

## SISTEMA ELETRÔNICO PARA AUTOMATIZAÇÃO DE MEDIDAS DE CORRENTES PRODUZIDAS POR CÂMARAS DE IONIZAÇÃO

Franco Brancaccio e Mauro da Silva Dias

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN/CNEN-SP.  
Travessa R, 400, Cidade Universitária.  
05508-900 São Paulo, SP, Brasil.

### RESUMO

Câmaras de Ionização operando em modo de corrente são usualmente empregadas em Metrologia Nuclear, para a determinação da atividade de radionuclídeos. Para este propósito, são exigidas medidas de correntes de ionização muito baixas, na faixa de  $10^{-8}$  a  $10^{-14}$  A. Normalmente, eletrômetros efetuam a integração da corrente, sob comando de sinais provenientes de um sistema de automatização, de forma a reduzir as incertezas das medidas. No presente trabalho, descreve-se um sistema desenvolvido para automatizar as medidas de integração de corrente das câmaras de ionização do Laboratório de Metrologia Nuclear (LMN) do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN). Este sistema é composto por programas (interface gráfica e controle) e por um módulo eletrônico conectado a um microcomputador, através de uma placa de aquisição de dados comercial CAD12/32 (LYNX Tecnologia Eletrônica Ltda.). Medidas, utilizando um eletrômetro Keithley 616 (Keithley Instruments, Inc) e uma câmara de ionização IG12/A20 (20<sup>th</sup> Century Electronics Ltd.), foram realizadas para avaliar o desempenho e validar o projeto.

Keywords: Activity, Ionization Chamber, Electrometer, Automation.

### I. INTRODUÇÃO

A determinação de atividades de soluções radioativas pode ser realizada de maneira simples e rápida, utilizando câmaras de ionização em geometria  $4\pi-\gamma$ . A mesma determinação pode demorar semanas ou meses, quando realizada em um sistema primário de coincidência  $4\pi\beta-\gamma$ . A precisão e a exatidão alcançadas nos dois sistemas são praticamente as mesmas [1,2]. Desta forma, uma vez calibradas, torna-se mais conveniente utilizar câmaras de ionização para medidas de rotina.

O método da medida consiste na determinação da corrente de ionização, integrando-a através de um eletrômetro em escala de medida de carga e medindo-se o tempo de integração, entre dois valores pré-definidos de tensão [3]. Para executar essa tarefa, empregam-se sistemas de automatização de medida, diminuindo a probabilidade de erros no tratamento dos dados e aumentando a precisão final.

O Laboratório de Metrologia Nuclear (LMN) do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (São Paulo – Brasil) possui dois sistemas de medida de atividades, utilizando câmaras de ionização (uma câmara à pressão atmosférica e outra preenchida com argônio a 20 atm). Através destes sistemas pode-se medir atividade desde algumas dezenas de kBq até algumas dezenas de MBq.

### II. SISTEMA DE MEDIDA

O sistema de medida é composto por dois arranjos de medida. Cada arranjo, por sua vez, é formado por uma câmara de ionização do tipo poço e por um eletrômetro. A câmara de ionização produz uma corrente elétrica proporcional à atividade da amostra radioativa. Como a corrente de ionização é baixa (da ordem de  $10^{-8}$  a  $10^{-14}$  A), torna-se necessário utilizar métodos apropriados para a sua determinação. Um dos métodos mais empregados consiste em efetuar a integração da corrente, através de um eletrômetro em escala de medida de carga (com capacitores internos de boa precisão). Ao final, têm-se a variação de tensão sobre o capacitor e o tempo de integração, podendo-se determinar o valor da corrente de ionização.

A implementação do método descrito apresenta as seguintes possibilidades:

- tempo de integração fixo: mede-se a variação de tensão;
- variação de tensão fixa: mede-se o tempo de integração.

