

Montagem e teste de detector Geiger Muller usando tubo SBM19

(*Assembly and test of detector using Geiger Muller tube SBM19*)

Edson Massayuki Kakuno¹

Universidade Federal do Pampa, Campus de Bagé, Bagé, RS, Brasil
Recebido em 12/8/2013; Aceito em 6/9/2013; Publicado em 6/3/2014

Este trabalho descreve a montagem de um detector Geiger Muller (GM) a partir de um tubo comercial, SBM19, e com flexibilidade nos componentes eletrônicos agregados. Muitas referências citadas são de domínio público e disponíveis na internet, permitindo ao leitor uma maior facilidade ao acesso às informações e a outras possibilidades de montagem de um detector GM. O detector proposto é uma ferramenta em potencial para o ensino de física moderna no Ensino Médio e uma proposta de demonstração em feiras de ciências. São apresentados resultados de medidas em camisas de lampião, ²⁴¹Am de um detector de fumaça e de um cinzeiro enriquecido com urânio.

Palavras-chave: Geiger Muller, SBM19, SBM20.

This paper describes the assembling of a Geiger Muller (GM) detector from a commercial SBM19 tube, with flexibility in the electronics clusters. Many of the references cited are of public domain and available in the Internet, allowing the reader an easier access to the information and other ways to build a GM detector. The proposed detector is a potential tool for the teaching of modern physics at high school and a proposal for a demonstration in science fairs. Measurement results are presented in gas mantle, ²⁴¹Am from a smoke detector, and an ashtray with enriched uranium.

Keywords: Geiger Muller, SBM19, SBM20.

1. Introdução

Radiação ionizante são aquelas que possuem capacidade, e energia, de quebrar ligações químicas ou ionizar átomos. Existem partículas subatômicas que também possuem capacidade de ionizar a matéria, as mais conhecidas são: as partículas Alpha (equivalente ao núcleo de Hélio, dois prótons e dois nêutrons) que penetram alguns centímetros no ar e logo encontram elétrons e se neutralizam e as partículas Beta (formadas por elétrons) que penetram frações de milímetros na matéria. A profundidade de penetração destas partículas depende da energia associada a elas e a relação é diretamente proporcional e de forma não linear.

Este trabalho é focado na radiação Gamma e nos raios X, que são ondas eletromagnéticas (EM), assim como as ondas de rádio, televisão, do celular e do microondas. O que caracteriza cada faixa de onda EM é a energia associada, e os raios X e a radiação Gamma estão no extremo superior na faixa de energia, com capacidade de ionizar a matéria. Os raios x possuem origem eletrônica e a radiação Gamma possui origem nuclear. O detector Geiger Muller (GM) proposto neste trabalho é dedicado à detecção de radiação Gamma e

de raios X de alta energia, acima de 25 keV.

O elemento sensor é um tubo Geiger Muller, composto basicamente de um cilindro metálico e uma haste metálica (fio) axialmente concêntrico. O tubo é preenchido com um gás a baixa pressão [1] (em torno de 0,1 atm) para facilitar a ionização, o gás utilizado no tubo SBM20 é uma mistura de Neônio, Bromo e Argônio (Ne + Br₂ + Ar). Quando a radiação incide, tem que atravessar a parede do cilindro (portanto tem que ser fina, 0,05 mm no SBM20), pode interagir com a parte interna da parede do tubo gerando elétrons (Fig. 1) ou com o gás, gerando uma nuvem de elétrons e de íons. Para que não haja recombinação destes, a parede do tubo (catodo) é polarizada com potencial negativo, que atrai os íons positivamente carregados e o eletrodo central (fio, anodo) com potencial positivo e atrai os elétrons.

Devido à geometria cilíndrica, o campo elétrico próximo do eletrodo central (anodo) é maior que próximo da parede do tubo (catodo). O potencial de operação do tubo GM é tal que, o elétron produzido de uma interação da radiação com o gás (ou com a parede interior do cilindro) seja fortemente acelerado e, colidindo com outras moléculas de gás, produz outros

¹E-mail: edsonmk2004@yahoo.com.

pares elétrons-íons, criando uma avalanche (avalanche de Townsend), conforme a Fig. 2. O número de elétrons produzido é proporcional ao fator de multiplicação do gás que é da ordem de 10^6 a 10^8 . Devido a sua massa os elétrons possuem uma mobilidade (velocidade média de deslocamento) muito maior que os íons positivos. A diferença na mobilidade, que se reflete no tempo de coleta dos elétrons e dos íons e é responsável pela forma ao sinal gerado pelo tubo GM.

