



# Efeito Fotoelétrico

Profa Rosangela Itri

Parte Experimental

Setembro 2023

# Parte Experimental:

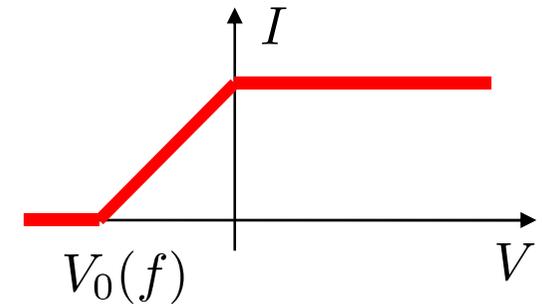
- Verificar as observações de Lenard
- Verificar a previsão de Einstein, e determinar o valor da constante de Planck
- Medir a função trabalho da válvula fotoelétrica



## O que será feito?

- Para várias radiações de comprimentos de onda diferentes (e portanto frequências diferentes) iremos construir a curva ( $I \times V$ ) de uma válvula fotoelétrica.
- Destas curvas será obtido o potencial de corte  $V_0$  em função de  $f$ .
- Ajuste de reta para encontrar a constante de Planck.

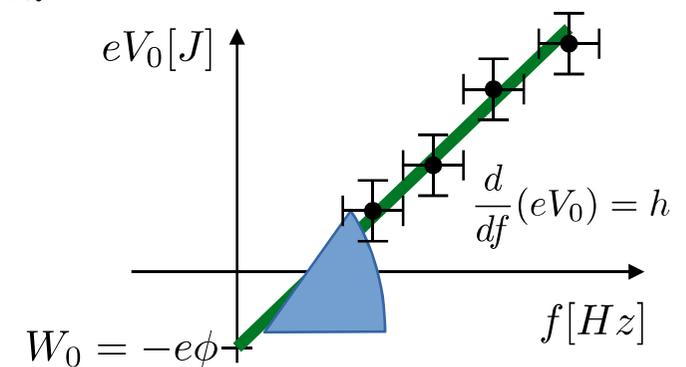
Curva ( $I \times V$ )



$$eV_0 = hf - e\phi$$

Ajuste de reta  $\longrightarrow y = ax + b$

The diagram shows the equation  $eV_0 = hf - e\phi$  with arrows pointing from  $hf$  to  $ax$  and from  $-e\phi$  to  $b$  in the linear equation  $y = ax + b$ .



Lembre que:  $c = \lambda f$

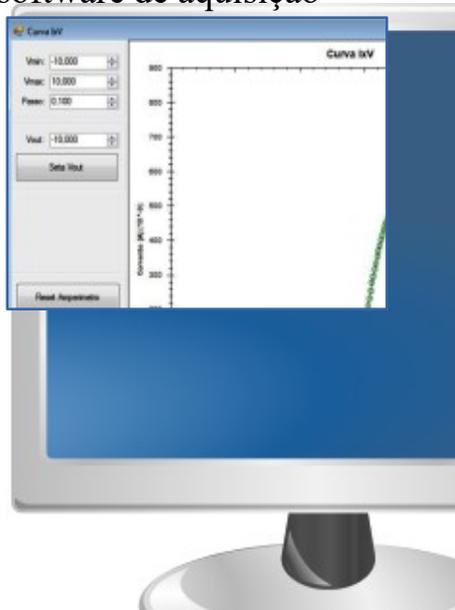
- $f$  : Frequência da radiação eletromagnética
- $\lambda$  : Comprimento de onda da radiação
- $c$  : Velocidade da luz no vácuo

