AUTARQUIA ASSOCIADA À UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

**AVALIAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DOS RADIONUCLÍDEOS NATURAIS DAS SÉRIES
DO ^{238}U E ^{232}Th NAS VARIEDADES BURLEY E VIRGÍNIA DA *Nicotiana tabacum* L.**

Carolina Fernanda da Silva

**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

2015

INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES

Autarquia associada à Universidade de São Paulo

**AVALIAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DOS RADIONUCLÍDEOS NATURAIS DAS SÉRIES
DO ^{238}U E ^{232}Th NAS VARIEDADES BURLEY E VIRGÍNIA DA *Nicotiana tabacum* L.**

Carolina Fernanda da Silva

**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

2015

À minha mãe, por tudo.

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me iluminado durante toda essa trajetória.

Ao Instituto de Pesquisas Energéticas e Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) pelo apoio financeiro.

A minha orientadora, Dra. Sandra Regina Damatto, por todo o conhecimento transmitido, pela paciência, atenção, dedicação e por todo o comprometimento com todo esse trabalho.

Ao Engenheiro Agrônomo Luiz Henrique Damatto, ao Técnico Agrícola Telmo Savaris e Ermelindo Marques por todas as informações e auxílio no cultivo das plantas.

Agradeço a toda a minha família, em especial, ao meu pai que antes de partir ensinou-me princípios fundamentais para crescer e, que mesmo não estando mais nesse plano, me deu forças nos momentos mais delicados. Agradeço a minha mãe por ser tão forte e motivadora.

A minha irmã, Amanda Fernanda, companheira e amiga. Ao Arthur Duarte, sobrinho e afilhado, que mesmo tão pequeno me proporciona tantos momentos de descontração. Ao André Duarte que com o passar do tempo se tornou um irmão com todos os créditos possíveis e de grande importância da minha vida.

A Dra. Bárbara Paci Mazzilli pela oportunidade de se realizar esse trabalho no Laboratório de Radiometria Ambiental, LRA. A Dra. Brigitte Pecequillo e Dra. Cátia Saueia por todo o apoio e incentivo.

Ao Marcos Medrado de Alencar, por todo o tempo dedicado para compartilhar um pouco de todo o seu conhecimento.

A minha amiga, Raquel Rodrigues, por ter me apoiado nos mais diversos momentos, citando Carlos Drummond de Andrade “Fácil é ser colega, fazer companhia a alguém, dizer aquilo que ele deseja ouvir. Difícil é ser amigo para todas as horas e dizer sempre a verdade quando for preciso”.

Ao Marcelo Ottenio, pelo carinho, atenção e apoio em diversos momentos. A Dra. Renata Gomes, por ser uma profissional tão comprometida e dedicada.

Ao Giovanni Del Sordo por compartilhar tantas horas de estudo, cafés e doces que contribuíram positivamente para a finalização deste curso.

Aos amigos Msc. Fábio Sussa, Dr. Ademar Ferreira, a Dra. Paula Pinheiro e Thiago Moraes por toda a ajuda em diversos momentos.

Ao Luiz Flávio, Camila Dias e Fernanda Cavalcante por toda a amizade, momentos de descontração, plantões de dúvida e conselhos que fizeram toda diferença tornando essa caminhada mais leve.

Aos amigos Leandro Melo, Bruna Sobral e Jota Júlio por acreditarem em mim, torcerem pela minha felicidade e terem as palavras certas para minimizar os meus momentos de ansiedade.

Ao Rique Jones, Joseilton Marques e Thiago Oliveira por todo o auxílio nas práticas de laboratório, cultivo das plantas, envolvimento neste projeto e principalmente pela amizade.

Aos colegas do Laboratório de Radiometria Ambiental: Paulo Renê, Marcelo Máduar, Lucio Leonardo, Leandro Milhomens, André Rodrigo, Aline Ramos, Gustavo Roseira, Willian Campos, Pedro do Nascimento, Arthur Athayde, Maria Rita, Sheila Azevedo, Denise Sanny, Alice Costa, Crislene Mateus, Laíssa Adriana e Luciano Hasimoto por toda a atenção e companhia no laboratório.

“Jamais considere seus estudos como uma obrigação, mas como uma oportunidade invejável para aprender a conhecer a influência libertadora da beleza do reino do espírito, para seu próprio prazer pessoal e para proveito da comunidade à qual seu futuro trabalho pertencer. ”

Albert Einstein

**AVALIAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DOS RADIONUCLÍDEOS NATURAIS DAS
SÉRIES DO ^{238}U E ^{232}Th NAS VARIEDADES BURLEY E VIRGÍNIA DA
Nicotiana tabacum L.**

RESUMO

O Brasil é o maior exportador e o segundo maior produtor de tabaco do mundo, de acordo com a safra de 2013/2014. A planta de tabaco (*Nicotiana tabacum* L.) é usada na fabricação de todos os derivados e a composição química do tabaco varia de acordo com o tipo de folha, como foram cultivadas, a região do plantio, as características da preparação (compressão, filtro e papel) e a variação de temperatura resultante da combustão incompleta do tabaco. Os derivados do tabaco são os produtos comercializados mais consumidos no mundo, como por exemplo, o cigarro, o charuto e o narguilé. Os efeitos danosos que estes produtos causam a saúde humana são há anos intensivamente discutidos e muitos estudos são realizados mundialmente relacionando o uso dos derivados do tabaco com diversas doenças. Existe pouca informação a respeito da caracterização radiológica da planta de tabaco na literatura internacional e nacional. O objetivo deste trabalho foi determinar a concentração dos radionuclídeos ^{238}U , ^{234}U , ^{230}Th , ^{226}Ra , ^{210}Pb e ^{210}Po , membros da série de decaimento do ^{238}U , e os radionuclídeos ^{232}Th e ^{228}Ra membros da série de decaimento do ^{232}Th nas variedades Burley e Virginia, as quais são as mais cultivadas no Brasil. Estes radionuclídeos naturais foram determinados em plantas adquiridas de produtores da região Sul do Brasil e também em plantas dessas mesmas variedades cultivadas em vasos com substrato orgânico e fertilizante com o objetivo de verificar prováveis influências dos fertilizantes e defensivos agrícolas usados pelos produtores na concentração dos radionuclídeos determinados. Os isótopos de U e Th, além do ^{210}Po foram determinados por espectrometria alfa, após separação radioquímica e os radionuclídeos ^{226}Ra , ^{228}Ra e ^{210}Pb pela medida alfa e beta total, também após separação radioquímica. Todas as partes da planta foram analisadas: raízes, caules e folhas, bem como os substratos orgânicos, fertilizantes e solos usados nos cultivos. Os isótopos de U e Th apresentaram resultados abaixo dos limites de detecção dos métodos para as folhas e caules de todas as plantas analisadas, apresentando resultados mensuráveis apenas nas raízes, solo e substrato. Os radionuclídeos ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{210}Pb e ^{210}Po foram determinados na grande maioria das partes das plantas, sendo os maiores valores obtidos para o ^{228}Ra , o qual apresentou também o maior valor do fator de transferência. As plantas cultivadas no IPEN apresentaram valores inferiores de concentração dos radionuclídeos analisados quando comparados com as plantas cultivadas pelo produtor, pois estas foram cultivadas em potes com substrato orgânico e adição de fertilizante, cuja análise apresentou baixas concentrações dos radionuclídeos estudados. Baseados em dados da literatura nacional que estudou o fertilizante brasileiro, pode-se concluir, para as plantas do produtor, que o fertilizante exerce uma grande influência na concentração dos radionuclídeos estudados.

ASSESSMENT OF NATURAL RADIONUCLIDES CONCENTRATION FROM ^{238}U AND ^{232}Th SERIES IN VIRGINIA AND BURLEY VARIETIES OF *Nicotiana tabacum* L

Carolina Fernanda da Silva

ABSTRACT

Brazil is the largest exporter and second largest producer of tobacco worldwide, according to the crop production of 2013/2014. The tobacco plant (*Nicotiana tabacum* L.) is used to manufacture all derivatives and the chemical composition of the resulting tobacco products varies with the type of tobacco leaves, how they are grown, the region where they are cultivated, the characteristics of preparation (compression, filter and paper) and the temperature variations resulting from the incomplete combustion of tobacco. Tobacco products are extensively used throughout the world, and the most consumed are cigarettes, cigars and narghile. The damaging effects that these products cause to human health are discussed globally, and many surveys are performed with the aim of relating the use of these products with various illnesses. There is a lack of information about the radiological characterization of the tobacco plant both in international and Brazilian literature. The objective of this study was to determine the concentration of radionuclides ^{238}U , ^{234}U , ^{230}Th , ^{226}Ra , ^{210}Pb and ^{210}Po , members from the ^{238}U decay series, and the radionuclides ^{232}Th and ^{228}Ra members of the ^{232}Th decay series in the varieties Burley and Virginia, which are the most cultivated in Brazil. Plants from these varieties were cultivated in pots with organic substrate and fertilizer and also acquired from the producers and analyzed by alpha spectrometry for U and Th isotopes and ^{210}Po determination, and gross alpha and beta counting, ^{228}Ra , ^{226}Ra and ^{210}Pb determination. The whole plant, from both places, was analyzed; root, stem, leaves, as well as the organic substrate, the fertilizers, and the soil. The results for U and Th isotopes presented values below the detection limits of the methods to the leaves and stems of all plants analyzed, with measurable results only in roots, soil, and substrate. The radionuclides ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{210}Pb , and ^{210}Po , were determined in most parts of the plants, with the highest values obtained for ^{228}Ra , which also had the highest value of the transfer factor. Plants grown at IPEN showed lower concentration of radionuclides analyzed when compared with plants grown by the producer, as these were grown in pots with organic substrate and addition of fertilizer, whose analysis showed low concentrations of radionuclides studied. Based on data from national literature who studied the Brazilian fertilizer, it can be concluded, to the plants from the producer, the fertilizer has a great influence in the concentration of radionuclides studied.

SUMÁRIO

Página

1 INTRODUÇÃO

1.1 A origem do tabaco	13
1.2 A produção de tabaco	15
1.3 Características da planta	18
1.4 Derivados do tabaco	21
1.5 Composição química da fumaça do cigarro	23
1.6 A radiação natural	24
1.7 Justificativa do trabalho	27

2 OBJETIVOS	29
-------------------	----

3 METODOLOGIA PARA CULTIVO, COLETA E PRÉ-TRATAMENTO DAS AMOSTRAS DE *Nicotiana tabacum* L.

3.1 Cultivo das plantas no IPEN	30
3.2 Aquisição das plantas do produtor	33
3.3 Pré-tratamento das amostras	34
3.4 Preparo e digestão das amostras	37

4 METODOLOGIAS ANALÍTICAS EMPREGADAS

4. 1 Metodologia analítica empregada para a determinação de ^{238}U , ^{234}U , ^{232}Th e ^{230}Th	39
4.1.1 Procedimento analítico para a determinação de ^{238}U , ^{234}U , ^{232}Th e ^{230}Th ..	39
4.2 Metodologia analítica empregada para determinação de ^{226}Ra , ^{228}Ra e ^{210}Pb ..	44
4.2.1 Procedimento analítico para determinação de ^{226}Ra , ^{228}Ra e ^{210}Pb	45

4.2.1.1 Determinação de ^{226}Ra e ^{228}Ra	46
4.2.1.2 Determinação de ^{210}Pb	48
4.3 Metodologia analítica empregada para a determinação de ^{210}Po	50
4.3.1 Procedimento analítico para a determinação de ^{210}Po	50

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Determinação da radiação de fundo	52
5.2 Determinação da eficiência do espectrômetro alfa	52
5.3 Determinação da curva de calibração do espectrômetro alfa	53
5.4 Determinação da eficiência de contagem para a medida de ^{226}Ra , ^{228}Ra e ^{210}Pb	53
5.4.1 Determinação da eficiência de contagem alfa total para a medida de ^{226}Ra	53
5.4.2 Determinação da eficiência de contagem beta de ^{226}Ra para a medida de ^{228}Ra	54
5.4.3 Determinação da eficiência de contagem beta de ^{228}Ra	55
5.4.4 Determinação da eficiência de contagem na medida de ^{210}Pb	56
5.5. Determinação do limite inferior de detecção (LID)	56
5.6 Validação da metodologia	58
5.7 Resultados das concentrações dos radionuclídeos das séries de decaimento do ^{238}U e ^{232}Th nas variedades Burley e Virgínia	59
5.7.1 Variedade Burley	60
5.7.2 Variedade Virgínia	66
5.7.3 Comparação entre as Variedade Burley e Virgínia	71
5.8 Fator de transferência	75

6 CONCLUSÃO	78
7 SUGESTÃO PARA TRABALHO FUTURO	80
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	81

LISTA DE TABELAS

TABELA 5.1 – Resultados obtidos para o LID do ^{238}U , ^{234}U , ^{230}Th , ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{210}Pb e ^{210}Po , em mBq.g^{-1}	57
TABELA 5.2 – Resultados da validação do método seguidos do valor certificado, intervalo de confiança, do desvio padrão relativo (S_r) e do erro relativo (E_r)	58
TABELA 5.3 – Concentração de ^{238}U , ^{234}U , ^{230}Th , ^{226}Ra , ^{210}Pb e ^{228}Ra , série do ^{238}U , em mBq.g^{-1} na variedade Burley, cultivada no IPEN e no produtor	60
TABELA 5.4 – Concentração de ^{232}Th e ^{228}Ra , série do ^{232}Th , em mBq.g^{-1} na variedade Burley, cultivada no IPEN e no produtor	62
TABELA 5.5 – Concentração de ^{238}U , ^{234}U , ^{230}Th , ^{226}Ra , ^{210}Pb e ^{210}Po , série do ^{238}U , em mBq.g^{-1} na variedade Virgínia, cultivada no IPEN e do produtor	65
TABELA 5.6 – Concentração de ^{232}Th e ^{228}Ra , série do ^{232}Th , em mBq.g^{-1} na variedade Virgínia, cultivada no IPEN e do produtor	67
TABELA 5.7 – Concentração de ^{238}U , ^{234}U , ^{230}Th , ^{226}Ra , ^{210}Pb e ^{210}Po , série do ^{238}U , em mBq.g^{-1} nas variedades Burley e Virgínia, cultivadas no produtor	71
TABELA 5.8 – Concentração de ^{232}Th e ^{228}Ra , série do ^{232}Th , em mBq.g^{-1} nas variedades Burley e Virgínia, cultivadas no produtor	73
TABELA 5.9 – Fator de transferência, em %, para os radionuclídeos ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{210}Pb e ^{210}Po , nas variedades Burley e Virgínia cultivadas pelo produtor.....	75

