

# Determinação de $^{238}\text{U}$ , $^{228}\text{Ra}$ , $^{226}\text{Ra}$ , e $^{40}\text{K}$ em açúcar comercializado na cidade do Recife

*Determination of  $^{238}\text{U}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  and  $^{40}\text{K}$  in sugar marketed in Recife city*

**Rodrigo Santos de Oliveira**

Escola Politécnica de Pernambuco  
Universidade de Pernambuco  
50.720-001 - Recife, Brasil  
rs\_psx@hotmail.com

**Durval Augusto Lira Queiroz dos Santos**

Escola Politécnica de Pernambuco  
Universidade de Pernambuco  
50.720-001 - Recife, Brasil  
dalqscin@gmail.com

**José Reginaldo de Ar-ruda Cavalcanti**

Escola Politécnica de Pernambuco  
Universidade de Pernambuco  
50.720-001 - Recife, Brasil  
josereginaldo.17@hotmail.com

**Hitaldo José Tava-res de Araujo**

Escola Politécnica de Pernambuco  
Universidade de Pernambuco  
50.720-001 - Recife, Brasil  
hitalojta@gmail.com

**Cleomácio Miguel da Silva**

Escola Politécnica de Pernambuco  
Universidade de Pernambuco  
50.720-001 - Recife, Brasil  
cleomacio@hotmail.com

## Resumo

*A determinação dos níveis de radiação a que o homem está exposto, direta ou indiretamente, é de vital importância para a saúde e bem-estar da sociedade. Esta pesquisa consiste em medir as concentrações de radionuclídeos naturais no açúcar mascavo comercializado na Região Metropolitana do Recife, utilizando a espectrometria gama. Comparando com a literatura disponível, os níveis de radiação no açúcar foram considerados aceitáveis, onde os valores máximos encontrados foram 8,760 Bq.kg<sup>-1</sup> para o urânio-238 e 4,235 Bq.kg<sup>-1</sup> para o rádio-226.*

**Palavras-Chave:** açúcar, determinação, radiação, saúde, espectrometria gama.

## Abstract

*The determination of radiation levels to which the man is exposed, directly or indirectly, it's vitally important to the health and well-being of society. This research is to measure the concentrations of natural radionuclides in the brown sugar sold in the metropolitan area of Recife, using gamma spectroscopy. Compared to the available literature, the radiation levels in sugar were considered acceptable, where the maximum values found were 8,760 Bq.kg<sup>-1</sup> for uranium-238 and 4,235 Bq.kg<sup>-1</sup> for radium-226.*

**Keywords:** sugar, determination, radiation, health, gamma spectroscopy.

## 1 Introdução

A maioria dos radioisótopos naturais tem sua origem na formação do planeta Terra, por isso, muitos deles estão presentes no dia a dia da sociedade, mesmo que não seja perceptível. Assim, é importante medir o nível de radiação a que as pessoas estão expostas todos os dias, direta ou indiretamente, buscando sempre prevenir prob-lemas de saúde provenientes dessa radiação. Muitas vezes esses problemas ocorrem por conta de alimentos contam-inados com certos isótopos radioativos, que geralmente vem do ambiente, principalmente do solo usado para o cultivo dos mesmos. Essa pesquisa concentra-se na de-terminação de certos radioisótopos naturais no açúcar comercializado na Região Metropolitana do Recife, sen-do eles: o urânio-238 ( $^{238}\text{U}$ ), o rádio-228 ( $^{228}\text{Ra}$ ), o rádio-226 ( $^{226}\text{Ra}$ ) e o potássio-40 ( $^{40}\text{K}$ ).

A cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) no Brasil é cultivada em mais de 7,1 milhões de hectares, sendo este atualmente o país líder na produção de açúcar, exportação e área plantada. Por muito tempo Pernambuco foi o maior produtor de açúcar do país, e até hoje o culti-vo da cana-de-açúcar é praticado em larga escala na Zona da Mata do estado, sendo fundamental para a economia pernambucana. A cana de açúcar cultivada nessa região de Pernambuco é destinada a produção de álcool, açúcar cristalizado e um percentual menor em açúcar mascavo ou demerara. O açúcar mascavo é produzido na etapa anterior de manufatura, onde o melaço, subproduto do processamento da cana de açúcar, não sofre tratamento químico com ácido sulfúrico, melhorando sua coloração. Grande para desse açúcar é destinado para comercializa-ção no mercado local e em comidas regionais como rapa-duras, doces, sucos, bolos e mel. O bagaço resultante desse processo produtivo ainda é reaproveitado como ração para animais da região, como ruminantes. Como os produtos provenientes da cana-de-açúcar são consumidos em grande quantidade, não é difícil que ocorra contami-nação de alguma forma em sua produção.

