



Eclética Química

ISSN: 0100-4670

atadorno@iq.unesp.br

Universidade Estadual Paulista Júlio de

Mesquita Filho

Brasil

Freschi, Gian Paulo Giovanni; Dakuzaku Sinabucro, Carolina; Gomes Neto, José Anchieta; Moraes,
Mercedes de
Espectrometria de absorção atômica multielementar simultânea com atomização eletrotérmica em
forno de grafite uma revisão da técnica e aplicações
Eclética Química, vol. 25, núm. 1, 2000, p. 0
Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Araraquara, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=42902517>

- ▶ Como citar este artigo
- ▶ Número completo
- ▶ Mais artigos
- ▶ Home da revista no Redalyc

 redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

ESPECTROMETRIA DE ABSORÇÃO ATÔMICA MULTIELEMENTAR SIMULTÂNEA COM ATOMIZAÇÃO ELETROTÉRMICA EM FORNO DE GRAFITE – UMA REVISÃO DA TÉCNICA E APLICAÇÕES

Gian Paulo Giovanni FRESCHI^{*}
Carolina Sinabucro DAKUZAKU^{*}
José Anchieta GOMES NETO^{*}
Mercedes de MORAES^{*}

RESUMO: Este trabalho descreve uma revisão a respeito do emprego da técnica de espectrometria de absorção atômica simultânea em forno de grafite (SIMAAS) em determinações multielementares de elementos-traço em diferentes matrizes. Os principais parâmetros envolvidos e que devem ser considerados em medidas multielementares, tais como, fonte de radiação, geometria do forno, programa de aquecimento e natureza e quantidade de modificador químico, são descritos.

PALAVRAS-CHAVE: Espectrometria de absorção atômica com atomização eletrotérmica em forno de grafite; determinações multielementares simultâneas, elementos-traço.

Introdução

Das várias técnicas disponíveis para a determinação de elementos-traço, como por exemplo a espectrometria de massas com fonte de plasma de acoplamento indutivo (ICP-MS), espectrometria de emissão atômica com fonte de plasma de acoplamento indutivo (ICP-AES), espectrometria de fluorescência atômica (AFS), fluorescência de raios X (XRF), polarografia, voltametria, entre outras, a espectrometria de absorção atômica, seja em chama (FAAS) ou em atomizador eletrotérmico, é amplamente utilizada em análises de rotina em função de vários fatores: alta especificidade, sensibilidade, robustez, baixos limites de detecção para vários elementos em diferentes amostras e baixo custo relativo.

O desenvolvimento da espectrometria de absorção atômica, embora monoelementar, revolucionou o campo da química analítica na década de 50, com o primeiro protótipo de absorção atômica em chama (obtida a partir de uma mistura de gases combustível e comburente) proposto por Alan Walsh.⁴⁴ Boris L'vov, em 1959, propõe um tubo de grafite como atomizador no lugar da chama.^{5,44}

A espectrometria de absorção atômica com atomização eletrotérmica (ETAAS^a) é uma técnica bem estabelecida para determinações monoelementares. Como cada elemento requer programas de tempo/temperatura específicos, com ciclos de aquecimento que podem levar alguns minutos, infere-se que a principal desvantagem da técnica reside no tempo total gasto quando se deseja determinar muitos elementos por amostra.

Em 1979 surge a espectrometria de absorção atômica simultânea (SIMAAS^b) proposta por Harnly e colaboradores.²¹ A partir de 1988 começam a surgir os primeiros sistemas disponíveis comercialmente para análise multielementar simultânea baseada em ETAAS: espectrômetro Hitachi Modelo Z9000 (1988), espectrômetro Thermo Jarrell Ash Modelo AA Scan 4 (1990), espectrômetro Leeman Labs Modelo Analyte 5 (1993) e o espectrômetro Perkin Elmer Modelo SIMAA 6000 (1994).

Além da absorção atômica, há outras técnicas espectrométricas multielementares para a determinação simultânea de elementos-traço (ICP-AES, ICP-MS, XRF, etc.). Com relação aos espectrômetros multielementares disponíveis comercialmente para determinação de traços baseados em fontes de plasma, cita-se as técnicas de ICP-AES e ICP-MS. A técnica de emissão atômica, embora tendo um elevado caráter multielementar, apresentando potencial para determinar até 75 elementos, tem como limitação os limites de detecção insatisfatórios, quando comparados com os obtidos usualmente com ICP-MS e ETAAS. Embora ICP-MS tenha surgido como uma técnica com alto poder de detecção, o espectrômetro de massas é complexo e de custo relativamente alto, o que limita uma maior difusão da técnica em trabalhos de rotina.

