



## **$^{228}\text{Ra}$ e $^{226}\text{Ra}$ em alimentos industrializados consumidos por vacas leiteiras no estado de Pernambuco**

C. M. Silva<sup>\*a,b</sup>

*<sup>a</sup>Universidade de Pernambuco, Campus Mata Norte, Departamento de Biologia*

*Rua Amaro Maltês de Farias, S/N, CEP- 55800-000, Nazaré da Mata, Pernambuco, Brasil*

*<sup>b</sup>Mestrado em Gestão do Desenvolvimento Local Sustentável (GDLS)-FCAP-UPE*

*Av. Sport Club do Recife, 252, bloco C, 4º andar – Madalena – CEP 50740-500 – Recife, Pernambuco, Brasil*

[cleomacio@hotmail.com](mailto:cleomacio@hotmail.com)

---

### RESUMO

No estado de Pernambuco, os produtos industrializados de origem vegetal e mineral são intensamente utilizados na alimentação de vacas leiteiras. Porém, dependendo da origem, esses alimentos podem conter quantidades significativas de radionuclídeos naturais, principalmente  $^{228}\text{Ra}$  e  $^{226}\text{Ra}$  que estão distribuídos na crosta terrestre em quantidades variáveis. Os alimentos de origem vegetal podem conter quantidades significativas de  $^{228}\text{Ra}$  e  $^{226}\text{Ra}$ , pois dependendo do local onde a planta foi cultivada, esses radionuclídeos são eficientemente absorvidos pelas raízes. No caso dos alimentos minerais, grande parte deles são oriundos de rochas fosfáticas que são predominantemente ricas em radionuclídeos naturais, inclusive  $^{228}\text{Ra}$  e  $^{226}\text{Ra}$ . O objetivo desse trabalho foi determinar as concentrações de  $^{228}\text{Ra}$  e  $^{226}\text{Ra}$  em alimentos industrializados consumidos por vacas leiteiras no estado de Pernambuco. As concentrações de  $^{228}\text{Ra}$  nas amostras de alimentos de origem vegetal variaram de 2.738 a 22.266  $\text{mBq.kg}^{-1}$  na matéria seca, e de 2.582 a 63.000  $\text{mBq.kg}^{-1}$  na matéria seca nas amostras de alimentos de origem mineral (fosfato bicalcico). No caso do  $^{226}\text{Ra}$ , as concentrações variaram de 246 a 2.600  $\text{mBq.kg}^{-1}$  na matéria seca para as amostras de alimentos de origem vegetal, e de 1.300 a 7.800  $\text{mBq.kg}^{-1}$  na matéria seca, para as amostras de alimentos de origem mineral (fosfato bicalcico).

---

*Palavras-chave: Monitoração Ambiental, Radioatividade Ambiental, Rádio, Cadeia alimentar.*

---

## ABSTRACT

In the state of Pernambuco, industrialized products of vegetable and mineral origin are intensely used in feeding dairy cows. However, depending on the origin, these foods may contain significant amounts of natural radionuclides, especially  $^{228}\text{Ra}$  and  $^{226}\text{Ra}$  that are distributed in the earth's crust in varying amounts. Foods of plant origin may contain significant amounts of  $^{228}\text{Ra}$  and  $^{226}\text{Ra}$ , because depending on where the plant was grown, these radionuclides are efficiently absorbed by the roots. In the case of mineral foods, most of them come from phosphate rocks that are predominantly rich in natural radionuclides, including  $^{228}\text{Ra}$  and  $^{226}\text{Ra}$ . The objective of this work was to determine the concentrations of  $^{228}\text{Ra}$  and  $^{226}\text{Ra}$  in industrialized foods consumed by dairy cows in the state of Pernambuco. The concentrations of  $^{228}\text{Ra}$  in food samples of plant origin varied from 2,738 to 22,266  $\text{mBq}\cdot\text{kg}^{-1}$  in the dry matter, and from 2,582 to 63,000  $\text{mBq}\cdot\text{kg}^{-1}$  in dry matter in samples of foods of mineral origin (dicalcium phosphate). In the case of  $^{226}\text{Ra}$ , concentrations ranged from 246 to 2,600  $\text{mBq}\cdot\text{kg}^{-1}$  in the dry matter for food samples of plant origin, and from 1,300 to 7,800  $\text{mBq}\cdot\text{kg}^{-1}$  in the dry matter for the samples of foods of origin mineral (dicalcium phosphate).

*Keywords: Environmental Monitoring, Environmental Radioactivity, Radium, Food Chain.*

---

## 1. INTRODUÇÃO

A pecuária leiteira é a principal atividade econômica da região agreste do estado de Pernambuco. Para diminuir o custo com a produção de leite, os produtores têm buscado diferentes alternativas em relação à alimentação do rebanho [1]. Com este intuito, são utilizadas plantas forrageiras cultivadas nas fazendas, como também diversos produtos industrializados.