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.1 – Brasão de Armas da República, constituído pelo café e o tabaco (www.planalto.gov.br)	14
FIGURA 1.2 – Mercado do tabaco brasileiro em 2014 (www.sinditabaco.com.br)... 15	
FIGURA 1.3 – Distribuição da produção de tabaco pela região Sul do Brasil (www.sinditabaco.com.br)	16
FIGURA 1.4 – Dados da produção de tabaco no estado do Rio Grande do Sul em 2014 (www.sinditabaco.com.br)	16
FIGURA 1.5 – Dados da produção de tabaco no estado do Santa Catarina em 2014 (www.sinditabaco.com.br)	17
FIGURA 1.6 – Dados da produção de tabaco no estado do Paraná em 2014 (www.sinditabaco.com.br)	17
FIGURA 1.7 – Variedade Burley da <i>Nicotiana tabacum</i> L., na fase final do cultivo	19
FIGURA 1.8 – Variedade Virgínia da <i>Nicotiana tabacum</i> L., na fase final do cultivo	20
FIGURA 1.9 – Separação das folhas de acordo com a Instrução Normativa MAPA nº10 de 16.04.2007 (www.sinditabaco.com.br)	21
FIGURA 1.10 – Derivados do tabaco: cigarro, cachimbo, charuto, rapé e o mascado (www.ufsj.edu.br)	23
FIGURA 1.11 – Série de decaimento do ^{238}U com destaque aos radionuclídeos de maior tempo de meia-vida	26
FIGURA 1.12 – Série de decaimento do ^{232}Th com destaque aos radionuclídeos de maior tempo de meia-vida	27
FIGURA 3.1 – Sementes da variedade Virgínia em substrato orgânico para germinação	30

FIGURA 3.2 – Estufa caseira construída conforme orientação do engenheiro agrônomo	31
FIGURA 3.3 – Plantas germinadas na bandeja	31
FIGURA 3.4 – Mudas após a primeira poda	32
FIGURA 3.5 – Planta após a transferência para os vasos	33
FIGURA 3.6 – Plantas na fase adulta prontas para colheita	33
FIGURA 3.7 – Planta do produtor onde foi retirada a ponteira	34
FIGURA 3.8 – Classificação e separação das folhas da planta de tabaco de acordo com a altura	35
FIGURA 3.9 – Folhas após a separação, as folhas da ponteira foram analisadas apenas nas plantas cultivadas no IPEN	35
FIGURA 3.10 – Caule separado em xilema e floema	36
FIGURA 3.11 – Substrato e raiz da variedade Burley cultivada no IPEN	36
FIGURA 3.12 – Fertilizante 20:20:20 utilizado no cultivo	37
FIGURA 3.13 – Amostras de folhas, caules e raiz pré-tratadas e pesadas	38
FIGURA 3.14 – Amostras em processo de digestão após a adição de HNO ₃ concentrado	38
FIGURA 4.1 – Colunas com a resina Dowex-1 utilizada na separação cromatográfica	41
FIGURA 4.2 – Discos de aço inoxidável após a eletrodeposição	42
FIGURA 4.3 – Detector de silício de barreira de superfície, utilizado para a medida dos isótopos analisados de U e Th, e ²¹⁰ Po	42
FIGURA 4.4 – Espectro obtido após a medida de uma amostra de U	43
FIGURA 4.5 – Espectro obtido após a medida de uma amostra de Th	43
FIGURA 4.6 – Precipitado de Ba(Ra)SO ₄ após a filtração	46

FIGURA 4.7 – Precipitado de PbCrO_4 após a filtração	49
FIGURA 4.8 – Detector proporcional de fluxo gasoso de baixa radiação de fundo	49
FIGURA 4.9 – Discos de prata após a deposição e lavagem	50
FIGURA 4.10 – Espectro obtido na análise de ^{210}Po	51
FIGURA 5.1 – Concentração de ^{238}U , ^{234}U , ^{230}Th , ^{226}Ra , ^{210}Pb e ^{210}Po , membros de decaimento da série do ^{238}U , em mBq.g^{-1} na variedade Burley, cultivada no IPEN e no produtor	62
FIGURA 5.2 – Concentração de ^{232}Th e ^{228}Ra , membros de decaimento da série do ^{232}Th , em mBq.g^{-1} na variedade Burley, cultivada no IPEN e no produtor	63
FIGURA 5.3 – Concentração de ^{238}U , ^{234}U , ^{230}Th , ^{226}Ra , ^{210}Pb e ^{210}Po , membros de decaimento da série do ^{238}U , em mBq.g^{-1} na variedade Virgínia, cultivada no IPEN e do produtor	67
FIGURA 5.4 – Concentração de ^{232}Th e ^{228}Ra , membros de decaimento da série do ^{232}Th , em mBq.g^{-1} na variedade Virgínia, cultivada no IPEN e do produtor	68
FIGURA 5.5 – Concentração de ^{238}U , ^{234}U , ^{230}Th , ^{226}Ra , ^{210}Pb e ^{210}Po , membros de decaimento da série do ^{238}U , em mBq.g^{-1} nas variedades Burley e Virgínia, cultivadas no produtor	73
FIGURA 5.6 – Concentração de ^{232}Th e ^{228}Ra , membros de decaimento da série do ^{232}Th , em mBq.g^{-1} nas variedades Burley e Virgínia, cultivadas no produtor	74
FIGURA 5.7 – Fator de transferência, em %, para os radionuclídeos ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{210}Pb e ^{210}Po , nas variedades Burley e Virgínia cultivadas pelo produtor	76

1 INTRODUÇÃO

1.1 A origem do tabaco

Historiadores consideram o tabaco como de origem americana, acreditando que este era cultivado na América do Sul e do Norte por tribos indígenas. Essas tribos usavam a planta para fins medicinais e em rituais religiosos, onde acreditavam que o tabaco fazia a unificação entre os humanos e os espíritos. O tabaco também era usado pelos índios para firmar tratados de paz entre as tribos, para isso, o chefe utilizava um cachimbo especial, todo decorado e que ficou conhecido como o “cachimbo da paz” (www.sinditabaco.com.br).

Em 1492, Cristovão Colombo observou índios utilizando cachimbo de madeira para fumar folhas de tabaco. Algum tempo depois, a planta foi levada para a Europa para ser cultivada pela família real portuguesa, devido as suas propriedades medicinais e seu aspecto ornamental.

Em 1560, Jean Nicot (de onde deriva o nome da planta), embaixador da França em Portugal, ao saber da eficiência da planta para curar dores de cabeça, enviou a planta para a sua rainha, em Paris, que iniciou o hábito de fumar, sendo assim imitada pela sua corte, que difundiu o hábito pela Europa (www.sinditabaco.com.br).

Na época, o tabagismo se tornou um hábito da classe nobre, porém, devido a grande procura pelo produto e ao alto valor para importar, a planta passou a ser cultivada em outras regiões diminuindo o preço da mesma e, tornando-a acessível a toda população europeia. A planta foi levada para os demais continentes por marinheiros, que a utilizavam em suas viagens para passar o tempo.

A procura pelo produto foi crescendo e oferecendo uma fonte de renda lucrativa. As primeiras lavouras da planta no Brasil ocorreram em Salvador e Recife, durante a ocupação holandesa em Pernambuco. Após a independência e com o final da liberdade vigiada de Portugal, foi possível cultivar a planta em qualquer lugar do país. Como este produto passou a ser exportado, devido a sua grande importância comercial no século XVII, essa prática passou a seguir legislações e taxações. Algumas lavouras foram instaladas em Minas Gerais e com a vinda de imigrantes alemães para a região sul do Brasil, estas se concentraram nos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul (www.sinditabaco.com.br).

Na FIG.1.1 é apresentado o brasão de Armas da República, onde o tabaco e o café constituem o coroamento deste símbolo brasileiro:

FIGURA 1.1 – Brasão de Armas da República, constituído pelo café e o tabaco (www.planalto.gov.br)

Em 1917, foi instalada a empresa Brazilian Tobacco Corporation, na cidade de Santa Cruz do Sul, que em 1920 foi comprada pela Souza Cruz e, atualmente, é uma das dez maiores empresas que geram mais tributos para o país (www.souzacruz.com.br).

1.2 A produção de tabaco

De acordo com dados da SindiTabaco, em 2014, o Brasil ficou em primeiro lugar como maior exportador de tabaco e em segundo lugar como maior produtor desta planta, perdendo apenas para a China. A União Européia foi a região que mais adquiriu o produto, recebendo 42% das exportações, seguida por 28% pelo Extremo Oriente e 10% pela América do Norte (www.sinditabaco.com.br). Na FIG. 1.2 é apresentado o mercado do tabaco brasileiro no ano de 2014. A venda de tabaco brasileiro resultou em 1,11% do total de exportações do país.

FIGURA 1.2 – Mercado do tabaco brasileiro em 2014
(www.sinditabaco.com.br)

De todo o tabaco produzido no território brasileiro, 95% é cultivado na região sul do país, sendo a maior parte no estado do Rio Grande do Sul, seguido por Santa Catarina e Paraná. Na FIG. 1.3 é apresentada a distribuição da produção de tabaco na região Sul do Brasil. Nas FIG. 1.4, 1.5 e 1.6 são apresentados os dados da produção de tabaco nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná em 2014, respectivamente.

FIGURA 1.3 – Distribuição da produção de tabaco pela região Sul do Brasil (www.sinditabaco.com.br)

FIGURA 1.4 – Dados da produção de tabaco no estado do Rio Grande do Sul em 2014 (www.sinditabaco.com.br)

FIGURA 1.5 – Dados da produção de tabaco no estado do Santa Catarina em 2014 (www.sinditabaco.com.br)

FIGURA 1.6 – Dados da produção de tabaco no estado do Paraná em 2014 (www.sinditabaco.com.br)

Na safra de 2013/2014 a produção na região sul envolveu:

- 651 municípios produtores;
- 162.000 produtores;
- 650.000 pessoas envolvidas no meio rural;
- 347.000 hectares plantados;
- 735.000 toneladas produzidas;
- 30.000 empregos na indústria;
- 473.000 toneladas exportadas;
- R\$ 5,3 bilhões de receita aos produtores;
- R\$ 10,8 bilhões em impostos;
- R\$ 2,5 bilhões em divisas.

O Brasil se encontra nessa posição, primeiro lugar como maior exportador de tabaco e segundo lugar como maior produtor desta planta, no mercado mundial de tabaco devido ao baixo custo da sua produção interna, já que os fumicultores empregam suas famílias para cuidar do cultivo e diminuem o gasto com salários. Assim, não há vantagem em mecanizar o processo, e isso faz com que o produto ganhe uma maior qualidade já que recebe cuidados manuais.

1.3 Características da planta

A planta do tabaco (*Nicotiana tabacum* L.) é utilizada na fabricação de todos os produtos (derivados) e a composição química resultante do fumo varia conforme o tipo de folhas de tabaco, como são cultivadas, a região de origem, as características de preparação (compactação, filtro e papel) e as variações de temperatura resultantes da combustão incompleta do tabaco (Prata et al., 2011).

Tabaco é o nome comum que foi dado à planta *Nicotiana tabacum* L., a qual é uma das espécies da família *Solanaceae* A. L. Jussie, com cerca de 106 gêneros e 3.000 espécies. É uma planta anual com um ciclo de 120 a 240 dias de vida. Tem formato de arbusto e pode atingir até 2 metros de altura.

Suas folhas possuem formato elíptico, ou seja, com o comprimento maior que a largura. O caule se dá em formato de tubo, terminado com algumas pontas. As raízes são, em sua maioria, finas. As sementes são pequenas e numerosas (Medeiros, 2005).

No Brasil, 81% de todo o tabaco cultivado é da variedade Virgínia, 17% da variedade Burley e 0,8% da variedade Comum. Para a fabricação do cigarro usam-se misturas destas variedades a fim de se atingir equilíbrio no aroma e sabor do produto (www.sinditabaco.com.br).

A variedade Burley foi descoberta em Ohio, EUA, em 1864, em canteiros de muda pelos próprios produtores de tabaco. A variedade Virgínia foi descoberta na Carolina do Norte, EUA, em 1893 após um indesejável aumento da temperatura no processo de cura da planta, que indicou aos fumicultores que esta variedade possuía características distintas na coloração e no aroma (Medeiros, 2005).

Nas FIG. 1.7 e 1.8 são apresentadas as plantas da variedade Burley e Virgínia, respectivamente, na fase final do cultivo.

FIGURA 1.7 – Variedade Burley da *Nicotiana tabacum* L., na fase final do cultivo

FIGURA 1.8 – Variedade Virgínia da *Nicotiana tabacum* L., na fase final do cultivo

A Instrução Normativa MAPA (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento) nº10 de 16.04.2007 define as características de identidade, qualidade, embalagem, marcação e apresentação do tabaco. Ela foi criada para ser aplicada nas lavouras pelos produtores, e visa padronizar a separação e classificação das folhas de tabaco.

As folhas *Nicotiana tabacum* L., podem ser classificadas de acordo com a altura em que estão situadas na planta, em baixeira, semimeeira, meeira e ponteira, conforme FIG. 1.9.

“X” ou baixeiras, são as folhas situadas na parte inferior da planta, possuem uma textura fina, formato arredondado, maior espessura dos talos e nervuras mais finas. “C” ou semimeeiras são as folhas localizadas no meio inferior da planta, tem textura média, formato também arredondado a oval e com espessura talo e nervuras de tamanho médio. “B” ou meeiras são as folhas situadas no meio superior da planta, possuem textura média a

encorpada, com formato oval e com espessura média a encorpada do talo e nervuras. “T” ou ponteiras são as últimas folhas da planta, localizadas na parte mais superior, possuem textura de média a encorpada ou grossa, formato lanceolada e com espessura do talo e nervuras de média a encorpada ou grossa (sinditabaco.com.br).

As folhas são separadas dessa forma e usadas para fabricação de cigarros de diferentes tipos e valores comerciais, sendo que, as folhas que estão na planta há mais tempo, baixeira e semimeeira, compõem os derivados de menor valor comercial, enquanto que com as folhas mais novas, meeira e ponteira, fabricam-se cigarros de maior preço (Viegas, 2008).

Na FIG. 1.9 é apresentada a separação das folhas de acordo com a altura e com a Instrução Normativa MAPA nº10 de 16.04.2007.

FIGURA 1.9 – Separação das folhas de acordo com a Instrução Normativa MAPA nº10 de 16.04.2007 (www.sinditabaco.com.br)

1.4 Derivados do tabaco

No Brasil, estima-se que um terço da população adulta é fumante, sendo aproximadamente 11 milhões de mulheres e 16 milhões de homens. O maior

número de fumantes está concentrado na faixa etária dos 20 aos 49 anos (Instituto Nacional do Câncer, 2011).

