

Medidas de radioatividade natural em amostras de solos de cultivo da cana-de-açúcar na região de Barretos, SP.

Measurements of natural radioactivity in soil samples of sugar cane culture in the region of Barretos, SP.

Inara Luiza GONÇALVES¹, Luiz Paulo GERALDO^{1*}, Renato SEMMLER².

¹Centro Universitário da Fundação Educacional de Barretos – UNIFEB, Curso de Bacharelado em Física Médica, Av. Prof. Roberto Frade Monte 389, Aeroporto, CEP 14783-226 Barretos (SP).

²Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN-CNEN/SP, Av. Professor Lineu Prestes 2242, CEP 05508-000 São Paulo (SP)

RESUMO

O município de Barretos, localizado na região Norte do Estado de São Paulo, tem se destacado como uma das mais importantes áreas de cultivo da cana-de-açúcar para a produção de açúcar e etanol no Brasil. Fertilizantes (N, P, K) são intensamente empregados nestas lavouras e podem estar ocasionando um aumento de radionuclídeos naturais nos solos, pois estes fertilizantes apresentam normalmente altas concentrações (ppm) de U, Th e K. Este trabalho teve como objetivo a determinação dos níveis de radioatividade natural em amostras de solos de cultivo da cana-de-açúcar, coletadas na região do município de Barretos, por meio da técnica de espectrometria gama bem como realizar uma avaliação da dose efetiva equivalente anual a qual a população local está sendo exposta. Os intervalos obtidos para as concentrações de radionuclídeos nas amostras de solos estudadas variaram de ND a 169 ± 97 Bq. Kg⁻¹ para o ²³⁸U, ND a 130 ± 21 Bq. Kg⁻¹ para o ²³²Th e 301 ± 26 a 1.584 ± 124 Bq. Kg⁻¹ para o ⁴⁰K. Comparando com os resultados obtidos para as amostras padrão e de controle observa-se que há um aumento relativo das concentrações de radioatividade natural nas amostras de solos de cultivo de cana-de-açúcar, principalmente para o ²³²Th e ⁴⁰K e isto, provavelmente, é uma consequência do uso intensivo de fertilizantes (N,P,K). Entretanto, o valor médio total de $(0,09 \pm 0,07)$ mSv/a obtido para a estimativa de taxa de dose efetiva anual na região de Barretos está em acordo com o valor médio mundial $(0,063$ mSv/a), dentro da incerteza experimental e muito abaixo do limite de dose máxima anual para o público de uma forma geral que é de 1 mSv/a.

Palavras-chave: Radioatividade natural, Espectrometria gama, Solos.

ABSTRACT

The county of Barretos is located in the north region of São Paulo state and it has been pointed out as being one of the most important culture of sugar cane for sugar and ethanol production in Brazil. Fertilizers (N, P, K) are being intensively employed in this agriculture and it can be occurring an increasing of natural radionuclides in soils since it is well known that these fertilizers present relatively high content (ppm) of U, Th and K. The aim of this work was to determine the natural radioactivity levels in soil samples of sugar cane culture, collected in the Barretos county region, using the spectrometry technique as well as to realize an evaluation of the annual equivalent effective dose to which the local population is being exposed. The radionuclide concentrations in the analyzed soils samples ranged from ND to 169 ± 97 Bq. Kg⁻¹ for ²³⁸U, ND to 130 ± 21 Bq. Kg⁻¹ for ²³²Th and 301 ± 26 to $1,584 \pm 124$ Bq. Kg⁻¹ for ⁴⁰K. Comparing these results with the values obtained for the reference standard and control samples it can be observed that there is a relative increasing in the natural radioactive concentration in soils of sugar cane culture mainly for ²³²Th e ⁴⁰K which probably is a consequence of the intensive use of fertilizers (N, P, K). However, the total average value of $(0,09 \pm 0,07)$ mSv/a obtained for the stimated annual effective dose in the Barretos county region is in agreement with the world average value $(0,063$ mSv/a) within the experimental uncertainties and it is much lower than the maximum annual dose limit of 1 mSv for general public members.