Para isto, torna-se importante utilizar um sistema de automação, como o proposto neste trabalho, para tornar o processo de medida mais prático e preciso. De preferência, o sistema deve ser capaz de efetuar o controle e o registro das grandezas medidas (tensões, tempos de integração, etc.), além dos cálculos para a determinação da grandeza final (a corrente de ionização ou atividade da amostra radioativa de interesse).

A Figura 1 mostra o sistema completo (o sistema de automatização proposto aparece dentro da linha tracejada).

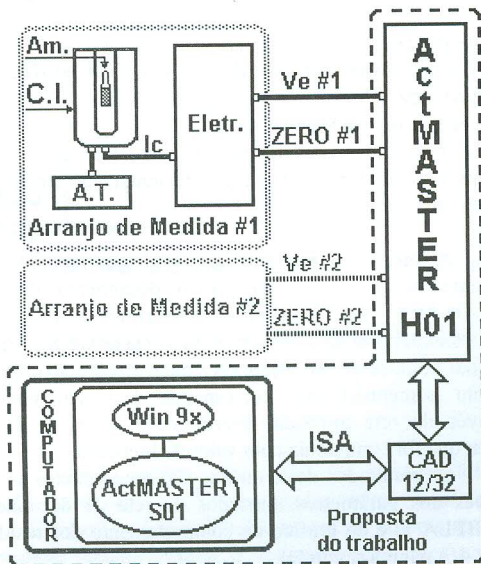


Figura 1. Diagrama em Blocos do Sistema de Medida

Conforme a Fig. 1, o Sistema de Medidas é constituído por:

- **Arranjos de medidas (#1, #2):**
  - C.I. – Câmara de Ionização;
  - A.T. – Alta Tensão de polarização da Câmara;
  - Eletr. – Eletrômetro integrador de corrente;
  - Am. – Amostra Radioativa.
- **Sistema de Automatização (ActMASTER):**
  - Módulo Eletrônico: ActMASTER H01;
  - Programa: ActMASTER S01;
  - Placa de Aquisição: CAD12/32.
- **Microcomputador (configuração mínima):**
  - Pentium 166 MHz; 16 MB (RAM);
  - Sistema Operacional Windows 95.
- **Sinais Elétricos da Fig. 1:**
  - Ic: Corrente de Ionização;
  - Ve #n: Tensão de integração dos Eletrômetros;
  - ZERO #n: Comando de NULO para o Eletr. #n.

### III. SISTEMA DE AUTOMATIZAÇÃO

O sistema de automatização desenvolvido foi denominado de ActMASTER, consistindo de um programa para plataforma Windows 9x (ActMASTER S01: interface gráfica e controle) e de um módulo eletrônico (ActMASTER H01) cuja comunicação com um microcomputador (padrão PC) é realizada através de uma placa ISA de aquisição de dados multi I/O (CAD 12/32, da LYNX Tecnologia Eletrônica Ltda.) [4].

O programa S01 executa as seguintes tarefas:

- inserir descrição da medida (aquisição);
- definir número de leituras da aquisição (1 a 100);
- selecionar arranjo de medida (#1, #2 ou Teste);
- selecionar escala de Teste (10, 100, 200 ou 500s);
- monitorar tensões do sistema;
- efetuar comandos de arquivo (abrir, salvar, imprimir);
- efetuar comandos de aquisição (iniciar, suspender etc.);
- efetuar comando de chamada do programa de cálculo.

O módulo eletrônico H01 possui conexão para dois eletrômetros que podem ser selecionados através da interface gráfica S01 (terceiro item da lista acima). O circuito simplificado deste módulo encontra-se na Fig. 2.

