

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA ELETRÔNICO DE AMPLIFICAÇÃO DE SINAIS

Italo S. Santos^{1,2} e Carmen C. B. Tobias^{1,2}

¹ Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN / CNEN - SP)
Av. Professor Lineu Prestes 2242
05508-000 São Paulo, SP
ccbuono@ipen.br

² Pontifícia Universidade Católica de São Paulo (PUC - SP)
Rua Marquês de Paranaguá 111
01303-050 São Paulo, SP

RESUMO

Neste trabalho são apresentados os resultados obtidos com um espectrômetro de radiação eletromagnética cujo detector, um diodo de Si do tipo PIN, foi acoplado diretamente a um sistema de amplificação de sinais desenvolvido neste projeto de Iniciação Científica. As condições de linearidade e os limites operacionais de ganho deste sistema eletrônico, constituído por dois estágios de amplificação baseados no emprego dos dispositivos da AMPTEK A225 e A206, foram determinados utilizando um gerador de pulsos de precisão. Os resultados obtidos mostraram que o sistema desenvolvido é estável e linear dentro da faixa de ganho de 50 a 150.

A resposta espectrométrica do sistema eletrônico acoplado ao diodo tipo SFH-00206 da Siemens, foi estudada mediante o registro dos espectros de energia do raio gama de 59,5 keV proveniente do ²⁴¹Am em função da tensão de polarização reversa. A influência da tensão e a contribuição do ruído eletrônico nas resoluções em energia dos espectros registrados em temperatura ambiente (22°C) também foram investigadas considerando-se o valor mais adequado da capacitância de acoplamento do diodo ao sistema de amplificação.

Até o presente, a melhor resolução em energia (FWHM = 4,85 keV) da linha de 59,5 keV foi obtida na condição de polarização do detector a 16 V. Este resultado comprova que o sistema de amplificação de sinais desenvolvido acoplado ao diodo SFH00206 possui, além de baixo custo, excelente condição operacional para detecção e espectrometria de radiação eletromagnética de baixa energia.

1. INTRODUÇÃO

A instrumentação nuclear associada à detecção e espectrometria de radiação eletromagnética é uma das áreas que mais se desenvolveu nas últimas décadas devido, fundamentalmente, ao aperfeiçoamento dos detectores semicondutores e ao avanço tecnológico dos sistemas de amplificação de sinais elétricos [1-2].

De fato, a possibilidade de obtenção de materiais como o Si e o Ge com elevado grau de pureza associada ao refinamento das técnicas de fabricação de detectores [3-4] têm conduzido à detecção de radiações com resoluções em energia muito próximas ao limite mínimo teoricamente previsto, considerando as flutuações estatísticas na produção dos portadores de carga no interior do semicondutor.

No entanto, as resoluções em energia também dependem do ruído eletrônico do sistema de amplificação dos sinais, sendo predominante aquele originado no pré-amplificador. Para solucionar este problema, muitos laboratórios estão envolvidos no desenvolvimento de componentes eletrônicos de baixo ruído eletrônico e elevada rapidez de resposta. Neste contexto insere-se este trabalho onde são apresentados os resultados obtidos com um amplificador de pulsos construído com os dispositivos A206 e A225 da Amptek acoplado a um diodo comercial de Si, do tipo PIN, para a espectrometria de radiação eletromagnética de baixa energia. A escolha do diodo utilizado, o SFH00206 da Siemens, foi motivada pelas suas excelentes características elétricas, nomeadamente, pequena corrente de fuga e baixa capacitância aliadas ao seu baixo custo e facilidade de operação [5-7].

2. ARRANJO EXPERIMENTAL

O espectrômetro de radiação eletromagnética, constituído pelo diodo e sistema de amplificação dos sinais, foi montado no interior de uma caixa metálica como mostrado na Fig 1. Esta caixa, que blindava eletricamente o amplificador e evitava a incidência de luz no fotodiodo, era dotada de uma janela de mylar aluminizado para permitir a entrada dos raios gama de 59,5 keV provenientes de uma fonte radioativa externa de ^{241}Am .