Keywords: Natural radioactivity, Gamma spectrometry, Soils

Autor para correspondência:

e-mail: lgerald@feb.br

Telefone: (17) 91324280

Recebido em: 04/10/2012

Aceito para publicação em: 01/11/2012

INTRODUÇÃO

Todos os seres vivos estão expostos diariamente à radiação ionizante, desde a origem do planeta, tornando-se, portanto, um fenômeno natural. Esta radiação ionizante natural é proveniente de núcleos radioativos originários de partículas cósmicas de alta energia como também da crosta terrestre (ALENCAR e FREITAS, 2005). Segundo Jibiri et. al, 2006 a dose média de exposição anual para essas radiações naturais é estimada como sendo da ordem de 2,4 mSv.

Radionuclídeos primordiais ou naturais, tais como, ^{238}U , ^{232}Th e seus produtos de decaimento bem como o ^{40}K , cujas meia-vidas são da ordem da idade da Terra, são encontrados na crosta terrestre e a radiação gama natural proveniente destes radionuclídeos, também conhecida como radiação terrestre, constitui a principal fonte de radiação gama externa para os seres humanos (BOLCA et al., 2006; JANKOVIC, TODOROVIC e SAVANOVIC, 2008; KURNAZ et al., 2007).

A radiação gama pode interagir com a matéria por meio de três processos: efeito fotoelétrico, efeito Compton e produção de pares (elétron-pósitron). Possui a capacidade de ionizar um átomo, ou seja, transferir parte de sua energia, ou até toda ela, a um elétron ejetando-o do átomo que é então transformado momentaneamente em um íon positivo. O elétron ejetado adquire energia cinética e interage com o meio (elétrons e núcleos de outros átomos) até ter toda a sua energia dissipada e neste processo, pode ocasionar novos íons na matéria. A configuração da última camada eletrônica dos átomos reflete nas propriedades químicas dos elementos. Quando tem-se a ionização de um átomo, toda a estrutura molecular pode ficar comprometida pelo rearranjo instantâneo de elétrons na busca de uma configuração mais estável, podendo resultar numa perda de identidade química da molécula envolvida. Os seres vivos são constituídos basicamente por átomos de carbono, hidrogênio, oxigênio e nitrogênio e assim, elétrons serão ejetados provavelmente de um destes elementos. O efeito da radiação ionizante nos seres humanos depende basicamente da dose absorvida, da taxa de exposição e da forma de exposição. Quanto maiores as taxas e as doses absorvidas, maiores as probabilidades de danos, de mutações precursoras de câncer e de morte celular (NOUAILHETAS, 2012).

A exposição dos seres vivos à radiação

ionizante é indesejável em todos os níveis. A energia gama proveniente de radionuclídeos primordiais é, em alguns casos, maior que 1,022 MeV (HUSSAIN e HUSSAIN, 2011), energia suficiente para que ocorra também a interação com os constituintes do corpo humano por meio do processo de produção de pares (elétron-pósitron).

De acordo com Bolca et al., (2006) a radiação gama terrestre natural depende primariamente das condições geológicas de uma região e, portanto, ocorre em níveis ou intensidades diferentes de um local para outro. Harbet et al., 2008 relata que níveis mais altos dessa radiação estão associados com rochas ígneas como o granito e níveis mais baixos com rochas sedimentares. Rochas fosfáticas também apresentam altas concentrações desses radionuclídeos.

Urânio, tório e potássio podem ser encontrados nos solos, alimentos, águas, sedimentos e organismos vivos em quantidades de traços (ppm). As técnicas mais usuais para a quantificação destes elementos em qualquer tipo de amostras são: espectrometria gama, espectrometria de massa, ativação com nêutrons e a técnica do registro de traços de fissão (SSNTD) (GERALDO et al., 2010).

Ações antrópicas como, por exemplo, a queima do carvão e o uso de fertilizantes (N, P, K) na agricultura, contribuem para o aumento das concentrações de atividade de radionuclídeos nos solos e conseqüentemente, sua absorção pelas plantas resultando na inclusão destes na cadeia alimentar dos seres humanos. Fertilizantes fosfatados aplicados na agricultura possuem como matéria prima rochas fosfáticas que apresentam usualmente um alto teor de urânio (até centenas de ppm). O uso contínuo e excessivo destes fertilizantes pode aumentar os níveis de urânio presentes no solo e conseqüentemente, a exposição dos seres vivos à radiação ionizante proveniente deste elemento e de seus descendentes (YAMAZAKI e GERALDO, 2003). Minérios de tório e potássio (sulfato de potássio, cloreto de potássio) também são constituintes de fertilizantes fosfatados (HUSSAIN e HUSSAIN, 2011).

