

Medida da vida média do Múon

I – Introdução

Neste trabalho faremos uma estimativa da vida média do múon, uma partícula elementar que pertence ao grupo dos léptons. Neste trabalho os múons provem do decaimento de partículas mais pesadas criadas pelas colisões das partículas constituintes dos raios cósmicos com os átomos dos elementos de nossa atmosfera.

I.1 Múons atmosféricos

A maior parte das partículas que podem ser observadas ao nível do mar é composta por múons provenientes de decaimentos de partículas pesadas (como mésons pi) produzidas na alta atmosfera. Os múons são produzidos a uma altitude de aproximadamente 15 km. Após sua criação o múon viaja com velocidade próxima à da luz podendo chegar ao nível do mar, desde que possua energia suficiente. Em média múons perdem aproximadamente 2 GeV de energia para atravessar toda a atmosfera, de forma que para chegar ao nível do mar, este tem que possuir uma energia inicial acima deste limite. A maior parte dos múons chega na superfície com a direção vertical (a distribuição é aproximadamente $\cos^2(\theta)$, θ ângulo em relação a vertical) e uma energia média de 4 GeV. O fluxo de múons ao nível do mar é de aproximadamente 1 múon por centímetro quadrado por minuto. Múons podem decair em voo ou em repouso (após perderem toda a energia cinética) em elétrons e neutrinos, dependendo de sua carga:

$$\mu^- \rightarrow e^- + \nu_\mu + \bar{\nu}_e$$

$$\mu^+ \rightarrow e^+ + \bar{\nu}_\mu + \nu_e,$$

Múons negativos podem ser capturados por átomos de um material (substituindo um elétron). O fenômeno de captura de múons negativos reduz de certa forma a sua

vida média, de forma que se não discriminamos a carga, a medida da vida média é afetada pelo fenômeno de captura, já que aproximadamente metade dos múons observados são negativos.

II-Detectores e Eletrônica

II.1- Cintiladores

A interação entre partículas carregadas e certos materiais é o princípio básico do detector utilizado neste experimento. Um material plástico que em sua composição contém um composto químico (ex: NaI, CsI, antraceno, naftaleno ,etc) que tem como uma de suas propriedades emitir luz numa determinada frequência ao ser atravessado por uma partícula carregada. Denominamos esses materiais como cintiladores, uma amostra pode ser vista na figura 1 (a) e (b).



(a)



(b)

Figura 1: (a) Vista superior do bloco plástico cintilador. (b) Vista transversal, onde é observado sua característica de emissão de luz, neste caso, a emissão é proveniente também da interação com os fótons, visto que havia uma lâmpada logo acima. É a secção que se une ao guia de luz.

II.2-Fotomultiplicadoras

Fotomultiplicadoras são dispositivos que operam com vácuo interno e em altas tensões, da ordem de 1 kV e se utilizam do efeito fotoelétrico para iniciar toda a sua função. Primeiramente um fóton chega até o fotocatodo, que é revestido com um material que proporciona o efeito fotoelétrico, por exemplo metais alcalinos fotosensíveis. Então, devido a presença de um campo elétrico entre o fotocatodo e o dinodo temos a aceleração de elétrons que se “libertam” do material do fotocatodo ao absorverem a energia do fóton. Essa primeira quantidade de elétrons assim que chegam até o primeiro dinodo (revestido com BeO) faz com que ele emita na direção do próximo dinodo uma outra quantidade de elétrons. Esse processo de repete até

que a quantidade de elétrons total chegue até o anodo onde é gerado um pulso elétrico. Esse processo é mostrado na figura 2 .

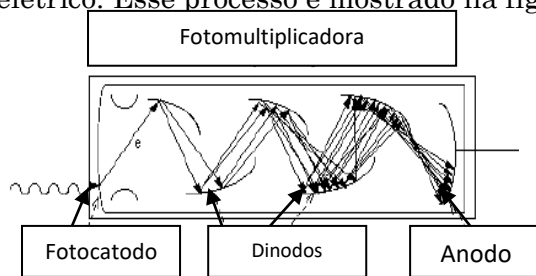


Figura 2 : Etapas do processo de geração de um pulso elétrico a partir da luz numa fotomultiplicadora.

II.3-Conjunto de detecção

A união entre a fotomultiplicadora e o cintilador (particularmente neste experimento o cintilador é líquido) forma nosso conjunto de detecção. Todo o conjunto é encapado com uma lona plástica para evitar a contaminação por luz ambiente.