Em função de espectrômetros de absorção atômica simultâneos multielementares com atomização em forno de grafite (GF-SIMAAS^c) terem sido desenvolvidos e disponíveis comercialmente nos últimos anos, houve um aumento de aplicações da técnica GF-SIMAAS em análises multielementares simultâneas.^{10,37} No trabalho de revisão de Farah e Sneddon¹⁰ estão descritas a instrumentação e aplicações dos

quatro instrumentos disponíveis comercialmente até aquela data, para análise multielementar em forno de grafite.

No presente trabalho é feita uma atualização das revisões anteriores sobre GF-SIMAAS, destacando e discutindo os principais parâmetros e aplicações envolvidos na análise multielementar simultânea em forno de grafite.

Principais parâmetros envolvidos em análises multielementares simultâneas

1. Fontes de Radiação

Para o desenvolvimento de um sistema de absorção atômica multielementar simultâneo, necessita-se de fonte de linhas discretas (ou fonte contínua) combinada a sistemas óticos de alta resolução. A fonte de radiação mais comumente utilizada em espectrometria de absorção atômica é a lâmpada de catodo oco (HCL⁴). Esta é uma fonte de linhas ideal para absorção atômica pois emite seletivamente as radiações de comprimentos de onda específicos do elemento a ser determinado. Estas lâmpadas têm sido amplamente utilizadas nos últimos 30 anos como fonte de radiação.³⁷

Com relação às lâmpadas HCL ou lâmpadas de descarga sem eletrodo (EDL⁵) esforços têm sido concentrados no desenvolvimento de um maior número de lâmpadas multielementares para instrumentos simultâneos. Até o presente momento ainda não se encontra disponível no mercado lâmpadas EDL multielementares. Com relação às HCL multielementares, algumas considerações devem ser feitas. Em primeiro lugar, observam-se que estas lâmpadas emitem menos intensamente que as correspondentes monoelementares, resultando em diminuição da sensibilidade analítica. O tempo de vida útil da lâmpada multielementar geralmente é menor que o das monoelementares em função da menor quantidade de material relativo ao elemento que constitui o catodo. Finalmente, há uma grande limitação quanto à combinação dos elementos numa única lâmpada.^{3,37} Apesar de as lâmpadas EDL emitirem mais intensamente que as HCL, elas apresentam como inconveniente um longo tempo de pré-aquecimento (aproximadamente 45 minutos) frente aos 2-5 minutos das lâmpadas HCL.

Entretanto, estudos tem sido feitos com lâmpadas multielementares. Tong e Chin⁴¹ desenvolveram um procedimento para análise de material

de referência usando uma lâmpada multielementar de seis elementos (Ni-Co-Fe-Mn-Cu-Cr).

Uma alternativa de fonte de radiação em determinações simultâneas é a fonte contínua, que pode contornar os problemas associados às lâmpadas multielementares. Uma fonte contínua como a lâmpada de arco de xenônio emite em uma faixa larga de comprimento de onda abrangendo as regiões ultravioleta, visível e infra-vermelho próximo (200-1500 nm).¹⁷ O primeiro instrumento multielementar proposto por Hanrly *et al.*²¹ em 1979 utilizou uma fonte contínua para absorção atômica multielementar e recebeu o nome de SIMAAC. Este sistema se baseou em uma fonte de arco de xenônio (300W) e um policromador Echelle. O sistema pôde ser adaptado para ambos os sistemas de atomização, chama e forno de grafite e permitiu análise de até 16 elementos simultaneamente. Por outro lado, foram observadas algumas desvantagens, tais como sobreposições espectrais, maiores limites de detecção e principalmente perda de sensibilidade em comprimentos de onda menores que 280 nm¹⁷, prejudicando medidas de elementos (As, Cd, Co, Hg, Ni, Sb, Se, Tl, Zn, entre outros) que têm raia mais sensível abaixo deste comprimento de onda.

Caroll *et al.*⁶ em 1985 propuseram uma sonda de grafite como parte do conjunto atomizador eletrotérmico em um instrumento com fonte contínua SIMAAC (arco de xenônio de 300W) para a determinação simultânea de 15 elementos em materiais de referência. Segundo os autores, a técnica permitiu uma rápida atomização, com um ambiente isotérmico, quando comparado aos tubos de grafite convencionais sem plataforma. Esse sistema forneceu limites de detecção melhores para os elementos mais voláteis, melhor exatidão dos resultados e redução das interferências químicas. Para elementos mais refratários, os resultados foram menos satisfatórios, se comparados com o tubo de grafite convencional. Ainda, os limites de detecção foram de 2 a 3 vezes mais altos.

