

ELIAS MANSUR NETTO

CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO
DO ESTRÔNCIO 90 EM
MATERIAIS BIOLÓGICOS

Tese apresentada à Congregação da
Faculdade de Odontologia e Farmácia
da Universidade de Minas Gerais,
para doutoramento da Cadeira de
Física Aplicada à Farmácia.

★

BELO HORIZONTE

1962

A MEUS PAIS

A MINHA ESPÔSA

A MINHA FILHA

I N T R O D U Ç Ã O

Para melhor desenvolvimento do trabalho vamos dividi-lo em vários itens assim discriminados:

- A - Histórico e considerações fundamentais sobre a radioatividade
- B - Unidades usadas em dosimetria
- C - Lei fundamental da desintegração radioativa
- D - Estatística das medidas radioativas
- E - Generalidades sobre as radiações
- F - Parte experimental - Pesquisa do Estrôncio-90
- G - Bibliografia.

APRESENTAÇÃO

Muito se tem comentado e escrito sôbre os efeitos das radiações naturais e artificiais sôbre os organismos vivos, o ser humano em particular. O problema é muito complexo. No presente trabalho, procuramos coligir alguns dados bibliográficos publicados sôbre o assunto, e, em seguida relatar nossas determinações experimentais do Estrôncio-90. Estas determinações abrangeram o período de agosto de 1960 a agosto de 1961 e referem-se a amostras procedentes do Estado de Minas Gerais. A pesquisa do Sr-90 foi efetuada no alimento base da população: o leite. Não tem êste nosso trabalho a pretensão de esgotar um assunto cuja complexidade é notória. Visamos, apenas, trazer nossa contribuição ao estudo de um interessante setor deste vasto capítulo da Físico-Química que é a Radioquímica.

Registramos, aqui, nossos sinceros agradecimentos aos mestres incansáveis que nos orientaram, extensivamente a todos áqueles que direta ou indiretamente nos auxiliaram.

A - Histórico e considerações fundamentais
sobre a radioatividade (1)

"Em 1896, Henry Becquerel descobriu que sais de u rânio emitiam radiações semelhantes aos raios-x, capazes de impressionar chapas e ionizar gases.

Em 1898, o casal Curie, concluiu que os raios emitidos pelos sais de urânio eram independentes de suas condições físicas ou químicas e denominou a este fenômeno de radioatividade. No mesmo ano, M. Curie e G. Schimidt descobriram que os compostos de tório emitiam radiações semelhantes às dos sais de urânio. Rutherford e Soddy explicaram racionalmente que os átomos de elementos radioativos não eram estáveis, mas sofriam desintegrações com velocidades determinadas, transformando-se em átomos de outros elementos. O estudo da natureza das "radiações" emitidas pelas substâncias radioativas confirmou esta hipótese.

Radiações emitidas pelos elementos radioativos

Elas são de três espécies:

- 1 - Partículas alfa (α) - São núcleos de Hélio (${}^4_2\text{He}$) tendo, portanto, carga mais 2 e número de massa de 4. São emitidas com velocidades que variam de $1/30$ a $1/15$ da velocidade da luz. Pequeno poder de penetração.

- 2 - Partículas beta (β) - São elétrons altamente energéticos, emitidos pelo núcleo com velocidades que podem atingir quase a da luz e são capazes de penetrar alguns milímetros de alumínio.
- 3 - Radiações gama (γ) - São radiações eletromagnéticas, de mesma natureza que a luz visível, a ultravioleta e os raios x comuns, diferindo dos mesmos por apresentarem menor comprimento de onda e conseqüentemente maior energia. A emissão de radiação gama é subseqüente à emissão de alfa ou beta por um átomo e resulta na liberação do excesso de energia com que o núcleo pode ser deixado após a desintegração. A radiação gama tem a velocidade da luz e é altamente penetrante, sendo semelhante a raios-x muito duros, capazes portanto, de atravessar vários centímetros de chumbo.

Atualmente, já se pode produzir raios-x de comprimento de onda da mesma ordem que o das radiações gama, a distinção entre os dois se faz somente pela origem.

Radiações gama são radiações eletromagnéticas de origem nuclear, ao passo que os raios-x são produzidos fora do núcleo. Nenhum núcleo pode emitir os três tipos de radiação. Combinações

possíveis:

alfa alfa + gama beta beta + gama

O núcleo instável (radioativo) procura alcançar estabilidade alterando a relação neutrons/prótons, de modo a diminuir o número daquele que se encontra em excesso à estrutura estável. Isto é realizado por um dos três processos seguintes:

- 1 - Emissão de partículas alfa
- 2 - Transformação de um neutron em próton
- 3 - Transformação de um próton em neutron

1 - Emissão de partículas alfa.

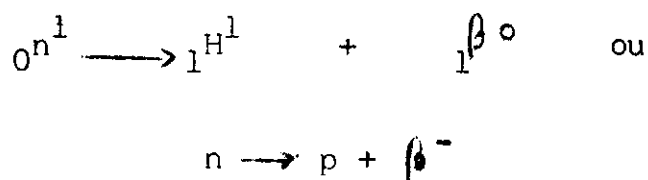
Na emissão de uma partícula alfa um núcleo instável é transformado em outro menos duas unidades do número atômico e número de massa quatro vezes menor (Regra de Soddy)



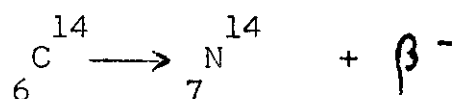
2 - Emissão de partículas beta (β)

Como as partículas beta são eletrons e são provenientes do núcleo, já que a sua emissão provoca a transformação de um elemento em outro admitiu-se, a princípio, que o núcleo continha tam

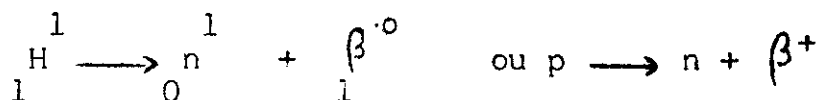
bém, elétrons. Esta teoria foi considerada muito cedo errática e após várias tentativas para explicação deste fenômeno, Fermi (1934) apresentou a teoria, que hoje é aceita, de que as partículas beta resultam de transformações processadas no interior do núcleo, de um neutron em próton e vice-versa. Quando um núcleo possui excesso de neutrons em relação à estrutura estável, há emissão de beta negativa segundo o esquema:



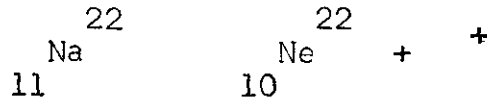
O núcleo resultante terá o mesmo número de massa, porém mais uma unidade de número atômico.



Se o nucleon em excesso em relação à estrutura estável for um próton, há transformação de um próton em neutron com emissão de beta positiva, segundo o esquema:



O novo núcleo terá menos uma unidade de número atômico, conservando o mesmo número de massa.



Tanto na emissão de alfa como de beta, poderá ou não haver emissão de gama, dependendo do estado energético do núcleo".

B - Unidades usadas em dosimetria.

1 - Curie (2)

A unidade de radioatividade mais empregada é o Curie. Primitivamente, foi definido como sendo o número de desintegrações por segundo (dps), de um grama de Radium (Ra^{226}) em equilíbrio com os seus descendentes. Pelo cálculo encontramos o seguinte valor: $3,7 \times 10^{10}$ desintegrações por segundo, ou, como se usa normalmente, $2,22 \times 10^{12}$ desintegrações por minuto. Atualmente, define-se o curie como sendo a quantidade de um elemento radioativo que produz $2,22 \times 10^{12}$ desintegrações por minuto (dpm).

Os submúltiplos do curie são:

$$\begin{array}{l} \text{mc} = \text{milicurie} = 2,22 \times 10^9 \text{ dpm} \\ \text{c} = \text{microcurie} = 2,22 \times 10^6 \text{ dpm} \end{array}$$

m μ c = milimicrocurie = $2,22 \times 10^3$ dpm
pc = micromicrocurie = 2,22 dpm

Além do curie, foi criada nova unidade denominada Rutherford que equivale a 10^6 dps (desintegrações por segundo), porém seu uso não foi generalizado.

2 - Roentgen (Raios-X e gama com energia inferior a 3 Mev*) (3)

Quantidade de radiação X ou gama tal que a emissão corpuscular secundária associada produz em um cm³ de ar (760 mm de Hg de pressão e zero grau centígrado) uma unidade eletrostática de carga de cada sinal.

* Eletron-volt (eV)

É a energia adquirida por um elétron quando acelerado por uma diferença de potencial de um volt.

Apresenta os seguintes múltiplos:

(Kev) Kiloeletronvolt = 10^3 ev
(Mev) Megaeletronvolt = 10^6 ev

Estas unidades são muito usadas para expressar as energias das partículas emitidas pelas substâncias radioativas.

3 - Roentgen equivalente Físico (REP)

É a quantidade de radiação de qualquer tipo (eletrômagⁿética ou corpuscular), carregada ou não, que dá lugar a uma absorção de 93 erg por grama de tecido sêco. (Inicialmente se usava 83 erg e, agora, alguns sugerem 95 erg em lugar de 93).

4 - Roentgen equivalente homem (REM)

Dose de qualquer radiação ionizante, que produz no homem o mesmo efeito biológico que um roentgen de radiação x ou gama de 250 Kev.

5 - Dose absorvida (Rad) "Radiation absorbed dosis."

Em 1953, foi introduzida uma unidade de dose absorvida a qual se deu o nome de Rad. A dose absorvida é a quantidade de energia transferida da radiação à unidade de massa do material sôbre o qual ela incide. O Rad correspondente é absorção de 100 erg por grama de qualquer material.

6 - Fator RBE (Eficiência biológica relativa).

Dentro dos conhecimentos atuais admite-se que a eficiência biológica relativa das várias radiações, tomando a radiação x ou gama como unitária apresenta valores médios:

Radiação x ou gama	1
Partículas beta	1

Partículas alfa	20
Neutrons lentos	5
Neutrons rápidos	10
Prótons	10

7 - Taxa de dose "Doses rate" DR (4)

Definição: É a dose em roentgens por unidade de tempo.

Existem várias fórmulas aproximadas para se calcular a taxa de dose, dependendo do tipo da fonte.

I - Fórmula aproximada para calcular taxa de dose para uma fonte puntiforme de radiação gama:

$$DR = 6CE \text{ rad/h/pé}$$

quando DR é a taxa de dose

C é o número de curies

E é a energia em Mev por desintegração.

Exemplo: Uma fonte de 1 mc de Au¹⁹⁸ cuja radiação gama tem uma energia de 0,41 Mev. Qual a taxa de dose correspondente?

$$DR = 6 \times 0,001 \times 0,41 = 0,0024 \text{ rad/h/pé}$$

Quando a fonte apresenta mais de uma radiação gama, deve-se somar as várias energias e a energia total obtida seria o valor de E na fórmula.

Exemplo: Qual a taxa de dose, correspondente a
0,001C de CO^{60} , portador de 2 radiações gama com
as seguintes energias:

$$E_1 = 1,17 \text{ Mev e } E_2 = 1,33 \text{ Mev.}$$

$$E = E_1 + E_2$$

$$E = 1,17 + 1,33 = 2,50 \text{ Mev}$$

$$\text{DR} = 6 \text{ CE}$$

$$\text{DR} = 6 \times 0,001 \times 2,50 = 0,015 \text{ rad/h/pé}$$

II - Fórmula aproximada para se calcular a DR de
uma fonte puntiforme de radiação beta.

$$\text{Fórmula aproximada } \text{DR} = 300C \text{ rad/h/pé}$$

onde DR é a taxa de dose

C é a atividade da amostra em
curies

Exemplo: Calcular a DR correspondente a 1 mc de

Au^{198}

$$\text{DR} = 300 \times 10^{-3} = 0,3 \text{ rad/h/pé}$$

Observação: Para efeito de cálculos práticos da dose,
usa-se igualar numericamente o rad e o Roentgen.