Na série do urânio os radionuclídeos mais importantes que contribuem para a exposição dos seres humanos são ^{238}U , ^{226}Ra e seu descendente o radônio ^{222}Rn que sendo gasoso ao ser inalado contribui para a irradiação dos tecidos pulmonares (BABAI et al., 2011). Na série do tório, ^{232}Th , ^{224}Ra e seu descendente o torônio ^{220}Rn que também é

gasoso e emissor alfa.

Atualmente o Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar e o Estado de São Paulo é responsável por cerca de 60% de seu cultivo para a produção de etanol e açúcar. A região de Barretos, localizada no Norte do Estado de São Paulo é uma das áreas de maior concentração de cultivo da cana-de-açúcar do país (RUDORFF et al., 2010). Fertilizantes fosfatados são normalmente utilizados neste cultivo e muitas vezes de forma incontrolada proporcionando assim, um possível aumento dos teores de metais radioativos nos solos da região e isto é uma preocupação do ponto de vista de Proteção Radiológica.

Este trabalho tem por objetivo determinar os níveis de radioatividade natural em amostras de solos de agricultura da cana-de-açúcar coletadas na região do município de Barretos, utilizando a técnica de espectrometria gama e avaliar a dose média efetiva anual na qual a população local está sendo exposta.

MATERIALE MÉTODOS

Neste trabalho, 15 amostras de solos de agricultura da cana-de-açúcar foram coletadas em diferentes localidades na região do município de Barretos conforme é indicado na Figura 1. Uma

amostra de solo não fertilizado foi coletada no município de Taquaral (quintal de uma residência) para ser utilizada como controle.

As amostras de solos foram coletadas manualmente utilizando-se uma colher de aço inoxidável, a uma profundidade de aproximadamente 10 cm, no período de novembro de 2011 a março de 2012, sempre em épocas de estiagem.

Cada amostra, com cerca de 500g de solo, foi armazenada em frasco de vidro e mantida à temperatura ambiente até o seu preparo para análise.

No laboratório, as amostras de solos passaram por um processo simples de limpeza para retirar resíduos de pedras, gramas, madeiras etc. Posteriormente, foram submetidas a um processo de secagem a uma temperatura em torno de 100° C por aproximadamente 7 horas.

Após o processo de desumidificação, as amostras de solos passaram por uma peneira com malhas de 0,297 mm de tamanho para a homogeneização do material e também para se ter uma granulometria similar à da amostra padrão (0,300mm). Em seguida, uma massa em torno de 90 g foi retirada de cada amostra, secada novamente até se obter um peso constante em pesagens sucessivas utilizando-se uma balança semi-analítica e acondicionada em frasco plástico incolor com dimensões: 50 mm de altura por 57 mm de diâmetro.



Figura 1. Mapa da região de Barretos onde estão identificados os locais de amostragem dos solos de cultivo da cana-de-açúcar.

Os frascos contendo as amostras, devidamente identificados com data e local da amostragem, foram selados utilizando adesivo silicone de modo que os gases ^{222}Rn ($T_{1/2} = 3,8\text{d}$) e ^{220}Rn ($T_{1/2} = 55,6\text{s}$) emanados no decaimento do urânio e tório respectivamente, permanecessem confinados no recipiente. As medidas de radioatividade das amostras foram realizadas após um período mínimo de 30 dias a fim de permitir que se atingisse o equilíbrio radioativo secular entre o núcleo de ^{226}Ra , ^{224}Ra e seus descendentes. Uma amostra de referência padrão de solo (IAEA-375), fornecida pela International Atomic Energy Agency (IAEA), com concentrações de radionuclídeos presentes conhecidas, foi utilizada para a determinação da concentração de radioatividade nas amostras de solos fertilizados e na amostra de controle. A amostra de solo padrão foi preparada empregando-se a mesma metodologia utilizada no preparo das amostras em estudo.

A técnica de espectrometria gama foi empregada na determinação da concentração de radioatividade natural nas amostras de solos. O equipamento consiste de um detector cintilador NaI(Tl) de 3"x3" (EG&G ORTEC) e eletrônica associada acoplado a um sistema analisador multicanal PCA-3 da Nucleus Inc. (8192 canais).

