espectrômetro alfa foi determinada segundo Alencar (2008) e Ramos (2010). Foi utilizada uma fonte tríplice da Amersham International, contendo os radionuclídeos ^{239}Pu (5,156 MeV), ^{241}Am (5,485 MeV) e ^{244}Cm (5,804 MeV), que foi medida por 100 segundos e em triplicata.

4.5 Determinação do limite inferior de detecção para as metodologias de dos radionuclídeos ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{210}Pb e ^{210}Po

O limite inferior de detecção (LID) indica a sensibilidade da metodologia a baixas concentrações. O LID para todos os radionuclídeos estudados neste presente trabalho foram determinados a partir de amostras de água superpura

aplicado o mesmo procedimento experimental (MOREIRA, 1993, OLIVEIRA, 1993). O cálculo foi feito de acordo com a expressão (4.15)

$$LID = \frac{4,66 \cdot Sb}{t \cdot RQ \cdot E \cdot m} \quad (4.15)$$

Em que:

LID: limite inferior de detecção (mBq g⁻¹)

4,66: valor tabelado que corresponde a um risco pré-determinado de que existe alguma atividade na amostra, sendo que na realidade não existe e de que não existe nada na referida amostra que na realidade existe, considerando um intervalo de confiança de 95%

Sb: desvio padrão da contagem da radiação de fundo (branco) do processo

t: tempo de contagem (s)

RQ: rendimento químico

E: eficiência do sistema de contagem

M: massa da amostra (g)

Na TAB. 4.9 são apresentados os resultados obtidos para o LID dos radionuclídeos ²²⁶Ra, ²²⁸Ra, ²¹⁰Pb e ²¹⁰Po em mBq g⁻¹.

TABELA 4.9 – Resultados obtidos para o LID dos radionuclídeos ²²⁶Ra, ²²⁸Ra, ²¹⁰Pb e ²¹⁰Po em mBq g⁻¹

Radionuclídeo	LID (mBq g ⁻¹)
²²⁶ Ra	2,2
²²⁸ Ra	3,7
²¹⁰ Pb	4,9
²¹⁰ Po	4,2

4.6 Verificação das metodologias

As metodologias para determinação da atividade de concentração dos radionuclídeos ²²⁶Ra, ²²⁸Ra, ²¹⁰Pb e ²¹⁰Po foram validadas utilizando o padrão IAEA-385 (Natural and artificial radionuclides in sediment from the Irish Sea), da Internacional Atomic Energy Agency. Foram pesados 0,5 g do padrão e submetidos

aos mesmos procedimentos radioquímicos para determinação de ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{210}Pb e ^{210}Po . Os resultados são apresentados na TAB 4.10 juntamente com os respectivos intervalos de confiança, desvios padrão relativo (DPR) e erros relativo (ER).

TABELA 4.10 – Valores de Atividade de concentração calculada e certificada dos radionuclídeos ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{210}Pb e ^{210}Po em Bq kg^{-1} , intervalo de confiança, desvios padrão relativo e erros relativo

Radionuclídeo	Valor Calculado	Valor Certificado	DPR %	ER %
^{226}Ra	$20,5 \pm 3,9$	21,9	19,0	6,8
^{228}Ra	$35,8 \pm 4,8$	32,0	13,4	0,6
^{210}Pb	$32,5 \pm 6,5$	32,9	20,0	1,2
^{210}Po	$34,9 \pm 0,8$	32,9	2,3	5,7

4.7 Resultados das metodologias para os derivados da *Nicotiana tabacum* L.

Todos os resultados obtidos no presente trabalho por técnica analítica empregada são apresentados nos Apêndices relacionados abaixo:

A.1 Concentração dos elementos determinados em mg kg^{-1} nos cigarros não aromatizados determinados pela técnica INAA;

A.2 Concentração dos elementos determinados em mg kg^{-1} nos cigarros aromatizados determinados pela técnica INAA;

A.3 Concentração dos elementos determinados em mg kg^{-1} nos cigarros de palha determinados pela técnica INAA;

A.4 Concentração dos elementos determinados em mg kg^{-1} nos charutos determinados pela técnica INAA;

A.5 Concentração dos elementos determinados em mg kg^{-1} nos fumos de corda e rapé determinados pela técnica INAA;

B.1 Concentração dos elementos determinados em mg kg^{-1} nos cigarros não aromatizados determinados pela técnica EDXRF;

B.2 Concentração dos elementos determinados em mg kg^{-1} nos cigarros aromatizados determinados pela técnica EDXRF;

B.3 Concentração dos elementos determinados em mg kg^{-1} nos cigarros de palha determinados pela técnica EDXRF;

B.4 Concentração dos elementos determinados em mg kg^{-1} nos charutos determinados pela técnica EDXRF;

B.5 Concentração dos elementos determinados em mg kg^{-1} nos fumos de corda e rapés determinados pela técnica EDXRF;

C.1 Concentração dos radionuclídeos estudados em mBq g^{-1} nos cigarros não aromatizados;

C.2 Concentração dos radionuclídeos estudados em mBq g^{-1} nos cigarros aromatizados;

C.3 Concentração dos radionuclídeos estudados em mBq g^{-1} nos cigarros de palha;

C.4 Concentração dos radionuclídeos estudados em mBq g^{-1} nos charutos;

C.5 Concentração dos radionuclídeos estudados em mBq g^{-1} nos fumos de corda e rapés.

4.7.1 Análise de Ativação com Nêutrons Instrumental - INAA

Para melhor visualização dos resultados os elementos determinados foram agrupados em elementos maiores: Ca, K, Fe e Na; elementos traço: As, Ba, Br, Co, Cr, Cs, Hf, Rb, Sb, Se, Ta, Th, U e Zn; e elementos terras raras: Ce, Eu, La, Lu, Nd, Sc, Sm, Tb e Yb.

4.7.1.1 Elementos maiores Ca, K, Fe, e Na

Na TAB. 4.11; são apresentados os valores de concentrações médios, mínimos e máximos dos elementos maiores Ca, Fe, K e Na em % nas amostras de cigarros não aromatizados, cigarros aromatizados, cigarros de palha, charutos, fumos de corda e rapé, respectivamente.

Pode se observar que o elemento Ca apresentou os maiores valores de concentração na maioria das amostras e os menores valores foram obtidos para o elemento Na.

Os valores do elemento Ca obtidos nas amostras estão de acordo com os obtidos por LEFFINGWELL (1999) que determinou o elemento Ca, %, em folhas de tabaco e obteve valores que variaram de 1,59% a 5,72%. A maior concentração foi obtida do elemento Ca no cigarro de palha CPPF, 6,6% e a menor concentração no fumo de corda aromatizado de morango FCAMO 1,1% (Apêndice A).

Na FIG.4.7 pode-se observar as variações da concentração do elemento Ca (%) dentro dos grupos analisados de amostras analisadas e verificar o número de amostras de cada grupo. Na figura observa-se que o grupo que apresentou concentrações mais homogêneas de Ca foi o de cigarros não aromatizados e o grupo de apresentou maior variação de concentração foi o de cigarros de palha.

TABELA 4.11 – Valores médios, mínimos e máximos de concentração dos elementos Ca, Fe, K e Na (%) nos derivados da *Nicotiana tabacum* L., pela técnica de INAA

DERIVADOS		CA (%)	FE (%)	K (%)	NA (%)
CIGARRO NÃO AROMATIZADO	Min.	2,3 ± 0,2	0,044 ± 0,002	2,4 ± 0,2	0,043 ± 0,001
	Max.	3,8 ± 0,3	0,110 ± 0,003	4,5 ± 0,3	0,124 ± 0,003
	Med.	3,1 ± 0,5	0,081 ± 0,016	3,5 ± 0,5	0,069 ± 0,022
CIGARRO AROMATIZADO	Min.	1,8 ± 0,2	0,044 ± 0,002	< 0,30	0,043 ± 0,001
	Max.	4,1 ± 0,3	0,110 ± 0,003	< 0,30	0,124 ± 0,003
	Med.	2,4 ± 0,7	0,075 ± 0,017	-	0,088 ± 0,031
CIGARRO DE PALHA	Min.	1,9 ± 0,2	0,039 ± 0,001	0,8 ± 0,2	0,014 ± 0,001
	Max.	6,6 ± 0,6	0,33 ± 0,01	5,3 ± 3,4	0,26 ± 0,01
	Med.	3,6 ± 1,3	0,128 ± 0,094	2,4 ± 1,5	0,055 ± 0,065
CHARUTO	Min.	2,6 ± 0,1	0,049 ± 0,002	5,6 ± 0,2	0,036 ± 0,001
	Max.	4,6 ± 0,2	0,062 ± 0,002	2,0 ± 0,2	0,095 ± 0,003
	Med.	4,1 ± 0,8	0,053 ± 0,006	3,8 ± 1,2	0,071 ± 0,023
FUMO DE CORDA	Min.	1,1 ± 0,1	0,021 ± 0,001	1,1 ± 0,2	0,0073 ± 0,0004
	Max.	4,6 ± 0,4	0,191 ± 0,004	5,4 ± 0,4	0,124 ± 0,003
	Med.	2,5 ± 0,8	0,084 ± 0,041	3,5 ± 1,2	0,057 ± 0,034
RAPÉ	Min.	3,7 ± 0,3	0,29 ± 0,01	3,0 ± 0,4	0,072 ± 0,004
	Max.	4,4 ± 0,4	0,41 ± 0,01	3,6 ± 0,5	0,064 ± 0,004
	Med.	4,1 ± 0,4	0,351 ± 0,079	3,3 ± 0,5	0,068 ± 0,006

Isso pode ser explicado pelo fato de que quase todo o tabaco utilizado nos cigarros industrializados (cigarros não aromatizados e cigarros aromatizados) ser cultivado em grande escala na região sul do país (Estados de Santa Catarina, Paraná e Rio Grande do Sul) (SINDITABACO, 2017) enquanto que outros derivados de tabaco como os cigarros de palha e os fumo de corda são produzidos em pequena escala em unidades rurais de todo o território brasileiro; as amostras de cigarros de palha e fumo de corda de este trabalho foram adquiridas em diversas cidades e Estados brasileiros, sendo a maioria de origem de Minas Gerais.

FIGURA 4.7 – Variação da concentração do elemento Ca (%) nos derivados da *Nicotiana tabacum* L. pela técnica de INAA.

A maioria das amostras de cigarros aromatizados apresentaram valores de concentração do elemento K inferiores ao LID de $< 0,30$, com exceção da amostra CAMBI (Apêndice A.1) que apresentou uma concentração de 3,3 %, semelhante às encontradas nos cigarros não aromatizados; uma explicação possível seria que este produto possui uma cápsula aromatizada na parte do filtro e como instrução da embalagem é necessária a quebra dessa cápsula para liberação do aroma. Os valores do elemento K obtidos nas amostras estão de acordo com os obtidos por LEFFINGWELL (1999) que obteve valores que variaram de 1,65% a 3,7% em folhas de tabaco.

Na FIG 4.8 observa-se a diferença de concentração dos cigarros aromatizados e os demais derivados estudados, e assim como para o elemento Ca o grupo de amostras que apresentou menor variação na concentração de K foram

os de cigarros não aromatizados e o que apresentou maior variação foram os de cigarros de palha.

FIGURA 4.8 – Variação da concentração do elemento K (%) nos derivados da *Nicotiana tabacum* L. pela técnica de INAA.

Os elementos Fe e Na apresentaram os menores valores de concentração em todas as amostras, quando comparados com os outros elementos maiores determinados.

Na FIG.4.9 e 4.10 são apresentadas as variações das concentrações dos elementos Fe (%) e Na (%) para todo o grupo amostral, respectivamente. A concentração média do elemento Fe nas amostras de cigarros não aromatizados e de fumo de corda foi de 0,08%, nos cigarros aromatizados 0,07%, nos charutos 0,05%, nos cigarros de palha 0,13% e a maior concentração média foi determinada nas amostras de rapé com valor de 0,35%. A concentração média do elemento Na foi de 0,07% nas amostras de cigarros não aromatizados, charutos e rapé; 0,06% nas de cigarros de palha e fumos de corda e de 0,09% nas de cigarros aromatizados.

FIGURA 4.9 – Variação da concentração do elemento Fe (%) nos derivados da *Nicotiana tabacum* L. pela técnica de INAA.

FIGURA 4.10 – Variação da concentração do elemento Na (%) nos derivados da *Nicotiana tabacum* L. pela técnica de INAA.

4.7.1.2 Elementos Traço As, Ba, Br, Co, Cr, Cs, Hf, Rb, Sb, Se, Ta, Th, U e Zn

Na TAB. 4.12 são apresentados os resultados das concentrações dos elementos traço, As, Ba, Br, Co, Cr, Cs, Hf, Rb e Zn em mg kg^{-1} nas amostras de cigarros não aromatizados, cigarros aromatizados, cigarros de palha, charutos, fumos de corda e rapé.

TABELA 4.12 – Valores médios, mínimos e máximos de concentração dos elementos traço As, Ba, Br, Co, Cr, Cs, Hf, Rb e Zn (mg kg^{-1}) nos derivados da *Nicotiana tabacum* L., pela técnica de INAA

DERIVADOS		As	Ba	Br	Co	Cr	Cs	Hf	Rb	Zn
CIGARROS NÃO AROMATIZADOS	Min.	1,4 ± 0,1	89 ± 7	6,9 ± 0,03	0,64 ± 0,03	1,1 ± 0,1	0,11 ± 0,02	0,11 ± 0,02	22 ± 1	26 ± 1
	Max.	2,9 ± 0,2	207 ± 25	87 ± 1	1,08 ± 0,04	4,4 ± 0,3	0,53 ± 0,05	0,32 ± 0,03	43 ± 2	45 ± 2
	Med.	2,04 ± 0,65	140 ± 32	56 ± 23	0,89 ± 0,11	2,0 ± 0,8	0,18 ± 0,09	0,21 ± 0,05	28 ± 5	38 ± 5
CIGARROS AROMATIZADOS	Min.	2,1 ± 0,3	82 ± 11	21,2 ± 0,3	0,52 ± 0,03	1,4 ± 0,2	0,13 ± 0,03	0,09 ± 0,02	21 ± 2	31 ± 2
	Max.	2,9 ± 0,4	165 ± 19	72 ± 1	1,07 ± 0,05	2,6 ± 0,3	0,40 ± 0,10	0,36 ± 0,04	33 ± 3	43 ± 3
	Med.	2,5 ± 0,5	121 ± 30	49 ± 17	0,78 ± 0,19	2,0 ± 0,2	0,22 ± 0,09	0,22 ± 0,08	28 ± 3	38 ± 4
CIGARROS DE PALHA	Min.	1,9 ± 0,2	67 ± 9	29,7 ± 0,2	0,44 ± 0,02	0,8 ± 0,1	0,13 ± 0,02	0,14 ± 0,02	14 ± 1	43 ± 2
	Max.	6,4 ± 0,4	197 ± 15	153 ± 1	1,8 ± 0,1	8 ± 1	0,50 ± 0,10	1,2 ± 0,1	51 ± 3	137 ± 7
	Med.	3,1 ± 1,9	112 ± 38	55 ± 32	0,84 ± 0,44	3,0 ± 2,2	0,29 ± 0,10	0,33 ± 0,27	27 ± 14	64 ± 25
CHARUTO	Min.	2,4 ± 0,2	74 ± 4	48,8 ± 0,4	0,29 ± 0,02	1,1 ± 0,2	0,09 ± 0,03	0,27 ± 0,03	19 ± 1	36 ± 1
	Max.	2,5 ± 0,2	165 ± 21	164 ± 1	0,58 ± 0,03	4,7 ± 0,4	0,2 ± 0,04	0,52 ± 0,04	43 ± 3	80 ± 3
	Med.	2,44 ± 0,02	102 ± 36	111 ± 46	0,42 ± 0,10	2,3 ± 1,4	0,14 ± 0,04	0,37 ± 0,08	28 ± 8	68 ± 16
FUMOS DE CORDA	Min.	1,5 ± 0,2	41 ± 7	21,7 ± 0,2	0,15 ± 0,01	1,1 ± 0,1	0,09 ± 0,01	0,08 ± 0,01	12 ± 1	22 ± 1
	Max.	3,2 ± 0,2	207 ± 14	226 ± 1	1,4 ± 0,1	5 ± 1	0,45 ± 0,04	0,6 ± 0,1	46 ± 3	127 ± 4
	Med.	2,0 ± 0,5	123 ± 46	67 ± 45	0,81 ± 0,37	2,1 ± 1,0	0,20 ± 0,09	0,24 ± 0,11	25 ± 8	74 ± 33
RAPÉ	Min.	< 1,4	94 ± 16	61,1 ± 0,3	0,80 ± 0,04	0,25 ± 0,02	0,25 ± 0,02	1,8 ± 0,1	33 ± 3	84 ± 4
	Max.	< 1,4	139 ± 23	72,9 ± 0,3	1,30 ± 0,06	0,5 ± 0,1	0,5 ± 0,1	1,9 ± 0,1	40 ± 2	75 ± 3
	Med.	< 1,4	116 ± 32	67,0 ± 8,3	1,05 ± 0,03	0,4 ± 0,2	0,38 ± 0,18	1,87 ± 0,03	36 ± 5	79 ± 6

Os elementos Sb, Ta e U apresentaram valores de concentração abaixo do LID em todas as amostras.

Apenas dois grupos de amostras apresentaram concentrações detectáveis para o elemento Se: quatro amostras de fumo de corda (FCP, FCA4, FCA5 e FCDM) e 1 amostra de rapé (RPCM), TAB 4.13.

TABELA 4.13 – Concentração do elemento Se (mg kg^{-1}) nas amostras de fumo de corda e rapé pela técnica de INAA.

Fumo de corda		Rapé	
FCP	$0,4 \pm 0,1$	RPCM	$1,8 \pm 1,2$
FCA4	$0,7 \pm 0,4$		
FCA5	$0,4 \pm 0,2$		
FCA6	$0,3 \pm 0,2$		
FCDM	$0,6 \pm 0,5$		
Média $\pm$ DP	$0,5 \pm 0,2$		

O elemento Th também apresentou concentração detectável apenas em 14 amostras: sete amostras de fumo de corda, 5 amostras de cigarros de palha e nas duas amostras de rapé (LID = 0,38), TAB 4.14.

TABELA 4.14 – Concentração do elemento Th (mg kg^{-1}) nas amostras de cigarro de palha, fumo de corda e rapé pela técnica de INAA

Cigarro de palha		Fumo de Corda		Rapé	
CPP	$0,38 \pm 0,03$	FCP	$0,48 \pm 0,04$	RPAR	$1,0 \pm 0,2$
CPCR	$0,82 \pm 0,05$	FCPF	$0,55 \pm 0,04$	RPCM	$1,2 \pm 0,2$
CPPG	$0,75 \pm 0,05$	FCA4	$0,6 \pm 0,1$	Média $\pm$ DP	$1,1 \pm 0,1$
CPSP	$0,5 \pm 0,04$	FCA5	$0,4 \pm 0,1$		
CPVC	$1,6 \pm 0,1$	FCDD	$0,4 \pm 0,1$		
Média $\pm$ DP	$0,80 \pm 0,46$	FCDM	$0,4 \pm 0,1$		
		FCDMP	$0,9 \pm 0,1$		
		Média $\pm$ DP	$0,6 \pm 0,2$		

O elemento As foi determinado em apenas algumas amostras (FIG. 4.11); a concentração variou de $1,41 \pm 0,10 \text{ mg kg}^{-1}$ na amostra de cigarro não aromatizado CCMG a $6,4 \text{ mg kg}^{-1}$ no cigarro de palha CPVC (Apêndice A). FRANCISCONI et al. (2011) analisando diversas marcas de cigarros brasileiros encontrou valores médios de concentração do elemento As de $0,25 \pm 0,1 \text{ mg kg}^{-1}$, valor muito inferior aos valores médios determinados no presente trabalho para os cigarros não aromatizados e cigarros aromatizados, $2,04 \pm 0,65 \text{ mg kg}^{-1}$ e $2,5 \pm 0,5 \text{ mg kg}^{-1}$, respectivamente.

FIGURA 4.11 – Variação da concentração do elemento As (mg kg^{-1}) nos derivados da *Nicotiana tabacum* L. pela técnica de INAA.

Nas FIG 4.12 a 4.20 são apresentadas as concentrações dos elementos Ba, Br, Co, Cr, Cs, Hf, Rb, Zn e Th nas amostras de derivados da *Nicotina tabacum* L.

As concentrações do elemento Ba variaram do LID (39 mg kg^{-1}) na amostra de charuto CHMPC a $207 \pm 14 \text{ mg kg}^{-1}$ na amostra de fumo de corda FCDM (Apêndice A). Pode-se observar na FIG. 4.7 que o grupo de amostras que apresentou maior variação nas concentrações do elemento Ba foi o de fumo de corda.

FIGURA 4.12 – Variação da concentração do elemento Ba (mg kg^{-1}) nos derivados da *Nicotiana tabacum* L. pela técnica INAA.

O elemento Br apresentou menor concentração média nos cigarros aromatizados, $49 \pm 16 \text{ mg kg}^{-1}$ e a maior concentração média nos charutos de $111 \pm 46 \text{ mg kg}^{-1}$, entretanto a maior concentração foi encontrada na amostra de fumo de corda FCI, $226 \pm 1 \text{ mg kg}^{-1}$ (Apêndice A).

FIGURA 4.13 – Variação da concentração do elemento Br (mg kg^{-1}) nos derivados da *Nicotiana tabacum* L. pela técnica INAA.

A concentração média do elemento Co variou de $0,15 \pm 0,01 \text{ mg kg}^{-1}$ na amostra de fumo de corda FCSC a $1,8 \pm 0,1 \text{ mg kg}^{-1}$ na amostra de cigarro de palha CPTV.

FIGURA 4.14 – Variação da concentração do elemento Co (mg kg^{-1}) nos derivados da *Nicotiana tabacum* L. pela técnica INAA.

As concentrações médias do elemento Cr variaram de $0,83 \pm 0,12 \text{ mg kg}^{-1}$ na amostra de cigarro de palha CPCPC a $7,5 \pm 0,9 \text{ mg kg}^{-1}$ na amostra de cigarro de palha CPVC (Apêndice A), valores muito inferiores aos determinados por KABATA-PENDIAS (2010), que variaram de 18 mg kg^{-1} a 24 mg kg^{-1} nas partes superiores da planta de tabaco.

FIGURA 4.15 – Variação da concentração do elemento Cr (mg kg^{-1}) nos derivados da *Nicotiana tabacum* L. pela técnica INAA.

As concentrações médias de elemento Cs variaram de $0,085 \pm 0,11 \text{ mg kg}^{-1}$ na amostra de fumo de corda FCACE a $0,53 \pm 0,05 \text{ mg kg}^{-1}$ na amostra de cigarro não aromatizado CCSPS (Apêndice A). Na figura 4.7 verifica-se que o grupo que apresentou maior variação nas concentrações do elemento Cs foi o de charuto.

FIGURA 4.16 – Variação da concentração do elemento Cs (mg kg^{-1}) nos derivados da *Nicotiana tabacum* L. pela técnica INAA.

As amostras de rapé apresentaram concentrações de Hf muito maiores que as encontradas nos outros grupos: RPAR de $1,8 \pm 0,1 \text{ mg kg}^{-1}$ e RPCM $1,9 \pm 0,1 \text{ mg kg}^{-1}$, enquanto que a maior concentração dos outros grupo foi na amostra de cigarro de palha CPVC de $1,2 \pm 0,1 \text{ mg kg}^{-1}$. A menor concentração determinada par o elemento Hf foi determinada na amostra de fumo de corda aromatizado FCACE, com valor de $0,10 \pm 0,01 \text{ mg kg}^{-1}$ (Apêndice A.5).

FIGURA 4.17 – Variação da concentração do elemento Hf (mg kg^{-1}) nos derivados da *Nicotiana tabacum* L. pela técnica INAA.

O elemento Rb apresentou concentrações que variaram de $12 \pm 1 \text{ mg kg}^{-1}$ na amostra de fumo de corda FCAAL a $51 \pm 3 \text{ mg kg}^{-1}$ na amostra de cigarro de palha CPRN.

FIGURA 4.18 – Variação da concentração do elemento Rb (mg kg^{-1}) nos derivados da *Nicotiana tabacum* L. pela técnica INAA.

A concentração do elemento Zn variou de $17,1 \pm 0,5 \text{ mg kg}^{-1}$ na amostra de fumo de corda FCACE a $137 \pm 7 \text{ mg kg}^{-1}$ na amostra de cigarro de palha CPFN (Apêndice A). O elemento Zn apresentou significativa diferença entre o grupo de cigarros industrialmente processados (cigarros não aromatizados e aromatizados) e os menos industrializados, como os charutos, fumo de corda cigarro de palha e rapé.

FIGURA 4.19 – Variação da concentração do elemento Zn (mg kg^{-1}) nos derivados da *Nicotiana tabacum* L. pela técnica INAA.

A concentração do elemento Th variou de $0,38 \pm 0,03 \text{ mg kg}^{-1}$ a $1,6 \pm 0,1 \text{ mg kg}^{-1}$, ambos os valores nas amostras de cigarro de palha CPP e CPVC, respectivamente.

FIGURA 4.20 – Variação da concentração do elemento Th (mg kg^{-1}) nos derivados da *Nicotiana tabacum* L. pela técnica INAA.

Os elementos traço, Ba, Rb e Zn, foram os elementos que apresentaram os maiores valores médios de concentração em todas as amostras analisadas.

4.7.1.3 Elementos Terras Raras Ce, Eu, La, Lu, Nd, Sc, Sm, Tb e Yb

Na TAB. 4.15, são apresentados os valores mínimos, máximos e médios das concentrações dos elementos Ce, La, Sc e Sm em mg kg^{-1} nas amostras de cigarros não aromatizados, cigarros aromatizados, cigarros de palha, charutos, fumos de corda e rapé.

Os elementos Lu e Nd apresentaram concentrações abaixo do LID, $0,05 \text{ mg kg}^{-1}$ e 32 mg kg^{-1} , respectivamente.

TABELA 4.15 – Valores médios, mínimos e máximos de concentração do elemento Ce, La, Sc e Sm (mg kg^{-1}) nos derivados da *Nicotiana tabacum* L., pela técnica de INAA

DERIVADOS		CE	LA	SC	SM
CIGARRO NÃO AROMATIZADO	Min.	$1,1 \pm 0,1$	$1,22 \pm 0,03$	$0,13 \pm 0,01$	$0,079 \pm 0,004$
	Max.	$5,7 \pm 0,7$	$2,7 \pm 0,1$	$0,35 \pm 0,01$	$0,23 \pm 0,02$
	Med.	$2,9 \pm 1,3$	$1,92 \pm 0,40$	$0,24 \pm 0,05$	$0,15 \pm 0,04$
CIGARRO AROMATIZADO	Min.	$0,9 \pm 0,2$	$1,4 \pm 0,1$	$0,16 \pm 0,01$	$0,077 \pm 0,001$
	Max.	$2,3 \pm 0,3$	$3,8 \pm 0,2$	$0,29 \pm 0,01$	$0,17 \pm 0,01$
	Med.	$1,8 \pm 0,5$	$2,4 \pm 0,9$	$0,23 \pm 0,05$	$0,11 \pm 0,03$
CIGARRO DE PALHA	Min.	$1,7 \pm 0,2$	$1,3 \pm 0,04$	$0,12 \pm 0,004$	$0,115 \pm 0,004$
	Max.	11 ± 1	31 ± 1	$1,29 \pm 0,04$	$0,84 \pm 0,003$
	Med.	$6,1 \pm 2,7$	$10,1 \pm 4,8$	$0,49 \pm 0,39$	$0,41 \pm 0,21$
CHARUTO	Min.	$1,8 \pm 0,2$	$< 0,53$	$0,085 \pm 0,002$	$< 0,04$
	Max.	$1,9 \pm 0,2$	$0,89 \pm 0,03$	$0,730 \pm 0,003$	$< 0,04$
	Med.	$1,8 \pm 0,1$	$0,79 \pm 0,09$	$0,10 \pm 0,02$	$< 0,04$
FUMO DE CORDA	Min.	$1,2 \pm 0,2$	$0,79 \pm 0,02$	$0,05 \pm 0,002$	$0,04 \pm 0,002$
	Max.	25 ± 2	72 ± 2	$0,61 \pm 0,02$	$0,8 \pm 0,02$
	Med.	$5,4 \pm 5,6$	$11,0 \pm 17,6$	$0,23 \pm 0,13$	$0,30 \pm 0,26$
RAPÉ	Min.	$6,8 \pm 0,6$	$8,6 \pm 0,2$	$0,58 \pm 0,02$	$0,40 \pm 0,01$
	Max.	$8,0 \pm 0,7$	$8,7 \pm 0,2$	$1,01 \pm 0,03$	$0,50 \pm 0,02$
	Med.	$7,4 \pm 0,9$	$8,63 \pm 0,03$	$0,79 \pm 0,30$	$0,45 \pm 0,07$

O elemento Eu apresentou concentrações detectáveis nos grupos de cigarro de palha e de fumo de corda, TAB. 4.16; o elemento Tb nos grupos de cigarro não aromatizado, cigarro de palha e fumo de corda, TAB. 4.17 e o elemento Yb nos grupos de cigarro de palha e fumo de corda, TAB. 4.18.

TABELA 4.16 – Concentração do elemento Eu (mg kg^{-1}) nas amostras de cigarro de palha, fumo de corda e rapé pela técnica de INAA

Cigarro de palha		Fumo de corda	
CPP	$0,13 \pm 0,03$	FCP	$0,16 \pm 0,03$
CPTV	$0,2 \pm 0,1$	FCPF	$0,15 \pm 0,03$
CPPG	$0,10 \pm 0,05$	FCA4	$0,14 \pm 0,03$
CPVC	$0,15 \pm 0,03$	FCA5	$0,12 \pm 0,02$
Média $\pm$ DP	$0,15 \pm 0,01$	FCC	$0,10 \pm 0,02$
		FCG	$0,11 \pm 0,02$
		FCDMP	$0,11 \pm 0,02$
		Média $\pm$ DP	$0,13 \pm 0,02$

TABELA 4.17 – Concentração do elemento Tb (mg kg^{-1}) nas amostras de cigarro de palha, fumo de corda e rapé pela técnica de INAA

Cigarro não aromatizado		Cigarro de palha		Fumo de corda	
CCFA	$0,10 \pm 0,03$	CPP	$0,14 \pm 0,05$	FCA4	$0,05 \pm 0,02$
		CPCR	$0,06 \pm 0,02$	FCA5	$0,12 \pm 0,03$
		CPVC	$0,14 \pm 0,05$	FCDD	$0,08 \pm 0,02$
		Média $\pm$ DP	$0,10 \pm 0,05$	Média $\pm$ DP	$0,09 \pm 0,03$

TABELA 4.18 – Concentração do elemento Yb (mg kg^{-1}) nas amostras de cigarro de palha, fumo de corda e rapé pela técnica de INAA

Cigarro de palha		Fumo de corda	
CPVC	$0,39 \pm 0,04$	FCA4	$0,32 \pm 0,04$

A concentração do elemento Ce variou de $0,9 \pm 0,2 \text{ mg kg}^{-1}$ na amostra de cigarro aromatizado CALAM a $25 \pm 2 \text{ mg kg}^{-1}$ na amostra de fumo de corda, FCPF. Na FIG 4.21 pode-se observar as variações das concentrações de Ce em

todo grupo amostral; o grupo de amostras que apresentou a maior variação nas concentrações do elemento Ce foi o de fumo de corda.