Lewis *et al.*³⁰ desenvolveram em 1985 um método para determinação simultânea multielementar de Al, Co, Cr, Mn, Mo, Ni e V em soro sanguíneo usando SIMAAC com forno de grafite como atomizador e foi utilizado Mg(NO₃)₂ como modificador químico. Neste método, foram obtidos bons limites de detecção para Al, Cr, Mn e Ni. Quando comparado com outras técnicas, o método proposto forneceu bons resultados.

Miller-Ihli³¹ em 1989 analisou vários elementos simultaneamente, em matérias biológicas utilizando um SIMAAC equipado com um forno de

grafite HGA-500. Foram analisados vários materiais de referência e os resultados foram concordantes com os valores certificados. O sistema SIMAAC foi também utilizado para análise de suspensões dos materiais de referência, cujos resultados foram próximos dos valores certificados.

Os sistemas multicanais, proposto por Salin e Ingle³⁵, utilizavam um sistema de combinação de fontes que direcionava o feixe de 4 lâmpadas de catodo oco através do atomizador para o interior do monocromador usando como detector um tubo fotomultiplicador (PMT^f). Este sistema foi adaptado por Alder *et al.*¹ que utilizaram um fotomultiplicador para cada lâmpada de catodo oco.^{10, 37}

Os equipamentos de absorção atômica multicanais só foram possíveis de ser desenvolvidos em função do aperfeiçoamento da tecnologia de processamento de dados, eletrônica e ótica, e atualmente estão sendo construídos em larga escala. Na [Tabela 1](#) encontram-se algumas características analíticas de quatro instrumentos simultâneos disponíveis comercialmente.

Tabela 1 - Características dos instrumentos de absorção atômica multicanais comerciais¹⁴

	Hitachi Z 9000	Thermo Jarrell Ash (Alden)	Leybold Heraus Spectra 10	Varian Koker Model A 5500
nº divisões	4 (rotativo)	4 (rotativo)	6 (rotativo)	6 (rotativo)
Fonte de radiação	PEI,	PEI,	SEI,	SEI, SEI,
Detonador de fonte	seletivo	seletivo rotativo	rotativo seletivo	seletivo de rotativa
Fonte	Célula de vaporização ou selenita	Aquecimento ou vaporização	Aquecimento seletivo	Aquecimento seletivo
Quente-offs	Voltmetro de Corney-Taylor	Voltmetro de Corney-Taylor	Nones	Voltmetro de Rétrofase
Detector	Photodióptico	Photodióptico	Photodióptico	Detector de catodo oco
Controlador de fonte	Zonas	Fonte Seletiva	Fonte Rotativa	Zonas

Gupta¹⁴ em 1993 determinou Sc, Y e alguns elementos da família de terras raras em rochas e outros materiais de referência geológicos usando um aparelho simultâneo Hitachi Z 9000 com forno de grafite. Os valores encontrados pelo método proposto foram concordantes com os valores certificados. Quando comparados com outras técnicas simultâneas multielementares, os valores obtidos foram semelhantes. A sensibilidade encontrada para o método foi alta para volumes de amostra entre 10 a 40µl.

2. Forno de Grafite

Além da fonte de radiação, deve ser levado também em consideração em medidas simultâneas multielementares a configuração do tubo de grafite utilizada. Em análise multielementar envolvendo elementos voláteis, alguns estudos revelaram que o emprego de tubos de grafite com aquecimento longitudinal não é a melhor opção de uso, visto que estes elementos podem migrar para as extremidades do tubo, mais frias, ocasionando dispersão da nuvem atômica e eventuais processos de recombinação.^{22,23} No caso de elementos não voláteis e semi-voláteis, há a possibilidade de emprego de tubos com aquecimento longitudinal. De um modo geral, pode-se dizer que a configuração do atomizador envolvendo aquecimento transversal (THGA)⁴ pode ser considerada de uso mais amplo em análise simultânea multielementar.^{22,23,33} Hoenig *et al.*²³ em 1997 fizeram um estudo sobre a influência da geometria dos tubos de grafite para análise simultânea de Cd, Co, Cu e Pb em solução utilizando instrumento SIMAA 6000, onde foi observado esse problema, pois o Cd e o Pb eram os elementos mais voláteis.

Outra possibilidade para se determinar elementos voláteis simultaneamente seria a utilização de tubos de grafite "end-capped" os quais possuem as extremidades mais estreitas, diminuindo a perda desses elementos, resultando no aumento em sensibilidade.