(2 - A)

C - Lei fundamental da desintegração Radioativa. (3)

As substâncias radioativas perdem gradualmente sua atividade por desintegração espontânea, o que não é influenciado por nenhum fator físico ou químico, isto é, não se pode retardar ou acelerar um processo de desintegração. A atividade de uma substância radioativa decresce em função do tempo com uma velocidade característica de cada radioelemento.

Conceito de meia vida - O decréscimo das substâncias radioativas é uma reação de primeira ordem na qual a taxa de decréscimo é proporcional ao número de átomos radioativos presentes. Isto é representado pela equação:

$$- dN/dt = \lambda N \quad (1)$$

em que dN/dt é a taxa de desintegração dos átomos radioativos presentes no tempo t , N é o número de átomos radioativos presentes, λ constante de desintegração do radioelemento. O sinal menos indica o decréscimo do número total de átomos com o tempo. Multiplicando ambos os membros da equação (1) por dt/N temos:

$$- dN/N = \lambda dt \quad (2)$$

Se agora a equação (2) é integrada entre os limites de N_1 e N_2 e t_1 e t_2 obteremos a equação seguinte:

$$\ln \left(\frac{N_1}{N_2} \right) = \lambda (t_2 - t_1) \quad (3)$$

Em que N_1 é o número de átomos presentes no tempo t_1 e N_2 é o número de átomos presentes no tempo t_2 .

Frequentemente é mais conveniente usar equação obtida pela integração entre os limites de N_0 e N e t_0 e t em que $t_0 =$ zero.

$$- \int_{N_0}^N \frac{dN}{N} = \int_{t_0}^t \lambda dt \quad (4)$$

$$e \ln \left(\frac{N_0}{N} \right) = \lambda t \quad (5)$$

N_0 é o número de átomos presentes no tempo zero, N é o número de átomos presentes no tempo t .

Se a equação (5) fôr escrita em forma exponencial teremos: $N = N_0 e^{-\lambda t}$ em que e é a base dos logaritmos naturais. A unidade de constante de desintegração λ depende da unidade em que é dado o tempo.

A meia vida de um isótopo radioativo é o tempo necessário para a desintegração da metade dos átomos existentes em um dado tempo. Neste caso, teremos:

$N_1 = \frac{N_0}{2}$, portanto $t_1 - t_0 = t^{1/2}$ a meia-vida.

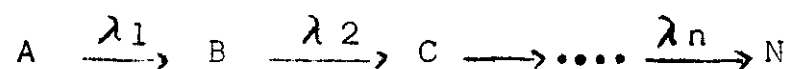
Do mesmo modo podemos dizer que $N_2 = \frac{N_1}{2}$ e que $t_2 - t_1 = t^{1/2}$, substituindo estes valores em (3) teremos:

$$\ln \frac{N_1}{N_2} = \lambda (t_2 - t_1)$$

$$\ln \frac{N_1}{\frac{N_1}{2}} = \lambda (t_2 - t_1)$$

$$\ln 2 = \lambda t^{1/2} \quad t^{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda}$$

Equilíbrio radioativo A desintegração de um núcleo radioativo resulta na formação de um isótopo - filho, o qual pode ser ou não radioativo. Se for radioativo, também sofrerá desintegração para produzir outro elemento e assim sucessivamente até alcançar a estrutura de um elemento estável. Uma equação geral para uma série de desintegrações deste tipo é:



quando A decresce para B, o qual, por seu turno, decresce para C, etc. λ_1 e λ_2 são constantes de desintegração para as transições de A para B e B para C, respectivamente. Representando por N_1 e N_2 o número de átomos de A e B, respectivamente, presentes em um tempo t e chamando N_1^0 e N_2^0 o número de átomos de A e B presentes no tempo zero, teremos:

$$N_1 = N_1^0 e^{-\lambda_1 t} \quad (1)$$

$$dN_1/dt = -\lambda_1 N_1 \quad (2)$$

$$dN_2/dt = \lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2 \quad (3)$$

Substituindo a equação 1 em 3 temos:

$$dN_2/dt = \lambda_1 N_1^0 e^{-\lambda_1 t} - \lambda_2 N_2 \quad (4)$$

A solução desta equação diferencial linear, tendo N_2 , como uma função do tempo é:

$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_1^0 (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}) + N_2^0 e^{-\lambda_2 t} \quad (5)$$

Equilíbrio Secular - É o caso de equilíbrio radioativo no qual a meia-vida do pai é, muitas vezes, maior que a meia-vida do filho, ou,

$$\lambda_1 \ll \lambda_2$$

como anteriormente, os índices 1 e 2 se referem ao pai e filho, respectivamente. A diferença entre a meia-vida do pai e do filho é normalmente um fator de 10^4 ou mais, mostrando que a atividade do pai não sofre mudança sensível durante vários períodos de meia-vida do filho.

Para o equilíbrio secular, a equação

$$N_2 = \frac{N_1^0 \lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}$$

pode ser simplificada porque λ_1 é desprezível em relação a λ_2 .

$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} N_1^0 e^{-\lambda_1 t} \text{ como } N_1^0 e^{-\lambda_1 t} = N_1$$

$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} N_1 \quad N_1 \lambda_1 = N_2 \lambda_2$$

que é a fórmula do equilíbrio secular onde está em quadrado o radioisótopo de nosso estudo, Sr-90 com seu descendente Y-90.

D - Estatística das medidas radioativas. (6)

"A desintegração radioativa é um processo que ocorre ao acaso, pois, em uma população de átomos radioativos, não há nenhum meio de prever quando um dado átomo individual irá se desintegrar. As medidas radioativas devem, portanto, se basear em dados estatísticos, para que se possa ter estimativa de sua precisão. Em comparação com o número total de átomos presentes numa dada amostra radioativa, o número daqueles que se desintegram no tempo finito de uma observação é relativamente pequeno, representando, portanto, um acontecimento raro.

A frequência com que ocorrem os acontecimentos raros é descrita em estatística pela distribuição de Poisson. Nesta, a probabilidade que um acontecimento ocorra é muito pequena em comparação com a probabilidade de que ele não ocorra. Suponhamos que uma amostra radioativa seja contada dez vezes por um minuto e que tenham sido obtidos os seguintes resultados:

(89 - 120 - 94 - 110 - 105 - 108 - 85 - 83 - 101 - 95) cpm.

A soma das dez medidas é igual a 990 contagens. Logicamente, o valor real é desconhecido, mas a estatística nos ensina que o valor mais provável será a média aritmética das medidas (M)

$$M = \frac{\sum x}{n} = \frac{990}{10} = 99 \text{ cpm} \quad -18-$$

Para se ter idéia dos erros cometidos nestas medidas, deve-se calcular o que se denomina, em estatística, desvio padrão σ .

Se a média aritmética de uma série de medidas de igual precisão de uma grandeza é M , há 68% de probabilidade de que o verdadeiro valor da grandeza esteja compreendido na faixa $M \pm \sigma$, 95% de probabilidade que recaia no intervalo de $M \pm 2\sigma$ e 99,7% para o intervalo de $M \pm 3\sigma$. Na distribuição de Poisson, o desvio padrão é igual à raiz quadrada do número total de acontecimentos. Dêste modo, se uma amostra radioativa foi contada até acumular N contagens, o desvio padrão será

$$\sigma = \sqrt{N}$$

No exemplo dado o número total de contagens acumuladas nas 10 medidas foi de 990. Logo:

$$N = 990$$

$$\sigma = \sqrt{990} = 31,4 \approx 31$$

Haverá 68% de probabilidade de que a verdadeira taxa de contagem esteja compreendida no intervalo:

$$\frac{990 \pm 31}{10} = 99 \pm 3,1 \text{ cpm}$$

Sendo a probabilidade de 95% para $99 \pm 6,2$ cpm e 99,7% para $99 \pm 9,3$ cpm.

Por êste exemplo, pode-se concluir que, numa dada medida radioativa, o que vai determinar o grau de precisão da medida é o total de contagens acumuladas. Não é, pois, de interêsse efetuar várias medidas curtas para depois calcular a média, torna-se mais prático deixar a amostra contando um tempo suficientemente longo, para acumular um grande número de contagens. Se, por exemplo, uma dada amostra dá 100 contagens em um minuto, a taxa de desintegração será $100 \pm \sqrt{100} = 100 \pm 10$ cpm e o desvio padrão no caso representa 10% do valor medido. Se esta mesma amostra fôsse deixada contando 10 minutos e desse 1000 contagens teríamos:

$$\frac{1000 \pm \sqrt{1000}}{10} = 100 \pm 3,2 \text{ cpm}$$

Neste caso o desvio padrão representa apenas 3,2% do valor da medida.

Significado estatístico do número total de contagens:

Total N		Percentagem de erro representa da por: 6	representada por: 26
50	7,07	14,1%	28,2%
100	10,0	10,0	20,0
200	14,14	7,07	14,14
500	23,36	4,5	9,0
1000	31,62	3,2	6,4
2000	44,72	2,2	4,4
3000	54,77	1,8	3,6
5000	70,71	1,4	2,8
10000	100,0	1,0	2,0
20000	141,4	0,7	1,4
30000	173,2	0,5	1,0

Deve-se notar que acima de 10000 contagens é necessário aumentar de muito o total acumulado para melhorar ligeiramente a precisão das medidas.

Fórmulas práticas para o emprêgo em estatística

Número total de contagens acumuladas..... N

Tempo total de contagens..... t

Velocidade de contagem ou atividade..... A

A expressa-se em cpm $A = \frac{N}{t}$

Desvio padrão do total contado $\sigma = \sqrt{N}$

Desvio padrão da atividade $\sigma_A = \frac{\sigma}{t} = \frac{\sqrt{N}}{t}$

O resultado da medida é usualmente expresso **assim:**

$A \pm \sigma_A$ logo teremos

$$A \pm \sigma_A = \frac{N \pm \sqrt{N}}{t}$$

Influência da Radiação de Fundo (background)

Quando duas quantidades X e Y com desvios padrões σ_1 e σ_2 são combinadas por adição ou subtração, o desvio padrão do resultado σ_r é dado pela fórmula:

$$\sigma_r = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}$$

Tôdas as medidas radioativas são afetadas pela radiação de fundo ou "background" e, na prática, a atividade líquida de uma amostra (A) é dada pela diferença entre a contagem obtida com a amostra (atividade composta C) e a contagem sem a amostra (fundo B)

$$A = C - B$$

A medida do "background" será afetada pelas mesmas flutuações estatísticas que as demais medidas ra

radioativas, e o seu desvio padrão σ_B será calculado - pelas mesmas fórmulas. Dêste modo o desvio padrão da amostra σ_A será dado pela expressão:

$$\sigma_A = \sqrt{\sigma_C^2 + \sigma_B^2}$$

$$\text{Se } C = \frac{N_1}{t_1} \quad \text{e} \quad B = \frac{N_2}{t_2}$$

$$\sigma_C = \frac{\sqrt{N_1}}{t_1} \quad \sigma_B = \frac{\sqrt{N_2}}{t_2}$$

$$A \pm \sigma_A = \left(\frac{N_1}{t_1} - \frac{N_2}{t_2} \right) \pm \sqrt{\frac{N_1}{t_1^2} + \frac{N_2}{t_2^2}}$$

Por estas considerações pode-se concluir que a precisão com que é determinado o "background" pode afetar grandemente a precisão da medida da amostra. Para melhorar a precisão das medidas radioativas, os contadores são constituídos e blindados de maneira a darem o menor "background" possível e a determinação da contagem de fundo é feita por um tempo suficientemente longo, para que seu desvio padrão não afete exageradamente a precisão estatística da medida da atividade da amostra. A influência do "background" é particularmente importante na medida de amostras de

baixa atividade. Quando a amostra é muito mais ativa que o "background", a contagem de fundo não precisa - ser determinada com grande precisão. A precisão da medida de uma amostra, de atividade pouco maior do que o "background" só pode ser melhorada aumentando de muito o tempo de contagem de fundo, de maneira a reduzir o erro percentual, que seu desvio padrão representa, a valores da mesma ordem que os devidos à contagem composta.

