
RADIOATIVIDADE NATURAL EM SOLOS CANAVIEIROS DO ESTADO DE SÃO PAULO

Elisabete A. de Nadai Fernandes

Epaminondas S.B.Ferraz

Helder de Oliveira

Pesquisadores do Centro de Energia Nuclear na Agricultura

Seção de Radioisótopos - USP - Piracicaba

RESUMO: *O estudo da radioatividade natural de solos cultivados com cana-de-açúcar, sob intensivas práticas de manejo, como aplicação de fertilizantes fosfatados e corretivos como calcáreo e gesso foi efetuado com vistas à avaliação do acúmulo de radionuclídeos provenientes dessas fontes.*

Palavras chaves: *Radioatividade de solos, solos sob cana-de-açúcar*

ABSTRACT: *The study of natural radioactivity in soils covered by sugarcane fields, under intensive agricultural use, with phosphated fertilizers, limestones and gypsum addition, had as its aim the assessment of radionuclides accumulation in these soils.*

Key words: *Soil radioactivity, soils under sugarcane*

1. INTRODUÇÃO

A radioatividade está sempre presente no ambiente, atingindo o homem pelas radiações emanadas do solo, paredes, objetos que o rodeiam e, indiretamente, por contaminação interna, via cadeia alimentar ou aparelho respiratório. Essa radioatividade ambiental é devida a radionúcleos cosmogênicos, continuamente depositados na superfície terrestre, antropogênicos, incorporados cada vez mais nos tempos modernos, e de origem geológica, que datam da formação do Universo. De um modo geral, não chega a causar preocupação, por se tratar de uma taxa a que o homem e os seres vivos estão adaptados.

A principal fonte de radioatividade no solo é de origem geológica, com predominância para as séries naturais do urânio e do tório e, raramente, a série do actínio, além da presença constante do ^{40}K . Com exceção de solos provenientes de sítios geológicos onde afloram minerais de urânio e tório, a radioatividade dos solos do Estado de São Paulo não é significativamente diferente da média mundial. (OLIVEIRA, 1988).

O isótopo radioativo tem comportamento químico similar ao estável, participando dos mesmos processos químicos e bioquímicos no sistema solo-planta e na cadeia alimentar. Em termos de saúde

humana, no que concerne à ingestão de produtos agrícolas, é importante o conhecimento da concentração de cada radionuclídeo no solo e sua respectiva taxa de transferência para a planta.

Na cultura da cana-de-açúcar, fertilizantes fosfatados, calcário e gesso são insumos usados em quantidades consideráveis. Os fertilizantes fosfatados nacionais, obtidos a partir de minérios apatíticos, são geralmente ricos em radionuclídeos das séries naturais do ^{238}U e ^{232}Th , ambos de alta periculosidade, por emitirem radiações alfa, beta e gama e liberarem o gás radônio (ROESSLER et alii, 1983). É comum o uso direto do minério natural, devido ao alto teor de P_2O_5 , sendo apenas moído e incorporado ao solo. Nesse caso, são usadas rochas fosfatadas de Araxá, Olinda, Flórida e Jacupiranga, em doses de 30 a 100 kg/ha.ano de P_2O_5 (PENATTI et alii, 1986). Algumas dessas rochas apresentam concentrações elevadas de urânio e tório e seu uso contínuo pode provocar aumento da radioatividade ambiental. Amostras comerciais de fosfato natural, a maioria de origem brasileira, apresentam teores de ^{226}Ra entre 70 a 3180 Bq.kg $^{-1}$, além de altas concentrações de ^{232}Th , variando de 33,6 a 1450 Bq.kg $^{-1}$ (PESSENDA et alii, 1988).

A calagem é uma prática comum na cultura

canavieira para corrigir os problemas causados pela perda da lixiviação de bases trocáveis e pelos altos teores de alumínio e manganês. Para a correção da acidez usam-se o calcário dolomítico e o gesso industrial. O calcário moído é aplicado diretamente ao solo, na proporção de 1 a 5 toneladas por hectare. Contudo, a atividade específica desse material é baixa, 7,7 e 43 Bq.kg⁻¹ de ²³²Th e ²²⁶Ra, respectivamente (OLIVEIRA et alii, 1989). O fosfogesso é um subproduto do processo de fabricação do ácido fosfórico, podendo apresentar elevados índices de radioatividade, como 130 Bq.kg⁻¹ de ²³²Th e 987 Bq.kg⁻¹ de ²²⁶Ra (PESSENDA et alii, 1988). Por sua atividade química com o cálcio, o ²²⁶Ra é encontrado em maiores proporções no calcário natural do que os descendentes da série do tório.

