

# DETERMINAÇÃO DE ELEMENTOS TRAÇO EM TECIDO ÓSSEO HUMANO PELO MÉTODO DE ATIVAÇÃO COM NÊUTRONS

Marcelo K. Takata\*, Nairo M. Sumita\*\*, Paulo H. N. Saldiva\*\*, Carlos A. Pasqualucci\*\* e Mitiko Saiki\*

\*Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – Divisão de Radioquímica - IPEN-CNEN/SP  
Av. Lineu Prestes 2.242  
CEP 05508-000, Cidade Universitária, São Paulo, SP, Brasil

\*\*Laboratório Experimental de Poluição Atmosférica  
Faculdade de Medicina da USP  
Av. Dr. Arnaldo, 455, CEP 01246-903, São Paulo, SP, Brasil

## RESUMO

Neste trabalho, o método de ativação com nêutrons (AAN) foi aplicado na análise de elementos traço em ossos de costelas humanas. Foram analisados os elementos Ba, Br, Ca, Cl, Fe, K, Mg, Mn, Na, P, Rb, Sr e Zn em tecido ósseo total e nos seus subcompartimentos (cortical e trabecular) separadamente. As irradiações foram realizadas no reator nuclear de pesquisas IEA-R1 do IPEN-CNEN/SP. As irradiações curtas foram de 4 minutos sob um fluxo de nêutrons térmicos de  $4,5 \times 10^{11} \text{ n cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  e as irradiações longas de 16 horas foram realizadas sob um fluxo de nêutrons de  $10^{12} \text{ n cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . As concentrações destes elementos indicaram variabilidade entre amostras de ossos de diferentes indivíduos. Um estudo comparativo realizado entre os resultados obtidos nos ossos cortical e trabecular indicou que as concentrações de elementos são diferentes entre esses dois tipos de tecido. As concentrações de Ca, Mg, Na e P obtidos para o tecido cortical foram da mesma ordem de grandeza de dados da literatura.

Keywords: human rib bone, neutron activation analysis, cortical bone, trabecular bone.

## I. INTRODUÇÃO

As determinações de elementos traço em tecidos biológicos têm sido de grande interesse devido ao conhecimento das funções dos elementos nos organismos vivos e também devido ao aperfeiçoamento das técnicas analíticas que possibilitam a detecção de suas baixíssimas concentrações.

As análises de elementos traço em ossos humanos vêm crescendo consideravelmente na área das pesquisas médicas para o estudo da relação existente entre o excesso ou a deficiência de certos elementos com as suas doenças metabólicas tal como a osteoporose.

O tecido ósseo é o principal constituinte do esqueleto que serve de suporte para as partes moles do corpo humano e protege órgãos internos vitais, além de alojar e proteger a medula óssea, formadora das células do sangue. É formado de componentes orgânicos e inorgânicos. Os componentes inorgânicos de nosso interesse para as análises fazem parte da estrutura cristalina de hidroxiapatita  $[\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2]$  considerada como a principal fonte de minerais dos seres humanos. A parte inorgânica representa cerca de 50% do peso da matriz óssea. Os íons mais encontrados são o fosfato e o cálcio, e íons presentes em pequenas quantidades como o

bicarbonato, magnésio, potássio, sódio e citrato. A parte orgânica da matriz é formada por fibras colágenas e a associação de hidroxiapatita com estas fibras colágenas é responsável pela dureza e resistência do tecido ósseo[1].

O método de ativação com nêutrons (AAN) e outras técnicas analíticas vêm sendo utilizadas com sucesso na análise de ossos humanos como o trabalho realizado por Zaichick[2], que utilizou também a espectrometria de fluorescência de raios X para a determinação de elementos em tecidos ósseos de indivíduos normais para comparar com as de indivíduos portadores de diferentes tipos de doenças ósseas como a osteomielite, osteoblastoclastoma e sarcoma osteogênica. Os resultados demonstraram que os teores de elementos nos ossos variam com o tipo de doença.

El-Amri e El-Kabroun[3] utilizaram o método de ativação com nêutrons para análise de Ba, Br, Ca, Fe, Sr e Zn em ossos considerados normais coletados de pacientes com as idades variando de 2 a 80 anos. Seus resultados foram estudados em função da idade e sexo do indivíduo bem como foram comparados com valores das análises de ossos apresentados na literatura.

Zhang e colaboradores[4] analisaram os elementos Ba, Ca, F, K, Mg, Mn, Na e Sr no osso da crista ilíaca de coelhos com osteoporose por AAN, com o objetivo de

estudar as funções destes constituintes inorgânicos na doença osteoporose.