Pode ser demonstrado matematicamente que o desvio padrão mínimo, para a observação de uma diferença entre duas taxas de contagem, é conseguido quando o tempo total disponível para as contagens é distribuído entre as duas medidas, na proporção das raízes quadradas das velocidades de contagem. Dêste modo, se o tempo total disponível é T, os tempos para as contagens da amostra e do "background" devem ser calculados pelas expressões:

$$T_C = \frac{T \sqrt{C}}{\sqrt{C} + \sqrt{B}} \quad \text{e} \quad T_B = \frac{T \sqrt{B}}{\sqrt{C} + \sqrt{B}}$$

São construídos gráficos que permitem a obtenção rápida de T_C e T_B para valores conhecidos de C, B e T. Estas determinações são muito práticas quando se deseja contar séries de amostras com tempo pré-determinado".

E - Generalidades sôbre as Radiações (7)

Nas explosões de armas nucleares, produzem-se por fissão algumas centenas de radioelementos, mas somente alguns deles têm período suficientemente longo para representar perigo para a humanidade. Pode estimar-se a periculosidade relativa dos diversos radioelementos, originados da fissão Nuclear, como contaminantes internos, mediante a relação entre a sua abundância relativa a sua concentração máxima permitível. Quando um radioelemento qualquer, seja produto de fissão ou não, é introduzido no organismo, divide-se em várias porções, disseminando-se por todo o corpo e apresentando um tropismo para determinado órgão que é chamado, neste caso, de "órgão crítico", por ser onde se concentra em maior quantidade o radioelemento. Exemplificando, citaremos o caso da especificidade do iodo para a tireoide, onde alcança o valor de 20% da quantidade ingerida. Dois fatores concorrem para a diminuição da quantidade do radioisótopo presente no organismo; a desintegração radioativa e a eliminação biológica. Se admitirmos que a eliminação biológica se realiza segundo uma lei exponencial (o que nem sempre é verdade) pode-se introduzir o conceito de meia vida efetiva, T_e , como parâmetro que indica o tempo passado, no qual metade do material radioativo presente, em um instante dado, desapareceu

do corpo, a lei de desaparecimento seria, neste caso,
 $N = N_0 e^{- (K_1 + K_2) t}$, onde K_1 seria a constante de
desintegração e K_2 a constante de eliminação biológica.
Recordando a relação entre estas constantes e a
meia vida, podemos escrever,

$$K_e = K_1 + K_2 \quad \frac{0,693}{T_e} = \frac{0,693}{T_b} + \frac{0,693}{T_{1/2}}$$

$$T_e = \frac{T_b T_{1/2}}{T_{1/2} + T_b}$$

T_e = meia vida efetiva

$T_{1/2}$ = meia vida física

T_b = meia vida biológica

Um outro fator que deve ser mencionado é o que denominamos de dose permissível. O conceito de dose permissível é muito complexo, variando para os diversos elementos radioativos. Este fato levou a Comissão Internacional de Proteção contra as Radiações, em 1958, a estabelecer as seguintes normas que regem aqueles profissionais que ficam expostos aos radioisótopos:

- 1 - Se o radioisótopo se distribui igualmente em todo o corpo ou se se concentra nas gônadas, a dose permissível deve ser igual ou inferior a 0,1 REM por semana, com a dose permissível máxima de 5 REM por ano.
- 2 - Se o radioisótopo se difunde sem se distribuir no corpo todo e sem se concentrar nas gônadas, a dose permissível pode elevar-se até 0,3 REM por semana.

Apresentaremos um quadro geral ditado pelas Normas da Comissão Internacional de Proteção Radiológica (1958) para as diversas classes de indivíduos (8):

		Indivíduos nao expos- tos, mas tra- balhando	Populações nas proxi- midades dos centros nu- cleares -	
Órgão	Indivíduos Profissio- nalmente	nas proximi- dades - expo- sições oca - sionais.	Crianças	Populações em geral
Irrradiado	expostos			

Gônadas Órgãos hemato- poiéticos Cristalino	D = 5 (N-18)* 100 mREM/sem	1,5 rem/ano	0,5 rem/ano	5 rem/vida
Pele Tireoide	8 rem/13 sem 0,6 rem/sem	3,0 rem/ano		
Mãos Ante-braços Pé Tornozelo	20 rem/13 sem 1,5 rem/sem			
Outros órgãos internos	4 rem/13 sem 0,3 rem/sem			

* D = dose em REM
N = idade do indivíduo

Deve ser lembrado também que estas doses máximas permissíveis devem incluir, simultaneamente, a irradiação externa e a contaminação interna.

Concentrações máximas permissíveis para alguns radioisótopos (9):

Radioelemento	Concentração em $\mu\text{e}/\text{cm}^3$	
	Água	Ar
H ³	0,2	10 ⁻⁵
C ¹⁴ como CO ₂	6X10 ⁻²	10 ⁻⁵
Na ²⁴	8X10 ⁻³	10 ⁻⁶
P ³²	2X10 ⁻⁴	10 ⁻⁷
CO ⁶⁰	4X10 ⁻⁴	8X10 ⁻⁸
I ¹³¹	6X10 ⁻⁵	6X10 ⁻⁹
Sr ⁹⁰	8X10 ⁻⁷	2X10 ⁻¹⁰

Como dissemos, o conceito de dose permissível a apresenta várias dúvidas, porque depende de inúmeras considerações, tais como: da dose absorvida, da natureza do radioisótopo, da energia da radiação, da insegurança da distribuição do radioelemento no organismo, das condições do organismo que recebe o elemento radioativo, devendo-se levar em conta ainda a probabilidade de ação do radioisótopo que, embora haja numa dose baixa, pode causar distúrbio.

Dêstes detalhes todos podemos concluir, praticamente, que a avaliação do risco que uma radiação, principalmente a de baixa dose, causa a uma população é dificultada pela insuficiência de conhecimentos concretos sobre a relação dose-efeito, para efeitos somáticos, não havendo a possibilidade de se limitar, em certos casos, o que seja permissível ou não.

Em suas recomendações de 1958, a Comissão Internacional de Proteção Radiológica sugeriu, somente que se considerasse como concentração máxima permissível, em água e ar, um valor igual a $1/30$ dos níveis daqueles que estão submetidos a exposição contínua, o que equivale também multiplicar por $1/30$ a atividade máxima permissível presente no organismo em situação de equilíbrio.

Belicosas ou experimentais, as explosões nucleares têm por consequência a liberação instantânea de doses enormes de raios-X, raios gama, radiação luminosa, uma quantidade praticamente imensurável de calor e a formação de uma mistura complexa de radioisótopos, que é transportada para as várias camadas da atmosfera da terra, como a troposfera, tropopausa e a estratosfera, de onde é distribuída de maneira mais ou menos uniforme sobre a superfície da terra. Esses radioisótopos têm uma meia vida que varia desde frações de segundo

a milhares de anos. Repetidas observações demonstraram que o decréscimo da atividade do radioisótopo criados após a explosão atômica se efetua em função do tempo, segundo a fórmula empírica:

$$N = N_0 t^{-1,2}$$

Para ilustrarmos a atividade resultante de uma explosão nuclear, citaremos o exemplo da bomba "H" de 6 Megatons (6.000.000 de toneladas de TNT) que, ao fim da primeira hora, apresentou uma atividade da ordem de $1,8 \times 10^{12}$ curies. Considerando-se para os radioisótopos assim formados uma constante K, com parável à do Radium, ou seja, 8r/mc/cm/hora a ordem de grandeza da dose emitida após a explosão é de $2,4 \times 10^{17}$ Roentgens.

Relacionando a atividade de um radioisótopo com os seus efeitos biológicos, A. LACASSAGNE observou, em 1948, o seguinte:

1500R - morte em algumas horas por síndrome nervosa central.

600 a 250R - morte pela síndrome polivisceral de RAJEWSKY, ou por bacteremia intestinal ou ainda pela síndrome trombocitopênica de FABRICIUS-MOELLER

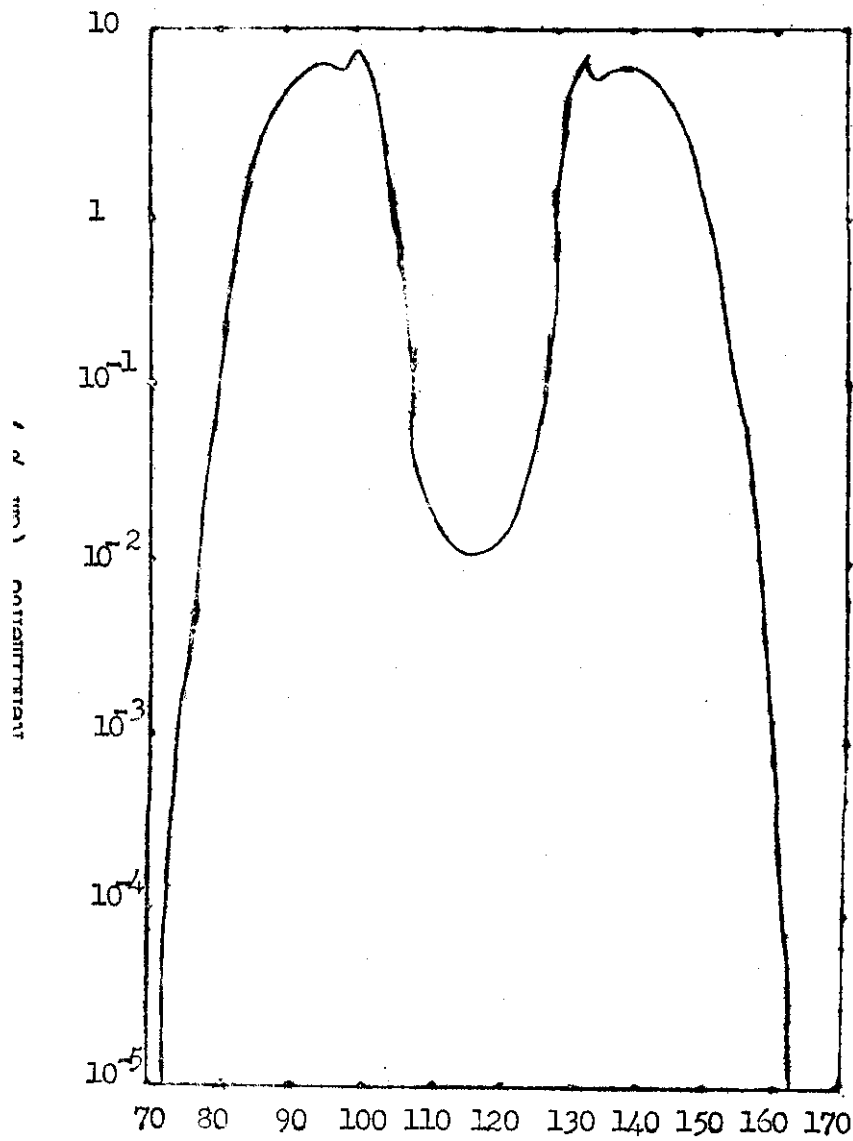
(para 600R - 95% de mortes antes de 14 dias
350R - 50% de mortes perto de 30 dias
250R - 5% de mortes).