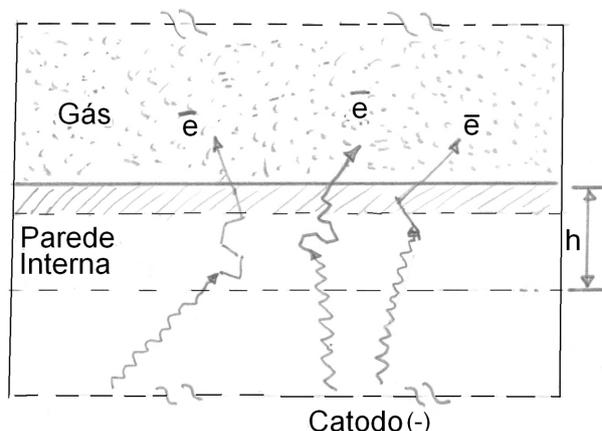


Figura 1 - Interação da radiação com as paredes internas do catodo, h é da ordem de nm e corresponde a profundidade que o elétron consegue atravessar o metal.

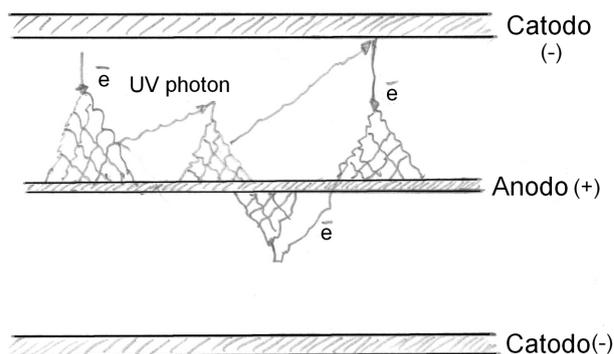


Figura 2 - Efeito de avalanche devido ao alto campo elétrico próximo ao anodo, essa interação pode gerar outros pares elétrons-íons e radiação ultravioleta (UVphoton).

Os processos de colisões durante a avalanche produzem estados excitados no gás, que ao decair, vão produzir um fóton de radiação ultravioleta (UV photon) e um par elétron-íon (24,6 eV para o Argônio). Os UV photons podem ionizar outras moléculas de gás ou interagir com a parede interna do catodo, produzindo outros elétrons distantes da posição da interação inicial, fazendo com que haja processos de avalanches ao longo de todo anodo produzindo o que é chamado de descarga Geiger Muller. Este efeito é responsável por amplificar o sinal inicial, gerando um sinal de fácil detecção na saída do tubo GM. Os elétrons gerados apresentam uma mobilidade da ordem 10^4 m/s e os íons positivos na ordem de 1 m/s. Os elétrons são coletados em poucos microsegundos e os íons positivos formam uma carga

espacial em torno do anodo e é acelerado lentamente ao catodo e o tempo de coleta é da ordem de alguns milissegundos. A carga espacial de íons positivos em torno do anodo inibe o processo de avalanche, portanto o detector fica inoperante durante este período.

Se os íons positivos chegarem ao catodo com energia cinética (velocidade) suficiente, podem retirar outros elétrons do catodo (metal) iniciando o processo novamente e o tubo ficaria ionizado (“aceso”), semelhante a uma lâmpada fluorescente. Para evitar isso, junto com o gás de ionização, é adicionado um elemento inibidor (conhecido como *quencher*). O elemento inibidor pode ser uma molécula complexa (álcool, por exemplo) ou um gás halógeno (grupo VII A), por exemplo, o Bromo (Br_2). O elemento inibidor deve possuir energia de ionização da ordem de 10 eV menor que o gás principal. Uma colisão com a molécula do inibidor vai dissociar esta rapidamente, e a radiação UV gerada nestas interações possuem baixa energia (em torno de 4 eV) e são rapidamente absorvidos pelas moléculas e não conseguem chegar ao catodo.