Dependendo do local onde as plantas são cultivadas, elas podem absorver diretamente do solo quantidade significativa de radionuclídeos, especialmente  $^{228}\text{Ra}$  e  $^{226}\text{Ra}$  que são elementos com grande afinidade química com o cálcio [2]. O  $^{228}\text{Ra}$  é um radionuclídeo natural da série radioativa do  $^{232}\text{Th}$ , enquanto que o  $^{226}\text{Ra}$  pertence à série radioativa natural do  $^{238}\text{U}$

Em Pernambuco, a palma forrageira (*Opuntia spp.*) é a principal fonte de alimentação para vacas leiteiras [3]. Por outro lado, a palma forrageira possui baixo teor de fibra, e quando fornecida às vacas leiteiras isoladamente, produz distúrbios metabólicos e por isto, apesar de possuir bom valor nutritivo, necessita de complementação com outros alimentos [4]. Em muitas situações, a palma forrageira é misturada com outros produtos de origem vegetal como farelo de trigo, milho, farelo de soja e farelo de caroço de algodão. Na suplementação mineral do rebanho, a palma forrageira é misturada com fosfato bicalcico, um subproduto do beneficiamento da rocha fosfática. No estado de Pernambuco, o fosfato bicalcico ( $\text{CaHPO}_4$ ) é bastante utilizado na suplementação mineral de vacas leiteiras. Uma vez que as rochas fosfáticas possuem quantidades elevadas de radionuclídeos naturais, inclusive os isótopos  $^{228}\text{Ra}$  e  $^{226}\text{Ra}$  [5], quando ingerido por vacas em lactação, o rádio é transferido para o leite, em diferentes percentuais [6]. Estudos realizados por Reid et al. [7] e Arruda-Neto et al. [8] verificaram que o fosfato bicalcico possui quantidades elevadas de  $^{226}\text{Ra}$ . As vacas leiteiras são os maiores consumidores de suplemento alimentar à base de fosfato bicalcico [7]. Assim, o consumo de fosfato bicalcico por vacas em lactação pode transferir quantidades significativas de  $^{228}\text{Ra}$  e  $^{226}\text{Ra}$  no processo forragem-leite, aumentando a dose de radiação no homem.

Por ter propriedades químicas semelhantes ao cálcio, o  $^{228}\text{Ra}$  e  $^{226}\text{Ra}$  depositam-se na estrutura óssea do homem. O consumo de leite e derivados são vias importantes de transferência de  $^{228}\text{Ra}$  e  $^{226}\text{Ra}$  para a cadeia alimentar do homem, tendo como resultado o aumento da dose de radiação e conseqüentemente maior probabilidade de risco de câncer [9] onde os tipos mais comuns são sarcomas de osso (relacionado com o  $^{226}\text{Ra}$ ) e carcinoma de crânio (relacionado com o  $^{226}\text{Ra}$  e o  $^{228}\text{Ra}$ ) [10].

Poucos trabalhos abordam a transferência de rádio para a cadeia alimentar de vacas leiteiras. Uma pesquisa detalhada sobre o metabolismo do rádio em vaca leiteira foi desenvolvida por Sansom e Garner [6], utilizando o isótopo  $^{224}\text{Ra}$ . A presença de  $^{226}\text{Ra}$  na cadeia alimentar de vacas leiteiras é decorrente da ingestão de água e forragem, onde os vegetais desempenham função importante no processo de transferência [11]. Dependendo da espécie, tanto o  $^{226}\text{Ra}$ , como o  $^{228}\text{Ra}$  podem ser facilmente transferidos do solo para os vegetais [12]. Qualquer tipo de alimentação

preparada industrialmente com vegetais pode transferir níveis de  $^{226}\text{Ra}$  e  $^{228}\text{Ra}$  para a cadeia alimentar de vacas leiteiras.

Objetivo do presente estudo foi avaliar as concentrações de  $^{228}\text{Ra}$  e  $^{226}\text{Ra}$  em alimentos industrializados consumidos por vacas leiteiras no estado de Pernambuco, visando quantificar a transferência para a cadeia alimentar desses animais.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1. Coletas das amostras

As amostras foram coletadas nas principais empresas fornecedoras de alimentos industrializados para alimentação de rebanho bovino leiteiro no estado de Pernambuco, todas localizadas na região Metropolitana do Recife. Por questão de anonimato os nomes das empresas não foram divulgados.