O presente trabalho tem por objetivo quantificar a radioatividade natural de solos intensivamente cultivados com cana-de-açúcar no Estado de São Paulo, evidenciando possíveis contaminações decorrentes de práticas agrícolas.

2. MATERIAL E MÉTODO

Para este estudo foi escolhida uma região canavieira tradicional do Estado de São Paulo, situada no quadrilátero entre as latitudes 21°30'S e 23°30'S e as longitudes 47°W e 48°W. Em dez localidades foram coletadas amostras do horizonte superficial de solos cultivados com a mesma variedade de cana, SP70-1143, sem cobertura morta. Esses solos foram escolhidos por suas características morfológicas e texturais distintas e por serem representativos da região (FERNANDES, 1988). Foram também coletadas amostras de um perfil de terra roxa estruturada, Série Luiz de Queiroz, solo não cultivado, predominante no município de Piracicaba. Para efeito comparativo, foram utilizadas amostras de outras regiões do Brasil.

As amostras foram pulverizadas até atingir granulometria de 16 mesh, homogeneizadas e secas a 105°C, sendo acondicionadas em recipientes plásticos cilíndricos de 300 cm³, próprios para detecção, e compactadas a densidades aparentes em torno de 1,1 a 1,2 g.cm⁻³. Os recipientes foram lacrados com silicone e armazenados por período mínimo de 30 dias, para se estabelecer o equilíbrio secular nas séries naturais do ²²⁶Ra e ²³²Th (MISHRA & SADASIVAN, 1971).

A detecção da radioatividade foi efetuada por espectrometria gama de alta resolução, usando-se um detector de germânio de 65 cm³ acoplado a analisador de pulsos multicanal com sistema informatizado de identificação de espectros. O tempo de detecção de cada amostra variou entre 15 e 72 horas, suficiente para o acúmulo de eventos estatisticamente aceitáveis.

Para caracterizar a série do urânio foi determinada a atividade do ²²⁶Ra, através de seus descendentes ²¹⁴Pb (fotopicos de energia 295,09 e 351,87 keV) e ²¹⁴Bi (609,31 e 1120,27 keV). A série do tório foi caracterizada pelo ²³²Th, determinado pelos descendentes ²¹²Pb (238,58 keV), ²¹²Bi (727,25 keV), ²⁰⁸Tl (583,02 keV) e ²²⁸Ac (911,16 e 969,06 keV). O ¹³⁷Cs e o ⁴⁰K foram determinados pelos respectivos fotopicos de 661,64 e 1460,64 keV. A quantificação dos radionuclídeos de interesse foi feita através de curvas de eficiência e padrão certificado Soil-6, da Agência Internacional de Energia Atômica.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise radiométrica dos solos apresentou valores entre 10,1 e 56,5 Bq.kg⁻¹ em ²²⁶Ra e 17,9 e 69,3 Bq.kg⁻¹ de ²³²Th, com desvio padrão percentual de 4,1 e 3,6, respectivamente.

A radioatividade média encontrada nos solos da região canavieira, 32,3 e 40,9 Bq.kg⁻¹ para o ²²⁶Ra e ²³²Th, é semelhante aos resultados obtidos em solos não cultivados de Piracicaba. Para os solos mais representativos desse município, podzólico e latossolo, são relatados valores de 20,6 e 35,0 Bq.kg⁻¹ para o ²²⁶Ra e 27,5 e 55,0 Bq.kg⁻¹ para o ²³²Th (OLIVEIRA, 1988). A média mundial para solos superficiais, estimada pelo United Nations Scientific Committee on the Effects of Ionizing Radiation é de 25 Bq.kg⁻¹ para ambos os radionuclídeos (LIN et alii, 1987). Os teores encontrados desses radionuclídeos em solos canavieiros também não diferem dos observados em solos de várzea do Rio Amazonas (Óbidos e Vargem Grande) e do Rio Purus, sendo porém significativamente inferiores aos de Manaus e Poços de Caldas (Figura 1).