- 225R - 100% dos indivíduos são acometidos do "mal das radiações", dose perto da mortal.
- 150R - 50% dos indivíduos são acometidos do "mal das radiações".
- 100R - "mal das radiações" atenuado, perturbações sanguíneas..
- 50R - Diminuição de linfócitos.
- 25R - ausência de consequência aparente. (10)

Quando ocorre uma explosão nuclear, os produtos resultantes da fissão dos átomos de U^{235} ou de outro elemento físsil, se distribuem de acôrdo com a figura da página 32, a qual relaciona a porcentagem dos produtos de fissão formados e suas massas atômicas.

Se observarmos a curva, notaremos um rendimento maior de produtos de fissão cujo número de massa oscila entre 90 a 100 e 130 a 140. (11)

"A influência da localização geográfica da explosão na distribuição dos resíduos radioativos tem sido também estudada com experiências que consistem em explodir bombas com traçadores (W^{185} , Rh^{102}) e em seguida detetar êstes traçadores em várias regiões do globo. Parece não haver dúvidas de que explosões realizadas em zonas tropicais espalham detritos mais



Número de Massa

ou menos uniformemente em t \hat{o} da a estratosfera, de onde eles se difundem lentamente (5 a 10 anos em m \acute{e} dia) para a troposfera. Por outro lado, os produtos de explosões em zonas temperadas e polares se misturam muito mais r \acute{a} pidamente (1 ano) com a troposfera (sobretudo nas latitudes m \acute{e} dias do mesmo hemisf \acute{e} rio), aumentando, d \acute{e} ste modo, os n \acute{i} veis de contaminação pela maior quantidade de "fall-out", e pela sua maior atividade (devida aos radioelementos de meias-vidas intermedi \acute{a} rias) ao mesmo tempo. Os principais elementos produzidos nas explosões nucleares s \tilde{a} o aqueles que apresentam uma meia-vida intermedi \acute{a} ria e os de meia vida longa. Os de meia vida intermedi \acute{a} ria mais abundantes s \tilde{a} o:

Ce¹⁴⁴ (285 dias) Zr⁹⁵ (65 dias) Y⁹¹ (58 dias)
Nb⁹⁵ (35 dias) Ba¹⁴⁰ (13 dias) I¹³¹ (8 dias)

Os de meia vida longa mais importantes s \tilde{a} o:

Pu²³⁹ (24,000 anos) Cs¹³⁷ (33 anos)

Sr⁹⁰ (28 anos)

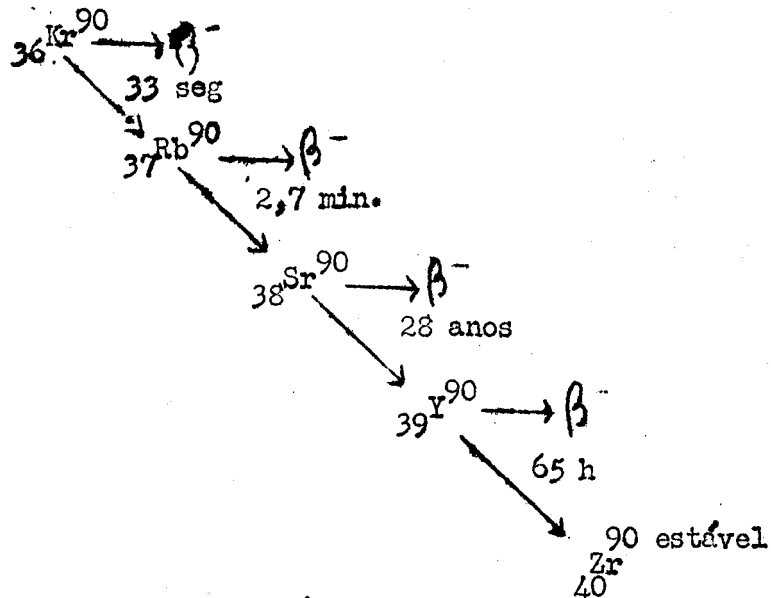
Destacamos, entre eles, o Sr-90 e o Cs-137 que s \tilde{a} o produzidos em maior percentagem, respectivamente

5% e 6%, associando-se a êste fator suas meias vidas e suas semelhanças químicas com o Cálcio e Potássio, o que pode trazer possibilidade de perigo a humanidade.

Quanto à parte geral sôbre as radiações, de um modo resumido, era o que tínhamos a expor. Entraremos agora no estudo particular do radioelemento, que será o objeto de nosso trabalho: Estrôncio-90.

Características gerais do Estrôncio-90 (Sr-90)

- a) Meia vida física muito longa, aproximadamente 28 anos.
- b) Produzido com percentagem relativamente alta (5,3%) entre os produtos de fissão.
- c) Acompanha o cálcio no seu metabolismo, sendo, assim, absorvido pelos sêres vivos, fixando-se nos tecidos de renovação "turn-over" lenta, como os ossos humanos.
- d) Meia vida efetiva da ordem de 18 anos.
- e) Emissor de partícula beta fraca (0,53 Mev) que, por desintegração, forma o Ítrio-90 (Y-90) o qual emite uma radiação beta mais energética (2,18 Mev), cujo percurso médio nos tecidos é 2 mm. A cadeia radioativa a que pertence o Sr-90 é a seguinte:



Pelo esquema da família do Sr-90 vemos que os dois elementos mais importantes são o Y-90 e o Sr-90 os quais atingem o seu equilíbrio secular em 21 dias (com 15 dias é atingido mais de 90% deste equilíbrio).

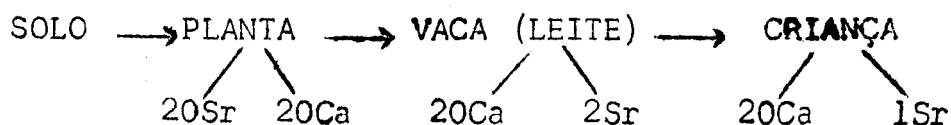
A primeira determinação experimental de quantidades mensuráveis de Sr-90 em ossos, derivados do leite e no solo, foram feitos em LEMONT (U.S.A.) em agosto de 1953, após a predição de Libby, Eisenbud e outros (julho de 1953) de que seria possível essa determinação se técnicas especiais (para baixo nível) fôsem empregados. O programa alcançou um desenvol-

vimento universal na pesquisa dêstes radioelementos nos materiais biológicos. Os efeitos biológicos do Sr-90, bem como dos outros radioisótopos têm sido estudados em tãda sua extensão. Entre os principais danos biológicos podemos citar:

- a) Retardamento no processo de divisão celular indireta (mitose). Fenômeno em geral ligado a uma possível inibição da síntese do ácido desoxiribonuclêico.
- b) Mutação - Parece conduzir à interrupção de uma ou várias etapas bioquímicas importantes. (Interrupção nas sínteses de enzimas, de constituintes celulares etc).
- c) Efeitos letais - Quando as doses são relativamente elevadas.
- d) Outros danos - Sempre dependentes das doses experimentais. Perturbações várias, como entre as trocas iônicas entre as células e o meio, do movimento celular, da acumulação da energia química etc.. é possível que muitos outros efeitos específicos tenham passado de sapercebidos até agora, devido aos métodos usados. No caso particular do Sr-90, sabe-se que êste elemento, pela sua grande semelhança química com o cálcio, acompanha-o através da cadeia nutricional e é absorvido em quantidade considerável pelo trato intesti-

nal e, como o Radium, entra no sistema trocador de ions cálcio da superfície óssea, sendo subseqüentemente incorporado nas rêdes cristalinas dos ossos. Como o tempo em que o Sr-90 permanece irradiando as células ósseas é muito longo, êste elemento concentrando-se em doses relativamente altas, poderá induzir tumores malignos nos ossos, ou ainda leucemia. Pela pequena penetração dos raios beta admite-se que, dos ossos, o Sr-90 não pode irradiar as gônadas para produzir efeitos genéticos. Felizmente os níveis atuais de Sr-90 no organismo humano são da ordem de mil vêzes menores do que aquêles capazes de produzir, experimentalmente, malefícios. Devemos lembrar, contudo, que nos últimos anos as determinações de níveis de Sr-90 em ossos humanos evidenciaram que as crianças de zero a quatro anos fixam 6 vêzes mais êste elemento que os adultos da mesma região. Até o presente, parece não haver dúvidas de que, em média, as populações estão mais sujeitas a irradiação de fontes naturais do que a irradiação de fontes artificiais.

Grças a inúmeras pesquisas realizadas no mundo inteiro, evidenciou-se a existência de uma evolução biológica do Sr-90 assim esquematizada:



Felizmente, pelo que se sabe até agora, o elemento estrôncio não é um metabólito normal para os organismos animais e vegetais. Ele parece existir nestes organismos apenas pela sua grande semelhança química com o cálcio. Por não ser um metabólito normal, o estrôncio sofre um processo de seleção em favor do cálcio por todos os organismos estudados até agora. O estrôncio só é utilizado em maiores quantidades pelos seres vivos quando o ambiente do qual estes se alimentam é pobre em cálcio. Existem, portanto, fatores de seletividade (discriminação) do estrôncio para o cálcio ao longo da extensa cadeia alimentar do solo até o homem. A determinação destes fatores de discriminação implica no conhecimento de diversas variáveis muitas vezes incontrolláveis: tipo de solo, natureza das plantas, raça de gado, época do ano, características da alimentação da população. Considerando o Sr-90 como principal perigo interno dos produtos de fissão, um vasto programa de investigações, que está sendo realizado em vários laboratórios visa a determinar os seguintes pontos principais:

- a - Quantidade de Sr-90 até agora depositada.
- b - Quantidade de Sr-90 que se depositará no decorrer dos próximos anos.
- c - Ritmo de deposição do Sr-90.
- d - Acumulação total, eventual, de Sr-90 sobre o solo.

- e - Cinética do estrôncio no ciclo biológico.
- f - Nível atual do Sr-90 no esqueleto.
- g - Nível futuro do Sr-90 no esqueleto.

Para êste fim é necessário determinar o teor de Sr-90 presente nos seguintes materiais:

- a - Materiais de precipitação radioativa.
- b - Ar (atmosfera e estratosfera).
- c - Solos, terras de pastoreio e águas.
- d - Componentes das cadeias alimentares humanas.
- e - Ossos humanos". (12)

F - Parte experimental - Pesquisa de Sr-90

O objetivo dêste trabalho, como dissemos, é auxiliar na pesquisa universal de Sr-90, comparando os resultados obtidos de certas regiões do Brasil com os de outros países, apresentando os dados correlacionados por nós, em alimentos, ossos humanos, água, ar etc.

Para a nossa pesquisa escolhemos um dos componentes principais da alimentação humana: o leite. A pesquisa foi efetuada durante um ano, compreendendo o período de agosto de 1960 a agosto de 1961, em várias regiões do Estado de Minas Gerais. Para esta pesquisa serviu-nos de norma o processo do HEALTH AND SAFETY LABORATORY da USAEC, seguinte:

- 1 - Evaporar 2,5l de leite aproximadamente, até consistência pastosa, posteriormente colocar num forno e aumentar gradualmente a temperatura, para evitar perdas por projeção, até 500°C graus, para calcinação. Deve-se manter esta temperatura durante 24 horas. Deixar esfriar naturalmente.
- 2 - Colocar 15g da amostra calcinada em um béquer de 250 cm³ e adicionar 50 cm³ de água destilada.
- 3 - Aquecer e adicionar pouco a pouco com agitação, ácido nítrico a 1:1. A dissolução deverá ser completa, exceto para traços de SiO₂ e carbono.
- 4 - Filtrar através papel de filtro comum, para remover traços de carbono e material insolúvel. Lavar o resíduo com ácido nítrico a 1:9. Desprezar o resíduo.
- 5 - Transferir a solução para um béquer de 800 cm³ e diluir para 500 cm³ com água destilada.
- 6 - Adicionar 2 cm³ de carreador de estrôncio, contendo 22 mg de Sr⁺⁺ por cm³.
- 7 - Adicionar 2 cm³ de ácido fosfórico concentrado (85%).
- 8 - Adicionar solução de hidróxido de sódio (240g/l) lentamente com agitação magnética até pH 10.

