

# TS - ESTUDO DE PROCESSOS COM DECAIMENTO RADIAVATIVO

16/10/2023

Manoel Helene Nunes da Silva, Grupo 2, PL1

17/10/2023

## OBJETIVOS

- Estudo da estatística do ruído associado a decaimentos radioativos, em regime de baixa e alta atividade
- Contato com contadores de Geiger - Muller
- Métodos para separar o filtrogram de partículas energéticas (radiações  $\gamma$ ,  $\beta^+$ ,  $\beta^-$  e  $\alpha$ )
- Determinação do alcance de partículas  $\alpha$  no ar

## INTRODUÇÃO TEÓRICA

Decaimento  $\rightarrow$  quebra espontânea de um núcleo atómico instável

↓  
emissão de radiação

Atividade  $\rightarrow$  n.º decaimentos atómicos por unidade tempo

$$A = \frac{\Delta N}{\Delta t}$$

(em  $Bq = s^{-1}$ )

meia-vida  $\rightarrow$  tempo médio necessário para que um certo n.º de átomos se reduza a metade ( $T_{1/2}$ )

$$N = N_0 e^{-t/\tau}$$

meia-vida

$\begin{cases} \text{n.º átomos sobrevivente} \\ \text{após tempo } t \end{cases} \quad \begin{cases} \text{n.º átomos inicial} \\ \text{meia-vida} \end{cases}$

$1/\tau \equiv$  constante de decaimento

$$T_{1/2} = T = \tau \ln(2)$$

independente

probabilidade de obter N decaimentos num intervalo de tempo  $\Delta t$

$$P = A \times \Delta t$$

nível médio  
atividade

distribuição de Poisson

distribuição Normal

$$P(N) = \frac{M^N}{N!} e^{-M}$$

$$P(N) = \frac{1}{\sqrt{M} \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{N-M}{\sqrt{M}} \right)^2}$$

↓ desvio-padrão

### Fontes de radiação

isótopos  $^{226}\text{Ra}$

$$T_{1/2} = 1620 \text{ anos}$$

emissão de partículas

$\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$  etc

transformado em  $^{206}\text{Pb}$

atividade nominal:

$$3 \text{ kBq} (+0\%/-50\%)$$

fonte está num

tubo metálico

$\alpha$  - núcleos de hélio

$\beta$  - elétros ( $\beta^-$ ) ou positrões ( $\beta^+$ )

$\gamma$  - onda electromagnética

$$\text{área ativa} = 0,635 \text{ cm}^2$$

$$\text{atividade total} \rightarrow A = \frac{A_i \times S_{dict}}{4\pi} \frac{1}{d^2} + A_{amb}$$

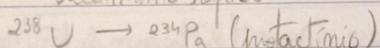
atividade ambiente

medida  $\rightarrow m^2$  de contagens/evntos detectados pelo geiger-muller no intervalo de tempo  $\Delta t$

$m^2$  medida  $m \rightarrow$  númerp de margens de medida

temporamento  $\rightarrow$  eletrônico reajustando para o medida seguinte

decaimento rápido:



$$T_{1/2} = 1175 \text{ min}$$

emissão predominante de  $\beta^-$

fonte contém num contentor de

duas calotas, uma aquosa, uma orgânica,

de resíduo de urâno

atividade nominal:

$$45 \text{ kBq} (+0\%/-50\%)$$

após agitar o contentor, enfez - n que taxa

de contagens medida no fundo de resíduo na

gore rufina do contentor (comida orgânica)

esteja associada a decaimento de núcleos

de  $^{234}\text{Pa}$ , os outros dois isótopos geram

equilíbrio para fundo de radiação constante

## PROCEDIMENTO

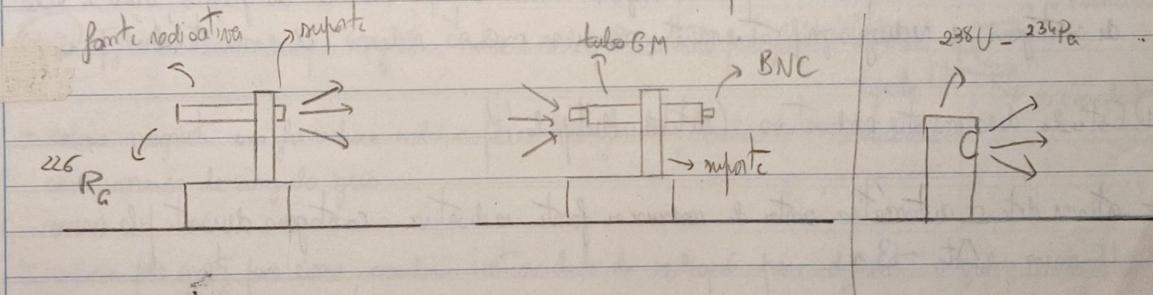
A - detector Geiger - Muller, quando descompactado, NAO tocar na face frontal

- software VM Ware  $\rightarrow$  Windows Me  $\rightarrow$  COBRA  $\rightarrow$  RADIO1

automático -  $M$  medidas registradas automaticamente, resulta em tabela ( $t, \bar{N}$ ),  
adquirido ao longo de  $\Delta t$   $\sim M \cdot \Delta t$

fluxo do gás - regista atividade ambiental e subtraí-a de forma automática do  
registo de medições posteriores (NAO SUBTRAIR!)