As amostras analisadas foram agrupadas segundo o tipo de solo (Figura 2), devendo-se notar que o podzólico vermelho escuro (PVE) e o latossolo vermelho escuro (LVE) apresentam os

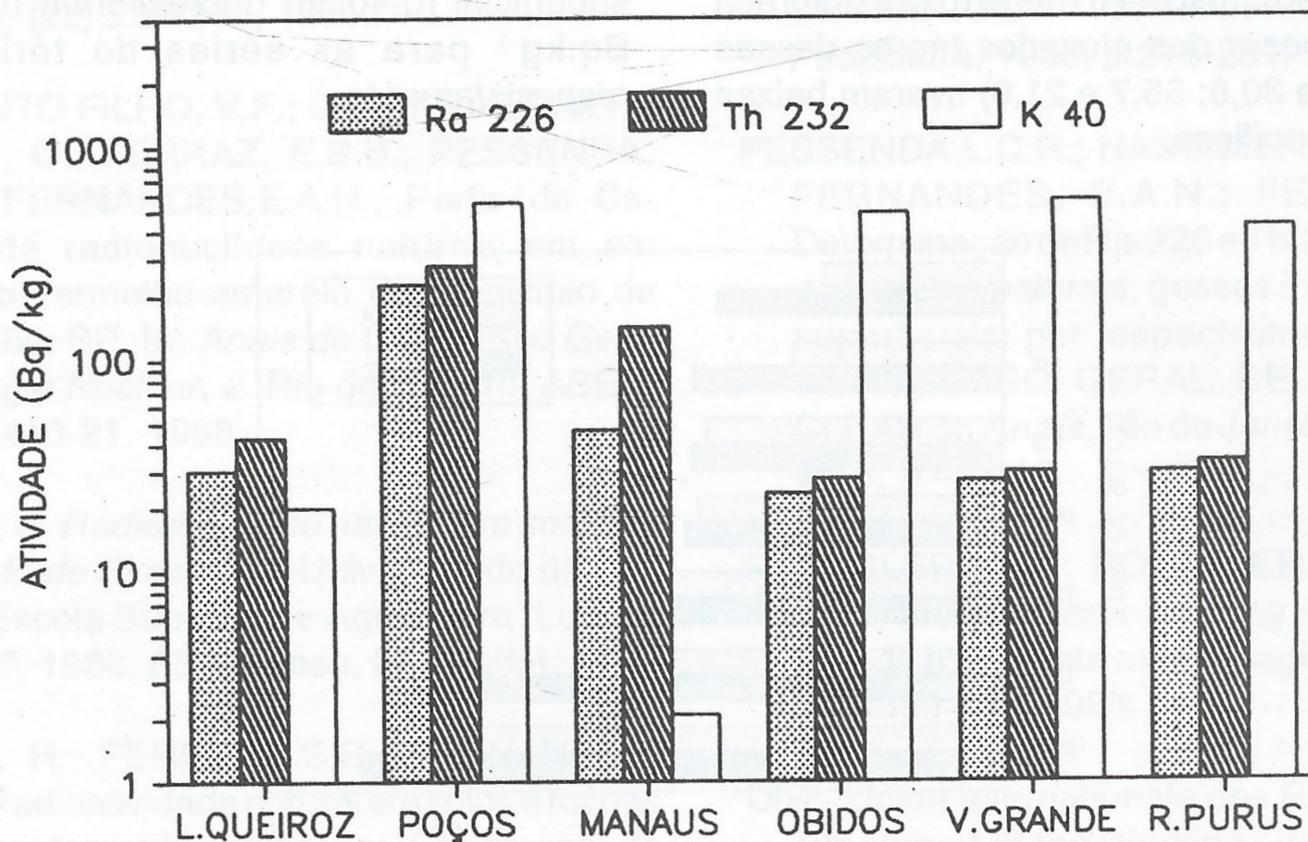


Figura 1 - Atividade específica dos radionuclídeos ^{226}Ra , ^{232}Th e ^{40}K em solos de diferentes localidades.