### 2.2. Tratamento das amostras

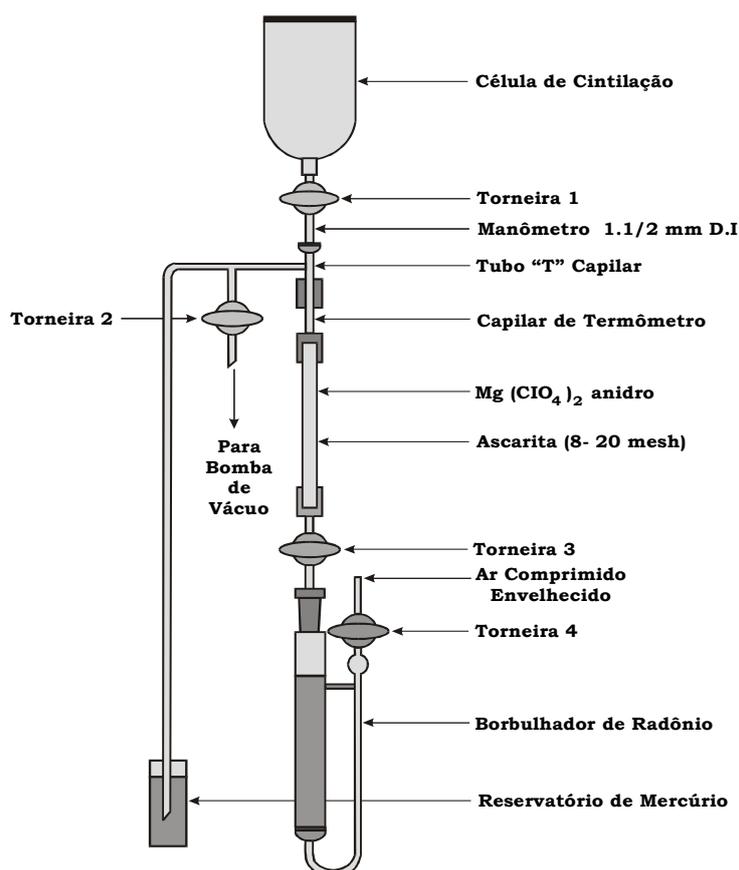
Em cada estabelecimento comercial foram coletados 1 kg de alimentos de origem vegetal e 200 g de alimentos de origem mineral (Fosfato bicalcico). As amostras foram analisadas em triplicata. As amostras foram levadas para calcinação até atingir a temperatura de 450 °C. Após atingir esta temperatura, esperou-se um tempo médio de 48 horas, até a obtenção total das cinzas. Em seguida retiraram-se dez gramas de cinzas para digestão com ácido nítrico concentrado, levando-se à evaporação, e em seguida, recalcinando a 450°C durante trinta minutos. Após resfriamento, adicionou-se novamente ácido nítrico concentrado e levou-se à ebulição. Depois do esfriamento, a solução obtida foi filtrada e utilizada para a determinação do  $^{228}\text{Ra}$  e  $^{226}\text{Ra}$  [13].

### 2.3. Determinação do $^{228}\text{Ra}$ e $^{226}\text{Ra}$

Na determinação das concentrações de  $^{228}\text{Ra}$  e  $^{226}\text{Ra}$  utilizou-se o método da determinação simultânea [14]. A escolha deste método levou em consideração o grau de dificuldade de execução, tempo, custo de análise, sensibilidade, exatidão, reprodutibilidade e disponibilidade do Laboratório de Monitoração Ambiental do Departamento de Energia Nuclear (DEN) da Universidade Federal de

Pernambuco (UFPE). O  $^{226}\text{Ra}$  foi determinado pela técnica da emissão do  $^{222}\text{Rn}$ , enquanto que o  $^{228}\text{Ra}$  foi determinado através do  $^{228}\text{Ac}$  pela técnica da quantificação do precipitado de  $\text{BaSO}_4$  [14]. Para a determinação de  $^{226}\text{Ra}$  e  $^{228}\text{Ra}$  nas amostras de alimentos, preparou-se 1 litro de solução, a partir da solução formada pela digestão das cinzas. Nesse caso, transferiu-se a quantidade de 1 litro para um becker de vidro, adicionando-se: (a) 1 ml de carreador de bário ( $20 \text{ mg Ba}^{+2}/\text{ml}$ ), (b) gotas de vermelho de metila, (c) 5 ml de ácido cítrico e (d)  $\text{NH}_4\text{OH}$ , lentamente até obter pH entre 4,5 a 5. Após esta etapa, a solução foi aquecida até a ebulição, e em seguida adicionou-se 50 ml de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  3 M, sob agitação. O precipitado formado foi dissolvido utilizando-se EDTA e  $\text{NH}_4\text{OH}$ , e colocado para aquecer até sua total dissolução. Após esta etapa, a solução foi transferida para um recipiente de vidro (borbulhador) e o radônio ( $^{222}\text{Rn}$ ) residual foi extraído pela passagem de ar comprimido envelhecido através da solução. Em seguida, fechou-se o borbulhador para dar início ao crescimento do  $^{222}\text{Rn}$ . Depois de decorrido um tempo para que seja obtida uma atividade superior a 75 % da atividade de equilíbrio, o  $^{222}\text{Rn}$  produzido pelo decaimento do  $^{226}\text{Ra}$  foi extraído do borbulhador e armazenado numa célula de Lucas. Na célula, o  $^{222}\text{Rn}$  entra em equilíbrio com seus descendentes, sendo então realizada a contagem alfa total [15]. A contagem alfa do  $^{222}\text{Rn}$  foi realizada acoplando a célula de Lucas ao fotocátodo de uma fotomultiplicadora, conectada a um sistema eletrônico modular convencional (pré-amplificador, amplificador, discriminador e contador com temporizador). A Figura 1 mostra o sistema de emissão e a célula de Lucas.