As técnicas de espectrometria de absorção atômica por chama (FAAS) e eletrotérmica (ETAAS) foram utilizadas por Scancar e colaboradores[5] para analisar amostras de osso da crista ilíaca de humanos obtidas da autópsia de 12 adultos.

Yoshinaga e Suzuki[6] determinaram concentrações de elementos em amostras de costelas humanas de idosos japoneses, utilizando as técnicas de espectrometria de absorção atômica (AAS), espectrometria de emissão atômica com fonte de plasma acoplado indutivamente (ICP-AES) e espectrometria de massa com fonte de plasma acoplado indutivamente (ICP-MS).

No osso de um adulto são encontrados dois tipos de tecidos: cortical (externo) que se encontra numa forma mais compacta e trabecular (interno) que é a parte mais porosa. Na literatura há poucos trabalhos que indicam a distribuição de elementos entre esses dois tipos de tecidos, visto que a separação desses tipos de tecidos não é uma etapa simples para a obtenção de amostras representativas[7]. Há ainda as dificuldades ligadas às implicações médico legais para a aquisição das amostras de ossos humanos. Os trabalhos sobre a análise dos ossos separando o tecido cortical e trabecular realizados por Aras e colaboradores[8], Bigi e colaboradores[9] e Samuldrawar e Robertson[10] evidenciam a importância de se determinar os elementos traço em cada um dos tecidos separadamente.

Takata e Saiki[11] utilizaram o método de ativação com nêutrons para a determinação dos elementos Ba, Br, Ca, Cl, Cr, Fe, K, Mg, Mn, Na, P, Rb, Sb, Sc, Sr e Zn em tecidos ósseos cortical e trabecular de bovinos e de suínos e verificaram diferenças significativas entre teores de elementos presentes nesses dois tipos de tecidos. Verificaram também que houve diferenças entre concentrações elementares em ossos de bovinos com as de suínos.

Neste trabalho, o método de ativação com nêutrons foi utilizado para a análise de elementos constituintes do tecido ósseo humano. Foram analisados o tecido ósseo total, cortical e trabecular para verificar a variabilidade de concentrações de elementos presentes em ossos de diferentes indivíduos assim como fazer um estudo comparativo entre os resultados obtidos nos tecidos ósseos cortical e trabecular.

## II. PARTE EXPERIMENTAL

### Preparação das soluções padrão estoques de elementos.

As soluções padrão dos elementos Ba, Br, Cl, Na e Sr foram preparadas a partir da dissolução dos seus sais, todos p.a. da Merck e a solução padrão do Mn foi preparada a partir da dissolução deste elemento na forma metálica com reagentes apropriados. As soluções padrão dos elementos Ca, Fe, K, Mg, Rb e Zn foram adquiridas da Spex Certi Prep. A partir das soluções padrões estoques foram preparadas as soluções mais diluídas contendo um ou mais elementos. Para o caso do padrão de P, foi utilizado o sal

$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$  (dihidrogeno fosfato de amônio), Puratronic 99,998% da Jonhson Matthey Chemical Limited, sendo que neste caso o sal foi pesado diretamente no invólucro de polietileno. Na TABELA 1 são apresentadas as massas dos elementos nos padrões utilizados na análise.

**Preparação dos padrões sintéticos dos elementos.** Os padrões sintéticos dos elementos foram preparados pipetando-se alíquotas de 50 ou 100  $\mu\text{L}$  das soluções sobre tiras de papel de filtro Whatman nº 40 as quais foram colocadas num dessecador para sua secagem à temperatura ambiente e posteriormente embalados em invólucros de polietileno.

TABELA 1. Massas dos Elementos nos Padrões.

Elemento	Massa ( $\mu\text{g}$ )
Ba	500,5
Br	6,0
Ca	1003,4
Cl	100,2
Fe	501,7
K	1002,4
Mg	1003,9
Mn	2,1
Na	65,0
P	15000
Rb	4,985
Sr	499,9
Zn	50,1

### Amostras de ossos humanos e seu tratamento para análise por ativação.

Foram coletadas 18 amostras de ossos humanos no Serviço de Verificação de Óbitos de Capital (SVOC-USP), São Paulo, em colaboração com os pesquisadores da Faculdade de Medicina da USP e técnicos de autópsia do SVOC-USP. Devido ao uso de ossos humanos, o protocolo de pesquisa deste trabalho foi submetido e aprovado pelos comitês de Ética em Pesquisa da Faculdade de Medicina da USP e do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN-CNEN/SP. A TABELA 2 apresenta as características dos doadores de ossos humanos, cujas informações foram obtidas diretamente na Secretaria do SVOC-USP. A parte do esqueleto escolhida para a coleta foi a costela pelo fato desse osso estar localizado numa região do corpo de fácil acesso e também pelo fato da costela ser um osso menor, facilitando seu manuseio e tratamento. Essas amostras foram conservadas em um freezer, a uma temperatura média de  $-19^\circ\text{C}$ , até o início de seu tratamento.