FIGURA 4.21 – Variação da concentração do elemento Ce (mg kg^{-1}) nos derivados da *Nicotiana tabacum* L. pela técnica INAA.

A concentração do elemento La variou $0,79 \pm 0,02 \text{ mg kg}^{-1}$ na amostra de fumo de corda FCI a $31 \pm 1 \text{ mg kg}^{-1}$ na amostra de cigarro de palha CPP. Na FIG. 4.22 é apresentada a variação das concentrações do elemento La nos derivados de tabaco estudados. Pode-se observar que o grupo de amostras que apresentou maiores variações nas concentrações determinadas foi o de fumo de corda.

FIGURA 4.22 – Variação da concentração do elemento La (mg kg^{-1}) nos derivados da *Nicotiana tabacum* L. pela técnica INAA.

A concentração do elemento Sc de $0,085 \pm 0,002 \text{ mg kg}^{-1}$ na amostra de charuto CHMPE a $1,29 \pm 0,04 \text{ mg kg}^{-1}$ na amostra de cigarro de palha CPVC. Na FIG. 4.23 é apresentada a variação das concentrações do elemento Sc nos derivados de tabaco estudados.

FIGURA 4.23 – Variação da concentração do elemento Sc (mg kg^{-1}) nos derivados da *Nicotiana tabacum* L. pela técnica INAA.

Segundo KABATA-PENDIAS (2010) plantas de solos arenosos apresentam concentrações maiores do elemento Sc em sua composição, assim como as folhas velhas apresentam concentrações superiores as das folhas jovens. Os autores relatam alguns estudos que determinaram o intervalo de concentração de Sc em algumas folhas de plantas, como folhas de alface, $0,007 \text{ mg kg}^{-1}$ a $0,012 \text{ mg kg}^{-1}$ e folhas de chá de diferentes países $0,013 \text{ mg kg}^{-1}$ a $0,14 \text{ mg kg}^{-1}$. A concentração do elemento Sc nas amostras analisadas no presente trabalho variaram de $0,05 \text{ mg kg}^{-1}$ a $1,29 \text{ mg kg}^{-1}$, amostras de fumo de corda aromatizado (FCACE e FCAMO) e cigarro de palha CPVC, respectivamente.

Os charutos foram o grupo de amostras que apresentaram menores valores de concentração para o elemento Sc e os grupos que apresentaram maiores variações nas concentrações foram os grupo de cigarro de palha e de fumo de corda.

A concentração do elemento Sm variou de $0,041 \pm 0,002 \text{ mg kg}^{-1}$ na amostra de fumo de corda FCAAL a $0,80 \pm 0,03 \text{ mg kg}^{-1}$ na amostra de fumo de

corda FCA5. Na FIG. 4.24 é apresentada a variação das concentrações do elemento Sm nos derivados de tabaco estudados. Pode-se observar uma grande variação na concentração do elemento Sm nas amostras do grupo de fumo de corda e cigarro de palha.

FIGURA 4.24 – Variação da concentração do elemento Sm (mg kg^{-1}) nos derivados da *Nicotiana tabacum* L. pela técnica INAA.

Na Tab. 4.19 são apresentados os intervalos de concentração dos elementos de terras raras determinados no presente trabalho e em amostras de vegetais e palha de arroz apresentadas por KABATA-PENDIAS (2010). Pode-se observar que os resultados obtidos no presente trabalho estão dentro da faixa de concentração dos elementos determinados nos vegetais.

Tabela 4.19 - Intervalo de concentração de elementos terras raras, mg kg^{-1} , presente trabalho e de Kabata-Pendias (2010)

Elementos Terras Raras	Derivados de tabaco presente trabalho	Vegetais (KABATA-PENDIAS, 2010)	Palha de arroz (KABATA-PENDIAS, 2010)
Ce	0,9 - 25	0,2 - 50	174
La	0,79 - 72	0,4 - 2000	88
Nd	-	50	10
Sc	0,05 - 1,29	0,007- 0,14	*
Sm	0,04 – 0,84	0,2 - 100	20
Eu	0,10 – 0,20	0,04 – 70	10
Tb	0,05 – 0,14	0,1 - 1	7
Yb	0,32 – 0,39	0,08 - 20	10
Lu	-	0,01 - 60	5

- não detectado

* não informado

Abd-El-Samad e Hanafi (2017) analisaram 10 marcas de cigarros egípcios pela técnica de INAA e determinaram a concentração de 14 elementos (Ba, Br, Ca, Cd, Eu, K, Hf, Mg, Na, Rb, Sb, Sc, Th e Yb). TAB. 4.20 apresenta os valores determinados pelos autores e do presente estudo. Verifica-se que a maioria dos elementos estudados apresentaram concentrações médias menores que as determinada pelos autores, com exceção do elemento sódio e para a maioria dos elementos não houve diferença significativa entre os grupos de cigarros não aromatizados e aromatizados.

Tabela 4.20 – Concentrações médias em mg kg^{-1} (%) no presente trabalho e de cigarros egípcios pela técnica INAA.

	ABD-EL-SAMAD E HANAFI (2017)	Presente estudo	
Elementos	Cigarros egípcios	Cigarros não aromatizados	Cigarros aromatizados
Ba	149	140	121
Br	184	56	49
*Ca	9,5	3,1	2,4
Eu	0,16	< 0,09	< 0,09
*K	4,5	3,5	<0,30
Hf	1,0	0,21	0,22
Na	553	688	879
Rb	45	28	28
Sb	1,3	< 0,21	< 0,21
Sc	0,5	0,24	0,23
Th	0,6	< 0,38	< 0,38
Yb	0,6	< 0,30	< 0,30

4.7.2 Espectrometria de Fluorescência de Raios-X (EDXRF)

4.7.2.1 Elementos maiores Al, Ca, Cl, Fe, K, I, Mg, Mn, P e S

Na TAB. 4.21 são apresentados os resultados das concentrações mínimos, máximos e médios para os elementos Al, Ca, Cl, Fe, K, I, Mg, Mn, P e S em % nas amostras de cigarros não aromatizados, cigarros aromatizados, cigarros de palha, charutos, fumos de corda e rapé determinados por espectrometria de fluorescência de raios X.

Tabela 4.21 - Valores médios, mínimos e máximos de concentração dos elementos Al, Ca, Cl, Fe, K, I, Mg, Mn, P e S em % nos derivados da *Nicotiana tabacum* L., pela técnica de EDXRF.

DERIVADOS		AL	CA	CL	FE	I	K	MG	MN	P	S
CIGARROS NÃO AROMATIZAD OS	Min.	0,041 ± 0,004	1,45 ± 0,01	0,48 ± 0,01	0,040 ± 0,001	0,019 ± 0,004	2,02 ± 0,01	0,53 ± 0,02	0,011 ± 0,001	0,11 ± 0,01	0,241 ± 0,001
	Max.	0,094 ± 0,003	1,82 ± 0,03	1,29 ± 0,01	0,086 ± 0,003	0,022 ± 0,006	3,54 ± 0,01	1,22 ± 0,04	0,026 ± 0,001	0,22 ± 0,01	0,332 ± 0,002
	Med.	0,065 ± 0,015	1,67 ± 0,09	0,78 ± 0,23	0,058 ± 0,013	0,021 ± 0,001	2,87 ± 0,41	0,87 ± 0,18	0,019 ± 0,005	0,17 ± 0,03	0,290 ± 0,020
CIGARROS AROMATIZAD OS	Min.	0,045 ± 0,005	1,60 ± 0,03	0,550 ± 0,004	0,047 ± 0,001	0,020 ± 0,001	2,40 ± 0,01	0,67 ± 0,01	0,015 ± 0,002	0,14 ± 0,01	0,253 ± 0,003
	Max.	0,085 ± 0,004	1,83 ± 0,05	1,095 ± 0,004	0,080 ± 0,002	0,022 ± 0,001	3,31 ± 0,01	1,07 ± 0,04	0,023 ± 0,001	0,18 ± 0,01	0,336 ± 0,001
	Med.	0,067 ± 0,016	1,75 ± 0,09	0,833 ± 0,200	0,059 ± 0,010	0,021 ± 0,001	2,77 ± 0,32	0,90 ± 0,15	0,019 ± 0,003	0,16 ± 0,02	0,288 ± 0,027
CIGARROS DE PALHA	Min.	0,048 ± 0,003	1,32 ± 0,02	0,117 ± 0,005	0,027 ± 0,001	0,016 ± 0,002	0,93 ± 0,01	0,31 ± 0,04	0,008 ± 0,001	0,082 ± 0,004	0,252 ± 0,003
	Max.	0,25 ± 0,01	3,41 ± 0,03	1,30 ± 0,01	0,202 ± 0,004	0,024 ± 0,001	3,66 ± 0,01	1,33 ± 0,05	0,081 ± 0,006	0,22 ± 0,01	0,45 ± 0,01
	Med.	0,091 ± 0,052	2,43 ± 0,59	0,545 ± 0,300	0,094 ± 0,040	0,021 ± 0,002	1,94 ± 0,85	0,72 ± 0,30	0,025 ± 0,020	0,123 ± 0,046	0,318 ± 0,053
CHARUTOS	Min.	0,056 ± 0,003	1,59 ± 0,01	0,70 ± 0,01	0,038 ± 0,001	0,019 ± 0,001	2,63 ± 0,01	1,44 ± 0,03	0,012 ± 0,001	0,16 ± 0,01	0,459 ± 0,004
	Max.	0,118 ± 0,003	2,40 ± 0,03	1,47 ± 0,01	0,053 ± 0,001	0,021 ± 0,001	5,45 ± 0,01	2,41 ± 0,03	0,016 ± 0,001	0,25 ± 0,01	0,684 ± 0,002
	Med.	0,087 ± 0,021	1,91 ± 0,32	1,12 ± 0,30	0,045 ± 0,07	0,020 ± 0,001	3,82 ± 1,00	1,92 ± 0,37	0,014 ± 0,002	0,20 ± 0,04	0,529 ± 0,080
FUMOS DE CORDA	Min.	0,011 ± 0,001	1,42 ± 0,02	0,244 ± 0,002	0,028 ± 0,002	0,0164 ± 0,0003	1,12 ± 0,01	0,12 ± 0,02	0,007 ± 0,001	0,108 ± 0,004	0,030 ± 0,001
	Max.	0,169 ± 0,005	2,41 ± 0,05	1,74 ± 0,01	0,118 ± 0,001	0,023 ± 0,002	4,58 ± 0,01	2,2 ± 0,1	0,081 ± 0,004	0,45 ± 0,04	0,512 ± 0,003
	Med.	0,086 ± 0,038	1,75 ± 0,26	0,734 ± 0,370	0,059 ± 0,022	0,0211 ± 0,0016	2,89 ± 0,91	1,04 ± 0,61	0,022 ± 0,016	0,159 ± 0,071	0,342 ± 0,091
RAPÉS	Min.	0,097 ± 0,003	1,74 ± 0,03	0,645 ± 0,003	0,144 ± 0,005	0,021 ± 0,001	2,72 ± 0,01	0,025 ± 0,001	1,26 ± 0,04	0,25 ± 0,01	0,45 ± 0,01
	Max.	0,131 ± 0,004	1,88 ± 0,02	0,663 ± 0,003	0,147 ± 0,004	0,022 ± 0,001	3,04 ± 0,02	0,025 ± 0,001	1,39 ± 0,04	0,327 ± 0,004	0,46 ± 0,01
	Med.	0,114 ± 0,024	1,81 ± 0,09	0,654 ± 0,013	0,145 ± 0,002	0,022 ± 0,001	2,88 ± 0,23	0,025 ± 0,001	1,33 ± 0,09	0,286 ± 0,058	0,45 ± 0,01

A concentração elemento Al variou de $0,041 \pm 0,004$ % na amostra de cigarro não aromatizado CCDH a $0,25 \pm 0,01$ % na amostra de cigarro de palha CPVC. O grupo de amostras que apresentou maior variação dos resultados de Al foi o de cigarro de palha e fumo de corda, FIG. 4.25.

FIGURA 4.25 – Variação da concentração do elemento Al (%) nos derivados da *Nicotiana tabacum* L. pela técnica EDXRF.

PAPPAS (2011) realizou um levantamento das concentrações de alguns metais em amostras de cigarro; os cigarros paquistaneses apresentaram concentrações de Al entre 431 a 782 $\mu\text{g Al/g tabaco}$ e os cigarros americanos de 699 a 1200 $\mu\text{g Al/g tabaco}$. KAZIA et al. (2009) determinaram Al em fumaça de cigarro paquistaneses e obtiveram concentrações que variaram de 0,239 $\mu\text{g/cigarro}$ a 0,964 $\mu\text{g/cigarro}$. EXLEY et al. (2006) em um estudo realizado com cigarros jamaicanos obtiveram concentrações do elemento Al que variaram de 0,8 mg g^{-1} a 2,6 mg g^{-1} . Os valores obtidos no presente trabalho variaram de 650 $\mu\text{g g}^{-1}$ a 1140 $\mu\text{g g}^{-1}$, valores concordantes com os reportados dos autores citados acima. O alumínio é um elemento que pode causar diversas malignidades nos tabagistas dentre elas bronquite crônica, pneumoconioses de alumínio, fibroses pulmonares, podendo até atingir o cérebro através dos caminhos olfativos (PAPPAS, 2011).

O elemento Ca variou sua concentração de $1,32 \pm 0,02$ % na amostra de cigarro de palha CPCPC a $3,41 \pm 0,03$ % na amostra de cigarro de palha CPC. A FIG. 4.61 apresenta a variação da concentração do elemento Ca % nos grupos

amostrados; os grupos que apresentaram maior flutuação nas suas concentrações foram os de cigarros de palha e de fumos de corda.

FIGURA 4.26 – Variação da concentração do elemento Ca (%) nos derivados da *Nicotiana tabacum* L. pela técnica EDXRF.

Os valores do elemento Cl obtidos nas amostras estão de acordo com os obtidos por MULLER et al. (2011), que determinaram a concentração do elemento em cigarros brasileiros e obtiveram concentrações que variaram de 3.871 $\mu\text{g g}^{-1}$ a 8.249 $\mu\text{g g}^{-1}$, os autores citam que a concentração para o elemento pode variar de 700 a 30.000 $\mu\text{g g}^{-1}$; as concentrações obtidas no presente trabalho variaram de 486 $\mu\text{g g}^{-1}$ no cigarro não aromatizado CCM a 17.400 $\mu\text{g g}^{-1}$ no fumo de corda FCA. Os autores citam ainda que o Cl é um elemento essencial para a planta, porém concentrações elevadas do elemento são provenientes dos agroquímicos usados nas plantações. Na FIG. 4.27 podem-se observar as variações da concentração do elemento Cl no grupo amostral.

FIGURA 4.27 – Variação da concentração do elemento Cl (%) nos derivados da *Nicotiana tabacum* L. pela técnica EDXRF.

A concentração do elemento Fe variou de $283 \mu\text{g g}^{-1}$ na amostra de fumo de corda FCDTT a $2.019 \mu\text{g g}^{-1}$ na amostra de cigarro de palha CPVC; estes valores estão de acordo com os reportados por PAPPAS (2011) em cigarros indianos onde foi obtida uma variação de $468 - 1.129 \mu\text{g g}^{-1}$. A FIG. 4.28 apresenta a variação da concentração de Fe nas amostras analisadas e verifica-se que as maiores concentrações foram determinadas nos cigarros de palha.

FIGURA 4.28 – Variação da concentração do elemento Fe (%) nos derivados da *Nicotiana tabacum* L. pela técnica EDXRF.

O elemento I variou sua concentração de $0,016 \pm 0,002 \%$ na amostra de cigarro de palha CPTV a $0,023 \pm 0,002 \%$ na amostra de fumo de corda FCA8. A FIG. 4.24 apresenta a variação da concentração do elemento I nas amostras

analisadas, os grupos que apresentaram maior flutuação nas suas concentrações foram os de cigarros de palha e de fumos de corda.

FIGURA 4.29 – Variação da concentração do elemento I (%) nos derivados da *Nicotiana tabacum* L. pela técnica EDXRF.

Na FIG. 4.30 observam-se as variações da concentração do elemento K; a menor concentração foi determinada na amostra de cigarro de palha CPPM de $0,93 \pm 0,01$ % e a maior na amostra de charuto CHDNE de $5,45 \pm 0,01$ %.

FIGURA 4.30 – Variação da concentração do elemento K (%) nos derivados da *Nicotiana tabacum* L. pela técnica EDXRF.

O elemento Mg variou sua concentração de $0,12 \pm 0,02$ % na amostra de fumo de corda FCPF a $1,39 \pm 0,04$ % na amostra de rapé RPCM. A FIG. 4.31 apresenta a variação da concentração do elemento Mg; os grupos que

apresentaram maior flutuação nas suas concentrações foram os de cigarros de palha e de fumos de corda.

FIGURA 4.31 – Variação da concentração do elemento Mg (%) nos derivados da *Nicotiana tabacum* L. pela técnica EDXRF.

A concentração do elemento Mn variou de $75 \mu\text{g g}^{-1}$ na amostra de fumo de corda FCC a $806 \mu\text{g g}^{-1}$ na amostra de fumo de corda FCA4. A variação da concentração nos cigarros foi de $105 \mu\text{g g}^{-1}$ na amostra de cigarro não aromatizado CCM a $265 \mu\text{g g}^{-1}$ na amostra de cigarro não aromatizado CCPZ, estes valores são próximos aos de PAPPAS (2011) que determinou Mg em cigarros americanos, onde obteve variação de $155 \mu\text{g g}^{-1}$ – $400 \mu\text{g g}^{-1}$. A FIG. 4.32 apresenta a variação da concentração nas amostras, verifica-se que os grupos de amostras que apresentaram maior variação nas concentrações foram os de cigarro de palha e fumo de corda.

FIGURA 4.32 – Variação da concentração do elemento Mn (%) nos derivados da *Nicotiana tabacum* L. pela técnica EDXRF.

O elemento P variou sua concentração de $0,108 \pm 0,004$ % na amostra de fumo de corda FCA7 a $0,45 \pm 0,04$ % na amostra de fumo de corda FCCPR. A FIG. 4.33 apresenta a variação da concentração do elemento P nos grupos amostrados; o grupo que apresentou maior variação nas concentrações foi o de fumo de corda.

FIGURA 4.33 – Variação da concentração do elemento P (%) nos derivados da *Nicotiana tabacum* L. pela técnica EDXRF.

O elemento S variou sua concentração de $0,030 \pm 0,001$ % na amostra de fumo de corda FCA9 a $0,684 \pm 0,002$ % na amostra de charuto CHDNE. A FIG. 4.34 apresenta a variação da concentração do elemento S nos grupos amostrados; o grupo que apresentou as maiores concentrações foi o de charuto.

FIGURA 4.34 – Variação da concentração do elemento S (%) nos derivados da *Nicotiana tabacum* L. pela técnica EDXRF.

4.7.2.2 Elementos traço As, Br, Cd, Co, Cr, Cs, Cu, Hg, Ni, Pb, Rb, Sb, Se, Sr, Th, U, V, e Zn

Na TAB. 4.22 são apresentados os resultados das concentrações mínimos, máximos e médios (mg kg^{-1}) dos elementos As, Br, Cd, Co, Cr, Cs, Cu, Hg, Ni, Pb, Rb, Sb, Se, Sr, Th, U, V e Zn.

Tabela 4.22 - Valores médios, mínimos e máximos de concentração dos elementos traço As, Br, Cd, Co, Cr, Cs, Cu, Hg, Ni, Pb, Rb, Sb, Se, Sr, Th, U, V e Zn (mg kg⁻¹) nos derivados da *Nicotiana tabacum* L., pela técnica de EDXRF.

Derivados		As	Br	Cd	Co	Cr	Cs	Cu	Hg	Ni
Cigarros não aromatizados	Min.	0,061 ± 0,002	39 ± 3	0,19 ± 0,05	0,45 ± 0,04	0,81 ± 0,05	0,041 ± 0,004	4,4 ± 0,1	0,024 ± 0,002	0,72 ± 0,02
	Max.	0,065 ± 0,001	77 ± 4	1,17 ± 0,04	1,20 ± 0,05	2,5 ± 0,3	0,050 ± 0,001	6,0 ± 0,2	0,034 ± 0,002	2,2 ± 0,2
	Med.	0,062 ± 0,001	55 ± 11	0,72 ± 0,47	0,74 ± 0,18	1,07 ± 0,35	0,045 ± 0,002	4,9 ± 0,3	0,028 ± 0,003	1,33 ± 0,34
Cigarros aromatizados	Min.	0,060 ± 0,001	38 ± 5	0,38 ± 0,04	0,41 ± 0,01	0,96 ± 0,05	0,045 ± 0,002	4,4 ± 0,1	0,027 ± 0,001	0,77 ± 0,03
	Max.	0,063 ± 0,002	74 ± 9	1,09 ± 0,05	1,11 ± 0,05	1,11 ± 0,05	0,051 ± 0,001	5,3 ± 0,1	0,032 ± 0,001	1,48 ± 0,03
	Med.	0,062 ± 0,001	50 ± 11	0,70 ± 0,24	0,66 ± 0,20	1,02 ± 0,05	0,047 ± 0,002	5,0 ± 0,3	0,029 ± 0,002	1,08 ± 0,26
Cigarros de palha	Min.	0,060 ± 0,003	18,0 ± 0,5	0,40 ± 0,03	0,48 ± 0,01	0,80 ± 0,03	0,042 ± 0,002	4,1 ± 0,2	0,009 ± 0,004	1,00 ± 0,05
	Max.	0,070 ± 0,002	75 ± 3	2,7 ± 0,3	1,28 ± 0,21	1,83 ± 0,05	0,065 ± 0,001	6,0 ± 0,1	0,035 ± 0,001	2,72 ± 0,21
	Med.	0,062 ± 0,003	41 ± 18	1,31 ± 0,74	0,77 ± 0,27	1,33 ± 0,38	0,054 ± 0,008	5,0 ± 0,5	0,027 ± 0,007	1,47 ± 0,52
Charutos	Min.	0,061 ± 0,002	38 ± 2	0,38 ± 0,02	0,33 ± 0,03	0,89 ± 0,04	0,046 ± 0,001	4,91 ± 0,04	0,024 ± 0,001	0,92 ± 0,05
	Max.	0,067 ± 0,004	98 ± 5	1,30 ± 0,5	0,84 ± 0,05	1,30 ± 0,04	0,054 ± 0,001	6,20 ± 0,05	0,032 ± 0,001	1,42 ± 0,02
	Med.	0,064 ± 0,002	84 ± 23	0,74 ± 0,35	0,50 ± 0,18	1,04 ± 0,18	0,049 ± 0,003	5,45 ± 0,47	0,027 ± 0,003	1,13 ± 0,16
Fumos de corda	Min.	0,060 ± 0,001	16,8 ± 0,3	1,5 ± 0,1	0,09 ± 0,02	0,82 ± 0,01	0,040 ± 0,001	4,3 ± 0,2	0,019 ± 0,001	0,61 ± 0,05
	Max.	0,070 ± 0,003	257 ± 6	4,0 ± 0,2	1,36 ± 0,04	1,2 ± 0,1	0,057 ± 0,001	7,9 ± 0,3	1,3 ± 0,2	1,9 ± 0,4
	Med.	0,063 ± 0,002	69 ± 60	2,4 ± 0,6	0,71 ± 0,28	0,96 ± 0,09	0,045 ± 0,0092	5,7 ± 0,4	0,030 ± 0,005	1,27 ± 0,35
Rapés	Min.	0,062 ± 0,001	70 ± 5	3,39 ± 0,07	1,27 ± 0,02	0,88 ± 0,02	0,049 ± 0,001	5,75 ± 0,05	0,028 ± 0,001	< 0,61
	Max.	0,062 ± 0,001	75 ± 3	3,75 ± 0,05	1,36 ± 0,02	0,90 ± 0,04	0,054 ± 0,001	5,39 ± 0,2	0,031 ± 0,001	2,21 ± 0,03
	Med.	0,062 ± 0,001	72 ± 4	3,57 ± 0,25	1,31 ± 0,06	0,89 ± 0,015	0,052 ± 0,003	5,57 ± 0,26	0,029 ± 0,002	-

- não determinado

Continuação da Tab. 4.22 - Valores médios mínimos e máximos de concentração do elemento traço As, Br, Cd, Co, Cr, Cs, Cu, Hg, Ni, Pb, Rb, Sb, Se, Sr, Th, U, V e Zn (mg kg⁻¹) nos derivados da *Nicotiana tabacum* L., pela técnica de EDXRF.

Derivados		Pb	Rb	Sb	Se	Sr	Th	U	V	Zn
Cigarros não aromatizados	Min.	0,26 ± 0,03	19,4 ± 0,1	0,018 ± 0,001	0,039 ± 0,001	80 ± 1	0,016 ± 0,001	0,10 ± 0,02	0,76 ± 0,04	15,9 ± 0,2
	Max.	1,48 ± 0,03	20,8 ± 0,4	0,026 ± 0,001	0,045 ± 0,001	131 ± 1	0,097 ± 0,033	0,19 ± 0,03	2,1 ± 0,3	22,8 ± 0,2
	Med.	0,97 ± 0,44	19,8 ± 0,3	0,022 ± 0,002	0,043 ± 0,002	100 ± 15	0,056 ± 0,026	0,16 ± 0,02	1,26 ± 0,39	18,1 ± 2,1
Cigarros aromatizados	Min.	0,44 ± 0,05	19,4 ± 0,2	0,021 ± 0,001	0,042 ± 0,001	88 ± 1	0,050 ± 0,001	0,15 ± 0,05	0,69 ± 0,04	9,4 ± 0,2
	Max.	1,73 ± 0,04	20,1 ± 0,3	0,024 ± 0,001	0,044 ± 0,001	128 ± 1	0,078 ± 0,001	0,25 ± 0,03	1,70 ± 0,04	20,2 ± 0,3
	Med.	1,06 ± 0,46	19,7 ± 0,2	0,023 ± 0,001	0,043 ± 0,001	107 ± 15	0,064 ± 0,010	0,19 ± 0,04	1,35 ± 0,34	18,0 ± 3,3
Cigarros de palha	Min.	0,40 ± 0,004	15,3 ± 0,2	0,019 ± 0,001	0,041 ± 0,001	64,1 ± 0,3	0,047 ± 0,002	0,13 ± 0,03	0,70 ± 0,03	17,2 ± 0,2
	Max.	1,8 ± 0,03	21 ± 1	0,043 ± 0,004	0,047 ± 0,001	181 ± 1	0,122 ± 0,001	0,33 ± 0,02	3,72 ± 0,05	24,8 ± 0,3
	Med.	1,08 ± 0,53	18 ± 2	0,025 ± 0,006	0,044 ± 0,002	94 ± 30	0,070 ± 0,025	0,21 ± 0,06	1,70 ± 0,92	21,0 ± 2,4
Charutos	Min.	0,44 ± 0,05	18,2 ± 0,2	0,022 ± 0,001	0,043 ± 0,001	113 ± 1	0,045 ± 0,001	0,13 ± 0,02	0,72 ± 0,04	21,1 ± 0,2
	Max.	1,84 ± 0,05	20,4 ± 0,4	0,026 ± 0,001	0,045 ± 0,001	167 ± 1	0,076 ± 0,001	0,27 ± 0,05	1,11 ± 0,04	24,6 ± 0,3
	Med.	1,08 ± 0,46	19,6 ± 1,0	0,024 ± 0,002	0,044 ± 0,001	144 ± 21	0,059 ± 0,011	0,20 ± 0,05	1,01 ± 0,14	22,1 ± 1,3
Fumos de corda	Min.	0,8 ± 0,1	18,8 ± 0,4	0,0228 ± 0,0004	0,043 ± 0,001	64,5 ± 0,4	0,037 ± 0,001	0,15 ± 0,02	0,40 ± 0,05	17,5 ± 0,3
	Max.	1,6 ± 0,4	20,8 ± 0,3	0,033 ± 0,003	0,048 ± 0,001	187,5 ± 0,3	0,133 ± 0,002	0,37 ± 0,01	2,4 ± 0,3	27,7 ± 0,3
	Med.	1,0 ± 0,4	20,1 ± 0,54	0,028 ± 0,002	0,044 ± 0,008	111,1 ± 33,5	0,095 ± 0,024	0,24 ± 0,06	1,23 ± 0,48	22,6 ± 2,7
Rapés	Min.	0,83 ± 0,02	20,4 ± 0,3	0,032 ± 0,001	0,049 ± 0,001	108 ± 1	0,11 ± 0,01	0,26 ± 0,04	1,9 ± 0,2	19,7 ± 0,2
	Max.	1,45 ± 0,04	20,5 ± 0,2	0,035 ± 0,001	0,049 ± 0,001	110 ± 1	0,12 ± 0,01	0,34 ± 0,01	3,65 ± 0,2	23,5 ± 0,5
	Med.	1,14 ± 0,44	20,4 ± 0,1	0,034 ± 0,002	0,049 ± 0,001	110 ± 2	0,12 ± 0,01	0,30 ± 0,06	2,80 ± 1,20	21,6 ± 2,7

PAPPAS (2011) analisando cigarros de diferentes nacionalidades determinou concentrações de As em cigarros canadenses de $0,151 \mu\text{g g}^{-1}$, cigarros indianos de $0,73 \mu\text{g g}^{-1}$ a $0,86 \mu\text{g g}^{-1}$ e $0,25 \mu\text{g g}^{-1}$ em cigarros americanos. PIEDÉ (2015) determinou a concentração média do elemento As de 237 ng g^{-1} em cigarros de diversos países. ELDRIDGE et al. (2015) analisaram o conteúdo de As em filtros de cigarro e determinaram a concentração média de $0,211 \mu\text{g g}^{-1}$. Os resultados encontrados no presente trabalho, variação de $0,060 \mu\text{g g}^{-1}$ nas amostras de cigarro de palha CPCPC e cigarro aromatizado CAMFM a $0,070 \pm 0,002 \mu\text{g g}^{-1}$ na amostra de cigarro de palha CPTV, estão abaixo dos encontrados pelos referidos autores. A FIG. 4.35 apresenta a variação da concentração do elemento As no grupo amostral, os grupos que apresentaram maiores variações de concentração foram os de cigarro de palh, charutos e fumo de corda.

FIGURA 4.35 – Variação da concentração do elemento P (mg kg^{-1}) nos derivados da *Nicotiana tabacum* L. pela técnica EDXRF.

