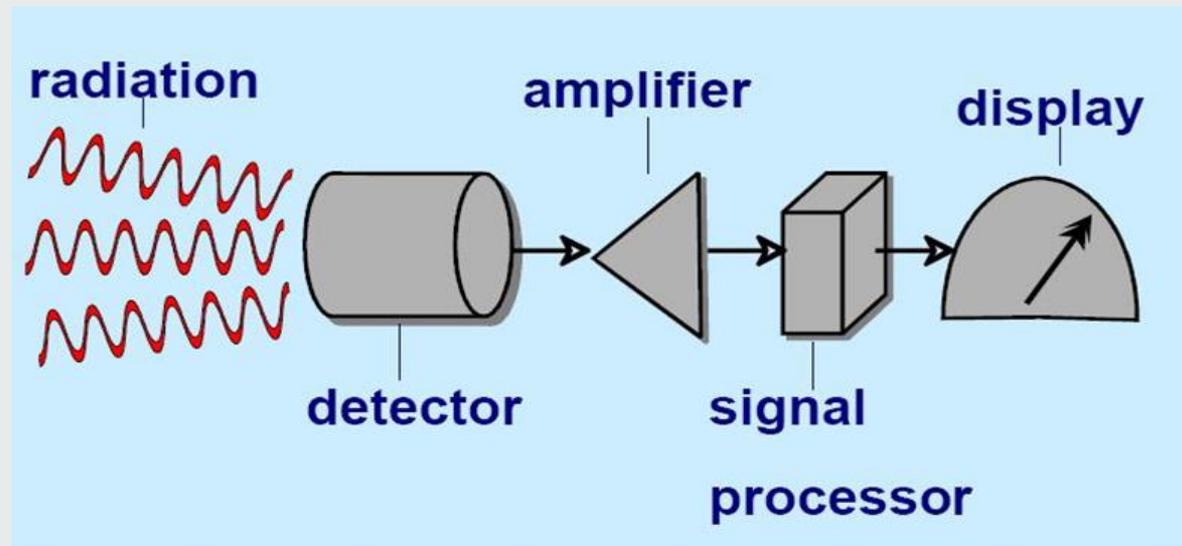




Equipamentos detectores de radiação e sua utilização

Alfredo Baptista
Laboratório de Protecção e Segurança Radiológica
alfredo@ctn.ist.utl.pt

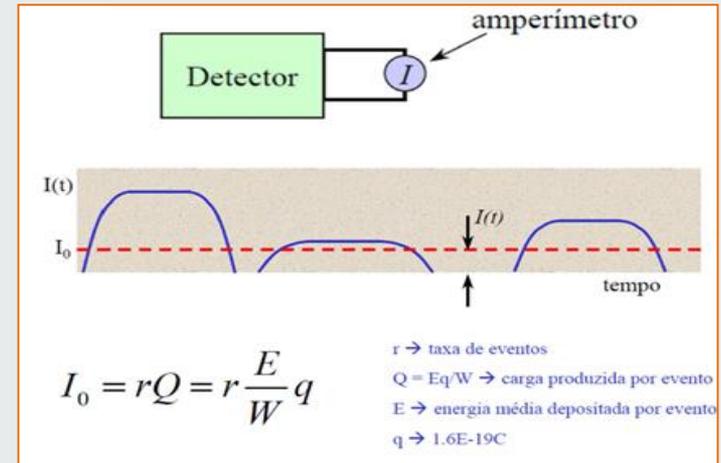


- Para que seja possível detectar a radiação é imprescindível que ocorra uma interação da radiação com o material que constitui o detector.
- Um detector de radiação consiste essencialmente na criação de um sinal eléctrico resultante da interacção da radiação com a matéria, neste caso presente no detector.

MODO DE OPERAÇÃO DE DETECTORES

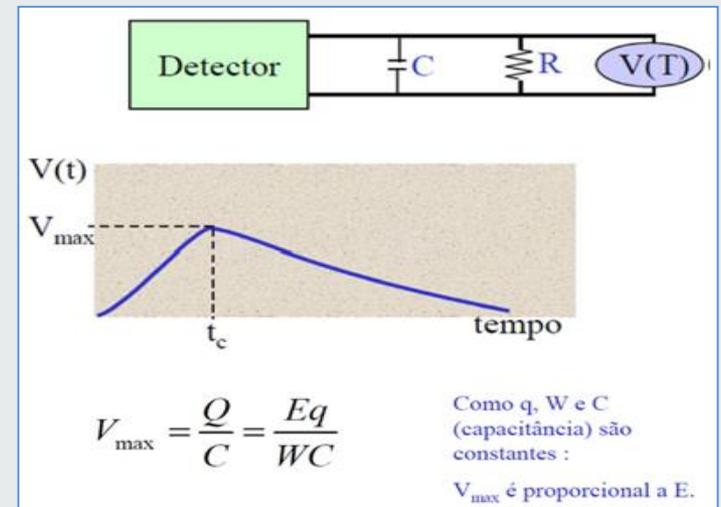
modo corrente: medida directa do sinal $i(t)$

Usado principalmente quando se deseja detectar uma taxa média de ocorrência de eventos (ex: Câmara de ionização).



modo de pulso: medida de $V(t)$.

Usado principalmente quando se deseja detectar individualmente cada evento. Cada evento será um pulso (ex: Geiger-Muller).



Modo pulso versus modo corrente

- O modo **pulso** é o mais utilizado. Neste modo de operação pretende-se que o detector meça cada tipo de radiação ou partícula que interage com o detector.
- No modo **pulso** mede-se a carga total, uma vez que a energia depositada no detector é directamente proporcional à carga.
- Para taxas de eventos muito elevadas, o modo **pulso** torna-se impraticável. Isto porque o tempo entre eventos adjacentes pode se tornar curto demais para uma análise adequada. Nestes casos o modo **corrente** é a alternativa.
- No modo **corrente**, a medida resulta da taxa média de eventos devido ao grande número de interacções da radiação com o meio sensível no detector, sendo assim impossível contar pulsos.

Sensibilidade: é a capacidade do detector produzir um sinal usável para um dado tipo de radiação e energia. Nenhum detector pode ser sensível a todos os tipos de radiação e energias. Eles são projectados para ser sensíveis a certos tipos de radiação e para um dado intervalo de energia.

A sensibilidade depende de vários factores, tais como:

- a secção de choque para reacções de ionização no detector;
- da massa do detector;
- do ruído intrínseco do detector;
- do material que envolve o volume de detecção do detector.