**Figura 1:** Sistema de emissão com a célula de Lucas.



As células de Lucas foram calibradas utilizando solução padronizada de  $^{226}\text{Ra}$  fornecida pelo Instituto de Radioproteção e Dosimetria (IRD). O Laboratório de Monitoração Ambiental do DEN/UFPE faz parte do Programa Nacional de Intercomparação (PNI), com o objetivo de avaliar a exatidão na determinação das concentrações de  $^{226}\text{Ra}$  pelo método utilizado neste trabalho. Através da realização de intercomparações internas, procurou-se avaliar a confiabilidade do método de análise utilizado na determinação das concentrações de  $^{226}\text{Ra}$ . Para tanto, foram preparadas amostras padrões em duplicatas, utilizando-se material certificado fornecido pelo IRD. Nesse caso, preparou-se quatro amostras de diferentes produtos, com valores de concentrações conhecidas de  $^{226}\text{Ra}$ , adicionando-se em cada uma delas 21 mBq de atividade de uma solução padrão de  $^{226}\text{Ra}$ , com a finalidade de determinar o rendimento da concentração do padrão durante os procedimentos normais de análises. A concentração de  $^{226}\text{Ra}$  ( $A_{\text{Ra}-226}$ ) em  $\text{mBq}\cdot\text{kg}^{-1}$  foi calculada pela Equação 1 [14].

$$A_{\text{Ra-226}} = \frac{(C_A - C_B)}{E \times V} \frac{1}{(1 - e^{-\lambda_1 t_1})} \frac{1}{(e^{-\lambda_2 t_2})} \quad (1)$$

Onde:

$C_A$  = Taxa de contagem alfa observada na amostra (cpm);

$C_B$  = Taxa de radiação de fundo (Background) observada na célula de Lucas (cpm);

$E$  = Constante de calibração em eficiência da célula de Lucas do  $^{222}\text{Rn}$  com seus descendentes (cpm/mBq);

$V$  = Volume de 1 L da solução utilizada na determinação do  $^{226}\text{Ra}$ ;

$\lambda_1$  = Constante de decaimento do  $^{222}\text{Rn}$  (dias);

$\lambda_2$  = Constante de decaimento do  $^{222}\text{Rn}$  (horas);

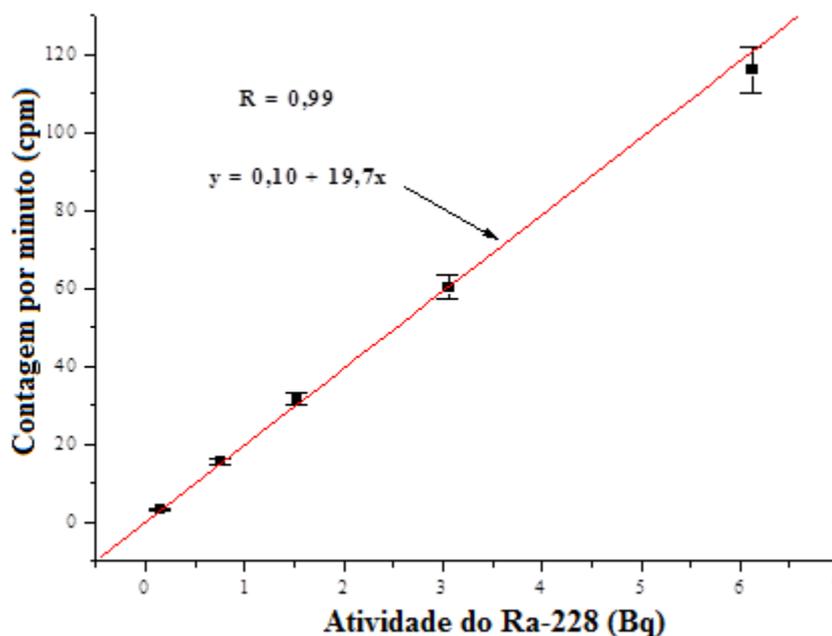
$t_1$  = Intervalo de tempo para o crescimento do  $^{222}\text{Rn}$  no borbulhador (dias);

$t_2$  = Intervalo de tempo entre a emanção e o início da contagem (horas);

$\frac{1}{(1 - e^{-\lambda_1 t_1})}$  = Fator de correção para o crescimento do  $^{222}\text{Rn}$  no tempo  $t_1$ ;

$\frac{1}{(e^{-\lambda_2 t_2})}$  = Fator de correção para o decaimento do  $^{222}\text{Rn}$  no tempo  $t_2$ .