- gravar dados - file  $\rightarrow$  store  $\rightarrow$  gravar em ASCII  $\rightarrow$  no fim de run, gravar para a  
pendrive



### ① Medida de atividade ambiental

- afastar fontes radioativas do detector
- definir  $\Delta t \sim 10$ , para o tempo ativo
- definir  $m = 100$  medidas pretendidas
- gravar dados (número de ficheiros não pode ter mais de 8 caracteres)
- fixar estimativa da atividade de fundo para poder analisar em contexto os resultados seguintes

## ② Estatística da medida de atividade, a partir de fonte $^{226}\text{Ra}$ (dicionário!)

- colocar fonte com fonte  $^{226}\text{Ra}$  a alguns milímetros ( $\sim 5\text{ mm}$ ) do detector, num fluxo fixo
- definir  $\Delta t$  para  $m = 100$  medidas, guardar os dedos ( $\Delta t \sim 2\text{s}$ )
- repetir com números de medições maiores: app não permite  $m > 1000$ ; agrupar vários grupos de modo a fazer séries combinadas ( $m = 100, 200, 150, 500$ )
- registar fonte ( $\sim 6\text{ cm}$ ) para o  $m^{\circ}$  de contagens muito pequeno ( $< 10$ ), repetir dois passos anteriores para fazer histogramas correspondentes a contagens de baixa atividade

## ③ Caracterização do emissor de fonte $^{226}\text{Ra}$ (dicionário!)

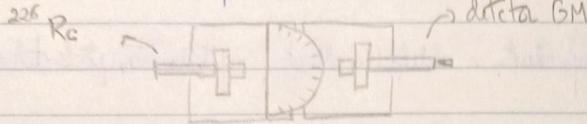
- configurar software para manually controlled,  $\Delta t \sim 10\text{s}$ ,  $m = 30$  (30 valores de distância 30 mm, intervalo de 1 mm)
- aproxima fonte tanto quanto possível e iniciar medições, guardar dedos
- a partir da posição final ( $\sim 30\text{ mm}$ ) continua a realizar mais medições com intervalos de 1 cm até que o  $m^{\circ}$  de contagens se aproxime dos níveis de radiação ambiente, guardar os dedos
- estimar o alcance a partir da ajuste de regressão linear à posição inicial do gráfico, onde a taxa de contagens se vê significativamente menor que no nível ambiente, medição mas só radiação dada também  $B$  e  $f$

## ④ Estudo decaimento radioativo (detector desligado!)

- ativar detector automático ante de manusear fonte radioativa: contagens durante pelo menos 15 min,  $\Delta t \sim 3\text{s}$
- colocar fonte de gerador de isotópos diante do detector SEM agitar: observar diferenças entre os líquidos; registrar radiação decaimento da substância inerte ( $^{238}\text{U}$ ), devem ser tomados como radiação ambiente; guardar dedos
- agitar preparações durante alguns segundos, colocar no munhequeiro diante do detector; registrar pelo menos 5 min de contagens (necessário parar, usar ESC, não se perder resultados obtidos), guardar dedos
- voltar a colocar préparo de plástico no detector COM MAX CUIDADO
- estimar tempo de半衰期 - radioisótopo

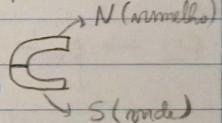
## 5) Outros estudos possíveis

### 5.1) Determinação da dependência angular de nêudigos emitidos pelo ponto. (deteta tapete!)



- medir intensidade de nêudigos para diferentes ângulos entre  $-60^\circ$  e  $+60^\circ$ , com intervalos de  $10^\circ$  (programa m<sup>5</sup> permite variações num m distâncias, logo indicar 13 medidas como n fones de 1 a 13 mm), usar pelo menos  $\Delta t = 30\text{ s}$ , registrar manualmente os dados alím da gravação em ASCII
- representar dependência da taxa de contagem em função do ângulo em gráfico polar

### 5.2) Efeito dum campo magnético sobre o nêudigo emitido pelo ponto. (deteta tapete!)



- colocar magneti um ferrodeuse sobre a placa transmissora, alinhando extremidades com marca de ângulo zero
- colocar polo norte para cima, medir intensidade de nêudigos para diferentes ângulos analagamente à parte anterior (5.1.)
- representar dependência da taxa de contagem em função do ângulo, de preferência em gráfico polar
- colocar polo norte para baixo e repetir dois fôntas anteriores

### 5.3) Observação de nêudigos X (deteta tapete!)

- manter o magneti no mesmo posição, com fôlo norte para cima
- colocar placa de alumínio junto à abertura de fônta redutora
- medir intensidade de nêudigos para diferentes ângulos analagamente às fôntas 5.1 e 5.2.
- representar dependência da taxa de contagem em função do ângulo, de preferência em gráfico polar

(5.4) Variação de intensidade de nêudos com distância à fonte (útil o torpedo!) (16/10/2023)

- retângulo magnético e placa transformadora, mantendo placa de alumínio metálica, coloca distâncias  $\approx 3\text{ cm}$  de fonte
- variações de distância ao longo de 15 cm, com intervalo 1 cm, variação  $\Delta t = 30\text{s}$
- medir movimentos do relógio de giro, correspondentes à nêudos ambientais; repetir instâncias contínuas para medição de giro, com  $t = 500\text{s}$
- variação distância entre detector e fonte, estimar taxa de variação total de fonte

NOTAS DE AULA (mês realizámos a parte 5)