- 9 - Deixar o precipitado dos fosfatos sedimentar por 24 horas. Filtrar em funil de Buchner.
- 10 - Testar o filtrado para excesso de fosfato pela adição de poucas gotas de cloreto de Bário. Desprezar o filtrado.
- 11 - Adicionar lentamente 150 cm^3 de ácido nítrico a 1:1 no precipitado de Buchner, dissolvendo-o completamente.
- 12 - Repetir os itens 5 - 7 - 8 - 9 - 10 - 11.
- 13 - Transferir a solução para um béquer de 600 cm^3 e evaporar a seco.
- 14 - Adicionar 80 cm^3 de água destilada. Depois adicionar 200 cm^3 de ácido nítrico fumegante, com agitação magnética, usando barra imantada protegida com teflon. (Esta operação deverá ser feita na capela, durante 30 minutos).
- 15 - Deixar o precipitado dos nitratos de cálcio e estrôncio sedimentar, filtrar em fibra de vidro. Guardar o filtrado para doseamento de cálcio.
- 16 - Transferir o precipitado do béquer, para o funil com água destilada e coletar por sucção a solução resultante de nitratos de cálcio e estrôncio, em béquer de 250 cm^3 .
- 17 - Evaporar a seco, e dissolver o resíduo em 20 cm^3 de água destilada.

- 18 - Adicionar 50 cm^3 de ácido nítrico fumegante, com agitação. Agitar por 30 minutos usando um agitador magnético e barra imantada protegida com teflon (Fazer na capela).
- 19 - Deixar sedimentar o precipitado de nitrato de estrôncio e filtrar em fibra de vidro. Remover o máximo de ácido nítrico possível, combinar os filtrados dos nºs 15 e 19 para cálcio.
- 20 - Dissolver o precipitado no béquer com água destilada, transferir para o funil e coletar a solução em um tubo de centrifugação de 40 cm^3 , o volume não deverá ultrapassar 20 cm^3 .
- 21 - Adicionar 1 cm^3 de "carreador" de ítrio.
- 22 - Aquecer em banho maria regulado para 90°C .
- 23 - Ajustar o pH para 8 com hidróxido de amônio a 1:1.
- 24 - Resfriar até temperatura ambiente e deixar o precipitado sedimentar.
- 25 - Centrifugar por 5 minutos. Decantar, colocando o líquido sôbrenadante em outro tubo de centri-fugação.
- 26 - Dissolver o precipitado com um mínimo de ácido clorídrico 1:1, diluir para 10 cm^3 com água destilada e repetir de (22) a (25). Combinar os sobrenadantes. Desprezar o precipitado.

- 27 - Adicionar 1 cm³ de carreador de bário.
- 28 - Adicionar 1 cm³ de ácido acético (6N) e 2 cm³ de acetato de amônio. (463g/l) o pH deverá ser aproximadamente 5,5.
- 29 - Aquecer em banho maria regulado para 90°C.
- 30 - Adicionar gôta a gôta, com agitação, 1 cm³ de cromato de amônio (\pm 49g de (NH₄)₂ CrO₄ anidro /l). O líquido sobrenadante deverá ter uma coloração amarela; se isto não ocorrer, então adicionar mais cromato.
- 31 - Agitar vigorosamente até precipitação completa.
- 32 - Filtrar.
- 33 - Colocar o filtrado em recipiente de vidro de \pm 60 cm³ de capacidade.
- 34 - Ajustar o pH para 2,0, com ácido clorídrico 1:1 e adicionar 1 cm³ de carreador de ítrio.
- 35 - Guardar por 2 semanas.
- 36 - Transferir a solução equilibrada para um tubo de centrifugação de 40 cm³.
- 37 - Aquecer em banho maria até 90°C.
- 38 - Ajustar o pH para 8,0, com hidróxido de amônio 1:1, agitando continuamente. Adicionar 6 gotas de água oxigenada (30%). Continuar aquecendo pa

ra remover a água oxigenada (≈ 5 minutos).

- 39 - Resfriar até a temperatura ambiente e centrifugar. Decantar, transferir o líquido sobrenadante para um béquer de 150 cm³, marcar a hora e data.
- 40 - Adicionar 25 cm³ de água destilada ao precipitado no tubo de centrifugação.
- 41 - Dissolver o precipitado pela adição de ácido clorídrico 1:1 gôta a gôta e agitar.
- 42 - Ajustar o pH para 8,0 com hidróxido de amônio 1:1, agitando continuamente.
- 43 - Colocar 6 gôtas de água oxigenada (30%). Aquecer em banho maria 5 minutos para eliminar a água oxigenada.
- 44 - Resfriar até temperatura ambiente e centrifugar. Combinar os sobrenadantes para estrôncio.
- 45 - Adicionar 25 cm³ de água destilada ao precipitado, adicionar ácido clorídrico 1:1, gôta a gôta em quantidade suficiente para o precipitado se dissolver. Aquecer em banho maria regulado para 90°C, adicionar 15 a 20 gôtas de solução saturada de ácido oxálico, lentamente, com agitação.
- 46 - Deixar o precipitado em digestão. Resfriar até

temperatura ambiente. Filtrar em papel de fibra de vidro, usando sucção. Secar o precipitado não acima de 110°C.

- 47 - Montar o precipitado em disco plástico especial e cobrir com "mylar".
Contar a radiação beta, marcando hora e data.
Padronizar com ítrio - 90 padrão.
- 48 - Reduzir o volume da solução de estrôncio do béquer até 150 cm³.
- 49 - Adicionar a solução de carbonato de amônio saturada, para precipitar o carbonato de estrôncio.
- 50 - Filtrar por sucção em papel previamente pesado e verificar o rendimento de estrôncio.

Observação: Para o doseamento do cálcio, procedemos do seguinte modo: levamos o filtrado da separação do nitrato de estrôncio, constituído de nitrato de cálcio, a seco. Dissolvemos o resíduo com água destilada acidulada com ácido nítrico a 1:1, transferimos para um balão volumétrico, pipetamos uma aliquota, precipitamos o cálcio sob a forma de oxalato, filtramos, depois de pelo menos duas horas, dissolvemos o precipitado com ácido sulfúrico 1:4 e titulamos com solução de permanganato de potássio cerca de 0,1N. Fizemos também a titulação do cálcio

com EDTA, usando calcon como indicador.

NOTA: Pela descrição, o processo de pesquisa ' do Sr-90, em linhas gerais, consta da separação química do Sr-90 dos outros elementos com auxílio de um "carreador", que é estrôncio inativo sob a forma de nitrato; usa-se êste carreador, para facilitar a separação do elemento radioativo que se encontra em pequeníssima quantidade, sendo também utilizado para determinação do rendimento do processo químico . O estrôncio é separado do cálcio pela diferença de solubilidade dos respectivos nitratos. Posteriormente o Sr-90 é purificado do seu descendente Y^{90} , formado anteriormente à análise, utilizando-se um carreador. Deixa-se a solução de Sr-90 guardada por 14 dias e efetua-se nova purificação do Y^{90} com carreador do Ytrio, êste é precipitado sob a forma de oxalato, montado e contado em contador especial. Finalmente faz-se a relação com Sr-90, porque depois de 14 dias estão em equilíbrio secular. O resultado final é dado em picocuries de Sr-90 por grama de cálcio. Para contrôle de laboratório usa-se o quadro ' da página .

Explicação do quadro:

1. Número da amostra - As amostras são numeradas para melhor seqüência dos trabalhos.

2. Contagem total - Conta-se o oxalato de ítrio por um tempo bem longo para diminuir o erro da análise. A contagem de ítrio-90 é pouco maior que a da radiação de fundo, portanto, para dar um resultado mais aproximado, deve-se observar o que já foi dito anteriormente sobre estatística para baixas contagens.
3. Contagens por minuto - (cpm) É o modo corrente de se registrar a atividade das amostras após efetuar as contagens.
4. Radiação de Fundo ou "background" - Todas as medidas radioativas são afetadas pela radiação de fundo, como já mencionamos anteriormente. Para se determinar esta radiação, deixa-se o contador ligado sem a amostra durante um tempo bem longo, como já foi observado.
5. Contagem por minuto líquida (cpm líquida) - Contagem por minuto líquida e igual à contagem por minuto da amostra (inclusive background) menos contagem por minuto da contagem de fundo.
6. $\frac{\Delta t}{t}$ - É igual ao tempo, decorrido em minutos, entre a separação e o início da contagem mais a metade do tempo total de contagem. O Δt é determinado para se calcular o decréscimo sofrido pela amostra, desde o início da separação até o instan

te final de contagem. Este Δt deve ser determinado, porque para elementos de meia vida relativamente curta, como o Y^{90} (65 horas) altera o resultado.

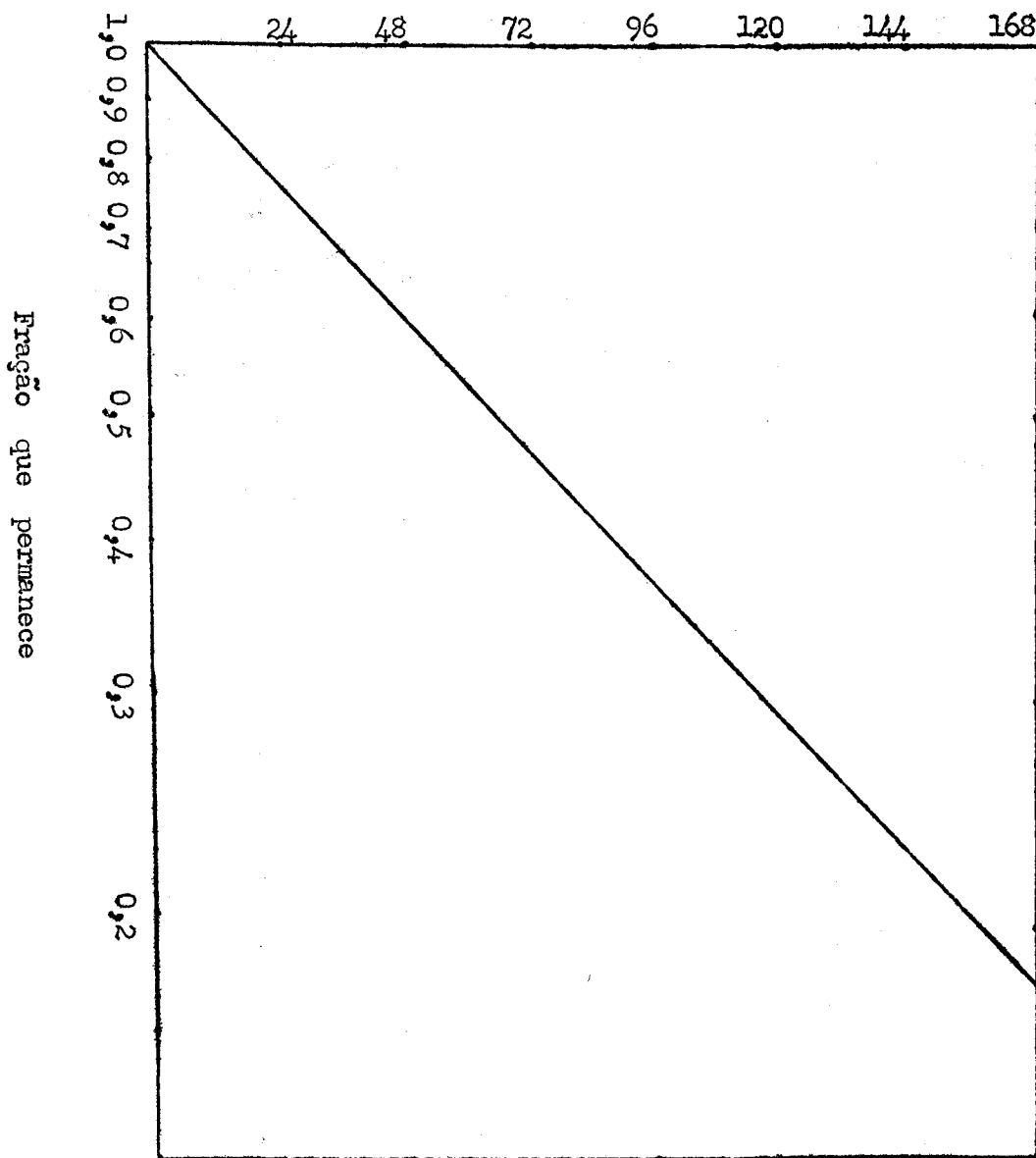
7. Fator de decréscimo - Este fator importante dos elementos radioativos está intimamente ligado ao tempo. Existem tabelas que dão os valores do decréscimo radioativo de grande quantidade de elementos em função do tempo; como exemplo citaremos o próprio Y^{90} .

