

Obtenção e análise de espectros de energia para detectores de radiação com osciloscópio digital e software tipo planilha eletrônica

Obtaining and analysis of the energy spectra for radiation detectors with digital oscilloscope and worksheet software

DOI:10.34117/bjdv7n9-319

Recebimento dos originais: 07/08/2021

Aceitação para publicação: 20/09/2021

Silas Alexandre Gonçalves

Eng. Eletricista

SENAI – Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial – SP

Rua Monsenhor Andrade 298 – São Paulo/SP

E-mail: silasag@gmail.com

Samuel Amorim Canazza

Eng. Eletricista

SENAI – Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial – SP

Rua Monsenhor Andrade 298 – São Paulo/SP

E-mail: samuel.canazza@gmail.com

Fabio Eduardo da Costa

Dr. em Ciências - Tecnologia Nuclear

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN -CNEN

Av. Professor Lineu Prestes 2242 – São Paulo/SP

E-mail: fecosta@ipen.br

Margarida Mizue Hamada

Dra. em Ciências - Tecnologia Nuclear

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN - CNEN

Av. Professor Lineu Prestes 2242 – São Paulo/SP

E-mail: mmhamada@ipen.br

RESUMO

Detectores de radiação que produzem um pulso, cuja amplitude é proporcional a energia da radiação incidente, permitem com auxílio de uma eletrônica apropriada e de um analisador multicanal, a obtenção do espectro de energia da radiação incidente sobre o detector. Devido ao analisador multicanal nem sempre estar disponível em laboratórios, este trabalho propõe uma alternativa de medida do espectro utilizando-se dos recursos disponíveis nos osciloscópios digitais de efetuar a medida da amplitude dos pulsos e enviar a um computador tipo PC. No computador, uma planilha eletrônica adequadamente configurada pode então trabalhar os dados coletados no osciloscópio e obter o espectro de energia. Adicionalmente, um segundo recurso permite a seleção temporal da largura do pulso que minimiza leituras incorretas da amplitude na eventualidade de ocorrer empilhamento de pulsos. Para os experimentos foram utilizados um osciloscópio Tektronix TDS 30302B e a planilha eletrônica Excel®. Os espectros foram comparados com os obtidos com um analisador multicanal e se mostraram iguais ou melhores, mas que tiveram como limitação a baixa taxa de aquisição do osciloscópio

que foi da ordem de apenas 2 pulsos/seg, portanto milhares de vezes menor que de um analisador multicanal.

Palavras-chaves: espectro de energia, analisador multicanal, osciloscópio digital

ABSTRACT

Radiation detectors that produce a pulse with amplitude proportional to the incident radiation energy allow, with the aid of appropriate electronics and a multichannel analyzer, to obtain the energy spectrum of the radiation incident on the detector. As the multichannel analyzer is not always available in laboratories, this work proposes an alternative for measuring the spectrum using the resources available in digital oscilloscopes to measure the pulse amplitude and send it to a PC-type computer. In a PC, a properly configured spreadsheet may, then, work with data collected from the oscilloscope and obtain the energy spectrum. Additionally, a second feature permits temporal pulse width selection, minimizing incorrect amplitude readings in the event of pulse pileup. For the experiments, a Tektronix TDS 30302B oscilloscope and an Excel® spreadsheet were used. The spectra were compared with those obtained with a multichannel analyzer and proved to be as good or even better, but they had as a limitation the low acquisition rate of the oscilloscope, which was on the order of only 2 pulses/sec, and, therefore, thousands of times smaller than that of a multichannel analyzer.

Key-words: energy spectrum, multichannel analyzer, digital oscilloscope

1 INTRODUÇÃO

Existe uma variedade de detectores de radiação que produzem um pulso, cuja amplitude é proporcional à energia da radiação incidente. Essa característica permite que através de equipamentos conhecidos como analisadores multicanal, do inglês Multichannel Analyzer (MCA), sejam construídos gráficos da distribuição energética da radiação incidente no detector. Esses gráficos são conhecidos como espectro de energia e permitem observar as características da fonte radioativa a qual o detector está sujeito [1].

Este tipo de espectro torna possível a identificação da fonte radioativa bem como a avaliação do comportamento do sistema de detecção. Nos laboratórios dedicados ao estudo de detectores de radiação e ou materiais radioativos, a presença de um MCA é uma constante, o que já não é uma verdade para uma grande parte de laboratórios dedicados ao ensino das radiações.

Este trabalho propôs a substituição do MCA, por um sistema de aquisição composto de um osciloscópio digital que envia dados sobre os pulsos amostrados a planilha eletrônica Excel®, que adequadamente configurada possibilita a construção do espectro de energia para uma fonte radioativa e o detector associado.

O uso do osciloscópio digital e planilha eletrônica para obter espectros de energia sem o uso do MCA já é citado por Malik et al [2]. Nakhostin et al [3], que também usam em seus trabalhos os sinais amostrados por um osciloscópio digital e os trata com o software MATLAB® para seleção dos pulsos em função da melhor região de interação da radiação dentro do detector. Tada et al [4] usa os sinais amostrados pelo osciloscópio digital e os trata com o software LABVIEW® para encontrar o tempo adequado de formatação dos pulsos de forma a obter o menor ruído.