Segundo Yousef, Abu El-Ela e Yousef, 2007 a técnica de espectrometria gama utilizando detectores de NaI(Tl) é uma das mais utilizadas para análise não destrutiva de amostras devido a sua alta eficiência e excelente linearidade de resposta.

O detector cintilador foi utilizado em posição horizontal e para diminuir a contribuição da radiação de fundo (background) no local das medidas, o mesmo foi envolto por um cilindro de chumbo com aproximadamente 86 mm de espessura.

Fontes de ^{137}Cs ($E_g = 0,662\text{ MeV}$) e ^{60}Co ($E_{g1} = 1,173\text{ MeV}$ e $E_{g2} = 1,332\text{ MeV}$) foram utilizadas para a calibração em energia do sistema analisador multicanal. A calibração foi realizada por meio da aquisição dos espectros de radiação gama emitidos por estas fontes, em um período de tempo suficiente para que os fotopicos correspondentes às respectivas linhas gama tivessem uma contagem líquida acima de 10^4 . A calibração em energia foi feita por um programa de computador do sistema multicanal PCA-3.

A resolução em energia do detector NaI(Tl) utilizado neste trabalho foi determinada por meio da medida da largura à meia altura (FWHM) do fotopico de 0,662 MeV referente à radiação gama emitida pelo ^{137}Cs , empregando-se a seguinte equação (KNOLL, 1999):

$$R = \frac{FWHM}{Ho} \times 100, (1)$$

Onde R é a resolução em porcentagem, $FWHM$ é a largura à meia altura do fotopico medida em energia (MeV), e Ho é a energia correspondente ao centróide do fotopico.

As concentrações de ^{238}U , ^{232}Th e ^{40}K nas amostras foram determinadas por meio das intensidades dos picos de raios gama de 1,760 MeV do ^{214}Bi , 2,615 MeV do ^{208}Tl , e 1,460 MeV do ^{40}K , respectivamente.

Para avaliação da contribuição da radiação de fundo foram feitas várias aquisições do espectro de radiação gama sem amostra. Posteriormente, a contribuição desta radiação foi subtraída do espectro obtido para cada amostra antes de se efetuar os cálculos para obtenção da concentração de atividade.

Para determinação da concentração de atividade dos radionuclídeos foi utilizada a seguinte equação (JIBIRI et al., 2006):

$$C \left(\frac{Bq}{Kg} \right) = \frac{Ck}{Ak} \cdot A, (2)$$

Onde $C \left(\frac{Bq}{Kg} \right)$ é a concentração da atividade do radionuclídeo na amostra, Ck é a concentração da atividade do radionuclídeo na amostra padrão de

referência, A é a contagem da área líquida no espectro do radionuclídeo da amostra após a subtração da radiação de fundo, e Ak é a contagem

da área líquida no espectro do radionuclídeo da amostra padrão de referência também após subtração da radiação de fundo. A taxa de dose gama externa terrestre no ar, a um metro do solo, pode ser determinada, em qualquer região, a partir de medidas das concentrações dos radionuclídeos relevantes

^{238}U , ^{232}Th e ^{40}K . De acordo com a UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation) (UNSCEAR-2000), a equação para conversão de atividade específica (Bq/kg) em taxa de dose absorvida (nGy/h), sem levar em conta a contribuição da radiação cósmica, é dada por:

$$D = 0,462 A_{238} + 0,604 A_{232} + 0,0417 A_{40} \quad (3)$$

Onde A_{238} , A_{232} e A_{40} são os teores (Bq/kg) obtidos para ^{238}U , ^{232}Th e ^{40}K respectivamente. Considerando os valores médios em solos recomendados pela UNSCEAR-2000 para estes radionuclídeos como sendo 35, 30 e 400 Bq/kg respectivamente, a taxa de dose absorvida média mundial seria de aproximadamente 51 nGy/h. A contribuição relativa para esta taxa de dose seria de 32% para ^{238}U , 35% para ^{232}Th e 33% para ^{40}K .

A correspondente taxa de dose efetiva equivalente anual pode ser determinada utilizando um fator de ocupação externa para a população de 0,2 (20%), um coeficiente de conversão de 0,7 (Sv/Gy) e 8760 h/a (para conversão de horas em anos), e o resultado obtido é de aproximadamente 0,063 mSv/a (UNSCEAR-2000).