Os derivados do tabaco são os produtos comercializados mais consumidos no mundo (mais de 1,2 bilhão de pessoas), como por exemplo, o cigarro, o charuto e o narguilé (Khater et al., 2008; Prata et al., 2011). Entre estes produtos destaca-se principalmente o cigarro, por ser o mais consumido e ser considerado um dos produtos de consumo mais lucrativos do mundo, fornecendo altíssimos lucros para seu fabricante.

O charuto é fabricado como um rolo de tabaco, podendo ser revestido por uma folha de fumo, que é fumado sem filtro. A maioria dos charutos contém mais nicotina do que a soma de vários cigarros. Sua fumaça é mais alcalina que o cigarro, o que possibilita a sua absorção pela mucosa oral. O cachimbo é formado por um recipiente onde ocorre a queima do tabaco que é ligado a um tubo para se aspirar a fumaça produzida. Sua composição química e danos a saúde são similares ao charuto (Viegas, 2008).

O narguilé, também conhecido como cachimbo d'água, é uma forma de fumar onde a fumaça gerada na queima do tabaco passa pela água antes de ser inalado. Em algumas partes do mundo, o uso de narguilé é maior que o uso de cigarros, a composição química contém maiores quantidades de substâncias maléficas à saúde do que o próprio cigarro, além da sua queima produzir mais monóxido de carbono (Viegas, 2008).

Existem também algumas formas de tabaco sem fumaça, como por exemplo, o rapé que é a forma do produto para inalar e o tabaco mascado que foi uma das primeiras formas de uso das folhas. Este último pode ser menos prejudicial que as demais, porém, também traz danos para a saúde de quem consome (Viegas, 2008).

Na FIG. 1.10 são apresentados alguns derivados do tabaco, como o cigarro, cachimbo, charuto, rapé e o mascado.

Os efeitos danosos que estes produtos causam a saúde humana são há anos intensivamente discutidos e muitos estudos são realizados mundialmente relacionando o uso dos derivados do tabaco com diversas doenças (Albandar

et al., 2000; Djordjevic, et al., 2000; Henley, et al., 2004; Dias & Turato, 2006; Khater, et al., 2008; Underner, et al., 2009; Bem Saada, 2009; Moeller & Sun, 2010; Arnson, et al., 2010).

FIGURA 1.10 – Derivados do tabaco: cigarro, cachimbo, charuto, rapé e o mascado (www.ufsj.edu.br)

1.5 Composição química da fumaça do cigarro

A literatura internacional e nacional existente sobre a caracterização radiológica e química do cigarro é muito vasta, porém escassa quanto a esta mesma caracterização das plantas da *Nicotiana tabacum* L. cultivadas ao redor do mundo e principalmente nas variedades cultivadas no Brasil.

A nicotina, uma substância de efeito estimulante, é extraída da planta tabaco junto com mais de 4000 substâncias químicas tóxicas. A fumaça gerada pela queima do tabaco é composta por estas substâncias tóxicas, como por exemplo, o monóxido de carbono, dióxido de carbono, óxidos de nitrogênio, amônia, nitrosamidas voláteis, cianeto de hidrogênio, compostos voláteis contendo enxofre, hidrocarbonetos voláteis, alcoóis, aldeídos, cetonas, As, Ni, Cd, substâncias radioativas como o ^{210}Pb e ^{210}Po , partículas de nicotina e

alcatrão (Peres, 1999; Skwarzec et al., 2001; Cunha et al., 2007; Viegas, 2008; Prata et al., 2011).

Dentre os radionuclídeos das séries naturais do ^{238}U e ^{232}Th a maior parte dos trabalhos de pesquisa estão concentrados nos níveis de ^{210}Pb e ^{210}Po na fumaça gerada pela queima do cigarro. Esses radionuclídeos possuem efeito cancerígeno e são relacionados com a ocorrência de câncer de pulmão (Peres, 1999; Kelecom, et. al., 2001; Sakoda, et. al., 2011; Skwarzec, et. al., 2001; Khater, 2003;). De acordo com o Instituto Brasileiro de Controle do Câncer - IBCC, além do câncer de pulmão, hábito de fumar está relacionado com cânceres de boca, laringe, faringe, esôfago, estômago, bexiga, pâncreas, fígado, colo uterino, cólon e reto, sendo responsável por cerca de 37,5% das mortes causadas pelo câncer. Fumantes ativos e passivos estão expostos a uma quantidade maior dessa radioatividade do que não fumantes (Abd El-Aziz *et al*, 2005).

1.6 A radiação natural

Todos os organismos vivos estão continuamente expostos à radiação ionizante de ocorrência natural. As fontes dessa exposição são os raios cósmicos que vêm do espaço e da superfície do Sol, radionuclídeos terrestres que ocorrem na crosta terrestre, em materiais de construção, no ar, na água e nos alimentos do consumo humano (UNSCEAR, 2000).

Essa radiação interage com as células causando a morte ou modificação das mesmas, impedindo o funcionamento natural dos órgãos e tecidos. A maior parte dos órgãos e tecidos do corpo não são afetados pela perda de um número considerável de células. No entanto, se a dose de radiação for grande o suficiente para matar um grande número de células e mais as que fazem a sua reposição, podem ocorrer tais danos (UNSCEAR, 2000).

Algumas fontes fazem com que os organismos vivos estejam expostos o tempo todo a radiação, como por exemplo, o ^{40}K que é inserido na dose recebida pelos seres vivos na ingestão de alimentos. Outras fontes de radiação

dependem da localização, como os raios cósmicos que atingem geralmente altas altitudes, fazendo com que o nível de radiação nestes locais seja maior.

As concentrações de urânio e tório em solos sofrem alterações de acordo com a área, localização geográfica ou ainda características geológicas, apresentando divergências de acordo com as regiões. A dose média anual proveniente de radiação natural é 0,4 mSv em relação aos raios cósmicos, 0,5 mSv derivado dos raios gama terrestres, 1,2 mSv por inalação e 0,3 mSv por ingestão, totalizando 2,4 mSv/ano. Isto não significa que todos os indivíduos recebam, necessariamente, essa dose, a faixa está entre 1 – 10 mSv, mas sofre variações dependendo da localização, hábitos pessoais e dieta (UNSCEAR, 2000).

Os radionuclídeos de origem natural são, geralmente, liberados em quantidades traço para o meio ambiente, e podem ser transportados por ar ou água dependendo de sua localização e das características físicas e químicas de suas partículas. Muitos radionuclídeos ocorrem naturalmente em solos e rochas. Após o decaimento, estes produzem um campo de radiação externa onde todos os seres humanos estão expostos (UNSCEAR, 2000).

Os radionuclídeos podem ocorrer naturalmente em rochas fosfáticas, que por sua vez são utilizadas como matéria prima na indústria de fertilizantes, por serem fontes de fósforo (P) que é um dos componentes que originam os fertilizantes a base de NPK (nitrogênio, fósforo e potássio), usados para suprir a deficiência desses nutrientes nas lavouras. Os fertilizantes fosfatados são produzidos a partir de beneficiamento da rocha fosfatada, e sua fabricação, bem como o seu uso pode redistribuir alguns radionuclídeos, como ^{238}U , ^{234}U , ^{230}Th , ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{210}Pb e ^{210}Po , membros da série de decaimento do ^{238}U e ^{232}Th , provenientes da matéria prima (Saueia, 2006).

Os principais radionuclídeos que causam exposições aos humanos são os das séries do ^{238}U e ^{232}Th e principalmente os que possuem maior meia vida. Nas FIG. 1.11 e 1.12 são apresentadas as séries de decaimento do ^{238}U e ^{232}Th , respectivamente, dando destaque aos radionuclídeos de maior tempo de meia-vida.

FIGURA 1.11 – Série de decaimento do ^{238}U com destaque aos radionuclídeos de maior tempo de meia-vida

FIGURA 1.12 – Série de decaimento do ^{232}Th com destaque aos radionuclídeos de maior tempo de meia-vida

1.7 Justificativa do trabalho

Existem na literatura, internacional e nacional, muitos trabalhos sobre a composição química inorgânica e orgânica e também radiológica, principalmente quanto a determinação de ^{210}Pb e ^{210}Po nos diversos derivados da planta *Nicotiana tabacum* L., porém essa mesma literatura é escassa em relação à estudos da planta. Sendo o Brasil o maior produtor e o segundo maior exportador de tabaco do mundo torna-se de grande relevância a

avaliação da concentração dos radionuclídeos naturais das séries do ^{238}U e ^{232}Th por ser o tabaco brasileiro um dos mais consumidos mundialmente.

Foram analisadas plantas das variedades Burley e Virginia adquiridas do produtor, além de plantas das mesmas variedades que foram cultivadas no Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN). A finalidade do cultivo no IPEN foi verificar a provável absorção, pelas plantas dos produtores, de defensivos agrícolas e outros tipos de fertilizantes utilizados e que possivelmente poderiam contribuir ou alterar a concentração dos radionuclídeos estudados no presente trabalho e poderiam ainda serem transferidos aos produtos finais, já que nas plantas cultivadas no IPEN foram adicionadas quantidades de fertilizantes com concentração conhecida dos radionuclídeos de interesse e sem adição de agrotóxico ou herbicida.

2 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho foi avaliar a concentração dos radionuclídeos naturais ^{238}U , ^{234}U , ^{230}Th , ^{226}Ra , ^{210}Pb e ^{210}Po , membros da série de decaimento do ^{238}U e os radionuclídeos naturais ^{232}Th e ^{228}Ra , membros da série de decaimento do ^{232}Th presente nas variedades Burley e Virginia da *Nicotiana tabacum* L. que são as mais cultivadas no Brasil e utilizadas na fabricação do cigarro nacional. As técnicas analíticas empregadas foram a espectrometria alfa após separação radioquímica para os radionuclídeos, ^{238}U , ^{234}U , ^{232}Th , ^{230}Th e ^{210}Po , em detector barreira de superfície e a medida alfa e beta total após separação radioquímica para os radionuclídeos ^{226}Ra , ^{228}Ra e ^{210}Pb em detector proporcional de fluxo gasoso de baixa radiação de fundo.

3 METODOLOGIA PARA CULTIVO, COLETA E PRÉ-TRATAMENTO DAS AMOSTRAS DE *Nicotiana tabacum* L.

3.1 Cultivo das plantas no IPEN

O cultivo das plantas no IPEN foi realizado de acordo com a orientação de um engenheiro agrônomo e um técnico agrícola que possuem experiência neste tipo de plantio. Para isso, sementes da variedade Burley e Virgínia da *Nicotiana tabacum* L. foram adquiridas de cooperativa de produtores de tabaco de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, estados responsáveis pelo cultivo destas variedades e cultivadas no Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, localizado na cidade de São Paulo, SP (23°33'59.24"S 46°44'15.63"W).

Estas sementes foram semeadas em bandejas de mudas apropriadas para o cultivo com substrato orgânico sem adição de agrotóxicos e herbicidas. Essas bandejas foram inseridas em solução de fertilizante a base de nitrogênio, N, fósforo, P e potássio, K, na proporção 20:10:20. Na FIG 3.1 é apresentada as sementes da variedade Virgínia em substrato orgânico para germinação.

FIGURA 3.1 – Sementes da variedade Virgínia em substrato orgânico para germinação.

Esse sistema foi levado a uma estufa de plantas “caseira” ao ar livre, apresentada na FIG 3.2. A solução de fertilizante foi trocada uma vez por semana. Na FIG 3.3 são apresentadas algumas plantas germinadas na bandeja.

FIGURA 3.2 – Estufa “caseira” construída conforme orientação do engenheiro agrônomo

FIGURA 3.3 – Plantas germinadas na bandeja

As mudas foram podadas pela primeira vez quando emitiram cinco folhas, FIG. 3.4. Essa poda ocorreu conforme orientação do técnico agrícola especialista no cultivo desta planta, e teve por objetivo fortalecer a muda. Após essa etapa, as podas foram realizadas mais três vezes até serem transferidas para os vasos.

FIGURA 3.4 – Mudas após a primeira poda

Quando as plantas atingiram aproximadamente 30 cm de altura e os caules 0,7 cm de espessura, foram transferidas para vasos maiores contendo o mesmo substrato orgânico, FIG. 3.5. As plantas foram regadas e adubadas diariamente com fertilizante a base de NPK na proporção 20:20:20, onde permaneceram até o momento da colheita. Foram retirados botões e brotos de acordo com o nascimento destes, pois estas partes da planta absorvem maior quantidade de nutrientes, podendo prejudicar o crescimento das folhas.

FIGURA 3.5 – Planta após a transferência para os vasos

Quando as plantas atingiram 1,2 m de altura, fase adulta, FIG. 3.6, foram colhidas e levadas ao laboratório para o pré-tratamento antes do início das análises.

FIGURA 3.6 – Plantas na fase adulta prontas para colheita

3.2 Aquisição das plantas do produtor

As variedades Burley e Virginia, utilizadas na fabricação do cigarro brasileiro, foram adquiridas dos produtores da região sul do Brasil da cidade de Arvorezinha no estado do Rio Grande do Sul ($28^{\circ}86'41.53''\text{S}$ $52^{\circ}20'27.89''\text{W}$).

Nas lavouras onde as mesmas foram obtidas, costuma-se retirar as folhas correspondentes a região da ponteira, permitindo que as demais folhas fiquem maiores. Sendo assim, este trabalho não apresentará resultados para a ponteira das plantas do produtor. Na FIG 3.7 é apresentada uma das plantas adquiridas do produtor onde foi retirada a ponteira.

FIGURA 3.7 – Planta do produtor onde foi retirada a ponteira

3.3 Pré-tratamento das amostras

O pré-tratamento das amostras descrito a seguir foi adotado para as plantas cultivadas no IPEN e para as plantas adquiridas do produtor da cidade de Arvorezinha, RS.

No laboratório foram separadas e analisadas as folhas, caules, raiz, solo, substrato e o fertilizante utilizado no cultivo do IPEN. O fertilizante utilizado pelo produtor não foi analisado pois não foi possível adquiri-lo.

As folhas foram separadas em quatro partes de acordo com a altura, conforme a Instrução Normativa MAPA nº10 de 16.04.2007. Na FIG 3.8 é apresentado como foi realizada a classificação e separação das folhas da planta de tabaco de acordo com a altura, e na FIG 3.9 são apresentadas as

folhas após a separação, sendo a ponteira apenas das plantas cultivadas no IPEN.

FIGURA 3.8 – Classificação e separação das folhas da planta de tabaco de acordo com a altura

FIGURA 3.9 – Folhas após a separação, as folhas da ponteira foram analisadas apenas nas plantas cultivadas no IPEN

Os caules foram separados e denominados como caule externo (xilema) e caule interno (floema), sendo este último onde ficam os tecidos de condução

de água e nutrientes. Na FIG 3.10 é apresentado o caule e separação em xilema e floema.