O tratamento do osso consistiu inicialmente na remoção do tecido perióstio do tecido ósseo total. A seguir, o tecido ósseo total (tecido cortical + tecido trabecular) foi cortado, obtendo-se dessa maneira duas porções, para que ambas fossem preparadas de maneiras distintas. Uma porção foi utilizada para efetuar a separação em seus subcompartimentos: tecido cortical e trabecular, e a outra

porção para análise do tecido cortical e trabecular constituindo uma única amostra. Foram utilizados dois processos de secagem, liofilização para as amostras de tecido trabecular e cortical separadamente e calcinação para tecidos cortical e trabecular constituindo uma única amostra. No processo de secagem por calcinação foi utilizada uma mufla de marca THERMOLINE, modelo F1930-1 a uma temperatura inicial de 100 °C aumentando gradualmente até atingir a temperatura de 800 °C, temperatura na qual a amostra permaneceu por um período de aproximadamente 8 horas. Na secagem por liofilização foi utilizado o liofilizador modelo Micro Modulyo 10-F105-01-880, a uma pressão de 6 Pa por um período de cerca de 8 horas. Na TABELA 3 são apresentados os valores das percentagens de perda de peso obtidas na secagem das amostras de costelas humanas pelos processos de liofilização e calcinação.

TABELA 2. Características dos Doadores de Tecido Ósseo Humano.

Amostra	Sexo <sup>a</sup>	Cor	Idade (anos)	Doença Principal
1	M	Branca	65	Aterosclerose complicada
2	F	Branca	56	Tromboelismo pulmonar
3	M	Negra	60	Broncopneumonia
4	M	Parda	67	Tromboelismo pulmonar
5	M	Branca	43	Alcoolismo crônico
6	M	Branca	55	Indefinido
7	M	Branca	52	Coronarioesclerose
8	M	Parda	67	Alcoolismo / dados de história
9	M	Branca	66	Broncopneumonia bilateral
10	M	Parda	48	Alcoolismo / dados de história
11	M	Negra	42	Hipertensão arterial sistêmica
12	M	Parda	68	Indefinido
13	M	Branca	30	Cardiopatia hipertensiva
14	F	Branca	41	Broncopneumonia bilateral
15	M	Branca	38	Diabetes mellitus / dados de história
16	M	Branca	69	Não tem
17	F	Branca	80	Coronarioesclerose grave
18	M	Amarela	41	Hemorragia meníngea difusa

a. M - masculino; F - feminino

TABELA 3. Percentagens de Perda de Peso (%) na Secagem das Amostras de Costelas Humanas.

Código da Amostra	Liofilização		Calcinação Tec. Total (%)
	Tec. Cortical (%)	Tec. Trabecular (%)	
1	21,60	41,38	81,31
2	12,69	19,30	70,71
3	14,81	46,77	68,58
4	17,62	49,65	75,29
5	14,79	58,49	70,15
6	16,31	47,34	72,27
7	13,47	52,31	76,10
8	12,50	59,43	68,16
9	11,53	46,81	67,41
10	13,06	65,86	75,09
11	12,57	41,49	63,27
12	17,98	74,11	74,21
13	14,08	58,43	69,93
14	15,01	59,20	66,82
15	11,54	42,15	73,18
16	15,44	58,37	74,86
17	21,53	57,04	78,99
18	19,55	37,23	75,58

