

CORRELAÇÕES ENTRE OCORRÊNCIA DE CASOS DE CÂNCER EM HUMANOS EXPOSTOS A FERTILIZANTES E A PRODUTOS ORIGINÁRIOS DE ÁREAS CONTAMINADAS POR ELES

MATOS, Eduardo da Silva, QUEIROZ, Maria Cristina Ricci
edu_matos87@hotmail.com
Centro de Pós-Graduação Oswaldo Cruz

Resumo: *Este documento apresenta, com base em diversos estudos já realizados, a frequência de ocorrência de casos de câncer, tanto pelo contato direto com fertilizantes ou pelo consumo de produtos originários de áreas contaminadas por eles. Os dados apresentados se referem tanto ao território brasileiro quanto ao de outros países, objetivando, também, estabelecer uma relação entre os diferentes radionuclídeos, encontrados em suas respectivas áreas contaminadas e os tipos de câncer mais frequentes. O crescimento vegetal depende da presença de um total de 20 elementos químicos, muitos deles retirados do solo pelas raízes. Com o desgaste do solo, a adubação mostra-se como alternativa adequada à reposição de nutrientes perdidos, o que exige monitoramento dos níveis de radioatividade, que podem aumentar além dos valores considerados seguros ao ser humano em decorrência de tal prática. O fenômeno de decaimento radioativo também será discutido em linhas gerais, dando-se enfoque às causas da radioatividade e as interações entre radiação nuclear e a matéria, em especial, o organismo humano.*

Palavras-chave: *Radionuclídeos. Fertilizantes. Câncer.*

Abstract: *This document presents, according to several studies previously done, the occurrence of cancer frequency in humans, caused both by direct exposure to fertilizers or consumption of products from areas contaminated by them. Presented data are referred both to Brazilian and other countries's territories, in order to set a correlation between different radionuclides, found in their respective contaminated areas and the most common occurring cancer types. Plants growth depends on the presence of a 20 chemical elements total, many of them being absorbed from soil by roots. Due to soil depletion, fertilizing is thought as an adequate alternative to return extracted nutrients, something that demands monitoring on radioactivity levels, which can be increased over values considered secure to human beings as consequence of the mentioned procedure. Radioactivity decay phenomenon will be discussed in a general way, focusing on its causes and interaction between nuclear radioactivity and matter, in special, human organism.*

Keywords: *Radionuclides. Fertilizers. Cancer.*

1 INTRODUÇÃO

Um nuclídeo de um elemento X é a designação dada a núcleos cujo valor de número de massa (A) é especificado e o seu número atômico (Z) subentendido por ser característico de cada elemento químico, seguindo as notações X-A ou A_ZX ou ainda AX . Os nuclídeos que apresentem emissão radioativa são chamados de radionuclídeos ou radioisótopos. Os humanos e demais seres vivos estão expostos constantemente à radiação que pode ser tanto natural (proveniente do solo, água ou de origem cósmica), sendo neste caso, em doses não prejudiciais, quanto artificial (tendo como fonte, atividades industriais ou militares), podendo, neste caso,

trazer efeitos deletérios aos organismos vivos. A indústria de fertilizante está entre aquelas cujos efluentes podem apresentar teor de radionuclídeos acima dos valores recomendados, ocasionando, entre outras moléstias, o câncer, a partir do contato direto dos humanos com o solo contaminado ou do consumo de produtos originários destas áreas como vegetais, carne e leite.

Este estudo tem como objetivo estabelecer uma correlação entre ocorrência de diferentes tipos de câncer em humanos expostos a radionuclídeos presentes em fertilizantes, seja pelo contato direto com tais produtos ou com produtos originários de áreas que fazem uso deles, além de discutir de que forma a radiação é capaz de desencadear o câncer, com base em suas propriedades físicas e suas formas de interação com a matéria.

2 AS CAUSAS DA RADIOATIVIDADE EM ELEMENTOS QUÍMICOS

De acordo com o que foi proposto pelo modelo atômico de Rutherford e mantido até o modelo atômico atual, o modelo quântico, estabeleceu-se que o átomo é constituído por duas regiões principais, uma central chamada núcleo e outra periférica chamada eletrosfera. Para a compreensão dos fenômenos radioativos, apenas a primeira mostra-se relevante. O núcleo é composto por prótons e, na maior parte dos casos, também por nêutrons. Prótons possuem carga positiva, que se repelem, o que não é capaz de desintegrar o núcleo atômico, devido à existência de forças de atração entre partículas nucleares, que são consequência da presença dos nêutrons.