O processo de avalanche também impossibilita a quantificação da energia da radiação incidente, uma vez que qualquer que seja a intensidade do sinal inicial, ele é amplificado ao máximo pelo processo de avalanche. De uma forma geral, a quantidade de íons formados em uma interação da radiação com a matéria é proporcional à energia depositada na interação, se houver somente interação fotoelétrica, toda energia da radiação (fóton) é depositada na interação. Existem outros dois tipos de interação da radiação EM com a matéria que são a criação de Pares e efeito Compton que são relevantes a energias razoavelmente altas, acima de 1 MeV. Existe uma terceira interação que é o espalhamento Rayleigh, que tem probabilidade de interação muito menor (milhares de vezes) do que a interação fotoelétrica. Portanto o detector GM é um contador de fótons de radiação Gamma sem resolução em energia. A eficiência do detector GM é na ordem de 1%, pois a probabilidade de interação como gás ou com a parede interna do tubo são baixas. Outros detalhes dos detectores a gás, inclusive o GM, podem ser encontrados na literatura tradicional [2-4].

2. Metodologia

Foi utilizado um tubo GM comercial, SBM19 [5] que pode ser adquirido através da internet, em sites como “e-bay” [6], por exemplo. Um modelo semelhante (menor volume e metade do comprimento) e mais popular é o SBM20, que também deve funcionar de modo semelhante, porém com menor sensibilidade (de duas a quatro vezes menor) devido ao menor volume de gás (e área da parede externa) sensível. O tubo GM opera a um potencial de 400 V DC, que obtivemos a partir de um oscilador de alta tensão para disparo de “flash” integrado a máquinas fotográficas de aplicação simples

(doméstica), a Fig. 3 mostra o diagrama eletrônico do oscilador de alta tensão utilizado, como exemplo de referência.

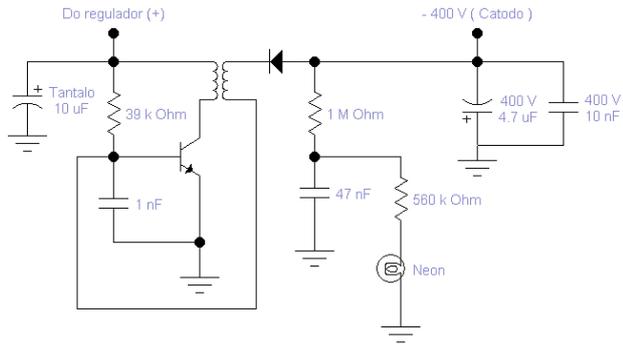


Figura 3 - Diagrama do oscilador de alta tensão, utilizado em flash de câmera fotográfica.

O diagrama da Fig. 3 não mostra a lâmpada de xenon (flash) e o transformador de disparo da lâmpada, que não é utilizado. Também substituímos o capacitor de 47 µF x 330 V (original) por outro de 4,7 µF x 400 V em paralelo com outro de 10 nF x 400 V, como a frequência do oscilador é em torno de 28 kHz e o tubo GM não oferece nenhuma carga, estes capacitores são o suficiente para filtrar as oscilações da fonte de alta tensão. Foi utilizado um capacitor de tântalo de 10 µF para filtrar a tensão do regulador, contudo um capacitor eletrolítico deve funcionar sem problemas. A malha formada pelo resistor de 1 MΩ, capacitor de 47 nF, resistor de 560 kΩ e lâmpada néon, são do circuito original para indicar alta tensão presente e que o “flash” está pronto para disparo, foi mantido para indicar a alta tensão presente, mas pode ser retirado, sem prejuízo para o funcionamento do tubo GM.

Montamos um regulador de tensão série com o LM317, para ajustar a alimentação do oscilador de alta tensão em 3,2 V, pois observamos que a saída do oscilador de alta tensão possui uma forte dependência com a tensão de alimentação do mesmo, a Fig. 4 mostra o diagrama do regulador.

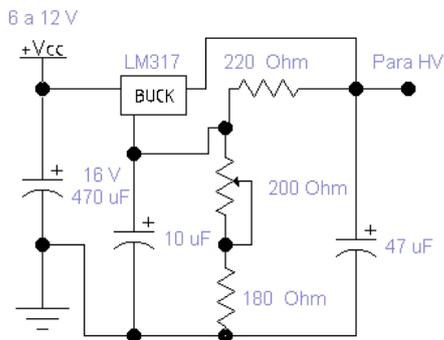


Figura 4 - Diagrama do regulador de tensão para a fonte de alta tensão (Flash) da Fig. 3.