As concentrações determinadas para o elemento Br determinadas nos cigarros analisados no presente trabalho, variação de 38 mg kg^{-1} a 77 mg kg^{-1} , estão de acordo com as obtidas por MÜLLER et al. (2011) que analisaram amostras de cigarros brasileiros, onde obtiveram concentrações que variaram de $29,8 \mu\text{g g}^{-1}$ a $53,3 \mu\text{g g}^{-1}$. Os autores citam que a concentração de Br atingir valores de até $200 \mu\text{g g}^{-1}$, neste trabalho a maior concentração foi determinada nos fumos de corda

FCA4, com concentração máxima de 257 mg kg⁻¹. Na FIG 4.36 observa-se a variação do Br em todo o grupo amostral.

FIGURA 4.36 – Variação da concentração do elemento Br (mg kg⁻¹) nos derivados da *Nicotiana tabacum* L. pela técnica EDXRF.

O elemento Cd apresentou valores de concentrações que variaram de $0,30 \pm 0,05 \mu\text{g g}^{-1}$ na amostra de cigarro não aromatizado CCDV a $4,0 \pm 0,2 \mu\text{g g}^{-1}$ na amostra de fumo de corda FCA10; estes valores estão na mesma faixa de concentração dos autores: PAPPAS (2011) que obteve variação na concentração de $0,28 \mu\text{g g}^{-1}$ a $4,5 \mu\text{g g}^{-1}$, KAZI et al (2009) que analisou filtros de cigarro e obteve uma variação de $1,66 \mu\text{g g}^{-1}$ a $2,96 \mu\text{g cigarro}^{-1}$; PIEDÉ et al. (2015) que analisou filtros de cigarros e obteve uma concentração média de 898 ng g^{-1} e ELDRIDGE et al. (2015) que analisou filtros de cigarros e obteve uma concentração média de $0,988 \mu\text{g g}^{-1}$. A FIG. 4.37 apresenta a variação da concentração nos grupos de amostras.

FIGURA 4.37 – Variação da concentração do elemento Cd (mg kg^{-1}) nos derivados da *Nicotiana tabacum* L. pela técnica EDXRF.

Os valores obtidos de concentração para o elemento Co variaram de $0,33 \pm 0,03 \mu\text{g g}^{-1}$ na amostra de charuto CHMPE a $1,36 \pm 0,02 \mu\text{g g}^{-1}$ na amostra de rapé RPCM e estão de acordo com os valores obtidos por PAPPAS (2011), cuja variação foi de $0,01 \mu\text{g g}^{-1}$ a $0,425 \mu\text{g g}^{-1}$ em cigarros. A FIG. 4.38 apresenta a variação de concentração do elemento no grupo de amostras. Pode-se observar uma grande variação nos resultados para todas as amostras analisadas, com exceção para as duas amostras de rapé.

FIGURA 4.38 – Variação da concentração do elemento Co (mg kg^{-1}) nos derivados da *Nicotiana tabacum* L. pela técnica EDXRF.

Os valores obtidos de concentração para o elemento Cr variaram $0,80 \pm 0,03 \mu\text{g g}^{-1}$ na amostra de cigarro de palha CPTV a $2,5 \pm 0,3 \mu\text{g g}^{-1}$ na amostra de cigarro não aromatizado CCDA, valores concordantes com a variação de concentração obtida por PAPPAS (2011) de $0,353 \mu\text{g g}^{-1}$ a $5,0 \mu\text{g g}^{-1}$ determinada em cigarros. A FIG. 4.39 apresenta a variação de concentração do elemento no grupo de amostras; as maiores variações foram obtidas para o grupo de cigarro de palha.

FIGURA 4.39 – Variação da concentração do elemento Cr (mg kg^{-1}) nos derivados da *Nicotiana tabacum* L. pela técnica EDXRF.

A concentração do elemento Cs variou de $0,040 \pm 0,001 \%$ na amostra de fumo de corda FCA4 a $0,065 \pm 0,001 \%$ na amostra de cigarro de palha CPVC. A FIG. 4.40 apresenta a variação da concentração do elemento Cs nos grupos de amostras; o grupo que apresentou as maiores concentrações foi o cigarro de palha.

FIGURA 4.40 – Variação da concentração do elemento Cs (mg kg^{-1}) nos derivados da *Nicotiana tabacum* L. pela técnica EDXRF.

O elemento Cu também apresentou concentrações de acordo com PAPPAS (2015). O autor reporta variação das concentrações de $3,49$ a $19,2 \mu\text{g g}^{-1}$ e neste trabalho a variação foi de $4,1 \pm 0,2 \mu\text{g g}^{-1}$ a $7,9 \pm 0,3 \mu\text{g g}^{-1}$. A FIG. 4.41 apresenta a variação da concentração do elemento Cu nos grupos de amostras.

FIGURA 4.41 – Variação da concentração do elemento Cu (mg kg^{-1}) nos derivados da *Nicotiana tabacum* L. pela técnica EDXRF.

Para o elemento Hg, o autor PAPPAS (2011) reporta concentrações de $0,020 \mu\text{g g}^{-1}$ a $0,027 \mu\text{g g}^{-1}$ em cigarros, os valores médios obtidos no presente trabalho variaram de $0,019 \pm 0,004 \mu\text{g g}^{-1}$ na amostra de fumo de corda FCA4 a $0,040 \pm 0,001 \mu\text{g g}^{-1}$ na amostra de fumo de corda FCDTT. A FIG. 4.42 apresenta a variação da concentração do Hg nos grupos de amostras.

FIGURA 4.42 – Variação da concentração do elemento Hg (mg kg^{-1}) nos derivados da *Nicotiana tabacum* L. pela técnica EDXRF.

As concentrações do elemento Ni foi determinada na maioria das amostras e os valores obtidos variaram de $0,61 \pm 0,05 \mu\text{g g}^{-1}$ na amostra de fumo de corda FCSC a $2,7 \pm 0,2 \mu\text{g g}^{-1}$ na amostra de cigarro de palha CPSP, estes valores estão dentro da faixa de concentração reportada por PAPPAS (2011) que obteve um intervalo de concentração de $0,25 \mu\text{g g}^{-1}$ a $10,2 \mu\text{g g}^{-1}$. KAZI et al (2009) obteve variação de $0,725$ a $1,34 \mu\text{g g}^{-1}$ e ELDRIDGE (2015) valores médios de $2,046 \mu\text{g g}^{-1}$ em análises de filtros de cigarros. A FIG. 4.43 apresenta a variação do elemento Ni nos grupos de amostras.

FIGURA 4.43 – Variação da concentração do elemento Ni (mg kg^{-1}) nos derivados da *Nicotiana tabacum* L. pela técnica EDXRF.

Os valores de concentração para o elemento Pb são da mesma ordem de grandeza dos obtidos nas análises de filtros de cigarro dos autores KAZI et al. (2009), ELDRIGE et al. (2015) e PIEDÉ et al. (2015), cujos valores variaram de $0,399 \mu\text{g g}^{-1}$ - $1,39 \mu\text{g g}^{-1}$ para o primeiro autores e valores médios de $0,620 \mu\text{g g}^{-1}$ e 466 ng g^{-1} , para o segundo e terceiro autor, respectivamente Os valores determinados no presente trabalho variaram de $0,26 \pm 0,03 \mu\text{g g}^{-1}$ na amostra de cigarro não aromatizado CCFV a $1,84 \pm 0,05 \mu\text{g g}^{-1}$ na amostra de charuto CHDNE. A FIG. 4.44 apresenta a variação da concentração do elemento Pb nas amostras analisadas.

FIGURA 4.44 – Variação da concentração do elemento Hg (mg kg^{-1}) nos derivados da *Nicotiana tabacum* L. pela técnica EDXRF.

A concentração do elemento Rb variou de $15,3 \pm 0,2 \text{ mg kg}^{-1}$ na amostra de cigarro de palha CPC a $21 \pm 1 \text{ mg kg}^{-1}$ na amostra de cigarro de palha CPTV. A FIG. 4.45 apresenta a variação da concentração do elemento Rb nos grupos amostrados; o grupo que apresentou as maiores concentrações foi o cigarro de palha.

FIGURA 4.45 – Variação da concentração do elemento Rb (mg kg^{-1}) nos derivados da *Nicotiana tabacum* L. pela técnica EDXRF.

A concentração do elemento Sb variou de $0,018 \pm 0,001 \text{ mg kg}^{-1}$ na amostra de cigarro não aromatizado CCSH a $0,043 \pm 0,004 \text{ mg kg}^{-1}$ na amostra de cigarro de palha CPTV. A FIG. 4.46 apresenta a variação da concentração do elemento Sb nos grupos amostrados; o grupo que apresentou as maiores concentrações foi o cigarro de palha.

FIGURA 4.46 – Variação da concentração do elemento Sb (mg kg^{-1}) nos derivados da *Nicotiana tabacum* L. pela técnica EDXRF.

A concentração do elemento Se variou de $0,039 \pm 0,001 \text{ mg kg}^{-1}$ na amostra de cigarro não aromatizado CCSH a $0,049 \pm 0,004 \text{ mg kg}^{-1}$ na amostra de rapé RPCM. ELDRIDGE et al. (2015) obteve valores médios de concentração de Se de $0,13 \mu\text{g g}^{-1}$ em filtros de cigarros, valores muito superiores aos determinados no presente trabalho. A FIG. 4.47 apresenta a variação da concentração do

elemento Se nos grupos amostrados; os grupos de amostras que apresentaram maiores variações foram os de cigarro não aromatizado, cigarro de palha, charuto e fumo de corda.

FIGURA 4.47– Variação da concentração do elemento Se (mg kg^{-1}) nos derivados da *Nicotiana tabacum* L. pela técnica EDXRF.

A concentração do elemento Sr variou de $64,1 \pm 0,3 \text{ mg kg}^{-1}$ na amostra de cigarro de palha CPVC a $187,5 \pm 0,3 \text{ mg kg}^{-1}$ na amostra de fumo de corda FCA5. A FIG. 4.48 apresenta a variação da concentração do elemento Sb nos grupos amostrados; uma grande variação nas concentrações pode ser observada nos grupos de amostras de cigarro de palha, charuto e fumo de corda.

FIGURA 4.48 – Variação da concentração do elemento Sr (mg kg^{-1}) nos derivados da *Nicotiana tabacum* L. pela técnica EDXRF.

A concentração do elemento Th variou de $0,037 \pm 0,001 \text{ mg kg}^{-1}$ na amostra de fumo de corda FCA5 a $0,133 \pm 0,002 \text{ mg kg}^{-1}$ na amostra de fumo de corda, FCDTT. Na FIG 4.49 pode-se observar as variações das concentrações de Th em todo grupo amostral; o grupo de amostras que apresentou a maior variação nas concentrações do elemento Th foi o de fumo de corda.

FIGURA 4.49 – Variação da concentração do elemento Th (mg kg^{-1}) nos derivados da *Nicotiana tabacum* L. pela técnica EDXRF.

A concentração do elemento U variou de $0,10 \pm 0,02 \text{ mg kg}^{-1}$ na amostra de cigarro não aromatizado CCMS a $0,37 \pm 0,01 \text{ mg kg}^{-1}$ na amostra de fumo de corda, FCC. Na FIG 4.50 pode-se observar as variações das concentrações de U em todo grupo amostral.

FIGURA 4.50 – Variação da concentração do elemento U (mg kg^{-1}) nos derivados da *Nicotiana tabacum* L. pela técnica EDXRF.

A concentração do elemento V variou de $0,40 \pm 0,05 \text{ mg kg}^{-1}$ na amostra de fumo de corda FCCPR a $3,72 \pm 0,05 \text{ mg kg}^{-1}$ na amostra de cigarro de palha CPPG. A FIG. 4.51 apresenta a variação da concentração do elemento V em todo grupo amostral; os grupos de amostras que apresentaram maiores variações foram os de cigarro não aromatizado, cigarro de palha, charuto e fumo de corda.

FIGURA 4.51 – Variação da concentração do elemento V (mg kg^{-1}) nos derivados da *Nicotiana tabacum* L. pela técnica EDXRF.

A concentração do elemento Zn variou de $9,4 \pm 0,2 \text{ mg kg}^{-1}$ na amostra de cigarro aromatizado CALSF a $27,7 \pm 0,3 \text{ mg kg}^{-1}$ na amostra de fumo de corda, FCA10. Na FIG 4.52 pode-se observar as variações das concentrações de Zn no grupo amostral.

FIGURA 4.52 – Variação da concentração do elemento U (mg kg^{-1}) nos derivados da *Nicotiana tabacum* L. pela técnica EDXRF

4.7.2.3 Elementos Terras Raras La, Nd e Sm

Na TAB. 4.23 são apresentados os valores mínimo, máximo e média de concentração (mg kg^{-1}) dos elementos La, Nd e Sm, nas amostras de cigarros não aromatizados, cigarros aromatizados, cigarros de palha, charutos, fumos de corda e rapés.

Entre os elementos terras raras determinados, o elemento La, apresentou os maiores valores de concentração que variaram de $1,8 \pm 0,2 \text{ mg kg}^{-1}$ na amostra de cigarro não aromatizado CASH a $39 \pm 2 \text{ mg kg}^{-1}$ na amostra de cigarro de palha CPVC; na FIG 4.53 podem-se observar as variações das concentrações de La no grupo amostral.

O elemento Nd foi determinado em apenas uma amostra de charuto e o elemento Sm não foi determinado nas amostras de rapé.

Tab. 4.23 - Valores médios, mínimos e máximos de concentração dos elementos terras raras La, Nd e Sm (mg kg^{-1}) nos derivados da *Nicotiana tabacum* L., pela técnica de EDXRF

DERIVADOS		LA	ND	SM
CIGARROS NÃO AROMATIZADOS	Min.	$1,8 \pm 0,2$	$5,5 \pm 0,4$	$1,08 \pm 0,03$
	Max.	16 ± 1	18 ± 1	$2,3 \pm 0,1$
	Med.	$6,3 \pm 3,8$	$9,0 \pm 4,0$	$1,46 \pm 0,47$
CIGARROS AROMATIZADOS	Min.	$3,0 \pm 0,4$	$5,2 \pm 0,1$	$0,93 \pm 0,05$
	Max.	$9,1 \pm 0,5$	$6,5 \pm 0,2$	$1,8 \pm 0,1$
	Med.	$6,3 \pm 2,4$	$5,4 \pm 0,9$	$1,27 \pm 0,39$
CIGARROS DE PALHA	Min.	$9,1 \pm 0,2$	$5,4 \pm 0,1$	$1,3 \pm 0,2$
	Max.	39 ± 2	$8,4 \pm 0,4$	$3,3 \pm 0,4$
	Med.	$19,1 \pm 10,7$	$7,0 \pm 2,3$	$2,2 \pm 0,9$
CHARUTOS	Min.	$6,3 \pm 0,2$	$< 5,02$	$1,52 \pm 0,02$
	Max.	$12,8 \pm 0,4$	$5,8 \pm 0,5$	$2,11 \pm 0,05$
	Med.	$8,4 \pm 2,3$	-	$1,77 \pm 0,31$
FUMOS DE CORDA	Min.	$2,1 \pm 0,3$	$5,8 \pm 0,4$	$1,0 \pm 0,2$
	Max.	$26,8 \pm 0,5$	$13,3 \pm 0,4$	$5,4 \pm 0,5$
	Med.	$10,6 \pm 5,4$	$8,3 \pm 2,6$	$2,5 \pm 1,4$
RAPÉS	Min.	$4,5 \pm 0,4$	$7,66 \pm 0,05$	$< 0,87$
	Max.	$7,1 \pm 0,4$	$9,31 \pm 0,05$	$< 0,87$
	Med.	$5,8 \pm 1,8$	$8,49 \pm 1,17$	-

- não determinado

FIGURA 4.53 – Variação da concentração do elemento La (mg kg^{-1}) nos derivados da *Nicotiana tabacum* L. pela técnica EDXRF

A concentração do elemento Nd variou de $5,2 \pm 0,1 \text{ mg kg}^{-1}$ na amostra de cigarro aromatizado CALSA a $18 \pm 1 \text{ mg kg}^{-1}$ na amostra de cigarro não aromatizado CCDA. Na FIG 4.54 podem-se observar as variações das concentrações de La no grupo amostral.

FIGURA 4.54 – Variação da concentração do elemento Nd (mg kg^{-1}) nos derivados da *Nicotiana tabacum* L. pela técnica EDXRF

A concentração do elemento Sm variou de $0,93 \pm 0,06 \text{ mg kg}^{-1}$ na amostra de cigarro aromatizado CALAM a $5,4 \pm 0,5 \text{ mg kg}^{-1}$ na amostra de fumo de corda FCDR. Na FIG 4.55 podem-se observar as variações das concentrações de Sm no grupo amostral.

FIGURA 4.55 – Variação da concentração do elemento Sm (mg kg^{-1}) nos derivados da *Nicotiana tabacum* L. pela técnica EDXR

Martinez et al. 2008 analisaram 9 marcas de cigarros mexicanos pela técnica de Fluorescência de raio-X por Reflexão Total e concluíram que os dados obtidos pelo método são precisos e reprodutíveis e fornecem a vantagem de análise de alguns elementos que não podem ser detectados pela técnica de INAA. A TAB 4.24 compara os resultados obtidos pela técnica de EDXRF com os resultados obtidos pelos autores.

TABELA 4.24 - Valores médios de concentração determinados no presente trabalho e em cigarros mexicanos (mg kg^{-1})

Elementos	MARTINEZ et al.(2008)	Presente estudo	
	Cigarros mexicanos	Cigarros não aromatizados	Cigarros aromatizados
Br	11	55	50
*Ca	3	1,7	1,7
Cu	14	4,9	5,0
Fe	485	583	595
Mn	108	188	191
Ni	2	1,3	1,1
Pb	1	1,0	1,0
Rb	20	20	20
Sr	130	100	107
Zn	41	18	18

*Ca em %

Os elementos Br e Mn apresentaram concentrações maiores das determinadas em cigarros mexicanos e os elementos Ca, Cu, Ni, e Zn apresentaram valores menores do que os encontrados pelos autores.

4.7.3 Radionuclídeos Naturais ^{226}Ra , ^{210}Pb , ^{210}Po , ^{238}U , ^{228}Ra e ^{232}Th

Na TAB. 4.25 são apresentados os valores de concentrações mínimo, máximo e média dos radionuclídeos ^{226}Ra , ^{210}Pb , ^{210}Po , ^{238}U , ^{228}Ra e ^{232}Th em mBq g^{-1} nas amostras de cigarros não aromatizados, cigarros aromatizados, cigarros de palha, charutos, fumos de corda e rapé.

Os resultados de concentração dos radionuclídeos naturais ^{238}U e ^{232}Th obtidos por EDXRF foram convertidos de mg kg^{-1} para mBq g^{-1} usando a expressão (5.1) (DAMATTO, 2010).

$$A = \frac{0,693 \cdot m \cdot Na}{T_{1/2} \cdot MA} \quad (5.1)$$

Em que:

A: atividade específica (Bq g⁻¹);

m: massa de amostra (g)

Na: número de Avogrado;

MA: massa atômica (g);

T_{1/2}: meia vida do radionuclídeo

TABELA 4.25 - Valores médios mínimos e máximos de concentração do radionuclídeos naturais (mBq g⁻¹)

DERIVADOS		²²⁶ Ra	²¹⁰ Pb	²¹⁰ Po	²³⁸ U	²²⁸ Ra	²³² Th
Cigarros não aromatizados	Min.	7 ± 1	15 ± 5	14 ± 1	1,3 ± 0,1	34 ± 2	0,066 ± 0,004
	Max.	13 ± 2	26 ± 2	25 ± 1	2,4 ± 0,1	45 ± 6	0,40 ± 0,01
	Med.	10 ± 2	21 ± 3	21 ± 1	2,0 ± 0,4	40 ± 5	0,228 ± 0,105
Cigarros aromatizados	Min.	4,7 ± 0,2	< 4,9	6,3 ± 0,5	1,8 ± 0,4	26 ± 5	0,202 ± 0,004
	Max.	14 ± 1	25 ± 2	22 ± 1	3,1 ± 0,4	69 ± 6	0,318 ± 0,004
	Med.	9 ± 4	18 ± 4	16 ± 1	2,4 ± 0,4	40 ± 12	0,259 ± 0,039
Cigarros de palha	Min.	6 ± 2	17 ± 2	11 ± 1	1,6 ± 0,1	37 ± 3	0,128 ± 0,004
	Max.	22 ± 7	55 ± 5	35 ± 2	4,1 ± 0,1	81 ± 4	0,498 ± 0,004
	Med.	12 ± 2	30 ± 4	19 ± 1	2,6 ± 0,8	57 ± 4	0,285 ± 0,103
Charutos	Min.	18 ± 1	6,2 ± 0,5	15 ± 1	1,6 ± 0,3	52 ± 3	0,183 ± 0,004
	Max.	28 ± 1	22 ± 2	22 ± 1	3,4 ± 0,6	78 ± 4	0,310 ± 0,004
	Med.	23 ± 1	13 ± 1	18 ± 1	2,6 ± 0,6	63 ± 3	0,241 ± 0,046
Fumos de corda	Min.	6 ± 2	5 ± 1	10 ± 1	1,9 ± 0,4	28 ± 6	0,151 ± 0,004
	Max.	40 ± 6	78 ± 2	28 ± 1	4,6 ± 0,1	152 ± 1	0,543 ± 0,01
	Med.	12 ± 2	35 ± 3	18 ± 1	2,9 ± 0,7	48 ± 5	0,387 ± 0,097
Rapés	Min.	19 ± 1	24 ± 2	22 ± 2	3,2 ± 0,1	35 ± 2	0,487 ± 0,004
	Max.	17 ± 1	30 ± 3	29 ± 3	4,3 ± 0,1	34 ± 2	0,460 ± 0,004
	Med.	18 ± 1	27 ± 4	28 ± 1	3,7 ± 0,7	35 ± 1	0,474 ± 0,019

A concentração do radionuclídeo ^{226}Ra variou de $4,7 \pm 0,2 \text{ mBq g}^{-1}$ na amostra de cigarro não aromatizado CALAM a $40 \pm 6 \text{ mBq g}^{-1}$ na amostra de fumo de corda FCAAL; as maiores concentrações de ^{226}Ra foram determinadas em duas amostras de cigarro de palha e em uma amostra de fumo de corda. ABD EL - AZIZ, (2005) determinou em amostras de tabaco uma concentração do radionuclídeo ^{226}Ra de $6,98 \pm 0,56 \text{ mBq g}^{-1}$ e SILVA (2015) encontrou valores de concentração entre $10,4 \pm 0,7 \text{ mBq g}^{-1}$ a $16,1 \pm 0,9 \text{ mBq g}^{-1}$, valores da mesma ordem de grandeza do presente trabalho.

Na FIG. 4.56 pode-se observar as variações da concentração do radionuclídeo ^{226}Ra nas amostras analisadas.

FIGURA 4.56 – Variação da concentração do radionuclídeo ^{226}Ra (mBq g^{-1}) nos derivados da *Nicotiana tabacum* L.

A concentração do radionuclídeo ^{210}Pb variou de $4,9 \pm 0,4 \text{ mg kg}^{-1}$ (LID da metodologia) na amostra de cigarro aromatizado CALAM a $78 \pm 2 \text{ mg kg}^{-1}$ na amostra de fumo de corda FCA9.

Os valores máximos de concentração determinados para o radionuclídeo ^{210}Pb no presente trabalho são muito superiores aos determinados por ABD EL-AZIZ et al (2005) que analisaram amostras de tabaco por espectrometria gama e obtiveram valores médios de $15,62 \pm 1,2 \text{ Bq / kg}$ e SILVA (2015) que determinou nas folhas de tabaco uma concentração média de $14 \pm 1 \text{ mBq g}^{-1}$.

Na FIG 4.57 podem-se observar as variações das concentrações do radionuclídeo ^{210}Pb no grupo amostral.

FIGURA 4.57 – Variação da concentração do radionuclídeo ^{210}Pb (mBq g^{-1}) nos derivados da *Nicotiana tabacum* L.

A concentração do radionuclídeo ^{210}Po variou de $6,3 \pm 0,5 \text{ mBq g}^{-1}$ na amostra de cigarro aromatizado CADBM a $35 \pm 2 \text{ mBq g}^{-1}$ na amostra de cigarro de palha CPCPC. A FIG. 4.58 apresenta as variações das concentrações do radionuclídeo ^{210}Po no grupo amostral. Nieri Neto (1996) cita em seu estudo que as concentrações de ^{210}Po variam amplamente de $0,04 \text{ mBq g}^{-1}$ a 111 mBq g^{-1} em plantas (material seco) e que em folhas de tabaco a concentração pode variar de $5,6 \text{ mBq g}^{-1}$ a 102 mBq g^{-1} . Godoy et al. (1992) determinou uma concentração média de ^{210}Po em folhas de tabaco brasileiro de $22,0 \pm 5,6 \text{ mBq g}^{-1}$ e Silva (2015) determinou o radionuclídeo também em folhas de tabaco brasileiro e obteve concentrações entre $5,2$ e 18 mBq g^{-1} .

Em outros estudos de folhas de tabaco fora do território brasileiro, as concentrações encontradas por Savidou et al. (2006) em amostras gregas variaram entre $3,6$ a 17 mBq g^{-1} e Skwarzec et al. (2001) em amostras polonesas variaram entre $10,4$ a $35,0 \text{ mBq g}^{-1}$.

As variações encontradas neste trabalho são próximas das encontradas em amostras de folhas de tabaco da literatura.

FIGURA 4.58 – Variação da concentração do radionuclídeo ^{210}Po (mBq g^{-1}) nos derivados da *Nicotiana tabacum* L.

A concentração do radionuclídeo ^{238}U variou de $1,3 \pm 0,1 \text{ mBq g}^{-1}$ na amostra de cigarro não aromatizado CCMS a $4,6 \pm 0,1 \text{ mBq g}^{-1}$ na amostra de fumo de corda FCC. A FIG. 4.59 apresenta as variações das concentrações do radionuclídeo ^{238}U no grupo amostral.

FIGURA 4.59 – Variação da concentração do radionuclídeo ^{238}U (mBq g^{-1}) nos derivados da *Nicotiana tabacum* L.

A concentração do radionuclídeo ^{228}Ra variou de $26 \pm 5 \text{ mBq g}^{-1}$ na amostra de cigarro aromatizado CALSF a $152 \pm 1 \text{ mBq g}^{-1}$ na amostra de fumo de corda FCAAL. As concentrações determinadas de ^{228}Ra são da mesma ordem de grandeza dos valores determinados por SILVA (2015) que analisou folhas de tabaco e obteve valores entre $67 \pm 3 \text{ mBq g}^{-1}$ a $103 \pm 4 \text{ mBq g}^{-1}$. A FIG. 4.60

apresenta as variações das concentrações do radionuclídeo ^{228}Ra no grupo amostral.

FIGURA 4.60 – Variação da concentração do radionuclídeo ^{228}Ra (mBq g^{-1}) nos derivados da *Nicotiana tabacum* L.

A concentração do radionuclídeo ^{232}Th variou de $0,066 \pm 0,004 \text{ mBq g}^{-1}$ na amostra de cigarro não aromatizado CCDLV a $0,54 \pm 0,01 \text{ mBq g}^{-1}$ na amostra de fumo de corda FCDTT. SILVA (2015) obteve valores médios de concentração de ^{232}Th em folhas de plantas de tabaco, variedade Burley, de $3,0 \pm 0,6 \text{ mBq g}^{-1}$, os valores muito acima dos determinados no presente trabalho. A FIG. 4.61 apresenta as variações das concentrações do radionuclídeo ^{232}Th no grupo amostral.

FIGURA 4.61 – Variação da concentração do radionuclídeo ^{232}Th (mBq g^{-1}) nos derivados da *Nicotiana tabacum* L.

A FIG. 4.62 apresenta as concentrações médias dos radionuclídeos estudados considerando a massa de tabaco de um cigarro de aproximadamente 0,5g. Embora o radionuclídeo ^{228}Ra da série de decaimento do ^{232}Th tenha apresentado as maiores concentrações, toda a atenção é voltada para os radionuclídeos ^{210}Pb e ^{210}Po , pois eles são volatilizados à temperatura de queima do cigarro e são inalados pelo homem (IWAOKA e YONEHARA, 2012)

Pode-se observar que os radionuclídeos que apresentaram as maiores concentrações em todas as amostras analisadas foram ^{228}Ra , ^{210}Pb e ^{210}Po e as menores concentrações foram obtidas para os radionuclídeos ^{238}U e ^{232}Th .

FIGURA 4.62 – Concentração média dos radionuclídeos em mBq cigarro⁻¹.

A FIG. 4.63 apresenta os valores de concentração dos radionuclídeos ^{226}Ra , ^{210}Pb e ^{210}Po em mBq cigarro⁻¹ do presente trabalho e de artigos da literatura.

FIGURA 4.63 – Concentração dos radionuclídeos ^{226}Ra , ^{210}Pb e ^{210}Po em amostras de cigarros (mBq cigarro^{-1}), presente trabalho e dados da literatura.

Observa-se na FIG. 4.63 que os valores determinados no presente trabalho são da mesma ordem de grandeza da maioria dos artigos da literatura.

A TAB. 4.25 apresenta os valores de concentração dos radionuclídeos ^{210}Pb e ^{210}Po em mBq g^{-1} do presente trabalho e de Kelecon et al. que determinaram os radionuclídeos em amostras de charutos de diferentes localidades. Observa-se que os valores determinados no presente estudo são da mesma ordem de grandeza da maioria dos locais.

TABELA 4.26 – Concentração dos radionuclídeos ^{210}Pb e ^{210}Po (mBq g^{-1}) em amostras de charutos.

Autor	Origem	^{210}Po (mBq g^{-1})	^{210}Pb (mBq g^{-1})
KELECON et al., 2002	Brasil	$25,7 \pm 4,6$	$15,2 \pm 6,9$
	Cuba	$13,0 \pm 4,7$	$6,0 \pm 4,7$
	Republica Dominicana	$24,5 \pm 8,4$	$11,9 \pm 5,3$
	Europa	$24,6 \pm 8,7$	$5,1 \pm 2,4$
	América Latina	$34,0 \pm 14,4$	$12,3 \pm 4,4$
	Estados Unidos	$16,9 \pm 7,3$	$5,4 \pm 1,6$
Presente estudo	Brasil	18 ± 1	13 ± 1

4.7.4 Avaliação da dose

4.7.4.1 Dose estimada

Para o cálculo da dose estimada, para os radionuclídeos ^{210}Pb e ^{210}Po , foi levado em consideração que um cigarro tem aproximadamente 0,5 g de tabaco e que um fumante consome um maço de cigarro por dia contendo 20 cigarros, portanto uma massa de 10 g de tabaco por dia ou 3,65 kg por ano. As frações ingeridas dos radionuclídeos estudados, da fumaça para os pulmões, seguiram os valores da literatura: ^{210}Pb de 0,5 (TAHIR, 2008) e de ^{210}Po de 0,2 (BEGY, 2015).