P1 → nêudos ambientais

100

150

250

P2 → fonte  $^{226}\text{Ra}$

$350 = 250 + 100$

$400 = 250 + 150$

500

$600 = 500 + 100$

$650 = 500 + 150$

$750 = 500 + 250$

$850 = 500 + 250 + 100$

$900 = 500 + 250$

+ 150

$1000 = 500 + 250 +$

150 + 100

$(\pm 0,1) d(\text{mm})$	$N$	11	214	22	96	60	18
0	803	12	173	23	84	70	9
1	708	13	193	24	83	65	15
2	536	14	163	25	81	55	25
3	440	15	168	26	79	45	43
4	439	16	134	27	68	35	52
5	391	17	120	28	58	75	
6	333	18	116	29	54		
7	307	19	111	30	49		
8	321	20	103	40	46		
9	263	21	98	50	22		
10	241						

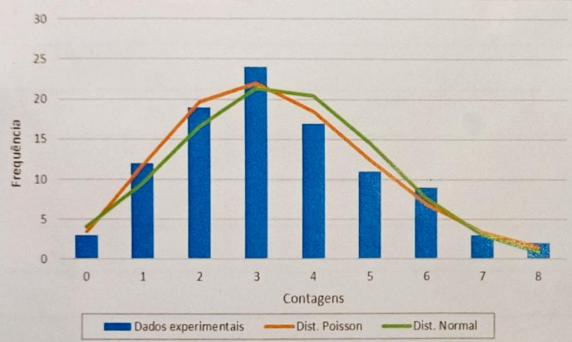
7/10/2023

## ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

### ① Medida da atividade ambiental

- Média das contagens realizadas:  $M = 3,4 \pm 0,2$
- Aplicou-se os contagens a dist. de Poisson e a dist. Normal (multiplicando o valor de distribuição para cada contagem pelo número de medidas realizadas)

Contagem com radiação ambiente ( $n = 100$  medidas)



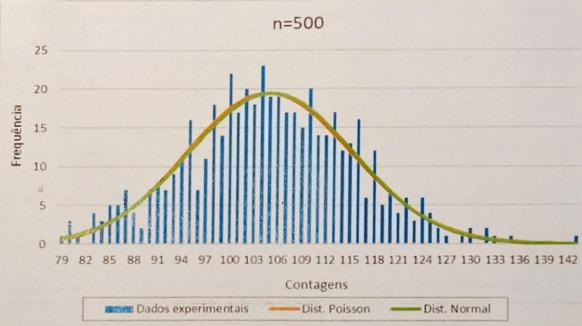
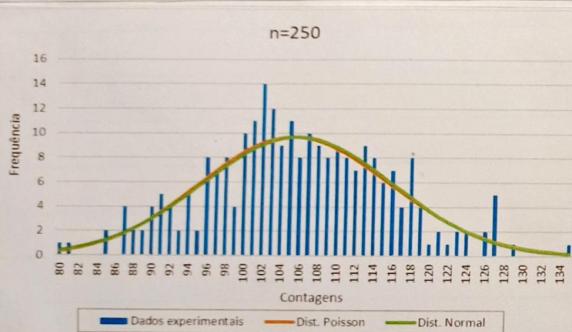
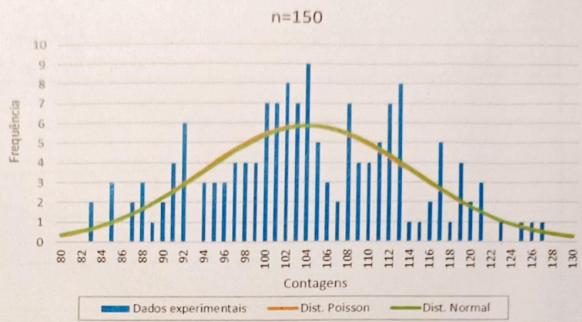
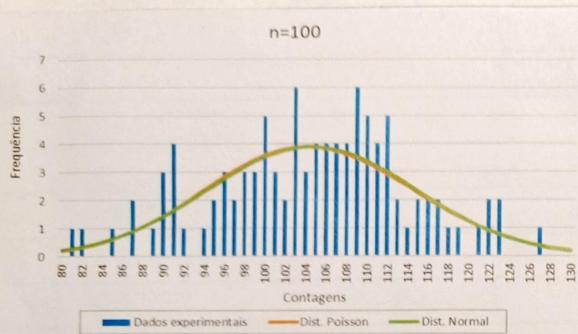
- Observa-se pelo gráfico que a dist. de Poisson é a mais adequada para caracterizar a radiação ambiente, que tem um número relativamente baixo de contagens, dado que a dist. Normal está significativamente desviada à direita
- Calculou-se a atividade ambiental a partir da equação  $A = \frac{M}{\Delta t} (At \cdot 10^3)$ , obtendo-se:

$$A_{amb.} = (0,34 \pm 0,02) Bq$$

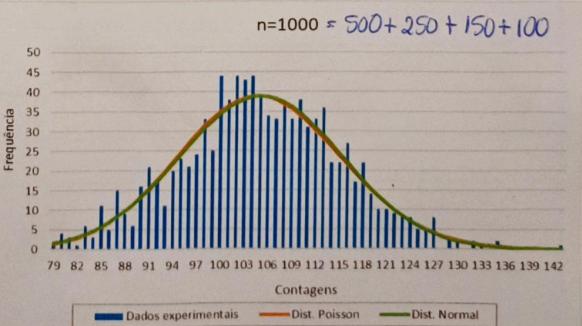
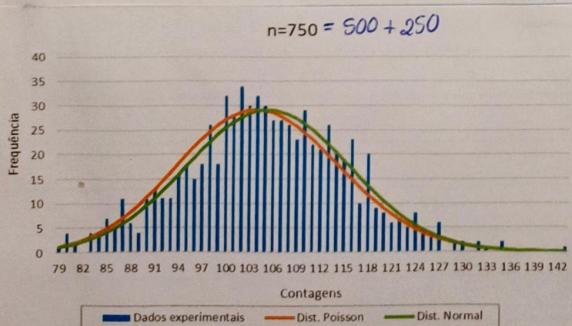
② Estatística da medida de atividade, a partir de fonte <sup>226</sup>Ra

Fonte próxima do detector

- Realizou-se em média 5 miligêns à fonte anterior com  $\Delta t = 2\text{s}$



- Como indicado no experimento, juntam-se grupos diferentes de contagens (já que são independentes entre si) o decimento radioativo tem de ser um processo aleatório para conseguir  $n > 500$ !