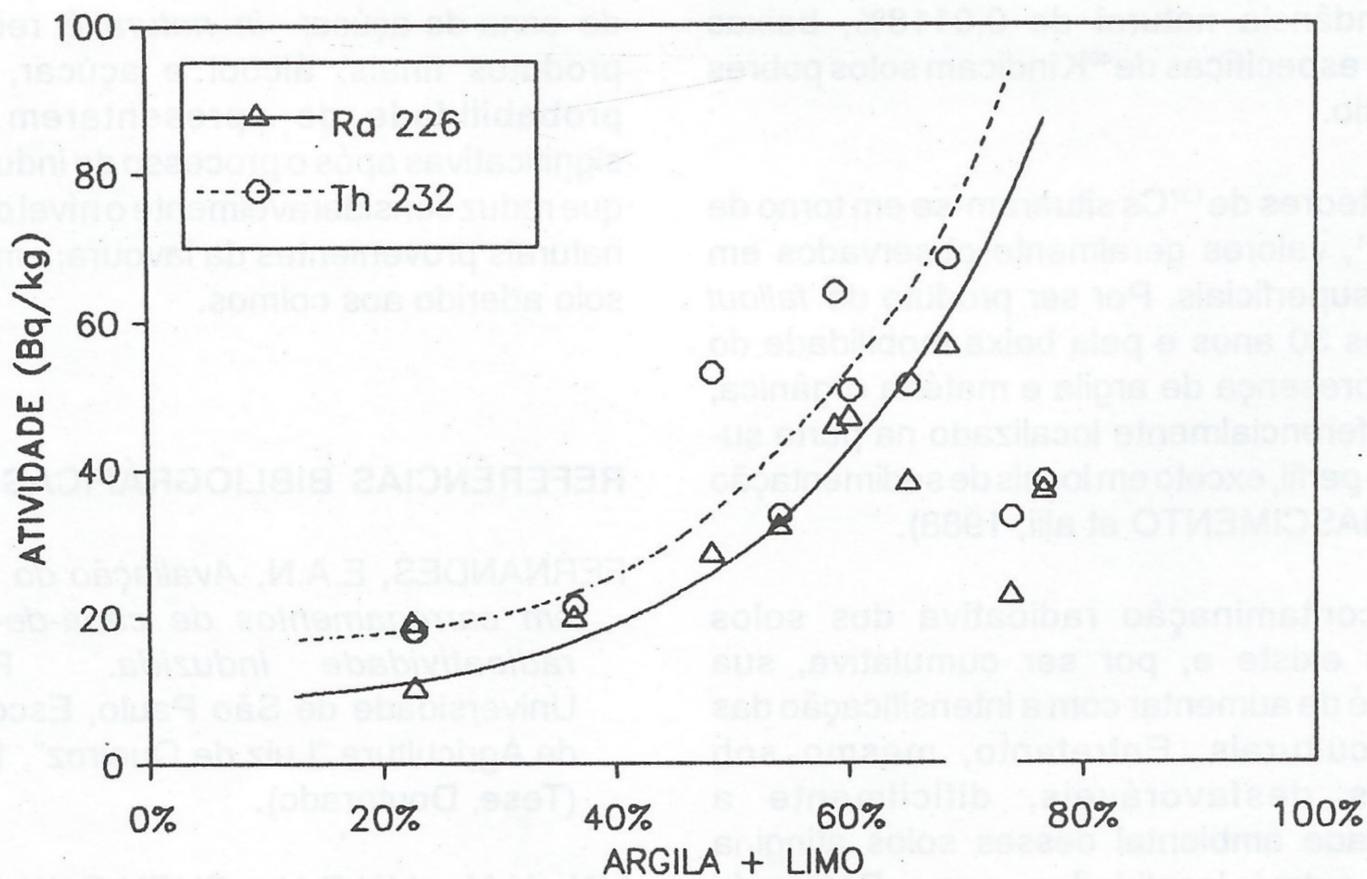


Figura 2 - Atividade específica dos radionuclídeos ^{226}Ra e ^{232}Th nos diferentes tipos de solos analisados.

teores mais elevados de radioatividade. Tal fato parece estar correlacionado ao maior teor de argila e limo desses solos (Figura 3), com exceção dos solos latossolo roxo (LR) e terra roxa estruturada (TRE), que apesar dos elevados teores dessas frações (43,0 e 30,8; 55,7 e 21,0) tiveram baixas atividades específicas.