# Aparato Experimental :

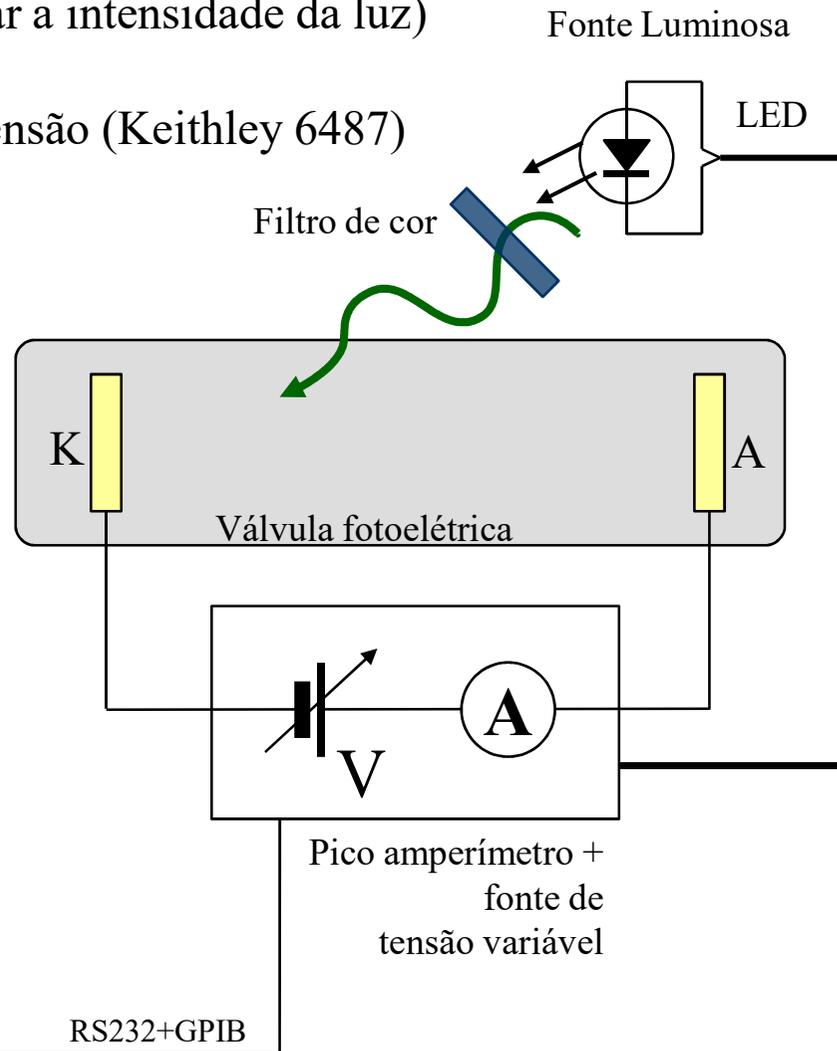
- Fonte de luz: Leds coloridos
- Gerador de funções (controlar a intensidade da luz)
- Focélula (Centron 1P39)
- Pico amperímetro/fonte de tensão (Keithley 6487)