- Verifica-se que, executando  $n = 750$ , as curvas das distribuições de Poisson e Normal são basicamente coincidentes (não que para  $n = 750$  a dist. Normal seja melhor).

Assim, a dist. Normal será a mais adequada para caracterizar atividade alta (não que a dist. de Poisson não tem uma diferença muito significativa a esta)

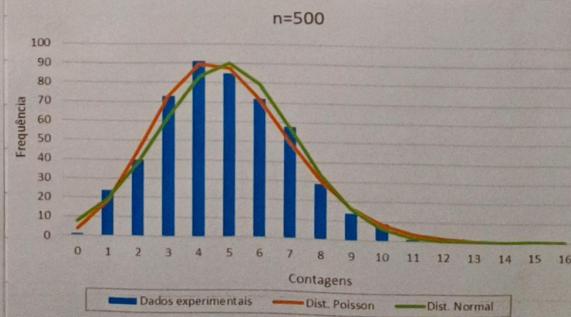
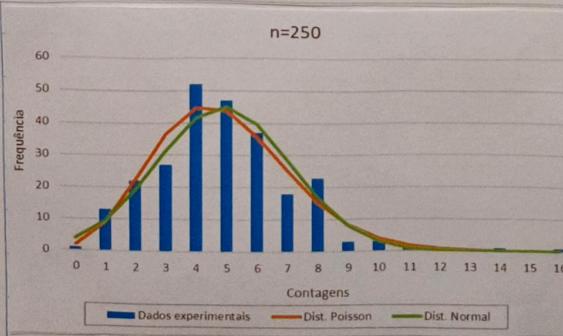
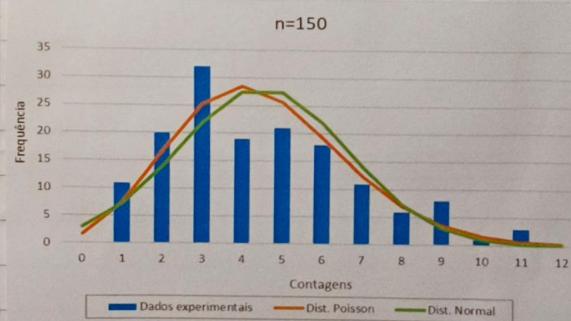
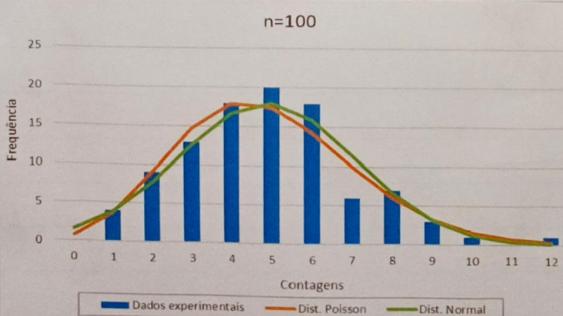
- Além disso, observa-se que, quanto maior o número de medidas  $n$ , maior a semelhança das contagens às distribuições (notando também que já não existe uma diferença muito significativa entre  $n = 750$  e  $n = 1000$ )
- Amelioramento à parte anterior, calculou-se  $A$  e  $M$ :

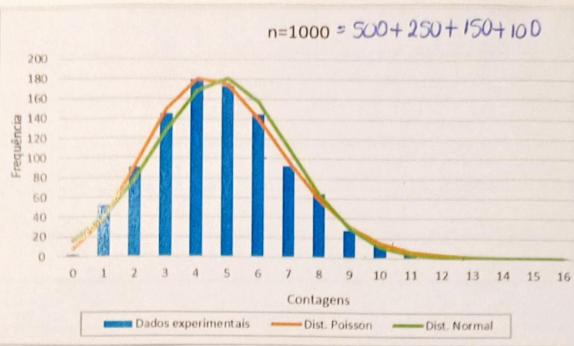
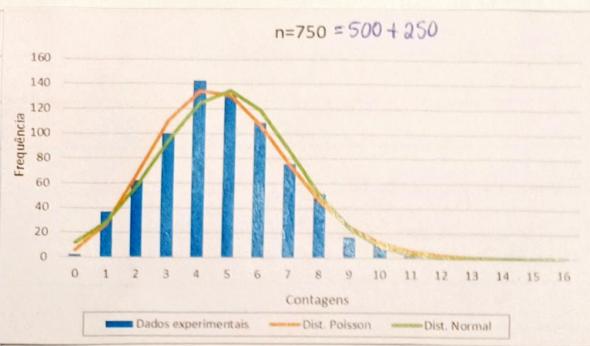
$n$	$M$	$u(M)$	$A$ (Bq)	$u(A)$ (Bq)	incerteza (%)
100	105	1	52.3	0.5	0.9%
150	104	1	52.1	0.4	0.8%
250	106	1	52.9	0.3	0.6%
500	105.1	0.5	52.5	0.2	0.4%
750	105.3	0.4	52.7	0.2	0.4%
1000	105.1	0.3	52.5	0.2	0.3%

- Vê-se que, quanto maior for o tempo de amostragem, isto é, quanto maior for o número de medidas  $n$ , maior é a precisão da média média e de representatividade, ou seja, estes comungam para um valor limite, o qual corresponde ao valor esperado.