Estudos realizados recentemente indicaram que a cana-de-açúcar cultivada em Pernambuco apresentou altas quantidades de radionuclídeos naturais [1]. Essa contaminação pode ter vindo tanto do ambiente quanto de fertilizantes, no caso da cana-de-açúcar, principalmente de fertilizantes fosfatados. Um dos mais comuns fertilizantes fosfatados é o fosfogesso, utilizado em grandes quantidades na cultura da cana-de-açúcar no Brasil. O fosfogesso é um subproduto da fabricação de fertilizante fosfatado a partir do beneficiamento das rochas fosfáticas com ataque de ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ). Ele contém, prin-cipalmente,  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (sulfato de cálcio dihidratado) e teores de  $\text{P}_2\text{O}_5$  em torno de 0,7 %. Além de ser utilizado na agricultura, o fosfogesso também tem amplos usos na construção

civil, sendo usado principalmente como agente retardador de pega, substituindo o gesso [2]. No Brasil, cerca de 4,5 milhões de toneladas de fosfogesso são produzidas anualmente e estocadas em pilhas [3]. Apesar do controle de qualidade, estudos recentes mostraram que o fosfogesso contém radionuclídeos das séries do  $^{238}\text{U}$  e do  $^{232}\text{Th}$ , em proporções diferentes da rocha fosfática que o originou [3].

Dependendo das concentrações destes radionuclídeos na rocha fosfática e dos processos envolvidos, o fosfogesso pode apresentar quantidades significativas de radionuclídeos naturais, que, durante o processamento químico, são redistribuídos entre o ácido fosfórico e o fosfogesso [4]. A constante utilização do fosfogesso na agricultura pode aumentar a quantidade de radionuclídeos naturais no solo, tornando estes radionuclídeos mais disponíveis para as plantas. Dependendo da espécie vege-tal, os radionuclídeos naturais podem ser facilmente transferidos do solo para as plantas devido a absorção radicular [5]. Dessa forma, o açúcar pode possuir radio-nuclídeos provenientes da fertilização do solo com o fosfogesso, onde esses radionuclídeos são transferidos para o vegetal e então para o açúcar, disponibilizando o radionuclídeo para a cadeia alimentar da população.

A contaminação por radionuclídeos naturais, dependendo da concentração no alimento ingerido pelo organismo, pode provocar câncer [6]. Os isótopos  $^{226}\text{Ra}$  e  $^{228}\text{Ra}$  decaem emitindo partículas alfa e beta, respectivamente, em conjunto com raios gama [7]. Altas doses de radiação ionizante, proveniente de raios gama, podem causar sérios danos nos tecidos biológicos, como a presença de eritema, dermatite, lesão vascular e cataratas. Dependendo do tempo de exposição, também provoca a morte das células irradiadas e, em casos extremos, a morte do organismo [8]. Quando o rádio é ingerido, seu comportamento metabólico é similar ao do cálcio, onde cerca de 70-90% é retido nos ossos e o restante fica dis-tribuído uniformemente nos tecido moles [9, 10, 11]. Em baixas e médias doses de depósito interno de rádio, o dano biológico mais severo é risco de câncer nos tecidos ósseos [12].

Sobre o  $^{238}\text{U}$ , estudos mostram que ele é o isótopo mais abundante de urânio do planeta, presente em 99,274% do urânio encontrado no ambiente [13]. Quando ingerido, o urânio forma complexos íons bicarbonatos ( $\text{HCO}_3$ ), principalmente absorvido pelos rins e ossos, mas também distribuído por diversos órgãos do corpo. Em exposição elevada ou por muito tempo, pode causar além do câncer, também graves distúrbios nos rins [14].