Para que um nuclídeo seja estável, ele deve apresentar uma proporção adequada entre o número de prótons e nêutrons, sendo a quantidade de ambas as partículas iguais em nuclídeos leves e a de nêutrons superior à de prótons para nuclídeos muito pesados até que se atinja o valor $Z = 92$. Quando $Z > 92$, os elementos químicos passarão a apresentar todos os seus nuclídeos instáveis, pois não há quantidade de nêutrons que seja capaz de fazer com que as forças de atração superem as de repulsão a fim de manter as partículas nucleares coesas (LEE, 1999).

A radioatividade é uma consequência de nuclídeos instáveis, que emitem partículas e/ou radiação para que seja atingida uma proporção entre os valores de A e Z que confira estabilidade a um novo nuclídeo formado. O nuclídeo formado após a primeira transmutação natural ou decaimento radioativo (núcleo filho) a partir do nuclídeo inicial (núcleo pai) pode ou não ser estável. No primeiro caso, observa-se a interrupção do decaimento e no segundo, ele continua até que o nuclídeo formado apresente estabilidade.

Os principais tipos de radiação proveniente de um radionuclídeo são partículas alfa, partículas beta e raios gama que se diferenciam pelos seus valores de massa, de carga elétrica, do seu conteúdo energético e do seu poder de penetração. As partículas alfas possuem número de massa igual a 4 e número atômico 2, correspondendo ao núcleo dos isótopos mais comuns de hélio. As partículas betas possuem massa muito pequena quando comparada à das partículas alfa sendo considerada igual a zero para fins práticos e carga elétrica com valor oposto ao do próton, ou seja, tais partículas correspondem a elétrons. Os raios gama são ondas eletromagnéticas compostas por fótons de altíssimo valor energético, possuindo carga elétrica e massa iguais a zero.

A tabela 1 mostra as características gerais dos três tipos de radiação nuclear.

Tabela 1 Características gerais dos principais tipos de radiação

| Tipo de radiação | Valor de Z | Valor de A | Representação |
|------------------|------------|------------|-----------------------------|
| Partículas alfa | 2 | 4 | α ou ${}^4_2\alpha$ |
| Partículas beta | -1 | 0 | β ou ${}^0_{-1}\beta$ |
| Raios gama | 0 | 0 | γ ou ${}^0_0\gamma$ |

Fonte: Searway, Jewett, 2004

Dado o núcleo pai, é possível determinar os valores de A e Z para o núcleo filho se for conhecido o tipo de decaimento que ocorreu, como as seguintes equações nucleares (1 a 3) para os decaimentos alfa, beta e gama respectivamente:



As sequências de radionuclídeos formados a partir das emissões são chamadas de séries radioativas ou séries de decaimento. São conhecidas quatro séries: a série do tório ($4n$), a do neptúnio ($4n + 1$), a do urânio ($4n + 2$) e a do actínio ($4n + 3$), sendo que os números entre parênteses indicam que todos os isótopos de uma determinada série possuem o valor de número de massa divisível por 4 ou então com resto assumindo os valores de 1, 2 ou 3 conforme a série, mostradas na Figura 1 (LEE, 1999).

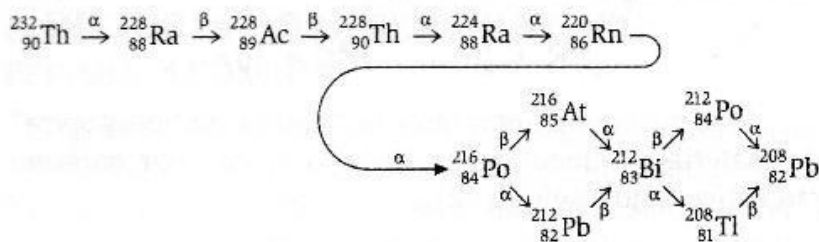
Partículas alfa possuem o menor poder de penetração. Isso ocorre porque possuem massa elevada quando comparadas às partículas que constituem outros tipos de radiação e por possuírem carga elétrica $2+$, sendo facilmente repelidas por núcleos atômicos, mas possuem alto poder ionizante já que podem retirar elétrons das superfícies com as quais se chocam. Neste processo, partículas alfas se transformam em átomos de hélio com o surgimento de cátions e/ou radicais livres nas superfícies sobre a qual ocorreu a incidência da radiação. Radicais livres são espécies altamente reativas que provocam a degradação de importantes biomoléculas, resultando em envelhecimento precoce ou mesmo câncer (ATKINS, 2006).