Fazendo a questão do dígitos!

- Realizou-se uma análise idêntica à parte anterior:



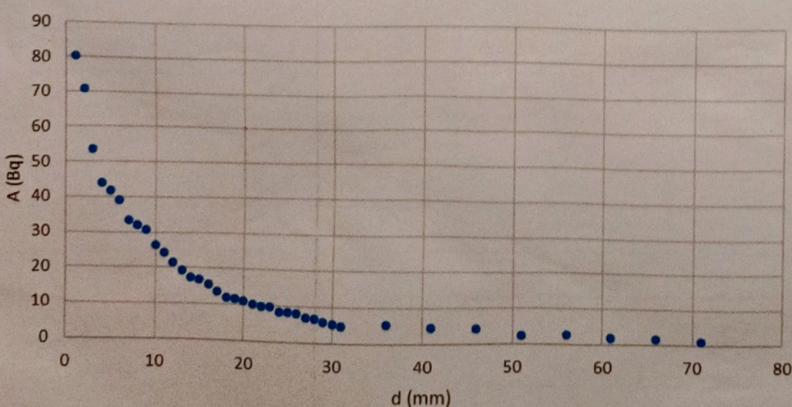


$n$	$M$	$u(M)$	$A$ (Bq)	$u(A)$ (Bq)	incerteza (%)
100	4.9	0.2	2.4	0.1	4.3%
150	4.5	0.2	2.3	0.1	4.3%
250	4.9	0.1	2.4	0.1	3.0%
500	4.9	0.1	2.45	0.05	2.0%
750	4.9	0.1	2.45	0.04	1.6%
1000	4.8	0.1	2.42	0.03	1.4%

- De forma melhorante os contagens de radiação ambiental, a dist. de Poisson mostra -n a mais adequada para caracterizar atividade baixa, dado que a dist. Normal tem o seu máximo denso de contagem de menor frequência, para todos os valores  $n$ . Assim, a dist. de Poisson é útil para caracterizar valores baixos.
- Verifica-se também que quanto maior o número de medidas  $n$  (isto é, maior tempo de amostragem), maior a semelhança dos contagens à dist. de Poisson (maior valor  $n$  não abrange uma diferença significativa entre  $n = 750$  e  $n = 1000$ ) e menor a variação da razão média e de atividade para um valor limite (ou valor esperado).

### ③ Caracterização de emissões de fonte $^{226}\text{Ra}$ (em função de distância)

Atividade de fonte em função de distância ao detector (com  $A = N/\Delta t$  e  $\Delta t = 10\text{s}$ )



- Observa-se que a relogia de atenuação como o inverso do quadrado da distância, mas se aplica a todos os pontos registrados; no entanto, a fonte inicial do gráfico é assimétrica, a unidade relogia exponencial de forma

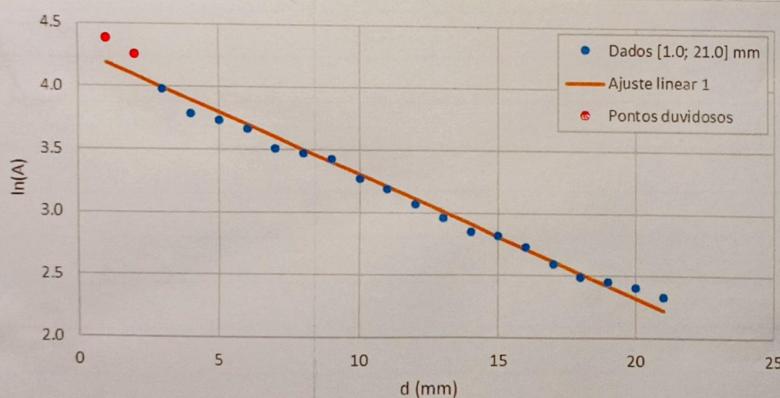
$$A = A_0 e^{-cd}$$

onde  $A_0$  é a atenuação inicial, e linearizando:

$$\ln(A) = -cd + \ln(A_0)$$

- Desta maneira, realizou-se um ajuste linear com bom resultado, assim, desde o d inicial até ao ponto no qual ainda manifestava este linearidade ( $d = 21,0 \pm 0,5$  mm):

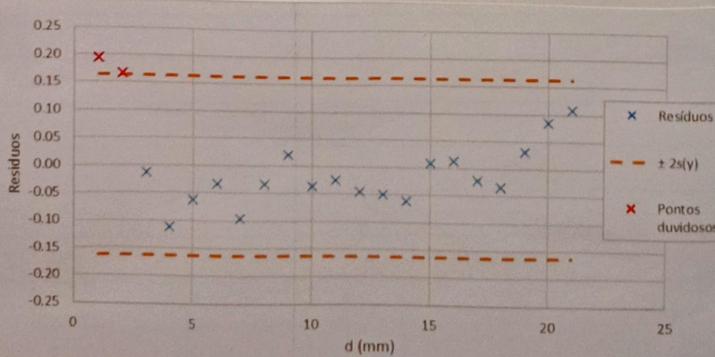
### Logaritmo de atenuação em função da distância - ajuste 1