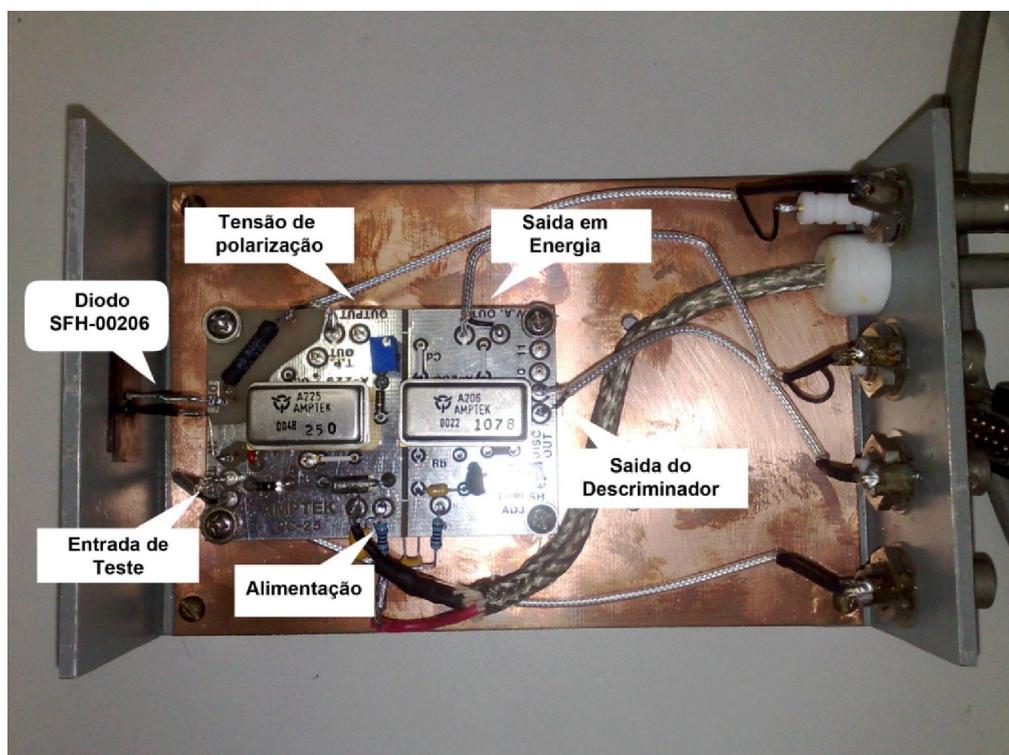


Figura 1. Foto da montagem do amplificador de sinais acoplado ao diodo SFH00206.

Os impulsos elétricos gerados no diodo SFH00206 devido à incidência dos raios gama, eram amplificados pelo circuito eletrônico construído em dois estágios de amplificação com os componentes operacionais A225 e A206 da Amptek. Dada a limitação de ganho deste sistema, os sinais provenientes do circuito A206 eram posteriormente amplificados (Ortec 572) e enviados a um analisador multicanal (Ortec 916A) para aquisição e registro dos espectros.

Os espectros de energia dos fótons de 59,5 keV foram adquiridos em temperatura ambiente (22°C) em função da tensão de polarização reversa desde 0 até 28 V. O diagrama de blocos do arranjo experimental utilizado está representado na Fig. 2. (diagrama de blocos).