3. Programa de Aquecimento e Modificadores Químicos

Para se fazer medidas por espectrometria de absorção atômica com atomização em forno de grafite é necessário estabelecer um programa de aquecimento apropriado para controlar as etapas de secagem, de pirólise^h e de atomizaçãoⁱ. Este programa otimizado permite evaporar o solvente bem como eliminar os constituintes da matriz, antes da atomização do analito, a fim de se reduzirem eventuais interferências.⁵ Deve ser aqui enfatizado que cada elemento (numa determinada matriz) possui uma temperatura de pirólise (Tp) e uma de atomização (Ta) características. Ainda, o comportamento eletrotérmico deste elemento é dependente da natureza e concentração do modificador químico. Analogamente às medidas monoelementares, em análises multielementares, o uso de modificadores também é imprescindível. Tentativas de uso de um modificador (ou mistura de modificadores) que possa ser utilizado para um maior número de elementos foram feitas por Welz *et al.*⁴³, os quais propõem, após medidas individuais, a mistura Pd/Mg como sendo a melhor para 21 elementos. Em uma análise multielementar simultânea, o programa de aquecimento é comum aos

elementos de interesse. Desta forma, o programa é geralmente otimizado de forma que sejam utilizadas a maior temperatura possível de pirólise e a menor temperatura possível de atomização, respeitando-se a repetibilidade das medidas. Estendendo-se estes pré-requisitos analíticos para n elementos, fica claro que o estabelecimento de programas de aquecimento e a seleção de modificadores químicos para a determinação simultânea multielementar constituem-se nas principais dificuldades para o avanço da técnica SIMAAS. Por outro lado, esforços estão sendo concentrados no sentido de contornar estas limitações.

Sneddon *et al.*³⁸ em 1994 investigaram o melhor modificador químico para a determinação simultânea de As, Cd, Pb e Se em solução salina, utilizando um espectrômetro Thermo Jarrell Ash 8000. Nitrato de níquel foi usado como modificador químico e forneceu os melhores resultados para As, Se, quando comparado com a mistura Pd(NO₃)₂-Mg(NO₃)₂. O uso de Pd(NO₃)₂-Mg(NO₃)₂ promoveu melhora na sensibilidade para todos os metais em comparação com Ni(NO₃)₂, porém a temperatura de pirólise foi baixa (350°C), pois era limitada pelo cádmio, elemento mais volátil dentre os quatro. Os autores avaliaram os sinais atômicos mediante a utilização de altura ao invés de área de pico, contrariando as recomendações do emprego das condições STPFⁱ.

Deval *et al.*⁷ desenvolveram em 1995 um método para a determinação simultânea de Cd e Pb em amostras de referência de sangue, usando espectrômetro Thermo Jarrell Ash 8000 com sistema de correção de fundo do tipo Smith-Hieftje. Para o modificador NH₄H₂PO₄, as temperaturas de pirólise para Cd e Pb foram de 650° C e 700° C, respectivamente, enquanto que Mg(NO₃)₂ proporcionou temperaturas de pirólise de 500°C e 700° C, respectivamente. O modificador escolhido foi o fosfato pela maior estabilidade térmica do Cd. Apesar de Pb ser estabilizado termicamente até 700° C, a pirólise foi fixada em 650° C como compromisso entre perda de um analito e sensibilidade requerida dos analitos. Em medidas simultâneas, sugere-se que a temperatura de pirólise de trabalho seja definida em função daquela do analito mais volátil, sensibilidade requerida e menor desvio padrão relativo.

Su *et al.*⁴⁰ desenvolveram em 1998 uma metodologia para a determinação direta e simultânea de Mo e V em água do mar utilizando espectrômetro de absorção atômica Perkin Elmer. Foram testados três espécies de modificadores: Pd, Mg e a mistura de ambos. Os limites de detecção encontrados foram baixos, bem inferiores aos mencionados na literatura. O método foi avaliado utilizando-se materiais de referência e os resultados obtidos foram concordantes com os valores certificados para Mo e V.

Latino *et al.*²⁷ determinaram Ag, Cd, Pb e Sb em águas. Para Cd e Pb o melhor modificador foi a mistura Pd/Mg, a qual permitiu T_p de até 700°C e 850°C, respectivamente. Para Ag e Sb, a mistura NH₄H₂PO₄/Mg permitiu temperaturas de pirólise de 800°C e 1300°C, respectivamente. Assim, uma faixa de 700-1300°C de pirólise e 1400-1900°C de atomização é apresentada. Neste caso, a seleção da temperatura de atomização foi feita levando-se em consideração o elemento que possui a maior Ta, enquanto que a temperatura de pirólise ficou limitada pela T_p do elemento mais volátil. Em resumo, as temperaturas selecionadas foram 700°C e 1900°C. Vale a pena aqui destacar que este não deve se entender como um princípio geral em GF-SIMAAS, uma vez que nem sempre as temperaturas de pirólise e de atomização ótimas fornecem os menores desvios-padrão relativos.

Assim sendo, a seleção do modificador químico bem como do programa de tempo/temperatura deve ser criteriosamente estudada a fim de se encontrarem os melhores desempenhos para os elementos de interesse em uma análise multielementar.