FIGURA 3.10 – Caule separado em xilema e floema

Foram analisados, também, o solo (utilizado no cultivo pelo produtor) e o substrato orgânico (usado no cultivo das plantas do IPEN) que no item 5.7 e 5.8 será apresentado de duas formas: “substrato in natura” (antes do cultivo) e “substrato” (após o cultivo), onde a diferença entre estes está na sucessiva adição de fertilizante que o segundo tipo recebeu quando do cultivo das plantas. Na FIG 3.11 estão apresentados o substrato e raiz da variedade Burley cultivada no IPEN, e na FIG 3.12 o fertilizante 20:20:20 que foi utilizado no cultivo e também analisado.

FIGURA 3.11 – Substrato e raiz da variedade Burley cultivada no IPEN

FIGURA 3.12 – Fertilizante 20:20:20 utilizado no cultivo

As folhas, os caules externos e as raízes foram lavados para retirar vestígios de solo e substrato, em seguida foram pesados e secos em estufa a 50°C até eliminação total da umidade. Em seguida, as amostras foram maceradas, pulverizadas e acondicionadas em frascos de polietileno para posterior análise. Os caules internos foram secos em estufa diretamente no béquer de cada análise.

3.4 Preparo e digestão das amostras

As folhas, raízes, caules interno e externo foram solubilizados em chapas aquecedoras com o auxílio de HNO_3 concentrado. Em seguida foi adicionado H_2O_2 30% para a eliminação da matéria orgânica. O solo e o substrato foram solubilizados em digestor de microondas com o auxílio de ácidos minerais, HNO_3 concentrado e HF 40% e também H_2O_2 30% para eliminação da matéria orgânica. Os fertilizantes foram pesados, dissolvidos em H_2O ultrapura e submetidos aos procedimentos analíticos.

Na FIG. 3.13 são apresentadas as amostras de folhas, caules e raízes pré-tratadas e pesadas, e na FIG. 3.14 as amostras em processo de digestão após a adição de HNO_3 concentrado.

FIGURA 3.13 – Amostras de folhas, caules e raiz pré-tratadas e pesadas

FIGURA 3.14 – Amostras em processo de digestão após a adição de HNO_3 concentrado

4 METODOLOGIAS ANALÍTICAS EMPREGADAS

4. 1 Metodologia analítica empregada para a determinação de ^{238}U , ^{234}U , ^{232}Th e ^{230}Th

As concentrações de ^{238}U , ^{234}U , ^{232}Th e ^{230}Th foram determinadas por espectrometria alfa após separação por cromatografia de troca iônica, de acordo com Alencar, 2008.

A espectrometria alfa baseia-se na detecção da energia das partículas alfa por um detector de silício do tipo barreira de superfície, onde a identificação é feita após a análise de espectros que permite determinar as concentrações presentes na amostra. Para tal é importante eliminar outros radioisótopos emissores alfa com energias próximas à do radionuclídeo de interesse, esta separação pode ser feita com cromatografia de troca iônica (Alencar, 2008).

As resinas de troca aniônica são comumente utilizadas em laboratório radioquímico, como, por exemplo, as Dowex-1 e 2 e as Amberlite IRA-410 e IRA-400. A capacidade de troca destas resinas é de cerca de 2,5 miliequivalentes por grama de resina. O urânio pode ser separado de outros elementos utilizando resinas de troca iônica e ácido clorídrico concentrado, onde o mesmo é adsorvido na resina enquanto os demais elementos são eluídos (Grindler, 1962). O tório pode ser adsorvido em resinas de troca iônica utilizando solução de ácido nítrico concentrado, permitindo a sua separação de diversos elementos, inclusive o urânio (Hyde, 1960).

4.1.1 Procedimento analítico para a determinação de ^{238}U , ^{234}U , ^{232}Th e ^{230}Th

Para a determinação dos isótopos de U e Th, 70 μL dos traçadores de ^{232}U ($A = 0,8989 \text{ Bq.L}^{-1}$) e ^{229}Th ($A = 0,6237 \text{ Bq.L}^{-1}$) foram adicionados às amostras antes da dissolução das mesmas. Após a dissolução, a amostra foi transferida para um béquer de 400 mL e, o volume foi elevado até 200 mL com água superpura. Adicionou-se solução de Fe 3 g.L^{-1} e NH_4OH concentrado até a precipitação. A solução foi então mantida em repouso por 24 horas.

No dia seguinte a solução foi filtrada em papel de filtro quantitativo (faixa preta) e o precipitado dissolvido com $\text{HCl } 9 \text{ mol.L}^{-1}$. A solução obtida da dissolução do precipitado foi evaporada em chapa aquecedora até próximo à secura e o volume foi elevado para 50 mL com $\text{HCl } 9 \text{ mol.L}^{-1}$, meio adequado para a separação do U e Th por troca iônica.

Condicionou-se a resina aniônica Dowex 1-X8, em granulometria 100 a 200 mesh, com 50 mL $\text{HCl } 9 \text{ mol.L}^{-1}$, com uma vazão de 1 gota/ 7 segundos. A amostra foi percolada na coluna nesta vazão, onde o U ficou retido e o Th permaneceu no efluente. A coluna foi lavada com 100 mL do mesmo ácido e este volume foi recolhido no mesmo béquer, que foi reservado para posterior análise do Th.

Em seguida foram adicionados 20 mL de $\text{HNO}_3 \text{ } 8 \text{ mol.L}^{-1}$ para remoção do Fe presente, lavando posteriormente com mais 10 mL do mesmo ácido para garantir a remoção total do mesmo. O U retido foi eluído da coluna com a adição de 100 mL de $\text{HCl } 0,1 \text{ mol.L}^{-1}$, duas vezes, na coluna. A solução resultante foi levada à chapa aquecedora, e seu volume foi reduzido até próximo à secura.

Para a separação do Th, condicionou-se outra resina com 50 mL de $\text{HNO}_3 \text{ } 8 \text{ mol.L}^{-1}$, na vazão de 1 gota/ 7 segundos, adicionando em seguida a amostra. O Th foi eluído da coluna utilizando 100 mL de $\text{HCl } 0,1 \text{ mol.L}^{-1}$, duas vezes. Essa solução foi levada à chapa aquecedora, e seu volume foi reduzido até próximo à secura. Na FIG. 4.1 são apresentadas as colunas com a resina Dowex-1 utilizada na separação cromatográfica.

FIGURA 4.1 – Colunas com a resina Dowex-1 utilizada na separação cromatográfica

Após a separação nas colunas, as amostras foram eletrodepositadas em disco de aço inoxidável com 2,5 cm de diâmetro. A eletrodeposição ocorreu com solução de NH_4Cl saturada, utilizando uma fonte de tensão onde foi aplicada uma corrente constante de 1,2 A, sob um potencial de 7 V, durante 1 hora. Ao término, retirou-se o disco, lavando-o com água superpura e etanol, deixando secar à temperatura ambiente. Na FIG 4.2 são apresentados os discos de aço inoxidável após a eletrodeposição da amostra de fertilizante 20:10:20.

Após a eletrodeposição, as amostras foram medidas em um detector de silício de barreira de superfície, conforme apresentado na FIG. 4.3, por 150.000 segundos. Nas FIG. 4.4 e 4.5 são apresentados os espectros de U e Th, respectivamente, após a medida.

FIGURA 4.2 – Discos de aço inoxidável após a eletrodeposição da amostra de fertilizante 20:10:20

FIGURA 4.3 – Detector de silício de barreira de superfície, utilizado para a medida dos isótopos analisados de U e Th, e ^{210}Po

FIGURA 4.4 – Espectro do U obtido após a medida de uma amostra de substrato da variedade Virgínia

FIGURA 4.5 – Espectro do Th obtido após a medida de uma amostra amostra de substrato da variedade Virgínia

A atividade dos isótopos de U e Th foi determinada utilizando a expressão (4.1):

$$A = \frac{R_n - R_b}{Q.Ef.RQ} \quad (4.1)$$

Onde:

A = concentração de atividade do radioisótopo na amostra em mBq.g⁻¹

R_n = taxa de contagem do radioisótopo em cps

R_b = taxa de contagem do branco na região esperada em cps

Q = quantidade de amostra em g

E_f = eficiência de contagem em cps.dps⁻¹

RQ = rendimento químico

O rendimento químico foi calculado de acordo com a expressão (4.2).

$$RQ = \frac{C - R_b}{A.Ef} \quad (4.2)$$

Onde:

RQ = rendimento químico

C = número de contagens do traçador (cps)

R_b = taxa de contagem do branco (cps)

A = atividade do traçador (dps)

E_f = eficiência do detector (cps dps⁻¹)

4.2 Metodologia analítica empregada para determinação de ²²⁶Ra, ²²⁸Ra e ²¹⁰Pb

As análises de ²²⁶Ra, ²²⁸Ra e ²¹⁰Pb foram realizadas segundo Leonardo et al. (2013).

O rádio pertence à família dos metais alcalino-terrosos e possui propriedades químicas muito semelhantes ao bário, produzindo o mesmo tipo de compostos insolúveis que este último elemento. Sulfato de rádio é o mais insolúvel dos sulfatos de alcalino-terrosos e, provavelmente, o composto de

rádio mais insolúvel, a sua solubilidade é de $2,1 \times 10^{-4}$ gramas por 100 mililitros de água. Por esta razão, a precipitação de sulfato é uma prática comum para a recuperação de rádio, especialmente com a adição de carregador de bário (Kirby et. al., 1964).

Existem vários métodos para a determinação do chumbo, como gravimetria, volumetria, colorimetria, polarografia, extração com solventes, troca iônica e cromatografia em papel. Entre esses métodos o gravimétrico é um dos mais utilizados e que fornece bons resultados (Moreira, 1993).

Na forma de cromato, a precipitação do chumbo é uma das separações mais utilizadas na radioquímica deste elemento. A formação deste, permite uma separação satisfatória do cobre, zinco e outros elementos que formam cromatos solúveis em solução (Gibson, 1961).

4.2.1 Procedimento analítico para determinação de ^{226}Ra , ^{228}Ra e ^{210}Pb

Na determinação de ^{226}Ra , ^{228}Ra e ^{210}Pb carregadores de bário (20 mg Ba.mL^{-1}) e chumbo estável (20 mg Pb.mL^{-1}), 1 mL de cada, foram adicionados às amostras antes da dissolução das mesmas. Após a dissolução da amostra elevou-se o volume da solução para 1 L com água superpura, adicionaram-se 7 mL de ácido cítrico 2 mol.L^{-1} , e gotas do indicador vermelho de metila. Lentamente adicionou-se NH_4OH concentrado até a mudança de coloração do indicador, indicando que a solução estava entre pH 4,5 – 5,0.

A solução foi aquecida até ebulição e foram adicionados 50 mL de H_2SO_4 3 mol.L^{-1} sob agitação para que ocorresse a precipitação; deixou-se o precipitado decantar até o dia seguinte. O sobrenadante foi descartado e o precipitado transferido para tubo de centrífuga. A solução foi centrifugada a 2000 rpm por 10 minutos, e o sobrenadante descartado.

Adicionou-se ao precipitado 2,0 g de ácido nitrilo tri-acético (Titriplex I), 40 mL de água superpura e 7 mL de NaOH 6 mol.L^{-1} . A solução foi aquecida em banho-maria até a ebulição para solubilização do precipitado. Adicionou-se 5 mL de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (25 g.L^{-1}), ajustou-se o pH entre 4,5 – 5,0 com ácido

acético glacial para que o Ba(Ra)SO_4 precipitassem enquanto o chumbo permanecia em solução, complexado com o ácido nitrilo tri-acético (NTA). Deixou-se o precipitado decantar até o dia seguinte.

A solução foi centrifugada a 2000 rpm por 10 minutos e o sobrenadante foi separado para análise de chumbo. O precipitado foi lavado com acetato de amônio 20% e centrifugado novamente sendo o sobrenadante adicionado ao anterior. O precipitado foi utilizado na determinação de rádio.

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

Adicionou-se ao precipitado 2,0 g de ácido etileno di-amino-tetra-acético (EDTA), 40 mL de água destilada e 5 mL de NH_4OH concentrado. A solução foi aquecida até ebulição em banho-maria para solubilização do precipitado. Adicionou-se 5 mL de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (25 g.L^{-1}), ajustou-se o pH entre 4,5 – 5,0 com ácido acético glacial para que o Ba(Ra)SO_4 precipitassem, e deixou-se decantar até o dia seguinte.

A solução foi filtrada à vácuo com papel de fibra de vidro. O rendimento químico do procedimento foi determinado gravimetricamente a partir da massa de carregador de bário adicionado; 1 mL de carregador de Ba (20 mg.mL^{-1}) corresponde a uma massa de 34,0 mg Ba(Ra)SO_4 . Na FIG. 4.6 são apresentados os precipitados de Ba(Ra)SO_4 após a filtração.

FIGURA 4.6 – Precipitado de Ba(Ra)SO_4 após a filtração

O ^{226}Ra e ^{228}Ra foram determinados após 21 dias da precipitação, pela medida alfa total e beta total do precipitado de Ba(Ra)SO_4 em um detector proporcional de fluxo gasoso de baixa radiação de fundo, FIG. 4.7. As amostras foram medidas por 200 minutos.

A concentração de atividade de ^{226}Ra foi determinada segundo a expressão (4.3):

$$A(^{226}\text{Ra}) = \frac{R_a - R_b}{R_q \cdot E \cdot m \cdot \text{fabs} \cdot [1 + k(1 - e^{-\lambda t})]} \quad (4.3)$$

Onde:

$A(^{226}\text{Ra})$ = concentração de atividade de ^{226}Ra da amostra em mBq.g^{-1}

R_a = taxa de contagem total da amostra em cps

R_0 = taxa de contagem da radiação de fundo em cps

R_q = rendimento químico

E = eficiência de contagem em cps.dps^{-1}

m = massa da amostra em g

$\text{fabs}(^{226}\text{Ra})$ = coeficiente de auto absorção do ^{226}Ra no precipitado de RaSO_4

λ = constante de desintegração do ^{226}Ra ($0,181\text{d}^{-1}$)

t = tempo transcorrido entre a precipitação do $^{226}\text{RaSO}_4$ e a contagem em dias

k = constante de auto absorção

A concentração de atividade de ^{228}Ra é determinada segundo a expressão (4.4):

$$A(^{228}\text{Ra}) = \frac{R_n - B_g}{60 \cdot R_q \cdot E_f \beta(^{228}\text{Ra}) \cdot Q} - \frac{E_f \beta(^{226}\text{Ra}) \cdot A(^{226}\text{Ra})}{E_f \beta(^{228}\text{Ra})} \quad (4.4)$$

Onde:

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

R_n = taxa de contagem beta total obtida (cpm);

B_g = taxa de radiação de fundo beta total (cpm);

RQ = rendimento químico;

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

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

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

Q = massa da amostra (g).