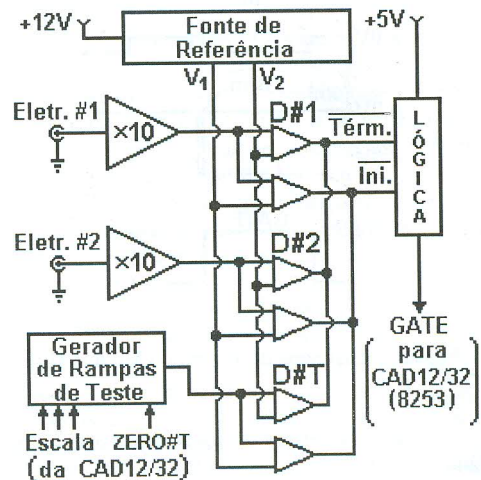


Figura 2. Módulo Eletrônico ActMASTER H01 (Diagrama Simplificado)

A Fonte de Referência fornece dois valores estáveis de tensão,  $V_1 = 2,0V$  e  $V_2 = 8,0V$ , que correspondem aos extremos de integração (início e término). Amplificadores com ganho 10 em tensão possuem como entrada as tensões provenientes dos eletrômetros (na faixa de 0 a 1V, correspondentes à integração das correntes de ionização), fornecendo, à saída, tensões na faixa de 0 a 10V, apropriadas à etapa discriminadora. A etapa discriminadora possui três pares independentes de comparadores de tensão,

responsáveis pela produção dos sinais lógicos de início e término.

Somente o par correspondente ao arranjo de medida selecionado é operacional:

- D#1: par de comparadores do arranjo #1 (Eletrômetro #1);
- D#2: par de comparadores do arranjo #1 (Eletrômetro #2);
- D#T: par de comparadores do sistema de Teste.

A etapa LÓGICA produz, a partir dos sinais de início e término, um sinal denominado GATE que determina o período de contagem do tempo de integração. A placa CAD12/32 possui um oscilador (base de tempo) e um contador internos, sendo que o segundo contabiliza o número de pulsos do primeiro, durante o estado ativo do sinal GATE. O registro final no contador, corresponde ao tempo de integração.

A operação do módulo H01 é descrita a seguir, com base no diagrama de tempo da Fig. 3.

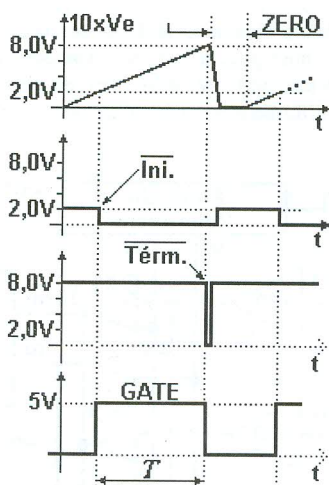


Figura 3. Diagrama de Tempo do Módulo H01

O ciclo de integração da corrente de ionização é iniciado desativando-se o sinal ZERO do arranjo selecionado (quando ativo, esse sinal mantém nula a tensão de saída do eletrômetro). Desta forma, o eletrômetro começa a integrar a corrente da câmara. Quando a tensão de integração atingir 2,0V (à entrada do discriminador correspondente), o sinal de início é ativado (o mesmo ocorrendo com o sinal GATE). Quando a tensão à entrada do discriminador ativo atingir 8,0V, o sinal de término é ativado, desativando o sinal GATE.

O sistema de Teste produz rampas de tensão, na faixa de 0 a 10V e cuja inclinação pode ser ajustada em quatro escalas. Estas rampas simulam o sinal de integração de corrente de um eletrômetro, de forma a permitir a realização de testes no sistema, sem a necessidade de se utilizar os arranjos de medida (Câmara/Eletrômetro).

#### IV. MEDIDAS DE DESEMPENHO

Para verificar a operação do sistema desenvolvido, foram realizados os seguintes conjuntos de medidas:

- **Linearidade:** determinação de corrente durante o decaimento de uma amostra de  $^{153}\text{Sm}$ ;
- **Incerteza intrínseca:** determinação do desvio padrão percentual de corrente constante em função do tempo de integração (realizadas com uma amostra de  $^{137}\text{Cs}$ ).