Através do “trimpot” de 200 Ω é ajustada a alta tensão para que obtenha -400 V na saída. É aconselhável utilizar um multímetro digital, pois a maioria apresenta impedância de entrada de 10 MΩ ou um multímetro analógico de no mínimo 20 kΩ / V. Isso porque a tensão de saída do oscilador varia com a carga e pode acontecer que depois de retirado o multímetro a alta tensão aumente.

Optou-se por uma fonte negativa (-400 V), pois possibilita maior imunidade a ruído, porém a parte externa do tubo apresenta o potencial de -400 V. Na configuração de fonte negativa, o catodo fica ao potencial de -400 V e o anodo no potencial próximo de zero (terra) e o sinal é retirado de um divisor resistivo conectado ao anodo. Desta forma, o catodo funciona como uma “blindagem” ao anodo e ao sinal. Para identificar o catodo, basta verificar a continuidade do terminal correspondente à parte externa do tubo GM. A conexão do catodo está representada na Fig. 3 e a conexão do anodo está representada na Fig. 5, juntamente com o circuito amplificador de sinal.

Quando a radiação incide, gera um pulso negativo no anodo, da ordem de -320 V, conforme Fig. 6.

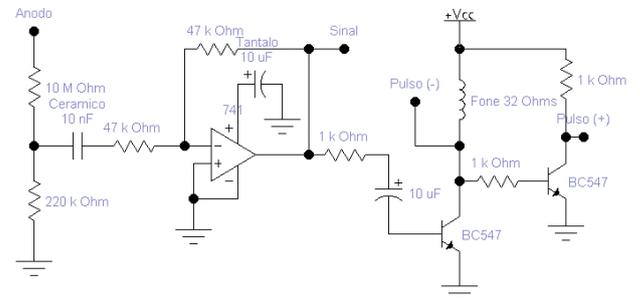


Figura 5 - Diagrama do amplificador de sinais do tubo GM.

Quando a radiação incide, gera um pulso negativo no anodo, da ordem de -320 V, conforme Fig. 6.

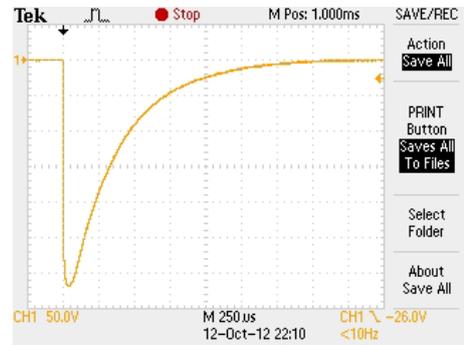


Figura 6 - Imagem do pulso gerado pela incidência de radiação no tubo GM.

Cada divisão vertical corresponde a 50 V e cada divisão horizontal corresponde a 250 µs. O tubo GM foi alimentado com -400 V no catodo e carga de 10 MΩ no anodo, formado pela impedância da ponta de prova do osciloscópio, ponta de provas Tektronix P6112 de 10 MΩ e 13,3 pF, especificada para 100 MHz. A largura a meia altura é da ordem de 330 µs. O tempo até o pico é em torno de 40 µs, que podemos associar principalmente ao tempo de deslocamento dos elétrons ao Anodo e o tempo de descida ao tempo de deslocamento

dos íons positivos e o tempo de extinção do efeito avalanche (*quenching*). Alguns processos que contribuem para a diminuição da altura dos pulsos são os efeitos de recombinação de carga e capacitâncias presentes no anodo, portanto é aconselhável que se mantenha as conexões de anodo os mais curtos possíveis. Uma parte do sinal do anodo é derivado a partir do divisor resistivo formado pelos resistores de 10 M Ω em série com os resistores de 220 k Ω em paralelo como resistor de 47 k Ω (do ponto de vista do sinal, o capacitor de acoplamento de 10 nF equivale a um curto circuito, baixa impedância) e a entrada inversora (pino 2) do amplificador operacional (AmpOp) está a um potencial virtual de terra, isto é a diferença de potencial entre as entradas não inversora (pino3, conectado ao terra) e a entrada inversora é praticamente zero. Isso corresponde a um pulso da ordem de 1 V na entrada do amplificador de ganho unitário, formado pelo AmpOp, 741. Caso observe oscilações na saída (pino 6) do AmpOp, conecte um capacitor de 1 nF em paralelo com o resistor de 47 k Ω de realimentação (pinos 6 e 2 do AmpOp). Qualquer AmpOp de uso geral pode ser utilizado aqui. O AmpOp está configurado no modo inversor de ganho unitário e alimentado com fonte simples, geralmente os AmpOp utilizam fonte de alimentação simétrica. Portanto na saída do AmpOp, pino 6, temos um nível DC de aproximadamente a tensão da fonte dividido por dois ($V_{cc} / 2$) e um pico positivo de aproximadamente 1 V sobreposto a $V_{cc} / 2$, Fig. 7.