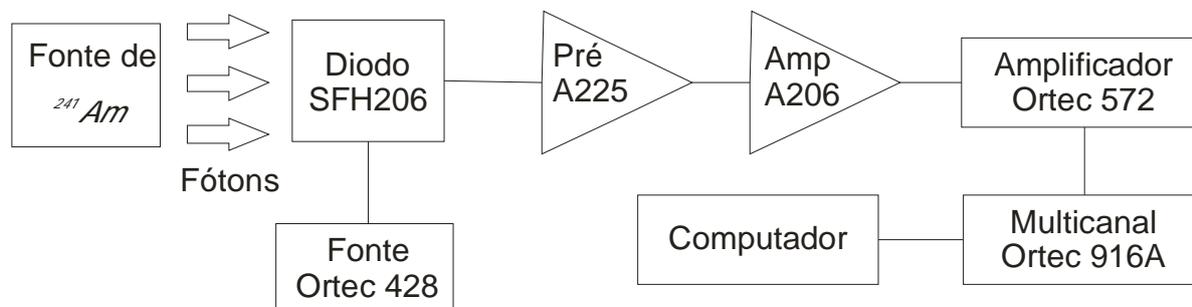


Figura 2. Diagrama de blocos do arranjo experimental para a aquisição dos espectros de energia dos fótons de 59,5 keV da fonte de ²⁴¹Am.

3. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

3.1. Caracterização elétrica do diodo

O fotodiodo de Si utilizado neste trabalho, com área útil de 7,3 mm², foi caracterizado eletricamente mediante as medidas dinâmicas de corrente e capacitância em função da tensão de polarização reversa do diodo (IxV e CxV). Tais medidas foram realizadas com um circuito eletrônico baseado no amplificador OPA656U, projetado pelo nosso grupo e montado em uma caixa de alumínio para proteger o diodo da luz ambiente e blindar o circuito de interferências elétricas externas. Os resultados obtidos para a corrente estão apresentados na Fig. 3 (a), que evidencia o comportamento típico de diodos de junção no tocante ao aumento da corrente em função da tensão. A Fig. 3 (b) mostra a queda da capacitância do diodo, resultante do aumento da espessura da camada de depleção com a tensão de polarização reversa. Estes resultados demonstram que as características elétricas do diodo SFH00206 são adequadas para a aplicação proposta mesmo na pior condição de uso, ou seja, para os valores máximos de corrente (6 nA) e de capacitância (72 pF).

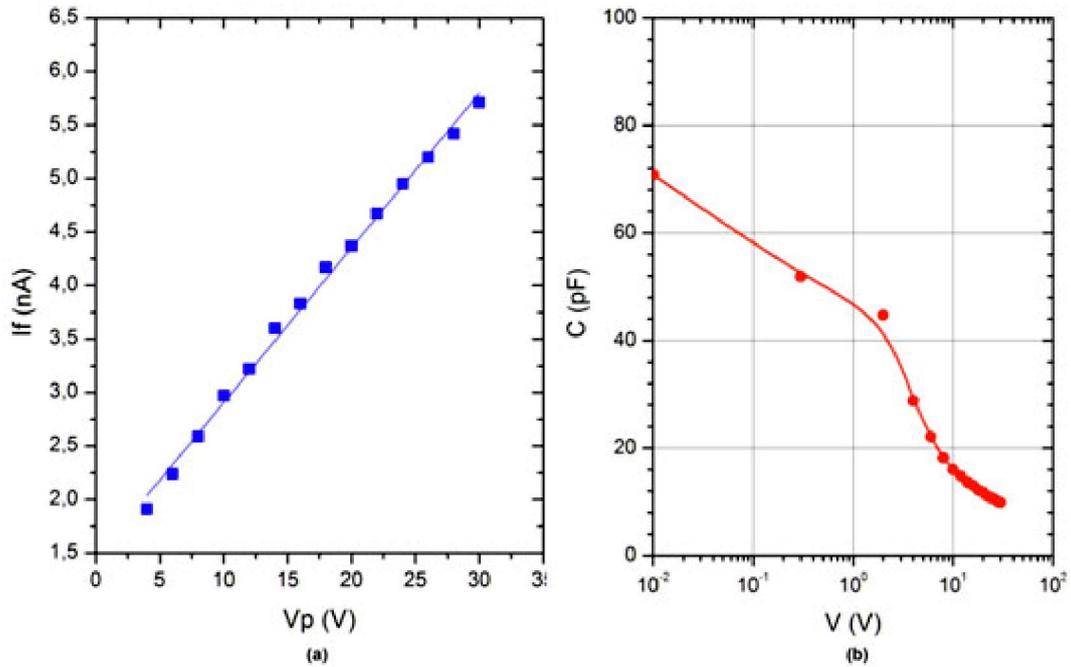


Figura 3. Curvas da corrente (a) e capacitância (b) $C \times V$ do diodo SFH00206 em função da tensão de polarização reversa.