Com o objetivo de disponibilizar o estado-da-arte de determinações simultâneas multielementares em espectrometria de absorção atômica em forno de grafite (GF-SIMAAS), foi realizada uma revisão exaustiva da literatura sobre o assunto e na [Tabela 2](#) estão compilados alguns resultados das aplicações da técnica GF-SIMAAS.

Tabela 2 - Compreensão de aplicações da técnica GF-SIMAAS.

Metodo	Elementos	Modificação	Tp/Ta (°C)	Referência
Açores eletrônicos	Al, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb	Pd + Mg	250 / 2500	42
Arenaria Barroca do depósito	Cr, Cr, Pb, Mn	Análise da modificadora	250 / 2500	39
Água do mar	Ca, Cu, Pb	Pd	250 / 1700	9
Água do mar	Mn e V	Mg, Pd,	1300-1400 / 2400	66
Água natural	Br e Si	Ir óxido/CO ₂	250 / 2500	42
Água potável	Ca, Cr, Cu, Mn, Pb	Pd + Mg	400 / 1800	11
Água potável	Ag, Cr, Pb, Zn	IrO _x + Mg	400 / 1800	27
Amostras metalúrgicas e cochas	Ag, Au, Pb Mn, Pb, Mn, Na	Análise da modificadora	300 / 2500 800-1600 / 3000	39
Batatas e Batatas- Veganas	Ca, Cu, Pb, Mn, Mn, Zn Cr, Cr, Cu, Pb, Mn Al, Cr, Cu, Pb, Mn, Pb Ca, Cr, Mg, Mn, Mn, Zn Cr, Cu, Mn, Pb	Mg/CO ₂ /e	250 / 2500	41
Cálcio	Cr, Cu, Pb, Mn, Pb	Mg-Zn	1000 / 1800	8
Óleos	Ag, Al, Ca, Cr, Fe, Mn, Pb, Si	Análise da modificadora	700-1100 / 2500	1
Oxigênio e hidrogênio do depósito	Cr e Pb	Análise da modificadora	400	58
Material geológico e água natural	Ag, Br, Cr, Fe Ca, Cr, Mn, Ni Zn, Cu, Li, Sr	Pd + Mg	400 / 2500 600 / 2400 800 / 2500	45
Material contínuo	As, Cr, Co, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Se, Si, Zn	Ir/CO ₂ /e	100 / 2500	46
Material contínuo-a	Cr, Cr, Pb, Si, Mn, Ni, Zn	Análise da modificadora	500 / 2500	46
Material contínuo-b	Cr e Pb	Pd + Mg	600 / 1800	8
Material contínuo-c	Cr e Pb		1200 / 2400	
Material contínuo-d	Cr e Mn		1500 / 2500	
Material contínuo-e	Cr, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Ni, V, Zn	Análise da modificadora	600 / 2500	46
Material contínuo-f	Ca, Pb, Ni	Análise da modificadora	600 / 2400	41
Material contínuo-g	Co e Ni	Análise da modificadora	1000 / 2500	39
Material contínuo-h	As e Fe	Análise da modificadora	7 / 2000	8
Óleo comestível	Ca, Br, Pb	CO ₂ /Mg/CO ₂ /e	500 / 1800	8
Ruthen	Br, V e Ferro níquel	Análise da modificadora	800 / 1800	45
Sapato	Cr e Pb	Pd + Mg	800 / 1800	42
Sapato	Cr e Pb	Ir/CO ₂ /CO ₂	800 / 1800	7
Sedação-padrão	Ag, Cd, K, Mn, Pb, Ti, Zn Al, Cr, Cu, Cr, Cu, Fe, Mn, Mn, Si	Análise da modificadora	400 / 1800 700 / 2500	4
Sedação-padrão	As, Cd, Fe, Se	Pd + Mg	300 / 1800	38
Sedação-padrão e 10 elementos				34
Soro	Cr, Fe, Zn	Ni/CO ₂	300 / 2500	39
Soro sanguíneo	Al, Cr, Cu, Mn, Mn, Pb, V	Mg	1500 / 2700	39
Soro	Cr, Cu, Mn	Análise da modificadora	500 / 2500	45
Úteros	Cr, Cr, Pb, Pb	NiO _x	1000-1200 / 2500-3000	46