Utilizando os valores das atividades dos radionuclídeos de interesse obtidos neste trabalho para cada amostra de solo, determinou-se a taxa de dose absorvida e a correspondente taxa de dose efetiva equivalente anual, avaliando as diferenças encontradas com a média terrestre mundial total.

É importante esclarecer que, de acordo com a International Commission on Radiological Protection (ICRP- 1990), qualquer exposição acima da radiação natural normal deve ser mantida tão baixa quanto razoavelmente possível e sempre abaixo do limite de dose máxima para o público de uma forma geral que é de 1 mSv/a.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A resolução em energia do detector foi calculada utilizando-se a equação (1), e o valor encontrado foi de 9,8% para o fotopico de 0,662 MeV do ^{137}Cs . Este valor se encontra dentro do intervalo

de valores divulgados na literatura para esse tipo de detector de cintilação.

O valor médio obtido para medidas da radiação de fundo local dos radionuclídeos de interesse ^{40}K , ^{238}U e ^{232}Th , foram de 0,4909 Bq, 0,0295 Bq e 0,1041 Bq respectivamente.

As concentrações de radioatividade natural na amostra de controle e nas 15 amostras em estudo foram determinadas através da equação (2). Na Tabela 1 são apresentados os resultados obtidos neste trabalho.

As incertezas totais das medidas foram determinadas levando em consideração as seguintes fontes de erros parciais: erro sistemático da amostra padrão de solo: (10%) ^{238}U , (6,8%) ^{232}Th , (1,8%) ^{40}K ; erros estatísticos relativo às medidas da amostra padrão de solo, da radiação de fundo e das amostras em estudo.

Como pode ser observado na Tabela 1 a maioria dos valores obtidos neste trabalho, principalmente para o ^{232}Th e ^{40}K , está acima do valor encontrado na amostra de controle (solo sem uso de fertilizantes) e dos valores certificados para a amostra de solo padrão da IAEA.

O pico correspondente à linha gama de 1,760 MeV do ^{214}Bi , em praticamente todos os espectros obtidos, foi menos intenso e as contribuições dos outros dois picos (2,615 MeV do ^{208}Tl , e 1,460 MeV do ^{40}K) fizeram com que a contagem líquida final para o ^{238}U fosse afetada de um erro relativamente maior. Os valores ND (não detectável) na Tabela 1 correspondem aos resultados cujas contagens de fotopico foram inferiores à da radiação de fundo no local das medidas. Isto indica que provavelmente os fertilizantes utilizados e/ou solos destas regiões apresentam baixos teores dos correspondentes radionuclídeos.

Tabela 1. Concentrações de atividade de radionuclídeos naturais (Bq/Kg) em amostras de solos de cultivo de cana-de-açúcar da região de Barretos - SP.

Amostras	Concentrações de radionuclídeos (Bq/Kg)		
	²³⁸ U	²³² Th	⁴⁰ K
Referência Padrão (IAEA – 375)	20 ± 2	20,5 ± 1,4	424 ± 7,5
01 - Taiúva	17 ± 13	102 ± 17	1.032 ± 82
02 - Taquaral	8 ± 6	55 ± 10	301 ± 26
03 - Ibitiúva	23 ± 16	72 ± 12	835 ± 69
04 - Bebedouro	135 ± 80	64 ± 11	1.584 ± 124
05 - Pitangueiras	ND	60 ± 9	467 ± 36
06 - Colina	94 ± 57	67 ± 11	440 ± 36
07 - Jaborandi	71 ± 44	69 ± 12	775 ± 61
08 - Barretos	ND	84 ± 14	1.056 ± 78
09 - Olímpia	ND	ND	995 ± 81
10 - Monte Azul Paulista	ND	73 ± 13	1.426 ± 108
11 - Cajobi	ND	54 ± 11	808 ± 66
12 - Severínia	28 ± 21	50 ± 10	524 ± 11
13 - Guaira	169 ± 97	130 ± 21	919 ± 71
14 - Terra Roxa	66 ± 42	50 ± 9	1.150 ± 87
15 - Viradouro	ND	ND	374 ± 31
16- Amostra de controle	21 ± 13	14 ± 3	ND

ND: Não detectável.

Os resultados obtidos neste trabalho foram comparados com valores divulgados na literatura para amostras de solos analisadas em diversos países e são apresentados na Tabela 2. Considerando as diferenças geológicas e formas de utilização destes solos, os valores estão em razoável acordo dentro

das incertezas experimentais. De uma forma geral, observa-se que os resultados encontrados em solos não fertilizados são relativamente baixos (Nigéria, Paquistão). Solos de agricultura ou solos de rochas vulcânicas e fosfáticas apresentam geralmente maiores teores de radionuclídeos naturais.