No entanto, o sistema não traz só vantagens, como cita Jun et al [5], onde relatam que embora a amostragem dos sinais tem sido incrementada ano a ano, não ocorre esse incremento na taxa de captura da forma de onda. Isto quer dizer que a qualidade da forma de onda adquirida (amostra) tem sido periodicamente melhorada, permitindo observar anormalidades das formas de onda, no nosso caso o empilhamento de pulsos, e que com os ajustes adequados do osciloscópio, proporcionam as medidas corretas das amplitudes, sem interferência de um pulso satélite. Ainda neste estudo é citado que a velocidade com que o osciloscópio adquire o pulso (taxa de captura) e o digitaliza, ainda continua sendo um limitante para que o processo seja executado de forma rápida para um grande número de pulsos.

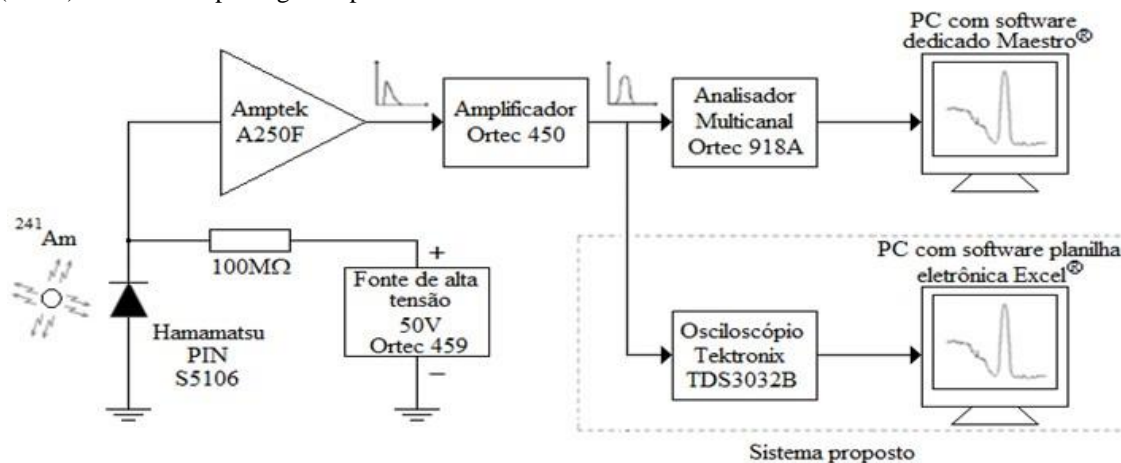
2 MATERIAL E MÉTODOS

O conjunto detector utilizado foi um detector semiconductor de silício tipo PIN (Hamamatsu S5106) [6], com um pré-amplificador sensível à carga (Amptek A250F) [7], um amplificador (Ortec 450) [8] com filtros integradores e diferenciadores, que funciona como amplificador passa banda. Para construção dos espectros, os pulsos após o amplificador (Ortec 450) foram simultaneamente enviados para o MCA (Ortec 918A) [9] e deste para um PC com o software dedicado Maestro® e para o osciloscópio digital (Tektronix TDS 3032B) [10] e deste para um segundo PC para a planilha eletrônica Excel®.

Como o detector utilizado foi o silício tipo PIN, que apresenta boa eficiência de detecção em baixas energias [11], a fonte radioativa escolhida para obtenção de seu espectro foi o ^{241}Am . Essa fonte apresenta a emissão de vários raios-X característicos entre 13,9 keV e 26,4 keV, e um gama de 59,6 keV [11], produzindo um espectro com certa complexidade que foi desejável para fazer o comparativo entre os espectros do MCA e o sistema proposto. A Figura 1 mostra o diagrama de blocos, onde é observado o

caminho tradicional para obtenção do espectro de energia utilizando o MCA e o sistema com o osciloscópio digital e planilha eletrônica proposto neste trabalho.