A espectrometria de absorção atômica simultânea em forno de grafite (GF-SIMAAS) encontra-se em pleno desenvolvimento. Com os instrumentos disponíveis no mercado até o momento, é possível monitorar simultaneamente até seis elementos, muito aquém do

potencial multielementar de outras técnicas espectrométricas multielementares, tais como ICP-AES ou ICP-MS, que permitem a medida simultânea de até 75 elementos aproximadamente. Resguardadas as características analíticas intrínsecas das técnicas acima citadas, o número de trabalhos publicados sobre medidas simultâneas em espectrometria de absorção atômica com atomização eletrotérmica em forno de grafite tem aumentado significativamente, o que mostra um grande interesse no aprimoramento da técnica em decorrência dos seguintes aspectos positivos: aplicações em análises de traços em função dos excelentes limites de detecção para a maioria dos elementos, possibilidade de pré-tratamento químico e térmico da amostra, possibilidade de análise direta da amostra, requer pequenos volumes de amostra, alta freqüência analítica, baixo custo operacional, e ainda a possibilidade de uso da padronização interna, assunto pouco explorado na literatura até o momento.³⁴

Agradecimentos

Os autores agradecem a Fapesp (Projetos 98/14636-2; 99/10486-9), a Capes pelas bolsas de G.P.G.F. e C.S.D. e ao CNPq pela bolsa de J.A.G.N.

FRESCHI, G.P.G. et al. Simultaneous multielement graphite furnace atomic absorption spectrometry - A review of the technique and applications. *Ecl. Quím.* (São Paulo), v.25, p. , 2000

ABSTRACT: *A review on the use of graphite furnace atomic absorption spectrometry for simultaneous multielement determination of metals at trace levels in different samples is described. The main parameters to be considered in multi-element analysis such as light sources, kind of graphite furnace tubes, time and temperature program, and composition and amount of modifier are summarized and discussed.*

KEYWORDS: *Simultaneous multielement graphite furnace atomic absorption spectrometry; Simultaneous multielement determination, trace elements.*

Referências Bibliográficas

- 1 ALDER, J.A., ALGER, G., SAMUEL, A.J, WEST, T.S., The design and development of a multichannel atomic absorption spectrometer for the simultaneous determination of trace metals in hair. *Anal.Chim. Acta*, v.87, p.301-11, 1976.
- 2 ALLEN, L.B., SIITONEN, P.H., THOMPSON Jr., H.C., Determinations of copper, lead, and nickel in edible oils by plasma and furanace atomic spectroscopies, *J. Anal. Oil Chem. Soc.*, v.75, p.477-81, 1998.
- 3 BERGLUND, M., FRECH, W., BAXTER, D.C., RADZIUK, B., A critical evaluation of a multielement ETAAS system using line sources and a transversely heated graphite atomizer with Zeeman-effect background correction, *Spectrochim. Acta Part B*, v.48, p.1381-92, 1993.
- 4 BERNHARDT, J., HERMANN, G., LASNITSCHKA, G., Simultaneous multi-element determination with coherent forward scattering spectrometry employing chromatically corrected polarizers and a fast scanning spectrometer, *Spectrochim. Acta Part B*, v.54, p.645-56, 1999.
- 5 BUTCHER, D. J., SNEDDON, J., *A Practical Guide to Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrometry*, New York, John Wiley & Sons, INC., 1998.
- 6 CARROLL, J., MILLER-IHLI, N.J., HARLY, J.M., LITTLEJOHN, D., OTTAWAY, J.M., O'HAVER, T.C., Simultaneous multi-element analysis by continuum source atomic-absorption spectrometry with graphite probe electrothermal atomization, *Analyst*, v.110, p.1153-59, 1985.
- 7 DEVAL, A., SNEDDON, J., Determination of cadmium and lead in blood reference samples by simultaneous graphite furnace atomic absorption spectrometry, *Microchem. J.*, v.52, p.96-100, 1995.
- 8 DONG, X., NAKAGUCHI, Y., HIRAKI, K., Determination of chromium, copper, iron, manganese and lead in human hair by graphite furnace atomic absorption spectrometry, *Anal. Sci.*, v.14, p.785-9, 1998.
- 9 EDEL, H., QUICK, L., CAMMANN, K., Simultaneous multielement determination in complex matrices using frequency-modulated electrothermal atomic absorption spectrometry, *Anal. Chim. Acta*, v.310, p.181-7, 1995.