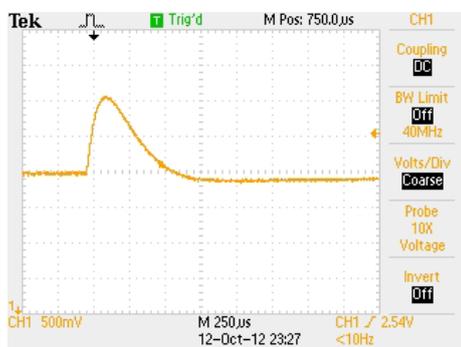


Figura 7 - Pulso positivo na saída do amplificador, ponto de teste “sinal”, o nível de referência (zero) na parte inferior da tela, o pulso está na posição +2 V.

Por este motivo se faz necessário o capacitor de acoplamento de 10 μ F, permitindo somente que o pulso positivo seja transferido ao primeiro transistor, que vai gerar um pulso digital negativo (de V_{cc} para zero) e ao mesmo tempo excitar o transdutor de 32 Ω , formado por um fone de ouvido, que irá gerar um “click” a cada fóton de radiação detectado. O fone de ouvido pode ser substituído por um transdutor piezo elétrico conectado em paralelo a um resistor de 100 Ω . O segundo transistor tem a função de inverter o sinal produzido pelo primeiro para que se tenha disponível um pulso digital positivo. São disponibilizados dois pinos, “pulso (-)” e “pulso (+)”, que fornecem pulsos digitais complemen-

tares, para facilitar a conexão de um contador digital para contar os pulsos.

A configuração tradicional (padrão) é conectar o catodo a um potencial positivo através de um resistor de polarização (limitador de corrente) e o anodo ao potencial de terra (zero V) através de um resistor em que é retirado o sinal. Várias destas configurações padrão podem ser encontradas na internet [7-13], nesta página há “links” para diversos outros projetos de GM e fontes de alta tensão (HV). A descrição de um kit comercial pode ser encontrado em [14]. A empresa Centronic disponibiliza um manual técnico que discute as duas configurações (sinal no catodo e sinal no anodo), é um ótimo material para aqueles interessados em iniciar a montar um detector GM e está disponível em [15].

Um cuidado especial se deve ter em mente quando da montagem e operação do detector, para evitar acidentes com descarga elétrica, pois a parte externa (catodo) do tubo GM está a um potencial de -400 V e mesmo sendo a potência da fonte de alta tensão ser bem baixa, a carga acumulada no capacitor de filtro (4,7 μ F x 400 V) não é desprezível e pode dar um bom susto, inclusive após ter desligado a fonte, pois o capacitor pode manter a carga por alguns minutos!

3. Resultados

A taxa de detecção da radiação de fundo foi da ordem de 2 contagens por segundo (cps). A Fig. 8 mostra o caráter aleatório (randômico) dos eventos radioativos obtido da medida de três camisas de lampião. Foi utilizado, com o intuito de apresentar uma ferramenta acessível quando não se dispõe de um osciloscópio, o software “Soudcard Oscilloscope” [16] escrito por Christian Zeitnitz e disponibilizado de forma livre para uso não comercial. Uma das funcionalidades do software utiliza a entrada de microfone da placa de som para funcionar como osciloscópio. O software foi executado na plataforma Windows 7, o pulso analógico (ponto de teste “sinal” da Fig. 5 e Fig. 7) foi conectado à entrada de microfone do computador, na janela “Oscilloscope” foi ajustado leitura do canal 1 (CH1), com amplitude de 100 mV (100 m), base de tempo de 100 ms (100 m). A diferença de altura (amplitude) dos pulsos é devido ao processo de digitalização, pois para possibilitar a observação de diversos pulsos na mesma janela, diminuimos a velocidade de varredura horizontal e isso fez com que poucos pontos (três ou quatro) do pulso de sinal seja digitalizado, portanto o valor de máximo dos pulsos são facilmente “perdidos”.