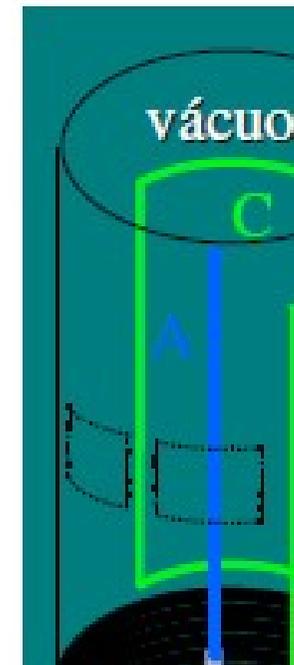
Computador +  
software de aquisição



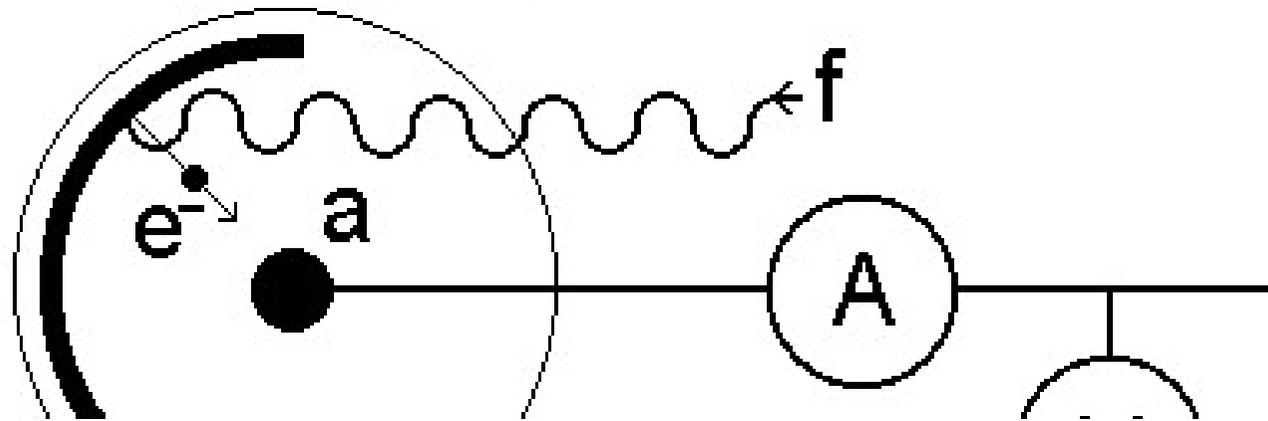
ProKeithley



# Fotocélula



# Fotocélula



**a = anodo**

**c = catodo**

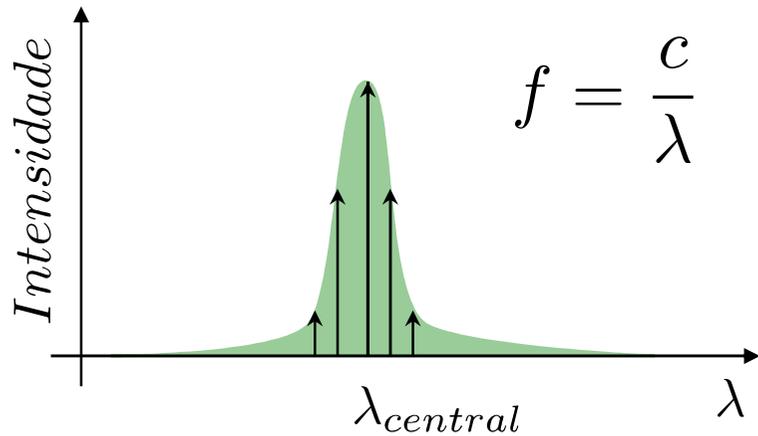


# Curvas Experimentais: (Spoiler)

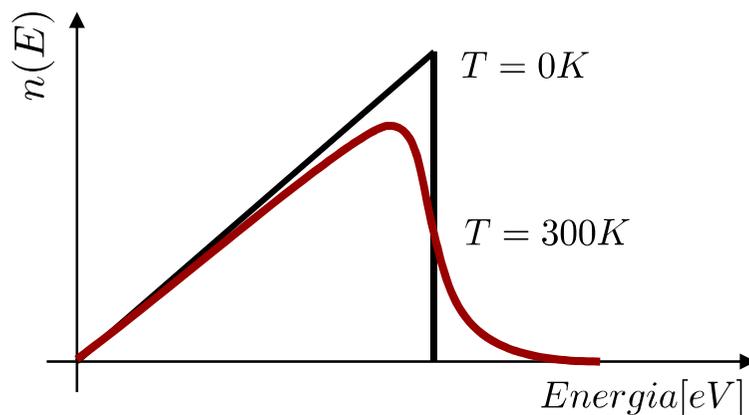
Qual o efeito da largura espectral e da Temperatura?