- 10 FARAH, K. S., SNEDDON, J., Developments and Applications of Multielement Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrometry, *Appl. Spectrosc. Reviews*, v.30, p.351-71, 1995.
- 11 FEUERSTEIN, M., SCHLEMMER, G., The simultaneous determination of Cd, Cr, Cu, Ni and Pb in potable and surface waters by GFAAS according to international regulations, *At. Spectrosc.*, v. 20, p.149-54, 1999.
- 12 FEUERSTEIN, M., SCHLEMMER, G., KRAUS B., The simultaneous GFAAS determination of various elements at ultratrace levels in ultrapure acids and photoresist stripper solutions, *At. Spectrosc.*, v.19, p. 1-5, 1998.
- 13 GUPTA, J.G.S., Determination of noble metals in silical rocks, ores and metallurgical samples by simultaneous multi-element GFAAS with Zeeman background correction. *Talanta*, v.40, p.791-7, 1993.
- 14 GUPTA, J.G.S., Determination of scandium, yttrium and eight rare earth elements in silicate rocks and six new geological reference materials by simultaneous multi-element electrothermal atomic absorption spectrometry with Zeeman-effect background correction, *J. Anal. At. Spectrom.*, v.8, p.93-101, 1993.
- 15 GUPTA, J.G. SEN, BOULIER, J.L., Direct determinations of traces of Ag, Cd, Pb, Bi, Cr, Mn, Co, Ni, Li, Be, Cu and Sb in environmental waters and geological materials by simultaneous multielement graphite furnace atomic absorption spectrometry with Zeeman-effect background correction, *Talanta*, v.42, p.269-81, 1995.
- 16 HARNLY, J.M, Graphite furnace atomic absorption spectrometry using a linear photodiode array and a continuum source, *J. Anal. At. Spectrom.*, v.8, p.317-24, 1993.
- 17 HARNLY, J.M, Multielement atomic absorption with a continuum source, *Anal. Chem.*, v.58, p.933A-43A, 1986.
[[Medline](#)]
- 18 HARNLY, J.M, Instrumentation for simultaneous multielement atomic absorption spectrometry with graphite furnace atomization, *Fresenius J. Anal. Chem.*, v.355, p.501-9, 1996.
- 19 HARNLY, J.M., KANE, J.S., Optimization of electrothermal atomization parameters for simultaneous multielement atomic absorption spectrometry, *Anal. Chem.*, v.56, p.48-54, 1984.

- 20 HARNLY, J.M., MILLER-IHLI, N.J., O' HAVER, T.C., Simultaneous multielement atomic absorption spectrometry with graphite furnace atomization, *Spectrochim. Acta Part B*, v.39, p.305-20, 1984.
- 21 HARNLY, J.M, O' HAVER, T.C., GOLDEN, B., WOLF, W.R., Background-corrected simultaneous multielement atomic absorption spectrometry, *Anal. Chem.*, v.51, p.2007-14, 1979.
- 22 HARNLY, J.M, RADZIUK, B., Effect of furnace atomization temperatures on simultaneous multielement atomic absorption measurement using a transversely-heated graphite atomizer, *J. Anal. At. Spectrom.*, v.10, 197-206, 1995.
- 23 HOENIG, M., CILISSEN, A., Performances and practical applications of simultaneous multi-element electrothermal atomic absorption spectrometry the case of the SIMAA 6000, *Spectrochim. Acta Part B*, v.52, p.1443-9, 1997.
- 24 KITAGAWA, K., SHIMAZAKI, Y., A simultaneous multielement atomic-absorption spectrometer with a inverse polychromator and fast fourier transformation , *Anal. Sci.*, v.9, p. 663-9, 1993.
- 25 KOBAYASHI, R., IMAIZUMI, K., Simultaneous determination of trace elements in urine by graphite furnace atomic absorption spectrometry, *Anal. Sci.*, v.7, p.1197-200, 1991.
- 26 KUMAMARU, T., OKAMOTO, Y., HARA, S., MATSUO, H., KIBOKU, M., Simultaneous determination of copper and lead by graphite furnace atomic absorption spectrometry after liquid-liquid extraction of the ion pair with zephiramine. *Anal. Chim. Acta*, v.218, p.173-8, 1989.
- 27 LATINO, J.C., SEARS, D.C., PORTALA, F. SHUTTLER, The simultaneous determinations of dissolved silver, cadmium, lead and antimony in potable waters by ETAAS, *At. Spectrosc.*, v.16, p.1-126, 1995.
- 28 LEE, Y., SMITH, M.V., INDURTHY, S., DEVAL, A., SNEDDON, J., An improved impaction-graphite furnace system for direct and near real-time determination of cadmium, chromium, lead and manganese in aerosols and cigarette smoke by simultaneous multielement atomic absorption spectrometry, *Spectrochim. Acta Part B*, v.51, p.109-16, 1996.