3.2. Sistema de Amplificação de Sinais

Os testes das condições operacionais do amplificador constituído por dois estágios de amplificação com os dispositivos da AMPTEK A225 e A206 foram realizados injetando-se na entrada do circuito sinais de amplitudes conhecidas provenientes de um gerador de precisão (Ortec 448) e medindo-se, através de um osciloscópio (Tektronix TDS3034B), as amplitudes dos sinais na saída do amplificador. As curvas das amplitudes dos sinais de saída em função daquelas correspondentes aos sinais na entrada do amplificador, mostradas na Fig. 4, evidenciaram que o sistema desenvolvido é estável e linear dentro da faixa de ganho de 50 a 150 vezes. Nesta figura também são mostrados, para efeitos comparativos, os resultados obtidos com o diodo conectado ao amplificador dos sinais. A análise da figura 4 comprova que a presença do diodo não afeta a linearidade e ganho do sistema de amplificação o que pode ser justificado pela baixa capacitância e pequena corrente de fuga deste dispositivo.

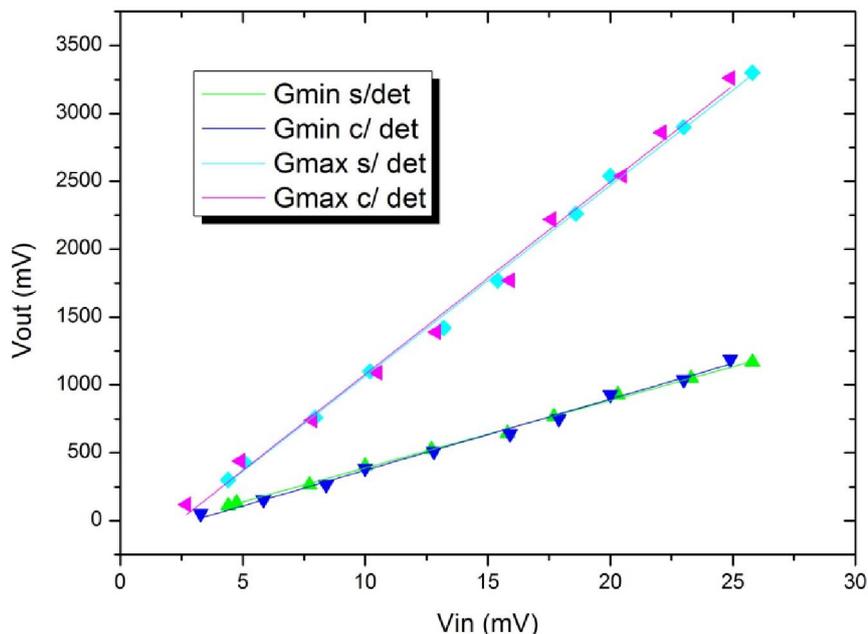


Figura 4. Curvas de ganhos máximo e mínimo obtidas com o sistema de amplificação tendo (ou não) o diodo acoplado.

3.3. Resposta do sistema para espectrometria de radiação

A resposta espectrométrica do sistema foi estudada mediante a aquisição dos espectros de energia dos fótons de 59,5 keV (^{241}Am) em diferentes tensões de polarização do detector. Os resultados obtidos evidenciaram, independentemente da tensão de polarização, a existência do fotopico correspondente à absorção total da energia dos raios gama na zona de depleção do diodo.