Partículas beta não constituem um tipo de radiação ionizante mas possuem maior poder de penetração quando comparado ao das partículas alfa, devido ao menor módulo de sua carga elétrica e devido ao fato dela ser negativa ($1-$), de modo que a repulsão que ela sofre da eletrosfera das espécies sobre as quais ela incide é menor do que a que as partículas alfa sofrem pela influência do núcleo atômico. Normalmente, são absorvidas por moléculas antes de causar danos significativos a algum tecido, ainda segundo Atkins (2006). Isso se deve ao fato de que, embora a carga total do núcleo e da eletrosfera sejam iguais em módulo, a carga nuclear está distribuída num volume muito menor que a da eletrosfera, o que faz do núcleo uma região de maior densidade de carga elétrica, capaz de exercer maior efeito de repulsão sobre cargas elétricas de mesmo sinal.

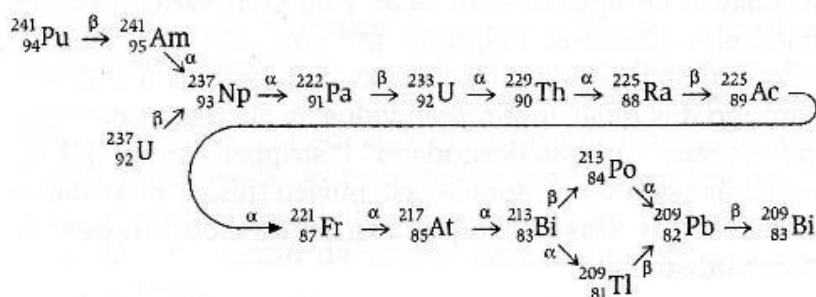
Os raios gama apresentam o maior poder de penetração dentre os três tipos de radiação apresentados por terem carga elétrica igual a zero, não sofrendo repulsão eletrostática por nenhuma partícula subatômica eletricamente carregada. Este tipo de radiação é capaz de atingir alterar o DNA e outras biomoléculas responsáveis pela transmissão de informações genéticas, provocando alterações nos mesmos e podendo levar ao surgimento de mutações (possivelmente transmitidas a gerações futuras), câncer e mesmo morte, ainda de acordo com Atkins (2006).

Figura 1 Sequência de radionuclídeos formados a partir do radionuclídeo inicial para cada uma das quatro séries.

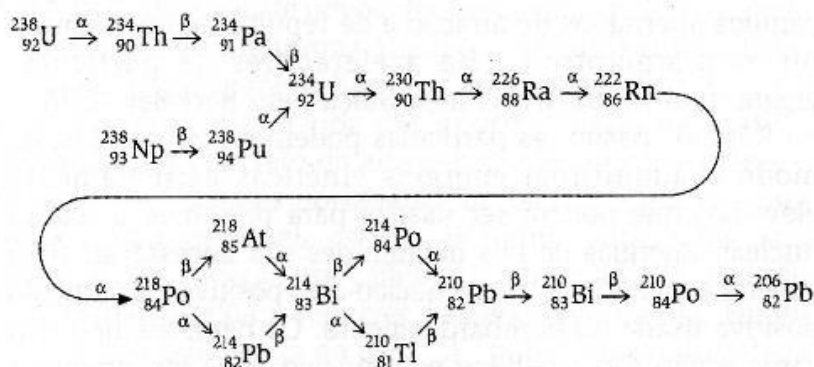
Série do Tório (4n)



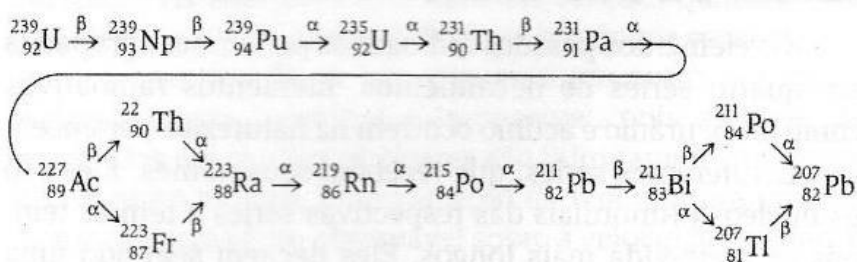
Série do Neptúnio (4n + 1)



Série do Urânio (4n + 2)



Série do Actínio (4n + 3)



Fonte: Lee, 1999

2 ELEMENTOS QUÍMICOS E CRESCIMENTO VEGETAL

Os elementos químicos necessários para o crescimento vegetal são encontrados no solo, na forma de sais minerais e podendo estar dissolvidos na água presente nele, a chamada água intersticial, constituindo soluções aquosas e sendo absorvidos pelas raízes dos vegetais.