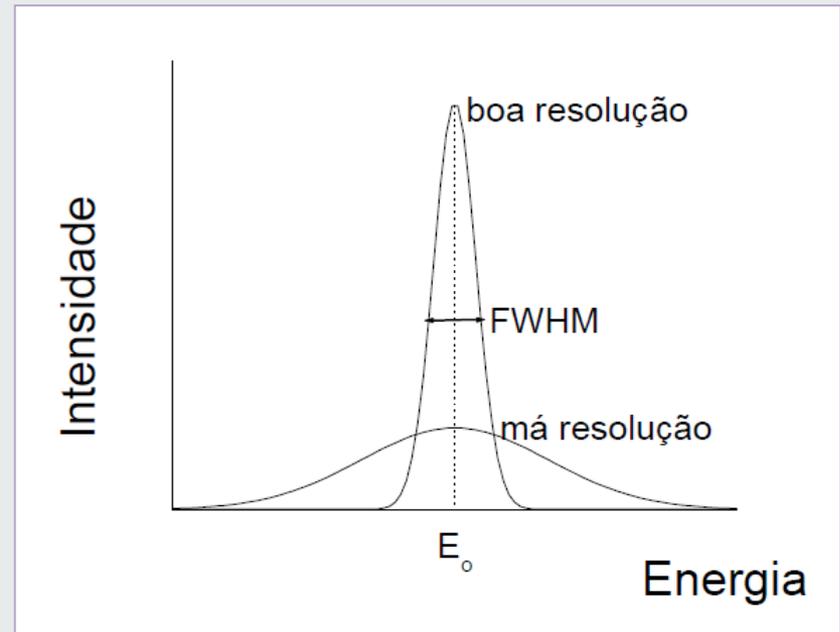
Resposta: a resposta do detector permite informações de tempo, ou seja, informações sobre a diferença de tempo entre dois eventos podem ser obtidos com uma boa precisão.

Resolução em energia: capacidade do detector em distinguir dois valores de energia muito próximos.

A resolução, ***R***, define-se em termos da largura a meia altura do pico de energia:

$$R = \text{FWHM}/E_0$$

FWHM – Full Width Half Maximum



Eficiência de detecção: está associada ao tipo de energia da radiação e indica a probabilidade do detector registar um evento.

$$\left. \begin{aligned} \mathcal{E}_{\text{total}} &= \frac{\text{eventos registados}}{\text{eventos emitidos pela fonte}} \\ \mathcal{E}_{\text{intrínseca}} &= \frac{\text{eventos registados}}{\text{eventos que atingem o detector}} \\ \mathcal{E}_{\text{geométrica}} &= \frac{\Delta\Omega}{4\pi} \end{aligned} \right\} \mathcal{E}_{\text{total}} = \mathcal{E}_{\text{intrínseca}} \mathcal{E}_{\text{geométrica}}$$

Tempo morto: é o tempo mínimo, t , necessário para que o detector ou electrónica associada consiga processar um ou mais eventos e que seja possível distingui-los.

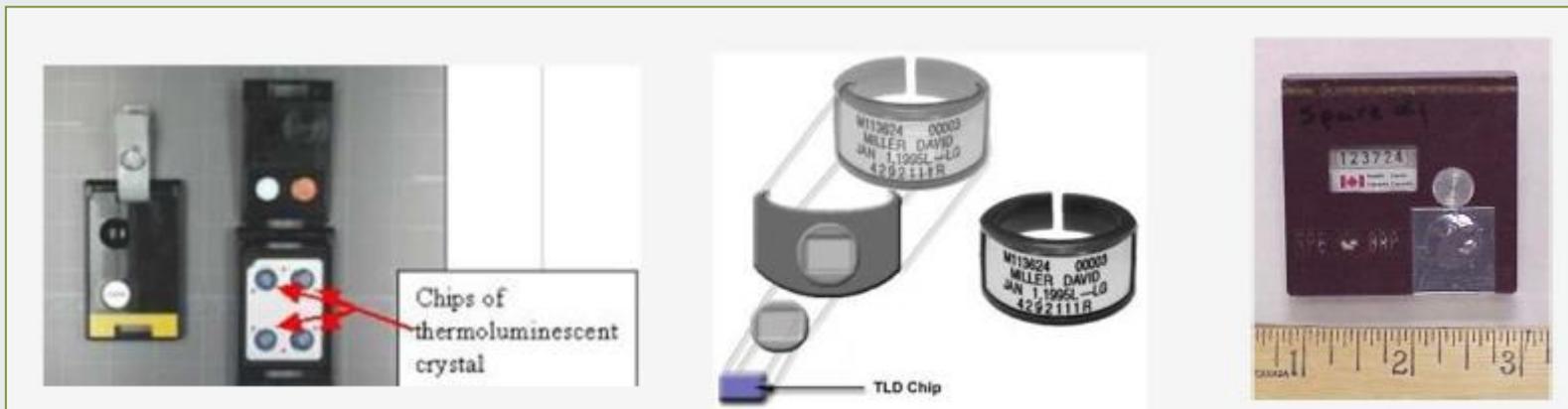
- Dosímetros individuais
- Detectores Gasosos
- Detectores de Neutrões
- Detectores de Cintilação
- Detectores de Semicondutores
- Espectrómetros Gama
- Portais de Radiação Fixos, RPM's

DOSIMETROS INDIVIDUAIS DE LEITURA INDIRECTA

FILMES FOTOGRÁFICOS: enegrecem proporcionalmente à quantidade de radiação recebida.

DOSIMETROS TERMOLUMINESCENTES (TLD): absorvem a energia das radiações ionizantes incidentes, tendo habitualmente como base o LiF (cristal de Fluoreto de Lítio).

Durante o processo de leitura o cristal é aquecido e a energia retida é emitida na forma de luz. A quantidade de luz emitida é proporcional à dose de radiação recebida.