O número de detecções efetuadas pelo conjunto, fotomultiplicadora e cintilador é influenciado pela tensão disposta na fotomultiplicadora. Um baixo valor da tensão implica em ineficiência na detecção, por outro lado, um alto valor pode acarretar numa degradação dos dinodos da fotomultiplicadora. Existe um valor de tensão para o qual um conjunto detecta melhor a passagem de uma partícula carregada. Em nosso caso essa tensão foi determinada como sendo 1550V.

II.4- Eletrônica NIM

Neste experimento, a eletrônica utilizada para manipular os sinais é do padrão NIM (Nuclear Instrumentation Module). Utiliza-se três módulos cujas funções são: discriminar sinais, verificar a coincidência de sinais e medir o intervalo de tempo entre a recepção de dois sinais (vide apêndice I).

II.4.1- Discriminador

O Modelo 623 B da Le Croy mostrado na figura 5 possui a função de filtrar os sinais que recebe, permitindo também eliminar ruídos. O parâmetro ajustável de discriminação do módulo é a amplitude do sinal que se deseja vetar, neste experimento sua função é eliminar possíveis ruídos. Seu intervalo de ajuste se situa entre 30mV e 1V. Quando um sinal é aceito pelo módulo ele emite um novo sinal com largura ajustável entre 6 ns e 150 ns. A amplitude possui valor padrão da eletrônica NIM que é de 800 mV que é o valor de operação dos outros módulos NIM.

II.4.2- Módulo de coincidência

O modo de operação de um módulo de coincidência se resume em analisar a sobreposição de sinais e decidir se houve ou não coincidência. O módulo da eletrônica NIM é o modelo 365 AL da Le Croy mostrado na figura 6. Ele admite que dois sinais coincidiram caso a sobreposição seja de 1 ns ou mais. A análise pode ser feita com até quatro sinais de acordo com o nível de coincidência que vai de um até quatro. O nível de coincidência diz quantos sinais serão analisados seguindo a seguinte lógica: em nível lógico dois a análise é feita sobre dois sinais, caso seja três o nível lógico deve haver coincidência entre três sinais. Havendo coincidência, o

módulo emite um novo sinal também de 800 mV. Este módulo realiza a função do operador lógico AND.

II.4.3- Medida do intervalo de tempo

O modelo DUAL TADC (Time or analog-to-digital converter) 7072 da FAST Com Tec mostrado na figura 7 possui como uma de suas funções, identificada por TDC (Time to digital converter), medir o intervalo de tempo entre dois sinais. Seu funcionamento, tem como principal característica uma conexão com o computador, onde por meio do software MCDWIN v 3.08 gera um histograma, do número de ocorrências por canal. As informações relacionando o canal e o número de ocorrências também podem ser salvas num arquivo de texto onde cada linha representa o canal e seu conteúdo informa o número de ocorrências. Esses canais estão associados ao intervalo de tempo entre os dois sinais, numa proporção direta. O módulo possui a capacidade de medir uma diferença máxima de tempo de até 20 μ s que pode ser ajustado até 50 ns. O módulo possui 8192 canais, que vão de 0 até 8191. Uma forma de se obter uma boa precisão na conversão do canal em tempo se dá pelo teste de linearidade onde realiza-se a medida de um intervalo de tempo previamente conhecido e verifica-se a sua relação com o canal.

II.4.4- Fonte de Alimentação

A fonte de tensão utilizada neste experimento é o modelo HV 4032 A da Le Croy mostrado na figura 8. Existem ao todo dezesseis canais de alimentação distribuídos atrás do módulo que vão do zero ao quinze.

III- Esquema experimental, Material e Montagem.

III.1-Esquema

A montagem experimental segue o esquema representado na figura 3:

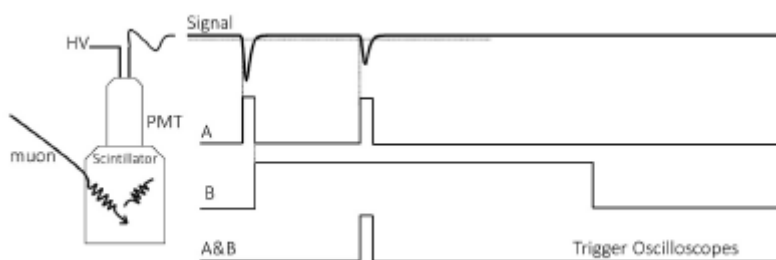


Fig.3: Montagem experimental

O tambor com cintilador líquido mede aproximadamente 35 cm de altura por 30cm de diâmetro. Dado o fluxo ao nível do mar, espera-se em torno de 700 múons por minuto atravessando o tambor. A maioria desses múons é de alta energia e atravessam por completo o aparato. Na figura 4 temos a perda de energia de um múon em função de seu momentum, em unidades de $\text{MeV cm}^2/\text{g}$