Tabela 2. Comparação dos valores de concentrações de atividade de radionuclídeos naturais (Bq/Kg) obtidos neste trabalho com valores divulgados na literatura para solos de outros países.

Região	^{238}U	^{232}Th	^{40}K	Referências
Índia	2,17 - 53,23	13,54 - 89,89	625,09 - 2207,3	Ravisankar, et al., (2012)
Jordânia	5,3 - 1.201,1	2,2 - 31,2	19,4 - 288,4	Hamideen and Sharaf, (2012)
Vietnã	15,02 - 121,58	16,07 - 129,16	10,47 - 1085,49	Huy, et al., (2012)
Paquistão	15 - 27	20 - 37	328 - 648	Mhujahid and Hussain, (2010)
Turquia	11,7 - 188,3	10,3 - 105,2	105,4 - 1234,7	Kumaz, et al., (2007)
Nigéria	10,2 - 40,7	10,6 - 29,7	86,5 - 353,07	Jibiri and Bankole, (2005)
Brasil	ND - 169	ND - 130	301 - 1584	Presente trabalho

Os cálculos da estimativa de taxa de dose absorvida total produzida pelas amostras foram realizados através da expressão (3) e apartir destes foram estimados os valores de taxa de dose efetiva equivalente anual. Os resultados são apresentados na Tabela 3. A média geral da taxa de dose efetiva

obtida para a região de Barretos foi de $(0,09 \pm 0,07)$ mSv/a. Este resultado está de acordo com o valor médio internacional de 0,063 mSv/a, dentro das incertezas experimentais, e muito abaixo do limite de dose máxima para o público de uma forma geral recomendado pelo ICRP(1990) que é de 1mSv/a.

Tabela 3. Estimativas de taxa de dose absorvida (nGy/h) e taxa de dose efetiva equivalente anual (mSv/a) referentes a radioatividade natural das amostras em estudo.

Amostras	Taxa de Dose Absorvida (nGy/h)	Taxa de Dose Efetiva Equivalente Anual (mSv/a)
01 - Taiúva	112	0,137
02 - Taquaral	49	0,060
03 - Ibitiúva	89	0,109
04 - Bebedouro	16	0,205
05 - Pitangueiras	56	0,069
06 - Colina	102	0,125
07 - Jaborandi	107	0,131
08 - Barretos	95	0,012
09 - Olimpia	41	0,005
10 - Monte Azul Paulista	104	0,013
11 - Cajobi	66	0,008
12 - Severinia	65	0,080
13 - Guaira	195	0,239
14 - Terra Roxa	108	0,132
15 - Viradouro	16	0,002

CONCLUSÕES

Foram analisadas 15 amostras de solos de cultivo de cana-de-açúcar e uma amostra de solo de controle, coletadas na região de Barretos-SP. Os intervalos de valores determinados para a concentração de atividade de ^{238}U , ^{232}Th e ^{40}K , estão em razoável acordo, dentro das incertezas experimentais, com aqueles divulgados na literatura para amostras de solos em geral. Comparando os valores das atividades naturais para as amostras de solos fertilizados com aqueles obtidos para amostra de controle e os valores recomendados no certificado da amostra padrão de referência, observa-se um aumento substancial nas concentrações de atividade destes radionúclídeos, principalmente para o ^{232}Th e ^{40}K . Provavelmente isto é uma consequência do uso de fertilizantes (N, P, K) no processo de adubação das lavouras de cana-de-açúcar. As diferenças acentuadas nos teores encontrados em algumas cidades também podem ser explicadas pelo tempo de aplicação ou uso inadequado destes fertilizantes.

A taxa média de dose efetiva equivalente anual determinada para exposição à radioatividade encontradas nestes solos foi de 0,09 mSv/a que se encontra muito abaixo do limite de dose máxima para o público de uma forma geral que é de 1 mSv/a.