As resoluções em energia calculadas para os fotopicos em função da tensão estão representadas na Fig. 5, onde se evidencia que a pior condição de medida ocorre para $V = 0$ V devido à elevada capacitância do diodo. Por outro lado, como o aumento da tensão resulta em uma diminuição da capacitância e em um crescimento da corrente de fuga, existe um valor de tensão para o qual a relação entre a amplitude do sinal e o ruído deve ser a maior possível correspondendo, portanto, à melhor resolução em energia. Observa-se que a melhor resolução em energia (FWHM=4,85 keV) é obtida para a tensão de 16 V, para tensões maiores, apesar do decréscimo na capacitância, tem-se a contribuição significativa da corrente de fuga do diodo e o conseqüente aumento da resolução em energia.

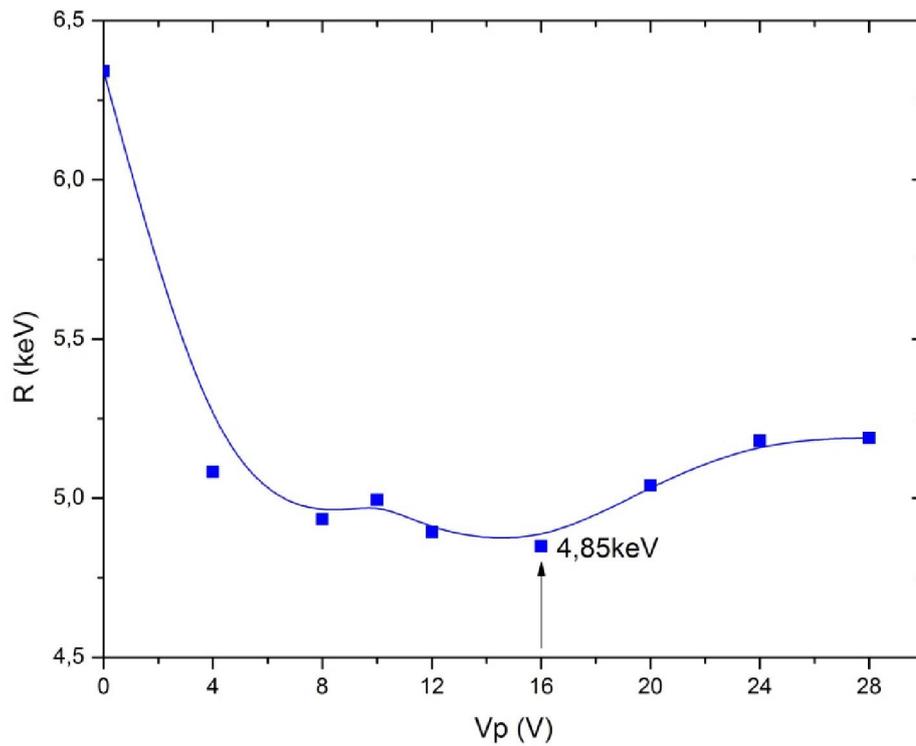


Figura 5. Resolução em energia em função da tensão de polarização do diodo.

A calibração em energia do sistema espectrométrico foi obtida mediante o registro dos espectros do ^{241}Am , ^{133}Ba e ^{152}Eu em temperatura ambiente com o diodo polarizado com 16 V. Os melhores resultados obtidos nesta condição para estes elementos estão representados nas figuras 6, 7 e 8, respectivamente. A curva da energia da radiação em função do canal correspondente ao fotopico, mostrada na Figura 9, confirma a linearidade de resposta do sistema.