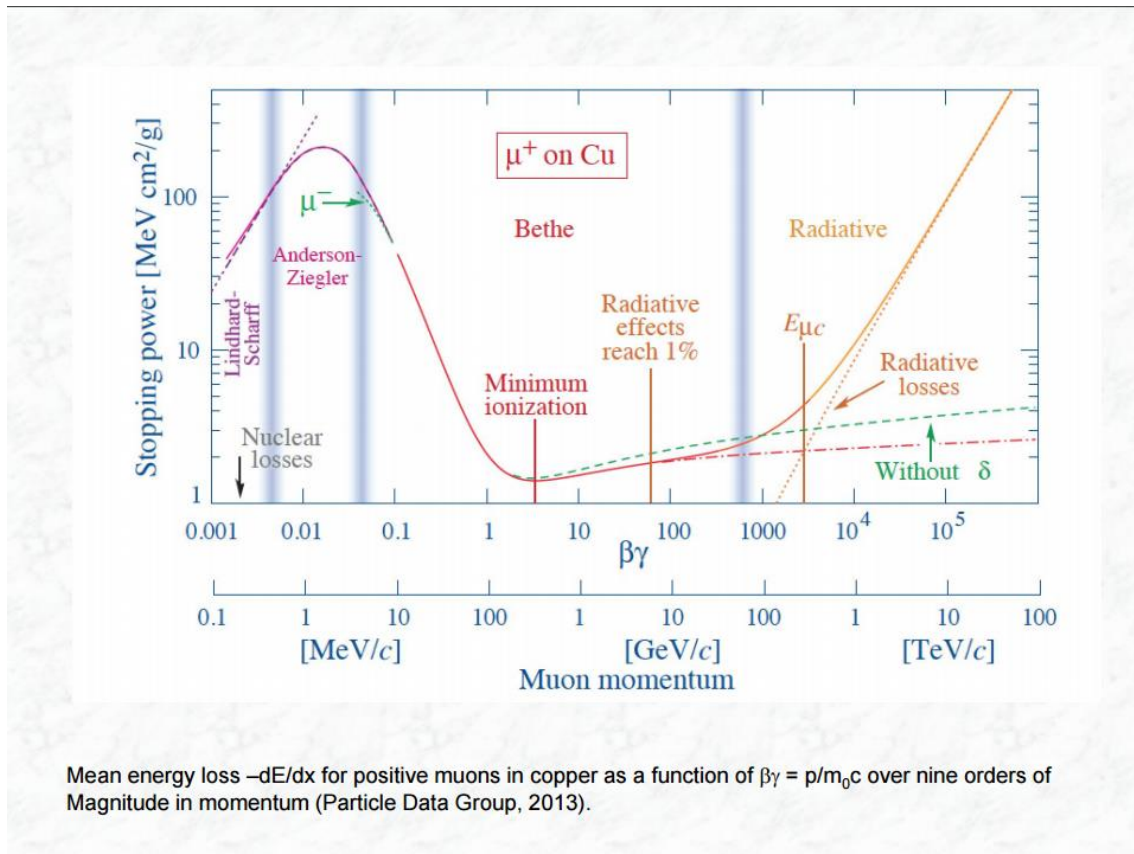


Figura 4: Perda de energia para múons em função do mmomentum.

Múons com momentum acima de 500 MeV perdem em torno de 2 MeV cm²/g. Dada a densidade do líquido cintilante no tambor (aproximadamente 1 g/cm³), isso resulta em uma perda de aproximadamente 2 MeV por centímetro, ou cerca de 70 MeV para atravessar o tambor. Somente múons com momentum abaixo de 70 MeV podem ser freados até o repouso dentro do tambor. Nessa faixa de momentum, os múons perdem mais energia do que a média, sendo freados rapidamente. Isso resulta em um sinal de cintilação mais forte em geral.