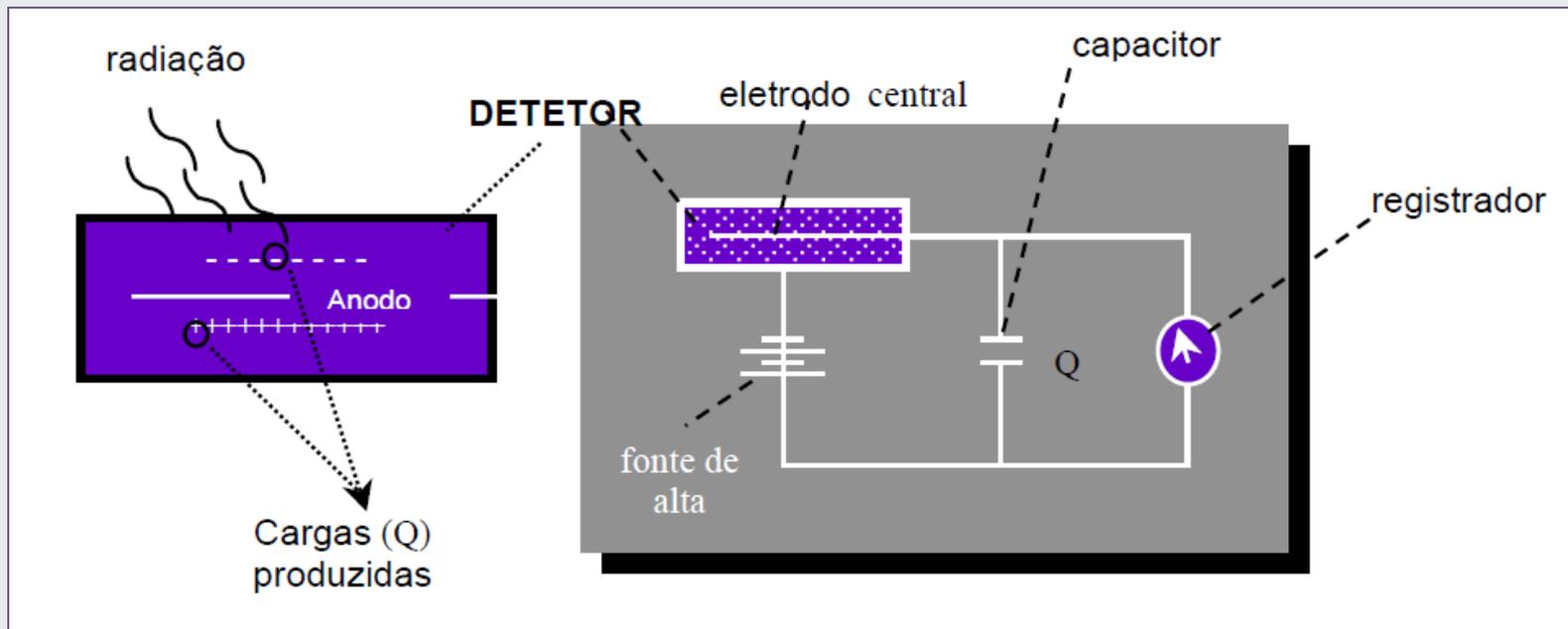
DOSIMETROS INDIVIDUAIS ELECTRÓNICOS (EPD)

- São pequenos detectores de cintilação (emitem luz quando irradiados), tendo habitualmente como base o Silício;
- Medem a dose acumulada e o débito de dose instantâneo;
- Tem, normalmente, alarmes pré-definidos.

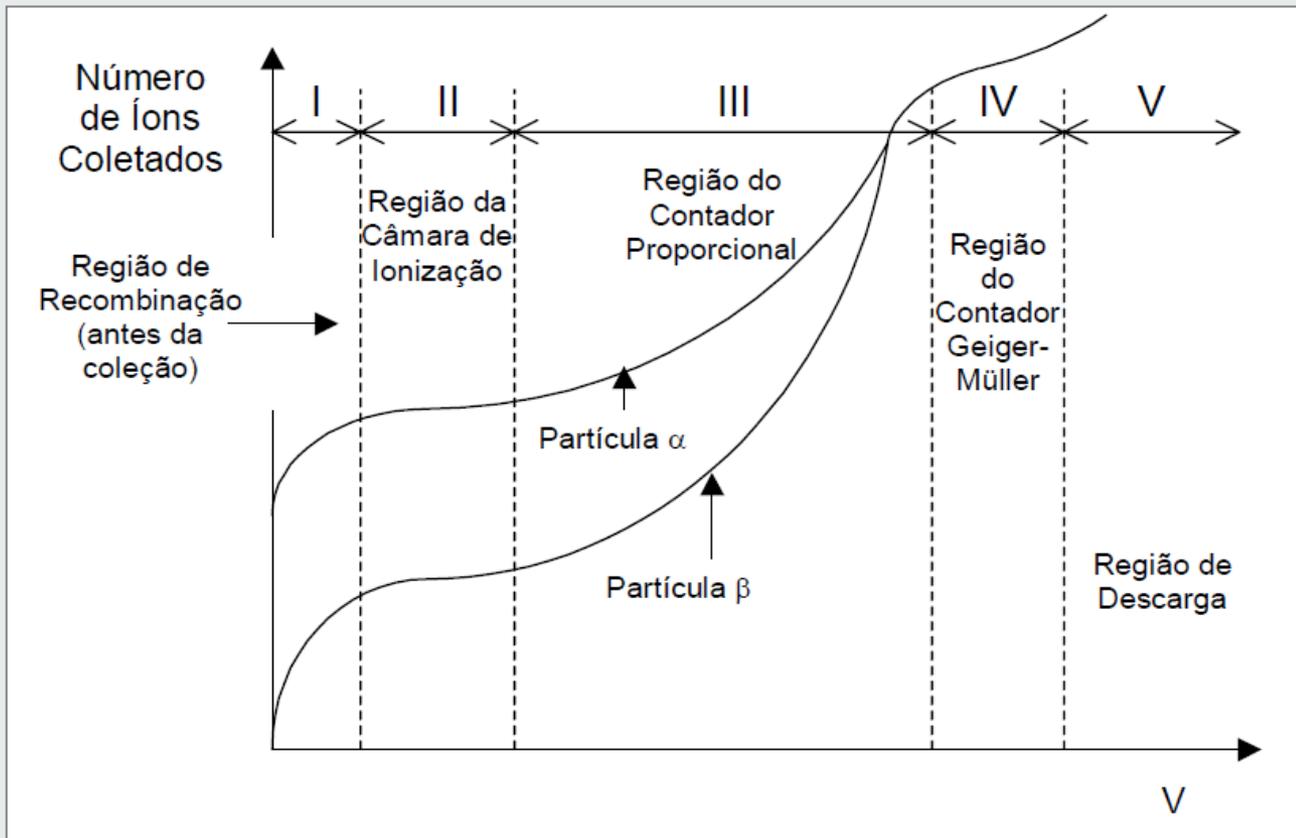


PRINCIPIO DE FUNCIONAMENTO

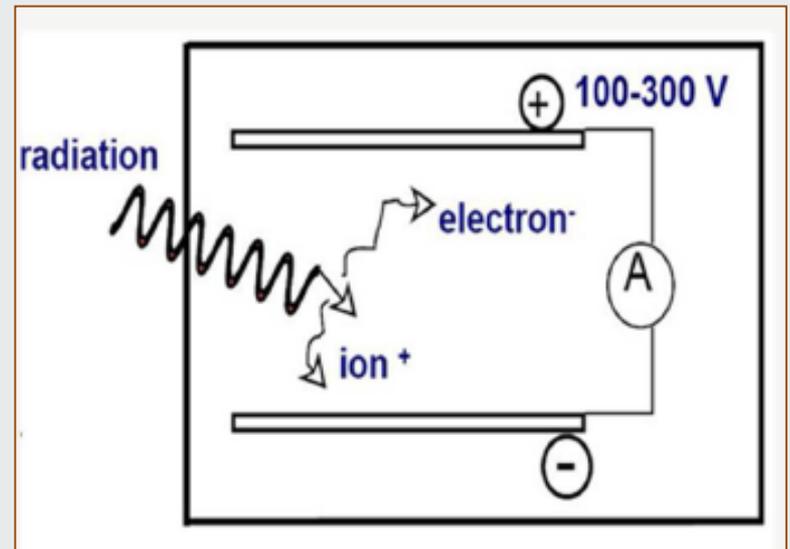
Radiação incide no volume detector (gás inerte) → Ionização do gás →
Deriva das cargas para os eléctrodos devido ao campo eléctrico →
Recolha de sinal eléctrico.