$$eV_0 = hf - e\phi$$

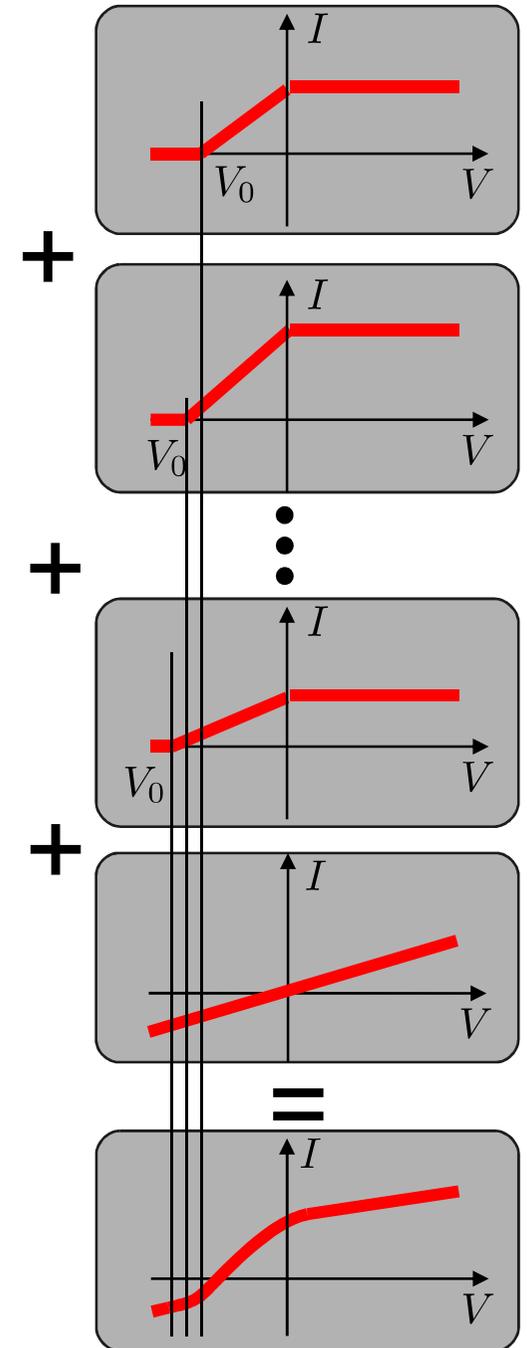
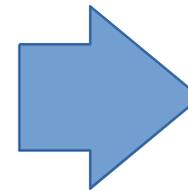
*Dispersão da intensidade luminosa em função do comprimento de onda*