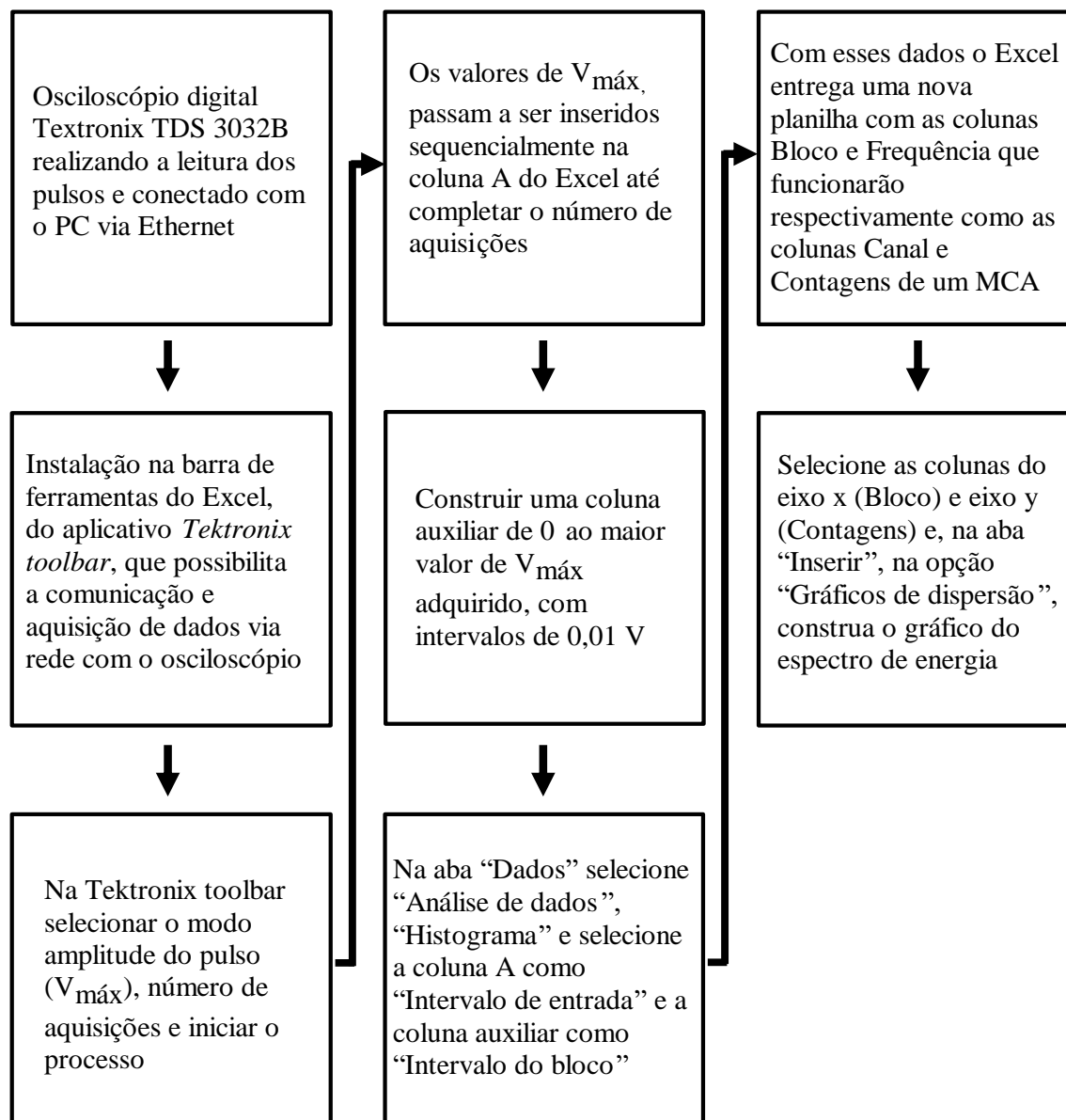
Figura 1 – Diagrama de blocos para obtenção do espectro de energia utilizando analisador multicanal (MCA) ou osciloscópio digital e planilha eletrônica



A sequência para obtenção do espectro de energia com osciloscópio digital e planilha eletrônica Excel® é descrita no diagrama de blocos da Figura 2. O processo proposto neste trabalho utiliza da disponibilidade das amplitudes (voltagem) dos pulsos digitalizados pelo osciloscópio serem enviados de forma sequencial para a planilha Excel® por meio de uma porta de comunicação Ethernet para o PC com o auxílio de um software auxiliar de comunicação disponibilizado pelo fabricante do osciloscópio [12].

Este software auxiliar, instalado como uma barra de ferramentas do Excel® permite além do processo de comunicação, a seleção de características dos pulsos adquiridos tais como: amplitude (V_{amp}), amplitude máxima ($V_{m\acute{a}x}$), largura do pulso, tempo de subida entre outros. Além destas características, esta barra de ferramentas permite a seleção do número de aquisições desejadas, ou seja, o número de pulsos usados para a construção do espectro de energia.

Figura 2 – Diagrama de blocos para obtenção do espectro de energia utilizando o sistema composto por osciloscópio digital e planilha eletrônica Excel®



As experiências demonstraram que os pulsos adquiridos pelo osciloscópio e enviados para o PC, de forma que seja possível a correta construção do espectro de energia e sua reprodutibilidade, exigem um conjunto de ajustes iniciais no osciloscópio que são:

- Dentro do MENU VERTICAL, existe o MENU onde devem ser selecionados o modo CA (que define o acoplamento de entrada para corrente alternada), cuja função será de remover qualquer nível de corrente contínua presente na saída do amplificador Ortec 450; a impedância de entrada do canal do osciloscópio deve estar em 1 MΩ (a segunda opção de 50 Ω pode eventualmente deformar a saída do sinal do amplificador Ortec) e

largura de banda de 20 MHz (esta largura de banda já é o suficiente para a correta aquisição do sinal).

- No MENU ACQUIRE, deve ser selecionado para modo AMOSTRA e modo NORMAL. Nestas condições, o osciloscópio adquire formas de onda com mais detalhes e desta forma envia os valores de amplitude para a planilha eletrônica com uma precisão de três casas depois da vírgula. Este comportamento é desejado para a correta construção gráfica do espectro de energia.

- O ganho do amplificador Ortec 450 e ou a escala vertical, SCALE no MENU VERTICAL, do osciloscópio deve ser ajustado de forma que a amplitude máxima observada (máxima energia detectada) fique próximo do número de divisões verticais da tela do osciloscópio, mas que não a ultrapasse. Esta condição deve ser respeitada, pois o osciloscópio digitaliza erroneamente os valores de amplitude se eles ultrapassam o número de divisões da tela.

- No MENU TRIGGER, a opção de borda ascendente no MENU DECLIVE deve ser selecionado. Com esta opção selecionada, ajustar o nível de sincronismo, LEVEL no osciloscópio, no início da borda de subida do pulso de menor amplitude (menor energia detectada). Ainda dentro do MENU TRIGGER, no MENU ACOPLAMENTO DO ACIONAMENTO selecione o modo CC, que é um modo que dispara apenas pelo nível de tensão do pulso. As demais opções deste MENU incluem filtragens que não são adequadas para o tipo de pulsos observados neste trabalho.