Os diferentes tipos de detectores gasosos distinguem-se entre si de acordo com o campo eléctrico aplicado (ou diferença de potencial) aplicada ao gás.



- Operam no modo corrente.
- Final da zona de recombinação, todos os pares de iões são colectados. Ocorre a produção de pulsos independentes da tensão aplicada, mas proporcional a energia da radiação incidente.
- São menos sensíveis que os restantes detectores.
- Permitem uma estimativa mais exacta da dose ou débito de dose.
- Somente sensível a radiação γ .
- Ideais para medir débitos de dose.
- Não são usadas para detectar contaminações.



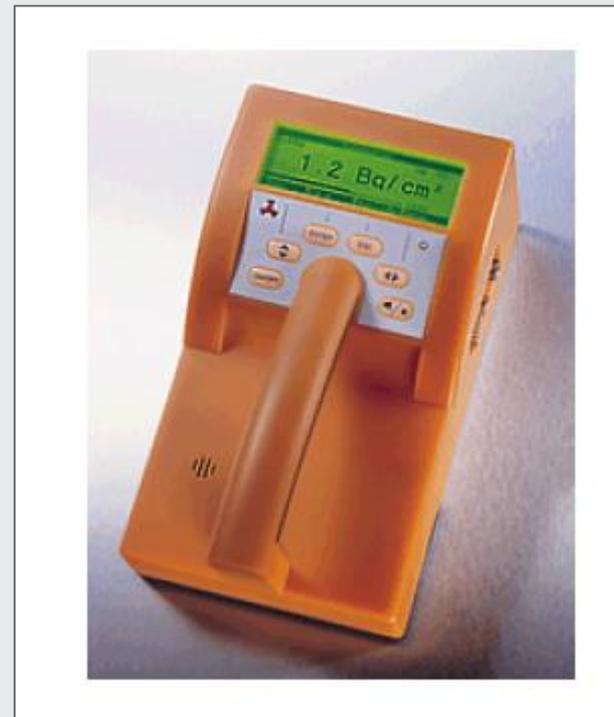
CÂMARA DE IONIZAÇÃO



- Operam no modo pulso.
- Baseiam-se no fenómeno de avalanche (Townsend): os electrões acelerados produzem ionizações secundárias amplificando a carga gerada pela partícula incidente.
- O sinal gerado é proporcional à ionização e portanto, à energia da partícula.
- Utilizado essencialmente para detecção de partículas α e β , podendo no entanto ser usados na detecção da actividade dos neutrões e na detecção de raios-x de baixa energia.
- Usados para detectar contaminações.



CONTADORES PROPORCIONAIS



CONTADORES GEIGER-MULLER (GM)

- Operam no modo pulso.
- Tal como os contadores proporcionais, baseiam-se no fenómeno de avalanche.
- Tensão de funcionamento muito elevada, até um valor de saturação do dispositivo, provocando a descarga total do gás, produzindo por isso mais eventos.
- Todos os pulsos apresentam a mesma amplitude (na ordem de volts).
- Muito sensível, leve e fácil de utilizar.
- Disponível em quase todas as formas e tamanhos.
- Sensível a α , β , γ e X .

CONTADORES GEIGER-MULLER (GM)

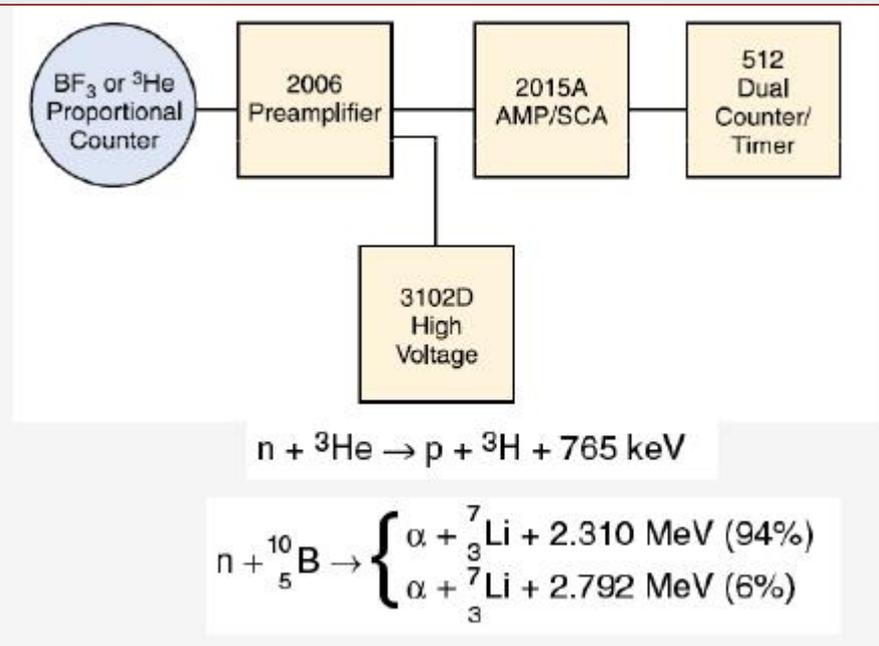


DETECTORES GEIGER-MULLER (GM)