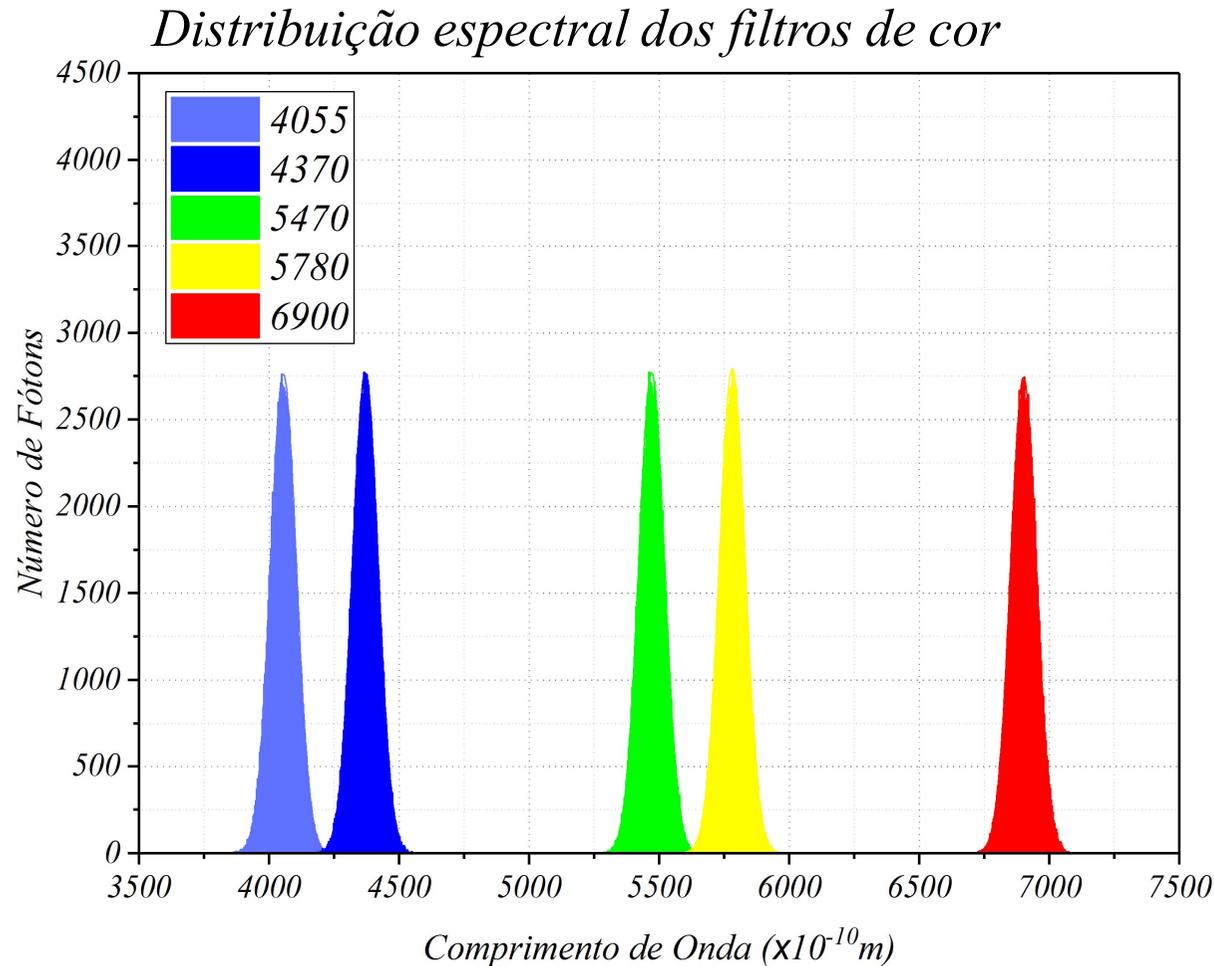
*Distribuição térmica de energias dos elétrons “livres” em um metal*



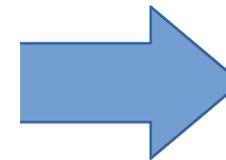
A. L. Hughes, L. A. DuBridge, Photoelectric Phenomena, McGraw-Hill, New York, 1932, Ch1-2, p1-37



# Filtros (aproximadamente) monocromáticos:



**Dados de emissão dos LEDs  
Se encontram na página  
Da disciplina – talvez os  
LEDs atuais tenham emissão  
em comprimentos  
de onda máximos  
ligeiramente diferentes -  
CHECAR**