- No MENU HORIZONTAL, ajuste a escala, SCALE no osciloscópio, expandindo-a até que seja observado, na medida possível, apenas um pulso na tela. Este procedimento minimiza a chance de uma leitura incorreta da amplitude do pulso pela existência de um pulso adjacente na tela.

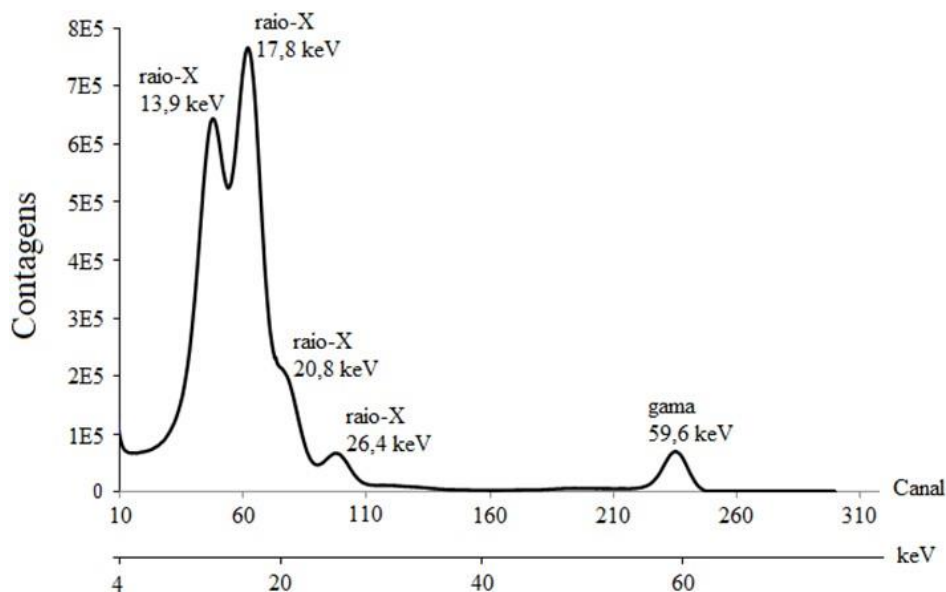
- No MENU MEASUREMENT selecionar o MENU PORTAS CURSORES e dentro deste o modo ENTRE CURSOR VBAR. Esta seleção disponibiliza duas linhas verticais (cursors) que permitem a seleção da região onde será medida a amplitude do pulso. O ajuste deve ser feito de modo que o primeiro cursor esteja na borda de subida do pulso e o segundo no início da borda de descida, mas que não compreenda a subida de um segundo pulso para evitar uma medida de amplitude errada pelo efeito de empilhamento de pulsos.

- Ainda no MENU MEASUREMENT, selecionar a CONFIGURAÇÃO ALTA-BAIXA e dentro deste a opção MÍN-MÁX. O osciloscópio indica esta configuração para a aquisição de formas de onda diversas.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

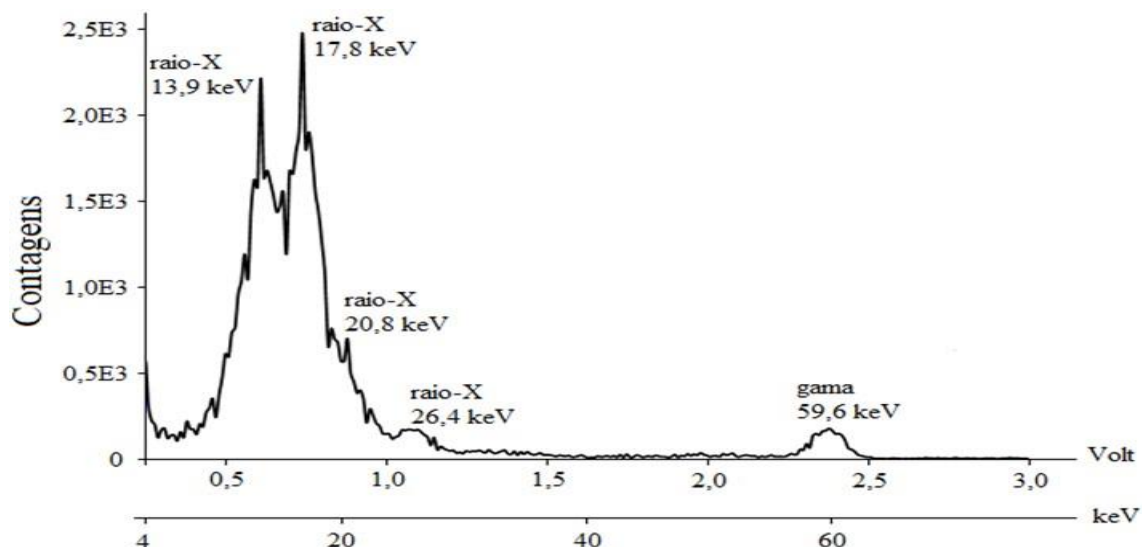
Para fins de comparação é mostrado na Figura 3 o espectro de energia obtido com a configuração de detector e amplificador utilizada e com o sistema convencional com MCA e software dedicado. O MCA está ajustado para 1024 canais e com uma largura de canal de 0,24 keV/canal e tempo de aquisição vivo de 300 segundos.