Partículas de argila ou de húmus possuem grupos $-\text{COOH}$ e $-\text{OH}$, ligados a anéis aromáticos,

constituindo sistemas conjugados que podem ser convertidos em suas formas desprotonadas estáveis em faixas adequadas de pH (BAIRD, CANN, 2011).

Tais sistemas podem interagir com cátions metálicos dissolvidos na água do solo por meio da adsorção ou mesmo complexação de íons metálicos. O metabolismo de microrganismos existentes nas raízes das plantas, liberam íons H^+ para a água intersticial, que podem ser adsorvidos pelas partículas de argila ou húmus quando realizam o processo de troca iônica, que torna os cátions metálicos inicialmente ligados a elas, biologicamente disponíveis para as plantas (BAIRD, CANN, 2011).

De acordo com a necessidade dos vegetais por diferentes elementos químicos, estes podem ser classificados em macronutrientes e micronutrientes. Para que um elemento químico seja classificado como macronutriente, ele deve ser indispensável para que a planta complete seu ciclo de vida, não podendo ser substituído por outro elemento químico e deve estar diretamente envolvido na nutrição vegetal. Aqueles que não atenderem a qualquer uma dessas especificações são automaticamente classificados como micronutrientes. São exemplos de macronutrientes o C, H, O, N, P e K, Ca, Mg e S e de micronutrientes, o B, Cl, Cu, Fe, Mn, Mo, Zn, Co, Ni, Na, Si sendo esses dois grupos listados em ordem decrescente de necessidade dos vegetais (KULAIIF, 1999); (NUTRIÇÃO..., S/D).

O carbono é o elemento presente em maior quantidade na matéria seca vegetal, constituindo até 50% da massa celular isenta de água. É um elemento presente em todos os compostos orgânicos. São exemplos os polissacarídeos com função estrutural como a celulose e outros com função energética como o amido, armazenado nas raízes e formado a partir da glicose obtida no processo de fotossíntese. Além do carbono, outros elementos que estão sempre presentes nessas substâncias, são o hidrogênio e o oxigênio. Em outras moléculas de grande importância metabólica, como aminoácidos e proteínas, o nitrogênio também é um elemento presente. Fósforo é necessário para sintetizar ácidos nucleicos, fosfolipídeos e moléculas de elevado valor energético como o ATP (AUTOR DESCONHECIDO, S/D). Essa energia poderá ser utilizada pela planta no processo de respiração celular, em que ocorre a participação do elemento oxigênio, sob a forma de O_2 .

Macronutrientes metálicos desempenham uma ampla variedade de funções. O potássio regula o mecanismo de abertura e fechamento dos estômatos, por meio do qual ocorre a troca de gases e a manutenção do balanço hídrico vegetal. O cálcio é responsável por regular o transporte de nutrientes e a atividade de diversas enzimas enquanto o magnésio é um dos elementos que forma a molécula da clorofila, sem a qual, a planta seria incapaz de realizar a fotossíntese (AUTOR DESCONHECIDO, S/D). Micronutrientes, de forma geral, aumentam a resistência dos vegetais e diminuem a incidência de doenças, em especial, aquelas causadas por fungos (FAGERIA, CLARK, 2002).

Quando vegetais morrem e seus restos sofrem decomposição no próprio solo, os elementos químicos que haviam sido retirados dele para o desenvolvimento do vegetal, retornam ao solo, o que permite que ele continue fértil. Porém quando vegetais são retirados do solo, não ocorre a reposição de tais nutrientes, recorrendo-se a um procedimento chamado adubação, com a finalidade de reintroduzir os nutrientes retirados a fim de que passem a apresentar teores considerados adequados para determinada cultura.

A adubação responsável pela manutenção dos sais minerais é chamada de adubação inorgânica, sendo o adubo mais comum utilizado nela, o NPK. Tal sigla é formada pelas iniciais

dos símbolos dos elementos químicos que ele contém, sendo N para o nitrogênio, P para o fósforo e K para o potássio. Contudo, tais elementos químicos e outros, direta ou indiretamente relacionados ao processo de adubação inorgânica, apresentam isótopos radioativos, cujo teor no solo pode resultar em doses de radiação prejudiciais aos seres humanos que tenham contato com o solo contaminado ou com produtos originários destas regiões.