Embora as referências sejam somente para os cigarros com filtro e as formas de inalação sejam diferentes para cada tipo de derivado estudado, considerou-se as mesmas frações ingeridas do radionuclídeo para todos os tipos de derivados de tabaco analisados.

Na FIG. 4.64 são apresentados os valores de dose média estimada ($\mu\text{Sv ano}^{-1}$) para os radionuclídeos ^{210}Pb e ^{210}Po nos derivados de tabaco analisados.

FIGURA 4.64 – Dose média estimada de ^{210}Pb e ^{210}Po ($\mu\text{Sv ano}^{-1}$) nos derivados de tabaco analisados

Na FIG. 4.65 e na TAB.4.27 (FIG. 4.65 amostras de cigarro e na TAB.4.25 outros derivados de tabaco e folhas de tabaco) são apresentadas as doses estimadas para os radionuclídeos ^{210}Pb e ^{210}Po determinadas no presente trabalho e de artigos da literatura. Pode-se observar que os derivados de tabaco estudados no presente trabalho apresentaram valores de dose menores dos determinados na maioria da literatura, mais ainda dentro do intervalo relatado.

FIGURA 4.65 – Dose média estimada de ^{210}Pb e ^{210}Po ($\mu\text{Sv ano}^{-1}$) em amostras de cigarro do presente trabalho e da literatura.

TABELA 4.27 – Dose anual estimada dos radionuclídeos ^{210}Pb e ^{210}Po ($\mu\text{Sv ano}^{-1}$) nos derivados de tabaco analisados e de artigos da literatura

DOSE ANUAL ESTIMADA ($\mu\text{SV ANO}^{-1}$)			
	Derivado de tabaco	Radionuclídeo	
		^{210}Pb	^{210}Po
SAVIDOU ET AL., 2006	Folhas de tabaco	163	124
PRESENTE ESTUDO	Cigarro de palha	60	46
	Charuto	26	43
	Fumo de corda	70	43
	Rapé	54	67

4.7.4.2 Dose anual efetiva

A dose anual efetiva foi determinada somando as doses estimadas dos radionuclídeos ^{210}Pb e ^{210}Po nos grupos amostrados. Na FIG. 4.66 são apresentados os valores determinados no presente trabalho.

FIGURA 4.66 – Dose anual efetiva ($\mu\text{Sv ano}^{-1}$)

A dose anual efetiva para os derivados de tabaco estudados calculada variou de $69,5 \mu\text{Sv ano}^{-1}$ a $121 \mu\text{Sv ano}^{-1}$, valores abaixo da dose de inalação limite para o público estipulada pela International Commission on Radiological Protection (ICRP) de 1 mSv ano^{-1} (ICRP Publ. 82),

4.8 Caracterização química inorgânica e radiológica dos derivados da *Nicotiana tabacum* L. estudados

Nas TAB. 4.28, 4.29 e 4.30 são apresentados os intervalos de concentração para os elementos químicos e radionuclídeos naturais determinados nas respectivas técnicas, INAA, EDXRF e radioquímica para os derivados de tabaco analisados no presente trabalho.

Na técnica de INAA os elementos Ca e K apresentaram os maiores valores de concentração (%) embora as concentrações de K ficaram abaixo do LID na metodologia em todas as amostras de cigarros aromatizados.

Os elementos traços que apresentaram maiores valores de concentração foram: Ba, Br, Rb e Zn, e os elementos terras raras que apresentaram maiores valores de concentração no foram Ce e La.

Observou-se que os maiores valores de concentração foram determinados nas amostras de cigarro de palha.

Pela técnica de INAA os valores de concentração ficaram abaixo do LID para os elementos Sb, Ta, U, Lu e Nd e, para o elemento K nas amostras de cigarros aromatizados. O elemento Se somente foi determinado em cinco amostras (quatro fumos de corda e um rapé), o elemento Tb foi determinado em sete amostras (um cigarro não aromatizado, três cigarros de palha e três fumos de corda) e o elemento Yb foi determinado somente em duas amostras (um cigarro de palha e um fumo de corda)

Pode-se concluir que a técnica de INAA foi satisfatória para determinação dos elementos analisados.

TABELA 4.28 – Intervalo de concentração dos elementos determinados pela técnica de INAA em mg kg⁻¹ e *%, nos derivados de tabaco analisados

	Cig. não aromatizado	Cig. aromatizado	Cig. de palha	Charuto	Fumo de corda
*Ca	2,3 – 3,8	1,8 – 4,1	1,9 – 6,6	2,6 – 4,6	1,1 – 4,6
*Fe	0,04 – 0,11	0,04 – 0,11	0,04 – 0,33	0,05 – 0,06	0,02 – 0,08
*K	2,4 – 4,5	< 0,3	0,8 – 5,3	2,0 – 5,6	1,1 – 5,4
*Na	0,04 – 0,07	0,04 – 0,12	0,01 – 0,2	0,04 – 0,10	0,01 - 0,12
As	1,4 – 2,9	2,1 – 2,9	1,9 – 6,4	2,4 – 2,5	1,5 – 3,2
Ba	89 - 207	82 - 165	67 - 197	74 - 165	41 - 207
Br	7 - 87	21 - 72	30 - 153	49 - 164	22 - 226
Co	0,6 – 1,1	0,5 – 1,1	0,4 – 1,8	0,3 – 0,6	0,2 – 1,4
Cr	1,1 – 4,4	1,4 – 2,6	0,8 – 8,1	1,1 – 4,7	1,1 – 5,2
Cs	0,1 – 0,5	0,1 – 0,4	0,1 – 0,5	0,1 – 0,2	0,1 – 0,5
Hf	0,1 – 0,3	0,1 – 0,4	0,1 – 1,2	0,3 – 0,5	0,1 – 0,6
Rb	22 - 43	21 - 33	14 - 51	19 - 43	12 - 46
Th	< 0,38	< 0,38	0,4 – 1,6	< 0,38	0,4 – 0,9
Zn	26 - 45	31 - 43	43 - 137	36 - 80	22 - 127
Ce	1,1 – 5,7	0,9 – 2,3	2 – 11	1,8 – 1,9	1 - 25
Eu	< 0,09	< 0,09	0,1 – 0,2	< 0,09	0,1 – 0,2
La	1,2 – 2,7	1,4 – 3,8	1 - 31	< 0,53 – 0,89	1 - 72
Sc	0,1 – 0,4	0,2 – 0,3	0,1 – 1,3	0,09 – 0,73	0,05 – 0,06
Sm	0,08 – 0,23	0,08 – 1,17	0,12 – 0,84	< 0,04	0,04 – 0,84

Pela técnica de EDXRF foi possível determinar os valores de concentração dos elementos maiores Al, Cl, I, Mg, Mn, P e S, os valores de concentração dos elementos traços Cd, Cu, Hg, Ni, Pb, Sb, Se, Sr e V e o elemento terra rara Nd. Estes elementos não foram determinados pela técnica de INAA ou apresentaram valores de concentração abaixo do LID no método.

TABELA 4.29 – intervalo de concentração dos elementos determinados pela técnica de EDXRF em mg kg⁻¹ e *%, nos derivados de tabaco analisados

	Cig. não aromatizado	Cig. aromatizado	Cig. de palha	Charuto	Fumo de corda
*Al	0,04 – 0,09	0,05 – 0,09	0,05 – 0,25	0,06 – 0,12	0,01 – 0,17
*Ca	1,5 – 1,8	1,6 – 1,8	1,3 – 3,4	1,6 – 2,4	1,4 – 2,4
*Cl	0,5 – 1,3	0,6 – 1,1	0,12 – 1,3	0,7 – 1,5	0,2 – 1,7
*Fe	0,04 – 0,09	0,05 – 0,08	0,03 – 0,20	0,04 – 0,05	0,03 – 0,12
*I	0,019 – 0,022	0,020 – 0,022	0,016 – 0,024	0,019 – 0,021	0,016 – 0,023
*K	2,0 – 3,5	2,4 – 3,3	0,9 – 3,6	2,6 – 5,5	1,1 – 4,6
*Mg	0,5 – 1,2	0,7 – 1,1	0,3 – 1,3	1,4 – 2,4	0,1 – 2,2
*Mn	0,01 – 0,03	0,01 – 0,02	0,01 – 0,08	0,01 – 0,02	0,01 – 0,08
*P	0,1 – 0,2	0,1 – 0,2	0,1 – 0,2	0,2 – 0,3	0,1 – 0,5
*S	0,2 – 0,3	0,2 – 0,3	0,2 – 0,4	0,4 – 0,7	0,03 – 0,51
As	0,061 – 0,065	0,060 – 0,063	0,06 – 0,07	0,06 – 0,07	0,06 – 0,07
Br	39 - 77	38 - 74	18 - 75	38 - 98	17 - 257
Cd	0,2 – 1,2	0,4 - 1,1	0,4 – 2,7	0,4 – 1,3	1,5 – 4,0
Co	0,5 – 1,2	0,4 – 1,1	0,5 – 1,3	0,3 – 0,8	0,1 – 1,4
Cr	0,8 – 2,5	0,9 – 1,1	0,8 – 1,8	0,9 – 1,3	0,8 – 1,2
Cs	0,04 – 0,05	0,04 – 0,05	0,04 – 0,07	0,046 – 0,054	0,04 – 0,06
Cu	4,4 – 6,0	4,4 – 5,3	4,1 – 6,0	4,9 – 6,2	4,3 – 7,9
Hg	0,02 0,03	0,027 – 0,032	0,01 – 0,03	0,02 – 0,03	0,02 – 1,3
Ni	0,7 – 2,2	0,8 – 1,5	1,0 – 2,7	0,9 – 1,4	0,6 – 1,9
Pb	0,3 – 1,5	0,4 – 1,7	0,4 – 1,8	0,4 – 1,8	0,8 – 1,6
Rb	19 - 21	19 - 20	15 - 21	18 - 20	19 - 21
Sb	0,02 – 0,03	0,021 – 0,024	0,02 – 0,04	0,02 – 0,03	0,02 – 0,03
Se	0,039 – 0,045	0,042 – 0,044	0,041 – 0,047	0,043 – 0,045	0,043 – 0,048
Sr	80 - 131	88 - 128	64 - 181	113 - 167	65 - 188
Th	0,02 – 0,09	0,05 – 0,08	0,05 – 0,12	0,04 – 0,08	0,04 – 0,13
U	0,1 – 0,2	0,1 – 0,3	0,1 – 0,3	0,1 – 0,3	0,1 – 0,4
V	0,8 – 2,1	0,7 – 1,7	0,7 – 3,7	0,7 – 1,1	0,4 – 2,4
Zn	16 - 23	9 – 20	17 - 25	21 - 25	18 - 28
La	2 - 16	3 - 9	9 - 39	6 - 13	2 - 27
Nd	6 - 18	5 - 6	5 - 8	<5,02 - 6	6 - 13
Sm	1,1 – 2,3	0,9 – 1,8	1,3 – 3,3	1,5 – 2,1	1,0 – 5,4

Na técnica de EDXRF os elementos Ca e K apresentaram os maiores valores de concentração (%). A concentração do elemento K nos cigarros aromatizados apresentaram concentrações detectáveis e com valores semelhantes as determinadas nas amostras de cigarros não aromatizados.

Alguns elementos como o As, Cs, Hg, Sb Se e U apresentaram valores de concentrações praticamente constantes em todas as amostras analisadas.

Os grupos que apresentaram maiores valores de concentração determinados para os elementos analisados foram os cigarros de palha e os fumos de corda.

Pode concluir que a técnica de EDXRF foi satisfatória para determinação dos elementos analisados e pode ser usada para complementar a técnica de INAA na caracterização elementar dos derivados da *Nicotiana tabacum* L. com a determinação de um maior número de elementos.

O radionuclídeo que apresentou maiores valores de concentração foi o ^{228}Ra , os valores de concentração do radionuclídeo ^{232}Th foram praticamente constantes em toda amostragem e o grupo de amostras que apresentaram os maiores valores de concentração foi o de fumo de corda.

A determinação da concentração de atividade dos radionuclídeos naturais é importante para caracterizar radiologicamente os derivados da *Nicotiana tabacum* L. e para calcular as doses estimadas de radiação inalada durante o consumo destes derivados.

TABELA 4.30 –Intervalo de concentração dos radionuclídeos naturais em mBq g^{-1} , nos derivados de tabaco analisados

	Cig. não aromatizado	Cig. aromatizado	Cig. de palha	Charuto	Fumo de corda
^{238}U	1,3 – 2,4	1,8 – 3,1	1,6 – 4,1	1,6 – 3,4	1,9 – 4,6
^{226}Ra	7 - 13	5 - 14	6 - 22	18 - 28	6 - 40
^{210}Pb	15 - 26	<4,9 - 25	17 - 55	6 - 22	5 - 78
^{210}Po	14 - 25	6 - 22	11 - 35	15 - 22	10 - 28
^{232}Th	0,1 – 0,4	0,2 – 0,3	0,1 – 0,5	0,2 – 0,3	0,1 – 0,5
^{228}Ra	34 - 45	26 - 69	37 - 81	52 - 78	28 - 152

5 CONCLUSÃO

Embora existam muitos trabalhos sobre a composição química do cigarro estudar a composição de outros derivados da *Nicotina tabacum* L. produzidos e consumidos no Brasil é de extrema relevância, uma vez que um terço da população brasileira é tabagista e o país é o segundo maior produtor e o maior exportador do insumo.

O presente trabalho determinou a concentração dos radionuclídeos naturais ^{238}U , ^{226}Ra , ^{210}Pb e ^{210}Po da série de decaimento do ^{238}U ; ^{232}Th e ^{228}Ra da série de decaimento do ^{232}Th e a concentração de elementos maiores e traços As, Ba, Ca, Ce, Co, Cr, Cs, Eu, Fe, Hf, K, La, Lu, Nd, Rb, Sb, Sc, Se, Sm, Ta, Tb, Th, U, Yb e Zn em derivados de tabaco produzidos e comercializados no Brasil usando as técnicas analíticas alfa e beta total após separação radioquímica, espectrometria alfa após separação radioquímica, análise por ativação com nêutrons instrumental – INAA e Fluorescência de Raios X – EDXRF com o objetivo de determinar as concentrações dos radionuclídeos naturais e composição elementar de amostras de cigarro não aromatizados, cigarro aromatizado, rapé, cigarro de palha e fumo de corda (rolo e desfiado; natural e aromatizado), todos adquiridos em tabacarias e comércios públicos nacionais.

As técnicas analíticas empregadas se mostraram bastante satisfatórias e sensíveis para a determinação da maioria dos elementos estudados neste trabalho.

Entre os elementos maiores determinados, os maiores valores de concentração foram obtidos para os elementos Ca e K e entre os elementos traço, os maiores valores de concentração foram obtidos para os elementos Ba, Br, Ce, Cu, Nd, b, Sr e Zn na maioria das amostras.

Os radionuclídeos que apresentaram maiores concentrações em todas as amostras estudadas foram ^{228}Ra , ^{210}Pb e ^{210}Po e as menores concentrações foram obtidas para os radionuclídeos ^{238}U e ^{232}Th .

O grupo de amostras que apresentaram as maiores concentrações, tanto para os elementos maiores e traço como para os radionuclídeos naturais foram os de cigarros de palha e fumos de corda.

As maiores doses médias estimadas e doses efetivas anuais foram obtidas para os grupos de amostras de cigarro de palha, fumo de corda e rapé.

Os resultados obtidos da concentração dos elementos traco, maiores e radiocnuclídeos naturais nas amostras de cigarros não aromatizados, cigarros aromatizados, cigarros de palha, charutos, fumos de corda e rapés permitiram a realização da caracterização química inorgânica e caracterização radiológica dos principais derivados da *Nicotiana tabacum* L consumidos no Brasil e contribuíram para o estabelecimento de um banco de dados sobre a caracterização radiológica e química inorgânica.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho teve por objetivo caracterizar radiologicamente e elementarmente produtos derivados da *Nicotiana tabacum* L. de origem nacional. Sugere-se para trabalhos futuros o estudo dos radionuclídeos e elementos químicos determinados no presente trabalho no ser humano e também em produtos importados derivados da *Nicotiana tabacum* L. consumidos no Brasil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A.C.CAMARGO, **Tudo sobre o câncer de pulmão.** <http://www.accamargo.org.br/tudo-sobre-cancer/pulmao/33/?gclid=CJzcsZiQjtYCFccFkQoddZkl9g> Acessado em 10/11/2016.

ABD EL-AZIZ, N.; KHATER, A.E.M.; AL-SEWAIDAN, H.A. **Natural radioactivity contents in tobacco.** International Congress Series, v. 1276, 407– 408, 2005.

ABD EL-SAMAD, M.; HANAFI, H.A. Analysis of toxic heavy metals in cigarettes by Instrumental Neutron Activation Analysis. Journal Taibah University for Science, v.11, p.822-829, 2017.

ALENCAR, M. M. **Determinação de isótopos de urânio e tório em amostras de líquens *canoparmelia texana*.** Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear – Aplicações) – Instituto de pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

ATHALYE, V. V.; MISTRY, K.B. **Foliar retention, transport and leaching of ^{210}Po and ^{210}Pb .** Radiation botany. V.12, 287-290,1972.

AVELAR, L. E. B. **A moderação em excesso: estudo sobre a história das bebidas na sociedade colonial.** Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

BEGY, R.C.; SIMON, H.; KELEM, S., **^{210}Po inhalation due to smoking: a dose estimation.** Journal of Radioanal Nuclear Chemistry. v.306, p.257-261, 2015.

BODE, P. **Instrumental and organizational aspects of a neutron activation analysis laboratory.** Delft, Netherlands: Interfaculty Reactor Institute, p.147, 1996.

BONA, I.A.T.; SARKIS, J.E.S; SALVADOR, V.L.R.; SOARES, A.L.R.; KLAMT, S.C. **Análise Arqueométrica de Cerâmica Tupiguarani da Região Central do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil, Usando Fluorescência de Raios X por Dispersão de Energia (EDXRF).** Química Nova. v.30, 785-790, 2007.

BONATO, A.A. **A fumicultura no Brasil e a convenção-quadro para controle do tabaco.** DESER – Departamento de Estudos Socioeconômicos Rurais, Curitiba, 2006.

CAETANO, A. F. P. **Entre a sombra e o sol—a revolta da cachaça, a freguesia de São Gonçalo de Amarante e a crise política fluminense (Rio de Janeiro, 1640-1667).** – Dissertação (Mestrado) Universidade Federal Fluminense, Niteroi, 2003.

CHAUHAN, P.; CHAUHAN, R.P. **Measurement of fertilizers induced radioactivity in tobacco plants and elemental analysis using ICAP e AES.** Radiation Measurements. v. 63, 2014.

DAMATTO, S. R. **Radionuclídeos naturais das séries do ^{238}U e ^{232}Th , elementos traço e maiores determinados em perfis de sedimento da Baixada Santista para avaliação de áreas impactadas.** Tese (Doutorado). Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, 2010.

ELDRIDGE A.; BETSON T. R.; GAMA, M. V.; MCADAMA, K. **Variation in tobacco and mainstream smoke toxicant yields from selected commercial cigarette products.** Regulatory Toxicology and Pharmacology, v. 71, p.409–427, 2015.

EXLEY, C.; Begum, A.; Woolley, M. P.; Bloor, R.N. **Aluminum in Tobacco and Cannabis and Smoking-Related Disease.** The American Journal of Medicine, v.119, 2006.

FRANCISCONI, L.S.; DAMATTO, S. R.; SILVA, P. S. C. **Determination of As, Se and Sb in different trades and blends of tobacco by neutron activation analysis.** International Nuclear Atlantic Conference – INAC, Belo Horizonte, 2011.

GODOY, J.H.; GOUVEA D.R.; AZEREDO, A.M.G. **$^{226}\text{Ra}/^{210}\text{Pb}/^{210}\text{Po}$ Equilibrium in Tobacco Leaves.** Radiation Protection Dosimetry, v.45, p 299-300, 1992.

HARRIS. D. S.; ANTHENELLI. R. M. **Current Psychiatry Reports.** 344-351, 2005.

HECHT, S. S.; **Lung Carcinogenesis by tobacco smoke.** International journal of cancer, v. 131, n. 12, 2724-2732, 2012.

IBGE, INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Nacional de Saúde, 2013.** Disponível em: <http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv91110.pdf>. Acessado em 10/10/2016.

INCA, INSTITUTO NACIONAL DO CÂNCER. **O controle do Tabagismo no Brasil.** Disponível em: www.inca.gov.br/prevenção/tabagismo/controle_br.html. Acessado em 01/08/2016.

INCA, INSTITUTO NACIONAL DO CÂNCER. **Aditivos em cigarros- notas Técnicas para Controle do Tabagismo.** Rio de Janeiro, 2011.

INCA, INSTITUTO NACIONAL DO CÂNCER. **Observatório da Política Nacional de Controle do Tabaco.** Disponível em: http://www2.inca.gov.br/wps/wcm/connect/observatorio_controle_tabaco/site/home/dados_numeros/prevalencia-de-tabagismo. Acessado em janeiro de 2017.

ICRP, INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION. Publication 119, "Compendium of Dose Coefficients Based on ICRP Publication 60, v.42, 2013.

ICRP, INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION. Publication 82, **Protection of the public in situations of prolonged radiation exposure** v.42, 1999.

IVANOVICH, M. E HARMON, R. S Uranium-series disequilibrium: applications to Earth, Marine and Environmental Sciences. Claredon Press – Oxford, 1992.

KABATA-PENDIAS, A. **Trace elements in soils and plants.** CRC press, 2010.

KARAGUEUZIAN HS1, WHITE C, SAYRE J, NORMAN A., **Cigarette smoke radioactivity and lung cancer risk.** Journal of the Society for Research on Nicotine and Tobacco, v. 14, p.79-90, 2012.

KAZI, T. G., JALBANI, N.; ARAINA, M. B.; JAMALIA, M. K.; AFRIDI, H. I.; SARFRAZA, R. A.; SHAHA, A. Q. **Toxic metals distribution in different components of Pakistani and imported cigarettes by electrothermal atomic absorption spectrometer.** Journal of Hazardous Materials, v.163, p.302–307, 2009.

KELECON, A.; GOUVEIA, R.C.S.; SANTOS, P.L. **Levels of ^{210}Po and ^{210}Pb in cigars.** Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, v. 253, N. 1, 129 – 133, 2002.

KHATER, A. E. M. Polonium-210 budget in cigarettes. J. Environ. Radioactivity, v.7, p 33-41, 2004.

KILTHAU, G. F. **Cancer risk in relation to radioactivity in tobacco.** Radiologic Technology. v. 67, n. 3, 1996.

KUBALEK, D.; SERSAS, G.; STROK, M; BENEDIK, L.; JERAN, Z **Radioactivity of cigarettes and the importance of ^{210}Po and thorium isotopes for radiation dose assessment due to smoking.** Journal of Environmental Radioactivity. 155 -156, 2016.

LEFFINGWELL, J.C. **Chemistry BA Basic Chemical Constituents of Tobacco Leaf and Differences among Tobacco Types.** Disponível em: <http://www.leffingwell.com/download/Leffingwell%20%20Tobacco%20production%20chemistry%20and%20technology.pdf>. Acessado em setembro de 2016.

MARQUES, C. **À Margem da Economia: cachaça e protocampesinato negro no litoral sul fluminense (1800-1888).** Dissertação (Doutorado). Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2011.

MARTINEZ, T.; LARTIGUE, J.; ZARAZUA, G.; AVILA-PEREZ, P.; NAVARRETE, M.; TEJEDA, S. Application of the Total Reflection X-ray Fluorescence technique to trace elements determination in tobacco. Spectrochimica Acta Part B, v.63, p.1469-1472, 2008.

MELLO Jr, F. M., KOCKEL, M. F. **Aspectos do tabaco e do cauim no Brasil quinhentista.** Disponível em: <http://www.anpuhsp.org.br/sp/downloads/CD%20XX%20Encontro/PDF/Pain%E9is/Marcelo%20Fidelis%20Kockel.pdf>. Acessado em novembro de 2016.

MILNEROWICZ, H.; SCISKALSKA, M., DUL, M. Pro-inflammatory effects of metals in persons and animals exposed to tobacco smoke. Journal of Trace Elements in Medicine and Biology, v.29, p.1-10, 2015.

MOHAPATRA, P.; PREET, R.; DAS, D. SATAPATHY, S.R.; SIDDHARTH, S. CHOUDHURI, T.; WYATT, M. D.; KUNDU, C. N. **The contribution of heavy metals in cigarette smoke condensate to malignant transformation of breast epithelial cells and in vivo initiation of neoplasia through induction of a PI3K-AKT-NFkB cascade.** Toxicology and applied Pharmacology, v.274, p. 168-179, 2014.

MOREIRA, S. R.D. **Determinação de ^{210}Pb em águas minerais da cidade de Aguas da Prata.** Dissertação (Mestrado) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN/CNEN-SP, São Paulo, 1993.

MÜLLER, A. L. H; BIZZI, C. A. PEREIRA, J. S. F.; MESKO, M. F.; MORAES, D. P.; FLORESA, E. M. M.; MULLER, E. I. **Bromine and Chlorine Determination in Cigarette Tobacco using Microwave-Induced Combustion and Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry.** J. Braz. Chem. Soc., v. 22, n. 9, p.1649-1655, 2011.

NIERI NETO, A. **Determinação de ^{210}Pb e ^{210}Po em águas minerais radioativas.** Dissertação (Mestrado). Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, 1996.

OLIVEIRA, J. **Determinação de ^{226}Ra e ^{228}Ra em águas minerais da região de Aguas da Prata.** Dissertação (Mestrado) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN/CNEN-SP, São Paulo, 1993.

ORTEC INTERWINNERTM 6,0 MCA Emulation, **Data and Analysis software for gamma and alpha spectroscopy IW B-32.** Oak Ridge, TN, USA, 2004.

PANTA, Y. M.; QIAN, S.; CROSS, C. CIZDZIEL, J. V. Mercury content of whole cigarettes, cigars and chewing tobacco packets using pyrolysis atomic absorption spectrometry with gold amalgamation

PAPPAS, R. S. Ph.D. **Toxic Elements in Tobacco and in Cigarette Smoke: Inflammation and Sensitization.** Metallomics, v 3, p.1181–1198, 2011.

PERES, A.C. **Determinação de ^{210}Pb e ^{210}Po em tabaco de cigarros nacionais.** Dissertação (Mestrado), Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN/CNEN-SP, São Paulo, 1999.

PERES, A.C.; HIROMOTO, G., **Evaluation of ^{210}Pb and ^{210}Po in cigarette tobacco produced in Brazil.** Journal of Environmental Radioactivity, v. 62, p.115–119, 2002.

PIADÉ, J. J.; JACCARD, G.; DOLKAA, C.; BELUSHKINA, M.; WAJROCK, S. **Differences in cadmium transfer from tobacco to cigarettes smoke, compared to arsenic or lead.** Toxicology Reports, v. 2, p.12–26, 2015.

PINTO, M.; UGÁ, M, A, D, **Custo do tratamento de pacientes com histórico de tabagismo em hospital especializado em câncer,** Revista Saúde Pública, v.45, p. 575-578, 2011.

PRATA, V. M.; EMÍDIO, E. S.; DÓREA, H. D.; **Aplicação de métodos quimiométricos na caracterização de charutos utilizando extração por dispersão da matriz em fase sólida e análise por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas.** Química Nova, v. 34, n. 1, p.53-58, 2011.

RAMOS, G. F. **Determinação de isótopos de urânio, tório e polônio em perfis de sedimentos da Baixada Santista, SP.** (Mestrado em Tecnologia Nuclear – Aplicações) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

RICKERT, W. S.; JOZA, P. J.; TRIVED, A. H.; MOMIM, R. A.; WAGSTAFF, W. G.; LAUTERBACH, J. H. **Chemical and toxicological characterization of commercial smokeless tobacco products available on the Canadian market.** Reg. Toxic. Pharmac. v. 53, 121-133, 2009.

SAKODA, A.; FUKAO, K.; KAWABE, A.; KATAOKA, T., HANAMOTO, K.; YAMAOKA, K; **Radioactivity of ^{210}Pb in Japanese cigarettes and radiation dose from smoking inhalation.** Radiation Protection Dosimetry. v.150, 109 – 113, 2012.

SAVIDOU, A.; KEHAGIA, K.; ELEFTHERIADIS, K., **Concentration levels of ^{210}Pb and ^{210}Po in dry tobacco leaves in Greece.** Journal of Environmental Radioactivity, v. 8, p.94 – 102, 2006.

SHOUSH, H. A.; AHMAD, F., **Natural radioactivity in tobacco and radiation dose induced from smoking.** Radiation Protection Dosimetry. v. 150, n.1, p. 91-95, 2012.

SILVA, C. F. **Avaliação da concentração dos radionuclídeos naturais das series do ^{238}U e ^{232}Th nas variedades Burley e Virginia da Nicotina Tabacum L.** Dissertação (Mestrado). Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, 2015.

SILVA, L. C. C.; de Araújo, A. J.; de Queiroz, A. M. D.; Sales, M. P. U; Castellano, M.V.C.O. **Controle do tabagismo: desafios e conquistas.** Jornal Brasileiro de Pneumologia. n.42, 2016.

SILVA, P. S. C., FRANCISCONI, L.S.; MAIHARA, V.A. **Concentração de elementos tóxicos Cd, Pb e Hg em diferentes marcas e misturas de cigarros.** CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUIMICA, Diamantina, 2013.

SILVEIRA, R. L., DORNELLES, M., e FERRARI, S. (2012). **Expansão da cultura do tabaco no sul do Brasil (1996-2006): características, mudanças e persistências na produção de tabaco e nos usos do território.** Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales, Barcelona, 2012.

Sinditabaco, Sindicato Interestadual da Indústria do Tabaco. Disponível em: <http://www.sinditabaco.com.br> Acesso em julho de 2016.

SKAWARZEC, B.; ULATOWSKI, J.; STRUMINSKA, D. I.; BORYŁO, A., **Inhalation of ^{210}Po and ^{210}Pb from cigarette smoking in Poland**. Journal of Environmental Radioactivity, v.57, p.221–230, 2001.

SOUZA CRUZ. **História do tabaco**. Disponível em: http://www.souzacruz.com.br/group/sites/SOU_7UVF24.nsf/vwPagesWebLive/DO7V9KPU/opendocument. Acessado em outubro de 2016.

TAHIR, S. N. A.; ALAAMER, A. S. **^{210}Pb Concentrations in Cigarettes Tobaccos and Radiation Doses to the Smokers**, Radiation Protection Dosimetry, v.130, p.389-391, 2008.

TALIO, M, C.; LUCONI, M, O. FERNANDEZ, **Determination of nickel in cigarettes smoke by molecular fluorescence**. Microchemical Journal. v. 99, p.486–491, 2011.