- 29 LEWIS, S.A., O' HAVER, T.C., HARNLY, J.M., Simultaneous multielement analysis of microliter quantities of serum for copper, iron, and zinc by graphite furnace atomic absorption spectrometry, *Anal. Chem.*, v.56, p.1651-54, 1984.
[[Medline](#)]
- 30 LEWIS, S.A., O' HAVER, T.C., HARNLY, J.M., Determination of metals at the microgram-per-liter level in blood serum by simultaneous multielement atomic absorption spectrometry with graphite furnace atomization, *Anal. Chem.*, v.57, p.2-5, 1985.
[[Medline](#)]
- 31 MILLER-IHLI, N. J., Graphite furnace atomic absorption spectrometry for the analysis of biological materials, *Spectrochim. Acta Part B*, v.44, n.12, p. 1221-27, 1989.
- 32 MURPHY, J., JONES, P., SCHLEMMER, G., SHUTTLER, I. A., HILL, S. J. Investigations into the simultaneous determination of bismuth and selenium by 'In atomizer trapping' electrothermal atomic absorption spectrometry, *Anal. Commun.*, v.34, p.359-62, 1997.
- 33 RADZIUK, B., RÖDEL, G., STENZ, H, BECKER-ROSS, H., FLOREK, S., Spectrometer system for simultaneous multi-element electrothermal using line sources and Zeeman-effect background, *J. Anal. At. Spectrom.*, v.10, p.127-36, 1995.
- 34 RADZIUK, B., ROMANOVA, N. P., THOMAASSEN, Y., Evaluation of internal standardisation in eletrothermal atomic absorption spectrometry, *Anal. Commun.*, v.36, p. 13-6, 1999.
- 35 SALIN, E.D., INGLE, J.D., Performance of a time multiplex slit multielement flame atomic absorption spectrometer, *Anal. Chem.*, v.50, n.13, 1745-52, 1978.
- 36 SMITH, C.M., HARNLY, J.M., Sensitivities and detection limits for graphite furnace atomic absorption spectrometry using a continuum source and linear photodiode array detection, *Spectrochim. Acta B*, v.49, p.387-98, 1994.
- 37 SNEDDON, J., FARAH, B.D., FARAH, K.S Multielement atomic absorption spectrometry: A historical perspective, *Microchem. J.*, v.48, p.318-25, 1993.
- 38 SNEDDON, J., FARAH, K.S., Investigation of chemical modification in the simultaneous graphite furnace atomic absorption spectrometry

detection of arsenic, cadmium, lead, and selenium, *Spectrosc. Lett.*, v.27, p.257-67, 1994.

39 SMITH, M.V., SNEDDON, J., Simultaneous determination of cadmium and lead in cigarettes and cigarettes smoke by impaction-graphite furnace and graphite furnace atomic absorption spectrometry, *Spectrosc. Lett.*, v.32, p.615-21, 1999.

40 SU, P., HUANG, S., Direct and simultaneous determination of molybdenum and vanadium in sea-water using a multielement electrothermal atomic absorption spectrometer, *J. Anal. At. Spectrom.*, v.13, p.641-5, 1998.

41 TONG, S.L., CHIN, K.S., Simultaneous multielement graphite furnace atomic absorption measurements using a photodiode array detector, *Spectrochim. Acta Part B*, v.49, p.459-67, 1994.

42 VIKSNA, A., LINDGREN, E. S., Determination of lead and cadmium in whole blood of mothers and their babies, *Anal. Chim. Acta*, v.353, p.307-11, 1997.

43 WELZ, B., SCHLEMMER, G., MUDAKAVI, J.R., Palladium nitrate-magnesium nitrate modifier for electrothermal atomic absorption spectrometry, Part 5. Performance for the determination of 21 elements, *J. Anal. At. Spectrom.*, v.7, p.1257-71, 1992.

44 WELZ, B., SPERLING, M., *Atomic Absorption Spectrometry, 3th, completely revised edition*, VCH, Weinheim, 1999.

Recebido em 7.2.2000

Aceito em 7.4.2000

* Departamento de Química Analítica - Instituto de Química de Araraquara, Universidade Estadual Paulista, CP 355, 14800-900 - Araraquara-SP.

^{1a} ETAAS: das iniciais em inglês de *Electrothermal Atomic Absorption Spectrometry*

^{1b} SIMAAS: das iniciais em inglês de *Simultaneous Multi-element Atomic Absorption Spectrometry*

^{1c} GF-SIMAAS: sigla proposta pelos autores das iniciais em inglês de *Graphite Furnace Simultaneous Multi-element Atomic Absorption Spectrometry*.

^{1d} HCL: das iniciais em inglês de *Hollow cathode lamp*

^{1e} EDL: das iniciais em inglês de *Electrodeless discharge lamp*

^{1f} PMT: das iniciais em inglês de *Photomultiplier Tube*

^{1g} THGA: das iniciais em inglês de *Transversely-Heated Graphite Atomizer*

^{1h} Pirólise: Etapa em que se elimina a maior quantidade de concomitantes provenientes da matriz.

¹ⁱ Atomização: Etapa de produção de átomos no estado fundamental.

^{1j} STPF: das iniciais em inglês de *Stabilized Temperature Plataform Furnace*.