Já o  $^{40}\text{K}$  representa cerca de 0,01% do potássio natural. Possui meia-vida de  $1,258 \times 10^9$  anos e decai tanto por emissão beta quanto pela captura de um elétron, que provoca emissão gama de 1,46 MeV com 10,7% de

abundância e a liberação de um neutrino. É o radionuclídeo que mais contribui para a exposição interna à radiação natural, já que o potássio natural é um nutriente indispensável para todo ser vivo. Uma vez que suas concentrações no corpo humano são homeostaticamente controladas, os níveis de  $^{40}\text{K}$  são determinados, principalmente, por circunstâncias fisiológicas [15].

Devido aos danos que esses elementos podem causar ao corpo humano, essa monitoração se torna uma importante ferramenta para a preservação da saúde pública, principalmente para alimentos produzidos em grandes quantidades, como é o caso do açúcar.

## 2 Materiais e métodos

Para determinação dos isótopos  $^{238}\text{U}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  e  $^{40}\text{K}$  foi escolhida a técnica de espectrometria gama. A Espectrometria Gama consegue medir as concentrações dos radionuclídeos através dos raios gama emitidos pela amostra, que interagem com o detector. Assim, é possível identificar o isótopo através da energia emitida por ele e quantificá-lo através da sua atividade. Na série do urânio e do tório, o decaimento alfa de muitos isótopos vêm acompanhados de raios gama, permitindo sua detecção por essa técnica. Devido ao baixo nível de radiação normalmente encontrado em amostras ambientais, a espectrometria gama com cristal hiperpuro de germânio é um método com boa precisão para a análise de radionuclídeos naturais [16]. Essa técnica também possui algumas vantagens importantes para a pesquisa, como a rapidez e o baixo custo, além de ser um método não destrutivo [16].

Inicialmente, foram coletadas dez amostras de açúcar mascavo de diferentes marcas que são comercializadas na Região Metropolitana do Recife, cada uma com massa úmida equivalente a 200 g, pesadas em uma balança com precisão de 3 casas decimais. Cada amostra foi colocada em um recipiente cilíndrico feito de polietileno, com 6.5 cm de diâmetro, 8 cm de altura e uma capacidade volumétrica de 210  $\text{cm}^3$ . Para que ocorresse o equilíbrio secular, os recipientes foram hermeticamente fechados, utilizando cola de silicone na tampa para vedação, e foram deixados em repouso por um período de 28 dias.

Atingido o equilíbrio secular, as amostras foram analisadas, com um tempo de contagem de 43.200 s (12 h), no Espectrômetro Gama Canberra (Figura 1) do Centro Regional de Ciências Nucleares (CRCN). O aparelho possui um detector de Germânio Hiperpuro (HPGe), modelo GC3018, com 4,54 cm de diâmetro externo e volume de 41,1  $\text{cm}^3$ . O detector é envolvido com uma blindagem de chumbo de aproximadamente 6,5 cm de espessura, para diminuir ao máximo a interferência do *Background*. O

resfriamento do cristal de Germânio é feito por um mecanismo contendo Nitrogênio Líquido (Figura 2) com funcionamento contínuo.

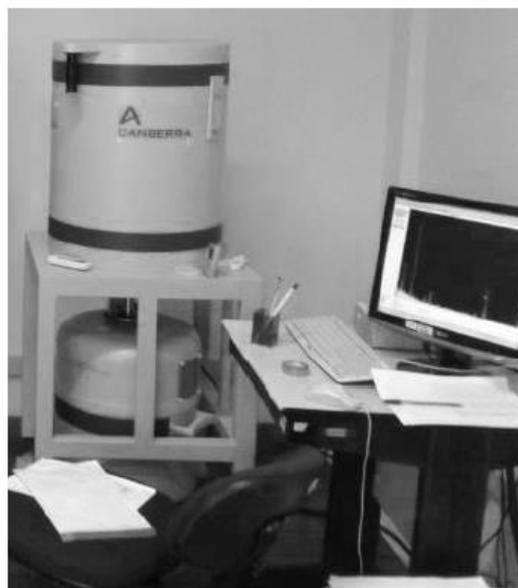


Figura 1: Espectrômetro Gama do Centro Regional de Ciências Nucleares (CRCN).