O  $^{228}\text{Ra}$  foi determinado através do  $^{228}\text{Ac}$  pela técnica da quantificação do precipitado de  $\text{BaSO}_4$  [14]. Nesse caso, a solução que foi usada na determinação do  $^{226}\text{Ra}$  foi filtrada, e em seguida adicionou-se 1 ml de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  1,8 N e ácido acético glacial até o pH ficar entre 4,5 a 5. Manteve-se a solução em banho-maria a 60 °C até o dia seguinte. Filtrou-se a solução em papel quantitativo. Depois dessa etapa, cobriu-se o precipitado e em seguida o mesmo foi levado para o detector Canberra Tennelec S5E para determinar a contagem beta. Nos procedimentos de calibração do detector, prepararam-se amostras padrões que foram submetidas aos mesmos procedimentos analíticos das amostras. As concentrações dos padrões variaram de 0,153 a 6,124 Bq em análise de quadruplicatas. A Figura 2 mostra a curva de calibração média obtidas de cinco análises de concentrações diferentes.

**Figura 2:** Curva de calibração média do detector Canberra Tennelec S5E no platô beta.

O limite de detecção foi de 81 mBq. A eficiência de contagem no platô beta ( $\eta$ ) foi determinada diretamente na Figura 2, pois, ela é numericamente igual ao coeficiente angular da reta. O valor de  $\eta$  foi de 19,7 cpm.Bq<sup>-1</sup>. Isso significou uma eficiência de contagem beta de aproximadamente, 33%. A concentração de <sup>228</sup>Ra ( $A_{\text{Ra-228}}$ ) em mBq.kg<sup>-1</sup> foi determinada utilizando a Equação 2 [14].

$$A_{\text{Ra-228}} = \frac{(C_A - C_B)}{R_Q \times \varepsilon} - 2(1 - e^{-\lambda_1 t_1}) \times A_{\text{Ra-226}}$$

(2)

Onde:

$C_A$  = Taxa de contagem beta observada na amostra (cpm);

$C_B$  = Taxa de radiação de fundo (Background) (cpm);

$R_Q$  = Rendimento químico do precipitado (%)

$\varepsilon$  = Eficiência do sistema para contagem do <sup>228</sup>Ra (cpm/mBq);

$\lambda_1$  = Constante de decaimento do <sup>222</sup>Rn (dias);

$t_1$  = Intervalo de tempo para o crescimento do <sup>222</sup>Rn no borbulhador (dias);

$A_{\text{Ra-226}}$  = Concentração de  $^{226}\text{Ra}$  (mBq/kg). A eficiência de contagem ( $\varepsilon$ ) foi calculada pela Equação 3 [14].

$$\varepsilon = \frac{C_A - C_{\text{BG}}}{A_P}$$

(3)

Onde:

$C_A$  = taxa de contagem da amostra padrão (cpm);

$C_{\text{BG}}$  = taxa de contagem da radiação de fundo (cpm);

$A_P$  = atividade do padrão (mBq/kg).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas Tabelas 1 e 2 encontram-se apresentados os valores das concentrações médias de  $^{228}\text{Ra}$  e  $^{226}\text{Ra}$  nas amostras de alimentos industrializados coletados de diferentes fabricantes, resultantes das análises em triplicatas. No cálculo do desvio padrão das concentrações considerou-se o nível de confiança adotado na análise radioquímica das amostras, de acordo com o PNI/IRD [13]. De acordo com o teste estatístico LSD (*least significant difference-Diferença Mínima Significativa*) apresentado por Vieira [16], houve diferença significativa entre os valores das médias das concentrações de  $^{228}\text{Ra}$  e  $^{226}\text{Ra}$  para as amostras de origem vegetal e mineral (fosfato bicalcico). Além disso, a grande variabilidade nos valores das concentrações impediu de se usar uma medida de tendência central para representar o conjunto de dados da Tabela 1. Portanto, utilizou-se apenas a amplitude intervalar do conjunto de dados. Então, observa-se na Tabela 1 que as concentrações de  $^{228}\text{Ra}$  nas amostras de alimentos de origem vegetal variaram de 2.738 a 22.266 mBq.kg<sup>-1</sup> na matéria seca e de 2.582 a 63.000 mBq.kg<sup>-1</sup> na matéria seca nas amostras de alimentos de origem mineral (fosfato bicalcico). No caso do  $^{226}\text{Ra}$ , as concentrações variaram de 246 a 2.600 mBq.kg<sup>-1</sup> na matéria seca para as amostras de alimentos de origem vegetal, e de 1.300 a 7.800 mBq.kg<sup>-1</sup> na matéria seca,

para as amostras de alimentos de origem mineral (fosfato bicalcico). Observa-se que as concentrações de  $^{228}\text{Ra}$  nas amostras de alimentos de origem vegetal e mineral foram sempre maiores do que as concentrações de  $^{226}\text{Ra}$  (Tabelas 1 e 2).