No esquema da figura 3, temos representado o processo de parada e decaimento de um múon no cintilador líquido. Também estão representados os sinais de saída da fotomultiplicadora, sendo o primeiro do múon incidente e o segundo do elétron proveniente de seu decaimento. Estes sinais podem ser vistos em um osciloscópio digital com alta persistência. Observe que o sinal do elétron é menor que o do múon, já que a energia máxima do elétron é de aproximadamente 53 MeV (metade da massa do múon).

III.1-Montagem

Como só existe um sinal (uma fotomultiplicadora), tanto o sinal de início (start) como o de fim (stop) da contagem de tempo vem da mesma fonte. Para evitar a chegada simultânea dos sinais no módulo de contagem de tempo, atrasamos o sinal de início de 100 ns, e implementamos uma lógica de coincidência em uma janela de 10 microssegundos, de forma a permitir a digitalização completa do sinal antes da chegada de um novo sinal de início. A montagem está esquematizada na figura 5:

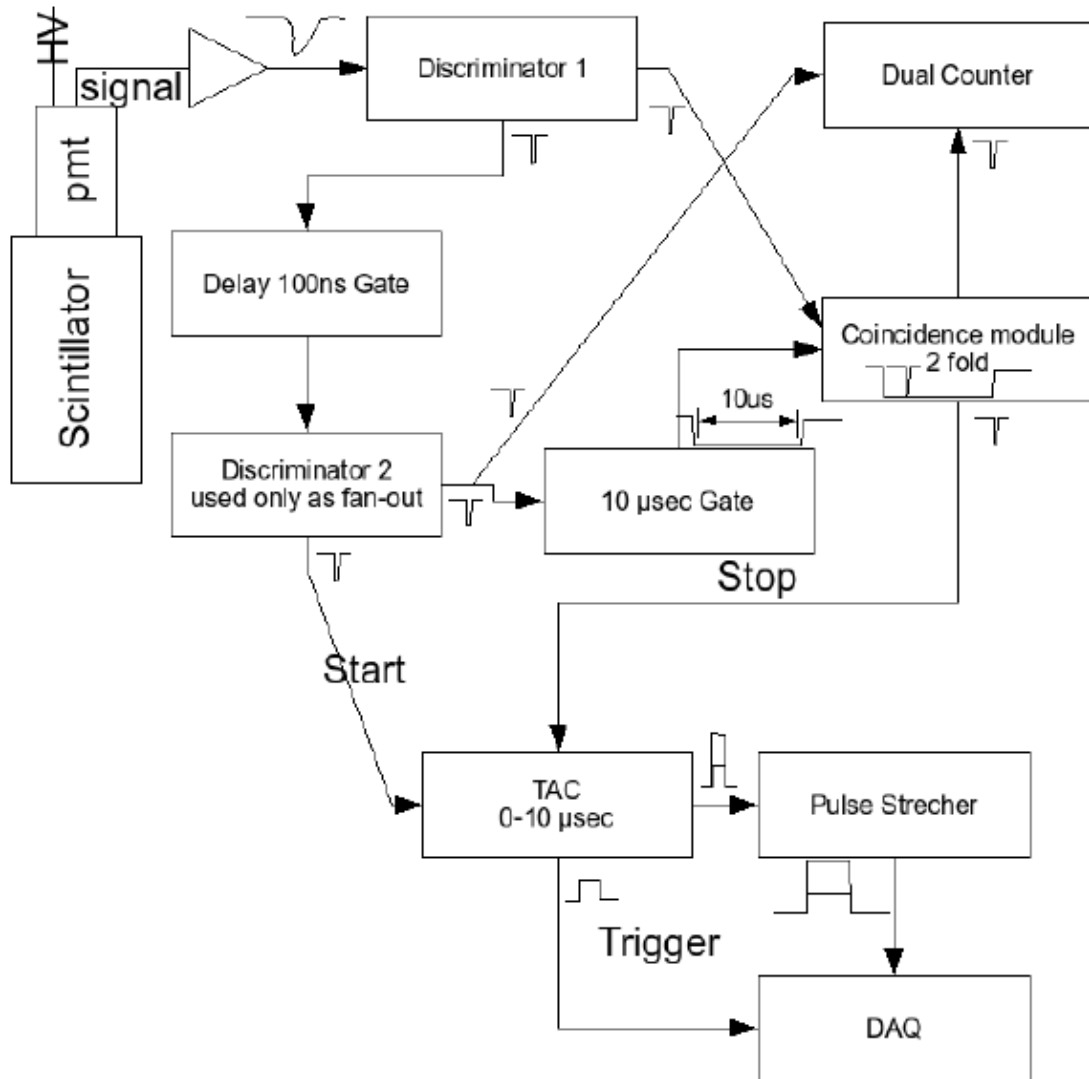


Fig.5: Sugestão para montagem de eletrônica de leitura.