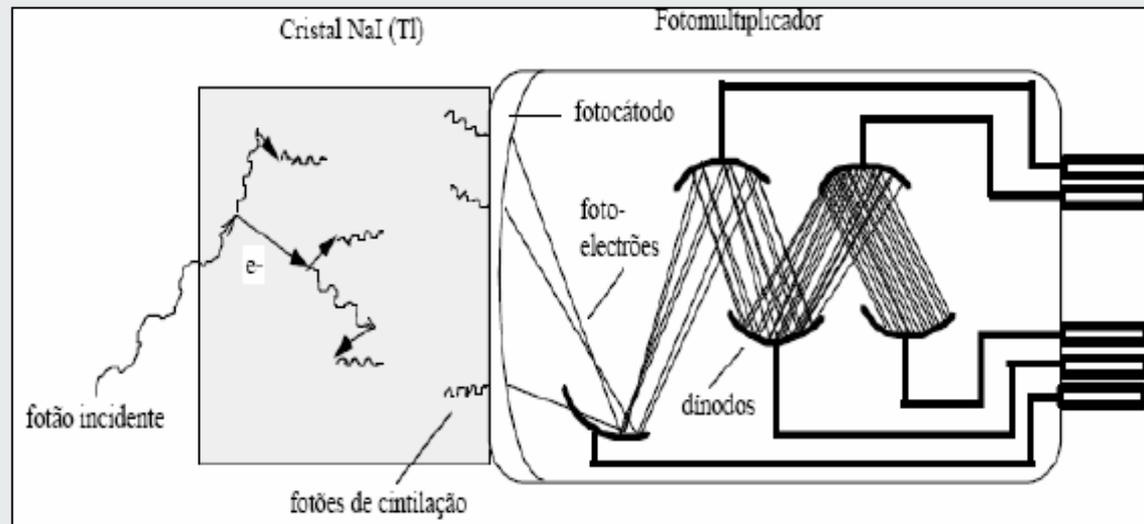
- Monitorização de área.
- Monitorização de bancada.
- Monitorização individual.
- Não recomendados para elevados débitos de dose.
- Ideais para a detecção de contaminação.



- Os neutrões não tem carga eléctrica.
- O material (moderador/atenuador) com o qual o neutrão interage, produz uma partícula carregada e fotões.

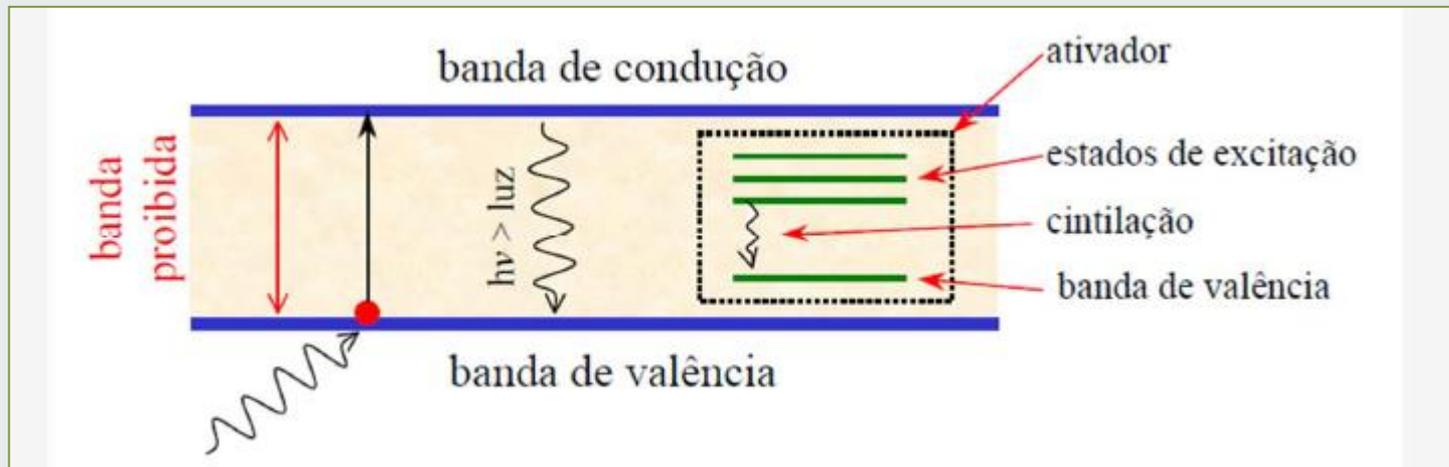


- Utilizam a propriedade de certos materiais emitirem luz quando atingidos por radiação. Esta luz (fotões) é convertida então em sinais eletricos e depois medida.
- Um detector de cintilação é constituído essencialmente por um cintilador, uma superfície fotocatódica, um fotomultiplicador (PMT – PhotoMultiplier Tube) e a componente electrónica.



Cristais inorgânicos: NaI, CsI, LiI, usados essencialmente na detecção de radiação gama:

- Cristais dopados com impureza activadora.
- A radiação provoca a ionização do cristal (criação de pares electrão-lacuna).
- As transições entre as bandas de energia dão origem a fotões.



Cristais orgânicos: a luz de cintilação provém de mecanismos moleculares (excitação de níveis moleculares). Podem ser:

- **Plásticos:**

Os plásticos são soluções num solvente sólido como o poliviniltolueno, poliphenilbenzeno, polistireno.

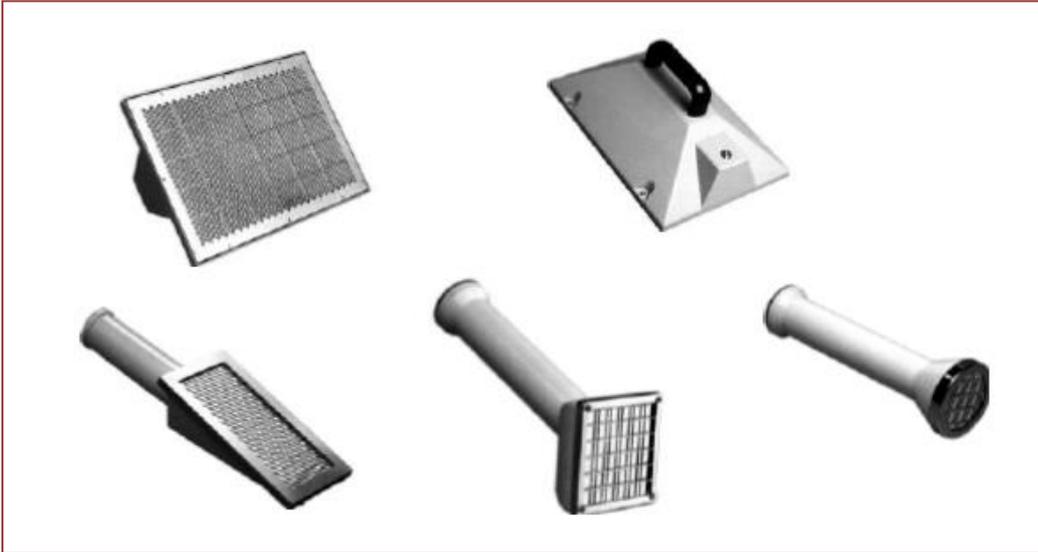
Usados para detecção de alfa, beta, gama e neutrões.