No caso dos alimentos de origem vegetal, a grande variabilidade nos valores das concentrações de  $^{228}\text{Ra}$  e  $^{226}\text{Ra}$  indicam que os vegetais usados na preparação dos alimentos, podem ter sido oriundos de diferentes tipos de cultivos, principalmente de solos onde existe anomalia radioativa. A absorção de rádio pelas plantas depende grandemente das condições do solo e o tipo de planta [2]. Segundo estes pesquisadores, a elevada variabilidade, como aquela observada na Tabela 1, é decorrente de muitos fatores que afetam a absorção de rádio pelas plantas, e que não podem ser controladas, como: (a) liberação dos íons no solo e transporte até às raízes das plantas, (b) troca dos íons nas superfícies das raízes e (c) transporte dos íons através das membranas das raízes e de sua translocação nos tecidos das plantas. Baseado neste trabalho, os autores verificaram que a absorção de rádio pelas plantas depende grandemente das condições do solo e o tipo de planta. A absorção preferencial de rádio pelas raízes foi verificada também nos estudos realizados em plantas cultivadas em locais de elevado nível de radioatividade natural [17], em solos contaminados com sais de rádio e rejeitos de minas de urânio [18], em ocorrência natural granítica [19] e solo onde foi incorporado fosfogesso [20]. Se as raízes das plantas penetrarem diretamente em local de enriquecimento de rádio solúvel, as concentrações desse radionuclídeo serão mais elevadas nesta planta do que nas outras cultivadas em local não enriquecido [17]. Assim, o potencial de absorção de rádio varia consideravelmente de uma planta para outra, inclusive dentro da mesma espécie [21]. Tudo isto pode explicar a elevada variação nos valores das concentrações de  $^{228}\text{Ra}$  e  $^{226}\text{Ra}$  apresentadas na Tabela 1. Em tal situação, a elevada diferença nos valores das concentrações dentro de uma mesma espécie pode ser explicada devido à distribuição do  $^{228}\text{Ra}$  e  $^{226}\text{Ra}$  nos solos. Estudos realizados por Filho et al. [22] em amostras de alimentos de origem vegetal consumidos por vacas leiteiras no Brasil, apresentaram concentrações de  $^{228}\text{Ra}$  e  $^{226}\text{Ra}$  variando de 670 a 4.210  $\text{mBq}\cdot\text{kg}^{-1}$  na matéria seca e 230 a 1.510  $\text{mBq}\cdot\text{kg}^{-1}$  na matéria seca, respectivamente. Observa-se que esses valores estão na mesma faixa de variação daqueles apresentados na Tabela 1.

Os fertilizantes fosfatados produzidos no Brasil são obtidos pela reação úmida da rocha fosfática ígnea com ácido sulfúrico concentrado, dando como produto final o ácido fosfórico e sulfato de cálcio desidratado (fosfogesso) como subproduto. O ácido fosfórico é a matéria prima para a produção do superfosfato triplo, superfosfato, fosfato monoamônico e fosfato diamônico. A rocha fosfática utilizada como matéria-prima apresenta em sua composição radionuclídeos das séries radioativas naturais do  $^{238}\text{U}$  e  $^{232}\text{Th}$ . As rochas fosfáticas do Brasil apresentaram concentrações de  $^{228}\text{Ra}$  e  $^{226}\text{Ra}$  variando de 236 a 492  $\text{Bq.kg}^{-1}$  e 139 a 1.518  $\text{Bq.kg}^{-1}$ , respectivamente [5]. O fosfato bicalcico é um produto extensamente utilizado no estado de Pernambuco, como suplemento alimentar de vacas leiteiras, sendo produzido pela mistura do ácido fosfórico com rochas calcárias. Após essa etapa, o fosfato bicalcico passa pelo processo de desfluorização para garantir a qualidade alimentar do produto [8]. Porém este processo não garante a retirada dos radionuclídeos naturais, como pode ser observado na Tabela 2, onde as concentrações de  $^{228}\text{Ra}$  e  $^{226}\text{Ra}$  variaram significativamente. A concentração média de  $^{228}\text{Ra}$  e  $^{226}\text{Ra}$  em amostras de fosfato bicalcico produzido no Brasil variou de 4.200 a 8.300  $\text{mBq.kg}^{-1}$  na matéria seca, respectivamente [22]. Esses valores estão na mesma faixa de variação daqueles apresentados na Tabela 2. Amostras de fosfato bicalcico analisadas por Saueia et al. [5] apresentaram concentrações média de  $^{228}\text{Ra}$  e  $^{226}\text{Ra}$ , de 17.000 e 14.000  $\text{mBq.kg}^{-1}$  na matéria seca, respectivamente. Esses valores estão na mesma ordem de grandeza daqueles apresentados na Tabela 2. Casacuberta et al. [23] determinaram concentração de  $^{228}\text{Ra}$  e  $^{226}\text{Ra}$  em amostras fosfato bicalcico variando de <1.100 a 2.400  $\text{mBq.kg}^{-1}$  na matéria seca, e 14.000 a 96.900  $\text{mBq.kg}^{-1}$  na matéria seca, respectivamente. O valor máximo das concentrações de  $^{228}\text{Ra}$  determinadas por esses autores encontram-se na mesma faixa de variação daqueles apresentados na Tabela 2. Porém, a variação das concentrações de  $^{226}\text{Ra}$  foram maiores do que os valores apresentados na Tabela 2.