O perfil de solo da série Luiz de Queiroz mostrou valores de 39 e 51 Bq.kg⁻¹ nas camadas mais profundas que 40 cm, enquanto na camada superficial (0-40cm) decresceram para 30 e 43 Bq.kg⁻¹ para as séries do tório e rádio, respectivamente.

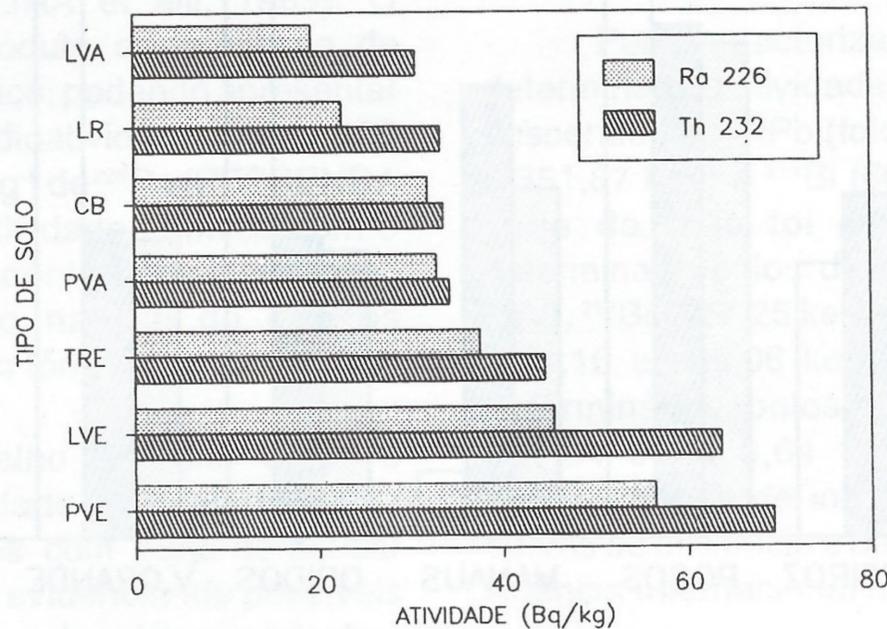


Figura 3 - Relação entre teores de argila e limo com atividade específica de ²²⁶Ra e ²³²Th dos solos canavieiros.

O ⁴⁰K apresentou grande variabilidade (6,6 a 540 Bq.kg⁻¹), evidentemente devida aos teores diferenciados de potássio total dos solos. Com uma abundância natural de 0,0118%, baixas atividades específicas de ⁴⁰K indicam solos pobres em potássio.

Os teores de ¹³⁷Cs situaram-se em torno de 1,0 Bq.kg⁻¹, valores geralmente observados em amostras superficiais. Por ser produto de *fallout* dos últimos 30 anos e pela baixa mobilidade do césio em presença de argila e matéria orgânica, este é preferencialmente localizado na parte superficial do perfil, exceto em locais de sedimentação recente (NASCIMENTO et alii, 1988).

A contaminação radioativa dos solos cultivados existe e, por ser cumulativa, sua tendência é de aumentar com a intensificação das práticas culturais. Entretanto, mesmo sob condições desfavoráveis, dificilmente a radioatividade ambiental desses solos atingiu níveis de outras localidades, como Poços de Caldas e Manaus. Além disso, o fator de transferência solo-planta para os radionuclídeos ²²⁶Ra e ²³²Th deste estudo em gramíneas é da

ordem de 10⁻³ a 10⁻⁴ (UIR, 1989).