4.2.1.2 Determinação de ^{210}Pb

O sobrenadante obtido da centrifugação que contém o chumbo foi aquecido em banho-maria e 1 mL de Na_2S 1 mol.L⁻¹ foi adicionado para que o chumbo precipitasse na forma de sulfeto. A solução foi centrifugada a 2000 rpm por 30 minutos, o sobrenadante foi descartado, e o precipitado foi lavado com água destilada e centrifugado novamente.

O sobrenadante foi descartado e adicionou-se ao precipitado 2 mL de água superpura e gotas de HNO_3 concentrado. O chumbo permaneceu em solução e formou-se um precipitado amarelo de enxofre elementar. A solução foi filtrada com papel qualitativo; adicionou-se ao filtrado acetato de amônio 40% até pH 4,5 – 5,0 e aqueceu-se até ebulição. Adicionou-se 2,5 mL de Na_2CrO_4 30% para precipitação, sob aquecimento, mantendo-se por mais dez minutos. A solução foi filtrada à vácuo com papel de fibra de vidro. Na FIG. 4.7 são apresentados os precipitados de PbCrO_4 após a filtração.

O rendimento químico do procedimento foi determinado gravimetricamente a partir da massa de carregador de chumbo adicionado; 1 mL de carregador de Pb (20 mg.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 apresentado na FIG. 4.8. As amostras foram medidas por 200 minutos.

FIGURA 4.7 – Precipitado de PbCrO_4 após a filtração

FIGURA 4.8 – Detector proporcional de fluxo gasoso de baixa radiação de fundo

A concentração de atividade de ^{210}Pb foi determinada segundo a expressão (4.5):

$$A = \frac{R_a - R_0}{Rq \cdot E \cdot m \cdot (1 - e^{-\lambda t})} \quad (4.5)$$

Onde:

A = concentração de atividade da amostra em mBq.g^{-1}

R_a = taxa de contagem total da amostra em cps

R_0 = taxa de contagem da radiação de fundo em cps

Rq = rendimento químico

E = eficiência de contagem em cps.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 ($0,183\text{d}^{-1}$)

4.3 Metodologia analítica empregada para a determinação de ^{210}Po

A análise de ^{210}Po foi realizada por espectrometria alfa, após deposição espontânea em disco de prata segundo Damatto et al, 2009.

O polônio pode ser facilmente depositado em disco de prata em meio clorídrico. Durante a deposição, uma película de cor preta aparece na prata e esta pode consistir em um óxido ou um peróxido deste elemento (Figgins, 1961).

4.3.1 Procedimento analítico para a determinação de ^{210}Po

Para a determinação de ^{210}Po foram adicionados 100 μL de traçador de ^{209}Po ($A = 2,1715 \text{ Bq.L}^{-1}$) às amostras antes da dissolução das mesmas. Após a solubilização da amostra, a solução foi evaporada até quase secura, em temperatura inferior a 80°C , por três vezes com $\text{HCl } 6 \text{ mol.L}^{-1}$ para eliminação dos ácidos da dissolução. Adicionaram-se 10 mL de cloridrato de hidroxilamina 20%, 10 mL de solução de citrato de sódio 25%, o quais são agentes complexantes de ferro e cromo, e 0,2 mL de carregador de $\text{Bi}^{3+} 50 \text{ g.L}^{-1}$.

Ajustou-se o pH entre 1,5 e 2,0 com NH_4OH concentrado. A amostra foi avolumada a 100 mL e levada a banho maria sob agitação e temperatura controlada de 80°C para deposição espontânea do ^{210}Po em disco de prata por 2 horas. Após a deposição o disco de prata foi lavado com água super pura e álcool etílico para secagem. Na FIG 4.9 são apresentados discos de prata após a deposição e lavagem.

FIGURA 4.9 – Discos de prata após a deposição espontânea e lavagem

Após a deposição, as amostras foram medidas, por 150.000 segundos, em um espectrômetro alfa de barreira de superfície, conforme apresentado anteriormente na FIG. 4.3. Na FIG. 4.10 é apresentado o espectro obtido na análise de ^{210}Po .

FIGURA 4.10 – Espectro obtido na análise de ^{210}Po

A medida da concentração de atividade do ^{210}Po foi determinada segundo a expressão (4.6).

$$A(^{210}\text{Po}) = \frac{\text{cpsa} \cdot \text{mt} \cdot \text{At}}{\text{cpst} \cdot \text{ma}} \quad (4.6)$$

Onde:

$A(^{210}\text{Po})$ = concentração de atividade de ^{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 (g)

ma = massa da amostra (g)

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Determinação da radiação de fundo

A radiação de fundo foi determinada no detector alfa na região dos picos de interesse dos radionuclídeos ^{238}U , ^{234}U , ^{232}U , ^{232}Th , ^{230}Th , ^{229}Th , ^{210}Po e ^{209}Po . Foi realizada submetendo-se o detector vazio a contagem por tempo igual ao das amostras. Os valores obtidos para os isótopos de U e Th foram na ordem de 1×10^{-5} cps e para os isótopos de polônio $2,5 \times 10^{-5}$ cps.

Foi determinado, também, a radiação de fundo no detector proporcional de fluxo gasoso utilizado nas análises dos isótopos de Ra e para o ^{210}Pb . Para o ^{210}Pb , foi usado suporte de aço inox e o papel filtro limpo e medido por 12 ciclos de 200 minutos. Para o ^{226}Ra e ^{228}Ra , a radiação de fundo foi determinada com uma medida do detector vazio pelo mesmo tempo. Os valores obtidos foram na ordem de 2,4 cpm, 0,05cpm e 0,65 cpm para o ^{210}Pb , ^{226}Ra e ^{228}Ra , respectivamente.

5.2 Determinação da eficiência do espectrômetro alfa

A eficiência do detector expressa a quantidade de partículas alfa que interagem com o detector para serem registradas. Essa determinação foi realizada segundo Alencar (2008) e Ramos (2010), e utilizando uma fonte eletrodepositada e calibrada de ^{241}Am com atividade de 2600 Bq. Essa fonte foi medida por 100 segundos em triplicata, e o cálculo da eficiência foi efetuado de acordo com a seguinte expressão (5.1).

$$Ef = \frac{Cf}{Af} \quad (5.1)$$

Onde:

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%.

5.3 Determinação da curva de calibração do espectrômetro alfa

A curva de calibração foi determinada segundo Alencar (2008) e Ramos (2010). Foi utilizada uma fonte tríplice da Amersham International, contendo os radionuclídeos ²³⁹Pu (5,156 MeV), ²⁴¹Am (5,485 MeV) e ²⁴⁴Cm (5,804 MeV), que foi medida por 100 segundos e em triplicata. Após a calibração foi obtida uma equação da reta conforme a apresentada no item 5.2.

$$y = 6,7515 x + 11,315 \quad (5.2)$$

5.4 Determinação da eficiência de contagem para a medida de ²²⁶Ra, ²²⁸Ra e ²¹⁰Pb

A eficiência de contagem do detector proporcional para a medida dos radionuclídeos ²²⁶Ra e ²²⁸Ra foi realizada de acordo com Oliveira (1993) e para o radionuclídeo ²¹⁰Pb segundo Moreira (1993).

5.4.1 Determinação da eficiência de contagem alfa total para a medida de ²²⁶Ra

A calibração do detector proporcional de fluxo gasoso foi realizada, utilizando-se uma fonte eletrodepositada de ²⁴¹Am, com dimensões

conhecidas. Esta fonte possui atividade de 18,5 Bq e foi medida em triplicata em cada detector por 60 minutos. A eficiência foi calculada usando a expressão (5.3).

$$EF\alpha (^{226}\text{Ra}) = \frac{Rn - Bg}{A_{\text{corr}}(^{241}\text{Am}) \cdot 60 \cdot RQ} \quad (5.3)$$

Onde:

$EF\alpha (^{226}\text{Ra})$ = 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 = background alfa do detector (cpm)

$A_{\text{corr}} (^{241}\text{Am})$ = atividade da fonte de ^{241}Am corrigida para a data da medida, em Bq.

RQ = rendimento químico da eletrodeposição do padrão

O resultado médio encontrado foi de 41,2%.

5.4.2 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 $\text{Ba}(\text{Ra})\text{SO}_4$ estão presentes esses dois radionuclídeos. Na medida de alfa e beta total, na voltagem de operação que é usada para a determinação de partículas beta total emitidas no detector proporcional de fluxo gasoso, também são detectadas as partículas alfa do ^{226}Ra e de seus descendentes, sendo necessário para a determinação do quanto este isótopo influencia na contagem beta total (Oliveira, 1993).

A eficiência beta para o ^{226}Ra foi realizada com medidas beta total de amostras de $\text{Ba}(\text{Ra})\text{SO}_4$ 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. Foram

preparadas 5 amostras e medidas por 200 minutos. A eficiência foi calculada de acordo com a expressão (5.4).

$$EF\beta (^{226}\text{Ra}) = \frac{Rn - Bg}{A_{\text{corr}}(^{226}\text{Ra}) \cdot 60 \cdot RQ} \quad (5.4)$$

Onde:

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

Rn = taxa de contagem beta total medida (cpm)

Bg = background beta do detector (cpm)

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

RQ = rendimento químico

O resultado médio encontrado foi de 50,4%.

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

A eficiência beta para o ^{228}Ra foi realizada pela medida do precipitado de Ba(Ra)SO_4 em amostras obtidas com a adição de um padrão de atividade conhecida de ^{228}Ra , colocando-se 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 (5.5).

$$EF\beta (^{228}\text{Ra}) = \frac{Rn - Bg}{A_{\text{corr}}(^{228}\text{Ra}) \cdot 60 \cdot RQ} \quad (5.5)$$

Onde:

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

Rn = taxa de contagem beta total medida (cpm)

Bg = background beta do detector (cpm)

$A_{\text{corr}} (^{228}\text{Ra})$ = atividade do padrão de ^{228}Ra corrigida para a data da medida, em Bq.

RQ = rendimento químico

O resultado médio encontrado foi de 38,5%.

5.4.4 Determinação da eficiência de contagem da medida de ^{210}Pb

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 (5.6).

$$E = \frac{R_p - R_0}{A_p \cdot RQ \cdot (1 - e^{-\lambda t})} \quad (5.6)$$

Onde:

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

R_p = taxa de contagem do padrão em cps

R_0 = taxa de contagem do background em cps

A_p = atividade do padrão em 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 do PbCrO_4 em dias

O resultado médio encontrado foi de 37,3%.

5.5 Determinação do limite inferior de detecção (LID)

O limite inferior de detecção (LID) indica a sensibilidade da metodologia a baixas concentrações. Para todos os radionuclídeos determinados neste trabalho, essa determinação foi realizada submetendo amostras de água

superpura ao mesmo procedimento experimental (Alencar, 2008; Moreira, 1993; Oliveira, 1993). O cálculo foi feito de acordo com a expressão (5.7).

$$LID = \frac{4,66 \cdot Sb}{t \cdot RQ \cdot E \cdot m} \quad (5.7)$$

Onde:

LID = limite inferior de detecção em 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 sendo 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 em segundos

RQ = rendimento químico

E = eficiência do sistema de contagem

m = massa da amostra em Kg

Na TAB. 5.1 são apresentados os resultados obtidos para o LID do ²³⁸U, ²³⁴U, ²³⁰Th, ²³²Th, ²²⁶Ra, ²²⁸Ra, ²¹⁰Pb e ²¹⁰Po, em mBq.g⁻¹.

TABELA 5.1 – Resultados obtidos para o LID do ^{238}U , ^{234}U , ^{230}Th , ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{210}Pb e ^{210}Po , em mBq.g^{-1}

Radionuclídeo	LID em mBq.g^{-1}
^{238}U	$1,6 \times 10^{-3}$
^{234}U	$1,7 \times 10^{-3}$
^{230}Th	$1,8 \times 10^{-3}$
^{232}Th	$1,8 \times 10^{-3}$
^{226}Ra	2,2
^{228}Ra	3,7
^{210}Pb	4,9
^{210}Po	4,2

5.6 Validação da metodologia

Todas as metodologias foram submetidas ao processo de validação, utilizando o padrão IAEA-385 (Natural and artificial radionuclides in sediment from the Irish Sea), da International Atomic Energy Agency. Foram pesados 0,5 g do padrão e submetidos ao mesmo processo de análise. Na TAB. 5.2 são apresentados os resultados da validação do método seguidos do valor certificado com o respectivo intervalo de confiança, do desvio padrão relativo (S_r) e do erro relativo (Er).

TABELA 5.2 – Resultados da validação dos métodos seguidos do valor certificado, intervalo de confiança, do desvio padrão relativo (S_r) e do erro relativo (E_r)

Radionuclídeo	Média $\pm s$ (Bq kg ⁻¹)	Valor Certificado (Bq kg ⁻¹)	Intervalo de Confiança	$S_r(\%)$	$E_r (\%)$
²³⁸ U	30,4 $\pm$ 1,8	29	28 - 30	5,9	4,6
²³⁴ U	28,8 $\pm$ 2,5	27	26 - 28	8,7	6,2
²³² Th	34,8 $\pm$ 3,1	33,7	32,8 - 33,9	8,9	3,2
²³⁰ Th	30,4 $\pm$ 1,7	30,6	30,0 - 33,6	5,5	0,6
²²⁶ Ra	20,5 $\pm$ 3,9	21,9	21,6 - 22,4	19,0	6,8
²²⁸ Ra	35,8 $\pm$ 4,8	32,0	31,3 - 32,5	13,4	10,6
²¹⁰ Pb	32,5 $\pm$ 6,5	32,9	31,2 - 35,3	20,0	1,2
²¹⁰ Po	34,9 $\pm$ 0,8	32,9	31,2 - 35,3	2,3	5,7

5.7 Resultados das concentrações dos radionuclídeos das séries de decaimento do ²³⁸U e ²³²Th nas variedades Burley e Virgínia

O cultivo das variedades Burley e Virgínia da *Nicotiana tabacum* L. no IPEN foi realizado de acordo com as recomendações do produtor e as plantas foram colhidas após 150 dias de plantio em vaso. As variedades dos produtores também foram colhidas no campo com o mesmo tempo de plantio.