A linearidade do sistema foi estimada medindo-se a corrente de ionização, durante o decaimento de uma amostra de  $^{153}\text{Sm}$ . Através dos logaritmos naturais dos valores experimentais, obteve-se uma reta ajustada, a partir da qual pode-se determinar os resíduos e respectivo desvio padrão percentual que corresponde à linearidade [5]. Através da reta ajustada determinou-se a meia-vida do  $^{153}\text{Sm}$  que foi comparada com valor de literatura.

Os resultados desta análise são apresentados abaixo através dos parâmetros ajustados da reta de decaimento (TABELA 1) e do gráfico do comportamento dos resíduos (Fig. 4, à página seguinte).

TABELA 1. Parâmetros Ajustados<sup>a</sup> do Decaimento do  $^{153}\text{Sm}$

	Parâmetro	Incerteza
A	$-9,0877 \times 10^{-1}$	$2,1 \times 10^{-4}$
B	$-1,49613 \times 10^{-2}$	$4,0 \times 10^{-6}$

a. Qui-quadrado reduzido: 0,999974

O parâmetro B da TABELA 1 corresponde à constante de decaimento do  $^{153}\text{Sm}$  (em  $\text{h}^{-1}$ ), a partir da qual se obteve a meia-vida deste radionuclídeo:

$$T_{1/2} = (46,329 \pm 0,012) \text{ h, valor obtido;}$$

$$T_{1/2} = (46,285 \pm 0,004) \text{ h, valor de literatura [6];}$$

A discrepância de  $\sim 0,1\%$  entre os valores acima é aceitável, considerando-se que o período de medida ( $\sim 80\text{h}$ ) foi menor do que duas meias-vidas.

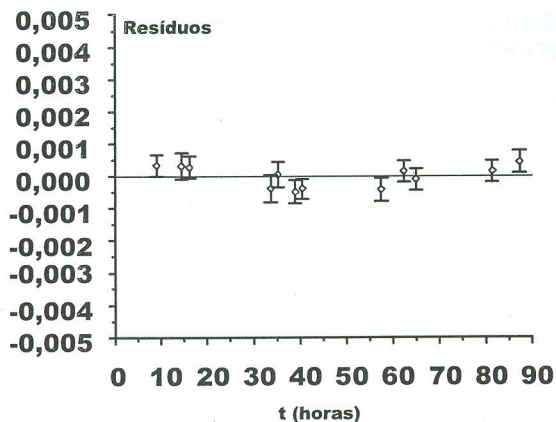


Figura 4. Comportamento dos Resíduos das Medidas de Decaimento do  $^{153}\text{Sm}$  ao Longo do Tempo

O desvio padrão percentual dos resíduos foi de 0,034%, indicando que o sistema apresenta boa linearidade.

Estimou-se a incerteza intrínseca do sistema através de medidas de uma corrente de ionização constante (usando amostra de  $^{137}\text{Cs}$ , com meia-vida de  $\sim 30$  anos), variando-se o tempo de integração, e determinando-se o desvio padrão percentual dos valores de corrente, em cada caso. Como os desvios são diretamente proporcionais ao inverso da raiz quadrada dos tempos de integração, espera-se que, para tempos de integração ( $t$ ) muito grandes ( $t^{-0,5}$  tendendo a zero), o desvio obtido tenda à incerteza intrínseca do sistema de medida [5,7]. As medidas obtidas estão abaixo representadas, TABELA 2 e Fig. 5.

TABELA 2. Desvios da Corrente em Função de  $t^{-0,5}$

$t$ (s)	$t^{-0,5}$ ( $s^{-0,5}$ )	desvio(%)	incerteza
496,693	0,04487	0,12	0,02
131,452	0,08722	0,28	0,07
49,274	0,14246	0,57	0,16
4,966	0,44873	1,2	0,3
1,313	0,87264	3,0	0,5
0,492	1,42595	4,2	1,5