**Procedimento para análise por ativação.** Cerca de 100 a 150 mg das amostras de ossos pesados em invólucros de polietileno foram irradiados juntamente com os padrões sintéticos dos elementos no reator nuclear de pesquisa do IPEN, IEA-R1. Foram realizadas duas séries de irradiações: curtas de 4 minutos sob fluxo de nêutrons térmicos de  $4,5 \times 10^{11} \text{ n cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  para a detecção dos elementos Ba, Ca, Cl, K, Mg, Mn, Na, P e Sr e longas de 16 horas sob fluxo de nêutrons de  $10^{12} \text{ n cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  para analisar os elementos Ba, Br, Ca, Fe, K, Na, Rb, Sr e Zn. Após os tempos de decaimento de cerca de 4 minutos (no caso de irradiações curtas), e de 7 dias (no caso de irradiações longas), foram feitas as medidas das atividades gama induzidas aos elementos da amostra e padrões no detector de Ge hiperpuro, modelo GX 2020 da Canberra, ligado a um sistema eletrônico. A resolução do sistema (FWHM) utilizado foi de 1,02 keV para o fotopico de 121,97 keV do  $^{57}\text{Co}$  e de 1,85 keV para o fotopico de 1332,0 keV do  $^{60}\text{Co}$ . A seguir, foram realizadas as identificações dos elementos presentes na amostra pelas energias dos raios gama e pelas meias-vidas. As concentrações dos elementos foram calculadas pelo método comparativo de análise por meio da relação[12]:

$$C_a = [ A_a \cdot m_p \cdot e^{0,693(ta-tp)/T_{1/2}} ] / [ A_p \cdot M_a ] \quad (1)$$

Onde os índices *a* e *p* indicam, respectivamente, amostra e padrão. *C* = concentração do elemento na amostra; *A* = taxa de contagens para tempo de decaimento *t*; *m* = massa do elemento; *t* = tempo de decaimento; *T*<sub>1/2</sub> = meia-vida do radioisótopo; *M* = massa total da amostra;

O fósforo foi analisado pela medida da atividade beta ( $\beta^-$ ) de 1,71 MeV do  $^{32}\text{P}$  de *T*<sub>1/2</sub> = 14,28 dias num

contador Geiger Muller, após um período de decaimento de aproximadamente 14 dias.

### III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas TABELAS de 4 a 6 são apresentados os resultados da média aritmética bem como das faixas de concentrações dos elementos obtidas para os tecidos ósseos cortical e trabecular liofilizados e total calcinados. Os resultados destas Tabelas são dados na base úmida do material. Os valores das percentagens de perda de peso da TABELA 3 foram utilizados para os cálculos das concentrações dos elementos na base úmida. No tecido cortical não foram detectados os elementos Ba, Fe, Mn e Rb e no total o Ba, Br, Mn e Rb.

Na TABELA 6 estão os resultados obtidos para as amostras de tecido ósseo total que foram submetidas ao processo de secagem por calcinação. Como o tecido cortical e trabecular se apresentam em proporções diferentes no osso, o resultado obtido para o tecido total não poderá ser comparado com a soma das concentrações obtidas para o osso cortical e trabecular.

Para verificar se há diferenças significativas entre as concentrações de elementos nos tecidos cortical e trabecular foi aplicado o teste t de Student[13]. Na TABELA 7 estão os parâmetros estatísticos obtidos a partir das concentrações dos elementos Br, Ca, Cl, K, Mg, Na, P, Sr e Zn obtidos nos tecidos cortical e trabecular. Pelo teste t a um nível de significância de 5 %, foi verificado que as concentrações dos elementos do tecido cortical são significativamente diferentes das do trabecular.

Os resultados de Ca, Mg, Na e P obtidos para o tecido cortical apresentaram-se bastante próximos aos dados encontrados por Samudralwar e Robertson[10]. Na base seca do material, estes pesquisadores obtiveram os seguintes resultados: (21 ± 4)% para Ca; (2600 ± 400)µg/g para Mg; (5400 ± 1000)µg/g para Na e (8,8 ± 2,2)% para P. No presente trabalho obteve-se (22 ± 3)% para Ca; (2381 ± 315)µg/g para Mg; (5345 ± 498)µg/g para Na e (10,0 ± 2,8)% para P.

Os resultados obtidos para o tecido trabecular e também para o tecido total calcinado não foram comparados com os valores da literatura, devido à falta destes dados para o caso de costelas humanas.

Com relação ao elemento Fe encontrado somente nos tecidos trabecular e total, convém salientar que este elemento provavelmente se origina do fluido sanguíneo presente nestes dois tecidos. O Br não foi detectado no tecido total calcinado devido a possível volatilização deste elemento durante o processo de secagem por calcinação.

TABELA 4. Média Aritmética e Desvio Padrão das Concentrações e Faixa de Concentração dos Elementos no Tecido Cortical. Resultados Expressos na Base Úmida.