Observamos uma queda de eficiência (na amplitude do sinal) abaixo da tensão de catodo de -350 V.

Outros materiais medidos foram: um conjunto de 7 camisas de lampião, que contém dióxido de tório, dióxido de cério e óxido de magnésio [17, 18], um cinzeiro produzido pela Opalex enriquecido com óxido de urânio, que apresenta fluorescência esverdeada na pre-

sença de luz ultra violeta, também conhecido como *vaseline glass* [19], e uma fonte de 1 μCi de ^{241}Am de um alarme de incêndio. A Fig. 9 mostra o resultado de dez medidas e cada medida foi realizada em 10 segundos, *i.e.* as contagens representadas são os eventos registrados durante 10 segundos. A radiação de fundo (BG, *back ground*) é da ordem de 16 contagens em 10 segundos. O cinzeiro é da ordem de 50 contagens, o ^{241}Am na ordem de 40 contagens e uma camisa de lampião na ordem de 60 contagens. Outras combinações (de 2 a 7) de quantidades de camisas de lampião podem ser aferidas no gráfico da Fig. 7. Nota-se a flutuação estatística devido ao aspecto aleatório da incidência de radiação Gamma no tubo GM. O detector foi alimentado com tensão de 4,827 V (através de uma porta USB) e o valor de polarização do tubo GM foi de -327 V.

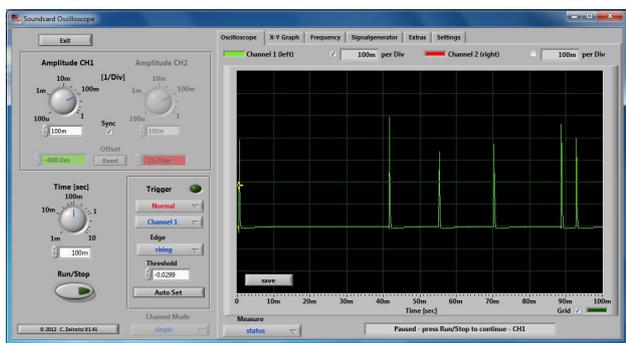


Figura 8 - Aspecto aleatório das interações de radiação com o detector GM.

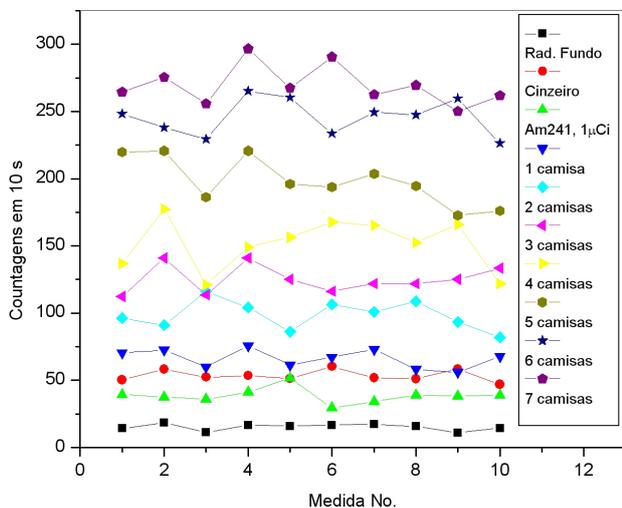


Figura 9 - Dez tomadas de medidas, com cada uma de 10 segundos, para cinzeiro enriquecido com oxido de urânio, 1 μCi de ^{241}Am e de camisas de lampião.

A Fig. 10 mostra uma relativa linealidade na resposta em taxas de contagens do detector, foi obtido acumulando junto ao detector camisas de lampião de uma até sete, medidas nas mesmas condições do gráfico da Fig. 9. Há dois fatores a considerar quanto o desvio dos pontos da reta, uma delas a baixa taxa de contagens e outra a dificuldade em dispor de forma homogênea as

camisas, nas quantidades de dois a sete, junto ao detector.