Figura 2: Mecanismo de Resfriamento por  $\text{N}_2$  líquido.

Com o espectrômetro gama foram feitas as contagens dos fótons de raios gama emitidos pelas amostras, gerando um gráfico utilizado para a determinação da atividade e concentração de cada isótopo. O aparelho DSA1000 foi utilizado para fazer a interface entre o detector e o software Genie 2000, que é responsável pela geração dos gráficos de interesse. O gráfico conta o número de emissões de raios gama para cada energia observada,

sendo possível identificar qual isótopo emitiu aquela radiação sabendo a energia que ele emite com maior probabilidade. Observando as áreas dos picos de energia característicos de cada elemento no gráfico, é possível calcular as suas atividades em Bq.kg<sup>-1</sup> através da equação 1, obedecendo às normas da International Atomic Energy Agency (IAEA).

$$A = \frac{(C - C_{Bg})}{\epsilon m \gamma} \quad (1)$$

Dessa forma, foram calculadas as atividades do <sup>238</sup>U, <sup>228</sup>Ra, <sup>226</sup>Ra e <sup>40</sup>K presentes em cada amostra de açúcar, onde:

A = Atividade do radioisótopo de interesse;

C = Número de contagens (área) do pico escolhido, obtido da análise da amostra;

C<sub>Bg</sub> = Número de contagens (área) do pico escolhido, obtido da análise do Background;

ε = Eficiência de detecção do sistema (ε<1);

m = Massa líquida da amostra (kg);

t = Tempo de contagem (s);

γ = Probabilidade de emissão de raios gama através da energia selecionada.

A análise estatística dos dados foi feita através do método de Monte Carlo (MMC), uma ferramenta matemática comumente utilizada em diversos segmentos da ciência e da engenharia para simular problemas que podem ser representados por processos estocásticos, ou seja, que tem origem em processos com origem em eventos aleatórios. O MMC pode ser resumido como um método de simulação estatística que se baseia em sequências de dados aleatórios para desenvolver simulações compatíveis com a realidade.

### 3 Resultados e discussões

De acordo com Rusanova [17], o solo pode transferir o <sup>226</sup>Ra e o <sup>228</sup>Ra para a cana-de-açúcar, já que dependendo da espécie, esses isótopos podem ser facilmente transferidos do solo para os vegetais. Entretanto, as raízes das plantas somente absorvem os radionuclídeos quando estão em solução no solo [18]. Nesse caso, o rádio pode entrar em contato com a superfície da raiz. Para isso, eles devem ser carregados da solução do solo até as raízes através de fluxo eletrolítico de íons e por difusão. A intensidade da

absorção do rádio varia consideravelmente de uma planta para outra, incluindo plantas de mesma espécie [19], e é influenciada por diversos fatores, sendo o principal deles a concentração do mesmo no solo [20]. Sendo assim, podemos dizer que presença de <sup>226</sup>Ra e <sup>228</sup>Ra nas plantas depende principalmente da concentração desses radionuclídeos no solo e da forma química na qual são encontrados [21].

No caso específico da Zona da Mata de Pernambuco, os resíduos e detritos originam-se de indústrias locais ou pelo uso indiscriminado de fertilizantes com fosfógeno ou gesso pelos engenhos de cana de açúcar [16]. A absorção de radionuclídeos como o <sup>226</sup>Ra e o <sup>238</sup>U pela cana-de-açúcar pode representar um problema de saúde pública, principalmente se essas plantas ou produtos resultantes delas, como é o caso do açúcar mascavo, são consumidos pelo ser humano [16].

O <sup>226</sup>Ra tem significativa importância nos estudos de proteção radiológica. A introdução do conceito de dose equivalente efetiva dado pela ICRP [22], bem como os limites ocupacionais de proteção radiológica para o caso de emissões internas foram baseados no nível de segurança associado com a quantidade de 3,7 kBq.Kg<sup>-1</sup> de <sup>226</sup>Ra no corpo humano [23]. Esse limite de segurança também pode ser usado para comparação com os resultados obtidos, já que esse valor é o máximo permitido no corpo humano [23].