Deve ser enfatizado ainda que o consumo de cana-de-açúcar *in natura* é reduzido e os produtos finais, álcool e açúcar, têm pouca probabilidade de apresentarem atividades significativas após o processo de industrialização, que reduz consideravelmente o nível de impurezas naturais provenientes da lavoura, em especial do solo aderido aos colmos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- FERNANDES, E.A.N. *Avaliação do teor de solo em carregamentos de cana-de-açúcar por radioatividade induzida*. Piracicaba, Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1988. 112 p. (Tese, Doutorado).
- LIN, Y.M.; LIN, P.H.; CHEN, C.J.; HUAN, C.C. Measurements of terrestrial radiation in Taiwan, Republic of China. *Health Phys.*, (52):805-811, 1987.

MISHRA, U.C.; SADASIVAN, S. Gamma spectrometry measurement of soil radioactivity. *International Journal Applied Radiation and Isotopes*, (22):256-257, 1971.

NASCIMENTO FILHO, V.F.; GUIMARÃES, M.F.; FREIRE, O.; FERRAZ, E.S.B.; PESSEDA, L.C.R.; FERNANDES, E.A.N.; Perfis de Cs-137 e de radionuclídeos naturais em em latossolo vermelho-amarelo do Município de Piracicaba, SP. In: *Anais do Congresso Geral de Energia Nuclear, 2*. Rio de Janeiro. ABEN, vol.3, p.413-21. 1988.

OLIVEIRA, H. *Radioatividade natural em solos do município de Piracicaba*, Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1988. 63 p. (Tese, Mestrado).

OLIVEIRA, H.; FERRA, E.S.B.; FERNANDES, E.A.N. Radioatividade natural em solos e rochas por espectometria gama. In: Congresso da Sociedade Brasileira de Geofísica, 1. *Anais*. Rio de Janeiro, SBFG, vol.3, 1989, p.1158-1162.

PENATTI, C.P.; PENNA, M.J.; CHALITA, R.; MANECHINI, C. Fósforo na soqueira de cana-de-açúcar. In: III SEMINÁRIO DE TECNOLOGIA AGRONÔMICA, *Anais* Piracicaba, 1986, p.275-281.

PESSEDA, L.C.R.; NASCIMENTO FILHO, V.F.; FERNANDES, E.A.N.; FERRAZ, E.S.B. Determinação de Ra-226 e Th-232 em amostras de fosfatos naturais, gessos industriais e solos superficiais por espectrometria gama. In: CONGRESSO GERAL DE ENERGIA NUCLEAR, 2. *Anais*, Rio de Janeiro, ABEN, 1988. vol.3, p.403-12.

ROESSLER, C.E.; ROESSLER, G.S.; BOLCH, W.E. Indoor radon progeny exposure in the Florida phosphate mining region. *Health Phys.* (45):389-396, 1983.

UIR - Union Internationale des Radioecologistes: VIth Report of the Working Group Soil-to-Plant Transfer Factors. RIVM, Bilthoven, the Netherlands, 1989.

ABSTRACT: Solution to problems of urban pollution and the growing need of environment planning in urban areas have become not only matter of specific law determination but a request of self-organized urban communities. Aiming to contribute for the solution of domestic garbage disposal in Uberlândia and trying to offer different options of places for trash final destination in the municipality, an environment map was developed with the use of SIG-GRASS software, through the combination of different terrain maps and basic information on the physical aspects of the whole area. Adequate places for final disposal of urban solid residues were indicated in a 1:100.000 map, shown at the end of this article.

Key Words: urban residues, environment map, final disposal of urban residues

1. INTRODUÇÃO

Um dos grandes problemas que afligem os governos de maioria das cidades mundiais e brasileiras na atualidade consiste na formação de detritos para a prestação a gestão dos recursos de conservação, com o objetivo de manter ou melhorar a qualidade de vida de sua população.

Desenvolvimento com preservação ambiental não tem sido um princípio adotado pelas administrações públicas e privadas, a apropriação do espaço que tem caracterizado a ocupação do uso e ocupação do espaço que sempre a maximização do lucro na

minimização dos custos, ignorando-se as consequências negativas para o meio ambiente onde está o homem.

A quantidade de resíduos sólidos que a sociedade está produzindo é uma das fontes insustentáveis de deterioração ambiental. O crescimento desordenado da população, com o aumento exponencial do processo produtivo e do consumo constituem os fatores-chave que explicam a crescente produção de resíduos.

Sendo o lixo urbano o resultado direto da atividade econômica humana, os problemas por ele gerados estão diretamente