Horas	Fração que permanece	Horas	Fração que permanece
1	0,989	10	0,898
2	0,979	11	0,888
3	0,968	12	0,880
4	0,958	13	0,870
5	0,948	14	0,861
6	0,938	15	0,851
7	0,928	16	0,842
8	0,918	17	0,832
9	0,907	18	0,824

Segundo o gráfico apresentado na página 49

H O R A S

-49-



Decréscimo do Y^{90} em função do tempo

$$t_{1/2} = 64,6 \text{ horas}$$

8. Contagem por minuto no tempo zero

- 7 Como se demonstrou no ítem anterior, o elemento, durante o período de separação e contagem, decresce sua atividade. Faz-se a correção dividindo-se a contagem por minuto no instante final pelo fator de decréscimo decorrente do tempo de separação até o final da análise. Por este cálculo, sabe-se qual a atividade da amostra no início da separação química.

9. Fator de geometria

Este fator está relacionado com a eficiência do detetor. Como se sabe, os detetores não são de eficiência absoluta, pois existem várias dificuldades técnicas de construção que não conseguem evitar erros na contagem das atividades das amostras. A eficiência de um detetor é determinada a partir de uma amostra radioativa padrão, isto é, de atividade conhecida. Coloca-se esta amostra na parte correspondente do detetor do qual se quer determinar a eficiência e pela simples fórmula:

$$\text{Eficiência} = \frac{\text{cpm}}{\text{dpm}}, \text{ faz-se o cálculo.}$$

Pode-se obter também a porcentagem de eficiência multiplicando por 100 o quociente. Define-se o fator de geometria como sendo o inverso da eficiência.

Por exemplo: Se um contador apresenta a eficiência de 0,20 o seu fator de geometria será:

$$\frac{1}{0,20} = 5$$

Basta, portanto, multiplicar a cpm por 5 para achar a atividade verdadeira da amostra. Para detalharmos mais a explanação, citaremos um exemplo: Um contador acusou 5 cpm. Qual a atividade verdadeira da amostra?

Eficiência do contador é 0,20.

$$5 \text{ cpm} \times \frac{1}{0,20} = 25 \text{ dpm}$$

10. dpm/A - Desintegrações por minuto da amostra.

Desintegração por minuto (dpm) é a atividade verdadeira da amostra e é obtida, como vimos, multiplicando-se o cpm, no tempo zero, pelo fator de geometria do contador.

11. Recuperação do carreador de Sr.

No processo adotado para determinação do Sr-90 no leite, adiciona-se, no início dos trabalhos, uma quantidade conhecida de carreador de Sr-90, com duas finalidades fundamentais:

Carreamento do Sr-90 que existe em quantidade imponderável e que não poderia ser determinado se não fôsse usado este artifício; em segundo lugar

a adição do carreador tem o objetivo de calcular o rendimento químico do processo pela sua recuperação no final da análise.

$$12. \quad Y^{90} \text{ dpm} \frac{100}{\text{recp.}}$$

Se a recuperação do carreador de Sr não foi 100% deve-se fazer uma correção no resultado obtido. Por exemplo: Se o rendimento foi 80%, conclui-se que 20% do Sr-90 foi perdido durante a análise. Deve-se, portanto, corrigir os dados obtidos para 100% pela expressão: $Y^{90} \times \frac{\text{dmp}}{\text{Recp.}}$

13. 6 - Desvio médio padrão

O desvio é utilizado para calcular o erro pela fórmula, já citada.

$$6 = \sqrt{\frac{\text{cpmA}}{T_t \text{ de A}} + \frac{\text{cpm bkgd}}{T_t \text{ bkgd}}}$$

14. Desvio padrão

É calculado pela fórmula:

$$\text{DP} = \frac{\text{Fator de geometria} \times 6 \times 100}{\text{Recuperação} \times \text{fator de decaimento}}$$

15. Picocuries de Sr-90 ($\mu\mu\text{c}$ de Sr-90)

Este valor é obtido pela sua relação com o número de dpm da amostra. Exemplificando: Se a amostra acusou a atividade de 5,2 dpm, quantos $\mu\mu\text{c}$ apresentará?

$$\begin{array}{l} 1 \mu\mu\text{c} \longrightarrow 2,22 \text{ dpm} \\ x \mu\mu\text{c} \longleftarrow 5,20 \text{ dpm} \end{array}$$

A unidade "Sunshine", como se usa comumente nos laboratórios, é igual ao número de $\mu\mu\text{c}$ de Sr-90.

$$1 \text{ Sunshine} = 1 \mu\mu\text{c} \text{ de Sr-90}$$

16. Gramas de Cálcio/A - Gramas de cálcio da amostra

Determina-se a quantidade de cálcio da amostra, porque este elemento está quimicamente relacionado com o Sr. Graças a esta semelhança de propriedades, convencionou-se dar os resultados do Sr-90 em relação ao cálcio. O cálcio é determinado pela permanganatometria ou utilizando-se o EDTA.

17. $\mu\mu\text{c}$ Sr-90/g Ca

O resultado final da análise deve ser apresentado em micromicrocuries de Sr-90 por grama de cálcio.

Obs: Para padronização, utiliza-se uma amostra de Sr-90 de atividade conhecida, seguindo-se o mesmo processo de análise da amostra desconhecida.

Dadas as explicações preliminares a respeito do método empregado na pesquisa de Sr-90, apresentaremos agora os resultados experimentais obtidos durante o período de agosto de 1960 a agosto de 1961, no Estado de Minas Gerais e, ao lado destes resultados, daremos também os índices alcançados em outras regiões do globo nestes últimos anos, não somente no leite, mas também nos ossos, na água, no ar e no solo. Apresentaremos também uma pesquisa auxiliar da percentagem média de cálcio no leite do Estado de Minas Gerais.

NÚMERO DAS AMOSTRAS E RESPECTIVAS LOCALIDADES

Nº da Amostra	LOCALIDADE	Nº da Amostra	LOCALIDADE
1	Coop. S. Sebastião	27	G. Valadares
2	Coop. Betim	28	Ladainha
3	Coop. Itaguara	29	Santo Hipólito
4	Coop. Betim	30	Mesquita
5	Carmo do Cajuru	31	Capelinha
6	Sete Lagoas	32	Rio do Peixe
7	Divinópolis	33	Itaporanga
8	Coop. Betim	34	Divinópolis
9	Teófilo Otoni	35	Rio do Peixe
10	Viçosa	36	Sete Lagoas
11	Montes Claros	37	Para de Minas
12	Teófilo Otoni	38	Esmeraldas
13	Itambacuri	39	Bom Despacho
14	Viçosa	40	Coop. S. Sebastião
15	Teófilo Otoni	41	Ponte Nova
16	Passos de Minas	42	Varginha
17	C. do Mato Dentro	43	Itaguara
18	Carmo do Paranaíba	44	Três Pontas
19	Cristiano Otoni	45	Nepomuceno
20	Claudio	46	Nepomuceno
21	Ponte Nova	47	Campo Belo
22	Jequitinhonha	48	Candeias
23	Esmeraldas	49	Pirapora
24	Salt da Divisa	50	C. do Rio Verde
25	Montes Claros	51	Pouso Alegre
26	Itaporanga	52	Sete Lagoas

Quadro resumo dos resultados de Sr-90 no leite das diversas amostras do Estado de Minas Gerais, no período compreendido de agosto de 1960 a agosto de 1961:

Nº da amostra	Data	Gramas de cinza	Gramas de cálcio	Picocuries de Sr-90 /g de cálcio
1	19.8.60	15,0	2,24	3,00 + 0,30
2	25.8.60	15,0	2,23	2,70 + 0,30
3	8.9.60	15,0	2,34	3,00 + 0,30
4	15.9.60	15,0	2,30	2,70 + 0,28
5	13.10.60	15,0	2,45	1,89 + 0,30
6	20.10.60	15,0	2,40	2,05 + 0,25
7	10.11.60	15,0	2,27	3,02 + 0,22
8	15.11.60	15,0	2,36	2,85 + 0,31
9	25.11.60	15,0	2,40	2,50 + 0,24
10	23.12.60	11,3	1,90	3,35 + 0,36
11	28.12.60	15,0	2,53	1,53 + 0,32
12	31.12.60	11,0	1,89	2,26 + 0,44
13	31.12.60	11,4	1,94	1,39 + 0,39
14	5.1.61	12,0	2,03	4,59 + 0,28
15	5.1.61	13,5	2,30	1,70 + 0,23
16	6.1.61	14,1	2,42	4,03 + 0,22
17	8.1.61	15,0	2,50	3,92 + 0,30
18	13.1.61	15,0	2,40	3,25 + 0,29
19	14.1.61	15,0	2,40	3,59 + 0,23
20	16.1.61	17,5	2,81	4,76 + 0,20
21	18.1.61	15,0	2,50	3,41 + 0,31
22	20.1.61	15,3	2,41	1,05 + 0,27
23	20.1.61	11,3	1,93	3,32 + 0,38
24	21.1.61	17,0	2,80	1,03 + 0,23
25	3.2.61	13,9	2,40	1,30 + 0,30
26	5.2.61	15,0	2,36	3,50 + 0,26

Continuação do quadro anterior.