TIWARI, M.; SAHU, S. K.; BHANGARE, R. C.; PANDIT, G. G., **Polonium in size fractionated mainstream cigarette smoke, predicted deposition and associated internal radiation dose**. Journal of Environmental Radioactivity, p.162-163, 2016.

TRICHOPOULOS D, MOLLO F, TOMATIS L, AGAPITOS E, DELSEDIME L, ZAVITSANOS X, KALANDIDI A, KATSOUYANNI K, RIBOLI E, SARACCI R. **Active and Passive Smoking and Pathological Indicators of Lung Cancer Risk in an Autopsy Study**. JAMA. n. 268, p.1697-1701, 1992.

VIEGAS, C. A. A.; **Formas não habituais de uso do tabaco**. Jornal Brasileiro de Pneumologia. v. 34, n. 12, p.1069-1073, 2008.

WHO, World Health Organization. WHO report finds dramatic increase in life-saving tobacco control policies in last decade. Disponível em <http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2017/tobacco-report/en/>. Acessado em março de 2017.

WÜNSCH FILHO, V.; MIRRA, A. P.; LÓPEZ, R.V.M. ANTUNES, L.F. **Tabagismo e câncer no Brasil: evidências e perspectivas**. Revista Brasileira de Epidemiologia, v. 13, p.175-187, 2010.

YAPRAK, G., UYSAL, B.; **Determination of low level ^{210}Pb in tobacco.** Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, v. 229, p. 153 -155, 1998.

ZAGÀ, V.; LYGIDAKIS, C.; CHAOUACHI, K. GATTAVECCHIA, E., **Polonium and Lung Cancer.** Journal of Oncology, 2011.

APÊNDICE A.1 – Concentração dos elementos em mg kg⁻¹ nos cigarros não aromatizados determinados por Análise por Ativação com Nêutrons Instrumental.

	As	Ba	Br	Ca	Ce	Co	Cr	Cs	Eu	Fe	Hf	K	La
CCDLA	2,6 ± 0,2	128 ± 16	75,4 ± 0,4	27866 ± 2006	1,7 ± 0,1	0,86 ± 0,04	1,9 ± 0,1	0,11 ± 0,02	< 0,09	750 ± 24	0,15 ± 0,01	39179 ± 2946	1,50 ± 0,04
CCDLV	< 1,4	146 ± 18	70,3 ± 0,3	32162 ± 2205	1,1 ± 0,1	0,79 ± 0,03	1,7 ± 0,1	0,13 ± 0,03	< 0,09	671 ± 22	0,18 ± 0,02	40442 ± 3030	1,22 ± 0,03
CCLMA	< 1,4	183 ± 22	55,1 ± 0,3	38077 ± 2521	2,4 ± 0,2	0,98 ± 0,04	1,4 ± 0,1	0,13 ± 0,02	< 0,09	775 ± 24	0,24 ± 0,02	37908 ± 2843	1,62 ± 0,04
CCMG	1,4 ± 0,1	13 ± 2	53,8 ± 0,3	33508 ± 2304	2,0 ± 0,2	0,84 ± 0,03	2,9 ± 0,2	0,15 ± 0,03	< 0,09	716 ± 23	0,25 ± 0,02	33459 ± 2521	1,66 ± 0,04
CCMV	2,9 ± 0,2	153 ± 18	59,3 ± 0,3	37891 ± 2486	1,8 ± 0,2	0,99 ± 0,04	2,7 ± 0,2	0,17 ± 0,03	< 0,09	773 ± 24	0,23 ± 0,02	37405 ± 2813	1,76 ± 0,04
CCPZ	1,7 ± 0,1	207 ± 25	75,7 ± 0,3	31392 ± 2202	2,2 ± 0,2	1,08 ± 0,04	2,2 ± 0,2	0,16 ± 0,03	< 0,09	1098 ± 32	0,24 ± 0,02	36068 ± 2705	2,28 ± 0,06
CCSH	< 1,4	181 ± 22	61,5 ± 0,3	37115 ± 2414	2,2 ± 0,2	0,97 ± 0,04	1,8 ± 0,1	0,14 ± 0,03	< 0,09	859 ± 26	0,29 ± 0,02	39246 ± 2941	1,76 ± 0,04
CCDA	< 1,4	115 ± 13	8,01 ± 0,05	30946 ± 2342	4,9 ± 0,6	0,98 ± 0,04	2,4 ± 0,2	0,13 ± 0,03	< 0,09	916 ± 32	0,2 ± 0,03	34030 ± 6724	2,19 ± 0,07
CCDH	1,7 ± 0,1	120 ± 14	63,7 ± 0,4	37034 ± 2646	2,6 ± 0,4	0,77 ± 0,04	1,6 ± 0,2	0,13 ± 0,02	< 0,09	625 ± 23	0,17 ± 0,03	28849 ± 5701	1,68 ± 0,05
CCDV	2,9 ± 0,2	98 ± 12	72 ± 1	28864 ± 2264	3,2 ± 0,5	0,85 ± 0,04	1,3 ± 0,2	0,17 ± 0,03	< 0,09	813 ± 29	0,16 ± 0,02	31772 ± 6295	2,26 ± 0,07
CCFA	1,4 ± 0,1	111 ± 13	74 ± 1	32471 ± 2455	4,4 ± 0,6	0,88 ± 0,04	4,4 ± 0,3	0,18 ± 0,02	< 0,09	892 ± 31	0,21 ± 0,03	30489 ± 6037	2,36 ± 0,07
CCFV	< 1,4	156 ± 18	70,5 ± 0,5	36874 ± 2647	5,7 ± 0,7	0,86 ± 0,04	2,9 ± 0,2	0,18 ± 0,03	< 0,09	1074 ± 36	0,25 ± 0,03	31890 ± 6299	2,68 ± 0,08
CCHOV	1,6 ± 0,2	169 ± 19	59,0 ± 0,4	31737 ± 2410	4,5 ± 0,6	0,77 ± 0,04	1,2 ± 0,2	0,17 ± 0,03	< 0,09	991 ± 34	0,27 ± 0,04	29388 ± 5822	1,84 ± 0,06
CCM	< 1,4	11 ± 3	87 ± 1	30636 ± 2396	3,2 ± 0,5	0,96 ± 0,04	1,6 ± 0,2	0,15 ± 0,02	< 0,09	950 ± 33	0,23 ± 0,03	33180 ± 6555	2,43 ± 0,07
CCEPA	< 1,4	133 ± 17	67,2 ± 0,4	23732 ± 2150	< 0,79	0,64 ± 0,03	1,1 ± 0,1	< 0,04	< 0,09	435 ± 20	0,16 ± 0,02	33650 ± 1401	< 0,53
CCMS	< 1,4	123 ± 16	15,2 ± 0,2	22585 ± 2122	< 0,79	0,79 ± 0,04	1,4 ± 0,2	0,16 ± 0,03	< 0,09	698 ± 28	< 0,09	27069 ± 1096	< 0,53
CCPLA	< 1,4	< 39	50,1 ± 0,3	24108 ± 2271	< 0,79	1,06 ± 0,05	< 0,82	0,23 ± 0,04	< 0,09	795 ± 30	0,11 ± 0,02	37802 ± 1572	1,6 ± 0,04
CCMFP	< 1,4	122 ± 6	50,2 ± 0,2	28172 ± 1338	1,9 ± 0,1	0,89 ± 0,03	2,1 ± 0,1	0,12 ± 0,02	< 0,09	744 ± 16	0,26 ± 0,02	24074 ± 2542	1,54 ± 0,04
CCMGA	< 1,4	141 ± 10	38,1 ± 0,2	23883 ± 1673	< 0,79	0,98 ± 0,04	< 0,82	0,25 ± 0,03	< 0,09	1015 ± 24	0,32 ± 0,03	39445 ± 2562	2,32 ± 0,06
CCSPS	< 1,4	89 ± 7	6,99 ± 0,03	23968 ± 1695	< 0,79	0,79 ± 0,03	2,2 ± 0,2	0,53 ± 0,05	< 0,09	676 ± 18	0,15 ± 0,02	45276 ± 2922	1,86 ± 0,05

	Lu	Na	Rb	Sb	Sc	Se	Sm	Ta	Tb	Th	U	Yb	Zn
CCDLA	< 0,05	792 ± 22	26 ± 2	< 0,21	0,2 ± 0,01	< 0,29	0,114 ± 0,005	< 0,22	< 0,05	< 0,38	< 0,48	< 0,30	44 ± 2
CCDLV	< 0,05	714 ± 20	27 ± 1	< 0,21	0,179 ± 0,005	< 0,29	0,089 ± 0,004	< 0,22	< 0,05	< 0,38	< 0,48	< 0,30	41 ± 2
CCLMA	< 0,05	644 ± 18	29 ± 2	< 0,21	0,23 ± 0,01	0,5 ± 0,3	0,116 ± 0,005	< 0,22	< 0,05	< 0,38	< 0,48	< 0,30	45 ± 2
CCMG	< 0,05	648 ± 18	24 ± 1	< 0,21	0,23 ± 0,01	< 0,29	0,13 ± 0,01	< 0,22	< 0,05	< 0,38	< 0,48	< 0,30	44 ± 2
CCMV	< 0,05	665 ± 19	28 ± 2	< 0,21	0,24 ± 0,01	< 0,29	0,14 ± 0,01	< 0,22	< 0,05	< 0,38	< 0,48	< 0,30	44 ± 2
CCPZ	< 0,05	940 ± 26	36 ± 2	< 0,21	0,34 ± 0,01	0,3 ± 0,2	0,17 ± 0,01	< 0,22	< 0,05	< 0,38	< 0,48	< 0,30	38 ± 2
CCSH	< 0,05	667 ± 19	30 ± 2	< 0,21	0,23 ± 0,01	0,5 ± 0,3	0,13 ± 0,01	< 0,22	< 0,05	< 0,38	< 0,48	< 0,30	44 ± 2
CCDA	< 0,05	475 ± 38	31 ± 2	< 0,21	0,25 ± 0,01	< 0,29	0,16 ± 0,01	< 0,22	< 0,05	< 0,38	< 0,48	< 0,30	36 ± 2
CCDH	< 0,05	482 ± 38	25 ± 2	< 0,21	0,18 ± 0,01	< 0,29	< 0,04	< 0,22	< 0,05	< 0,38	< 0,48	< 0,30	33 ± 2
CCDV	< 0,05	477 ± 38	24 ± 2	0,32 ± 0,04	0,23 ± 0,01	< 0,29	0,18 ± 0,01	< 0,22	< 0,05	< 0,38	< 0,48	< 0,30	29 ± 2
CCFA	< 0,05	544 ± 43	26 ± 2	< 0,21	0,25 ± 0,01	< 0,29	0,19 ± 0,01	< 0,22	0,10 ± 0,03	< 0,38	< 0,48	< 0,30	38 ± 2
CCFV	< 0,05	516 ± 41	25 ± 2	< 0,21	0,27 ± 0,01	< 0,29	0,20 ± 0,01	< 0,22	< 0,05	< 0,38	< 0,48	< 0,30	39 ± 2
CCHOV	< 0,05	1015 ± 81	27 ± 2	< 0,21	0,27 ± 0,01	< 0,29	0,15 ± 0,01	< 0,22	< 0,05	< 0,38	< 0,48	< 0,30	41 ± 2
CCM	< 0,05	507 ± 40	25 ± 2	< 0,21	0,25 ± 0,01	< 0,29	0,23 ± 0,02	< 0,22	< 0,05	< 0,38	< 0,48	< 0,30	38 ± 2
CCEPA	< 0,05	957 ± 29	23 ± 2	< 0,21	0,136 ± 0,004	< 0,29	< 0,04	< 0,22	< 0,05	< 0,38	< 0,48	< 0,30	35 ± 2
CCMS	< 0,05	430 ± 13	22 ± 1	< 0,21	0,21 ± 0,01	< 0,29	0,079 ± 0,004	< 0,22	< 0,05	< 0,38	< 0,48	< 0,30	40 ± 2
CCPLA	< 0,05	564 ± 18	28 ± 2	< 0,21	0,26 ± 0,01	1,4 ± 0,6	0,14 ± 0,01	< 0,22	< 0,05	< 0,38	< 0,48	< 0,30	37 ± 2
CCMFP	< 0,05	494 ± 21	31 ± 1	< 0,21	0,23 ± 0,01	< 0,29	0,151 ± 0,005	< 0,22	0,30 ± 0,08	< 0,38	< 0,48	< 0,30	26 ± 1
CCMGA	< 0,05	987 ± 28	27 ± 2	< 0,21	0,35 ± 0,01	< 0,29	0,17 ± 0,01	< 0,22	< 0,05	< 0,38	< 0,48	< 0,30	37 ± 2
CCSPS	< 0,05	1243 ± 35	43 ± 2	< 0,21	0,21 ± 0,01	< 0,29	0,113 ± 0,004	< 0,22	< 0,05	< 0,38	< 0,48	< 0,30	36 ± 2

APENDICE A.2 – Concentração dos elementos em mg kg⁻¹ nos cigarros aromatizados determinados por Analise por Ativação com Nêutrons Instrumental.

	As	Ba	Br	Ca	Ce	Co	Cr	Cs	Eu	Fe	Hf	K(%)	La
CADB	< 1,4	87 ± 11	21,2 ± 0,3	22584 ± 1865	1,8 ± 0,3	0,52 ± 0,03	2,3 ± 0,2	0,16 ± 0,04	< 0,09	504 ± 25	0,15 ± 0,02	< 3020	1,4 ± 0,1
CAFF	< 1,4	82 ± 11	39,4 ± 0,5	21978 ± 1837	2,1 ± 0,3	0,75 ± 0,04	1,9 ± 0,2	0,32 ± 0,05	< 0,09	896 ± 38	0,16 ± 0,02	< 3020	3,8 ± 0,2
CAHM	2,9 ± 0,4	113 ± 14	70 ± 1	20430 ± 11739	2 ± 0,3	0,72 ± 0,04	1,6 ± 0,2	0,4 ± 0,1	< 0,09	1031 ± 42	0,29 ± 0,03	< 3020	2,0 ± 0,1
CALAM	< 1,4	103 ± 13	42 ± 1	21414 ± 11796	0,9 ± 0,2	0,53 ± 0,03	2,6 ± 0,2	0,28 ± 0,04	< 0,09	512 ± 26	0,09 ± 0,02	< 3020	1,4 ± 0,1
CALMM	< 1,4	165 ± 19	50 ± 1	26092 ± 2094	2,2 ± 0,3	0,9 ± 0,1	1,7 ± 0,2	0,15 ± 0,04	< 0,09	769 ± 34	0,24 ± 0,03	< 3020	3,0 ± 0,2
CALSF	< 1,4	109 ± 14	72 ± 1	17948 ± 11588	2 ± 0,3	0,82 ± 0,05	2,2 ± 0,2	0,20 ± 0,04	< 0,09	737 ± 33	0,12 ± 0,02	< 3020	2,4 ± 0,1
CAMFM	2,1 ± 0,3	162 ± 19	44 ± 1	22137 ± 11841	2,3 ± 0,3	0,89 ± 0,05	1,4 ± 0,2	0,18 ± 0,04	< 0,09	662 ± 30	0,36 ± 0,04	< 3020	3,1 ± 0,2
CAMBI	< 1,4	143 ± 23	51,7 ± 0,2	40925 ± 3746	1,3 ± 0,2	1,07 ± 0,05	2,6 ± 0,3	0,13 ± 0,03	< 0,09	883 ± 37	0,27 ± 0,02	33012 ± 4515	1,61 ± 0,04
	Lu	Na	Rb	Sb	Sc	Se	Sm	Ta	Tb	Th	U	Yb	Zn
CADB	< 0,05	1377 ± 67	21 ± 2	< 0,21	0,16 ± 0,01	< 0,29	0,077 ± 0,001	< 0,22	< 0,05	< 0,38	< 0,48	< 0,30	32 ± 2
CAFF	< 0,05	677 ± 35	30 ± 3	< 0,21	0,29 ± 0,01	< 0,29	0,17 ± 0,01	< 0,22	< 0,05	< 0,38	< 0,48	< 0,30	43 ± 3
CAHM	< 0,05	701 ± 701	28 ± 3	< 0,21	0,28 ± 0,01	< 0,29	0,11 ± 0,01	< 0,22	< 0,05	< 0,38	< 0,48	< 0,30	31 ± 2
CALAM	< 0,05	1377 ± 67	29 ± 3	< 0,21	0,17 ± 0,01	< 0,29	0,077 ± 0,001	< 0,22	< 0,05	< 0,38	< 0,48	< 0,30	39 ± 2
CALMM	< 0,05	897 ± 46	33 ± 3	< 0,21	0,25 ± 0,01	< 0,29	0,14 ± 0,01	< 0,22	< 0,05	< 0,38	< 0,48	< 0,30	36 ± 3
CALSF	< 0,05	608 ± 34	26 ± 3	< 0,21	0,25 ± 0,01	< 0,29	0,1 ± 0,01	< 0,22	< 0,05	< 0,38	< 0,48	< 0,30	41 ± 3
CAMFM	< 0,05	877 ± 44	28 ± 3	< 0,21	0,22 ± 0,01	< 0,29	0,09 ± 0,01	< 0,22	< 0,05	< 0,38	< 0,48	< 0,30	38 ± 2
CAMBI	< 0,05	516 ± 30	25 ± 1	< 0,21	0,24 ± 0,01	< 0,29	0,111 ± 0,004	< 0,22	< 0,05	< 0,38	< 0,48	< 0,30	42 ± 2

APENDICE A.3 – Concentração dos elementos em mg kg⁻¹ nos cigarros de palha determinados por Análise por Ativação com Nêutrons Instrumental.

	As	Ba	Br	Ca	Ce	Co	Cr	Cs	Eu	Fe	Hf	K	La
CPC	1,9 ± 0,2	161 ± 13	47,1 ± 0,3	19970 ± 1928	2,9 ± 0,3	0,47 ± 0,03	< 0,82	< 0,04	< 0,09	567 ± 37	0,35 ± 0,03	16238 ± 506	11,3 ± 0,3
CPD	< 1,4	76 ± 9	44,1 ± 0,3	34050 ± 2915	3,4 ± 0,3	0,45 ± 0,03	1,3 ± 0,2	0,4 ± 0,1	< 0,09	1009 ± 61	0,25 ± 0,03	30507 ± 939	7,2 ± 0,2
CPP	< 1,4	92 ± 10	52,4 ± 0,3	22143 ± 2098	6 ± 1	1,3 ± 0,1	3,3 ± 0,3	< 0,04	0,13 ± 0,03	1755 ± 100	0,17 ± 0,03	15312 ± 480	31 ± 1
CPPF	3,9 ± 0,2	103 ± 17	29,7 ± 0,2	66161 ± 5661	5,5 ± 0,5	0,61 ± 0,03	1,3 ± 0,2	0,34 ± 0,04	< 0,09	999 ± 41	0,26 ± 0,02	27767 ± 3805	8,4 ± 0,2
CPRN	3,2 ± 0,2	111 ± 18	61,6 ± 0,2	37304 ± 3438	2,7 ± 0,3	0,44 ± 0,02	1,6 ± 0,3	0,29 ± 0,04	< 0,09	815 ± 35	0,27 ± 0,03	34863 ± 4768	2,2 ± 0,1
CPCPC	< 1,4	88 ± 6	29,8 ± 0,2	22855 ± 1599	1,7 ± 0,2	0,62 ± 0,03	0,8 ± 0,1	0,13 ± 0,02	< 0,09	461 ± 13	0,23 ± 0,02	53170 ± 3431	1,3 ± 0,04
CPFN	< 1,4	93 ± 7	46,4 ± 0,3	< 7147	4,9 ± 0,4	< 0,13	0,6 ± 0,1	0,25 ± 0,03	< 0,09	452 ± 14	0,14 ± 0,02	33095 ± 2141	6,6 ± 0,2
CPTV	< 1,4	76 ± 6	153 ± 1	37532 ± 2529	5,3 ± 0,4	1,8 ± 0,1	0,7 ± 0,1	0,20 ± 0,03	0,2 ± 0,1	389 ± 13	0,17 ± 0,02	46231 ± 2988	14,8 ± 0,4
CPCPE	< 1,4	144 ± 11	52,4 ± 0,4	27637 ± 2398	6 ± 1	0,56 ± 0,03	1,5 ± 0,2	0,18 ± 0,04	< 0,09	862 ± 30	0,21 ± 0,03	16222 ± 2881	14 ± 1
CPCR	1,5 ± 0,2	67 ± 9	67,8 ± 0,5	39365 ± 3140	7 ± 1	0,55 ± 0,03	6 ± 1	0,3 ± 0,1	< 0,09	3021 ± 85	0,39 ± 0,04	8232 ± 1542	10 ± 1
CPPG	1,8 ± 0,2	197 ± 15	38,2 ± 0,4	41826 ± 3311	7 ± 1	1,2 ± 0,1	3,5 ± 0,4	0,3 ± 0,1	0,1 ± 0,05	1782 ± 55	0,52 ± 0,04	9390 ± 1750	10 ± 1
CPSP	< 1,4	111 ± 10	57,7 ± 0,5	37720 ± 2998	5 ± 1	0,88 ± 0,04	2,9 ± 0,4	0,23 ± 0,05	< 0,09	1284 ± 41	0,24 ± 0,03	8006 ± 1655	8 ± 1
CPVC	6,4 ± 0,4	140 ± 12	37,7 ± 0,4	45259 ± 3462	11 ± 1	1,3 ± 0,1	8 ± 1	0,5 ± 0,1	0,15 ± 0,03	3264 ± 91	1,2 ± 0,1	8347 ± 1591	15 ± 1

	Lu	Na	Rb	Sb	Sc	Se	Sm	Ta	Tb	Th	U	Yb	Zn
CPC	< 0,05	325 ± 8	25 ± 2	< 0,21	0,149 ± 0,005	< 0,29	0,24 ± 0,01	< 0,22	< 0,05	< 0,38	< 0,48	< 0,30	30 ± 1
CPD	< 0,05	940 ± 22	15 ± 1	< 0,21	0,33 ± 0,01	< 0,29	0,121 ± 0,004	< 0,22	< 0,05	< 0,38	< 0,48	< 0,30	57 ± 2
CPP	< 0,05	283 ± 7	23 ± 2	< 0,21	0,53 ± 0,02	< 0,29	0,48 ± 0,01	< 0,22	< 0,05	0,38 ± 0,03	< 0,48	< 0,30	47 ± 2
CPPF	< 0,05	590 ± 35	26 ± 2	< 0,21	0,37 ± 0,01	0,5 ± 0,4	0,49 ± 0,02	< 0,22	< 0,05	< 0,38	< 0,48	< 0,30	69 ± 3
CPRN	< 0,05	453 ± 27	51 ± 3	< 0,21	0,22 ± 0,01	< 0,29	0,115 ± 0,004	< 0,22	< 0,05	< 0,38	< 0,48	< 0,30	60 ± 3
CPCPC	< 0,05	2577 ± 73	20 ± 1	< 0,21	0,143 ± 0,004	< 0,29	0,84 ± 0,003	< 0,22	< 0,05	< 0,38	< 0,48	< 0,30	50 ± 3
CPFN	< 0,05	172 ± 5	< 4,5	< 0,21	0,3 ± 0,01	< 0,29	0,2 ± 0,01	< 0,22	< 0,05	< 0,38	< 0,48	< 0,30	137 ± 7
CPTV	< 0,05	476 ± 14	46 ± 3	< 0,21	0,12 ± 0,004	< 0,29	0,58 ± 0,02	< 0,22	< 0,05	< 0,38	< 0,48	< 0,30	70 ± 4
CPCPE	< 0,05	304 ± 22	51 ± 4	< 0,21	0,22 ± 0,01	< 0,29	0,34 ± 0,01	< 0,22	< 0,05	< 0,38	< 0,48	< 0,30	70 ± 4
CPCR	< 0,05	190 ± 14	19 ± 2	< 0,21	0,69 ± 0,02	< 0,29	0,45 ± 0,02	< 0,22	0,06 ± 0,02	0,82 ± 0,05	< 0,48	< 0,30	43 ± 2
CPPG	< 0,05	139 ± 11	18 ± 2	< 0,21	0,69 ± 0,02	< 0,29	0,5 ± 0,02	< 0,22	< 0,05	0,75 ± 0,05	< 0,48	< 0,30	58 ± 3
CPSP	< 0,05	222 ± 18	14 ± 1	< 0,21	0,44 ± 0,01	< 0,29	0,36 ± 0,01	< 0,22	< 0,05	0,5 ± 0,04	< 0,48	< 0,30	73 ± 4
CPVC	< 0,05	527 ± 37	21 ± 2	< 0,21	1,29 ± 0,04	< 0,29	0,76 ± 0,03	< 0,22	0,14 ± 0,05	1,6 ± 0,1	< 0,48	0,39 ± 0,04	68 ± 3

APENDICE A.4 – Concentração dos elementos em mg kg⁻¹ nos charutos determinados por Analise por Ativação com Nêutrons Instrumental.

	As	Ba	Br	Ca	Ce	Co	Cr	Cs	Eu	Fe	Hf	K	La
CHDF	< 1,4	78 ± 11	137 ± 1	30367 ± 2578	1,9 ± 0,2	0,49 ± 0,03	4,7 ± 0,4	0,2 ± 0,04	< 0,09	497 ± 22	0,41 ± 0,04	43813 ± 1846	< 0,53
CHDNE	< 1,4	92 ± 12	61,5 ± 0,4	33533 ± 2775	< 0,79	0,29 ± 0,02	1,1 ± 0,2	0,09 ± 0,03	< 0,09	488 ± 22	0,27 ± 0,03	55898 ± 2284	0,74 ± 0,02
CHMPC	2,4 ± 0,2	37 ± 7	134 ± 1	44692 ± 3478	< 0,79	0,37 ± 0,02	1,8 ± 0,2	0,15 ± 0,03	< 0,09	618 ± 26	0,35 ± 0,03	40489 ± 1733	0,88 ± 0,03
CHNI	2,5 ± 0,2	165 ± 21	48,8 ± 0,4	33779 ± 2789	1,8 ± 0,2	0,58 ± 0,03	3,5 ± 0,3	0,11 ± 0,03	< 0,09	500 ± 22	0,52 ± 0,04	40962 ± 1753	0,89 ± 0,03
CHDNC	< 1,4	104 ± 5	118,9 ± 0,5	26221 ± 1274	< 0,79	0,45 ± 0,02	1,6 ± 0,1	0,15 ± 0,02	< 0,09	604 ± 14	0,423 ± 0,03	26446 ± 2799	0,68 ± 0,02
CHMPE	< 1,4	74 ± 4	164 ± 1	46237 ± 1971	< 0,79	0,39 ± 0,02	1,3 ± 0,1	0,14 ± 0,01	< 0,09	492 ± 12	0,32 ± 0,02	20098 ± 2114	0,73 ± 0,02
	Lu	Na	Rb	Sb	Sc	Se	Sm	Ta	Tb	Th	U	Yb	Zn
CHDF	< 0,05	724 ± 23	28 ± 2	< 0,21	0,115 ± 0,004	< 0,29	0,030 ± 0,003	< 0,22	< 0,05	< 0,38	< 0,48	< 0,30	75 ± 3
CHDNE	< 0,05	517 ± 16	29 ± 2	< 0,21	0,73 ± 0,003	< 0,29	0,029 ± 0,003	< 0,22	< 0,05	< 0,38	< 0,48	< 0,30	80 ± 3
CHMPC	< 0,05	940 ± 29	24 ± 2	< 0,21	0,114 ± 0,004	< 0,29	0,034 ± 0,003	< 0,22	< 0,05	< 0,38	< 0,48	< 0,30	79 ± 3
CHNI	< 0,05	951 ± 30	43 ± 3	< 0,21	0,131 ± 0,004	< 0,29	0,034 ± 0,003	< 0,22	< 0,05	< 0,38	< 0,48	< 0,30	69 ± 3
CHDNC	< 0,05	358 ± 16	26 ± 1	< 0,21	0,097 ± 0,002	0,3 ± 0,1	0,023 ± 0,002	< 0,22	< 0,05	< 0,38	< 0,48	< 0,30	36 ± 1
CHMPE	< 0,05	760 ± 33	19 ± 1	< 0,21	0,085 ± 0,002	< 0,29	0,014 ± 0,001	< 0,22	< 0,05	< 0,38	< 0,48	< 0,30	69 ± 2

APENDICE A.5 – Concentração dos elementos em mg kg⁻¹ nos fumos de corda e rapés determinados por Análise por Ativação com Nêutrons Instrumental.