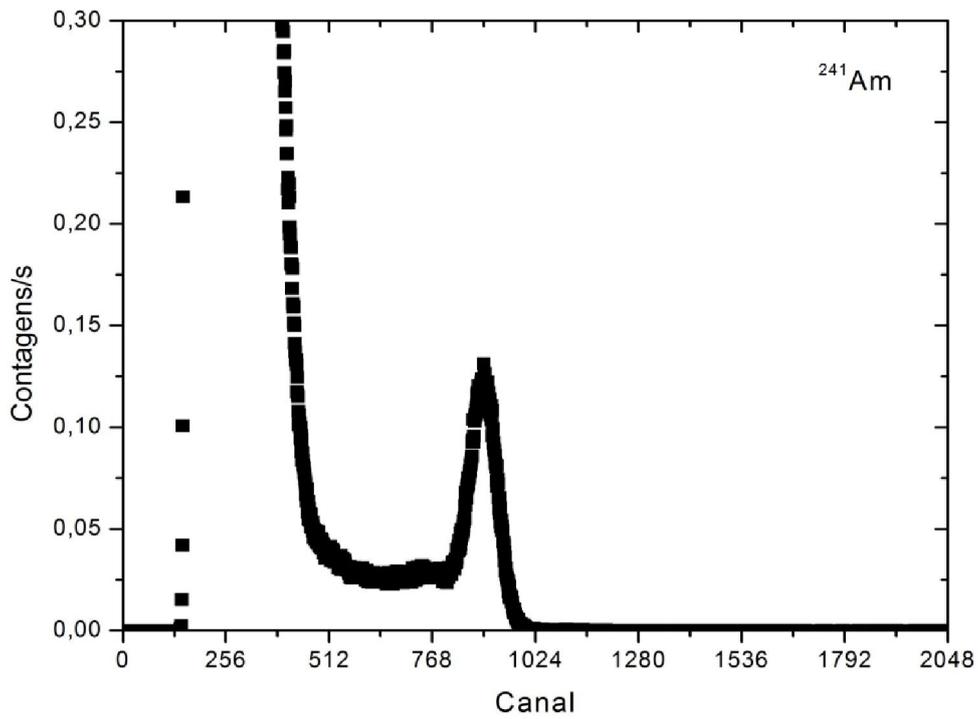


Figura 6. Espectro de energia dos raios gama de 59,5 keV do ^{241}Am obtido com o diodo polarizado com 16 V.

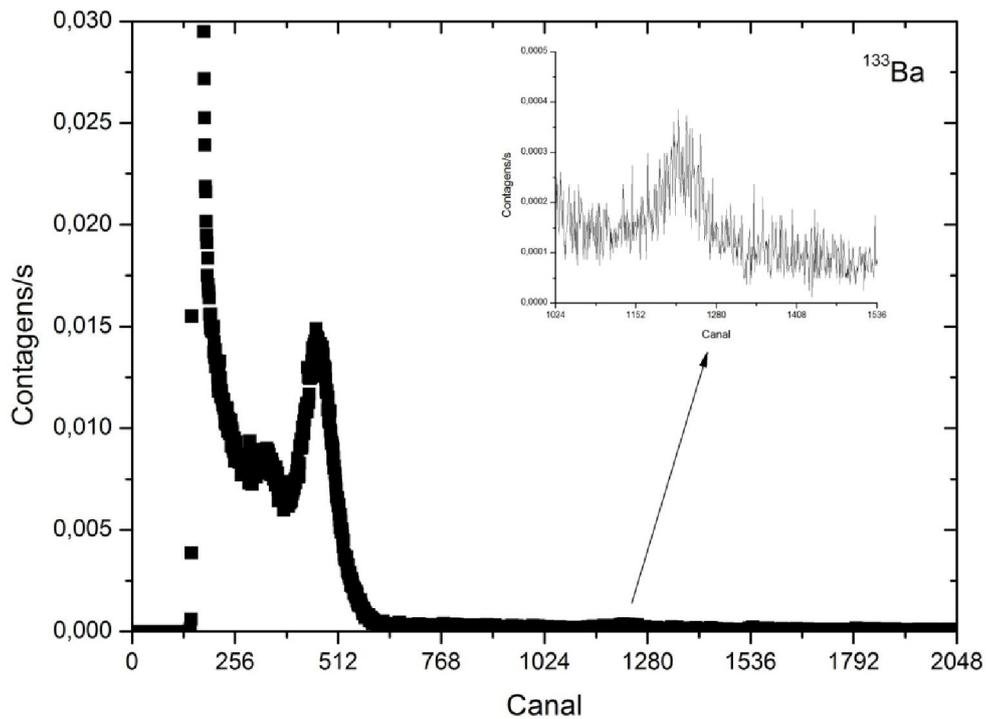


Figura 7. Espectro de energia dos raios gama de 30,97 keV e 80,09 keV do ^{133}Ba obtido com o diodo polarizado com 16 V.