Nº da amostra	Data	Gramas de cinza	Gramas de calcio	Picocuries de Sr-90 /g de calcio
27	8.2.61	8,60	1,33	1,53 + 0,50
28	12.2.61	10,3	1,75	0,53 + 0,41
29	15.2.61	9,14	1,51	2,14 + 0,50
30	2.3.61	15,0	2,40	3,25 + 0,21
31	2.3.61	11,0	1,90	3,92 + 0,34
32	6.3.61	15,0	2,45	2,49 + 0,32
33	28.3.61	16,2	2,60	3,54 + 0,29
34	12.4.61	15,0	2,35	2,40 + 0,30
35	20.4.61	15,0	2,42	2,35 + 0,26
36	25.4.61	16,7	2,68	1,85 + 0,28
37	30.4.61	15,0	2,36	3,00 + 0,29
38	15.5.61	12,3	1,90	3,45 + 0,31
39	18.5.61	15,0	2,30	3,10 + 0,28
40	2.6.61	15,0	2,35	2,67 + 0,32
41	8.6.61	13,6	2,08	2,40 + 0,25
42	10.6.61	9,87	1,70	5,03 + 0,34
43	5.7.61	11,9	2,01	2,99 + 0,32
44	10.7.61	13,3	2,13	4,06 + 0,32
45	18.7.61	14,5	2,30	3,70 + 0,29
46	20.7.61	15,0	2,39	4,09 + 0,28
47	20.7.61	11,4	1,83	2,98 + 0,35
48	1.8.61	15,0	2,46	4,63 + 0,30
49	3.8.61	6,10	1,09	2,43 + 0,53
50	15.8.61	14,4	2,22	4,08 + 0,32
51	20.8.61	7,50	1,20	5,20 + 0,35
52	25.8.61	15,0	2,44	1,52 + 0,27

PERCENTAGEM DE CÁLCIO NAS AMOSTRAS
DE LEITE ANALISADAS

Nº Amostra	% de Ca	Nº Amostra	% de Ca
1	14,9	27	15,5
2	14,9	28	16,9
3	15,6	29	16,5
4	15,3	30	16,0
5	16,3	31	17,3
6	16,0	32	16,3
7	15,1	33	16,0
8	15,7	34	15,6
9	16,0	35	16,1
10	16,8	36	16,0
11	16,8	37	15,7
12	17,1	38	15,4
13	17,0	39	15,3
14	16,9	40	15,7
15	17,0	41	15,3
16	17,1	42	17,2
17	16,7	43	16,8
18	16,0	44	16,0
19	16,0	45	15,9
20	16,1	46	15,9
21	16,7	47	16,0
22	15,7	48	16,4
23	17,8	49	17,9
24	16,5	50	15,5
25	17,2	51	16,0
26	15,7	52	16,3

Percentagem média de cálcio nas cinzas do leite do Estado de Minas Gerais é de 16,2%.

Discussão dos resultados.

1 - Relação do nível de Sr-90 no leite com as regiões do Estado de Minas Gerais.

Para melhor apresentação dos resultados, baseamos-nos na divisão do Estado em três grandes regiões. Norte, Centro e Sul. Estas não estão nitidamente separadas, porque a mudança do tipo de região, como se sabe, faz-se de modo imperceptível, sendo, portanto, difícil delimitá-las com segurança. Como referência para o nosso estudo, utilizaremos a linha divisória do paralelo 20. A região central será considerada para a escala do mapa apresentado (Fig) 0,5 cm acima e 0,5 cm abaixo da linha divisória, abrangendo as cidades colocadas dentro destes limites.

De acordo com a divisão das regiões em que nos fundamentamos, podemos separar os resultados obtidos e, assim, encontrar u'a melhor interpretação para a relação do Sr-90 com as diversas regiões do Estado. As cidades para cada região estão assim discriminadas:

NORTE	CENTRO	SUL
G. Valadares	Itaporanga	Ponte Nova
Ladainha	Rio do Peixe	Varginha
Santo Hipólito	Divinópolis	Três Pontas
Mesquita	Pará de Minas	Nepomuceno
Capelinha	Bom Despacho	Campo Belo



Patos de Minas

Pirapora

Montes Claros

Capelinha
Itambacuri

Conc. do
Mato Dentro

Sete Lagoas

Divinópolis

Passos

Campo Belo

Três Pontas

Pouso Alegre

O B. Horizonte
Betim

Claudio

P. Nova

Viçosa

G. Valadares

a Mesquita

Ladainha

Teófilo
Otoni

Jequitinhonha

Salto
da Divisa

Escala 1:5.000.000

50km 0 50 100 150 200 Km

PROJEÇÃO POLICÔNICA

NORTE	CENTRO	SUL
Sete Lagoas	São Sebastião	Candeias
Pirapora	Itaguara	Conc. Rio Verde
Teófilo Otoni	Betim	Pouso Alegre
Montes Claros	Carmo do Cajuru	Viçosa
Itambacuri	Esmeraldas	Passos
Conc. Mato Dentro		Cláudio
Jequitinhonha		Crist. Otoni
Salto da Divisa		
Carmo do Paranaíba		

E os resultados correspondentes às 3 regiões são:

NORTE	CENTRO	SUL
2,05 ± 0,25	3,00 ± 0,30	3,35 ± 0,36
2,50 ± 0,24	2,70 ± 0,30	4,59 ± 0,28
1,53 ± 0,32	3,00 ± 0,30	4,03 ± 0,22
2,26 ± 0,44	2,70 ± 0,28	3,59 ± 0,23
1,39 ± 0,39	1,89 ± 0,30	4,76 ± 0,20
1,70 ± 0,23	3,02 ± 0,22	3,41 ± 0,31
3,92 ± 0,30	2,85 ± 0,31	2,40 ± 0,25
1,05 ± 0,27	3,32 ± 0,38	5,03 ± 0,34
1,03 ± 0,23	3,50 ± 0,26	4,06 ± 0,32
1,30 ± 0,30	2,49 ± 0,32	3,70 ± 0,29
1,53 ± 0,50	3,54 ± 0,29	4,09 ± 0,28
0,53 ± 0,41	2,40 ± 0,30	2,98 ± 0,35
2,14 ± 0,50	2,35 ± 0,26	4,63 ± 0,30

NORTE	CENTRO	SUL
3,25 ± 0,21	3,00 ± 0,29	4,08 ± 0,32
3,92 ± 0,34	3,45 ± 0,31	5,20 ± 0,35
1,85 ± 0,28	3,10 ± 0,28	
2,43 ± 0,53	2,67 ± 0,32	
1,52 ± 0,27	2,99 ± 0,32	
3,25 ± 0,25		
Média	Média	Média
2,05 ± 0,33	2,88 ± 0,30	3,99 ± 0,29

Se analisarmos as três médias obtidas, podemos observar que o nível de Sr-90 no leite da região considerada central é, aproximadamente, a média dos valores das Regiões Norte e Sul. Pelas médias obtidas, podemos observar que o índice de Sr-90 no leite da região Sul é bem superior ao valor do Norte. Esta variação flagrante parece estar ligada, em sua quase totalidade, à precipitação pluviométrica. Dados obtidos confirmam uma grande diferença na quantidade de chuvas que caem nas regiões consideradas. A região Norte, com uma boa parte colocada no chamado polígono das secas, recebe poucas chuvas, enquanto que a região Sul é mais fartamente irrigada. Como vimos anteriormente, a chuva é talvez o maior carreador de produtos de precipitação radioativa, estando entre eles o Sr-90, parecendo ser, portanto, a diferença de precipitação pluviométrica

um fator predominante na variação de níveis de Sr-90 nas regiões consideradas. Outros fatores podem, também, influir para esta variação, como tipo de solo, pastagens, gado, etc.

2 - O nível atual de Sr-90 no Estado de Minas Gerais é inferior, da ordem de 1000 vezes, ao nível que poderia causar algum dano à saúde. Os dados obtidos podem tranquilizar quanto à precipitação radioativa atualmente.

3 - Podemos comparar o nível atual obtido para a região central, que foi $2,88 \pm 0,30 \mu\mu\text{c}$ de Sr-90/g Ca, com o resultado de 1958 em B.Hte. (período correspondente de abril a dezembro) $3,13 \pm 0,53 \text{ c/g}$ cálcio. Como se pode notar a variação foi mínima (8,7%) para um período de quase 3 anos.

4 - Para melhor confirmação do baixo índice de Sr-90 encontrado em Minas Gerais, vamos relacioná-lo com os níveis de outras partes do globo. Para isso, calculamos a média anual de Sr-90, de acordo com os quadros apresentados no final deste trabalho. As médias são as seguintes:

MÉDIA ANUAL DE Sr-90 NO LEITE DE VÁRIAS REGIÕES DO GLOBO
(cSr90/gCa)

Localidades	1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961
Minas Gerais						2,90±0,31	
Rio de Janeiro				2,70±0,30			
Nova York		4,54±0,44					
Estados Unidos			5,80±0,44	7,02±0,44	10,0±0,44	8,98±0,44	
Canadá		5,0					
Alemanha	3,0	4,0	8,0			1,89±0,23	
Argentina							

Como podemos observar, o nível de Sr-90 em Minas Gerais, compreendendo o período de agosto de 1960-1961, está abaixo dos níveis dos outros países com exceção da Argentina, motivado pelo maior afastamento desta dos centros nucleares, onde se efetuam as experiências. Os resultados dos países considerados, correspondentes a 3 ou 4 anos da data em que foi efetuado o nosso trabalho, apresentavam quase o dobro dos nossos valores.

Os quadros seguintes foram compilados de várias revistas, que são citadas na parte bibliográfica. Esperamos que a apresentação dos quadros possam ser de utilidade para consultas futuras.

RESULTADOS DE Sr-90 DA ALEMANHA, ENTRE 1955 e 1957
 Revista: SONDERAUSHUSS RADIOAKTIVITAT (1958)

	Média em $\mu\mu\text{c}/\text{ml}$	Média em $\mu\mu\text{c}/\text{l}$
Atmosfera perto do solo	$1,6 \times 10^{-6}$	$1,6 \times 10^{-3}$
Água de chuva	6,7	$6,7 \times 10^3$
Água potável em Berlim W	2×10^{-3}	2

LEITE

Média em $\mu\mu\text{c}/\text{ml}$			Média em $\mu\mu\text{c}/\text{l}$		
1955	1956	1957	1955	1956	q 1957
3×10^{-3}	4×10^{-3}	8×10^{-3}	3	4	8

QUADRO I

ÍNDICE DE Sr-90 NO LEITE EM PÓ, NO CANADÁ			
1955	$\mu\mu\text{c/g Ca}$	Junho	7,0
Novembro	4,3	Julho	6,0
Dezembro	4,1	Agosto	4,3
1956		Setembro	5,5
Janeiro	4,0	Outubro	5,7
Fevereiro	3,6	Novembro	6,6
Março	3,9	Dezembro	3,6
Abril	3,6		
Maió	5,9	Média em 1956	5,0

QUADRO II (14)

ÍNDICE DE Sr-90 NO LEITE DO RIO DE JANEIRO, COMPREENDENDO O PERÍODO DE ABRIL A DEZEMBRO 1958		
Índice	$\mu\mu\text{c Sr-90/g Ca}$	Mês
mínimo	$2,09 \pm 0,62$	Dezembro
médio	$2,70 \pm 0,30$	
máximo	$4,55 \pm 0,85$	Abril

QUADRO III (15)

ÍNDICE DE Sr-90 NOS OSSOS HUMANOS NO CANADÁ

Idade	Data da morte	Local	Tipo de osso	$\mu\mu\text{c Sr-90/g Ca}$
1 dia	1956	Otawa	Costela	$1,1 \pm 0,8$
2 semanas	1956	"	Vértebra	$0,5 \pm 0,4$
5 meses	1956	"	Costela, vértebra, fêmur	$1,8 \pm 0,2$
10 meses	1956	"	Costela e vertebra	$1,4 \pm 0,2$
15 meses	1956	"	Vértebra	$0,9 \pm 0,1$
22 meses	1956	"	Costela e vertebra	$3,8 \pm 0,2$
5 anos	1956	Deep River	Dentes	$1,1 \pm 0,1$
35 anos	1956	Otawa	Costelas	$0,5 \pm 0,2$
39 anos	1956	"	Vértebras	$0,6 \pm 0,1$

QUADRO IV

QUANTIDADE DE Sr-90 EM OSSOS DE JAPONÊSES
 ESTAS AMOSTRAS FORAM OBTIDAS DE AUTÓPSIAS NOS SOBREVIVENTES DE HIROSHIMA QUE MORRERAM DURANTE O ANO DE 1954.