Para melhor entender como funciona a contaminação desses radionuclídeos no organismo, a Comissão Internacional de Proteção Radiológica (ICRP) desenvolveu modelos biocinéticos para promover um estudo mais completo a respeito da ingestão de substâncias radioativas. Esses modelos buscam estudar tanto o movimento dessas substâncias no corpo quanto o tempo que permanecem em cada compartimento, de modo que seja possível calcular o risco interno associado aos diversos órgãos e seus tecidos. A Figura 3 mostra o fluxograma do modelo dosimétrico geral apresentado na ICRP-30 [24].

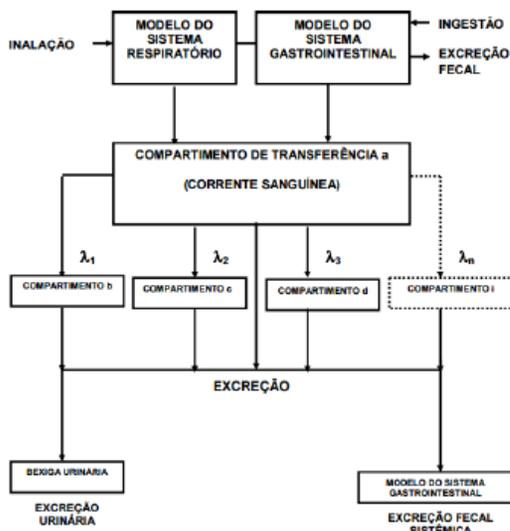


Figura 3: Esquema do Modelo Dosimétrico Geral.

Os resultados significativos obtidos com o uso do espectrômetro gama nas amostras de açúcar mascavo são apresentados na Tabela 1, em mBq.kg<sup>-1</sup>. As concentrações presentes no açúcar ficaram entre 4,500 Bq.kg<sup>-1</sup> e 8,760 Bq.kg<sup>-1</sup> para o <sup>238</sup>U e entre 1,098 Bq.kg<sup>-1</sup> e 4,235 Bq.kg<sup>-1</sup> para o <sup>226</sup>Ra. Os demais isótopos tiveram concentrações abaixo do limite de detecção ou não estavam presentes nas amostras.

Amostra	Concentração (mBq.kg <sup>-1</sup> )	
	<sup>238</sup> U	<sup>226</sup> Ra
1	5020	2085
2	4500	3300
3	7200	4235
4	7860	1987
6	8760	2078
7	7689	3765
8	8675	3245
9	7863	2345
10	8654	1098

Tabela 1: Concentrações de <sup>238</sup>U e <sup>226</sup>Ra no açúcar mascavo.

## 4 Conclusões

As concentrações máximas dos radioisótopos presentes no açúcar foram 8,760 Bq.kg<sup>-1</sup> (<sup>238</sup>U) e 4,235 Bq.kg<sup>-1</sup> (<sup>226</sup>Ra). Esses níveis de radiação são considerados aceitáveis, quando comparados com a literatura e as

recomendações da *International Commission on Radiological Protection - ICRP*, não apresentando risco para a saúde humana.

## Referências

- [1] J. F. Gonçalves, K. D. Correia. Sugarcane: Production, Cultivation & Uses. Nova Science Publishers Inc., New York, United States of America, 2012.
- [2] H. Sfar Felfoul, P. Clastres, M. Ben Ouedou, A. Carles-Gibergues. Propriétés et perspectives de valorisation du phosphogypse l'exemple de la Tunisie. In *Proceedings of International Symposium on Environmental Pollution Control and Waste Management, EPWCOM*, Tunis, Tunisie, páginas 510-520, 2002.
- [3] A. J. G. Santos, B. P. Mazzilli, D. I. T. Fávaro, P. S. C. Silva. Partitioning of radionuclides and trace elements in phosphogypsum and its source materials based on sequential extraction methods. *Journal of Environmental Radioactivity*, 87:52-61, 2006.
- [4] C. H. Saueia, B. P. Mazzilli, D. I. T. Fávaro. Natural radioactivity in phosphate rock, phosphogypsum and phosphate fertilizers in Brazil. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 264(2):445-448, 2005.
- [5] J. P. Bolívar, R. García-Tenório, M. García-Léon. Enhancement of natural radioactivity in soils and sand-marshes surrounding a non-nuclear industrial complex. *The Science of the Total Environment*, 173/174:125-136, 1995.
- [6] BEIR IV. Health risks of radon and other internally deposited alphaemitters. National Academy Press, Washington, D. C, 1988.
- [7] California Environmental Protection Agency (CEPA). Public health goals for chemicals and drinking water: radium -226 and -228. Office of Environmental Health Hazard Assessment, California, United States of America, 2006.
- [8] J. V. A. Moreira. Radiobiologia: efeito das radiações ionizantes na célula e formas de protecção das radiações ionizantes. Tese de Mestrado em Medicina, Universidade da Beira Interior, Junho 2011.