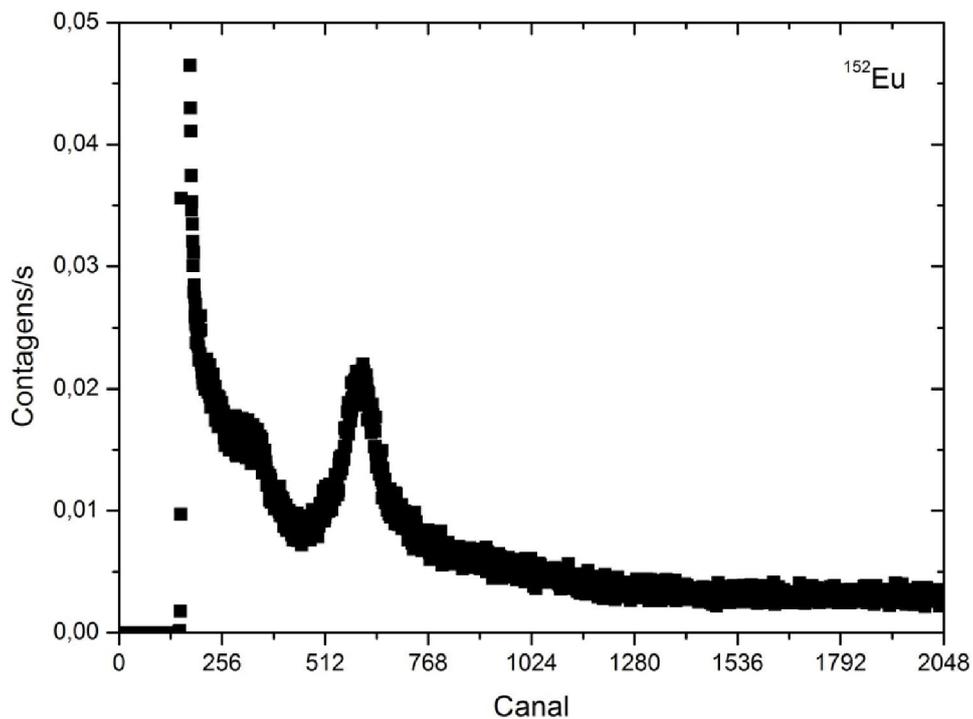


Figura 8. Espectro de energia dos raios gama de 40,1 keV do ^{152}Eu obtido com o diodo polarizado com 16 V.