Figura 3 – Espectro de energia do ^{241}Am obtido com a configuração de detector e amplificador utilizada, com o sistema convencional de analisador multicanal (MCA) e largura de canal de 0,24 keV/canal



Na Figura 4 é mostrado o espectro de energia obtido por meio do sistema proposto nesse trabalho, que utiliza o osciloscópio digital e planilha eletrônica e o número de pulsos adquiridos foi de 64000. Como pode ser observado, comparando-se os espectros das Figuras 3 e 4, o método proposto permite a substituição do MCA e mostrou resultados de identificação dos fotopicos similares ou melhores dos que os obtidos com o sistema convencional.

Figura 4 – Espectro de energia do ^{241}Am obtido através de osciloscópio digital e planilha eletrônica com uma largura de bloco (canal) de 0,01 V ou de 0,26 keV/bloco



A comparação entre o espectro da Figura 3, com uma largura de canal de 0,24 keV/canal e da Figura 4, do conjunto osciloscópio e planilha eletrônica com 0,26 keV/bloco, obtido com um bloco (canal) de 0,01 V, mostrou que apesar desta maior largura do bloco, tanto as resoluções energéticas observadas visualmente como as resoluções calculadas são melhores com o conjunto osciloscópio e planilha eletrônica. Como existe a facilidade matemática de se aumentar a largura do bloco na planilha eletrônica, foram construídos os espectros de energia com blocos de 0,02 V e 0,03 V, como podem ser vistos nas Figuras 5 e 6.

Figura 5 – Espectro de energia do ^{241}Am obtido através de osciloscópio digital e planilha eletrônica com uma largura de bloco (canal) de 0,02 V ou de 0,52 keV/bloco

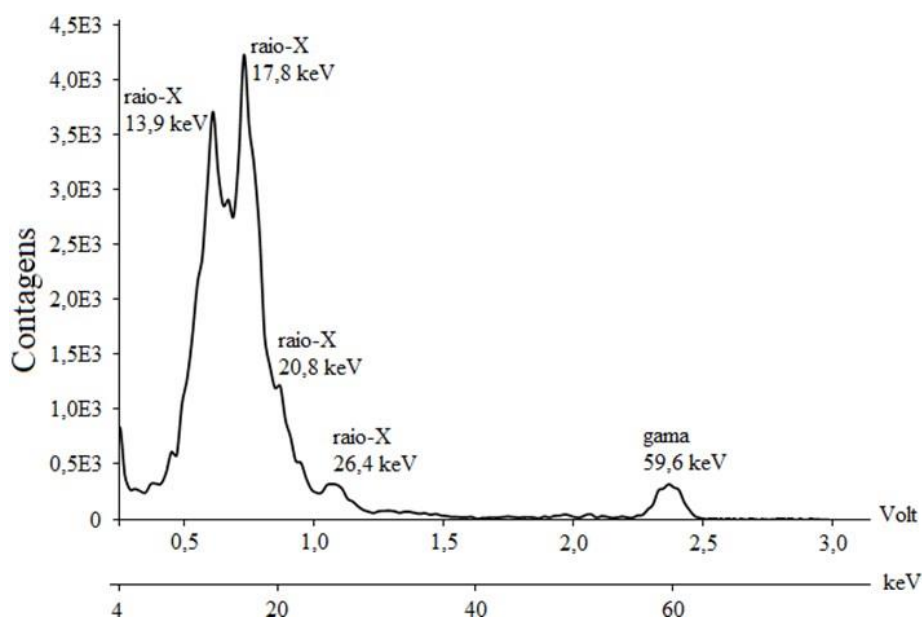
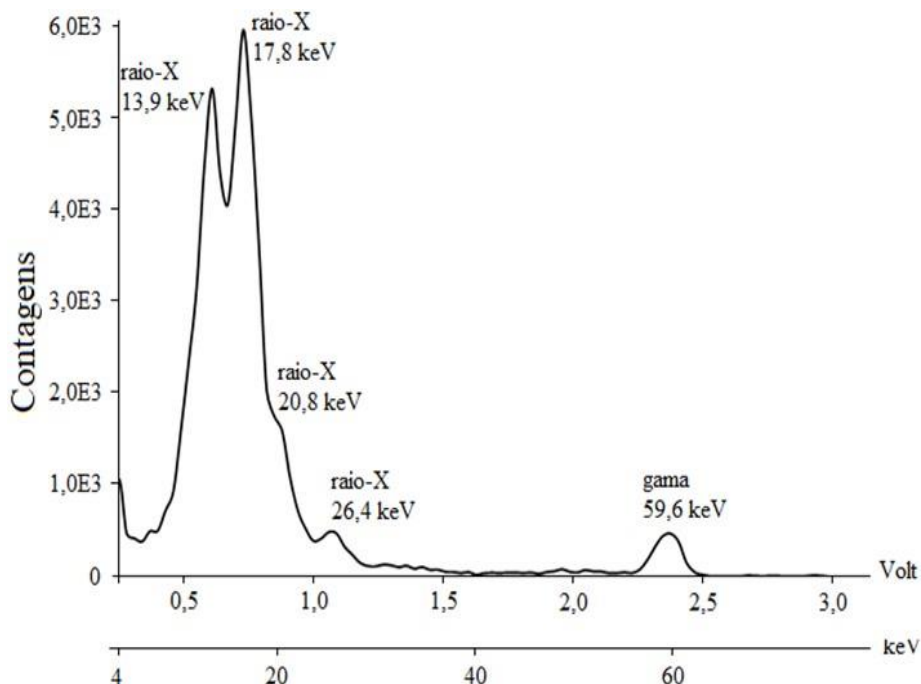