Além da radiação proveniente de elementos naturalmente encontrado no ar, solo, água e alimentos, os seres humanos também estão expostos à radiação oriunda dos elementos químicos liberados na atmosfera por testes nucleares realizados entre o período de 1952 e 1953. Radionuclídeos liberados por uma explosão nuclear se depositam sobre a superfície terrestre, um processo chamado *fallout* que pode ser local (próximo ao local da explosão) ou global (quando toma proporções mundiais) (MELQUÍADES, APPOLONI, 2003).

No caso do processo de produção do fertilizante NPK, rochas fosfáticas são tratadas com ácido sulfúrico, ocorrendo a formação do ácido fosfórico, que ao reagir com amônia, pode produzir diferentes fosfatos de amônio. O teor de radionuclídeos de nitrogênio, proveniente de fontes amoniacais ou nítricas é desprezível, porém, o teor de urânio, tório e rádio originários das rochas fosfáticas é significativo e o de potássio, cujas fontes são os sais de potássio (potassa) é próximo ao de potássio na crosta terrestre.

Quando radionuclídeos presentes no solo são absorvidos pelos vegetais e estes são destinados à alimentação humana, tais radionuclídeos são ingeridos, podendo trazer sérios danos ao organismo das pessoas, com intensidade variando conforme a quantidade do radionuclídeo ingerido e sua distribuição pelo corpo humano (MELQUÍADES, APPOLONI, 2003). Estes vegetais também servem de alimentos para rebanhos criados em atividades pecuárias, ocasionando o aumento de tais radionuclídeos em produtos de origem animal como a carne e o leite. Este último, no Brasil, apresenta teor de potássio-40 e cézio-137 (tabela 5) abaixo do máximo aceitável pela CNEM, (De NADAI *et al*, 1998).

3 EXPOSIÇÃO A RADIONUCLÍDEOS E INCIDÊNCIA DE CÂNCER

Estudos indicam que áreas ricas em radionuclídeos, como o distrito de Pehlivan koy, na Turquia, devem ter a atividade destes monitoradas (TASKIN, 2008) devido aos seus efeitos diversos no organismo humano. Entre eles estão tumores ósseos, cranianos e nasais no caso do rádio, enquanto o tório é apontado como causa de câncer nos pulmões, pâncreas, fígado, ossos, rins e leucemia.

No estado de Oyo, na Nigéria, é comum o consumo de produtos que contém tabaco, como cigarros ou o fumo diretamente inalado. Ao contrário de outros vegetais que, antes de serem consumidos, são lavados, as folhas de tabaco são diretamente secas durante o seu processamento sem que ocorra a lavagem o que faz com que o tabaco destinado ao consumo preserve quase todos os componentes presentes nas folhas (BARRERA, WERUSMAN, 1996).

Entre esses componentes, estão os radionuclídeos K-40, U-238 e Th-232, sugerindo que eles estão entre as causas de câncer na bexiga, cavidade oral, faringe, laringe, esôfago, colo de útero, rim, pulmão, pâncreas, estômago e leucemia mieloide aguda, além de doenças no coração e derrame.

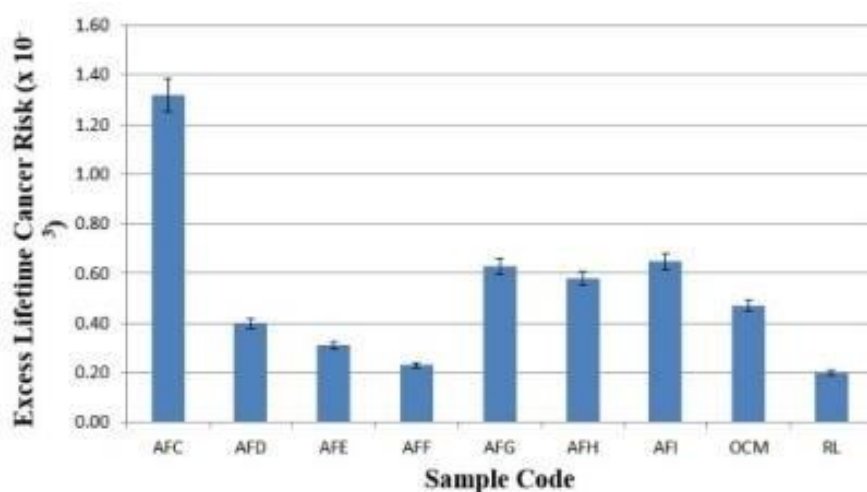
Utiliza-se uma grandeza denominada Risco de Câncer no Período de Vida em Excesso, do inglês, *Excess Lifetime Cancer Risk (ELCR)*, que está associada ao risco de desenvolvimento de câncer por parte de humanos expostos a fontes radioativas ao longo da vida. A tabela 2 relaciona a identificação das amostras com a marca comercial do produto das quais elas foram extraídas, enquanto Figura 2 mostram os valores de ELCR para as mesmas amostras, que são comercializadas no estado de Oyo, Nigéria.