	As	Ba	Br	Ca	Ce	Co	Cr	Cs	Eu	Fe	Hf	K	La
FCAA L	1,5 ± 0,2	52 ± 8	52,6 ± 0,3	23427 ± 2139	2,4 ± 0,3	0,26 ± 0,02	1,2 ± 0,3	0,20 ± 0,04	< 0,09	449 ± 31	0,24 ± 0,03	46125 ± 1427	7,2 ± 0,2
FCCP R	< 1,4	41 ± 7	48,1 ± 0,3	15860 ± 1717	2,1 ± 0,3	0,11 ± 0,02	< 0,82	0,14 ± 0,03	< 0,09	320 ± 25	0,28 ± 0,03	45430 ± 1409	8,8 ± 0,3
FCDJ	< 1,4	59 ± 8	99 ± 1	21153 ± 1996	4,9 ± 0,5	0,76 ± 0,05	1,3 ± 0,2	< 0,04	< 0,09	448 ± 32	0,19 ± 0,02	35325 ± 1108	32 ± 1
FCP	< 1,4	123 ± 13	125 ± 1	29263 ± 2639	7 ± 1	0,71 ± 0,05	3,5 ± 0,4	0,23 ± 0,05	0,16 ± 0,03	1673 ± 96	0,2 ± 0,03	29168 ± 932	72 ± 2
FCPF	< 1,4	112 ± 11	37,6 ± 0,3	25330 ± 2352	25 ± 2	1,2 ± 0,1	2,6 ± 0,3	< 0,04	0,15 ± 0,03	1536 ± 86	0,19 ± 0,02	43057 ± 1347	101 ± 3
FCA1	2,2 ± 0,1	157 ± 15	35,2 ± 0,3	21348 ± 1492	2,2 ± 0,2	0,88 ± 0,04	1,7 ± 0,4	0,11 ± 0,03	< 0,09	779 ± 33	0,15 ± 0,02	43241 ± 3279	1,39 ± 0,04
FCA2	2,1 ± 0,1	167 ± 16	59,2 ± 0,3	25394 ± 1719	4,6 ± 0,4	1,3 ± 0,1	3 ± 1	0,31 ± 0,04	< 0,09	137 ± 43	0,25 ± 0,02	48207 ± 3650	4,1 ± 0,1
FCA3	< 1,4	155 ± 15	41,7 ± 0,3	22527 ± 1545	2,3 ± 0,2	1,00 ± 0,04	1,9 ± 0,4	0,25 ± 0,03	< 0,09	736 ± 32	0,25 ± 0,02	48163 ± 3643	1,81 ± 0,05
FCA4	2,1 ± 0,2	133 ± 14	126 ± 1	27952 ± 1884	14 ± 1	1,3 ± 0,1	5 ± 1	0,29 ± 0,04	0,14 ± 0,03	1176 ± 49	0,6 ± 0,1	48330 ± 3659	10,6 ± 0,3
FCA5	3,2 ± 0,2	136 ± 14	114 ± 1	25270 ± 1759	12 ± 1	1,4 ± 0,1	4 ± 1	0,23 ± 0,04	0,12 ± 0,02	655 ± 30	0,33 ± 0,03	54347 ± 4108	11,2 ± 0,3
FCA6	1,6 ± 0,1	176 ± 17	35,4 ± 0,2	24759 ± 1659	2,3 ± 0,3	1,02 ± 0,04	2,2 ± 0,5	0,13 ± 0,03	< 0,09	988 ± 41	0,26 ± 0,03	52663 ± 3973	1,61 ± 0,04
FCA7	1,9 ± 0,1	153 ± 15	56,9 ± 0,3	24904 ± 1696	2,9 ± 0,3	1,2 ± 0,1	2 ± 1	0,13 ± 0,03	< 0,09	975 ± 41	0,24 ± 0,02	50272 ± 3792	2,9 ± 0,1
FCA8	1,6 ± 0,1	152 ± 10	33,5 ± 0,2	19268 ± 1077	2,3 ± 0,2	1,05 ± 0,04	2,1 ± 0,2	0,22 ± 0,03	< 0,09	897 ± 31	0,31 ± 0,04	41804 ± 4965	1,68 ± 0,04
FCA9	< 1,4	143 ± 10	34,3 ± 0,2	21037 ± 1133	2,7 ± 0,2	0,83 ± 0,03	1,1 ± 0,1	0,14 ± 0,03	< 0,09	804 ± 28	0,27 ± 0,04	45043 ± 5319	1,87 ± 0,05
FCA10	2,0 ± 0,1	170 ± 11	38,1 ± 0,2	24228 ± 1270	1,9 ± 0,2	0,9 ± 0,04	1,5 ± 0,1	0,12 ± 0,03	< 0,09	783 ± 27	0,27 ± 0,04	43275 ± 5112	1,79 ± 0,05
FCC	< 1,4	82 ± 6	21,7 ± 0,2	20332 ± 1111	13 ± 1	0,20 ± 0,01	1,8 ± 0,1	0,12 ± 0,03	0,10 ± 0,02	826 ± 29	0,14 ± 0,02	15458 ± 1889	11,1 ± 0,3
FCG	< 1,4	135 ± 9	33,6 ± 0,2	32080 ± 1642	3,1 ± 0,3	0,52 ± 0,03	1,8 ± 0,2	0,45 ± 0,04	0,11 ± 0,02	820 ± 29	0,15 ± 0,02	26118 ± 3094	10,9 ± 0,3
FCI	< 1,4	59 ± 6	226 ± 1	21631 ± 1171	1,5 ± 0,2	0,63 ± 0,03	2,1 ± 0,2	0,27 ± 0,04	< 0,09	1292 ± 43	< 0,09	23622 ± 2846	0,79 ± 0,02
FCSC	< 1,4	17 ± 3	68,9 ± 0,4	14397 ± 847	1,9 ± 0,2	0,15 ± 0,01	1,4 ± 0,1	0,11 ± 0,02	< 0,09	951 ± 32	< 0,09	26572 ± 3170	1,22 ± 0,03

	As	Ba	Br	Ca	Ce	Co	Cr	Cs	Eu	Fe	Hf	K	La
FCDD	< 1,4	77 ± 13	87,3 ± 0,3	41877 ± 3872	5,5 ± 0,5	0,52 ± 0,03	1,5 ± 0,2	0,22 ± 0,03	0,09 ± 0,02	634 ± 29	0,24 ± 0,02	29343 ± 4018	7,6 ± 0,2
FCD M	< 1,4	128 ± 21	93,2 ± 0,4	45909 ± 4140	3,5 ± 0,3	1,05 ± 0,05	1,9 ± 0,3	0,23 ± 0,04	< 0,09	943 ± 39	0,42 ± 0,03	31545 ± 4318	5,6 ± 0,1
FCAC E	< 1,4	71 ± 4	43 ± 0,2	14268 ± 824	2,1 ± 0,1	0,32 ± 0,01	< 0,82	0,09 ± 0,01	< 0,09	306 ± 8	0,1 ± 0,01	13390 ± 1409	1,28 ± 0,03
	As	Ba	Br	Ca	Ce	Co	Cr	Cs	Eu	Fe	Hf	K	La
FCDB H	< 1,4	147 ± 7	38,8 ± 0,2	24546 ± 1205	2,6 ± 0,2	0,52 ± 0,02	1,0 ± 0,1	0,16 ± 0,02	< 0,09	593 ± 14	0,31 ± 0,02	19766 ± 1953	1,97 ± 0,05
FCD MP	< 1,4	207 ± 14	46,1 ± 0,3	39705 ± 2664	14 ± 1	0,79 ± 0,03	1,8 ± 0,2	0,19 ± 0,03	0,11 ± 0,02	1915 ± 41	0,30 ± 0,03	30736 ± 1986	16,8 ± 0,4
FCDR	< 1,4	88 ± 7	118,9 ± 0,5	32922 ± 2231	8 ± 1	1,05 ± 0,04	< 0,82	0,19 ± 0,03	< 0,09	457 ± 14	0,18 ± 0,02	42687 ± 2753	14,2 ± 0,4
FCAC C	< 1,4	72 ± 7	42,1 ± 0,4	13964 ± 1531	1,4 ± 0,2	0,27 ± 0,02	< 0,82	< 0,04	< 0,09	360 ± 17	0,11 ± 0,02	11440 ± 2062	2,2 ± 0,1
FCA MO	< 1,4	75 ± 7	37,3 ± 0,4	11463 ± 1390	1,2 ± 0,2	0,25 ± 0,02	< 0,82	< 0,04	< 0,09	219 ± 13	0,12 ± 0,02	11347 ± 2077	2,2 ± 0,1
RPAR	< 1,4	94 ± 16	61,1 ± 0,3	37349 ± 3508	7 ± 1	0,80 ± 0,04	3,9 ± 0,5	0,25 ± 0,02	< 0,09	2946 ± 109	1,8 ± 0,1	30009 ± 4105	8,6 ± 0,2
RPC M	< 1,4	139 ± 23	72,9 ± 0,3	44319 ± 4094	8 ± 1	1,30 ± 0,06	7 ± 1	0,5 ± 0,1	< 0,09	4070 ± 148	1,9 ± 0,1	36456 ± 4991	8,7 ± 0,2

	Lu	Na	Rb	Sb	Sc	Se	Sm	Ta	Tb	Th	U	Yb	Zn
FCAA L	< 0,05	604 ± 15	12 ± 1	< 0,21	0,075 ± 0,003	< 0,29	0,042 ± 0,002	< 0,22	< 0,05	< 0,38	< 0,48	< 0,30	33 ± 2
FCCP R	< 0,05	479 ± 12	13 ± 1	< 0,21	0,108 ± 0,004	< 0,29	0,065 ± 0,003	< 0,22	< 0,05	< 0,38	< 0,48	< 0,30	49 ± 2
FCDJ	< 0,05	457 ± 11	23 ± 2	< 0,21	0,129 ± 0,004	< 0,29	0,29 ± 0,01	< 0,22	< 0,05	< 0,38	< 0,48	< 0,30	73 ± 3
FCP	< 0,05	182 ± 5	22 ± 2	< 0,21	0,46 ± 0,01	0,4 ± 0,1	0,67 ± 0,02	< 0,22	< 0,05	0,48 ± 0,04	< 0,48	< 0,30	37 ± 2
FCPF	< 0,05	119 ± 3	25 ± 2	< 0,21	0,33 ± 0,01	< 0,29	0,57 ± 0,02	< 0,22	< 0,05	0,55 ± 0,04	< 0,48	< 0,30	66 ± 3
FCA1	< 0,05	973 ± 25	22 ± 1	< 0,21	0,163 ± 0,005	< 0,29	0,118 ± 0,003	< 0,22	< 0,05	< 0,38	< 0,48	< 0,30	108 ± 3
FCA2	< 0,05	884 ± 23	32 ± 2	< 0,21	0,27 ± 0,01	< 0,29	0,27 ± 0,01	< 0,22	< 0,05	< 0,38	< 0,48	< 0,30	104 ± 3
FCA3	< 0,05	881 ± 23	29 ± 2	< 0,21	0,189 ± 0,005	< 0,29	0,136 ± 0,003	< 0,22	< 0,05	< 0,38	< 0,48	< 0,30	106 ± 3

	Lu	Na	Rb	Sb	Sc	Se	Sm	Ta	Tb	Th	U	Yb	Zn
FCA4	< 0,05	1214 ± 32	24 ± 1	< 0,21	0,61 ± 0,02	0,7 ± 0,4	0,8 ± 0,02	< 0,22	0,05 ± 0,02	0,6 ± 0,1	< 0,48	0,32 ± 0,04	116 ± 4
FCA5	< 0,05	1236 ± 32	27 ± 2	< 0,21	0,36 ± 0,01	0,4 ± 0,2	0,8 ± 0,02	< 0,22	0,12 ± 0,03	0,4 ± 0,1	< 0,48	< 0,30	108 ± 3
FCA6	< 0,05	942 ± 24	27 ± 2	< 0,21	0,24 ± 0,01	0,3 ± 0,2	0,132 ± 0,004	< 0,22	< 0,05	< 0,38	< 0,48	< 0,30	93 ± 3
FCA7	< 0,05	683 ± 18	30 ± 2	< 0,21	0,27 ± 0,01	< 0,29	0,177 ± 0,005	< 0,22	< 0,05	< 0,38	< 0,48	< 0,30	106 ± 3
FCA8	< 0,05	735 ± 37	27 ± 2	< 0,21	0,24 ± 0,01	< 0,29	< 0,04	< 0,22	< 0,05	< 0,38	< 0,48	< 0,30	100 ± 3
FCA9	< 0,05	710 ± 35	27 ± 2	< 0,21	0,21 ± 0,01	< 0,29	< 0,04	< 0,22	< 0,05	< 0,38	< 0,48	< 0,30	100 ± 3
FCA10	< 0,05	799 ± 40	26 ± 2	< 0,21	0,22 ± 0,01	< 0,29	0,126 ± 0,004	< 0,22	< 0,05	< 0,38	< 0,48	< 0,30	107 ± 3
FCC	< 0,05	73 ± 4	14 ± 1	< 0,21	0,24 ± 0,01	< 0,29	0,6 ± 0,02	< 0,22	< 0,05	< 0,38	< 0,48	< 0,30	37 ± 1
FCG	< 0,05	75 ± 4	44 ± 3	< 0,21	0,23 ± 0,01	< 0,29	0,52 ± 0,02	< 0,22	< 0,05	< 0,38	< 0,48	< 0,30	127 ± 4
FCI	< 0,05	156 ± 8	25 ± 2	< 0,21	0,36 ± 0,01	< 0,29	0,040 ± 0,002	< 0,22	< 0,05	< 0,38	< 0,48	< 0,30	53 ± 2
FCSC	< 0,05	119 ± 6	16 ± 1	< 0,21	0,168 ± 0,005	< 0,29	0,048 ± 0,002	< 0,22	< 0,05	< 0,38	< 0,48	< 0,30	75 ± 2
FCDD	< 0,05	516 ± 30	25 ± 1	< 0,21	0,18 ± 0,01	< 0,29	0,34 ± 0,01	< 0,22	0,08 ± 0,02	0,4 ± 0,1	< 0,48	< 0,30	74 ± 3
FCDM	< 0,05	422 ± 25	28 ± 2	< 0,21	0,3 ± 0,01	0,6 ± 0,5	0,26 ± 0,01	< 0,22	< 0,05	0,4 ± 0,1	< 0,48	< 0,30	71 ± 3
FCACE	< 0,05	532 ± 23	17 ± 1	< 0,21	0,52 ± 0,001	< 0,29	0,111 ± 0,004	< 0,22	< 0,05	< 0,38	< 0,48	< 0,30	17 ± 0,5
FCDBH	< 0,05	829 ± 36	23 ± 1	< 0,21	0,183 ± 0,004	< 0,29	0,127 ± 0,004	< 0,22	< 0,05	< 0,38	< 0,48	< 0,30	20 ± 1
FCDMP	< 0,05	162 ± 5	46 ± 3	< 0,21	0,45 ± 0,01	< 0,29	0,68 ± 0,02	< 0,22	< 0,05	0,9 ± 0,1	< 0,48	< 0,30	82 ± 4
FCDR	< 0,05	523 ± 15	37 ± 2	< 0,21	0,19 ± 0,01	< 0,29	0,42 ± 0,01	< 0,22	< 0,05	< 0,38	< 0,48	< 0,30	73 ± 4
FCACC	< 0,05	590 ± 41	20 ± 2	< 0,21	0,061 ± 0,002	< 0,29	0,49 ± 0,004	< 0,22	< 0,05	< 0,38	< 0,48	< 0,30	22 ± 1
FCAMO	< 0,05	495 ± 35	22 ± 2	< 0,21	0,05 ± 0,002	< 0,29	0,043 ± 0,004	< 0,22	< 0,05	< 0,38	< 0,48	< 0,30	33 ± 2
RPAR	< 0,05	722 ± 43	33 ± 3	< 0,21	0,58 ± 0,02	< 0,29	0,40 ± 0,01	< 0,22	< 0,05	1,0 ± 0,2	< 0,48	< 0,30	84 ± 4
RPCM	< 0,05	638 ± 38	40 ± 2	< 0,21	1,01 ± 0,03	1,8 ± 1,2	0,50 ± 0,02	< 0,22	< 0,05	1,2 ± 0,2	< 0,48	< 0,30	75 ± 3

APENDICE B.1 – Concentração dos elementos em mg kg⁻¹ (* em %) nos cigarros não aromatizados determinados por Espectrometria de raios-x

	*Al	As	Br	*Ca	Cd	*Cl	Co
CCDA	0,060 ± 0,004	0,065 ± 0,001	75 ± 7	1,71 ± 0,03	1,00 ± 0,03	1,02 ± 0,01	0,81 ± 0,02
CCDH	0,041 ± 0,004	0,062 ± 0,002	40 ± 4	1,67 ± 0,01	0,39 ± 0,01	0,744 ± 0,004	0,63 ± 0,01
CCDV	0,066 ± 0,005	0,062 ± 0,002	69 ± 6	1,72 ± 0,03	0,31 ± 0,01	1,08 ± 0,01	0,51 ± 0,04
CCEPA	0,050 ± 0,004	0,062 ± 0,001	65 ± 5	1,76 ± 0,02	0,54 ± 0,01	0,902 ± 0,003	0,45 ± 0,04
CCHOV	0,078 ± 0,003	0,062 ± 0,001	63 ± 5	1,82 ± 0,02	0,83 ± 0,01	0,848 ± 0,004	0,68 ± 0,04
CCM	0,090 ± 0,003	0,065 ± 0,001	59 ± 3	1,60 ± 0,01	< 0,21	1,29 ± 0,01	0,95 ± 0,03
CCMFP	0,094 ± 0,003	0,061 ± 0,002	40 ± 3	1,66 ± 0,02	< 0,21	0,511 ± 0,002	0,73 ± 0,04
CCMS	0,068 ± 0,004	0,061 ± 0,001	42 ± 2	1,71 ± 0,03	1,05 ± 0,01	0,744 ± 0,004	0,79 ± 0,01
CCPLA	0,074 ± 0,004	0,061 ± 0,001	49 ± 4	1,71 ± 0,01	< 0,21	0,497 ± 0,001	0,59 ± 0,01
CCPZ	0,085 ± 0,003	0,063 ± 0,002	77 ± 4	1,75 ± 0,01	1,34 ± 0,01	0,920 ± 0,002	1,0 ± 0,2
CCDLA	0,042 ± 0,005	0,062 ± 0,002	47 ± 1	1,45 ± 0,01	0,31 ± 0,03	0,69 ± 0,01	0,75 ± 0,04
CCDLV	0,058 ± 0,003	0,064 ± 0,001	55 ± 3	1,55 ± 0,01	0,30 ± 0,03	0,955 ± 0,004	0,75 ± 0,01
CCFA	0,043 ± 0,003	0,062 ± 0,002	39 ± 3	1,64 ± 0,01	1,17 ± 0,01	0,762 ± 0,004	0,66 ± 0,01
CCLMA	0,080 ± 0,001	0,062 ± 0,002	< 3,4	1,66 ± 0,02	< 0,21	0,652 ± 0,004	0,78 ± 0,03
CCMG	0,069 ± 0,001	0,061 ± 0,002	52 ± 5	1,65 ± 0,01	< 0,21	0,512 ± 0,003	0,68 ± 0,01
CCMV	0,062 ± 0,004	0,062 ± 0,001	54 ± 8	1,64 ± 0,01	0,35 ± 0,02	0,488 ± 0,004	1,20 ± 0,05
CCFV	0,062 ± 0,004	0,062 ± 0,002	60 ± 3	1,82 ± 0,03	< 0,21	0,941 ± 0,002	0,82 ± 0,04
CCSH	0,063 ± 0,004	0,061 ± 0,001	54 ± 4	1,70 ± 0,01	< 0,21	0,667 ± 0,004	0,60 ± 0,04
CCSPS	0,057 ± 0,004	0,064 ± 0,002	50 ± 7	1,62 ± 0,01	1,6 ± 0,2	0,788 ± 0,004	0,67 ± 0,01

	Cr	Cs	Cu	*Fe	Hg	I	*K	La
CCDA	2,5 ± 0,3	0,047 ± 0,001	6,0 ± 0,2	0,062 ± 0,002	0,032 ± 0,001	205 ± 6	2,65 ± 0,02	5,8 ± 0,4
CCDH	1,06 ± 0,05	0,0442 ± 0,004	5,1 ± 0,1	0,050 ± 0,003	0,032 ± 0,001	215 ± 7	2,47 ± 0,01	7,9 ± 0,4
CCDV	0,95 ± 0,05	0,048 ± 0,004	4,9 ± 0,1	0,067 ± 0,002	0,029 ± 0,001	205 ± 8	3,01 ± 0,01	4,9 ± 0,4
CCEPA	0,97 ± 0,05	0,048 ± 0,001	5,1 ± 0,2	0,0405 ± 0,0003	0,031 ± 0,001	209,9 ± 0,1	2,84 ± 0,01	3,7 ± 0,4
CCHOV	1,04 ± 0,04	0,050 ± 0,001	5,0 ± 0,3	0,073 ± 0,001	0,029 ± 0,001	207 ± 7	2,51 ± 0,01	< 1,4
CCM	0,96 ± 0,01	0,041 ± 0,004	4,9 ± 0,2	0,050 ± 0,003	0,024 ± 0,001	202 ± 6	3,27 ± 0,01	7,2 ± 0,4
CCMFP	1,01 ± 0,02	0,048 ± 0,001	4,4 ± 0,1	0,065 ± 0,002	0,024 ± 0,001	199 ± 4	3,25 ± 0,01	3,7 ± 0,4
CCMS	1,07 ± 0,05	0,048 ± 0,001	4,9 ± 0,1	0,057 ± 0,001	0,030 ± 0,001	220 ± 6	2,46 ± 0,02	7,1 ± 0,5
CCPLA	1,00 ± 0,03	0,0468 ± 0,004	4,8 ± 0,1	0,064 ± 0,001	0,027 ± 0,001	218 ± 12	2,94 ± 0,01	2,4 ± 0,4
CCPZ	1,0 ± 0,1	0,047 ± 0,001	4,7 ± 0,1	0,086 ± 0,003	0,027 ± 0,001	207 ± 2	3,16 ± 0,02	1,9 ± 0,4
CCDLA	1,00 ± 0,05	0,045 ± 0,002	5,1 ± 0,4	0,045 ± 0,001	0,033 ± 0,001	217 ± 8	2,42 ± 0,03	12 ± 1
CCDLV	0,94 ± 0,02	0,041 ± 0,001	4,6 ± 0,1	0,040 ± 0,003	0,027 ± 0,001	201 ± 7	3,41 ± 0,01	5,8 ± 0,2
CCFA	1,08 ± 0,02	0,047 ± 0,001	5,3 ± 0,1	0,059 ± 0,001	0,034 ± 0,001	196 ± 3	2,02 ± 0,01	16 ± 1
CCLMA	0,99 ± 0,02	0,043 ± 0,001	4,81 ± 0,04	0,043 ± 0,003	0,025 ± 0,001	204 ± 4	3,47 ± 0,02	8,9 ± 0,5
CCMG	0,97 ± 0,05	0,044 ± 0,001	4,8 ± 0,2	0,065 ± 0,001	0,025 ± 0,001	204 ± 5	2,81 ± 0,01	3,7 ± 0,1
CCMV	1,02 ± 0,05	0,043 ± 0,002	4,9 ± 0,2	0,051 ± 0,003	0,029 ± 0,001	209 ± 4	2,63 ± 0,02	8 ± 1
CCFV	1,08 ± 0,03	0,045 ± 0,001	4,7 ± 0,2	0,077 ± 0,001	0,026 ± 0,001	192 ± 4	2,95 ± 0,01	2,05 ± 0,4
CCSH	0,95 ± 0,04	0,045 ± 0,001	4,4 ± 0,1	0,072 ± 0,001	0,024 ± 0,001	205 ± 3	3,54 ± 0,01	1,8 ± 0,2
CCSPS	0,81 ± 0,05	0,043 ± 0,001	5,0 ± 0,1	0,042 ± 0,003	0,032 ± 0,001	217 ± 10	2,77 ± 0,01	11 ± 1

	*Mg	*Mn	Nd	Ni	*P	Pb	Rb	*S
CCDA	1,09 ± 0,04	0,021 ± 0,001	18 ± 1	1,1 ± 0,1	0,16 ± 0,01	0,40 ± 0,04	20,0 ± 0,5	0,276 ± 0,001
CCDH	0,94 ± 0,04	0,015 ± 0,001	5,5 ± 0,4	1,5 ± 0,2	0,14 ± 0,01	0,92 ± 0,03	19,4 ± 0,1	0,270 ± 0,001
CCDV	0,94 ± 0,03	0,021 ± 0,001	< 5,02	1,32 ± 0,02	0,162 ± 0,004	1,0 ± 0,1	20,0 ± 0,4	0,290 ± 0,001
CCEPA	1,10 ± 0,04	0,021 ± 0,001	< 5,02	1,3 ± 0,1	0,19 ± 0,01	1,36 ± 0,03	19,9 ± 0,3	0,300 ± 0,001
CCHOV	0,84 ± 0,04	0,025 ± 0,001	6,4 ± 0,2	1,1 ± 0,1	0,16 ± 0,01	< 0,32	19,7 ± 0,1	0,262 ± 0,001
CCM	1,22 ± 0,04	0,011 ± 0,001	< 5,02	1,18 ± 0,04	0,162 ± 0,004	1,41 ± 0,03	20,0 ± 0,2	0,304 ± 0,002
CCMFP	0,82 ± 0,03	0,022 ± 0,001	< 5,02	1,4 ± 0,2	0,202 ± 0,004	1,2 ± 0,1	19,8 ± 0,1	0,307 ± 0,001
CCMS	0,65 ± 0,04	0,019 ± 0,001	8,1 ± 0,3	1,00 ± 0,02	0,163 ± 0,01	0,81 ± 0,03	19,6 ± 0,3	0,275 ± 0,002
CCPLA	0,82 ± 0,03	0,024 ± 0,001	< 5,02	0,72 ± 0,02	0,20 ± 0,01	0,53 ± 0,03	19,9 ± 0,2	0,301 ± 0,001
CCPZ	0,76 ± 0,01	0,026 ± 0,001	< 5,02	1,2 ± 0,1	0,18 ± 0,01	1,07 ± 0,03	19,9 ± 0,3	0,291 ± 0,002
CCDLA	0,60 ± 0,04	0,015 ± 0,001	9,3 ± 0,5	1,85 ± 0,05	0,14 ± 0,01	1,7 ± 0,4	20,0 ± 0,2	0,255 ± 0,003
CCDLV	0,90 ± 0,05	0,011 ± 0,001	< 5,02	1,14 ± 0,2	0,21 ± 0,01	< 0,32	20,0 ± 0,2	0,320 ± 0,002
CCFA	0,82 ± 0,03	0,014 ± 0,001	11,2 ± 0,3	2,2 ± 0,2	0,11 ± 0,01	< 0,32	19,4 ± 0,2	0,241 ± 0,001
CCLMA	0,90 ± 0,04	0,015 ± 0,001	< 5,02	1,75 ± 0,2	0,21 ± 0,01	< 0,32	19,8 ± 0,1	0,334 ± 0,003
CCMG	0,78 ± 0,04	0,021 ± 0,001	< 5,02	1,14 ± 0,02	0,18 ± 0,01	1,48 ± 0,03	19,9 ± 0,4	0,307 ± 0,001
CCMV	0,53 ± 0,02	0,014 ± 0,001	7,3 ± 0,3	1,6 ± 0,1	0,16 ± 0,01	1,28 ± 0,03	19,8 ± 0,1	0,284 ± 0,002
CCFV	1,1 ± 0,1	0,023 ± 0,001	< 5,02	1,42 ± 0,05	0,16 ± 0,01	< 0,32	19,4 ± 0,2	0,294 ± 0,001
CSSH	0,91 ± 0,04	0,024 ± 0,001	< 5,02	1,06 ± 0,04	0,22 ± 0,01	0,71 ± 0,03	19,8 ± 0,3	0,332 ± 0,002
CCSPS	0,74 ± 0,04	0,014 ± 0,001	6,7 ± 0,4	1,32 ± 0,04	0,16 ± 0,01	0,42 ± 0,03	20,8 ± 0,4	0,288 ± 0,001

	Sb	Se	Sm	Sr	Th	U	V	Zn
CCDA	0,025 ± 0,001	0,044 ± 0,001	< 0,87	117,2 ± 0,4	0,087 ± 0,001	0,19 ± 0,01	0,85 ± 0,02	20,7 ± 0,2
CCDH	0,022 ± 0,001	0,043 ± 0,001	< 0,87	95,7 ± 0,4	0,047 ± 0,003	0,12 ± 0,01	1,67 ± 0,04	19,0 ± 0,2
CCDV	0,023 ± 0,001	0,042 ± 0,001	< 0,87	121 ± 1	0,058 ± 0,001	0,19 ± 0,01	2,04 ± 0,04	18,7 ± 0,2
CCEPA	0,023 ± 0,001	0,044 ± 0,001	1,2 ± 0,2	111,2 ± 0,4	0,064 ± 0,004	0,19 ± 0,01	1,2 ± 0,1	19,4 ± 0,3
CCHOV	0,025 ± 0,001	0,045 ± 0,001	1,08 ± 0,03	110 ± 1	0,077 ± 0,001	0,18 ± 0,01	1,4 ± 0,2	20,2 ± 0,3
CCM	0,020 ± 0,001	0,042 ± 0,001	2,3 ± 0,1	131 ± 1	0,031 ± 0,001	< 0,1	1,02 ± 0,04	16,9 ± 0,2
CCMFP	0,019 ± 0,001	0,041 ± 0,001	1,2 ± 0,2	83,3 ± 0,4	0,024 ± 0,001	0,16 ± 0,01	1,52 ± 0,04	17,3 ± 0,1
CCMS	0,024 ± 0,001	0,045 ± 0,001	< 0,87	80 ± 1	0,079 ± 0,001	0,1 ± 0,01	0,94 ± 0,04	21,1 ± 0,2
CCPLA	0,021 ± 0,001	0,0422 ± 0,0004	< 0,87	85 ± 1	0,047 ± 0,001	0,13 ± 0,01	1,34 ± 0,05	18,8 ± 0,3
CCPZ	0,023 ± 0,001	0,043 ± 0,001	< 0,87	115 ± 1	0,055 ± 0,001	0,16 ± 0,01	1,3 ± 0,2	18,5 ± 0,2
CCDLA	0,023 ± 0,001	0,044 ± 0,001	1,2 ± 0,3	90 ± 1	0,077 ± 0,003	0,19 ± 0,01	1,05 ± 0,02	22,8 ± 0,2
CCDLV	0,019 ± 0,001	0,041 ± 0,001	1,35 ± 0,03	108 ± 1	0,016 ± 0,001	< 0,1	1,18 ± 0,04	15,9 ± 0,2
CCFA	0,024 ± 0,001	0,045 ± 0,001	1,3 ± 0,4	95,7 ± 0,2	0,089 ± 0,001	0,12 ± 0,01	1,00 ± 0,04	22,3 ± 0,2
CCLMA	0,019 ± 0,001	0,041 ± 0,001	1,4 ± 0,3	91,9 ± 0,4	0,025 ± 0,001	< 0,1	1,10 ± 0,03	17,8 ± 0,2
CCMG	0,019 ± 0,001	0,041 ± 0,001	< 0,87	82,6 ± 0,2	0,028 ± 0,001	0,18 ± 0,01	1,30 ± 0,02	18,1 ± 0,1
CCMV	0,022 ± 0,001	0,043 ± 0,001	< 0,87	80,4 ± 0,4	0,068 ± 0,001	0,16 ± 0,01	1,76 ± 0,02	20,8 ± 0,3
CCFV	0,019 ± 0,001	0,040 ± 0,001	< 0,87	113 ± 1	0,026 ± 0,001	0,19 ± 0,01	1,34 ± 0,04	16,7 ± 0,3
CCSH	0,018 ± 0,001	0,039 ± 0,001	< 0,87	93 ± 1	< 0,036	< 0,1	2,1 ± 0,3	16,8 ± 0,2
CCSPS	0,026 ± 0,001	0,043 ± 0,001	2,30 ± 0,03	100 ± 1	0,097 ± 0,033	< 0,1	0,76 ± 0,04	16,0 ± 0,2

APENDICE B.2 – Concentração dos elementos em mg kg⁻¹ (* em %) nos cigarros aromatizados determinados por Espectrometria de raios-x