Parâmetros ajuste 1

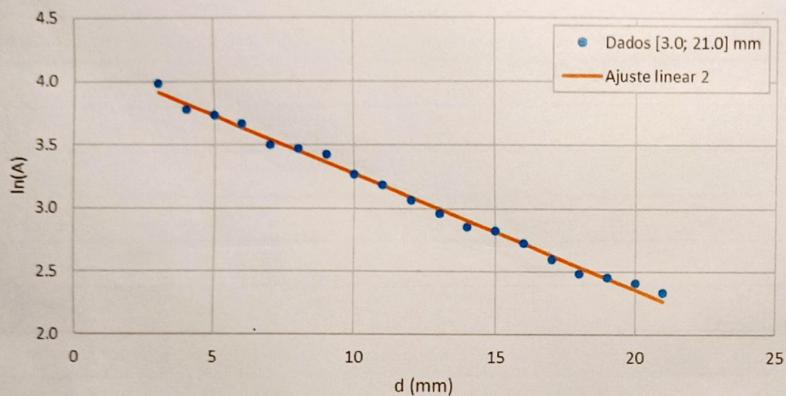
m	-0.098	4.29	b
u(m)	0.003	0.04	u(b)
r²	0.98	0.08	s(y)

### Resíduos - ajuste 1



— Observa-se que os resultados dos tindemetros e os pontos correspondentes a  $d = 1$  e  $2$  mm foram considerados duvidosos, sendo que estes podem não estar de acordo com o resultado esperado por o método <sup>ainda</sup> não estar totalmente mechanizado nessa parte de experimentos, isto é, os dados e os fontes podem não estar perfeitamente alinhados. Deste forma, utilizou-se um menor ajuste com os pontos duvidosos.

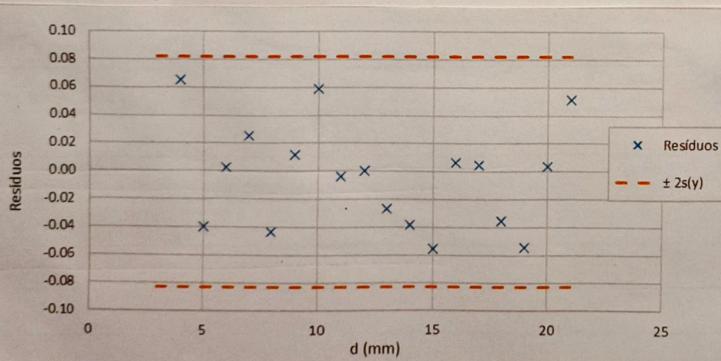
Logaritmo da atenuação em função da distância - ajuste 2 (sem pontos duvidosos)



Parâmetros ajuste 2

m	-0.092	4.19	b
$u(m)$	0.002	0.02	$u(b)$
$r^2$	0.994	0.04	$s(y)$

Resíduos - ajuste 2



— Observando o matriz de ajuste, o valor de  $r^2$  está mais próximo de 1 e o desvio-padrão  $s(y)$  reduziu-se para metade; os resíduos são também aleatórios, logo o ajuste 2 tem maior qualidade.

— As partículas  $\alpha$  (núcleos de hélio - 2 neutrons + 2 prótons), comparativamente à radiação  $\beta$  (elétrons + prótons) e radiação  $\gamma$  (onda eletromagnética), têm um menor alcance, sendo que têm maior probabilidade de interagir com as moléculas do ar e se dispersarem. Logo é possível afirmar que o decimento radioativo exponencial no desvio, em grande parte, é através das radiações  $\alpha$ .

- Desta forma, é possível extrapolar o alcance máximo dos partículas α determinando a distância a partir de qual a atividade medida no detector é igual à atividade ambiente determinada na primeira parte da experiência:

$$\ln(A_{\text{amb}}) = -Cd_\alpha + \ln(A_0) \quad (\Rightarrow) \quad d_\alpha = \frac{\ln(A_{\text{amb}}) - \ln(A_0)}{-C}$$

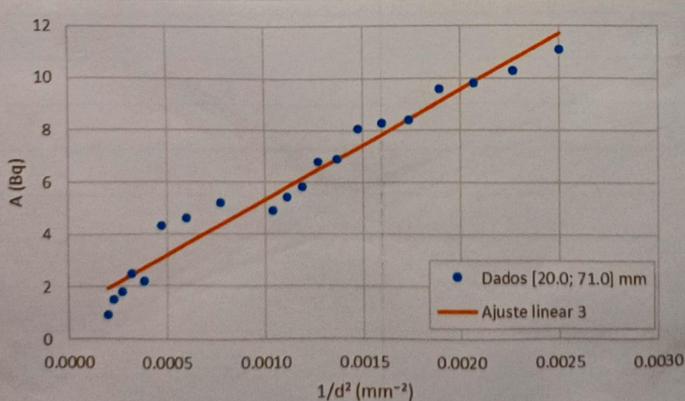
e em termos do declínio de atividade na origem do ajuste 2,

$$d_\alpha = \frac{\ln(A_{\text{amb}}) - b}{m} = (57,5 \pm 1,3) \text{ mm}$$

- Não é possível obter um valor de referência para  $d_\alpha$ , devido que não é possível saber a idade da fonte ou o isótopo com o decaimento mais predominante de cedea de Rádio-226. Assim assim, este valor de alcance tem provavelmente erro muito excessivo, devido à influência de atenuação das partículas β nos pontos utilizados para o ajuste.