Elementos	Conc. (µg/g) <sup>a</sup>	Faixa de Concentração
Br	0,56 ± 0,21 (17)	0,26 – 0,96
Ca	18,9 ± 2,5 (18) <sup>b</sup>	13,6 – 23,0
Cl	457,0 ± 141,9 (18)	256,2 – 822,0
K	487 ± 172 (14)	208 – 835
Mg	2017 ± 289 (18)	1650 – 2704
Na	4522 ± 421 (18)	3941 – 5260
P	8,48 ± 2,47 (18) <sup>b</sup>	3,62 – 14,40
Sr	94,9 ± 31,4 (18)	42,3 – 160,5
Zn	95,5 ± 13,0 (12)	77,2 – 119,8

a. Os valores entre parênteses representam o número de amostras analisadas;

b. Concentração em porcentagem (%);

TABELA 5. Média Aritmética e Desvio Padrão das Concentrações e Faixa de Concentração dos Elementos no Tecido Trabecular. Resultados Expressos na Base Úmida.

Elementos	Conc. (µg/g) <sup>a</sup>	Faixa de Concentração
Ba	6,8 ± 5,6 (10)	1,8 – 17,1
Br	0,79 ± 0,27 (16)	0,37 – 1,41
Ca	4,0 ± 1,5 (18) <sup>b</sup>	2,0 – 7,1
Cl	861,7 ± 301,6 (18)	442,9 – 1695,0
Fe	187,8 ± 85,0 (18)	62,8 – 377,2
K	1319 ± 360 (18)	810 – 2131
Mg	599 ± 226 (18)	259 – 1017
Mn	99,0 ± 53,7 (13) <sup>c</sup>	41,5 – 206,9
Na	1520 ± 232 (18)	1169 – 1944
P	1,74 ± 0,92 (18) <sup>b</sup>	0,50 – 3,82
Rb	3,29 ± 1,27 (18)	1,01 – 6,32
Sr	20,4 ± 6,8 (16)	8,9 – 31,1
Zn	34,8 ± 9,8 (18)	18,1 – 51,2

c. Concentração em µg/kg.

TABELA 6. Média Aritmética e Desvio Padrão das Concentrações e Faixa de Concentração dos Elementos no Tecido Total. Resultados Expressos na Base Úmida.

Elementos	Conc. (µg/g) <sup>a</sup>	Faixa de Concentração
Ca	9,6 ± 1,5 (18) <sup>b</sup>	6,9 – 11,9
Cl	130,9 ± 61,9 (18)	52,9 – 270,7
Fe	112,1 ± 56,0 (13)	50,9 – 263,8
K	460 ± 126 (17)	216 – 733
Mg	1149 ± 211 (18)	718 – 1498
Na	2481 ± 447 (13)	1707 – 3017
P	4,98 ± 1,52 (18) <sup>b</sup>	2,57 – 8,73
Sr	48,7 ± 19,2 (18)	20,7 – 89,1
Zn	61,9 ± 15,8 (13)	43,6 – 94,7

TABELA 7. Parâmetros Estatísticos Obtidos a Partir das Concentrações de Elementos no Tecido Cortical e Trabecular.

Elementos	Tecido Cortical		Tecido Trabecular		Teste t	
	Conc. ( $\mu\text{g/g}$ ) <sup>a</sup>	Variância	Conc. ( $\mu\text{g/g}$ ) <sup>a</sup>	Variância	t calculado	t tabelado
Br	0,56 (17)	0,0421	0,79 (16)	0,0704	2,74	2,04
Ca	18,88 (18)	6,381	3,99 (18)	2,113	21,66	2,03
Cl	457,01 (18)	20125	861,71 (18)	90972,01	5,15	2,03
K	487,37 (14)	29724,06	1319,46 (18)	129727,06	7,94	2,04
Mg	2016,87 (18)	83413,83	598,86 (18)	50859,59	16,42	2,03
Na	4521,81 (18)	177526,93	1520,14 (16)	53905,62	25,26	2,04
P	8,48 (18)	6,117	1,74 (18)	0,855	10,83	2,03
Sr	94,87 (18)	986,853	20,39 (16)	46,833	9,28	2,04
Zn	95,51 (12)	169,317	34,83 (18)	96,946	14,54	2,05

#### IV. CONCLUSÕES

As análises de ossos cortical e trabecular indicaram que estes tecidos apresentam concentrações diferentes de elementos.

As concentrações de Ca, Mg, Na e P obtidos no tecido cortical foram da mesma ordem de grandeza daqueles valores publicados na literatura[10].