- [9] United Nations Scientific Committee On The Effects Of Atomic Radiation. Ionizing radiation: sources and biological effects. UNSCEAR, New York, United States of America, 1982.
- [10] H. Muth, B. Göbel. Age dependent concentration of  $^{226}\text{Ra}$  in human bone and some transfer factors from diet to human tissues. *Health Physics*, 44(1):113-121, 1983.
- [11] M. Eisenbud, T. Gesell. Environmental radioactivity: from natural, industrial and military sources. Academic Press, New York, United States of America, 1997.
- [12] C. W. Mays, R. E. Rowland, A. Stehney. Cancer risk from the lifetime intake of Ra and U isotopes. *Health Physics*, 48(5):635-647, 1985.
- [13] M. E. Wrenn, P. W. Durbin, B. Howard, J. Lipsztein, J. Rundo, E. T. Still, D. L. Willis. Metabolism of ingested uranium and radium. *Health Physics*, 48(5):601-633, 1985.
- [14] X. Arzuaga, S. H. Rieth, A. Bathija, G. S. Cooper. Renal effects of exposure to natural and depleted uranium: a review of the epidemiologic and experimental data. *Journal of toxicology and environmental health, Part B*, 13(7-8):527-545, 2010.
- [15] J. L. Smith-Briggs, E. J. Bradley, M. D. Potter. The ratio of lead-210 to polonium-210 in U.K. diet. *The Science of the Total Environment*, 54:127-133, 1986.
- [16] C. M. Silva, R. S. Amaral, J. A. S. Junior, M. R. O. Breckenfeld, R. S. C. Menezes.  $^{226}\text{Ra}$  Concentration in Soil and in Sugar Cane after Application of Dolomitic Limestone, Phosphogypsum or Gypsum. Sugarcane: Production, Cultivation and Uses, páginas 41-71. Nova Science Publishers Inc., New York, United States of America, 2012.
- [17] G. V. Rusanova. Behavior of radium and calcium in the soil-plant system. *Pochvovedenie* 3:63-70, 1964.
- [18] V. A. Pulhani, S. Dafauti, A. G. Hedge, R. M. Sharma, U. C. Mishra. Uptake and distribution of natural radioactivity in wheat plants from soil. *Journal of Environmental Radioactivity*, environment. *Journal of Radiologic Protection*, 25(2):127-140, 2005.
- [20] M. J. Madruga, A. Brogueira, G. Alberto, F. Cardoso.  $^{226}\text{Ra}$  bioavailability to plants at the Urgeiriça uranium Mills tailings site. *Journal of Environmental Radioactivity*, 54(1):175-188, 2001.
- [21] A. O. Bettencourt, M. M. G. R. Teixeira, M. D. T. Elias, M. C. Faisca. Soil to plant transfer of radium –  $^{226}\text{Ra}$ . *Journal of Environmental Radioactivity*, 6(1):49-60. 1988.
- [22] ICRP. Recommendations of the International Commission of the Radiological Protection. In *Annals of International Commission on Radiological Protection*, Publication 20, Ontario, Canada, 1977.
- [23] W. A. Mills. Estimates of human cancer risks associated with internally deposited radionuclides. Internal Radiation Dosimetry, páginas 609-631. Medical Physics Publishing, Madison, Wisconsin, United States of America, 1994.
- [24] ICRP. Recommendations of the International Commission of the Radiological Protection. In *Annals of International Commission on Radiological Protection*, Publication 30, Ontario, Canada, 1978.
- [19] A. C. Baker, C. Toque. A review of the potential of radium from luminising activities to migrate in