Tabela 2 Produtos à base de tabaco comprados no mercado de Agbeni, Ibadan.

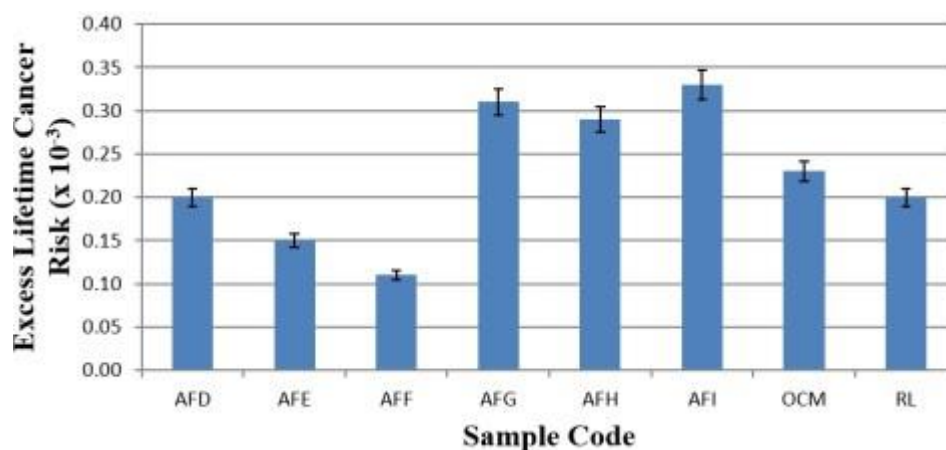
| Identificação da amostra | Nome da amostra (marca comercial) |
|--------------------------|-----------------------------------|
| AFD | <i>Pallmall red</i> |
| AFE | <i>London Menthol</i> |
| AFF | <i>London King</i> |
| AFG | <i>Royal standart</i> |
| AFH | <i>Aspen</i> |
| AFI | <i>Pallmall green</i> |

Fonte: Akinyose, 2017

Figura 2 Valores de ELCR ($\times 10^{-3}$) para produtos à base de tabaco.



a - Valores expressos para humanos em geral.



b -Valores expressos para fumantes primários.

Sample Code = identificação das amostras; OCM = média geral de cigarros; RL = limite recomendado pela UNSCEAR (2000).

Fonte: Akinyose, 2017

Além do parâmetro ELCR, estudos também fornecem resultados que apontam para uma dependência entre órgãos do corpo humano mais propensos a apresentar o desenvolvimento de

células cancerosas e que a idade dos indivíduos é um fator relevante na incidência desses casos, como mostra as Tabelas 3 e 4.

Tabela 3 Câncer de tireoide após a exposição por irradiação por indicações diversas.

| Estudo/Indicação | Casos observados | Casos esperados | Dose média de radiação (Sv) | Valor médio de RR para 1Sv |
|-------------------------------------|------------------|-----------------|-----------------------------|----------------------------|
| Faixa etária estudada (0 a 19 anos) | 59 | 22,2 | 0,26 | *6,3 (95% CI: 5,1-10,1) |
| <i>Tinea capitis</i> ^a | 43 | 10,7 | 0,1 | *34 (95% CI: 23-47) |
| Alterações no timo ^b | 37 | 2,7 | 1,4 | *9,5 (95% CI: 6,9-12,7) |
| Hiperplasia linfoide | 13 | 5,4 | 0,24 | *5,9 (95% CI: 1,8-11,8) |
| Alterações nas amídalas | 309 | 110,4 | 0,6 | *3,0 (95% CI: 1,8-11,8) |
| Total | 436 | -- | -- | *4,4 (95% CI: 1,9-10,1) |

^a Fungo que causa infecções no corpo humano, sendo os dados apresentados referentes ao território de Israel. ^b Glândula responsável pela maturação de células com função imunológica. Sv: Dose para um órgão específico, RR: risco relativo, * Significativo

Fonte: Ron, 1995

O símbolo Gy se refere à unidade *gray*, utilizada para medir a quantidade física dose absorvida, de modo que $1 \text{ Gy} = 1 \text{ J.kg}^{-1}$, ou seja, um valor de energia de 1 J, proveniente de fonte radioativa para cada 1 kg de material sobre o qual incide a radiação, normalmente o corpo humano. Dose equivalente é o nome dado à dose real modificada, considerando os diferentes danos observados a partir da combinados a partir de determinado tipo de radiação ao agir sobre um tecido específico (ATKINS, JONES, 2006).