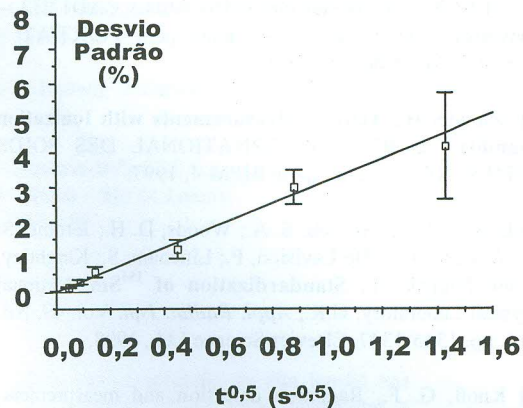


Figura 5. Desvios Percentuais de Corrente Constante Versus  $t^{-0,5}$

O ajuste linear dos pontos experimentais (reta sólida da Fig. 5) fornece o desvio percentual extrapolado para ( $t^{-0,5} = 0$ ) que corresponde à estimativa da incerteza sistemática. O valor obtido foi de  $(-0,0185 \pm 0,0180)\%$ , indicando que o sistema de medidas não introduz nenhuma incerteza sistemática significativa.

## V. CONCLUSÃO

O sistema desenvolvido mostrou bom desempenho, com linearidade melhor que 0,04% e incerteza intrínseca menor do que 0,02%. O grau de automatismo atingido foi plenamente adequado, possibilitando executar, de maneira rápida e precisa, a determinação de atividades, meias-vidas e fatores de calibração para radionuclídeos previamente padronizados em sistema absoluto.

## REFERÊNCIAS

- [1] Woods, M. J.; Keightley, J. D. and Ciocanel, M., *Intercomparisons of  $^{67}\text{Ga}$  and  $^{123}\text{I}$  Assays in UK Hospitals, 1996, Appl. Radiat. Isot.* Vol. 49, No. 9-11, pp. 1449-1452, 1998.
- [2] Woods, M. J.; Munster, A. S.; Sephton, J. P.; Lucas, S. E. M. and Walsh, C. P., *Calibration of the NPL secondary standard radionuclide calibrator for  $^{32}\text{P}$ ,  $^{89}\text{Sr}$  and  $^{90}\text{Y}$ , Nucl. Instrum. And Meth. In Phys. Research A* 369, 703-708, 1996.
- [3] Simoen J. P. and Ostrowsky, A., *Mesure des très faibles courants continus. Application em métrologie des rayonnements ionisants, Bulletin BNM*, No. 36, Avril 1979.

[4] LYNX Tecnologia Eletrônica Ltda., CAD12/32 – Conversor A/D 12 Bits 32 Canais para PC/XT/AT – Manual de Referência Técnica.

[5] Schrader H., **Activity Measurements with Ionization Chambers**, BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES, Monographie BIPM-4, 1997.

[6] Bowles, N. E.; Woods, S. A.; Woods, D. H.; Jerome, S. M.; Woods, M. J.; De Lavisson, P.; Lineham, S.; Keightley, J. and Poupaki, I., **Standardization of  $^{153}\text{Sm}$** , National Physical Laboratory, U.K., *Appl. Radiat. Isot.* Vol. 49, No. 9-11, pp. 1345-1347, Elsevier Science Ltd., 1998.

[7] Knoll, G. F., Radiation detection and measurement, John Wiley & Sons, 1989.

### ABSTRACT

Ionization Chambers in current mode operation are usually used in Nuclear Metrology in the determination of radionuclide activity. For this purpose measurements of very low ionization currents, in the range of  $10^{-8}$  to  $10^{-14}$  A, are required. Usually, electrometers perform the current integration method under command of signals from an automation system, in order to reduce the measurement uncertainties. In the present work, an automation system, developed for current integration measurements at the Laboratório de Metrologia Nuclear (LMN) of Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN), is described. This automation system is composed by software (graphic interface and control) and an electronic module connected to a microcomputer, by means of a commercial data acquisition card CAD12/32 (LYNX Tecnologia Eletrônica Ltda.). Measurements, using an electrometer Keithley 616 (Keithley Instruments, Inc) and an ionization chamber IG12/A20 (20<sup>th</sup> Century Electronics Ltd.), were performed in order to check the system and for validating the project.