Figura 6 – Espectro de energia do ^{241}Am obtido através de osciloscópio digital e planilha eletrônica com uma largura de bloco (canal) de 0,03 V ou de 0,78 keV/bloco



Fazendo a comparação da Figura 3, que é o espectro de energia obtido com o MCA (0,24 keV/canal), e o da Figura 6, que é o espectro com o osciloscópio e planilha eletrônica (0,78 keV/bloco), observa-se que apesar dessa maior largura de bloco, que seria o equivalente a um menor número de canais de um MCA, há uma grande similaridade entre os dois espectros. Este resultado permite afirmar que mesmo comprometendo a largura de bloco (aumentando seu valor), o sistema proposto neste trabalho apresenta resultados similares a um MCA.

A Tabela 1 apresenta a comparação entre os resultados obtidos de resolução energética para o espectro com MCA e para os espectros com osciloscópio e planilha eletrônica para três larguras de bloco. Assim como a comparação visual das Figuras 3 e 6 mostraram similaridade, os resultados de resolução energética calculados mostram também essa equivalência.

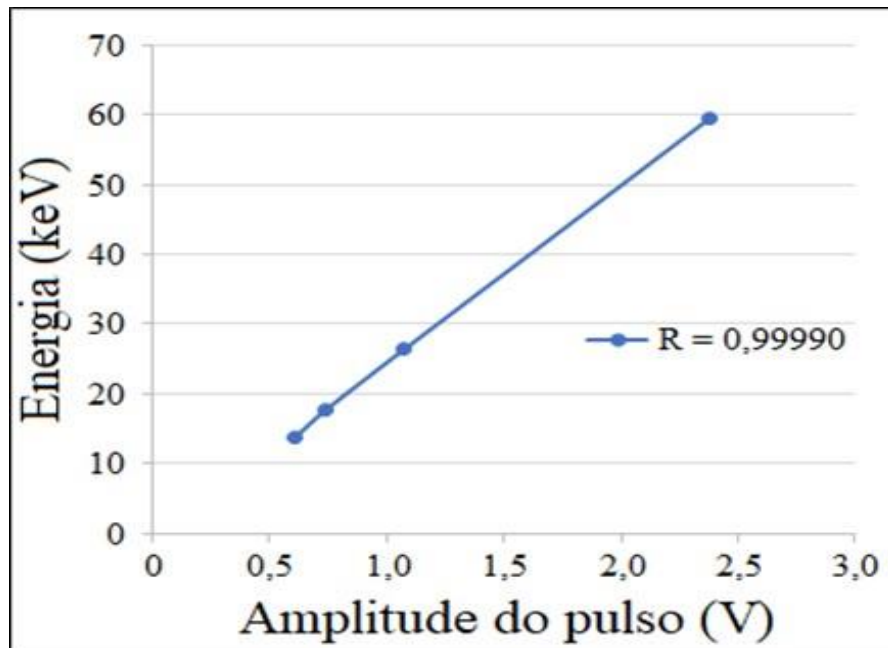
Tabela 1 – Resoluções energéticas para alguns fotopicos do ^{241}Am , com espectros de energia obtidos com MCA e com osciloscópio digital e planilha eletrônica

Fotopico (keV)	Método de Obtenção do Espectro de Energia			
	MCA	Osciloscópio e Planilha Eletrônica		
	1024 canais 0,24 keV/canal	bloco de 0,01 V 0,26 keV/bloco	bloco de 0,02 V 0,52 keV/bloco	bloco de 0,03 V 0,78 keV/bloco
13,9 keV	R = 63%	R = 44%	R = 61%	R = 63%
17,8 keV	R = 33%	R = 21%	R = 32%	R = 33%
56,9 keV	R = 5%	R = 5%	R = 5%	R = 5%

Os resultados mostrados na Tabela 1 poderiam inferir que a construção do espectro de energia com larguras de bloco menores que 0,01 V levariam a obtenção de melhores resultados de resolução energética. As experiências mostraram que para o número de algarismos significativos enviados pelo osciloscópio, valores menores que 0,01 V, podem levar a existência de blocos que ficam sem aquisições, fazendo com que o espectro construído apresente pontos sem contagens. Estes pontos nulos fazem com que o espectro apresente falsos picos, não representando a realidade.

Para assegurar que os fotopicos de maior resolução energética observados na região de raio-X, Figura 4, não são originados de algum erro matemático ou ruído eletrônico, aproveitou-se da propriedade dos detectores semicondutores terem uma resposta de amplitude de pulso linear com a energia. Para validar o correto posicionamento destes fotopicos foi construído um gráfico da amplitude de pulso por energia, Figura 7, onde o fator de correlação próximo de 1, indica a linearidade do espectro de energia obtido e que os fotopicos observados são realmente devidos à interação da radiação com o detector e não devido a algum erro do sistema.