**Tabela 1:** Concentrações de  $^{228}\text{Ra}$  e  $^{226}\text{Ra}$  nas amostras de alimentos de origem vegetal.

Tipo de amostra	$^{228}\text{Ra}$	$^{226}\text{Ra}$
Concentração: $\bar{X} \pm S$ ( $\text{mBq.kg}^{-1}$ na MS*)		

Farelo de soja	4.473 ± 567	1.500 ± 167
Farelo de soja	14.000 ± 1.675	1.000 ± 150
Farelo de soja	3.412 ± 453	790 ± 90
Farelo de soja	1.178 ± 205	509 ± 75
Farelo de soja	13.901 ± 1.530	1.460 ± 173
Farelo de soja	12.480 ± 1.452	1.320 ± 166
Farelo de soja	3.268 ± 265	1.000 ± 150
Farelo de trigo	12.480 ± 1.452	1.320 ± 166
Farelo de trigo	22.266 ± 2.500	1.000 ± 185
Farelo de trigo	7.516 ± 1.030	2.600 ± 283
Farelo de trigo	5.020 ± 679	342 ± 57
Farelo de aveia	17.000 ± 2.223	1.756 ± 188
Farelo de aveia	4.758 ± 534	646 ± 72
Farelo de aveia	4.829 ± 603	148 ± 17
Farelo de aveia	5.075 ± 668	706 ± 85
Caroço de algodão	4.153 ± 621	522 ± 66
Caroço de algodão	11.000 ± 1.231	1.370 ± 169
Caroço de algodão	2.738 ± 378	246 ± 29

\*MS = matéria seca.

**Tabela 2:** Concentrações de  $^{228}\text{Ra}$  e  $^{226}\text{Ra}$  nas amostras de fosfato bicalcico.

Tipo de amostra	$^{228}\text{Ra}$	$^{226}\text{Ra}$
-----------------	-------------------	-------------------

	Concentração: $\bar{X} \pm S$ (mBq.kg <sup>-1</sup> na MS*)	
Amostra 01	2.582 ± 280	1.300 ± 165
Amostra 02	25.949 ± 2.800	6.700 ± 935
Amostra 03	28.195 ± 4.204	7.500 ± 975
Amostra 04	21.544 ± 2.340	4.640 ± 523
Amostra 05	63.000 ± 8.639	7.800 ± 1090
Amostra 06	4.870 ± 310	1.800 ± 211
Amostra 07	8.765 ± 312	3.417 ± 98
Amostra 08	9.456 ± 215	2.760 ± 87
Amostra 09	12.987 ± 101	5.317 ± 109
Amostra 10	4.896 ± 215	1.986 ± 175

\*MS = matéria seca.

#### 4. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos mostraram que o consumo de alimentos industrializados de origem vegetal e mineral (fosfato bicalcico) disponibilizaram grandes quantidades de <sup>228</sup>Ra e <sup>226</sup>Ra para a cadeia alimentar de vacas leiteiras. Assim, em decorrência do consumo de leite e derivados, quantidades significativas de <sup>228</sup>Ra e <sup>226</sup>Ra podem ser transferidas para a cadeia alimentar do homem. É necessário um rígido controle de qualidade no fosfato bicalcico usado como suplemento alimentar de vacas leiteiras no estado de Pernambuco, com a finalidade de avaliar o seu grau de pureza em relação às concentrações de radionuclídeos naturais, especialmente o <sup>228</sup>Ra e <sup>226</sup>Ra. É necessário também, avaliar os níveis de toxicidade química do <sup>228</sup>Ra e <sup>226</sup>Ra em bovinos leiteiros do estado de Pernambuco.