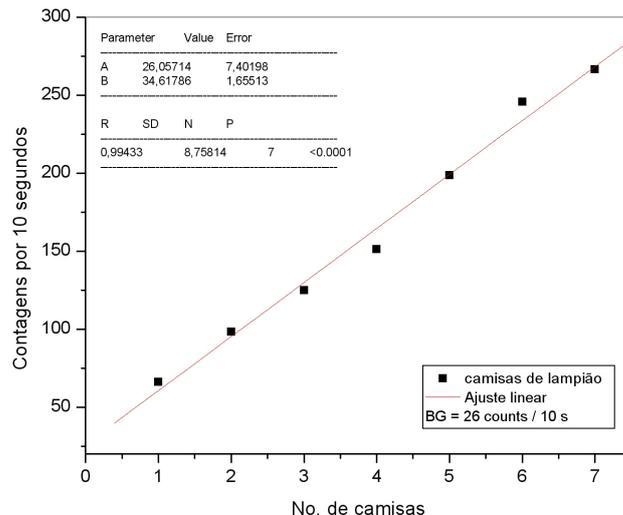


Figura 10 - Média de dez medidas no período de 10 segundos cada para sete combinações de camisas de lampião.

4. Conclusões

Mostramos neste trabalho, em detalhes, uma forma acessível de se construir um detector Geiger Muller, utilizando componentes de obtenção relativamente fácil e foi apresentado resultado de medidas em alguns artefatos obtidos em mercados e antiquários. Observamos que a camisa de lampião apresenta atividade maior que uma fonte de ^{241}Am de 1 μCi e maior que um cinzeiro enriquecido com urânio. A atividade de uma camisa de lampião é da ordem do BG, obtido pelo ajuste linear da medição de várias camisas de lampião. Portanto o contador GM quando exposto a uma camisa de lampião, dobra as contagens apresentadas.

Referências

- [1] W. Crookes, Phil. Trans. R. Soc. Lond. **170** (1879).
- [2] G.F. Knoll, *Radiation Detection and Measurement* (John Wiley & Sons, New York, 2000), 3rd ed., p. 802.
- [3] S.N. Ahmed, *Physics and Engineering of Radiation Detection* (Academic Press, London, 2007), p. 764.
- [4] O.Y. Mafra, *Técnicas e Medidas Nucleares* (Ed. Edgard Blucher, São Paulo, 1973), p. 110.
- [5] GS Tube , fornecedora de tubos da Rússia. <http://www.gstube.com/catalog/9/>, em 15/9/2013.
- [6] Ebay, <http://www.ebay.com/>, leilões on-line, em 15/9/2013.
- [7] <https://sites.google.com/site/geigermullercounter/a-credit-to-montagem-de-contador-Geiger-Muller>, em 15/9/2013.
- [8] J. Baichtal, DIY Geiger Counters Take Center Stage, <http://blog.makezine.com/2011/04/14/diy-geiger-counters-take-center-stage/>, coletâneas de kits, em 15/9/2013.

- [9] F.L. Brittin, How To Build a Geiger-Mueller Uranium Survey Meter, Modern Mechanix, blog.modernmechanix.com, em 15/9/2013.
- [10] R. Motisan, DIY/Homemade Geiger Muller Clicker V1, <http://www.pocketmagic.net/?p=1898>, em 15/9/2013.
- [11] Galactic Electronics Projects, Low Cost Geiger Counter, <http://www.galacticelectronics.com/GeigerCounter.HTML>, em 15/9/2013.
- [12] Radiation in Goes, Zeeland (NL) - Geiger Counter, radgoes.blogspot.com.br, propostas de fontes de alta tensão, em 15/9/2013.
- [13] Techlib, Geiger Counter Circuits - High Voltage Generator for Geiger Tubes, <http://www.techlib.com/science/geiger.html>, em 15/9/2013.
- [14] Y. Onodera, Handmade Air Geiger Counter, <http://einstlab.web.fc2.com/geigerE/GeigerE.pdf>, manual de kit comercial com detalhes de montagem e diagrama elétrico, em 15/9/2013.
- [15] Centronic, http://www.centronic.co.uk/downloads/Geiger_Tube_theory.pdf, fabricante britânico de detectores de radiação, em 15/9/2013.
- [16] C. Zeitnitz, Soundcard Oscilloscope, http://www.zeitnitz.de/Christian/scope_en, em 15/9/2013.
- [17] HowStuffWorks Brasil, Marshall Brain, ed., Como funcionam os lâmpões, <http://casa.hsw.uol.com.br/lampioes2.htm>, em 15/9/2013.
- [18] Wikipedia, the free encyclopedia, Gas mantle, http://en.wikipedia.org/wiki/Gas_mantle, em 15/9/2013.
- [19] Wikipedia, the free encyclopedia, Uranium glass, http://en.wikipedia.org/wiki/Uranium_glass, em 15/9/2013.