Figura 7 – Gráfico de Amplitude de pulso por Energia para os fotopicos obtidos com osciloscópio digital e planilha eletrônica e o respectivo ajuste da curva e seu fator de correlação.

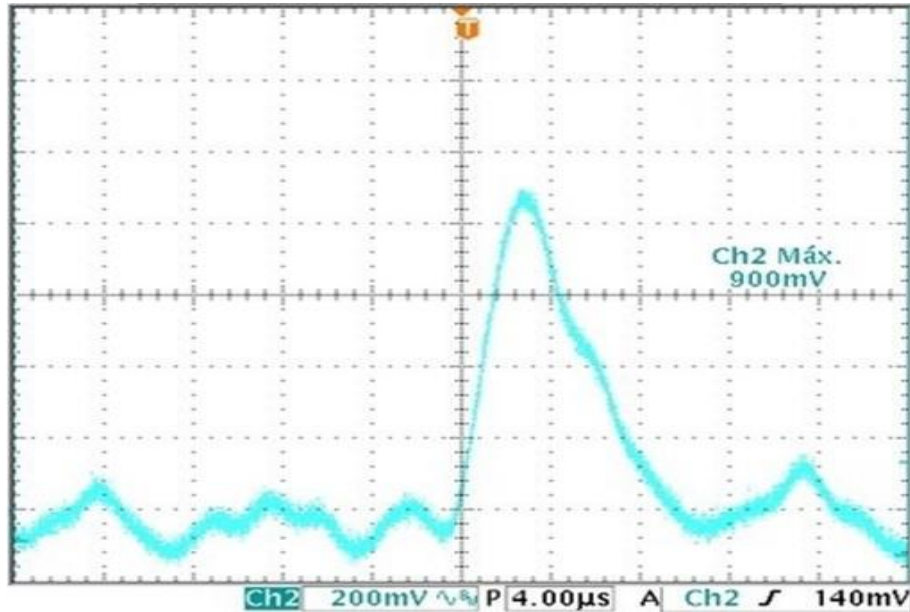


Para justificar os melhores resultados encontrados de resolução energética, utilizando a técnica proposta neste trabalho, reportamos a seguir às configurações iniciais do ajuste do osciloscópio.

O MENU VERTICAL com seleção do modo CA (corrente alternada) funcionou apenas para remover o nível de corrente contínua presente na saída do amplificador Ortec 450. Os pulsos coletados pelo osciloscópio digital e enviados para a planilha eletrônica são selecionados apenas pelo nível de sincronismo, assim não é necessária a referência do nível de corrente contínua para o correto funcionamento. Este nível de corrente contínua é utilizado para redução do tempo morto no MCA, uma vez que colocando um nível de tensão negativo no ruído o MCA não faz sua leitura.

Ainda nas configurações iniciais é solicitado que o MENU HORIZONTAL esteja com o ajuste de escala expandido até que seja observado, na medida do possível, apenas um pulso na tela. Esta condição é desejada para que o osciloscópio faça a correta medida da amplitude do pulso sem a interação de pulsos adjacentes; esta condição é mostrada na Figura 8.

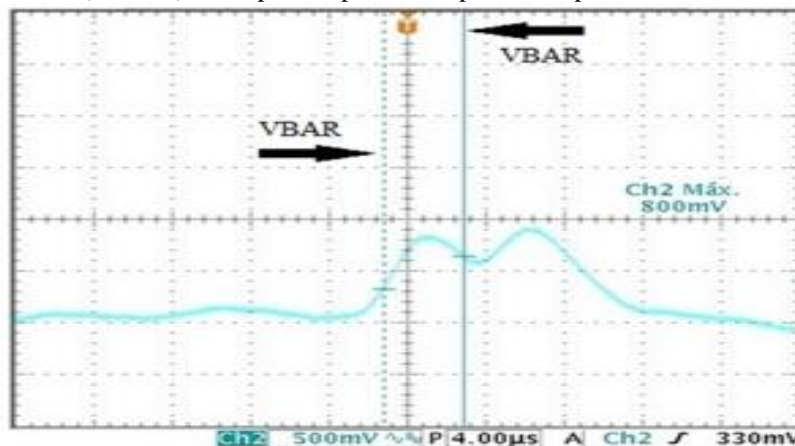
Figura 8 – Condição desejável do ajuste de escala, do MENU HORIZONTAL, onde pode ser observado apenas um pulso e o ruído da linha de base. Nesta condição a leitura de $V_{m\acute{a}x}$ pelo osciloscópio é feita corretamente



Na eventualidade de um empilhamento de pulsos, a leitura de $V_{m\acute{a}x}$ pode ocorrer de maneira errônea, mas nesta situação o osciloscópio digital possui o recurso de MENU PORTAS CURSORES, que permite selecionar a região do pulso mais adequada para se extrair as informações de amplitude. O correto posicionamento destas portas reduz o efeito de empilhamento de pulsos, que é alto na região de raio-X devido a alta eficiência do detector de silício nesta região.