- **Líquidos:**

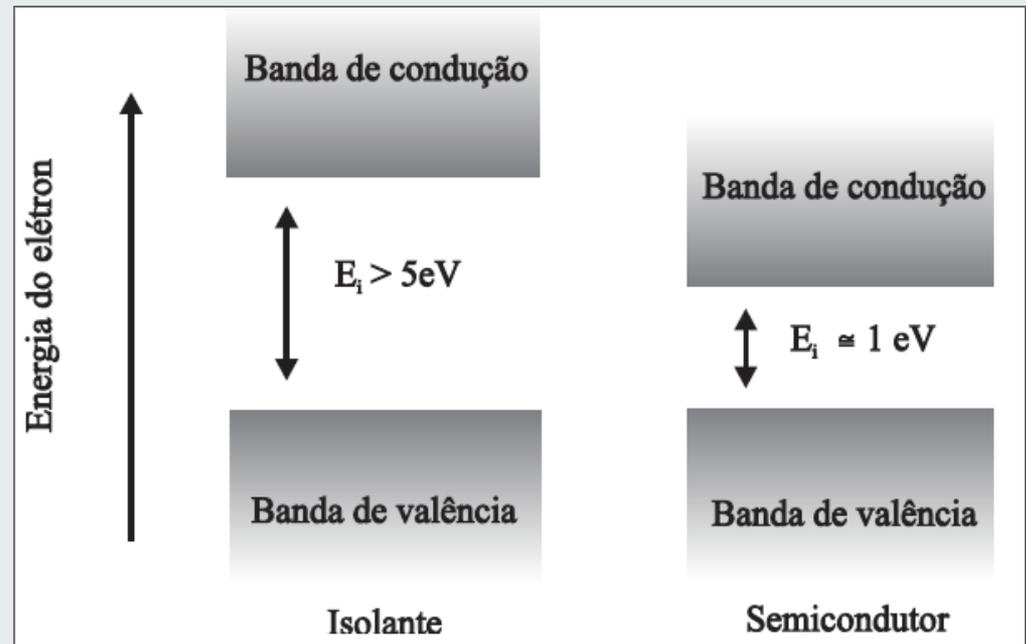
Os cintiladores líquidos são na verdade soluções onde um ou mais cintiladores orgânicos são dissolvidos num solvente. Soluções de substâncias como PDB ($C_{20}H_{14}N_2O$), p-Terphenil ($C_{18}H_{14}$), etc.

Usados na detecção de partículas beta e gamas de baixa actividade.

DETECTORES DE CINTILAÇÃO



- **Semicondutores**, tal como os cintiladores inorgânicos, funcionam a partir do princípio de excitação dos electrões, que passam das bandas de valência para as bandas de condução, permitindo assim que a colecta destes electrões seja detectada/medida.
- O que os distingue dos cintiladores, é que largura da banda proibida entre bandas de energia (banda de valência e de condução) os pode caracterizar como isolantes (5 eV) ou como semicondutores (cerca de 1 eV).



- Como nos detectores semicondutores o pulso de saída depende directamente da quantidade de pares electrão-lacuna produzidos, o detector semicondutor fornece um pulso proporcional à energia do fóton incidente permitindo identificar o fóton emissor, logo uma melhor resolução em energia.
- Detectores de Germânio muito puros (HPGe) funcionam necessariamente a baixas temperaturas a fim de se limitar a corrente de fuga até o ponto em que o ruído associado não prejudique a sua resolução em energia.



MONITORES DE CONTAMINAÇÃO (CONTADORES DE EVENTOS)

- Contadores Geiger-Müller
- Cintiladores

MONITORES DE RADIAÇÃO (TAXAS DE DOSE)

- Câmaras de Ionização
- Detectores Geiger-Müller
- Cintiladores

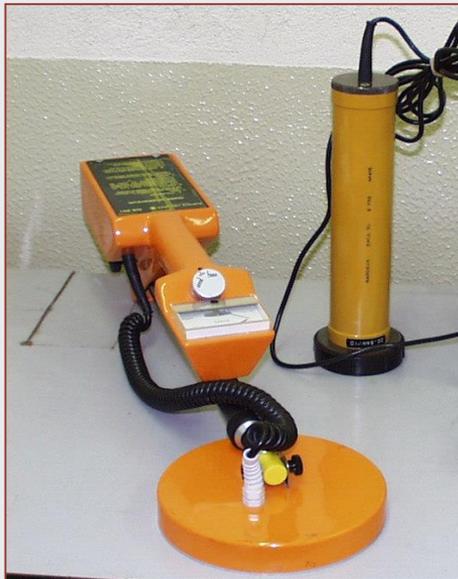
ESPECTROMETROS GAMA (RADIONUCLIDOS E ACTIVIDADE)

- Cintiladores
- Semicondutores

PORTAIS DE RADIAÇÃO FIXOS, RPM's

MONITORES DE CONTAMINAÇÃO (CONTADORES DE EVENTOS)

GEIGER-MULLER



CINTILADORES



MONITORES DE RADIAÇÃO (TAXAS DE DOSE)

GEIGER-MULLER



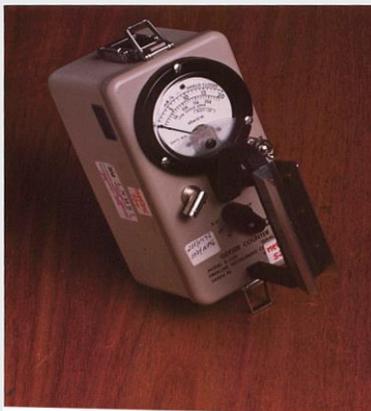
CÂMARAS DE IONIZAÇÃO



PROPORCIONAIS



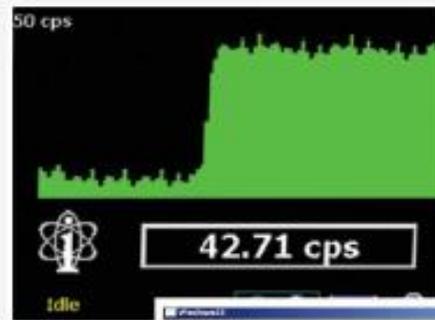
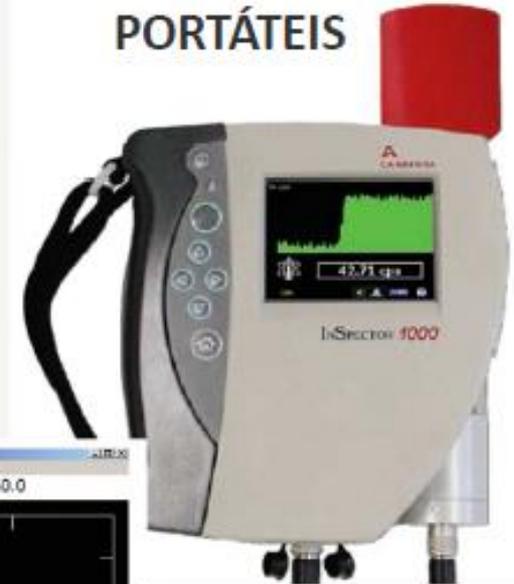
CINTILADORES