A presença dos discriminadores de sinal se faz necessária pois toda fotomultiplicadora possui um sinal espúrio, chamado de corrente escura, que é a presença de sinal derivado de agitação térmica no fotocátodo, mesmo em ausência completa de luz. Utilizando o osciloscópio pode-se distinguir o sinal de alta frequência da corrente escura do sinal de um múon. Além da diferença em frequência, o sinal de um múon real tende a ser de maior amplitude, dada a energia média depositada de 70 MeV por múon. Também pode-se ajustar o discriminador para que a taxa média de múons seja próxima a esperada (700 por minuto).

Um bom exercício anterior a medida é realizar uma calibração do módulo de contagem de tempo usando um gerador de pulsos e um atraso conhecido. O atraso pode ser feito com cabos ou um gerador de atraso (delay gate generator).

Uma vez montado o arranjo experimental, inicie uma pequena coleta de dados para verificar se todo o sistema se comporta como previsto. Como exemplos verifique se a taxa incidente de múons corresponde à média prevista, se o número de múons que para no tambor é compatível com o esperado (cerca de 0.3%), se o fundo (background) corresponde ao esperado (espera-se um fundo uniforme no tempo, já

que a maior parte deste fundo corresponde a dois múons atravessando o tambor sem decair).

Para se obter um bom resultado deve-se coletar eventos por um bom tempo (idealmente mais do que um dia), uma vez que se necessita de um número razoável de eventos em todo intervalo de tempo, sendo que a distribuição esperada corresponde a uma exponencial decrescente.

Referências:

- [1] Santoro,A; Barreto,J;Vaz,M. Introdução à Instrumentação : Com ênfase em física experimental de altas energias. Rio de Janeiro : CBPF, 1999,31 p.
- [2] Alves,G. Introdução à Física de Partículas: Curso de Física de Partículas.
- [3] Lulu Liu, Pablo Solis. "The Speed and Lifetime of Cosmic Ray Muons." MIT (2007).
- [4] Grant Remmen, Elwood McCreary. "Measurement of the Speed and Energy Distribution of Cosmic Ray Muons". Journal of Undergraduate Research in Physics, MS138 (2012).