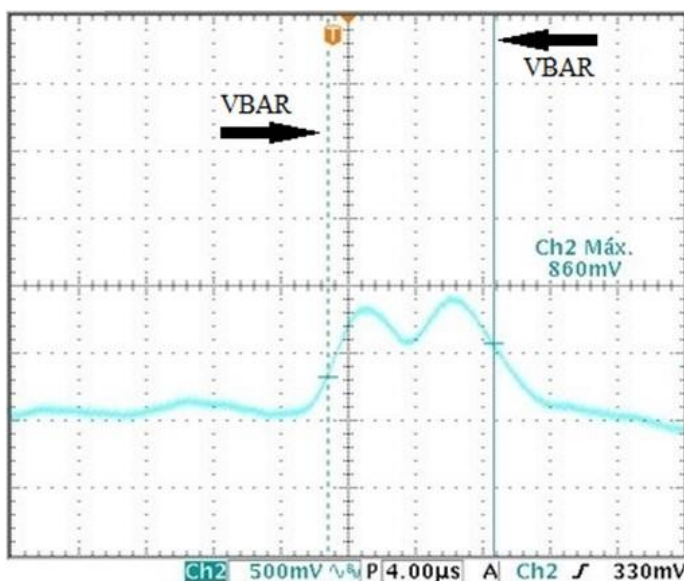
Na Figura 9 é mostrado o recurso de ENTRE CURSOR VBAR ligado e corretamente ajustado de forma que o valor $V_{m\acute{a}x}$ obtido é correto e referente ao pulso inicial.

Figura 9 – Osciloscópio com o recurso de ENTRE CURSOR VBAR ligado e corretamente ajustado, onde o valor $V_{m\acute{a}x}$ medido (800 mV) corresponde apenas a amplitude do pulso inicial.



Na Figura 10, pode ser observado o osciloscópio com o recurso de ENTRE CURSOR VBAR ligado, mas não corretamente ajustado, de forma que os pulsos com efeito de empilhamento, mostrados na Figura 10, têm a altura medida como se fosse apenas um pulso e, portanto, o valor $V_{m\acute{a}x}$ medido é incorreto.

Figura 10 – Osciloscópio com o recurso de ENTRE CURSOR VBAR ligado e ajustado de forma incorreta, onde o valor $V_{m\acute{a}x}$ (860 mV) ficou acrescido pelo segundo pulso, não correspondendo a amplitude do primeiro pulso.



4 CONCLUSÕES

Na ausência de um analisador multicanal (MCA), o uso dos recursos de um osciloscópio digital e de uma planilha eletrônica torna possível a obtenção dos espectros de energia com detectores de radiação. Em situações com elevado empilhamento de pulsos o sistema proposto trata melhor os dados e conseqüentemente, apresenta melhores resultados de resolução.

Para o osciloscópio utilizado, a taxa de aquisição de 2 pulsos/segundo é um fator limitante, tornando a obtenção do espectro de energia um processo lento quando comparado a de um MCA. A disponibilidade de osciloscópios com maiores taxas de aquisição pode tornar este sistema bastante competitivo em relação a um MCA. Apesar disto, aquisições da ordem de 5000 pulsos já permitem uma boa visualização de um espectro.

REFERÊNCIAS

- [1] Knoll, G. F., Radiation Detection and Measurement. 3th ed. John Wiley & Sons, Inc. 2000.
- [2] Malik, Tuhin & Raman, Krithika & Rath, Rutuparna & Biswas, Rohan & Paramanik, Dibyadyuti & Bisoi, Abhijit & Das Gupta, Shinjinee & SahaSarkar, M. (2014). Gamma Spectroscopy with a digital oscilloscope.
- [3] M. Nakhostin, K. Hitomi, Digital pulse processing for planar TlBr detectors, optimized for ballistic deficit and charge-trapping effect, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, Volume 675, 2012, Pages 47-50, ISSN 0168-9002,10.1109/DASC.2013.70. Acesso em: 2021-06-17
- [4] Tada, T., Hitomi, K., Tanaka, T., Wu, Y., Kim, S. Y., Yamazaki, H., & Ishii, K. (2011). Digital pulse processing and electronic noise analysis for improving energy resolutions in planar TlBr detectors. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, 638(1), 92-95. Acesso em: 2021-06-17
- [5] J. Jun and Y. Peng, "A Study on Improving the Abnormal Signal Detection Ability of Digital Storage Oscilloscope," 2013 IEEE 11th International Conference on Dependable, Autonomic and Secure Computing, 2013, pp. 244-247, doi: 10.1109/DASC.2013.70. Acesso em: 2021-06-17.
- [6] HAMAMMATSU. Si Photodiodes. Disponível em: <<http://hamamatsu.com>> Acesso em: 19 maio 2021.
- [7] AMPTEK, Charge Sensitive preamplifier. Disponível em: <<https://www.amptek.com/internal-products/a250f-and-a250fnf-high-density-charge-sensitive-preamplifiers>> Acesso em: 19 maio 2021.
- [8] EG&G ORTEC. Product Catalog. Research Amplifier – Model 450, Estados Unidos, 1991.
- [9] EG&G ORTEC. Product Catalog. Multichannel Analyzer – Model 918A, Estados Unidos, 1994.
- [10] TEKTRONIX. Digital Phosphor Oscilloscopes. Disponível em: <<https://www.tek.com/datasheet/tds3000b-series>> Acesso em: 19 maio 2021.
- [11] AMPTEK, Si-PIN vs CdTe Comparison. Disponível em: <<https://www.amptek.com/internal-products/si-pin-vs-cdte-comparison>>. Acesso em: 2021-08-17.
- [12] TEKTRONIX, Tektronix Toolbars for Microsoft Office 4.0. Disponível em: <<https://tektronix-toolbars-for-microsoft-office.software.informer.com/4.0/>>. Acesso em: 2021-08-17.