FIXOS OU DE LABORATÓRIO



PORTÁTEIS

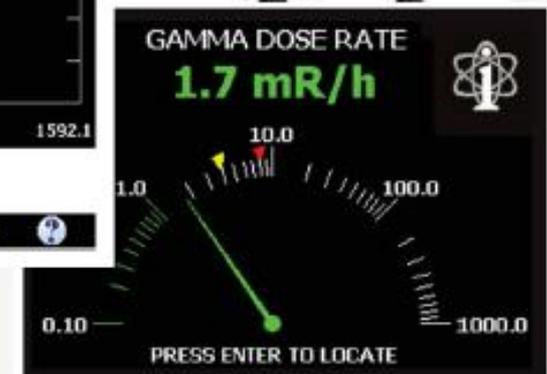


◀ Previous/Next Page 1 of 1

Nuclide	Type	$\mu\text{Sv/h}$
In-111	Medical	0.09
Co-57	Industrial	0.04
Cs-137	Industrial	0.01

LOC CAL

Idle



FIXOS OU DE LABORATÓRIO



PORTÁTEIS

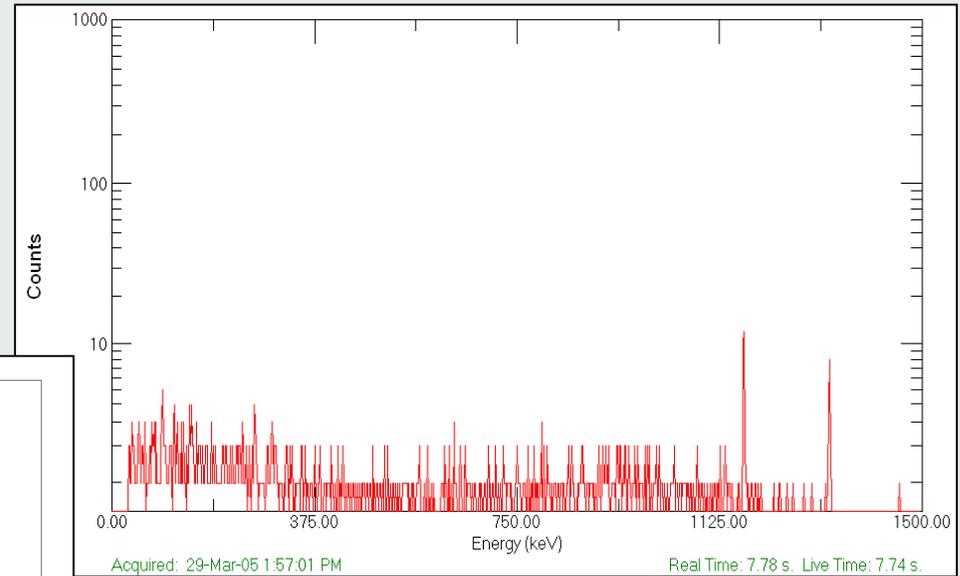
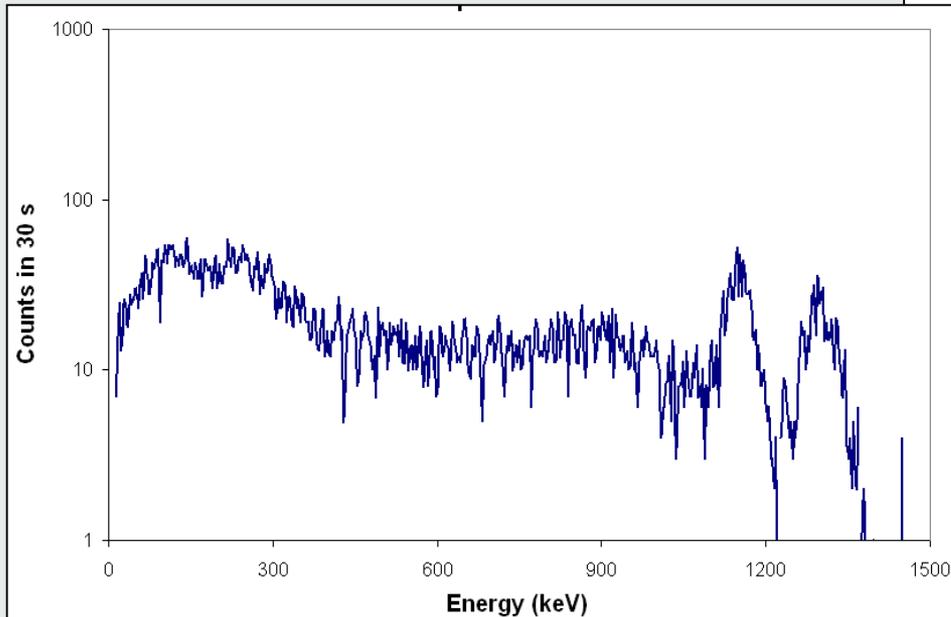


- Ideais para a medição de baixas actividades.
- Identificação dos radionuclidos emissores.
- Somente para emissores γ .
- Tipos mais comuns de detectores:
 - **Iodeto de Sódio (NaI)**: Boa resolução, muito boa eficiência de detecção.
 - **Germânio de Elevada Pureza (HPGe)**
 - Excelente resolução, boa eficiência.
 - Necessita de arrefecimento (N_2 ou criostato).
 - **Outros**: $LaBr_3$, CZT, CdTe, $CeBr_3$.