- A radiação γ, como é eletromagnética, tem um maior alcance do que as partículas α e β, sendo o único tipo de radiação cuja atividade é proporcional ao inverso do quadrado da distância d. Assim sendo, realizou-se um ajuste linear com boa qualidade quando as relações finais de distância ( $\geq 20 \text{ mm}$ ), onde tecnicamente a atividade já não é predominantemente influenciada por α e β.

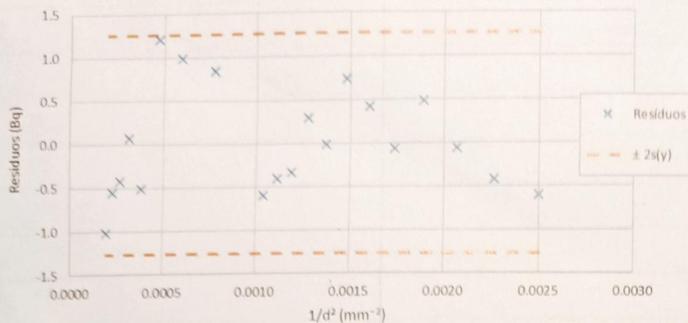
Atividade em função do inverso do quadrado da distância - ajuste 3



Parâmetros ajuste 3

m	4253	1.1	b
u(m)	201	0.3	u(b)
r²	0.96	0.63	s(y)

## Resíduos - ajuste 3



- Seria esperado que  $B = A_{amb}$ ; no entanto, isto não se verifica. Calculando a atividade total de fonte a partir do declínio:

$$m = \frac{A_t S_{det}}{4\pi} \Rightarrow A_t = \frac{4\pi m}{S_{det}} = (842 \pm 40) Bq$$

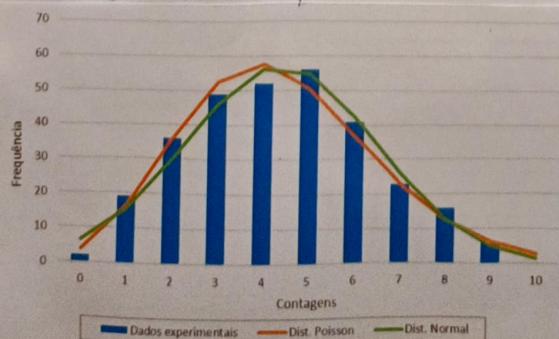
- A atividade nominal de fonte é de  $3KBq$ , logo os valores calculados têm um erro por defeito de 72%. Os resíduos apresentam tendências lineares e parabólicas, logo o registo de dados entre maiores intervalos de distância, a partir de 30 mm, evidenciam ainda mais a alteridade da decaimento radioativo, diminuindo a qualidade do ajuste. Além disso, este ajuste poderia ainda ter em conta a atividade das partículas alfa e beta. Por isso, não foi possível relacionar a atividade da fonte com o inverso do quadrado da distância ao detector.

## ④ Estudo da decaimento radioativo $^{238}U - ^{234}Pa$

### Decaimento de substâncias mãe - $^{238}U$

- Realizou-se uma análise idêntica à do radioativo ambiente na primeira parte da experiência, obtendo-se  $M_{máximo} = 4,4 \pm 0,1$

Contagens com radioativo "ambiente" ( $n = 300$  medidas)



- Seria esperado que a dist. de Poisson se adequasse às contagens registradas, visto que há atividade baixa; contudo, verifica-se desacordo da mesma com o pico de maior frequência, salientando a instabilidade do decaimento radioativo. Calcular -n a atividade da substância mãe:

$$A_{\text{mármio}} = (1,46 \pm 0,04) \text{ Bq}$$

### Decaimento da substância mãe - $^{234}\text{Pa}$

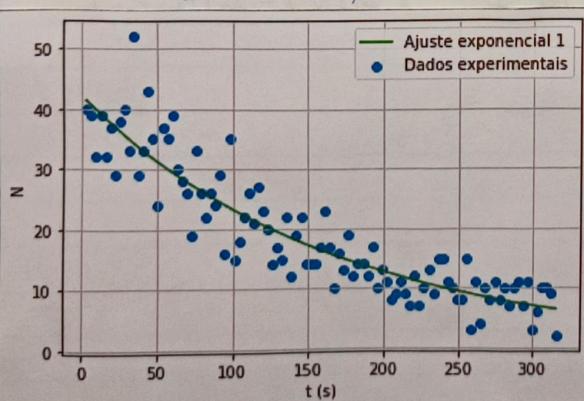
- Dadas as contagens em função do tempo registrados, tentarão estes inferir tiverem para valores correspondentes à atividade de  $^{238}\text{U}$ , pelo que o ajuste mais adequado será de forma:

$$N = N_0 e^{-ct} + D$$

onde  $c = 1/\tau$  e  $D$ , neste caso, corresponde ao valor médio de contagens da substância mãe,  $M_{\text{mármio}}$ .