(16)

HASL	Idade (anos)	Sr-90 dpm/g cinzas	U.S.
418	68	0,02 ± 0,003	0,03 ± 0,005
420	55	0,042 ± 0,004	0,005 ± 0,005
424	49	0,009 ± 0,002	0,01 ± 0,003
426	76	0,040 ± 0,005	0,044 ± 0,006
429	60	0,0085 ± 0,0006	0,0097 ± 0,0009
432	47	0,023 ± 0,003	0,043 ± 0,007
444	64	0,045 ± 0,006	0,054 ± 0,007

QUADRO V

RESULTADOS DE Sr-90 NAS ÁGUAS DE CHUVA E TORNEIRA, EM
1958, EM BELO HORIZONTE (17)

Nº de controle	Data da amostragem	Volume (litros)	$\mu\mu\text{c Sr-90/litro}$
1	28.2.58	10,2	$0,31 \pm 0,13$
2	18.4.58	9,8	$0,81 \pm 0,18$
3	julho-58	8,4	$1,38 \pm 0,11$
4	18.10.58	18,0	$0,407 \pm 0,061$
5	27.10.58	5,3	$0,76 \pm 0,18$
6	28.10.58	5,5	$1,20 \pm 0,20$
7	3.11.58	14,0	$1,27 \pm 0,009$
8	28.11.58	10,7	$0,66 \pm 0,10$
Água de torneira	17.10.58 a		
	14.11.58		$0,013 \pm 0,012$

QUADRO VI

RADIOATIVIDADE ARTIFICIAL DO AR NA FRANÇA EM 1959, EXPRESSOS EM $\mu\mu\text{c}/\text{m}^3$ DE AR			
	Zero Km	9 Km	12 Km
Janeiro	4,33	13,2	39,6
Fevereiro	3,31	----	87,3
Março	3,95	28,1	136,4
Abril	4,41	16,3	53,4
Mai	3,44	13,3	28,9
Junho	2,05	----	6,91
Julho	0,90	----	1,61
Agosto	0,37	1,47	1,88
Setembro	0,19	0,53	1,00
Outubro	0,10	0,77	----
Novembro	0,06	0,75	----
Dezembro	0,04	0,42	----

QUADRO VII

RADIOATIVIDADE ARTIFICIAL NA FRANÇA, EM 1960, EXPRESSOS EM $\mu\mu / m^3$ DE AR			
	Zero Km	9 Km	12 Km
Janeiro	0,052	1,42	5,17
Fevereiro*	0,127	1,44	2,19
Março	0,092	1,24	----
Abril	0,082	0,65	1,61
Maió*	0,100	0,46	0,57
Junho	0,079	----	----
Julho	0,054	0,36	----
Agosto	0,047	0,27	0,43
Setembro	0,039	0,22	0,20
Outubro	0,021	----	----
Novembro	0,024	0,28	----
Dezembro	0,023	0,51	----

* Explosões das bombas atômicas francêsas no Saara.

QUADRO VIII

ÍNDICE DE Sr-90 em OSSOS DE CRIANÇAS,
NA ARGENTINA (1960) (18)

Idade (mês)	Lugar	% de Ca em cinzas	$\mu\mu\text{c Sr-90/g}$ Ca
9	Córdoba	37,6	0,78 \pm 0,10
2	Cap.Federal	37,9	0,55 \pm 0,05
36	Tigre	40,8	0,81 \pm 0,17
18	Cap.Federal	37,6	0,78 \pm 0,08
2	Cap.Federal	38,0	0,69 \pm 0,19
3	Cap.Federal	36,0	0,82 \pm 0,08

QUADRO IX

RESULTADOS DE Sr-90 NO LEITE DISTRIBUIDO
EM BELO HORIZONTE (1958) (19)

Mês	$\mu\mu\text{c Sr-90/g}$ Ca	Mês	$\mu\mu\text{c Sr-90/g}$ Ca
Abril	4,55 \pm 0,85	Setemb.	3,60 \pm 0,35
Maió*	3,60 \pm 0,90	Outub.	3,30 \pm 0,40
Junho ^x	2,62 \pm 0,42	Novemb.	3,00 \pm 0,37
Julho	-----	Dezemb.	2,09 \pm 0,62
Agosto ^x	2,30 \pm 0,35		

x Duas amostras * Uma amostra

QUADRO X

RESULTADOS DAS ANÁLISES DE Sr-90 EM
OSSOS DE NATIMORTOS, DURANTE O ANO
DE 1959, NO R.de JANEIRO (20)

Nº da amostra	Massa de cinza	Teor de cálcio	$\mu\mu$ c Sr-90/g Ca
1	24,0001	36,3	0,55 \pm 0,07
2	20,1678	37,8	0,31 \pm 0,07
3	19,6132	37,4	0,78 \pm 0,09
4	22,0672	36,3	0,45 \pm 0,07
5	15,0001	38,3	0,26 \pm 0,12
6	15,0007	36,0	0,31 \pm 0,09
7	15,0340	38,2	0,68 \pm 0,09
8	11,5525	36,7	0,71 \pm 0,11
9	31,1213	36,0	0,55 \pm 0,04
10	32,4957	38,6	0,46 \pm 0,03

QUADRO XI

RADIOESTRÔNCIO NO LEITE, NA ARGENTINA, EM 1960
(21)

Mês	% de Cálcio nas cinzas	$\mu\mu\text{c}$ Sr-90/g Ca
Janeiro	15,4 \pm 1,2	1,46 \pm 0,23
Fevereiro	15,6 \pm 1,2	1,50 \pm 0,06
Março	15,3 \pm 1,2	1,78 \pm 0,33
Abril	13,6 \pm 0,4	1,38 \pm 0,20
Maió	14,0 \pm 0,7	1,96 \pm 0,10
Junho	14,8 \pm 1,6	1,76 \pm 0,15
Julho	13,2 \pm 1,9	1,88 \pm 0,45
Agosto	14,2 \pm 0,9	1,89 \pm 0,13
Setembro	15,0 \pm 1,2	2,07 \pm 0,15
Outubro	13,1 \pm 0,7	2,83 \pm 0,39
Novembro	17,4 \pm 1,8	1,96 \pm 0,22
Dezembro	14,3 \pm 1,0	2,22 \pm 0,33

QUADRO XII

SUMÁRIO DE Sr-90 NO LEITE DA AMÉRICA DO NORTE
(Anos de 1957 - 1958 - 1959 - 1960 - 1º SEMESTRE)
(22)

Região	Chuvas em (polegadas)	1957	1958	1959	1960
Eastern U.S.	40-60	6,5	8,7	11,2	11,0
Northwest Coast	40-60	7,5	6,8	11,7	10,8
Midwest	20-40	6,4	7,5	9,8	10,5
Plains States	10-20	6,1	8,7	11,4	9,1
West And Southwest	Irrigação	2,5	3,4	6,0	3,5

O desvio padrão foi de 44% em média

QUADRO XIII

ÍNDICE DE Sr-90 EM AMOSTRAS DE LEITE
EM NOVA YORK EM 1956 (23)

Data da Amostra	$\mu\mu\text{c Sr-90/g Ca}$
Junho	3,0 \pm 0,7
Julho	2,7 \pm 0,7
Agosto	3,1 \pm 0,7
Setembro	4,9 \pm 0,6
Outubro	5,5 \pm 0,09
Média obtida	4,5 \pm 0,44

QUADRO XIV

ÍNDICE DE Sr-90 NO SOLO EM VÁRIAS PARTES DO
MUNDO (M. EISENBUD E J. H. HARLEY - 1959)

	mc/milha ²	mc/m ² /dia	c/m ² /mês
New York	28	10x10 ⁻³	3x10 ⁻¹
Chicago	22	8,5x10 ⁻³	2,5x10 ⁻¹
Hiroshima	19	7,5x10 ⁻³	2,2x10 ⁻¹
Carolines	41 a 78	15 a 30x10 ⁻³	4,5 a 9x10 ⁻¹
Vale do Rhin	----	5,8x10 ⁻³	1,7x10 ⁻¹

QUADRO XV

Fonte	Localização	Dose (mreps/ano)
Raios cósmicos	nível do mar	35
Raios cósmicos	1500 m	50
Raios cósmicos	3000 m	100
Radioatividade natural na terra	granito	110
Radioatividade do potássio e do carbono naturais no corpo humano		20
Radioatividade do rádio natural dos ossos humanos		7 a 67
Mostrador luminoso de relógio de pulso contendo 1 microcurie de rádio	Dosagem para o corpo humano distância média de 30 cm	40
Radioatividade do Sr-90, presentes nos ossos de adultos	Precipitação proveniente de teste com Bombas-H	0,6

QUADRO XVI (24)

Materiais Biológicos		$(\mu\mu\text{c Sr-90/g Ca})$	
País	Leite de vaca pulverizado (1957)		Ossos de recém-nascidos (1958)
Argentina	Abril-Junho	3,5	
Brasil	Janeiro-Março	2,7	0,51
Canadá		6,2	0,7
EE. UU.		8,0	1,2
Inglaterra		6,1	0,6
Japão		2,9	4,6
U.R.S.S.		4,9	2,5

QUADRO XVII (25)

(1), (2), (6), - PENNA FRANCA, E. -
"Metodologia de radio-isótopos e suas aplicações em
biologia e Medicina".
Instituto de Biofísica, Universidade do Brasil, 1961

(3), (7), - PIERONI, R., R. -
"Metologia Y aplicaciones clinicas de los radioisoto
pos".
I.E.A. 35, C.N.E.N, São Paulo, 1959

(8) - ROCHA E SILVA, J., B., -
"Comunicação privada".

(9) - FAIRES, R., A. e PARKS, B., H. -
"Radioisotope laboratory techniques".
George Newnes Limited, London, 1958

(4), (10) - PIZON, P -
"Protection contre les radiations ionisantes".
Chimie Industrie, 82 (1): 1 - 132, Juil, 1959

(5) - CHASE, G. D. -
"Principles of radioisotope methodology" Philadelphia,
College of pharmacy and science, 1959

- (11) - FRIEDLANDER, G. e KENNEDY, J., W. -
"Nuclear and Radiochemistry"
New York. John Wiley and sons, 1955
- (12) - PINTO COELHO, A. -
"Contaminantes radioativos em materiais biológicos".
Instituto de Biofísica, Rio de Janeiro, 1960
- (13) - HARLEY, J.H. e WHITNEY, I. B. -
"Manual of standards procedures of the analytical
branch of Health and Safety Laboratory.
NYO - 4700, U.S.A. E.C. New York, mar. 1957
- (14) - GRUMMIT, W. E., CARRUTHERS, E. W. -
"Levels of strontium - 90 in Canada. up to
December, 1956", AECL Report CRC-689, 1957
- (15) - PENNA FRANCA, E -
"Analysis of radioactive contaminants in biological
materials". Instituto Biophysics, University of
Brazil, Rio de Janeiro, 1957
- (16) - HARLEY, J. H. et alii -
"Summary of analytical results from the HASL
strontium program to June 1956"
NYO-- 4751, U.S.A. E.C., New York, ag. 1956

- (17), (19) - PINTO E. P. e TAVARES COELHO, M. C. -
"Radioestrôncio no leite, na água corrente e água
da chuva de Belo Horizonte"
I.P.R., EE.E. U.M.G., Belo Horizonte, 1960
- (18), (21) - BENINSON, D. et alii -
"Contaminación por radioestroncio durante el año 1960"
Buenos Aires, Comision Nacional de Energia Atômica,
informe 50, 1961
- (20) - PENNA FRANCA, E. e PINTO COELHO, A. -
"Determinação de Sr⁹⁰ em ossos de recém-nascidos"
An. Acad. Bras. Ci. 31 (1): 49-52, mar. 1959
- (22) - KULPS, J. L., SCHULERT, A. R. et HODJES, E.J. -
"Strontium - 90 and Cesium - 137 in North American
milk" Science, June 2, 1961, 133 (3466):1768-70
- (23) - HARLEY, J. H. et alii -
"Summary of analytical results from the HASL
strontium program July- through December, 1956"
NYO - 4862, U.S.A. E.C. New York, mar.1957
- (24), (25) - PINTO COELHO, A.
"Aspectos do ciclo biológico do estrôncio-90"
Rio de Janeiro, 1960