	*Al	As	Br	*Ca	Cd	*Cl	Co	Cr	Cs	Cu
CADB	0,080 ± 0,006	0,062 ± 0,002	41 ± 1	1,75 ± 0,01	0,64 ± 0,03	0,992 ± 0,002	0,41 ± 0,01	1,01 ± 0,05	0,046 ± 0,001	4,9 ± 0,2
CAFF	0,085 ± 0,004	0,063 ± 0,002	74 ± 9	1,67 ± 0,02	1,09 ± 0,05	1,095 ± 0,004	0,67 ± 0,05	0,96 ± 0,05	0,047 ± 0,001	5,1 ± 0,1
CAHM	0,083 ± 0,001	0,062 ± 0,001	52 ± 1	1,82 ± 0,02	0,78 ± 0,03	0,960 ± 0,003	0,63 ± 0,04	1,05 ± 0,05	0,050 ± 0,001	5,1 ± 0,2
CALAM	0,049 ± 0,002	0,062 ± 0,001	38 ± 5	1,67 ± 0,05	0,59 ± 0,04	0,879 ± 0,001	0,63 ± 0,03	1,07 ± 0,04	0,045 ± 0,001	5,2 ± 0,2
CALMM	0,080 ± 0,005	0,061 ± 0,001	43 ± 2	1,81 ± 0,03	< 0,21	0,592 ± 0,002	1,11 ± 0,05	0,98 ± 0,05	0,048 ± 0,001	4,5 ± 0,2
CALSA	0,050 ± 0,005	0,062 ± 0,002	46 ± 1	1,83 ± 0,03	0,87 ± 0,04	0,849 ± 0,002	0,64 ± 0,03	1,02 ± 0,05	0,046 ± 0,001	5,3 ± 0,1
CALSF	0,045 ± 0,005	0,061 ± 0,001	56 ± 4	1,79 ± 0,02	0,54 ± 0,03	0,956 ± 0,003	0,69 ± 0,03	1,11 ± 0,05	0,049 ± 0,001	5,2 ± 0,4
CAMBI	0,069 ± 0,003	0,062 ± 0,002	43 ± 3	1,60 ± 0,03	< 0,21	0,598 ± 0,004	0,68 ± 0,05	0,99 ± 0,04	0,045 ± 0,002	5,1 ± 0,2
CAMFM	0,059 ± 0,005	0,060 ± 0,001	52 ± 3	1,83 ± 0,05	0,38 ± 0,04	0,550 ± 0,004	0,47 ± 0,01	0,99 ± 0,05	0,051 ± 0,001	4,4 ± 0,1

	*Fe	Hg	I	*K	La	*Mg	*Mn	Nd	Ni	*P
CADB	0,047 ± 0,001	0,027 ± 0,001	219 ± 8	3,31 ± 0,01	3,4 ± 0,2	0,81 ± 0,03	0,018 ± 0,001	< 5,02	1,18 ± 0,03	0,18 ± 0,01
CAFF	0,080 ± 0,002	0,027 ± 0,001	203 ± 7	2,54 ± 0,01	8,1 ± 0,4	1,03 ± 0,03	0,018 ± 0,001	< 5,02	0,90 ± 0,03	0,14 ± 0,01
CAHM	0,063 ± 0,002	0,028 ± 0,01	200 ± 10	2,48 ± 0,01	7,9 ± 0,5	1,01 ± 0,05	0,020 ± 0,001	6,5 ± 0,2	1,20 ± 0,04	0,14 ± 0,01
CALAM	0,050 ± 0,001	0,032 ± 0,001	212 ± 5	2,88 ± 0,01	8,3 ± 0,4	0,78 ± 0,02	0,015 ± 0,002	6,3 ± 0,4	1,06 ± 0,04	0,16 ± 0,01
CALMM	0,062 ± 0,001	0,027 ± 0,001	216 ± 6	3,01 ± 0,01	3,0 ± 0,4	0,91 ± 0,03	0,023 ± 0,001	< 5,02	1,48 ± 0,03	0,18 ± 0,01
CALSA	0,052 ± 0,001	0,032 ± 0,001	199 ± 9	2,40 ± 0,01	8,1 ± 0,5	1,05 ± 0,04	0,015 ± 0,001	5,11 ± 0,03	0,84 ± 0,03	0,14 ± 0,01
CALSF	0,062 ± 0,001	0,032 ± 0,001	216 ± 10	2,47 ± 0,01	9,1 ± 0,5	1,07 ± 0,04	0,018 ± 0,001	5,2 ± 0,1	0,77 ± 0,03	0,14 ± 0,01
CAMBI	0,063 ± 0,001	0,028 ± 0,001	210 ± 6	3,10 ± 0,01	4,9 ± 0,2	0,74 ± 0,03	0,022 ± 0,001	5,4 ± 0,04	1,39 ± 0,03	0,18 ± 0,01
CAMFM	0,054 ± 0,004	0,030 ± 0,001	197 ± 6	2,74 ± 0,01	4,1 ± 0,5	0,67 ± 0,01	0,023 ± 0,001	< 5,02	0,85 ± 0,03	0,17 ± 0,01

	Pb	Rb	*S	Sb	Se	Sm	Sr	Th	U	V	Zn
	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
CADBM	1,12 ± 0,05	19,8 ± 0,2	0,336 ± 0,001	0,022 ± 0,001	0,043 ± 0,001	< 0,87	128 ± 1	0,060± 0,001	0,15 ± 0,03	0,95 ± 0,04	18,3 ± 0,3
CAFF	< 0,32	20,1 ± 0,3	0,259 ± 0,002	0,024± 0,001	0,044 ± 0,001	< 0,87	121 ± 1	0,068± 0,001	0,18 ± 0,04	1,00 ± 0,05	19,1 ± 0,2
CAHM	1,73 ± 0,04	19,5 ± 0,2	0,268 ± 0,001	0,024 ± 0,001	0,044 ± 0,001	1,01 ± 0,05	113 ± 1	0,078 ± 0,001	0,19 ± 0,02	1,68 ± 0,05	20,2 ± 0,3
CALAM	0,44 ± 0,05	19,5 ± 0,1	0,311 ± 0,001	0,023 ± 0,001	0,044 ± 0,001	0,93 ± 0,05	118 ± 1	0,073± 0,001	0,15 ± 0,05	1,01 ± 0,04	19,9 ± 0,2
CALMM	1,27 ± 0,05	19,9 ± 0,2	0,301 ± 0,001	0,021 ± 0,001	0,042 ± 0,001	< 0,87	92,1 ± 0,4	0,050± 0,001	0,25 ± 0,03	1,69 ± 0,06	18,1 ± 0,1
CALSA	0,53 ± 0,05	19,6 ± 0,2	0,253 ± 0,003	0,023 ± 0,001	0,044 ± 0,001	1,33 ± 0,03	105 ± 1	0,073 ± 0,002	0,18 ± 0,03	1,25 ± 0,04	19,0 ± 0,1
CALSF	1,55 ± 0,05	19,4 ± 0,2	0,276 ± 0,002	0,023 ± 0,001	0,044 ± 0,001	1,8 ± 0,1	111 ± 1	0,064 ± 0,001	< 0,1	0,69 ± 0,04	9,4 ± 0,2
CAMBI	1,11 ± 0,05	19,8 ± 0,4	0,305 ± 0,002	0,021 ± 0,001	0,042 ± 0,001	< 0,87	89 ± 1	0,053± 0,001	< 0,1	1,70 ± 0,04	19,8 ± 0,2
CAMFM	0,76 ± 0,05	19,8 ± 0,2	0,278 ± 0,001	0,022 ± 0,001	0,042 ± 0,001	< 0,87	88 ± 1	0,054± 0,001	0,23 ± 0,05	1,18 ± 0,04	18,4 ± 0,2

APENDICE B.3 – Concentração dos elementos em mg kg⁻¹ (* em %) nos cigarros de palha determinados por Espectrometria de raios-x

	*Al	As	Br	*Ca	Cd	*Cl	Co	Cr	Cs	Cu
CPPM	0,077 ± 0,002	0,062 ± 0,002	18,0 ± 0,5	2,81 ± 0,01	1,47 ± 0,03	0,178 ± 0,001	0,75 ± 0,01	1,76 ± 0,05	0,061 ± 0,001	5,1 ± 0,1
CPC	0,082 ± 0,003	0,061 ± 0,001	41 ± 3	3,41 ± 0,03	< 0,21	0,228 ± 0,004	0,72 ± 0,03	1,83 ± 0,05	0,063 ± 0,001	4,8 ± 0,2
CPCR	0,085 ± 0,004	0,061 ± 0,001	64 ± 1	2,9 ± 0,1	< 0,21	0,62 ± 0,01	0,75 ± 0,01	1,7 ± 0,1	0,061 ± 0,001	4,3 ± 0,2
CPD	0,084 ± 0,003	0,063 ± 0,002	75 ± 3	1,83 ± 0,04	< 0,21	0,719 ± 0,004	0,48 ± 0,01	1,00 ± 0,01	0,048 ± 0,001	4,4 ± 0,2
CPFN	0,055 ± 0,002	0,060 ± 0,001	37 ± 2	1,95 ± 0,02	2,7 ± 0,3	0,558 ± 0,002	0,49 ± 0,05	1,1 ± 0,1	0,052 ± 0,001	5,1 ± 0,3
CPP	0,085 ± 0,002	0,062 ± 0,002	53,5 ± 0,2	2,3 ± 0,1	0,85 ± 0,04	0,907 ± 0,003	1,1 ± 0,2	1,2 ± 0,1	0,057 ± 0,001	6,0 ± 0,1
CPPF	0,048 ± 0,003	0,061 ± 0,001	20 ± 2	2,73 ± 0,05	1,0 ± 0,1	0,235 ± 0,003	0,65 ± 0,04	1,5 ± 0,1	0,057 ± 0,001	5,2 ± 0,2
CPPG	0,145 ± 0,004	0,062 ± 0,002	31 ± 2	3,00 ± 0,03	< 0,21	0,467 ± 0,003	1,1 ± 0,1	1,65 ± 0,05	0,062 ± 0,001	5,1 ± 0,1
CPRN	0,087 ± 0,003	0,062 ± 0,002	64 ± 9	1,82 ± 0,04	1,2 ± 0,2	0,622 ± 0,003	0,53 ± 0,05	0,95 ± 0,02	0,047 ± 0,001	5,5 ± 0,2
CPVC	0,25 ± 0,01	0,060 ± 0,001	22 ± 1	2,87 ± 0,01	0,40 ± 0,03	0,117 ± 0,005	1,28 ± 0,21	1,7 ± 0,1	0,065 ± 0,001	4,8 ± 0,3
CPCPC	0,082 ± 0,003	0,060 ± 0,003	29 ± 1	1,32 ± 0,02	0,48 ± 0,05	0,71 ± 0,01	0,58 ± 0,03	0,87 ± 0,01	0,042 ± 0,002	4,1 ± 0,2
CPCPE	0,064 ± 0,003	0,061 ± 0,001	56 ± 1	1,99 ± 0,01	1,7 ± 0,1	0,68 ± 0,01	0,54 ± 0,05	0,93 ± 0,04	0,050 ± 0,003	5,0 ± 0,2
CPSP	0,058 ± 0,004	0,062 ± 0,001	31 ± 2	2,83 ± 0,03	< 0,21	0,285 ± 0,002	1,2 ± 0,2	1,68 ± 0,05	0,053 ± 0,001	5,0 ± 0,2
CPTV	0,065 ± 0,005	0,070 ± 0,002	35 ± 39	2,3 ± 0,2	2,0 ± 0,3	1,30 ± 0,01	0,67 ± 0,05	0,80 ± 0,03	0,043 ± 0,001	5,6 ± 0,2

	*Fe	Hg	I	*K	La	*Mg	*Mn	Nd	Ni	*P
CPPM	0,096 ± 0,001	0,030 ± 0,001	221 ± 2	0,93 ± 0,01	32 ± 1	0,31 ± 0,04	0,008 ± 0,001	< 5,02	1,75 ± 0,04	0,14 ± 0,01
CPC	0,098 ± 0,004	0,026 ± 0,001	218 ± 5	1,60 ± 0,01	9,1 ± 0,2	0,67 ± 0,03	0,016 ± 0,001	< 5,02	1,55 ± 0,04	0,11 ± 0,01
CPCR	0,117 ± 0,004	0,025 ± 0,001	191 ± 7	1,46 ± 0,01	< 1,4	0,071 ± 0,002	0,031 ± 0,001	< 5,02	1,12 ± 0,04	0,090 ± 0,001
CPD	0,056 ± 0,001	0,027 ± 0,001	210 ± 5	2,37 ± 0,01	< 1,4	0,083 ± 0,003	0,051 ± 0,001	< 5,02	1,2 ± 0,01	0,13 ± 0,01
CPFN	0,066 ± 0,001	0,035 ± 0,001	239 ± 4	1,92 ± 0,01	11 ± 2	0,48 ± 0,004	0,018 ± 0,001	8,4 ± 0,4	1,10 ± 0,01	0,097 ± 0,004
CPP	0,158 ± 0,001	0,029 ± 0,001	211 ± 13	1,44 ± 0,01	12,3 ± 0,1	0,87 ± 0,01	0,019 ± 0,001	5,4 ± 0,1	1,41 ± 0,01	0,100 ± 0,001
CPPF	0,070 ± 0,001	0,032 ± 0,001	199 ± 7	1,28 ± 0,01	18 ± 1	0,37 ± 0,03	0,011 ± 0,001	8,4 ± 0,4	2,4 ± 0,4	0,082 ± 0,004
CPPG	0,156 ± 0,005	0,019 ± 0,001	214 ± 5	1,71 ± 0,01	18 ± 1	1,15 ± 0,04	0,015 ± 0,001	< 5,02	1,1 ± 0,3	0,12 ± 0,01
CPRN	0,065 ± 0,001	0,029 ± 0,001	211 ± 4	3,13 ± 0,01	< 1,4	1,2 ± 0,1	0,027 ± 0,001	5,6 ± 0,3	1,2 ± 0,2	0,19 ± 0,01
CPVC	0,202 ± 0,004	0,009 ± 0,004	212 ± 8	1,19 ± 0,01	39 ± 2	0,56 ± 0,02	0,105 ± 0,005	6,1 ± 0,4	1,4 ± 0,3	0,09 ± 0,01
CPCPC	0,047 ± 0,001	0,027 ± 0,001	218 ± 6	3,26 ± 0,01	< 1,4	0,42 ± 0,01	0,030 ± 0,001	< 5,02	1,3 ± 0,2	0,19 ± 0,01
CPCPE	0,066 ± 0,001	0,033 ± 0,001	214 ± 5	1,99 ± 0,01	< 1,4	0,59 ± 0,04	0,028 ± 0,001	5,9 ± 0,2	1,00 ± 0,05	0,12 ± 0,01
CPSP	0,086 ± 0,005	0,030 ± 0,001	215 ± 13	1,25 ± 0,02	23 ± 1	0,66 ± 0,04	0,078 ± 0,002	6,1 ± 0,4	2,72 ± 0,21	0,087 ± 0,004
CPTV	0,027 ± 0,001	0,032 ± 0,001	155 ± 21	3,66 ± 0,01	< 1,4	1,33 ± 0,05	0,08 ± 0,01	< 5,02	1,2 ± 0,1	0,22 ± 0,01

	Pb	Rb	*S	Sb	Se	Sm	Sr	Th	U	V	Zn
CPPM	1,5 ± 0,5	16,3± 0,3	0,252 ± 0,003	0,024 ± 0,001	0,045 ± 0,001	< 0,87	65,2 ± 0,3	0,095 ± 0,002	0,14 ± 0,01	1,65 ± 0,04	24,4 ± 0,1
CPC	< 0,32	15,3 ± 0,2	0,358 ± 0,001	0,021 ± 0,001	0,042 ± 0,001	< 0,87	72,8 ± 0,4	0,047 ± 0,002	0,17 ± 0,02	1,88 ± 0,04	19,9 ± 0,2
CPCR	0,63 ± 0,03	16,4 ± 0,3	0,330 ± 0,002	0,020 ± 0,001	0,041 ± 0,001	< 0,87	99,1 ± 0,3	< 0,036	0,22 ± 0,02	2,0 ± 0,1	17,6 ± 0,2
CPD	< 0,32	19,8 ± 0,3	0,266 ± 0,001	0,024 ± 0,001	0,043 ± 0,001	1,5 ± 0,2	102 ± 1	0,060 ± 0,001	0,13 ± 0,03	1,69 ± 0,01	17,2 ± 0,2
CPFN	0,42 ± 0,01	19,4 ± 0,4	0,281 ± 0,001	0,029 ± 0,001	0,047 ± 0,001	1,3 ± 0,2	92,9 ± 0,4	0,122 ± 0,001	0,18 ± 0,02	1,1 ± 0,2	22,8 ± 0,3
CPP	1,2 ± 0,2	19,1 ± 0,2	0,326 ± 0,003	0,025 ± 0,001	0,045 ± 0,001	< 0,87	116 ± 1	0,076 ± 0,001	0,22 ± 0,030	2,2 ± 0,1	20,6 ± 0,2
CPPF	1,4 ± 0,3	17,0 ± 0,2	0,279 ± 0,002	0,023 ± 0,001	0,044± 0,001	< 0,87	70,0 ± 0,4	0,082 ± 0,001	0,21 ± 0,02	0,83 ± 0,03	22,7 ± 0,02
CPPG	0,96 ± 0,05	16,4 ± 0,2	0,338 ± 0,002	0,019 ± 0,001	0,041 ± 0,001	1,8 ± 0,2	91,0 ± 0,2	< 0,036	0,16 ± 0,002	3,72 ± 0,05	18,7 ± 0,3
CPRN	1,7 ± 0,3	21 ± 1	0,386 ± 0,002	0,027 ± 0,001	0,045 ± 0,001	< 0,87	92 ± 1	0,082 ± 0,001	0,32 ± 0,03	1,1 ± 0,2	22,5 ± 0,3
CPVC	1,8 ± 0,03	16,4 ± 0,2	0,269 ± 0,002	0,021 ± 0,001	0,043 ± 0,001	< 0,87	64,1 ± 0,3	0,056 ± 0,002	0,15 ± 0,01	3,44 ± 0,05	21,0 ± 0,1
CPCPC	0,40 ± 0,004	20,5 ± 0,3	0,291 ± 0,002	0,022 ± 0,001	0,043 ± 0,001	3,3 ± 0,4	91,0 ± 0,5	0,061 ± 0,001	0,20 ± 0,03	0,70 ± 0,03	18,7 ± 0,1
CPCPE	< 0,32	20 ± 1	0,33 ± 0,01	0,026 ± 0,001	0,046 ± 0,001	< 0,87	111 ± 1	0,090 ± 0,001	0,28 ± 0,02	1,0 ± 0,1	22,3 ± 0,3
CPSP	< 0,32	16,3 ± 0,1	0,297 ± 0,003	0,021± 0,001	0,043 ± 0,001	3,0 ± 0,4	74,0 ± 0,2	0,055 ± 0,003	< 0,1	1,5 ± 0,2	20,8 ± 0,3
CPTV	< 0,32	20,6 ± 0,5	0,45 ± 0,01	0,043 ± 0,004	0,047 ± 0,001	< 0,87	181 ± 1	0,072 ± 0,029	0,33 ± 0,0201	0,97 ± 0,05	24,8 ± 0,3

APENDICE B.4 – Concentração dos elementos em mg kg⁻¹ (* em %) nos charutos determinados por Espectrometria de raios-x

	*Al	As	Br	*Ca	Cd	*Cl	Co	Cr	Cs	Cu	*Fe
CHDF	0,101 ± 0,002	0,063 ± 0,002	94 ± 3	1,75 ± 0,04	0,38 ± 0,02	1,47 ± 0,01	0,38 ± 0,05	0,93 ± 0,04	0,048 ± 0,001	5,3 ± 0,1	0,045 ± 0,003
CHDNC	0,085 ± 0,004	0,064 ± 0,002	82 ± 4	1,72 ± 0,03	1,30 ± 0,5	0,834 ± 0,004	0,41 ± 0,05	0,99 ± 0,04	0,046 ± 0,001	5,4 ± 0,2	0,053 ± 0,004
CHDNE	0,084 ± 0,003	0,061 ± 0,002	38 ± 2	1,59 ± 0,01	0,61 ± 0,01	0,697 ± 0,005	0,84 ± 0,05	0,89 ± 0,04	0,047 ± 0,001	4,91 ± 0,04	0,038 ± 0,001
CHMPC	0,082 ± 0,003	0,064 ± 0,002	92 ± 9	2,20 ± 0,03	< 0,21	1,22 ± 0,01	0,47 ± 0,05	1,26 ± 0,04	0,050 ± 0,001	5,78 ± 0,10	0,053 ± 0,001
CHMPE	0,056 ± 0,003	0,067 ± 0,004	98 ± 5	2,40 ± 0,03	0,85 ± 0,05	1,32 ± 0,01	0,33 ± 0,03	1,30 ± 0,04	0,054 ± 0,001	6,20 ± 0,05	0,038 ± 0,001
CHNI	0,118 ± 0,003	0,063 ± 0,002	98 ± 6	1,81 ± 0,03	0,58 ± 0,05	1,19 ± 0,01	0,55 ± 0,05	0,90 ± 0,04	0,046 ± 0,001	5,16 ± 0,02	0,042 ± 0,001

	Hg	I	*K	La	*Mg	*Mn	Nd	Ni	*P	Pb
CHDF	0,026 ± 0,001	200 ± 10	3,66 ± 0,02	8,7 ± 0,5	1,86 ± 0,03	0,012 ± 0,001	< 5,02	0,92 ± 0,05	0,18 ± 0,01	1,21 ± 0,05
CHDNC	0,028 ± 0,001	211 ± 11	3,64 ± 0,02	12,8 ± 0,4	2,08 ± 0,05	0,012 ± 0,001	5,8 ± 0,5	1,09 ± 0,03	0,25 ± 0,01	1,04 ± 0,03
CHDNE	0,029 ± 0,001	195 ± 5	5,45 ± 0,01	8 ± 1	1,57 ± 0,03	0,015 ± 0,001	< 5,02	1,19 ± 0,03	0,25 ± 0,01	1,84 ± 0,05
CHMPC	0,026 ± 0,001	195 ± 8	3,14 ± 0,02	7,78 ± 0,05	2,41 ± 0,03	0,013 ± 0,001	< 5,02	1,42 ± 0,02	0,16 ± 0,01	1,10 ± 0,05
CHMPE	0,032 ± 0,001	204 ± 9	2,63 ± 0,01	7,1 ± 0,5	2,71 ± 0,03	0,014 ± 0,001	< 5,02	1,09 ± 0,03	0,17 ± 0,01	0,87 ± 0,05
CHNI	0,024 ± 0,001	211 ± 14	4,41 ± 0,01	6,3 ± 0,2	1,44 ± 0,03	0,016 ± 0,001	< 5,02	1,10 ± 0,03	0,18 ± 0,01	0,44 ± 0,05

	Rb	*S	Sb	Se	Sm	Sr	Th	U	V	Zn
CHDF	20,4 ± 0,3	0,459 ± 0,004	0,023 ± 0,001	0,044 ± 0,001	1,52 ± 0,02	167 ± 1	0,054 ± 0,001	0,21 ± 0,03	1,03 ± 0,04	21,4 ± 0,3
CHDNC	20,1 ± 0,2	0,488 ± 0,002	0,026 ± 0,001	0,045 ± 0,001	< 0,87	126 ± 1	0,076 ± 0,001	0,18 ± 0,02	1,07 ± 0,04	21,1 ± 0,2
CHDNE	20,3 ± 0,3	0,684 ± 0,002	0,022 ± 0,001	0,043 ± 0,001	1,68 ± 0,01	113 ± 1	0,053 ± 0,001	0,27 ± 0,05	1,11 ± 0,04	22,0 ± 0,2
CHMPC	18,4 ± 0,1	0,517 ± 0,004	0,022 ± 0,001	0,043 ± 0,001	2,11 ± 0,05	144 ± 1	0,045 ± 0,001	0,13 ± 0,02	0,72 ± 0,04	21,9 ± 0,3
CHMPE	18,2 ± 0,2	0,495 ± 0,002	0,025 ± 0,001	0,045 ± 0,001	< 0,87	164 ± 1	0,069 ± 0,001	0,21 ± 0,05	1,09 ± 0,01	24,6 ± 0,3
CHNI	20,4 ± 0,4	0,592 ± 0,004	0,024 ± 0,001	0,044 ± 0,001	< 0,87	150 ± 1	0,058 ± 0,001	0,23 ± 0,01	1,05 ± 0,04	21,6 ± 0,2

APENDICE B.5 – Concentração dos elementos em mg kg⁻¹ (* em %) nos fumos de corda e rapés determinados por Espectrometria de raios-x

	*Al	As	Br	*Ca	Cd	*Cl	Co	Cr	Cs	Cu
FCA2	0,126 ± 0,003	0,063 ± 0,003	61 ± 4	1,75 ± 0,01	2,8 ± 0,3	0,777 ± 0,004	0,41 ± 0,04	0,87 ± 0,07	0,0472 ± 0,0004	6,5 ± 0,3
FCA6	0,115 ± 0,004	0,061 ± 0,001	28 ± 1	1,47 ± 0,01	1,6 ± 0,2	0,910 ± 0,002	0,52 ± 0,04	0,82 ± 0,01	0,0458 ± 0,0004	6,5 ± 0,3
FCA7	0,116 ± 0,004	0,065 ± 0,002	51 ± 2	1,66 ± 0,02	2,8 ± 0,1	0,632 ± 0,004	0,60 ± 0,05	0,89 ± 0,03	0,047 ± 0,002	7,8 ± 0,1
FCAAL	0,089 ± 0,003	0,062 ± 0,001	51 ± 2	1,73 ± 0,03	3,4 ± 0,5	0,75 ± 0,01	0,43 ± 0,04	0,89 ± 0,03	0,046 ± 0,002	5,4 ± 0,1
FCACE	0,016 ± 0,003	0,062 ± 0,002	39 ± 2	1,45 ± 0,03	2,5 ± 0,4	0,244 ± 0,002	0,6 ± 0,1	0,97 ± 0,05	0,046 ± 0,001	4,8 ± 0,2
FCAMO	0,029 ± 0,005	0,0608 ± 0,0004	43 ± 1	1,45 ± 0,03	2,0 ± 0,1	0,324 ± 0,002	0,36 ± 0,02	0,87 ± 0,04	0,0438 ± 0,0004	4,5 ± 0,2
FCA5	0,143 ± 0,003	0,065 ± 0,001	239 ± 29	1,7 ± 0,1	< 0,21	1,74 ± 0,01	0,49 ± 0,05	0,89 ± 0,04	0,045 ± 0,001	5,8 ± 0,2
FCA10	0,110 ± 0,003	0,063 ± 0,002	34 ± 1	1,7 ± 0,1	4,0 ± 0,2	0,867 ± 0,004	0,7 ± 0,1	0,87 ± 0,04	0,049 ± 0,003	7,3 ± 0,4
FCDBH	0,039 ± 0,005	0,063 ± 0,002	49 ± 1	1,65 ± 0,02	2,3 ± 0,4	0,418 ± 0,001	0,505 ± 0,005	1,0 ± 0,1	0,046 ± 0,001	5,2 ± 0,2
FCDD	0,075 ± 0,005	0,063 ± 0,001	103 ± 5	1,74 ± 0,04	1,8 ± 0,3	0,889 ± 0,004	0,52 ± 0,05	0,95 ± 0,03	0,047 ± 0,001	5,4 ± 0,2
FCDHT	0,070 ± 0,002	0,061 ± 0,001	40 ± 1	1,91 ± 0,03	1,8 ± 0,2	0,494 ± 0,003	0,61 ± 0,01	1,1 ± 0,1	0,049 ± 0,001	4,4 ± 0,2
FCDJ	0,079 ± 0,002	0,066 ± 0,001	166 ± 5	1,94 ± 0,05	1,8 ± 0,1	1,171 ± 0,004	0,36 ± 0,04	0,93 ± 0,01	0,047 ± 0,001	6,0 ± 0,2
FCDMP	0,088 ± 0,003	0,061 ± 0,001	53 ± 2	2,41 ± 0,05	2,0 ± 0,2	0,81 ± 0,004	0,85 ± 0,04	1,0 ± 0,1	0,054 ± 0,001	5,6 ± 0,2
FCDPG	0,075 ± 0,003	0,063 ± 0,001	59 ± 2	1,60 ± 0,05	2,8 ± 0,2	0,710 ± 0,003	1,1 ± 0,2	1,0 ± 0,1	0,047 ± 0,001	5,3 ± 0,4
FCDTT	0,011 ± 0,001	0,060 ± 0,001	21 ± 3	1,65 ± 0,02	2,4 ± 0,4	0,400 ± 0,003	0,57 ± 0,03	1,08 ± 0,05	0,046 ± 0,001	4,8 ± 0,1
FCG	0,081 ± 0,003	0,060 ± 0,001	31 ± 4	2,30 ± 0,03	< 0,21	0,521 ± 0,003	0,54 ± 0,05	1,10 ± 0,05	0,055 ± 0,001	5,7 ± 0,1

	*Al	As	Br	*Ca	Cd	*Cl	Co	Cr	Cs	Cu
FCP	0,117± 0,003	0,065 ± 0,001	122 ± 11	2,40 ± 0,04	< 0,21	0,397 ± 0,003	0,79 ± 0,04	1,2 ± 0,1	0,057 ± 0,001	4,4 ± 0,1
FCPF	0,147± 0,003	0,060 ± 0,001	37 ± 3	1,83 ± 0,04	< 0,21	0,499 ± 0,005	1,2 ± 0,04	1,0 ± 0,1	0,049 ± 0,001	4,9 ± 0,2
FCSC	0,066± 0,003	0,062 ± 0,001	56,5 ± 0,4	1,42 ± 0,02	1,8 ± 0,3	0,545 ± 0,004	1,3 ± 0,5	0,87 ± 0,04	0,047 ± 0,001	4,6 ± 0,1
FCA3	0,11± 0,01	0,063 ± 0,002	34 ± 3	1,74 ± 0,01	2,7 ± 0,2	0,85 ± 0,01	0,87 ± 0,05	0,93 ± 0,04	0,043 ± 0,001	7,9 ± 0,3
FCA4	0,169± 0,005	0,065 ± 0,002	257 ± 6	2,1 ± 0,2	< 0,21	1,611 ± 0,004	0,56 ± 0,05	1,00 ± 0,05	0,040 ± 0,001	5,3 ± 0,2
FCA8	0,124± 0,005	0,0618 ± 0,0004	33 ± 5	1,5 ± 0,1	2,3 ± 0,2	0,80 ± 0,01	1,2 ± 0,4	0,88 ± 0,003	0,043 ± 0,001	7,8 ± 0,2
FCA9	0,091± 0,004	0,061 ± 0,001	30 ± 1	1,59 ± 0,01	2,0 ± 0,2	0,9 ± 0,1	0,79 ± 0,04	0,87 ± 0,04	0,045 ± 0,001	6,9 ± 0,3
FCACC	0,039± 0,004	0,062 ± 0,001	42,3 ± 0,5	1,60 ± 0,01	< 0,21	0,339 ± 0,02	0,63 ± 0,04	1,01 ± 0,04	0,042 ± 0,001	4,3 ± 0,2
FCC	0,062± 0,003	0,062 ± 0,001	16,8 ± 0,3	1,73 ± 0,02	2,6 ± 0,2	0,274 ± 0,03	1,36 ± 0,04	1,08 ± 0,04	0,046± 0,001	6,1 ± 0,1
FCCPR	0,079± 0,003	0,062 ± 0,002	41 ± 2	1,58 ± 0,02	3,3 ± 0,3	0,490 ± 0,03	0,41 ± 0,02	0,97 ± 0,04	0,043± 0,001	5,0 ± 0,2
FCDM	0,074± 0,001	0,062 ± 0,002	106 ± 3	1,92 ± 0,02	1,5 ± 0,1	1,19 ± 0,01	0,09 ± 0,02	0,96 ± 0,04	0,047± 0,001	5,1 ± 0,1
FCDR	0,083± 0,004	0,070 ± 0,003	115 ± 8	1,77 ± 0,05	2,0 ± 0,2	1,11 ± 0,01	1,21 ± 0,02	0,87 ± 0,04	0,042 ± 0,001	5,7 ± 0,1
FCDT	0,073± 0,004	0,063 ± 0,001	44 ± 6	1,55 ± 0,02	< 0,21	0,59 ± 0,01	1,21 ± 0,02	0,86 ± 0,04	0,043 ± 0,001	4,9 ± 0,2
RPAR	0,097± 0,003	0,062 ± 0,001	70 ± 5	1,74 ± 0,03	3,39 ± 0,07	0,663 ± 0,003	1,27 ± 0,02	0,88 ± 0,02	0,049 ± 0,001	5,75 ± 0,05
RPCM	0,131± 0,004	0,062 ± 0,001	75 ± 3	1,88 ± 0,02	3,75 ± 0,05	0,645 ± 0,003	1,36 ± 0,02	0,90 ± 0,04	0,054 ± 0,001	5,39 ± 0,2