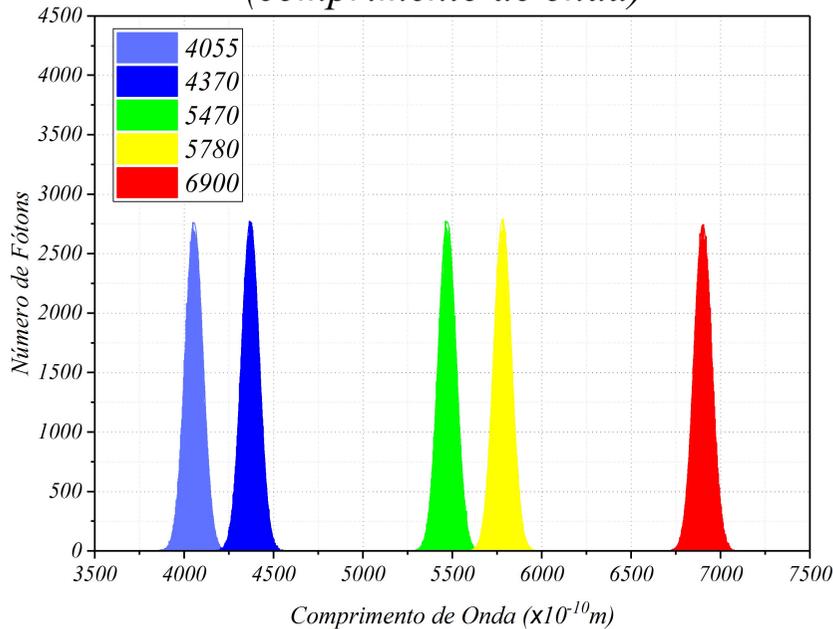
$$f = \frac{c}{\lambda}$$

O que acontece quando converte de comprimento de onda para frequência?

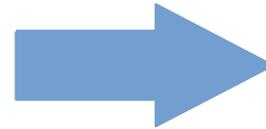
# No domínio das frequências:

$$(\lambda \pm \sigma_\lambda) \longrightarrow (f \pm \sigma_f)$$

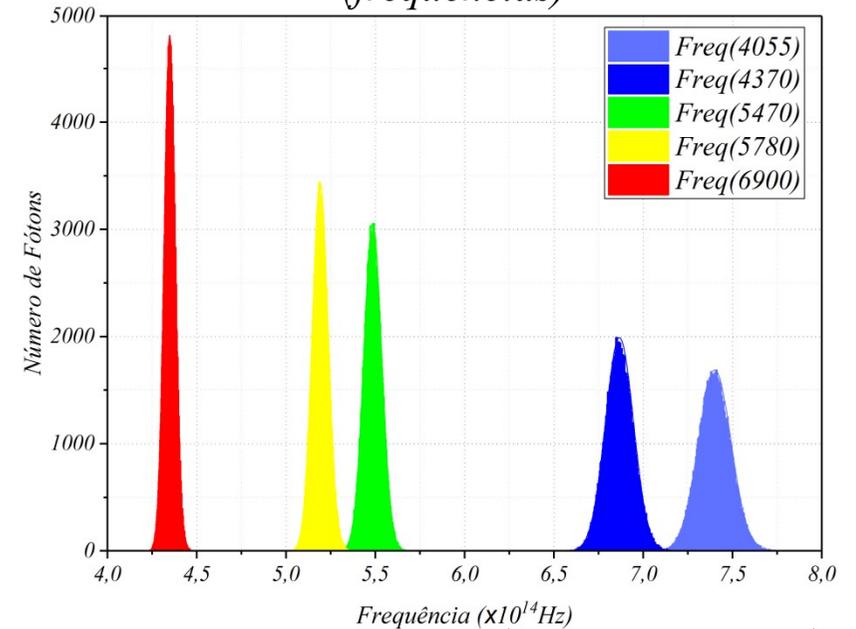
*Distribuição espectral dos filtros de cor  
(comprimento de onda)*