O Sv (*sievert*) é a unidade de dose equivalente, que é calculada multiplicando-se o valor de dose absorvida pelo valor de Q (eficiência biológica relativa) que é específico para cada tipo de radiação. Para as radiações beta e gama, o valor de Q é arbitrariamente adotado como 1 para as radiações beta e gama, mas como 20 para a radiação alfa. Isso ocorre porque embora as radiações beta e gama apresentem maior poder de penetração que a radiação alfa, esta apresenta atividade mais localizada, ocasionando, comparativamente, maior dano no tecido atingido (ATKINS, JONES, 2006).

Tabela 4 Câncer de tiroide após a exposição de acordo com sexo e idade no momento da exposição.

| Estudo/Indicação | Casos observados | Casos esperados | Dose média de radiação (Sv) | Valor médio de RR para 1Sv |
|---------------------------|------------------|-----------------|-----------------------------|----------------------------|
| Total | 132 | 94,3 | 0,26 | 1,5 (95% CI: 0,5-2.1) |
| Sexo | | | | |
| masculino | 22 | 14,9 | 0,27 | 1,80 |
| feminino | 110 | 79,4 | 0,26 | 1,49 |
| Idade durante a exposição | | | | |
| 0-9 | 24 | 7,6 | 0,21 | *10,50 |
| 10-19 | 35 | 14,6 | 0,31 | *4,50 |
| 20-29 | 18 | 17,5 | 0,28 | 0,10 |

Sv: Dose para um órgão específico, RR: risco relativo, * Significativo

Fonte: Ron, 1995

Embora o leite comercializado no Brasil apresente teores aceitáveis de Cs-137 e de K-40, como mostrado na Tabela 5, o monitoramento da atividade do primeiro mostra-se de grande

relevância dados os efeitos já reportados do mesmo no organismo humano, no acidente ocorrido em Goiânia, no ano de 1987, que não se restringem apenas aos efeitos mutagênicos e carcinogênicos (Da CRUZ, GLICKMAN, 1997) mas também psicológicos observados entre a população que teve contato direto com este radionuclídeo e/ou que apresentava convívio com as vítimas de tal acidente (CARVALHO, 1997).

Tabela 5 Valores das atividades do Cs-137 e de K-40 em amostras de marcas de leites comercializadas no Brasil.

| Marca de leite | Atividade do K-40 (Bq/kg) | Atividade do Cs-137 (Bq/kg) |
|---------------------|---------------------------|-----------------------------|
| Polly ^a | 475 ± 12 | 5,1-7,3 |
| Cativa ^a | 485 ± 13 | 7,0-11,2 |
| Itambé ^b | 492,89 | |
| Duleit ^b | 490,52 | |
| Glória ^b | 514,28 | |
| Klim ^b | 362,16 | |

Fonte: Melquíades (sem data)^a, De Nadai (1998)^b

A unidade Bq (Becquerel) indica o número de desintegrações por segundos, ou seja, tomando como base os valores da tabela, em 1 kg de leite da marca Polly, aproximadamente 475 núcleos de átomos de potássio-40 sofrem decaimento a cada segundo, ao passo que essa taxa de desintegração está situada entre 5 e 7,3 para núcleos de átomos de céσιο-137 (ATKINS, JONES, 2006).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise dos dados presentes na literatura e reunidos nesse documento evidenciam que existe uma correlação entre a incidência de câncer em humanos e a sua exposição às fontes radioativas. Tratando-se de radionuclídeos presentes em fertilizantes, o risco de desenvolvimento de câncer em humanos deve-se tanto ao contato direto com tais resíduos, quanto ao consumo de produtos originários de regiões contaminadas.

Entre tais produtos, podem ser citados diversos, como aqueles utilizados no fumo e outros destinados à alimentação como vegetais, carne e leite. Os dados também apontam para a dependência da gravidade dos efeitos observados no organismo humano e o teor e a atividade dos radionuclídeos presentes no material radioativo ao qual se é exposto. No Brasil, produtos alimentícios, como o leite, apresenta atividade radioativa referente ao céσιο-137 dentro das recomendações estabelecidas pela CNEN (Comissão Nacional de Energia Nuclear).