	*Fe	Hg	I	*K	La	*Mg	*Mn	Nd	Ni	*P	Pb
FCA2	0,063 ± 0,002	0,027 ± 0,001	214 ± 10	3,74 ± 0,01	4,9 ± 0,6	1,57 ± 0,04	0,022 ± 0,001	< 5,02	< 0,60	0,15 ± 0,01	< 0,32
FCA6	0,083 ± 0,002	0,026 ± 0,001	212 ± 5	3,72 ± 0,01	13,3 ± 0,4	1,68 ± 0,04	0,013 ± 0,001	< 5,02	< 0,60	0,112 ± 0,004	1,1 ± 0,1
FCA7	0,062 ± 0,001	0,027 ± 0,001	225 ± 1	3,42 ± 0,01	7,9 ± 0,4	1,9 ± 0,1	0,020 ± 0,001	7,0 ± 0,5	0,9 ± 0,3	0,108 ± 0,004	1,5 ± 0,2
FCAAL	0,044 ± 0,001	0,032 ± 0,001	194 ± 7	3,87 ± 0,02	9,5 ± 0,2	1,0 ± 0,1	0,010 ± 0,001	< 5,02	1,12 ± 0,02	0,27 ± 0,01	1,6 ± 0,4
FCACE	0,032 ± 0,003	0,039 ± 0,001	199 ± 8	1,41 ± 0,01	11 ± 1	0,13 ± 0,02	0,019 ± 0,002	13,3 ± 0,4	1,9 ± 0,3	0,11 ± 0,01	< 0,32
FCAMO	0,039 ± 0,002	0,036 ± 0,001	208 ± 9	1,78 ± 0,01	4,4 ± 0,4	0,12 ± 0,04	0,022 ± 0,001	8,7 ± 0,3	1,4 ± 0,6	0,138 ± 0,004	< 0,32
FCA5	0,0510 ± 0,0004	1,3 ± 0,2	164 ± 3	4,58 ± 0,01	< 1,4	1,7 ± 0,1	0,068 ± 0,003	< 5,02	0,8 ± 0,1	0,17 ± 0,01	< 0,32
FCA10	0,053 ± 0,003	0,030 ± 0,001	230 ± 8	3,39 ± 0,02	17 ± 1	1,7 ± 0,1	0,011 ± 0,002	9,3 ± 0,3	1,5 ± 0,3	0,12 ± 0,01	1,0 ± 0,3
FCDBH	0,0643 ± 0,0003	0,035 ± 0,001	220 ± 5	1,98 ± 0,01	9,9 ± 0,5	0,53 ± 0,02	0,017 ± 0,001	8,5 ± 0,3	1,7 ± 0,2	0,12 ± 0,01	1,2 ± 0,1
FCDD	0,048 ± 0,002	0,030 ± 0,001	222 ± 12	2,98 ± 0,01	< 1,4	1,15 ± 0,05	0,031 ± 0,002	6,2 ± 0,2	0,8 ± 0,3	0,17 ± 0,01	0,8 ± 0,1
FCDHT	0,058 ± 0,001	0,032 ± 0,001	220 ± 6	2,07 ± 0,01	2,1 ± 0,3	0,75 ± 0,03	0,026 ± 0,001	6,2 ± 0,4	1,2 ± 0,2	0,15 ± 0,01	< 0,32
FCDJ	0,046 ± 0,001	0,030 ± 0,001	191 ± 12	3,56 ± 0,01	< 1,4	1,54 ± 0,03	0,040 ± 0,003	< 5,02	1,3 ± 0,2	0,22 ± 0,01	< 0,32
FCDMP	0,107 ± 0,001	0,029 ± 0,001	223 ± 12	2,59 ± 0,01	< 1,4	0,91 ± 0,03	0,022 ± 0,001	< 5,02	< 0,60	0,15 ± 0,01	< 0,32
FCDPG	0,039 ± 0,004	0,034 ± 0,001	219 ± 10	2,35 ± 0,01	< 1,4	0,93 ± 0,03	0,018 ± 0,001	11 ± 1	1,2 ± 0,2	0,12 ± 0,01	< 0,32
FCDTT	0,028 ± 0,002	0,040 ± 0,001	215 ± 10	1,41 ± 0,01	17 ± 1	0,35 ± 0,03	0,010 ± 0,001	12,0 ± 0,4	1,7 ± 0,2	0,12 ± 0,01	< 0,32
FCG	0,064 ± 0,003	0,028 ± 0,001	220 ± 4	2,36 ± 0,01	17 ± 1	0,67 ± 0,03	0,016 ± 0,001	< 5,02	1,1 ± 0,2	0,16 ± 0,01	< 0,32
FCP	0,118 ± 0,001	0,024 ± 0,001	200 ± 5	2,46 ± 0,01	13,8 ± 0,5	0,86 ± 0,01	0,018 ± 0,001	< 5,02	1,0 ± 0,2	0,15 ± 0,01	< 0,32
FCPF	0,096 ± 0,002	0,023 ± 0,001	217 ± 4	3,70 ± 0,01	6,4 ± 0,5	0,12 ± 0,02	0,021 ± 0,001	5,5 ± 0,2	< 0,60	0,19 ± 0,01	< 0,32

	*Fe	Hg	I	*K	La	*Mg	*Mn	Nd	Ni	*P	Pb
FCSC	0,081±0,002	0,033 ± 0,001	215 ± 6	2,00 ± 0,01	15 ± 1	0,21 ± 0,04	0,017± 0,001	7,3 ± 0,3	0,61 ± 0,05	0,13 ± 0,01	< 0,32
FCA3	0,047±0,005	0,028 ± 0,001	231 ± 8	4,2 ± 0,1	12 ± 1	2,2 ± 0,1	0,076± 0,004	< 5,02	1,3 ± 0,1	0,14 ± 0,01	< 0,32
FCA4	0,078±0,003	0,019 ± 0,001	172 ± 5	3,63 ± 0,01	< 1,4	1,7 ± 0,1	0,081± 0,004	< 5,02	< 0,60	0,17 ± 0,01	< 0,32
FCA8	0,061±0,003	0,025 ± 0,001	234 ± 17	3,94 ± 0,01	15 ± 1	1,99 ± 0,01	0,081± 0,004	< 5,02	< 0,60	0,13± 0,01	1,0 ± 0,01
FCA9	0,058±0,003	0,030 ± 0,001	226 ± 5	3,56± 0,01	10 ± 1	1,46± 0,01	0,015± 0,001	5,9 ± 0,3	0,74 ± 0,05	0,11± 0,01	0,9 ± 0,1
FCACC	0,033±0,001	0,034 ± 0,001	215 ± 4	2,11± 0,01	7,6 ± 0,4	0,39± 0,01	0,014± 0,001	6,0 ± 0,3	1,9 ± 0,4	0,17± 0,01	1,8 ± 0,5
FCC	0,062±0,001	0,034 ± 0,001	214 ± 9	1,12 ± 0,01	26,8 ± 0,5	0,66 ± 0,02	0,007± 0,001	11,8 ± 0,3	1,6 ± 0,3	0,062 ± 0,004	1,1 ± 0,1
FCCPR	0,029±0,001	0,033 ± 0,001	212 ± 17	3,34 ± 0,02	13 ± 1	1,29 ± 0,05	0,015± 0,001	8,1 ± 0,4	1,3± 0,3	0,45 ± 0,04	1,2± 0,1
FCDM	0,077±0,001	0,031 ± 0,001	200 ± 9	3,06 ± 0,02	< 1,4	0,95 ± 0,05	0,030± 0,001	< 5,02	1,02 ± 0,4	0,162 ± 0,004	1,3 ± 0,1
FCDR	0,042 ± 0,005	0,030 ± 0,001	195 ± 10	2,99 ± 0,03	3,0 ± 0,3	1,03 ± 0,04	0,024± 0,001	< 5,02	< 0,60	0,152 ± 0,004	1,2 ± 0,1
FCDT	0,047 ± 0,005	0,028 ± 0,001	202 ± 8	2,61 ± 0,02	13 ± 1	0,68 ± 0,04	0,012 ± 0,001	5,8 ± 0,4	1,6 ± 0,1	0,150 ± 0,004	1,5 ± 0,1
RPAR	0,144 ± 0,005	0,031 ± 0,001	212 ± 9	2,72 ± 0,01	4,5 ± 0,4	1,26 ± 0,04	0,025 ± 0,001	9,31 ± 0,05	< 0,60	0,25 ± 0,01	0,83 ± 0,02
RPCM	0,147 ± 0,004	0,028 ± 0,001	219 ± 12	3,04 ± 0,02	7,1 ± 0,4	1,39 ± 0,04	0,025 ± 0,001	7,66 ± 0,05	2,21 ± 0,03	0,327 ± 0,004	1,45 ± 0,04

	Rb	*S	Sb	Se	Sm	Sr	Th	U	V	Zn
FCA2	20,6 ± 0,3	0,341 ± 0,002	0,0228 ± 0,0004	0,047 ± 0,001	2,8 ± 0,7	127 ± 1	0,097 ± 0,001	0,25 ± 0,01	1,6 ± 0,2	24,3 ± 0,2
FCA6	20,8 ± 0,3	0,330 ± 0,002	0,026 ± 0,001	0,046 ± 0,001	< 0,87	131 ± 1	0,079 ± 0,001	0,25 ± 0,01	1,8 ± 0,1	23,0 ± 0,3
FCA7	20,28 ± 0,04	0,329 ± 0,001	0,029 ± 0,001	0,0472 ± 0,004	< 0,87	113 ± 1	0,110 ± 0,001	0,24 ± 0,01	1,48 ± 0,06	25,9 ± 0,3
FCAAL	19,8 ± 0,3	0,512 ± 0,003	0,032 ± 0,001	0,048 ± 0,001	< 0,87	109 ± 1	0,116 ± 0,001	0,25 ± 0,01	0,55 ± 0,04	18,7 ± 0,1
FCACE	20,2 ± 0,2	0,241 ± 0,001	0,028 ± 0,001	0,047 ± 0,001	< 0,87	64,5 ± 0,4	0,133 ± 0,001	0,20 ± 0,01	1,0 ± 0,2	22,4 ± 0,3
FCAMO	20,4 ± 0,2	0,241 ± 0,001	0,027 ± 0,001	0,0458 ± 0,0004	< 0,87	69,3 ± 0,4	0,112 ± 0,001	< 0,1	1,0 ± 0,1	19,3 ± 0,2
FCA5	20,6 ± 0,3	0,392 ± 0,001	0,028 ± 0,002	0,043 ± 0,001	< 0,87	187,5 ± 0,3	0,037 ± 0,001	0,17 ± 0,01	0,93 ± 0,03	25 ± 1
FCA10	20,4 ± 0,2	0,352 ± 0,003	0,0318 ± 0,0004	0,049 ± 0,001	< 0,87	135 ± 1	0,129 ± 0,002	0,24 ± 0,01	1,0 ± 0,1	27,7 ± 0,3
FCDBH	20,1 ± 0,5	0,269 ± 0,001	0,027 ± 0,001	0,046 ± 0,001	< 0,87	76,7 ± 0,2	0,107 ± 0,001	< 0,1	1,0 ± 0,2	21,3 ± 0,2
FCDD	20,1 ± 0,5	0,423 ± 0,002	0,029 ± 0,001	0,046 ± 0,002	1,5 ± 0,5	122 ± 1	0,091 ± 0,001	0,20 ± 0,01	1,1 ± 0,2	25 ± 1
FCDHT	19,4 ± 0,3	0,260 ± 0,001	0,026 ± 0,001	0,046 ± 0,001	< 0,87	86 ± 1	0,092 ± 0,002	0,18 ± 0,01	1,1 ± 0,2	18,8 ± 0,2
FCDJ	20,2 ± 0,5	0,464 ± 0,001	0,031 ± 0,001	0,046 ± 0,001	< 0,87	144 ± 1	0,082 ± 0,002	0,19 ± 0,01	0,77 ± 0,02	24 ± 1
FCDMP	19,6 ± 0,4	0,385 ± 0,002	0,028 ± 0,001	0,046 ± 0,001	< 0,87	132 ± 1	0,084 ± 0,001	0,24 ± 0,01	2,4 ± 0,3	23,1 ± 0,4
FCDPG	20,4 ± 0,4	0,385 ± 0,002	0,030 ± 0,001	0,048 ± 0,001	< 0,87	108,7 ± 0,4	0,126 ± 0,002	0,15 ± 0,01	1,4 ± 0,1	24,9 ± 0,5
FCDTT	19,4 ± 0,2	0,266 ± 0,001	0,028 ± 0,001	0,047 ± 0,001	< 0,87	70,3 ± 0,4	0,133 ± 0,002	< 0,1	0,5 ± 0,1	20,5 ± 0,1
FCG	19,1 ± 0,2	0,255 ± 0,002	0,023 ± 0,001	0,043 ± 0,001	< 0,87	93,0 ± 0,3	0,071 ± 0,001	0,22 ± 0,01	1,2 ± 0,3	25,8 ± 0,3
FCP	18,8 ± 0,4	0,370 ± 0,002	0,026 ± 0,001	0,044 ± 0,001	< 0,87	92,0 ± 0,4	0,063 ± 0,001	0,23 ± 0,01	2,1 ± 0,3	18,3 ± 0,2
FCPF	19,7 ± 0,4	0,437 ± 0,001	0,027 ± 0,001	0,046 ± 0,001	< 0,87	91,0 ± 0,5	0,0878 ± 0,0004	< 0,1	1,3 ± 0,3	21,3 ± 0,2
FCSC	20,4 ± 0,3	0,382 ± 0,001	0,027 ± 0,004	0,047 ± 0,001	< 0,87	80,3 ± 0,2	0,101 ± 0,001	0,35 ± 0,01	1,6 ± 0,2	23,7 ± 0,2
FCA3	20,2 ± 0,2	0,377 ± 0,004	0,028 ± 0,001	0,047 ± 0,001	2,8 ± 0,1	137 ± 1	0,088 ± 0,002	0,19 ± 0,01	0,88 ± 0,05	23,9 ± 0,3

	Rb	*S	Sb	Se	Sm	Sr	Th	U	V	Zn
FCA4	19,62 ± 0,3	0,346 ± 0,003	0,033 ± 0,003	0,045 ± 0,001	< 0,87	187 ± 1	0,063 ± 0,002	< 0,1	2,2 ± 0,3	26 ± 2
FCA8	20,6 ± 0,4	0,374 ± 0,001	0,027± 0,003	0,046 ± 0,001	< 0,87	129 ± 1	0,086 ± 0,001	0,18 ± 0,01	1,6 ± 0,1	23,8 ± 0,3
FCA9	20,6 ± 0,2	0,030 ± 0,001	0,027± 0,001	0,046 ± 0,001	1,6 ± 0,5	114,2 ± 0,5	0,103 ± 0,001	< 0,1	1,2 ± 0,3	25,4 ± 0,4
FCACC	20,0 ± 0,1	0,317 ± 0,001	0,025± 0,001	0,045 ± 0,001	2,5 ± 0,5	71,6 ± 0,3	0,090 ± 0,001	< 0,1	0,86 ± 0,01	17,5 ± 0,3
FCC	19,5 ± 0,2	0,336 ± 0,002	0,027± 0,001	0,047 ± 0,001	< 0,87	72,6 ± 0,3	0,126 ± 0,001	0,37 ± 0,01	1,1 ± 0,3	20,8 ± 0,2
FCCPR	20,1 ± 0,2	0,462 ± 0,002	0,030± 0,001	0,048 ± 0,001	< 0,87	94,4 ± 0,2	0,119 ± 0,001	0,33 ± 0,01	0,40 ± 0,05	22,3 ± 0,1
FCDM	20,2 ± 0,4	0,408 ± 0,002	0,027± 0,001	0,048 ± 0,001	1,0 ± 0,2	149 ± 0,5	0,079 ± 0,001	0,29 ± 0,01	1,40 ± 0,3	21,7 ± 0,2
FCDR	20,6 ± 0,5	0,392 ± 0,002	0,029 ± 0,002	0,046 ± 0,001	5,4 ± 0,5	145 ± 1	0,088 ± 0,001	0,28 ± 0,01	1,27 ± 0,03	21,6 ± 0,4
FCDT	20,4 ± 0,5	0,274 ± 0,002	0,023± 0,001	0,044± 0,001	< 0,87	89 ± 1	0,065 ± 0,001	0,18 ± 0,01	1,1 ± 0,2	19,7 ± 0,2
RPAR	20,5 ± 0,2	0,46 ± 0,01	0,032± 0,001	0,049± 0,001	< 0,87	108 ± 1	0,12 ± 0,01	0,26 ± 0,04	1,9 ± 0,2	19,7 ± 0,2
RPCM	20,4 ± 0,3	0,4493 ± 0,002	0,035± 0,001	0,049± 0,001	< 0,87	< 0,65	0,11 ± 0,01	0,340 ± 0,004	3,65 ± 0,2	23,5 ± 0,5

APENDICE C.1 – Concentração dos radionuclídeos ^{226}Ra , ^{210}Pb , ^{210}Po , ^{238}U , ^{228}Ra e ^{232}Th em mBq g^{-1} nos cigarros aromatizados.

	^{226}Ra	^{210}Pb	^{210}Po	^{238}U	^{228}Ra	^{232}Th
CADB	$5,9 \pm 0,3$	25 ± 2	$6,3 \pm 0,5$	$1,8 \pm 0,4$	39 ± 2	$0,245 \pm 0,004$
CAFF	13 ± 1	19 ± 11	19 ± 1	$2,2 \pm 0,5$	38 ± 2	$0,276 \pm 0,004$
CAHM	8 ± 1	20 ± 2	19 ± 1	$2,3 \pm 0,3$	39 ± 6	$0,318 \pm 0,004$
CALAM	$4,7 \pm 0,2$	$< 4,9 \pm 0,4$	7 ± 1	$1,9 \pm 0,6$	34 ± 2	$0,299 \pm 0,004$
CALMM	$5,8 \pm 0,2$	24 ± 14	18 ± 1	$3,1 \pm 0,4$	34 ± 4	$0,202 \pm 0,004$
CALSA	11 ± 1	$< 4,9 \pm 0,4$	17 ± 1	$2,2 \pm 0,4$	31 ± 5	$0,30 \pm 0,01$
CALSF	14 ± 1	24 ± 1	15 ± 1	-	26 ± 5	$0,261 \pm 0,004$
CAMBI	13 ± 1	19 ± 2	21 ± 1	-	46 ± 2	$0,217 \pm 0,004$
CAMFM	$6,2 \pm 0,2$	24 ± 1	22 ± 1	$2,8 \pm 0,6$	69 ± 10	$0,220 \pm 0,004$

- não determinado

APENDICE C.2 – Concentração dos radionuclídeos ^{226}Ra , ^{210}Pb , ^{210}Po , ^{238}U , ^{228}Ra e ^{232}Th em mBq g^{-1} nos cigarros não aromatizados.

	^{226}Ra	^{210}Pb	^{210}Po	^{238}U	^{228}Ra	^{232}Th
CCDA	9 ± 3	19 ± 6	20 ± 1	$2,4 \pm 0,1$	42 ± 9	$0,354 \pm 0,004$
CCDH	8 ± 1	17 ± 5	17 ± 1	$1,5 \pm 0,1$	39 ± 3	$0,240 \pm 0,01$
CCDV	9 ± 3	20 ± 1	25 ± 1	$2,4 \pm 0,1$	45 ± 6	$0,238 \pm 0,004$
CCEPA	11 ± 1	25 ± 1	14 ± 1	$2,4 \pm 0,1$	40 ± 8	$0,26 \pm 0,02$
CCFA	7 ± 1	15 ± 5	18 ± 1	$1,5 \pm 0,1$	41 ± 3	$0,363 \pm 0,004$
CCFV	11 ± 1	20 ± 2	21 ± 1	$2,4 \pm 0,1$	43 ± 3	$0,108 \pm 0,004$
CCHOV	10 ± 1	15 ± 3	23 ± 1	$2,3 \pm 0,1$	41 ± 4	$0,313 \pm 0,004$
CCLMA	11 ± 2	26 ± 2	22 ± 1	$1,3 \pm 0,1$	38 ± 6	$0,100 \pm 0,001$
CCM	10 ± 2	23 ± 6	24 ± 1	-	44 ± 6	$0,127 \pm 0,004$
CCMFP	13 ± 2	25 ± 3	20 ± 1	$2,0 \pm 0,1$	40 ± 6	$0,096 \pm 0,004$
CCMG	8 ± 2	22 ± 1	23 ± 2	$2,3 \pm 0,1$	36 ± 5	$0,113 \pm 0,004$
CCMGA	10 ± 1	21 ± 2	21 ± 1	$2,4 \pm 0,1$	47 ± 3	$0,323 \pm 0,004$
CCMV	9 ± 1	25 ± 1	19 ± 1	$2,0 \pm 0,1$	34 ± 2	$0,277 \pm 0,0041$
CCPLA	12 ± 1	24 ± 2	22 ± 1	$1,6 \pm 0,1$	38 ± 3	$0,193 \pm 0,004$
CCPZ	12 ± 1	25 ± 1	24 ± 2	$2,0 \pm 0,1$	40 ± 3	$0,222 \pm 0,004$
CCSPS	11 ± 2	15 ± 2	17 ± 1	-	36 ± 6	$0,40 \pm 0,01$

- não determinado

APENDICE C.3 – Concentração dos radionuclídeos ^{226}Ra , ^{210}Pb , ^{210}Po , ^{238}U , ^{228}Ra e ^{232}Th em mBq g^{-1} nos cigarros de palha.

	^{226}Ra	^{210}Pb	^{210}Po	^{238}U	^{228}Ra	^{232}Th
CPC	6 ± 0	17 ± 2	19 ± 1	$2,2 \pm 0,1$	47 ± 4	$0,19 \pm 0,01$
CPCPC	13 ± 3	37 ± 3	35 ± 2	$2,5 \pm 0,1$	37 ± 3	$0,247 \pm 0,004$
CPCPE	12 ± 1	32 ± 2	18 ± 1	$3,6 \pm 0,1$	52 ± 2	$0,367 \pm 0,004$
CPD	13 ± 2	19 ± 9	19 ± 1	$1,6 \pm 0,1$	65 ± 6	$0,243 \pm 0,004$
CPFN	19 ± 1	38 ± 4	22 ± 1	$2,3 \pm 0,1$	71 ± 4	$0,498 \pm 0,004$
CPP	13 ± 2	17 ± 1	21 ± 1	$2,7 \pm 0,1$	50 ± 13	$0,311 \pm 0,004$
CPPE	6 ± 2	41 ± 5	23 ± 1	$2,8 \pm 0,1$	59 ± 3	$0,139 \pm 0,004$
CPPG	6 ± 1	31 ± 3	11 ± 1	$2,0 \pm 0,1$	60 ± 3	$0,128 \pm 0,004$
CPPM	$9,3 \pm 0,5$	40 ± 3	20 ± 1	$1,8 \pm 0,1$	47 ± 2	$0,386 \pm 0,01$
CPRN	12 ± 1	29 ± 3	26 ± 2	$4,0 \pm 0,1$	52 ± 3	$0,334 \pm 0,004$
CPSP	8 ± 0	24 ± 5	13 ± 1	$2,7 \pm 0,1$	54 ± 4	$0,23 \pm 0,01$
CPTV	22 ± 7	25 ± 4	14 ± 1	$4,1 \pm 0,1$	58 ± 1	$0,35 \pm 0,01$
CPVC	12 ± 1	55 ± 5	11 ± 1	$1,9 \pm 0,1$	81 ± 4	$0,23 \pm 0,01$

APENDICE C.4 – Concentração dos radionuclídeos ^{226}Ra , ^{210}Pb , ^{210}Po , ^{238}U , ^{228}Ra e ^{232}Th em mBq g^{-1} nos charutos.

	^{226}Ra	^{210}Pb	^{210}Po	^{238}U	^{228}Ra	^{232}Th
CHDF	20 ± 1	$6,2 \pm 0,5$	16 ± 2	$2,6 \pm 0,4$	55 ± 4	$0,221 \pm 0,004$
CHDNE	25 ± 1	10 ± 1	15 ± 1	$2,3 \pm 0,3$	52 ± 3	$0,310 \pm 0,004$
CHDNC	21 ± 1	12 ± 1	14 ± 2	$3,4 \pm 0,6$	53 ± 1	$0,215 \pm 0,004$
CHMPC	28 ± 1	22 ± 2	22 ± 1	$1,6 \pm 0,3$	67 ± 2	$0,183 \pm 0,004$
CHMPE	18 ± 1	13 ± 1	17 ± 1	$2,6 \pm 0,6$	78 ± 4	$0,279 \pm 0,004$
CHNI	19 ± 1	14 ± 1	13 ± 1	$2,9 \pm 0,1$	29 ± 1	$0,238 \pm 0,004$

APENDICE C.5 – Concentração dos radionuclídeos ^{226}Ra , ^{210}Pb , ^{210}Po , ^{238}U , ^{228}Ra e ^{232}Th em mBq g^{-1} nos fumos de corda e rapés.

Amostra	^{226}Ra	^{210}Pb	^{210}Po	^{238}U	^{228}Ra	^{232}Th
FCA1	9 ± 2	49 ± 1	16 ± 1	$3,1 \pm 0,1$	35 ± 6	$0,321 \pm 0,004$
FCA2	10 ± 1	51 ± 1	18 ± 1	$3,1 \pm 0,1$	44 ± 8	$0,393 \pm 0,004$
FCA3	9 ± 1	50 ± 6	18 ± 1	$2,4 \pm 0,1$	40 ± 6	$0,359 \pm 0,01$
FCA4	9 ± 1	56 ± 8	24 ± 1	-	41 ± 1	$0,257 \pm 0,01$
FCA5	11 ± 1	63 ± 9	22 ± 2	$2,1 \pm 0,1$	47 ± 3	$0,151 \pm 0,004$
FCA7	14 ± 5	55 ± 9	14 ± 1	$3,0 \pm 0,2$	54 ± 6	$0,447 \pm 0,004$
FCA8	12 ± 5	57 ± 5	15 ± 1	$2,3 \pm 0,1$	42 ± 1	$0,348 \pm 0,004$
FCA9	13 ± 1	78 ± 2	19 ± 2	-	37 ± 2	$0,420 \pm 0,004$
FCA10	8 ± 2	61 ± 6	17 ± 1	$3,0 \pm 0,2$	34 ± 4	$0,527 \pm 0,002$
FCAAL	40 ± 6	25 ± 1	21 ± 1	$3,1 \pm 0,1$	152 ± 1	$0,471 \pm 0,004$
FCACC	7 ± 2	12 ± 8	14 ± 2	-	29 ± 2	$0,365 \pm 0,004$
FCACE	9 ± 2	17 ± 4	11 ± 1	$2,5 \pm 0,1$	28 ± 6	$0,542 \pm 0,004$
FCAMO	8 ± 1	10 ± 1	12 ± 1	-	31 ± 6	$0,456 \pm 0,004$
FCC	16 ± 2	12 ± 2	16 ± 2	$4,6 \pm 0,1$	41 ± 10	$0,511 \pm 0,004$
FCCPR	17 ± 8	13 ± 2	18 ± 1	$4,1 \pm 0,1$	66 ± 2	$0,486 \pm 0,004$
FCDBH	7 ± 0	30 ± 5	24 ± 1	$2,9 \pm 0,2$	32 ± 1	$0,435 \pm 0,004$
FCDD	7 ± 2	18 ± 1	10 ± 1	$2,5 \pm 0,1$	44 ± 2	$0,369 \pm 0,004$
FCDHT	15 ± 3	29 ± 2	21 ± 1	$2,3 \pm 0,1$	40 ± 6	$0,374 \pm 0,01$
FCDJ	11 ± 2	50 ± 3	15 ± 2	$2,4 \pm 0,1$	42 ± 11	$0,332 \pm 0,01$
FCDM	13 ± 1	66 ± 0	17 ± 1	$3,6 \pm 0,1$	42 ± 1	$0,320 \pm 0,004$
FCDMP	19 ± 6	5 ± 1	21 ± 1	$3,0 \pm 0,3$	59 ± 5	$0,334 \pm 0,004$
FCDPG	12 ± 2	10 ± 0	11 ± 1	$1,9 \pm 0,4$	54 ± 5	$0,514 \pm 0,01$
FCDR	13 ± 3	16 ± 6	11 ± 1	-	49 ± 4	$0,357 \pm 0,004$
FCDT	10 ± 1	21 ± 2	23 ± 1	$2,7 \pm 0,1$	39 ± 4	$0,265 \pm 0,004$
FCDTT	6 ± 2	26 ± 4	26 ± 1	-	30 ± 2	$0,543 \pm 0,01$
FCG	9 ± 2	27 ± 1	23 ± 1	$2,8 \pm 0,1$	50 ± 9	$0,287 \pm 0,004$
FCI	11 ± 1	14 ± 1	15 ± 1	$3,5 \pm 0,1$	41 ± 6	-
FCP	15 ± 1	21 ± 1	18 ± 1	$2,9 \pm 0,1$	53 ± 9	$0,257 \pm 0,004$
FCPF	15 ± 1	37 ± 1	28 ± 1	-	59 ± 6	$0,358 \pm 0,001$
FCSC	14 ± 1	14 ± 1	10 ± 1	$4,4 \pm 0,1$	78 ± 4	$0,411 \pm 0,004$
RPAR	20 ± 1	35 ± 2	18 ± 1	$3,2 \pm 0,1$	23 ± 2	$0,487 \pm 0,004$
RPCM	16 ± 1	34 ± 1	17 ± 2	$4,3 \pm 0,1$	12 ± 1	$0,460 \pm 0,004$

- não determinado