As folhas foram separadas da mesma maneira que é realizada na indústria do cigarro, onde estas são denominadas de: ponteira, meeira, semimeeira e baixeira. As plantas do produtor não apresentaram as folhas da parte denominada ponteira, pois estas foram retiradas durante o cultivo para fornecer mais nutrientes e assim fortalecer as demais folhas. Foram, também, analisados de cada planta os caules, separados em caule interno (floema) e externo (xilema), raiz, substrato utilizado no cultivo do IPEN, o solo dos

produtores e os fertilizantes utilizados no cultivo do IPEN. Como mencionado anteriormente, o fertilizante utilizado no cultivo das duas variedades da região sul do Brasil não foi analisado, pois não foi possível adquiri-lo dos produtores.

5.7.1 Variedade Burley

Na TAB. 5.3 e FIG. 5.1 são apresentados os resultados obtidos de concentração, em mBq.g^{-1} , dos radionuclídeos da série de decaimento do ^{238}U na variedade Burley, cultivada no IPEN e do produtor, e na TAB. 5.4 e FIG. 5.2 são apresentados os resultados obtidos de concentração, em mBq.g^{-1} , dos radionuclídeos da série de decaimento do ^{232}Th , nas plantas cultivadas no IPEN e no produtor:

TABELA 5.3 – Concentração de ^{238}U , ^{234}U , ^{230}Th , ^{226}Ra , ^{210}Pb e ^{210}Po , série de decaimento do ^{238}U , em mBq.g^{-1} na variedade Burley, cultivada no IPEN e no produtor.

Amostra		mBq.g^{-1}					
		^{238}U	^{234}U	^{230}Th	^{226}Ra	^{210}Pb	^{210}Po
Burley Produtor	Meeira	< 0,3	< 0,3	< 1,0	$16,1 \pm 0,9$	29 ± 2	$7,0 \pm 0,9$
	Semimeeira	< 0,6	< 0,6	< 0,8	$10,4 \pm 0,7$	18 ± 1	$8,3 \pm 0,7$
	Baixaiera	< 0,3	< 0,3	< 0,8	$12,1 \pm 0,6$	14 ± 1	$9,9 \pm 0,4$
	Caule Interno	< 0,1	< 0,1	< 0,3	$15,4 \pm 0,4$	$8,0 \pm 0,7$	< 4,2
	Caule Externo	< 0,6	< 0,6	< 3,0	$13,2 \pm 0,3$	(*)	< 4,2
	Raiz	$2,3 \pm 0,3$	$1,6 \pm 0,4$	$4,6 \pm 0,6$	$11,3 \pm 0,8$	$8,8 \pm 0,3$	$6,0 \pm 0,4$
	Solo	$44,4 \pm 3,4$	$42,5 \pm 3,3$	149 ± 25	87 ± 8	176 ± 16	113 ± 6
Burley IPEN	Ponteira	< 0,6	< 0,6	< 1,5	$2,3 \pm 0,2$	< 4,9	$2,6 \pm 0,4$
	Meeira	< 0,3	< 0,3	< 1,0	$3,0 \pm 0,3$	$7,9 \pm 0,7$	$7,9 \pm 0,7$
	Semimeeira	< 0,3	< 0,3	< 1,2	< 2,2	21 ± 3	$16,5 \pm 0,7$
	Baixaiera	< 0,2	< 0,2	< 2,8	$3,1 \pm 0,6$	21 ± 2	22 ± 1
	Caule Interno	< 0,1	< 0,1	< 0,4	(*)	< 4,9	(*)
	Caule Externo	< 0,4	< 0,4	< 0,5	< 2,2	$7,0 \pm 0,7$	< 4,2
	Raiz	$2,9 \pm 0,1$	$2,1 \pm 0,5$	$10,4 \pm 0,9$	$5,3 \pm 0,3$	14 ± 1	12 ± 1
	Substrato in natura	$13,6 \pm 1,7$	$19,5 \pm 2,1$	52 ± 9	43 ± 4	97 ± 4	53 ± 4
Fertilizante	Substrato	$17,9 \pm 2,1$	$19,4 \pm 2,2$	63 ± 13	24 ± 3	112 ± 10	63 ± 4
	20:10:20	< 0,2	< 0,2	$4,9 \pm 0,8$	< 2,2	< 4,9	< 4,2
	20:20:20	$0,9 \pm 0,2$	$1,2 \pm 0,3$	$8,2 \pm 1,8$	< 2,2	< 4,9	< 4,2

(*) Não determinado

FIGURA 5.1 – Concentração de ^{238}U , ^{234}U , ^{230}Th , ^{226}Ra , ^{210}Pb e ^{210}Po , série de decaimento do ^{238}U , em mBq.g^{-1} na variedade Burley, cultivada no IPEN e no produtor

TABELA 5.4 – Concentração de ^{232}Th e ^{228}Ra , série do ^{232}Th , em mBq.g^{-1} na variedade Burley, cultivada no IPEN e no produtor:

Amostra		mBq.g^{-1}	
		^{232}Th	^{228}Ra
Burley Produtor	Meeira	$< 1,0$	67 ± 3
	Semimeeira	$< 0,8$	103 ± 4
	Baixaiera	$1,0 \pm 0,2$	103 ± 5
	Caule Interno	$< 0,3$	49 ± 2
	Caule Externo	$< 3,0$	59 ± 6
	Raiz	$3,9 \pm 0,5$	58 ± 10
	Solo	184 ± 30	377 ± 19
Burley IPEN	Ponteira	$< 1,5$	46 ± 4
	Meeira	$< 1,0$	51 ± 5
	Semimeeira	$< 1,2$	36 ± 3
	Baixaiera	$3,0 \pm 0,6$	55 ± 5
	Caule Interno	$< 0,4$	(*)
	Caule Externo	$< 0,5$	31 ± 3
	Raiz	$5,1 \pm 0,5$	49 ± 3
	Substrato in natura	37 ± 7	65 ± 3
Fertilizante	20:10:20	$< 0,6$	$< 3,7$
	20:20:20	$< 3,4$	$< 3,7$

(*) Não determinado

FIGURA 5.2 – Concentração de ^{232}Th e ^{228}Ra , série de decaimento do ^{232}Th , em mBq.g^{-1} na variedade Burley, cultivada no IPEN e no produtor

A concentração dos radionuclídeos ^{238}U , ^{234}U , ^{230}Th e ^{232}Th apresentou resultados abaixo do limite de detecção em todas as folhas, exceto para ^{232}Th na folha baixeira do produtor, $1,0 \pm 0,2 \text{ mBq.g}^{-1}$ e nas folhas baixeira do IPEN $3,0 \pm 0,6 \text{ mBq.g}^{-1}$. Nas outras partes da planta, como os caules e as raízes, esses isótopos apresentaram valores que variaram do limite de detecção a $10,4 \pm 0,9 \text{ mBq.g}^{-1}$. Para as amostras de solo, substrato (após o cultivo) e substrato *in natura* (antes do cultivo), verifica-se que os maiores valores obtidos destes isótopos foram para a amostra de solo do produtor e os menores para as amostras de substrato *in natura*, indicando uma provável influência do fertilizante usado no cultivo. Os fertilizantes usados no cultivo do IPEN apresentaram concentrações menores que o limite de detecção ou muito inferiores às determinadas no substrato *in natura*.

A concentração do ^{226}Ra variou de $10,4 \pm 0,7 \text{ mBq.g}^{-1}$ a $16,1 \pm 0,9 \text{ mBq.g}^{-1}$ nas folhas das plantas do produtor e do limite de detecção até $3,1 \pm 0,6 \text{ mBq.g}^{-1}$ para as plantas cultivadas no IPEN. Nos caules e na raízes esse radionuclídeo apresentou valores que variaram de $11,3 \pm 0,8 \text{ mBq.g}^{-1}$ a $15,4 \pm 0,4 \text{ mBq.g}^{-1}$ e do limite de detecção até $3,1 \pm 0,6 \text{ mBq.g}^{-1}$ para as plantas do produtor e do IPEN, respectivamente. No solo do produtor, obteve-se uma concentração de $87 \pm 8 \text{ mBq.g}^{-1}$, resultado superior ao substrato das plantas do IPEN $24 \pm 3 \text{ mBq.g}^{-1}$ e $43 \pm 4 \text{ mBq.g}^{-1}$ no substrato *in natura*.

A concentração de ^{228}Ra nas plantas do produtor apresentou valores nas folhas que variaram de $67 \pm 3 \text{ mBq.g}^{-1}$ a $103 \pm 4 \text{ mBq.g}^{-1}$ e $36 \pm 3 \text{ mBq.g}^{-1}$ a $55 \pm 5 \text{ mBq.g}^{-1}$ nas plantas do IPEN. Foram obtidos valores que variaram de $49 \pm 2 \text{ mBq.g}^{-1}$ a $59 \pm 6 \text{ mBq.g}^{-1}$ e $31 \pm 3 \text{ mBq.g}^{-1}$ a $49 \pm 3 \text{ mBq.g}^{-1}$ na raiz e caule, do produtor e do IPEN, respectivamente. No solo do produtor a concentração obtida foi de $377 \pm 19 \text{ mBq.g}^{-1}$, no substrato do IPEN $119 \pm 6 \text{ mBq.g}^{-1}$ e no substrato *in natura* $65 \pm 3 \text{ mBq.g}^{-1}$.

O radionuclídeo ^{210}Pb apresentou resultados que variaram de $14 \pm 1 \text{ mBq.g}^{-1}$ a $29 \pm 2 \text{ mBq.g}^{-1}$ nas folhas das plantas do produtor e do limite de detecção até $21 \pm 3 \text{ mBq.g}^{-1}$ para a cultivada no IPEN. Nos caules e raízes, os resultados variaram de $8,0 \pm 0,7 \text{ mBq.g}^{-1}$ a $8,8 \pm 0,3 \text{ mBq.g}^{-1}$ e do limite de detecção até $14 \pm 1 \text{ mBq.g}^{-1}$ nas plantas do produtor e do IPEN,

respectivamente. No solo do produtor encontrou-se um resultado de 176 ± 16 mBq.g⁻¹, para o substrato *in natura* 97 ± 4 mBq.g⁻¹, e o substrato das plantas do IPEN 112 ± 10 mBq.g⁻¹.

A concentração de ²¹⁰Po nas plantas do produtor apresentou resultados que variaram de $7,0 \pm 0,9$ mBq.g⁻¹ a $9,9 \pm 0,4$ mBq.g⁻¹ nas folhas, e nas plantas do IPEN a variação foi do limite de detecção até 22 ± 1 mBq.g⁻¹. Os caules e raízes apresentaram valores que variaram do limite de detecção até $6,0 \pm 0,4$ mBq.g⁻¹ e também do limite de detecção a 12 ± 1 mBq.g⁻¹ para as plantas do produtor e do IPEN, respectivamente. O solo das plantas do produtor apresentou concentração de 113 ± 6 mBq.g⁻¹, o substrato *in natura* concentração de 53 ± 4 mBq.g⁻¹ e o substrato utilizado no cultivo no IPEN 63 ± 4 mBq.g⁻¹.

Pode-se observar com os resultados obtidos que a variedade Burley das plantas cultivadas pelo produtor apresentam valores superiores de concentração em relação as plantas cultivadas no IPEN, para todos os radionuclídeos analisados. Estes maiores valores sugerem uma provável influência do fertilizante usado no cultivo do produtor, uma vez que o fertilizante usado no cultivo do IPEN apresentou valores menores que o limite de detecção para os dois radionuclídeos. O estudo realizado por Saueia (2006) e Saueia et al. (2009) que caracterizaram radiologicamente o fertilizante brasileiro, corrobora com os resultados obtidos nas plantas do produtor, pois os referidos autores determinaram concentrações de até 984 ± 166 mBq.g⁻¹ para o ²³⁸U, 546 ± 29 mBq.g⁻¹ para o ²³²Th, 1034 ± 41 mBq.g⁻¹ para o ²²⁶Ra, 368 ± 14 mBq.g⁻¹ para o ²²⁸Ra, 1255 ± 114 mBq.g⁻¹ para o ²¹⁰Pb e 757 ± 50 mBq.g⁻¹ para o ²¹⁰Po no fertilizante nacional.

Os radionuclídeos ²²⁸Ra e ²¹⁰Po apresentaram valores crescentes nas folhas mais próximas do solo, o que sugere, mais uma vez, a influência do fertilizante. O ²¹⁰Pb apresentou maiores valores nas folhas superiores, o que indicaria a deposição atmosférica do mesmo nas folhas, além da contribuição do solo.

5.7.2 Variedade Virgínia

Na TAB. 5.5 e FIG. 5.3 são apresentados os resultados obtidos de concentração, em mBq.g^{-1} , dos radionuclídeos da série de decaimento do ^{238}U na variedade Virgínia, cultivada no IPEN e do produtor, e na TAB. 5.6 e FIG. 5.4 são apresentados os resultados obtidos de concentração, em mBq.g^{-1} , dos radionuclídeos da série de decaimento do ^{232}Th , nas plantas cultivadas no IPEN e do produtor:

TABELA 5.5 – Concentração de ^{238}U , ^{234}U , ^{230}Th , ^{226}Ra , ^{210}Pb e ^{210}Po , série do ^{238}U , em mBq.g^{-1} na variedade Virgínia, cultivada no IPEN e do produtor.