Os resultados obtidos nos tecidos ósseos cortical, trabecular e total, indicaram uma variabilidade nas concentrações dos elementos entre diferentes indivíduos. Esta variabilidade pode estar relacionada com as características (idade, sexo, raça e dieta) dos indivíduos.

#### AGRADECIMENTOS

À FAPESP, ao CNPq e à AIEA pelo apoio financeiro.

#### REFERÊNCIAS

- [1] Junqueira, L.C., Carneiro, J, **Histologia Básica**, Guanabara Koogan, Rio de Janeiro, 1974.
- [2] Zaichick, V.Y., **Instrumental Activation and X-ray Fluorescent Analysis of Human Bone in Health and Disease**, J. Radioanal. Nucl. Chem., Articles, vol. 179, n. 2, p. 295-303, 1994.
- [3] El-Amri, F.A., El-Kabroun, M.A.R., **Trace Element Concentrations in Human Bone Using Instrumental Neutron Activation Analysis**, J. Radioanal. Nucl. Chem., vol. 217, n. 2, p. 205-207, 1997.
- [4] Zhang, YX, Li, DY, Zhuang GS, Zhang GL, WANG, ZX, XIA JUN, **Determination of Inorganic Elements in Iliac Crests of Rabbits by NAA**, J. Radioanal. Nucl. Chem., Letters, vol. 240, n. 3, p. 939-941, 1999.
- [5] Scancar, J., Milacic, R., Benedik, M., Bukovec, P., **Determination of Trace Elements and Calcium in Bone of the Human Iliac Crest by Atomic Absorption**

**Spectrometry**, Clin. Chim. Acta, vol. 293, p. 187-197, 2000.

[6] Yoshinaga, J., Suzuki, T., Morita, M., Hayakawa, M., **Trace Elements in Ribs of Elderly People and Elemental Variation in the Presence of Chronic Diseases**, Sci. Total Environ., vol. 162, p. 239-252, 1995.

[7] Tandon, L., Iyengar, G.V., Parr, R.M., **A Review of Radiologically Important Trace Elements in Human Bones**, Appl. Rad. Isot., vol. 49, n. 8, p. 903-910, 1998.

[8] Aras, N., Yilmaz, G., Alkan, S., Korkusuz, F., **Trace Elements in Human Bone Determined by Neutron Activation Analysis**, J. Radioanal. Nucl. Chem., vol. 239, n. 1, p. 79-86, 1999.

[9] Bigi, A., Cojazzi, G., Panzavolta, S., Ripamonti, A., Roveri, N., Romanello, M., Noris Suarez, K., Moro, L., **Chemical and Structural Characterization of the Mineral Phase from Cortical and Trabecular Bone**, J. Inorg. Biochem., vol. 68, p. 45-51, 1997.

[10] Samuldrawar, D.L., Robertson, J.D., **Determination of Major and Trace Elements in Bones by Simultaneous PIXE/PIGE Analysis**, J. Radioanal. Nucl. Chem., Articles, vol. 169, p. 259-267, 1993.

[11] Takata, M.K., Saiki, M., **Análise por Ativação com Nêutrons de Tecidos Ósseos Medular e Cortical de Animais**, Anais do V Encontro Nacional de Aplicações Nucleares, Rio de Janeiro, RJ, 15 a 20 de outubro de 2000, em CD-ROM.

[12] De Soete, D., Gijels, R., Hoste, J., **Neutron Activation Analysis**, Wiley-Interscience, London, 1972.

[13] Vieira, S., **Introdução à Bioestatística**, Campus, Rio de Janeiro, 1997.

## ABSTRACT

In this study, neutron activation analysis (NAA) was applied for trace elements in human rib bone tissue. Elements Ba, Br, Ca, Cl, Fe, K, Mg, Mn, Na, P, Rb, Sr and Zn were determined in total bone tissue and in its subcompartments (cortical and trabecular tissue) separately. Irradiations were performed at IEA-R1 nuclear research reactor of IPEN-CNEN/SP. Short irradiations of 4 minutes were carried out under thermal neutron flux of  $4.5 \times 10^{11} \text{ n cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  and long irradiations of 16 hours under neutron flux of  $10^{12} \text{ n cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . Results obtained showed a variability between elemental concentrations found for bones from different individuals. A comparative study made between the data obtained for cortical and trabecular bones indicated that these two tissues present different elemental concentrations. Concentrations of Ca, Mg, Na and P obtained for cortical tissue were the same magnitude of those published data.