Os resultados obtidos neste trabalho poderão servir como referência para o monitoramento das concentrações de atividade de radionúclídeos naturais na região em estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALENCAR, A. S. and FREITAS, A.C. Reference levels of natural radioactivity for the beach sands in a Brazilian southeastern coastal region. *Radiation Measurements*. v.40, p. 76-83, 2005.
- BABAI, K. S. et al. Measurement of Natural Radioactivity content in soil and Annual Effective Dose due to Indoor Radon Activity in Different Dwellings of Chennai city, Tamil Nadu, India. *International journal of Advanced Scientific and Technical Research*. v. 1, p. 46-61, 2011.
- BOLCA M. et al. Radioactivity in soils and various foodstuffs from the Gediz River Basin of Turkey. *Radiation Measurements*. v. 42, p.263-270, 2007.
- GERALDO, L. P. et al. Uranium content and dose assessment for sediment and soil samples from the Estuarine System of Santos an São Vicente, SP, Brazil. *Radiation Protection Dosimetry*, v. 140, n. 1, p. 96-100, 2010.
- HAMIDEEN, M. S. and SHARAF, J. Natural radioactivity investigations in soils samples obtained from phosphate hills in Russaifa region, Jordan. *Radiation Physics and Chemistry*, (2012) <http://dx.doi.org/10.1016/j.radphyschem.2012.03.023> (Prelo).
- HARB, S. et al. Natural Radioactivity Measurements in Soil and Phosphate Samples from El-Sabaea, Aswan, Egypt. IX Radiation Physics & Protection Conference. Nasr City – Cairo, p. 15-19, 2008.
- HUSSAIN, R. O. and HUSSAIN, H. H. Investigation the natural radioactivity in local and imported chemical fertilizers. *Brazilian Archives of Biology and Technology*. Curitiba, v. 54, n.4, p.777-782, 2011.
- HUY, N. Q. et al. Natural radioactivity and external dose assessment of surface soils in Vietnam. *Radiation Protection Dosimetry*, p. 1-10, 2012.
- ICRP. International Commission on Radiological Protection. *Radiation Protection: Recommendations of the International Commission on Radiological Protection*. New York. ICRP Publication. v. 60, 1990.
- JANKOVIC, M., TODOROVIC, D. and SAVANOVIC, M. Radioactivity measurements in soil samples collected in the Republic of Srpska. *Radiation Measurements*. v. 43, p. 1448-1452, 2008.
- JIBIRI, N. N. and BANKOLE, O. S. Soil radioactivity and radiation absorbed dose rates at roadsides in high-traffic density areas in Ibadan Metropolis, southwestern Nigeria. *Radiation Protection Dosimetry*. v. 118, n. 4, p. 453-458, 2006.
- KNOLL, G. F. *Radiation Detection and Measurement*. John Weley & Sons: 3 ed., 1999.
- KURNAZ, A. et al. Determination of radioactivity levels and hazards of soil and sediment samples in Firtina Valley (Rize Turkey). *Applied Radiation and*

Isotopes. v. 65, p. 1281-1289, 2007.

MUJAHID, SA. and HUSSAIN, S. Natural radioactivity in soil in the Batuchistan province of Pakistan. Radiation Protection Dosimetry, v. 140, n.4, p.333-339, 2010.

NOUAILHETAS, Y. Radiações Ionizantes e a vida. Disponível em: http://www.cnen.gov.br/ensino/apostilas/rad_ion.pdf. Acesso em: 03/09/2012.

RAVISANKAR, R. et al. Natural Radioactivity in Soil samples of Yelagiri Hills, Tamilnadu, India and the Associated Radiation Hazards. Radiation Physics and Chemistry, 2012 <http://dx.doi.org/10.1016/j.radphyschem.2012.07.003> (Prelo).

RUDORFF, B. F. T. et al. Studies on the Rapid

Expansion of Sugarcane for Ethanol Production in São Paulo State (Brazil) Using Landsat Data. Remote Sensing. v.2, p. 1057-1076, 2010.

UNSCEAR. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Report to the general assembly. New York. Annex B: exposures from natural radiation sources, 2000.

YAMAZAKI, I. and GERALDO, L.P. Uranium content in phosphate fertilizers commercially produced in Brazil. Applied Radiation and Isotopes. v. 59, p. 133-136, 2003.

YOUSEF, M. I., ABU EL-ELA, A. and YOUSEF, H. A. Natural radioactivity levels in surface soil of kitcherner drain in the Nile delta of Egypt. Journal of Nuclear and Radiation Physics. v. 2, n. 1, p. 61-68, 2007.