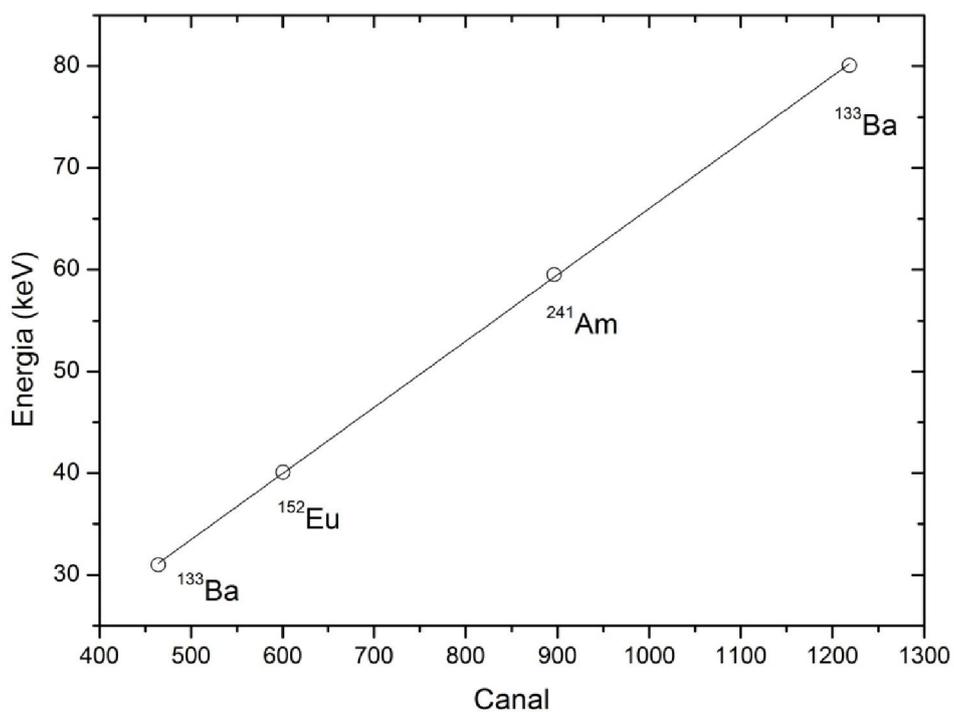


Figura 9. Curva de calibração em energia do sistema em função do canal.

4 CONCLUSÃO

A caracterização do sistema de amplificação desenvolvido neste projeto evidenciou excelente linearidade e estabilidade de resposta com ganho máximo de 150 vezes. O ruído eletrônico, que depende da tensão de polarização reversa, inferior a 4 keV, está bem dimensionado para a aplicação proposta em espectrometria de radiações.

A influência da tensão de polarização na resolução em energia ficou bem evidenciada sendo que o melhor resultado (FWHM=4,85 keV) para a linha de 59,5 keV do ^{241}Am foi obtido para a tensão de 16 V. Estes resultados comprovam que o sistema de amplificação de sinais desenvolvido acoplado ao diodo SFH00206 possui excelente condição operacional para detecção e espectrometria de radiação eletromagnética.

AGRADECIMENTOS

O autor Italo S. Santos agradece ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico(CNPq) pela concessão de bolsa de iniciação científica PIBIC(107384/2008-6).

REFERENCIAS

1. G. Lutz, "Silicon radiation detectors", *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A*, **Volume 367**, pp. 21-33 (1995).
2. ROSE/CERN-RD48 collaboration, M. Moll, E. Fretwurst, G. Lindström, "Leakage current of hadron irradiated silicon detectors – material dependence", *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A*, **Volume 426**, pp. 87-93 (1999).
3. J. Kemmer, F. Wiest, A. Pahlke, O. Boslau, P. Goldstrass, T. Eggert, M. Schindler, I. Eisele, "Epitaxy - a new technology for fabrication of advanced silicon radiation detectors", *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A*, **Volume 544**, pp. 612-619 (2005).
4. Z. Li, M. Bruzzi, V. Eremin, J. Harkonen, J. Kierstead, P. Luukka, D. Menichelli, Tuominen, E. Tuovinen, E. Verbitskaya, "Gamma radiation induced space charge sign inversion and re-inversion in p-type MCZ Si detectors and in proton-irradiated n-type MCZ Si detectors", *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A*, **Volume 552**, pp. 34-42 (2005).
5. C.C. Bueno, A.A.S. Corrêa, F. Camargo, J.A.C. Gonçalves, P.F.P. Rato Mendes, "Response of a rad-hard silicon diode for charged particles", *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A*, **Volume 533**, pp. 435-441 (2004).
6. C. C. Bueno, J. A. C. Gonçalves, R. R. de Magalhães, M. D. S. Santos, "Response of PIN diodes as room temperature photon detectors", *Applied Radiation and Isotopes*, **Volume 61**, pp. 1343-1347 (2004).
7. "Silicon-PIN-Photodiode with Daylight Filter datasheet. Produced by SIEMENS", http://www.datasheetcatalog.org/datasheets/166/486479_DS.pdf (2008).