#### REFERÊNCIAS

- [1] SEBRAE (Serviço de Apoio às Micro e Pequenas Empresas de Pernambuco). **Cadeia produtiva de leite em Pernambuco**, Recife: Edição SEBRAE, 2002.
- [2] SIMON, S.L.; IBRAHIM, S.A. Biological uptake of radium by terrestrial plants. In The Environmental Behaviour of Radium. **Technical Report Series n. 310**, IAEA, Vienna, v.1, 1990.
- [3] SILVA, C.M. **Ra-226 e Ra-228 na dieta de bovinos leiteiros do agreste semiárido de Pernambuco e avaliação de risco decorrente do consumo de leite por uma população potencialmente exposta**. Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 2006. 156p. Tese de Doutorado.
- [4] SANTOS, D.C. **Estimativa de parâmetros genéticos em caracteres de clones da palma forrageira. Opuntia ficus-indica Mill e Nopalea cochenillifera Salm-Dyck**. Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco, 1992. 119p. Dissertação de Mestrado.
- [5] SAUEIA, C.H., MAZZILLI, B.P., FÁVARO, D.I.T. Natural radioactivity in phosphate rock, phosphogypsum and phosphate fertilizers in Brazil. **J Radioanal Nucl Chem**, v. 264 (2), p. 445-448, 2005.
- [6] SANSOM, B.F.; GARNER, R.J. The metabolism of radium in dairy cows. **Biochem J.**, v. 99, p. 677-681, 1966.
- [7] REID, D.F., SACKETT, W.M., SPALDING, R.F. Uranium and radium in livestock feed supplements. **Health Phys**, v. 32, p. 535 - 540, 1977.
- [8] ARRUDA-NETO, J.D.T., TAVARES, M.V., FILADELFO, M. Concentrations of uranium in animal feed supplements: measurements and dose estimates. **J Radioanal Nucl Chem**, v. 221 (1-2), p. 97-104, 1997.
- [9] MILLS, W.A. **Estimates of human cancer risks associated with internally deposited radionuclides**. In: Raabe, O.G. Internal Radiation Dosimetry. Madison: Medical Physics Publishing, 1994.
- [10] MAYS, C.W.; ROWLAND, R.E.; STEHNEY, A.F. Cancer risk from the lifetime intake of Ra and U isotopes. **Health Phys**, v. 48 (5), p. 635 - 647, 1985.
- [11] WATSON, A.P.; ETNIER, E.L.; MCDOWELL-BOYYER, L.M. Radium-226 in drinking water and terrestrial food chains: a review of parameters and an estimate of potential exposure and dose. **Florida Institute of Phosphate Research**, under Interagency Agreement DFP#81002/DOEERD-81-163. Health and Safety Research Division, 1983.
- [12] RUSANOVA, G. V. Behavior of radium and calcium in the soil-plant system. **Soviet Soil Science**, v. 3, p. 275 - 280, 1964.

- [13] Instituto de Radioproteção e Dosimetria (IRD). **Manual de procedimentos técnicos do Departamento de Proteção Radiológica Ambiental**. Rio de Janeiro, IRD/CNEN, 1983.
- [14] GODOY, J. M. In The Environmental Behaviour of Radium. **Technical Report Series 310**, IAEA, Vienna, v.1, 1990.
- [15] GOLDIN, A.S. Determination of dissolved radium. **Anal Chem**, v. 33, p. 406, 1961.
- [16] VIEIRA, S. **Análise de variância: Anova**. São Paulo: Atlas, 2006, p.246.
- [17] LIMA, V.T.; PENNA-FRANCA, E. Uptake of endogenous and exogenous  $^{226}\text{Ra}$  by vegetables from soils of a highly radioactive region. **Radiat Prot Dosimetry**, v. 24 (1-4), p. 123-126, 1988.
- [18] BETTENCOURT, A.O., TEIXEIRA, M.M.G.R., ELIAS, M.D.T., FAISCA, M.C. Soil to plant transfer of radium-226. **J Environ Radioact**, v. 6, p. 49-60, 1988.
- [19] SAM, A. K.; ERIKSSON, A. Ra-226 uptake by vegetation grown in Western Sudan. **J Environ Radioact**, v. 29, p. 27-38, 1995.
- [20] BURNETT, W.C., ELZERMAN, A.W. Nuclide migration and the environmental radiochemistry of Florida phosphogypsum. **J Environ Radioact**, v. 54, p.27-51, 2001.
- [21] BAKER, A.C., TOQUE, C. A review of the potential for radium from luminising activities to migrate in the environment. **J Environ Radioact**, v. 25, p. 127-140, 2005.
- [22] FILHO, I.V.L., VIVIANE SCHEIBEL, V., CARLOS ROBERTO APPOLONI, C.R.  $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  and  $^{228}\text{Ra}$  series in bovine and poultry feed and in dicalcium phosphate (DCP) samples by gamma-ray spectrometry. **Braz Arch Biol Technol**, v.59, p.1-9, 2016.
- [23] CASACUBERTA, N., MASQUÉ, P., GARCIA-ORELLANA, J., BRUACH, J.M., ANGUITA, M., GASA, J., VILLA, M., HURTADO, S., GARCIA-TENORIO, R. Radioactivity contents in dicalcium phosphate and the potential radiological risk to human populations. **J Hazard Mater**, 170(2-3), 814-823, 2009.