- Dado que este ajuste não é possível de fazer em Excel, recorrer -n à função curve-fit() de Python, obtendo graficamente:

### Contagens em função do tempo - ajuste 1



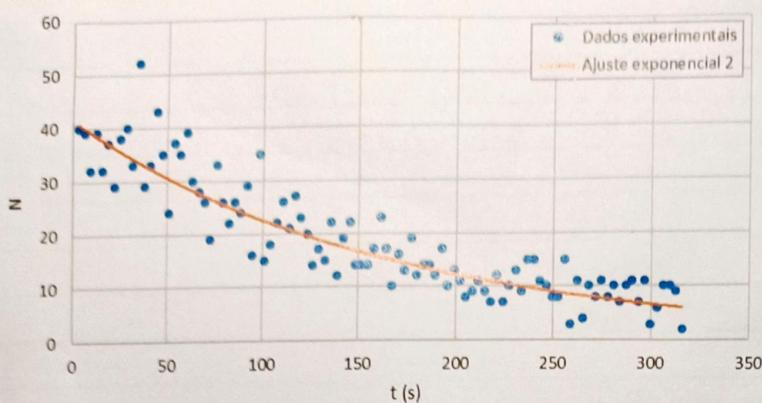
Parâmetros ajuste 1:

$$\begin{aligned} N_0 &= 42 \pm 3 \\ c &= 0,006 \pm 0,001 \\ D &= (0,06 \pm 3) \end{aligned}$$

- É clara que a constante  $D$  não foi determinada com precisão, e o seu valor também não está próximo da  $M_{\text{mármio}}$ . Assim, decidir -n realizar um ajuste em Excel da forma:

$$N = N_0 e^{-ct}$$

## Contagem no fundo do tempo - ajuste 2



Parâmetros do ajuste 2:

$$N_0 = 41,5 \pm 0,1$$

$$C = 0,0061 \pm 0,0003$$

- Observando os parâmetros, estes têm mais precisão comparativamente ao ajuste 1, pelo que foi o ajuste 2 escolhido para determinar o tempo de半衰期 da protactínio - 234

$$\tau = \frac{1}{C} = (164 \pm 9) \text{ s} \Rightarrow T_{1/2} = (1,893 \pm 0,104) \text{ min}$$

↓  
erro por excesso de 61%.

- Este erro poderia ser justificado por alguns problemas de calibração no detector ou algum efeito sistemático na montagem em geral; contudo, é mais provável que se deva ao tempo de amostragem de fonte. Para analisar este fato, determinar - m o instante a partir do qual a atividade de fonte m igual à atividade do Urânio - 238 :

$$\ln \left( \frac{M_{\text{urânio}}}{M_{\text{urânio}}^0} \right) = - C t_{\text{urânio}} + \ln (N_0) \Leftrightarrow t_{\text{urânio}} = \frac{\ln (N_0) - \ln (M_{\text{urânio}})}{C}$$

$$= (368,57 \pm 20,74) \text{ s}$$

- Este resultado indica que o último tempo registrado (315,71 s) por 1h%, e mesmo tendo um erro de incerteza de 6%, conclui - m que as contagens deviam ter sido realizadas durante pelo menos mais 30 segundos de modo a que o ajuste 2 m adequado aos dados, sendo provável que o ajuste 1 (com a constante) também tivesse maior qualidade, determinando - m  $T_{1/2}$  com mais exatidão.

## EQUAÇÕES DE INCERTEZA

$$u(m) = \frac{\sigma}{\sqrt{m}} \rightarrow \text{desvio-padrão dos contágios}$$

$\hookrightarrow m^a$  de medidas

$$u(d_\alpha) = \sqrt{\left(\frac{u(b)}{m}\right)^2 + \left(\frac{u(A_{amb})}{m \cdot A_{amb}}\right)^2 + \left(-\frac{\ln(A_{amb}) - b \cdot u(m)}{m^2}\right)^2}$$

$$u(A_t) = \frac{\sqrt{t}}{S_{dat}} \cdot u(m)$$

$$u(\tau) = \frac{u(c)}{c^2}$$

$$u(T_{1/2}) = \ln(2) \cdot u(\tau)$$

$$u(t_{máx}) = \sqrt{\left(\frac{u(N_b)}{N_b c}\right)^2 + \left(-\frac{u(M_{máx})}{M_{máx} \cdot c}\right)^2 + \left(-\frac{\ln(N_b) - \ln(M_{máx}) \cdot u(c)}{c^2}\right)^2}$$

## CONCLUSÃO

- Conclui-se que a dist. de Poisson é a mais adequada para caracterizar atividade baixa (como a radiação ambiental), isto é, contágios maioritariamente inferiores a 10. A dist. Normal é a melhor para descrever atividade alta (contágios maioritariamente superiores a 80), sendo que a dist. Poisson não apresenta diferenças muito significativas.
- Observa-se que com o aumento do  $m^a$  de medidas  $m$ , aumenta a simetria das distribuições (para atividade baixa, apesar da dist. de Poisson) e aumenta também a proximidade entre os valores médios de eventos  $M$  e atividade de fonte  $A$ , ou seja, estes valores convergem para valores limites (ou valores esperados).
- Verifica-se que, inicialmente, com o aumento da distância da fonte ao detector, a atividade diminui exponencialmente e determina-se o alcance máximo desse fator, o qual é  $d_a = (57,5 \pm 13) \text{ mm}$  (incerteza de 2%), o qual, ainda que não compareça a um valor de referência, sólido provavelmente supera as valora real devido à influência da atividade  $B$ .

- Calculou - se o atínded total de fonte  $^{226}\text{Ra}$  com ero de 72%, logo més n comprava que e a atínded de i distormento proporcional ao inverso do quadrado de distância ao detector
- Determinou - se o tempo de半衰期 da  $^{234}\text{Pa}$  com  $T_{1/2} = (1,893 \pm 0,104)$  min. mintergo de 6%, e ero de 61%, e comprava - se que , apesar de possibilidade de existencia de algum problema de calibragem, este era més provavelmente causado pelo facto de que as conteguas demoram a ser contadas durante pelo menos mais 30 segundos.