ESPECTRO DE Co-60

NaI(Tl)



HPGe

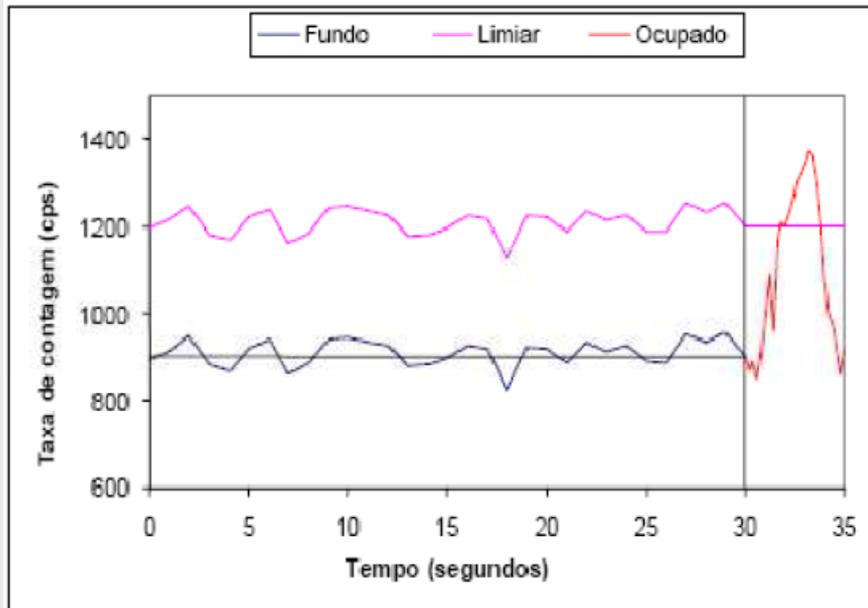
PÓRTICOS PARA DETECÇÃO DE RADIAÇÃO, RPM

- Medem continuamente a radiação de fundo (neutrões e gamas).
- Limiar de alarme é ajustado para manter taxa de alarmes baixa.
- Quando um veículo/carga/passageiro passa pelo monitor, o limiar de alarme é fixo e é comparado com a taxa de contagem provocada pelo veículo/carga/passageiro.
- Tem 2 detectores de radiação gama (e também neutrões).
- Podem ter 2 detectores de neutrões.
- Sensores de ocupação e velocidade.





PÓRTICOS PARA DETECÇÃO DE RADIAÇÃO, RPM



MONITOR DE RADIAÇÃO

RadEye



ESPECTROMETRO GAMA

IdentiFINDER



REPRESENTANTES DE MARCAS DE EQUIPAMENTOS DE RADIAÇÃO

<http://www.ibervoxel.pt/>

<http://interphysix.com/>

<http://www.thermoscientific.com/>

<http://www.canberra.com/>

- Como sabemos, os detectores de radiação são um instrumento importante em Protecção Radiológica, sendo assim, a certeza nas medidas, a verificação do funcionamento do sistema de detecção, são actividades obrigatórias para o utilizador dos equipamentos.
- A periodicidade relativa ao controlo metrológico dos instrumentos de medição de radiações ionizantes está descrita na Portaria nº 1106/2009 do Diário da República nº 186 (I Série-B) de 24 de Setembro de 2009.
- Certificado de calibração:
 - marca, tipo e modelo do aparelho calibrado;
 - número de série;
 - escalas calibradas;
 - tipos das fontes de radiação utilizadas na calibração, e sua rastreabilidade com padrão nacional;
 - data da calibração;
 - resultados das leituras obtidas e os factores de calibração;
 - responsável pela calibração.

ANTES DE USAR UM EQUIPAMENTO.....

- Verificar se e o detector adequado ao que se quer medir.
- Verificar se esta calibrado.
- Verificar as baterias/carga.
- Verificar a resposta com uma fonte conhecida.
- Documentar!



- Verificação do equipamento.
- Determinar os valores do fundo radioactivo natural.
- Ajustar a escala ao fundo.
- Manter o detector a menos de 1 cm da superfície mas sem lhe tocar.
- Mover o detector lentamente (5 cm/s).
- Registrar:
 - Instrumento e n.º serie
 - Pessoa que efectua as medidas
 - Data e hora
 - Locais de medida
 - leituras

MEDIDAS DE TAXA DE DOSE ($\mu\text{Sv/h}$)

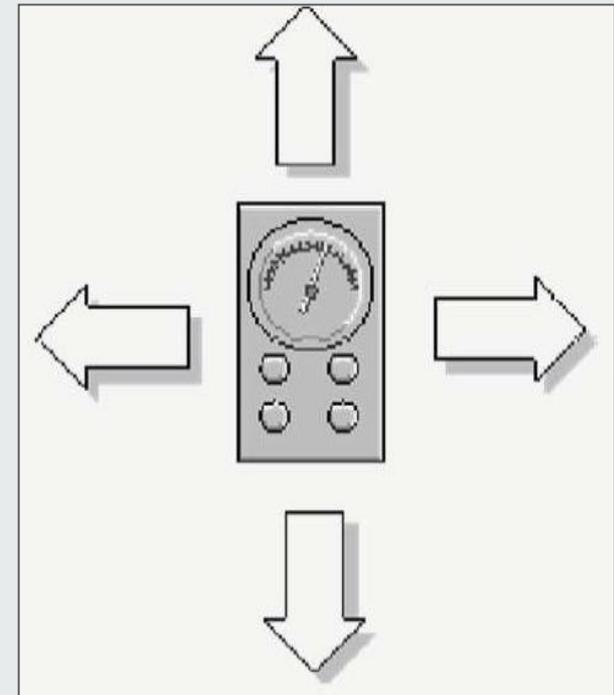
- Verificação do equipamento.
- Determinar os valores do fundo radioactivo natural.
- Começar nas escalas mais baixas.
- Registrar:
 - Instrumento e n.º serie
 - Pessoa que efectua as medidas
 - Data e hora
 - Locais de medida
 - leituras



- Manter o equipamento a frente do corpo (+/- à distancia de 1 braço).
- Garantir que o equipamento esta ligado e na gama de débitos de dose de fundo (ou mais sensível) antes de entrar nas áreas a monitorizar.
- Mover o equipamento lentamente para ter uma resposta correcta. Alguns equipamentos demoram segundos a responder.



- Fazer a monitorização em cruz nos pontos “quentes”.
- Monitorizar as zonas de acesso/aproximação. Estas serão as saídas em caso de serem detectados débitos de dose elevados.
- Observar e/ou ouvir continuamente a resposta do equipamento.
- Fazer uma monitorização sistemática utilizando a técnica de monitorização em cruz até a fonte de radiação ser encontrada. Atenção que a emissão do feixe de radiação pode ser colimada.
- Garantir que o corpo não está exposto ao feixe de radiação, se possível.
- Utilizar blindagem se possível e necessário.



- Verificação previa do equipamento.
- Ligar o equipamento antes de entrar na zona a monitorizar e na escala mais sensível (baixa).
- Usar a técnica de monitorização em cruz.
- Observar/ouvir continuamente a resposta do equipamento.
- Dar tempo ao equipamento para responder.
- Como boa prática, não entrar em zonas com débitos de dose acima de $25 \mu\text{Sv/h}$ e chamar de imediato ajuda especializada.

Limites de dose: DL 222/2008 , Artigo 4.º 1: O limite de dose efectiva para os trabalhadores expostos é fixado em 100 mSv por um período de cinco anos consecutivos, na condição de esse valor não ultrapassar uma dose efectiva máxima de 50 mSv em cada ano.



Muito obrigado pela vossa atenção.