Amostra		mBq.g^{-1}					
		^{238}U	^{234}U	^{230}Th	^{226}Ra	^{210}Pb	^{210}Po
Virgínia Produtor	Meeira	< 0,3	< 0,3	< 2,7	$5,0 \pm 0,2$	12 ± 1	$5,7 \pm 0,5$
	Semimeeira	< 0,2	< 0,2	< 3,8	9 ± 1	29 ± 1	$5,2 \pm 0,4$
	Baixaiera	< 0,6	< 0,6	< 3,3	10 ± 1	28 ± 3	18 ± 1
	Caule Interno	< 0,2	< 0,2	< 3,0	27 ± 2	10 ± 1	$4,6 \pm 0,4$
	Caule Externo	< 0,3	< 0,3	$3,3 \pm 0,6$	9 ± 2	$7,9 \pm 0,1$	$14,7 \pm 1,9$
	Raiz	$5,5 \pm 0,5$	$4,2 \pm 0,4$	$5,4 \pm 0,5$	13 ± 2	29 ± 1	$17,4 \pm 0,5$
	Solo	40 ± 2	40 ± 2	58 ± 6	96 ± 8	185 ± 10	123 ± 8
Virgínia IPEN	Ponteira	< 0,4	< 0,4	< 1,0	$3,5 \pm 0,6$	11 ± 1	< 4,2
	Meeira	< 0,4	< 0,4	< 0,7	$6,1 \pm 0,9$	17 ± 1	$5,0 \pm 0,4$
	Semimeeira	< 0,5	< 0,5	< 0,6	$3,7 \pm 0,5$	17 ± 1	$7,6 \pm 0,7$
	Baixaiera	< 0,3	< 0,3	< 1,1	$5,1 \pm 0,9$	24 ± 3	$10,0 \pm 0,6$
	Caule Interno	< 0,2	< 0,2	< 1,1	$2,4 \pm 0,2$	$8,3 \pm 1,4$	< 4,2
	Caule Externo	< 0,6	< 0,6	< 0,7	$2,6 \pm 0,3$	$5,2 \pm 0,6$	< 4,2
	Raiz	$2,8 \pm 0,1$	$2,4 \pm 0,6$	$1,8 \pm 0,3$	$3,3 \pm 0,2$	13 ± 1	$4,6 \pm 0,6$
	Substrato in natura	$9,9 \pm 1,4$	$10,4 \pm 1,4$	$6,4 \pm 0,8$	24 ± 3	97 ± 4	31 ± 3
	Substrato	$12,6 \pm 0,9$	$13,0 \pm 1,0$	$7,3 \pm 0,9$	$8,6 \pm 0,6$	44 ± 7	40 ± 3
Fertilizante	20:10:20	< 0,2	< 0,2	$4,9 \pm 0,8$	< 2,2	< 4,9	< 4,2
	20:20:20	$0,9 \pm 0,2$	$1,2 \pm 0,3$	$8,2 \pm 1,8$	< 2,2	< 4,9	< 4,2

FIGURA 5.3 – Concentração de ^{238}U , ^{234}U , ^{230}Th , ^{226}Ra , ^{210}Pb e ^{210}Po , série do ^{238}U , em mBq.g^{-1} na variedade Virgínia, cultivada no IPEN e do produtor

TABELA 5.6 – Concentração de ^{232}Th e ^{228}Ra , série do ^{232}Th , em mBq.g^{-1} na variedade Virgínia, cultivada no IPEN e do produtor.

Amostra		mBq.g^{-1}	
		^{232}Th	^{228}Ra
Virgínia Produtor	Meeira	$< 2,7$	62 ± 3
	Semimeeira	$< 3,8$	54 ± 7
	Baixaiera	$< 3,3$	77 ± 3
	Caule Interno	$< 3,0$	122 ± 11
	Caule Externo	$< 0,8$	51 ± 2
	Raiz	$6,5 \pm 0,5$	85 ± 3
	Solo	50 ± 6	240 ± 12
Virgínia IPEN	Ponteira	$< 1,0$	58 ± 3
	Meeira	$< 0,7$	63 ± 3
	Semimeeira	$< 0,6$	47 ± 2
	Baixaiera	$< 1,1$	52 ± 3
	Caule Interno	$< 1,1$	25 ± 1
	Caule Externo	$< 0,7$	29 ± 3
	Raiz	$1,4 \pm 0,3$	40 ± 2
	Substrato in natura	$8,5 \pm 1,1$	64 ± 4
Fertilizante	Substrato	$9,4 \pm 1,1$	162 ± 8
	20:10:20	$< 0,6$	$< 3,7$
	20:20:20	$< 3,4$	$< 3,7$

FIGURA 5.4 – Concentração de ^{232}Th e ^{228}Ra , série do ^{232}Th , em mBq.g^{-1} na variedade Virgínia, cultivada no IPEN e no produtor

Para os isótopos de U e Th, os valores obtidos nas folhas variaram do limite de detecção até $1,0 \pm 0,2 \text{ mBq.g}^{-1}$ para as plantas do produtor e nas plantas cultivadas no IPEN esses resultados apresentaram valores abaixo do limite de detecção da metodologia. Nos caules e raízes, os resultados variaram do limite de detecção até $5,5 \pm 0,5 \text{ mBq.g}^{-1}$ e do limite de detecção até $6,5 \pm 0,5 \text{ mBq.g}^{-1}$ para as plantas do produtor e IPEN, respectivamente. A concentração obtida para os isótopos de U e Th no solo variou de $40 \pm 2 \text{ mBq.g}^{-1}$ a $58 \pm 6 \text{ mBq.g}^{-1}$, no substrato *in natura* variou de $6,4 \pm 0,8 \text{ mBq.g}^{-1}$ a $10,4 \pm 1,4 \text{ mBq.g}^{-1}$ e substrato usado no cultivo do IPEN de $7,3 \pm 0,9 \text{ mBq.g}^{-1}$ a $13,0 \pm 0,1 \text{ mBq.g}^{-1}$.

A concentração de ^{226}Ra nas folhas das plantas do produtor e do IPEN, variaram de $5,0 \pm 0,2 \text{ mBq.g}^{-1}$ a $10 \pm 1 \text{ mBq.g}^{-1}$ e $3,5 \pm 0,6 \text{ mBq.g}^{-1}$ a $6,1 \pm 0,9 \text{ mBq.g}^{-1}$, respectivamente. Para os caules e raízes das plantas do produtor e do IPEN as concentrações variaram de $9 \pm 2 \text{ mBq.g}^{-1}$ a $27 \pm 2 \text{ mBq.g}^{-1}$ e de $2,4 \pm 0,2 \text{ mBq.g}^{-1}$ a $3,3 \pm 0,2 \text{ mBq.g}^{-1}$, respectivamente. No solo obteve-se o resultado de $96 \pm 8 \text{ mBq.g}^{-1}$, no substrato *in natura* $24 \pm 3 \text{ mBq.g}^{-1}$ e substrato usado no cultivo do IPEN $8,6 \pm 0,6 \text{ mBq.g}^{-1}$.

A concentração de ^{228}Ra nas folhas das plantas do produtor e do IPEN, variaram de $54 \pm 7 \text{ mBq.g}^{-1}$ a $77 \pm 3 \text{ mBq.g}^{-1}$ e $47 \pm 2 \text{ mBq.g}^{-1}$ a $63 \pm 3 \text{ mBq.g}^{-1}$ respectivamente. Para os caules e raízes das plantas do produtor e do IPEN as concentrações variaram de $51 \pm 2 \text{ mBq.g}^{-1}$ a $122 \pm 11 \text{ mBq.g}^{-1}$ e $25 \pm 1 \text{ mBq.g}^{-1}$ a $40 \pm 2 \text{ mBq.g}^{-1}$, respectivamente. O solo do produtor apresentou concentração de $240 \pm 12 \text{ mBq.g}^{-1}$, o substrato *in natura* $64 \pm 4 \text{ mBq.g}^{-1}$ e substrato usado no cultivo do IPEN $162 \pm 8 \text{ mBq.g}^{-1}$.

O radionuclídeo ^{210}Pb foi determinado nas folhas com concentrações que variaram de $12 \pm 1 \text{ mBq.g}^{-1}$ a $29 \pm 1 \text{ mBq.g}^{-1}$ nas plantas do produtor e $11 \pm 1 \text{ mBq.g}^{-1}$ a $24 \pm 3 \text{ mBq.g}^{-1}$ nas plantas do IPEN. Nos caules e raízes das plantas do produtor e do IPEN as concentrações variaram de $7,9 \pm 0,1 \text{ mBq.g}^{-1}$ a $29 \pm 1 \text{ mBq.g}^{-1}$ e $5,2 \pm 0,6 \text{ mBq.g}^{-1}$ a $13 \pm 1 \text{ mBq.g}^{-1}$, respectivamente. O solo apresentou concentração de $185 \pm 10 \text{ mBq.g}^{-1}$, o substrato *in natura* $97 \pm 4 \text{ mBq.g}^{-1}$ e substrato usado no cultivo do IPEN de $44 \pm 7 \text{ mBq.g}^{-1}$.

A concentração de ^{210}Po nas folhas das plantas do produtor e do IPEN, variaram de $5,2 \pm 0,4 \text{ mBq.g}^{-1}$ a $18 \pm 1 \text{ mBq.g}^{-1}$ e do limite de detecção até $7,6 \pm 0,7 \text{ mBq.g}^{-1}$, respectivamente. Nos caules e raízes das plantas do produtor e do IPEN as concentrações variaram de $4,6 \pm 0,4 \text{ mBq.g}^{-1}$ a $17,4 \pm 0,5 \text{ mBq.g}^{-1}$ e do limite de detecção a $10,0 \pm 0,6 \text{ mBq.g}^{-1}$, respectivamente. O solo do produtor apresentou, para esta radionuclídeo, concentração de $123 \pm 8 \text{ mBq.g}^{-1}$ valor superior ao encontrado no substrato *in natura* $31 \pm 3 \text{ mBq.g}^{-1}$ e substrato usado no cultivo do IPEN $40 \pm 3 \text{ mBq.g}^{-1}$.

Como observado na variedade Burley, a variedade Virgínia das plantas cultivadas pelo produtor apresentou valores superiores de concentração em relação as plantas cultivadas no IPEN, para todos os radionuclídeos analisados, o que sugere também uma provável influência do fertilizante usado no cultivo pelo produtor, como explicado anteriormente na variedade Burley.

Observou-se também nesta variedade que os resultados obtidos nas folhas apresentaram valores crescentes das folhas ponteira para baixeira, o que sugere, mais uma vez, a influência do fertilizante devido provavelmente à proximidade das mesmas com o solo e as raízes.

5.7.3 Comparação entre as Variedade Burley e Virgínia

Comparando-se as duas variedades cultivadas pelo produtor, observa-se que os maiores valores encontrados foram para a variedade Virgínia, na maioria das amostras analisadas, conforme apresentado na TAB 5.7 e FIG. 5.5 para a série de decaimento do ^{238}U , e TAB 5.8 e FIG 5.6, para a série de decaimento do ^{232}Th .

TABELA 5.7 – Concentração de ^{238}U , ^{234}U , ^{230}Th , ^{226}Ra , ^{210}Pb e ^{210}Po , série do ^{238}U , em mBq.g^{-1} nas variedades Burley e Virgínia, cultivadas do produtor.

Amostra		mBq.g^{-1}					
		^{238}U	^{234}U	^{230}Th	^{226}Ra	^{210}Pb	^{210}Po
Burley Produtor	Meeira	< 0,3	< 0,3	< 1,0	$16,1 \pm 0,9$	29 ± 2	$7,0 \pm 0,9$
	Semimeeira	< 0,6	< 0,6	< 0,8	$10,4 \pm 0,7$	18 ± 1	$8,3 \pm 0,7$
	Baixaiera	< 0,3	< 0,3	< 0,8	$12,1 \pm 0,6$	14 ± 1	$9,9 \pm 0,4$
	Caule Interno	< 0,1	< 0,1	< 0,3	$15,4 \pm 0,4$	$8,0 \pm 0,7$	$1,0 \pm 0,1$
	Caule Externo	< 0,6	< 0,6	< 3,0	$13,2 \pm 0,3$	(*)	$3,0 \pm 0,2$
	Raiz	$2,3 \pm 0,3$	$1,6 \pm 0,4$	$4,6 \pm 0,6$	$11,3 \pm 0,8$	$8,8 \pm 0,3$	$6,0 \pm 0,4$
	Solo	$44,4 \pm 3,4$	$42,5 \pm 3,3$	149 ± 25	87 ± 8	176 ± 16	113 ± 6
Virgínia Produtor	Meeira	< 0,3	< 0,3	< 2,7	$5,0 \pm 0,2$	12 ± 1	$5,7 \pm 0,5$
	Semimeeira	< 0,2	< 0,2	< 3,8	9 ± 1	29 ± 1	$5,2 \pm 0,4$
	Baixaiera	< 0,6	< 0,6	< 3,3	10 ± 1	28 ± 3	18 ± 1
	Caule Interno	< 0,2	< 0,2	< 3,0	27 ± 2	10 ± 1	$4,6 \pm 0,4$
	Caule Externo	< 0,3	< 0,3	$3,3 \pm 0,6$	9 ± 2	$7,9 \pm 0,1$	$14,7 \pm 1,9$
	Raiz	$5,5 \pm 0,5$	$4,2 \pm 0,4$	$5,4 \pm 0,5$	13 ± 2	29 ± 1	$17,4 \pm 0,5$
	Solo	40 ± 2	40 ± 2	58 ± 6	96 ± 8	185 ± 10	123 ± 8

(*) Não determinado

FIGURA 5.5 – Concentração de ^{238}U , ^{234}U , ^{230}Th , ^{226}Ra , ^{210}Pb e ^{210}Po , série do ^{238}U , em mBq.g^{-1} nas variedades Burley e Virgínia, cultivadas no produtor.

TABELA 5.8 – Concentração de ^{232}Th e ^{228}Ra , membros de decaimento da série do ^{232}Th , em mBq.g^{-1} nas variedades Burley e Virgínia, cultivadas no produtor.

Amostra		mBq.g^{-1}	
		^{232}Th	^{228}Ra
Burley Produtor	Meeira	$< 1,0$	67 ± 3
	Semimeeira	$< 0,8$	103 ± 4
	Baixaiera	$1,0 \pm 0,2$	103 ± 5
	Caule Interno	$< 0,3$	49 ± 2
	Caule Externo	$< 3,0$	59 ± 6
	Raiz	$3,9 \pm 0,5$	58 ± 10
	Solo	184 ± 30	377 ± 19
Virgínia Produtor	Meeira	$< 2,7$	62 ± 3
	Semimeeira	$< 3,8$	54 ± 7
	Baixaiera	$< 3,3$	77 ± 3
	Caule Interno	$< 3,0$	122 ± 11
	Caule Externo	$< 0,8$	51 ± 2
	Raiz	$6,5 \pm 0,5$	85 ± 3
	Solo	50 ± 6	240 ± 12

FIGURA 5.6 – Concentração de ^{232}Th e ^{228}Ra , membros de decaimento da série do ^{232}Th , em mBq.g^{-1} nas variedades Burley e Virgínia, cultivadas no produtor.

Savidou *et al.* (2006) analisando folhas de tabaco de várias regiões da Grécia obtiveram valores que variaram de $7,3 \pm 0,8 \text{ mBq.g}^{-1}$ a $18 \pm 3,4 \text{ mBq.g}^{-1}$ e $3,6 \pm 0,2 \text{ mBq.g}^{-1}$ a $17,0 \pm 1,1 \text{ mBq.g}^{-1}$ para ^{210}Pb e ^{210}Po , respectivamente; verifica-se que os valores encontrados no presente trabalho para estes radionuclídeos encontram-se na mesma faixa de concentração dos referidos autores.

Skwarzec *et al.* (2001) analisando ^{210}Po em folhas de tabaco secas da região da Polônia, encontrou valores que variaram de $10,4 \pm 0,4 \text{ mBq.g}^{-1}$ a $35,0 \pm 1,6 \text{ mBq.g}^{-1}$. Os resultados apresentados no presente trabalho, encontram-se na mesma faixa de concentração obtida pelos autores.