Embora o uso de radioisótopos mostre-se como um meio para o tratamento de algumas doenças como a hiperplasia linfóide ou infecções causadas pelo fungo *Tinea capiti*, tratamentos alternativos devem ser pesquisados e adotados porque, pois o uso de tais radionuclídeos para este fim está atrelado ao desenvolvimento de câncer de tireoide. Este não apresenta uma correlação nítida entre sua ocorrência e o gênero dos pacientes que o desenvolvem, porém existe uma correlação perceptível entre sua incidência e a faixa etária dos pacientes observados, sendo as crianças as mais suscetíveis, depois os adolescentes e por último os adultos.

Além dos efeitos fisiológicos observados em indivíduos expostos à atividade de radioisótopos, merecem atenção também os efeitos psicológicos e psiquiátricos atrelados ao tema da radioatividade, pois é comum que boa parte da população associe o termo apenas aos efeitos prejudiciais relacionados a ele. Devem ser tomadas medidas para levar informações confiáveis à população, a fim de se evitar situações de pânico generalizado e torná-la capaz de tomar medidas adequadas em caso de acidentes nucleares.

REFERÊNCIAS

- AKINYOSE, F. C.; TCHOKOSSA, P.; OROSUN, M. M.; MARK, I. B.; OCHOMMADU K. K.; OLUYIDE, S. Radiological Impacts of Natural Radioactivity in Locally Produced Tobacco Products in Oyo State, Nigeria. **J Phys Chem Biophys**, v.7, n.4, p. 1-7, 2017.
- ATKINS, P.; JONES, L. **Princípios de Química: Questionando a Vida Moderna e o Meio Ambiente**. 3.ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.
- BAIRD, C.; CANN, M. **Química Ambiental**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2011.
- CARVALHO, A. B. **Reminiscences of Goianiaten year later: the psychological effects**. GOIANIA, TEN YEARS LATER, 10, 1997, Goiânia. CNEN/IAEA, 1997, p. 125-130.
- DA CRUZ, A. D.; GLICKMAN, B. W. Monitoring the genetic health of persons in Goiania accidentally exposed to ionizing radiation from caesium-137. In: GOIANIA, TEN YEARS LATER, 10, 1997, Goiânia. CNEM/IAEA, 1997, p. 131-137.
- DE NADAI, E. A.; FERRAZ, E. S. B.; PESSENDA, L. C. R.; NASCIMENTO FILHO, V. F. Influência da Geometria de detecção na determinação de ^{40}K natural em leite em pó. In: CONGRESSO GERAL DE ENERGIA NUCLEAR, II, 1998.
- FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C.; CLARK, R.B. **Micronutrients in crop production**. Advances in Agronomy. San Diego: Academic Press, 2002.
- GUIMOND, R.J.; HARDIN, J.M. Radioactivity Releases from Phosphate-Containing Fertilizers and From Gypsum. **Radiat, Phys-Chem**, v. 34, p. 309-315.
- KULAIIF, Y. **A nova configuração da indústria de fertilizantes fosfatados no Brasil**. Rio de Janeiro: CENEM/CNPQ, 1999.
- LEE, J. D. **Química Inorgânica não tão concisa**. 5. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1999.
- MELQUIADES, F. L.; APPOLONI, R. F. Radioatividade natural em amostras alimentares. **Cad. Brás. Ens. Fís**. Londrina, v. 21, n.1: p. 120-126, 2004.
- NUTRIÇÃO das plantas. S/D. **Lumen Learning**, S/D. Disponível em: <https://courses.lumenlearning.com/wmopen-biology2/chapter/plant-nutrition/>. Acesso em: 04 nov. 2019.
- RON, E; PRESTON, D.L.; MABUCHI, K. More about cancer incidence in atomic bomb survivors: solid tumors, 1958-1987. **Radiat Res**, v.141: 126-127,1995.
- SERWAY, R. A.; JEWETT, JR., J. W. **Princípios de Física**, v.4. 1. ed. São Paulo: Pioneira Thompson Learning, 2004.
- TASKIN, H.; KARAVUS, M.; AY, P.; TOPUZOGLU, A.; HIDIROGLU, S.; KARAHAN, G. Radionuclide concentration in soil and lifetime cancer risk due to gamma radioactivity in Kirklareli, Turkey. **Journal of Environmental Radioactivity**. v. 100, p. 49-53, 2009.