Apêndice I - Módulos NIM

Figura 6: Discriminador Le Croy Modelo 623 B

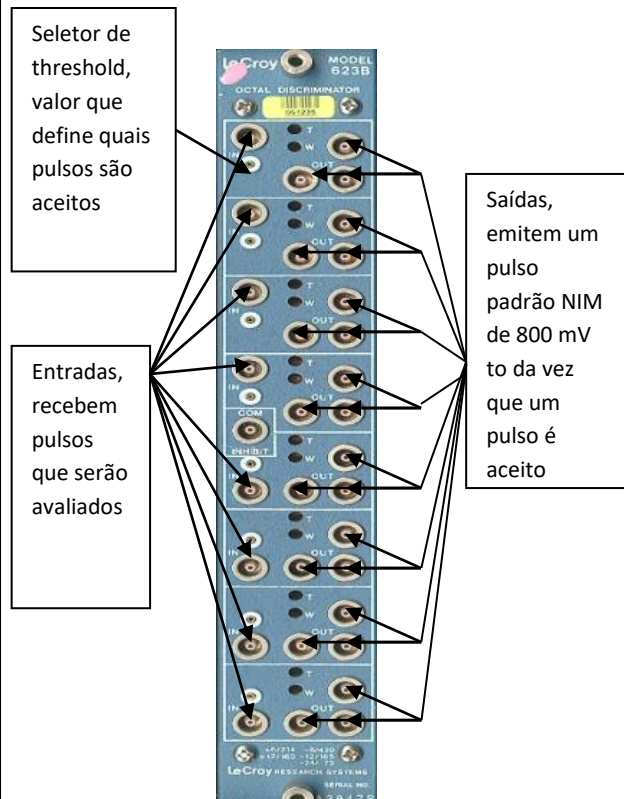


Figura 7: Módulo de Coincidência Le Croy Modelo 365 AL

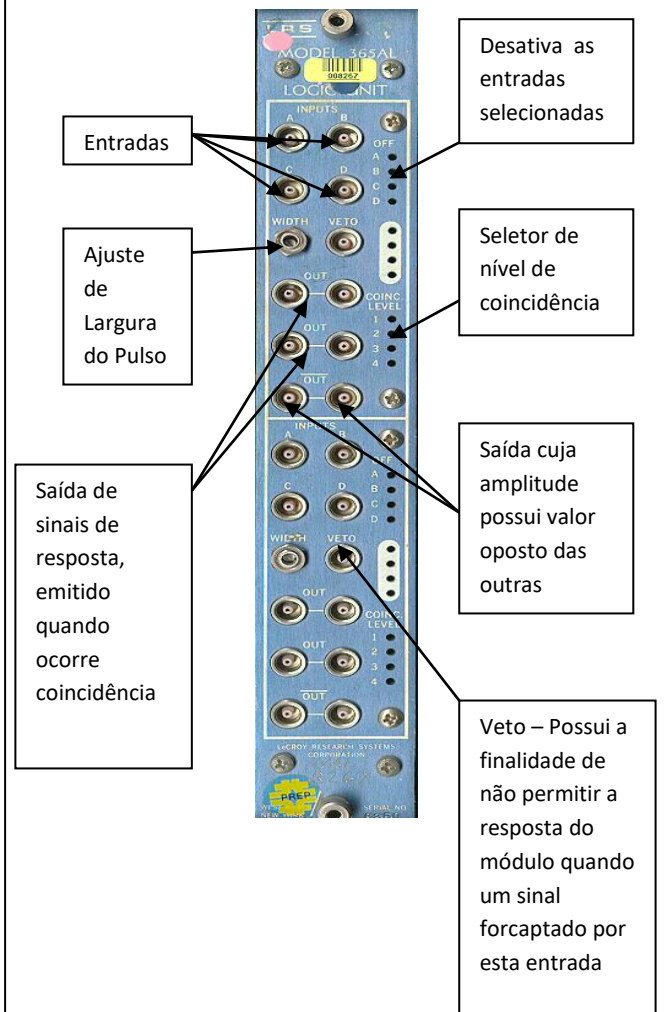


Figura 8: Módulo FAST ComTec DUAL TADC 7072

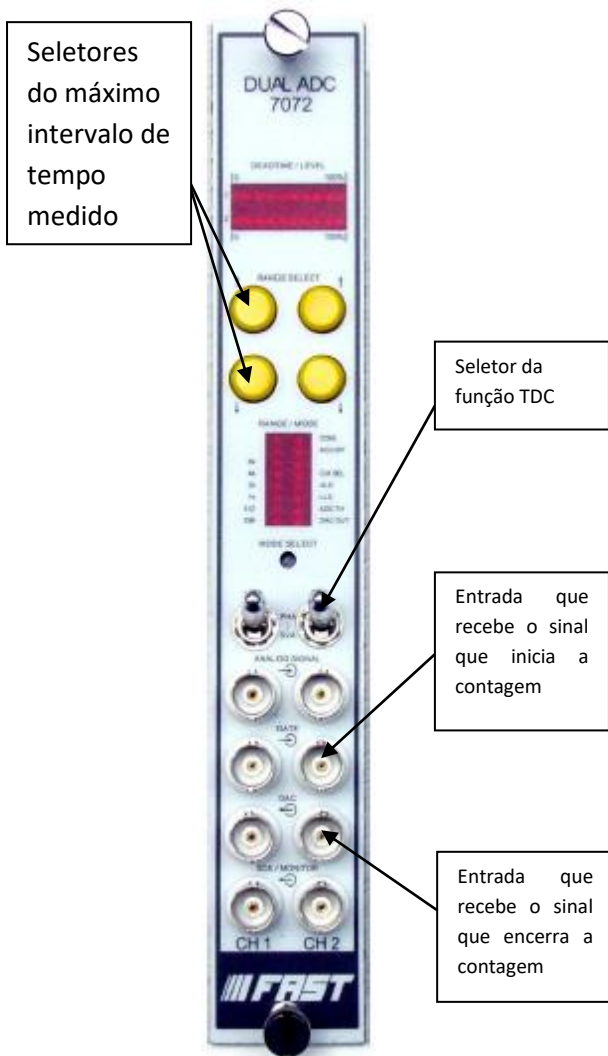


Figura 9: Módulo Le Croy HV 4032 A