Godoy *et al.* (1992) analisando ^{226}Ra , ^{210}Pb e ^{210}Po em folhas de tabaco brasileiro, encontrou concentrações de $8,4 \pm 4,1 \text{ mBq.g}^{-1}$, $23,9 \pm 9,9 \text{ mBq.g}^{-1}$ e $22,0 \pm 5,6 \text{ mBq.g}^{-1}$, respectivamente. As concentrações obtidas para folhas de tabaco analisadas no presente trabalho foram da mesma ordem de grandeza que os resultados apresentados pelos referidos autores.

Os valores encontrados para as concentrações de ^{210}Pb e ^{210}Po nas folhas do produtor foram também da mesma ordem de grandeza que Peres (1999) determinou para os mesmos radionuclídeos em cigarros fabricados no Brasil, os quais variaram de $11,9 \pm 2,1 \text{ mBq.g}^{-1}$ a $30,2 \pm 2,2 \text{ mBq.g}^{-1}$ para o radionuclídeo ^{210}Pb e $10,9 \pm 2,2 \text{ mBq.g}^{-1}$ a $26,2 \pm 2,2 \text{ mBq.g}^{-1}$ para o ^{210}Po .

5.8 Fator de transferência

O fator de transferência, F_t em %, é uma relação que determina a quantidade de determinado radionuclídeo presente no solo transferida para as plantas, ou partes da planta, e é determinado conforme a expressão (5.8), Mheemed *et al.* (2014).

$$F_t = \frac{\text{atividade do radionuclídeo na planta}}{\text{atividade do radionuclídeo no solo}} \times 100 \quad (5.8)$$

Este parâmetro não pode ser calculado para os radionuclídeos ^{238}U , ^{234}U , ^{232}Th e ^{230}Th , devido ao fato de a maioria destes apresentarem concentração somente no solo ou substrato, e apresentarem concentração menor que limite de detecção nas outras partes das plantas, o que permite concluir que estes radionuclídeos não são transferidos para as plantas.

Na TAB 5.9 e FIG 5.7 são apresentados os fatores de transferência, em %, para os radionuclídeos ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{210}Pb e ^{210}Po , nas variedades Burley e Virgínia cultivadas pelo produtor.

Pode-se observar que os maiores valores do fator de transferência calculados foram para o ^{228}Ra , devido às maiores concentrações obtidas para este radionuclídeo em todas as partes das plantas. Os valores do fator de transferência para os radionuclídeos ^{226}Ra , ^{210}Pb e ^{210}Po foram maiores na variedade Virgínia em relação à variedade Burley, na maior parte das plantas. O ^{226}Ra e ^{210}Po apresentaram maiores valores nas folhas inferiores, na variedade Virgínia, provavelmente devido à proximidade com o solo.

TABELA 5.9 – Fator de transferência, em %, para os radionuclídeos ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{210}Pb e ^{210}Po , nas variedades Burley e Virgínia cultivadas pelo produtor.

Amostra		Fator de transferência (%)			
		^{226}Ra	^{228}Ra	^{210}Pb	^{210}Po
Burley Produtor	Meeira	18,5	17,8	16,5	6,2
	Semimeeira	12,0	27,3	10,2	7,3
	Baixaiera	13,9	27,3	8,0	8,8
	Caule Interno	17,7	13,0	4,5	(*)
	Caule Externo	15,2	15,6	(*)	(*)
	Raiz	13,0	15,4	5,0	5,3
Virgínia Produtor	Meeira	5,2	25,8	6,5	4,7
	Semimeeira	9,4	22,5	15,7	4,3
	Baixaiera	10,4	32,1	15,1	14,8
	Caule Interno	28,1	50,8	5,4	3,8
	Caule Externo	9,4	21,3	4,3	12,0
	Raiz	13,5	35,4	15,7	14,3

(*) Não determinado

FIGURA 5.7 – Fator de transferência, em %, para os radionuclídeos ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{210}Pb e ^{210}Po , nas variedades Burley e Virgínia cultivadas pelo produtor.

6 CONCLUSÃO

O presente trabalho determinou a concentração dos radionuclídeos naturais ^{238}U , ^{234}U , ^{230}Th , ^{226}Ra , ^{210}Pb e ^{210}Po da série do ^{238}U e ^{232}Th , ^{228}Ra da série do ^{232}Th nas variedades Burley e Virginia da *Nicotiana tabacum* L., provenientes de produtores da região sul do Brasil, utilizadas na fabricação do cigarro brasileiro. Estes radionuclídeos foram também determinados nestas mesmas variedades em plantas cultivadas no IPEN com o objetivo de se verificar a provável absorção, pelas plantas dos produtores, de defensivos agrícolas e fertilizantes utilizados no cultivo e que possivelmente poderiam contribuir ou alterar a concentração dos radionuclídeos estudados e que poderiam ainda serem transferidos aos produtos finais.

As técnicas analíticas empregadas se mostraram bastantes satisfatórias e sensíveis para a determinação de todos os radionuclídeos estudados no trabalho.

Os isótopos de U e Th determinados nas plantas apresentaram resultados menores que o limite de detecção da metodologia para as folhas das duas variedades e nos dois locais de cultivo, entretanto foram determinados nos solos e substratos, devido provavelmente ao fertilizante utilizado no cultivo.

Os radionuclídeos ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{210}Pb e ^{210}Po foram determinados na grande maioria das partes das plantas, sendo os maiores valores obtidos para o radionuclídeo ^{228}Ra , devido também a uma provável influência do fertilizante usado no cultivo pelo produtor.

Verificou-se que o radionuclídeo ^{210}Pb apresentou os maiores valores nas folhas inferiores da variedade Virginia do produtor e da cultivada no IPEN e também na variedade Burley cultivado no IPEN indicando uma possível deposição atmosférica deste radionuclídeo, pois estas folhas possuem uma maior área quando comparada com as folhas superiores.

O fator de transferência do solo para a planta foi calculado para os radionuclídeos ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{210}Pb e ^{210}Po e os maiores valores calculados foram para o ^{228}Ra , devido às maiores concentrações obtidas para este radionuclídeo em todas as partes das plantas, nas duas variedades. Os valores do fator de transferência foram maiores na variedade Virgínia em relação à variedade Burley, na maior parte das plantas.

As plantas cultivadas no IPEN apresentaram valores inferiores de concentração dos radionuclídeos analisados quando comparados com as plantas cultivadas pelo produtor, pois estas foram cultivadas em potes com substrato orgânico e adição de fertilizante, que apresentou também baixas concentrações dos radionuclídeos estudados. Baseados em dados da literatura nacional que estudou o fertilizante brasileiro, sugere-se, para as plantas do produtor, que o fertilizante exerce uma grande influência na concentração dos radionuclídeos estudados.

As plantas da variedade Virgínia apresentaram, no geral, valores superiores de concentração dos radionuclídeos estudados em relação às plantas da variedade Burley, sugerindo que a maior capacidade de absorver radionuclídeos pode ser atribuída à variedade Virgínia.

7 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho teve por objetivo caracterizar radiologicamente as variedades Burley e Virgínia da *Nicotiana tabacum* L. de produtores da região sul do Brasil, pesquisa inédita no país para os radionuclídeos determinados. Observou-se que o fertilizante pode influenciar as concentrações dos radionuclídeos estudados na planta, aumentando a sua concentração. Assim, sugere-se para trabalhos futuros, o estudo detalhado do processo de transferência dos radionuclídeos estudados neste trabalho, do fertilizante para a planta e qual parte da planta, folha, caule ou raiz, absorve maior quantidade desses radionuclídeos.

REFERÊNCIAS

- 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.
- 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.
- ALBANDAR, J. M.; STRECKFUS, C. F.; ADESANYA, M. R.; WINN, D. M. **Cigar, pipe, and cigarette smoking as risk factors for periodontal disease and tooth loss**. J. Periodontol. v. 7, 1874-1881, 2000.
- ARNSON, Y.; SHOENFELD, Y.; AMITAL, H. **Effects of tobacco smoke on immunity, inflammation and autoimmunity**. Journal of Autoimmunity. v. 34, J258-J265, 2010.
- ABIFUMO ,Associação Brasileira das Indústrias do Fumo. **Produção de Fumo**, Disponível em: www.abifumo.org.br/produ.htm. Acesso em 25/07/2011.
- BEN SAADA, H. **Le narguilé et ses effets sur la santé. Partie I : le narguilé, description générale et propriétés**. Revue de Pneumologie Clinique. v. 65, p. 369-375, 2009.
- CUNHA, G. H.; JORGE, A. R. C.; FONTELES, M. M. F.; SOUSA, F. C. F.; VIANA, G. S. B.; VASCONCELOS, S. M. M. **Nicotina e tabagismo**. Revista Eletrônica Pesquisa Médica, v. 1, n.4, p. 1-10, 2007.
- DAMATTO, S. R.; LEONARDO, L.; MAZZILLI, B. **Monitoring anthropogenic airborne ^{210}Pb and ^{210}Po in the vicinity of a TENORM industry using lichen as bio-indicator**. International Topical Conference on Po and Radioactive Pb isotopes, Sevilla, v. 1. p. 53-59, 2009.
- DIAS, O. M. & TURATO, E. R. **Cigarette smoker's views on their habit and the causes of their illness following lung cancer diagnosis: a clinical-qualitative study**. Sao Paulo, Med. J., v. 124, n. 3, p. 125-129, 2006.
- DJORDJEVIC, M. V.; STELLMAN, S. D.; ZANG, E. **Doses of nicotine and lung carcinogens delivered to cigarette smokers**. J. National Cancer Inst. v. 92, n.2, p. 106-111, 2000.

FIGGINS, P.E. **The Radiochemistry of Polonium**, 1.ed, National Academy of Sciences, Washington, 1961.

GIBSON, W. M. **The Radiochemistry of Lead**, 1.ed, National Academy of Sciences, Washington, 1961.

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

GRINDLER, J.F. **The Radiochemistry of Uranium**, 1.ed, National Academy of Sciences, Washington, 1962.

HENLEY, S. J.; THUN, M. J.; CHAO, A.; CALLE, E. E. **Association between exclusive pipe smoking and mortality from cancer and other diseases**. J. National Cancer Inst. v. 96, n.11, 853-861, 2004.

HYDE, E. K. **The Radiochemistry of Thorium**, 1.ed, National Academy of Sciences, Washington, 1960.

IBCC, Instituto Brasileiro de Controle do Câncer, **Agentes Cancerígenos, Tabagismo**, Disponível em <http://www.ibcc.org.br/duvida/agentes-cancerigenos/tabagismo/1/5/> . Acesso em 13/04/2015.

INCA, Instituto Nacional Do Câncer, **O controle do Tabagismo no Brasil**. Disponível em: www.inca.gov.br/prevenção/tabagismo/control_br.html. Acesso em 01/08/2011.

KHATER, A.E.M. **Polonium-210 budget in cigarettes**. J. Environ. Radioactivity, v. 71, p 33-41, 2004.

KHATER, A. E. M.; ABD EL-AZIZ, N. S.; AL-SEWAIDAN, H. A.; CHAOUACHI, K. **Radiological hazards of Narghile (hookah, shisha, goza) smoking: activity concentrations and dose assessment**. J. Environ. Radioactivity. v. 99, 1808–1814, 2008.

KELECOM A.; GOUVEA R.C.S.; SANTOS P.L.; **Levels of Po-210 and Pb-210 in cigars**. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, v.253, n. 1, p. 129-133, 2002.

KIRBY, H.W.; SALUTSKY, M.L. **The Radiochemistry of Radium**, 1.ed, National Academy of Sciences, Virginia, 1964.

LEONARDO, L.; DAMATTO, S. R.; GIOS, B. R.; MAZZILLI, B. P. **Lichen specie *Canoparmelia texana* as bioindicator of environmental impact from the phosphate fertilizer industry of São Paulo, Brazil.** J. Radioan. Nuclear Chem. v. 299, p. 1935-1941, 2013.

MEDEIROS, C. V.; **Seleção artificial para resistência à murcha bacteriana (*Ralstonia Solanacearum*) em fumo (*Nicotiana tabacum* L.).** Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2005.

MHEEMEED, A.K; NAJAM, L.A; HUSSEIN A.K.; **Transfer factors of 40 K, 226 Ra, 232 Th from soil to different types of local vegetables, radiation hazard indices and their annual doses.** Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, V. 302, p. 87-96, 2014

MOELLER, D. W. & SUN, L-S. C. **Chemical and radioactive carcinogens in cigarettes: associated health impact and responses of the tobacco industry,** U.S. congress, and Federal Regulatory Agencies. Healthy Physics. v. 99, n. 5, p. 674-679, 2010.

MOREIRA, S. R. D. **Determinação de ^{210}Pb em águas minerais da cidade de águas da prata.** Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear - Aplicações) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

OLIVEIRA, J. **Determinação de ^{226}Ra ^{228}Ra em águas minerais da região de águas da prata,** Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear - Aplicações) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

PERES, A.C. **Determinação de ^{210}Pb e ^{210}Po em tabaco de cigarros nacionais** Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear - Aplicações) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

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.** Quimica Nova, v. 34, n. 1, 53-58, 2011.

RAMOS, G. F. **Determinação de isótopos de urânio, tório e polônio em perfis de sedimento da Baixada Santista, SP.** (Mestrado em Tecnologia

Nuclear - Aplicações) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

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, n.1, p. 109-113, 2012.

SAUEIA, C. H. R.; MAZZILLI, B. P.; TADDEI, M. H. **Sequential radioanalytical method for the determination of U and Th isotopes, ^{226}Ra and ^{210}Po using alpha spectrometry in samples of the Brazilian phosphate industry.** Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry (Print), v. 281, p. 201-204, 2009.

SAUEIA, C. H. R. **Distribuição elementar e de radionuclídeos na produção e uso de fertilizantes fosfatados no Brasil.** Tese (Doutorado em Tecnologia Nuclear - Aplicações) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006

SAVIDOU, A.; KEHAGIA, K.; ELEFITHERIADS, K. **Concentration levels of ^{210}Pb and ^{210}Po in dry tobacco leaves in Greece.** J. Environ. Radioactivity, 2006

Sinditabaco, Sindicato das indústrias do fumo. Disponível em: www.sindifumo.com.br Acesso em 25/07/2011

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

UNDERNER, M.; MAES, I.; URBAN. T.; MEURICE, J. C. **Effets du tabac sur la maladie parodontale.** Rev Mal Respir. v. 26, p. 1057-73, 2009.

UNSCEAR, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. **Sources Effects and Risks of Ionizing Radiation.** Report to the General Assembly. United Nations, New York, NY, 2000.

VIEGAS, C. A. A.; **Formas não habituais de uso do tabaco.** J Bras Pneumol. v. 34, n. 12, p. 1069-1073, 2008.