$$f = \frac{c}{\lambda}$$



*Distribuição espectral dos filtros de cor  
(frequências)*

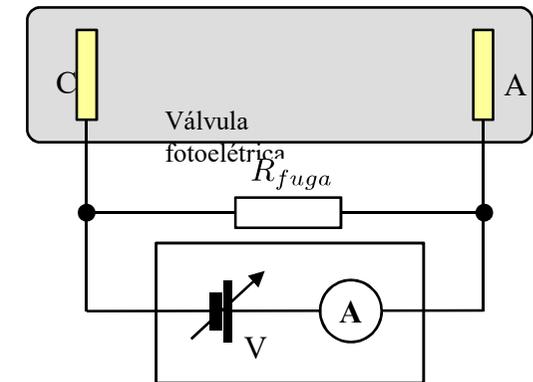
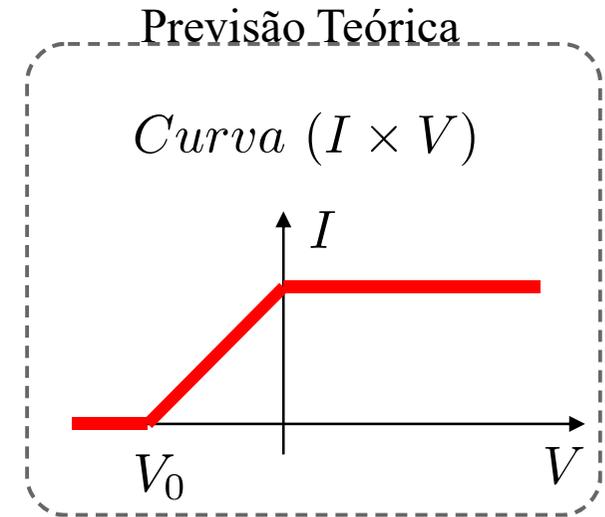
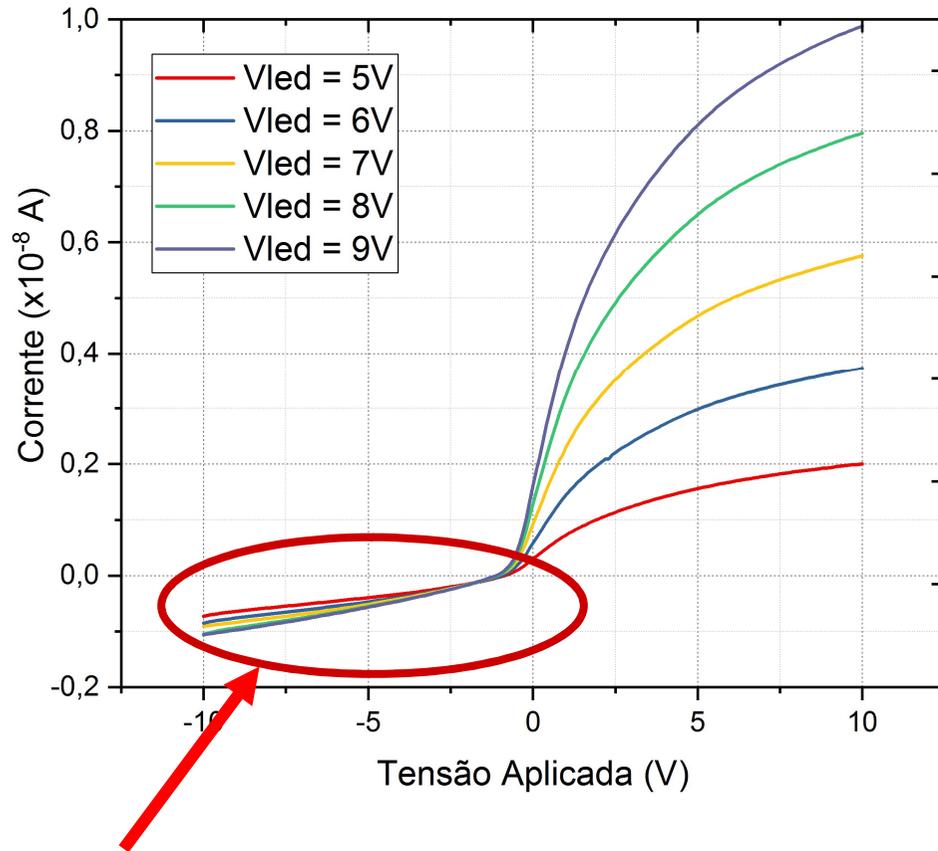


$$\sigma_f^2 = \left( \frac{df}{d\lambda} \right)^2 \sigma_\lambda^2 \longrightarrow \sigma_f = \frac{c}{\lambda^2} \sigma_\lambda$$

Alargamento dos picos não é igual!

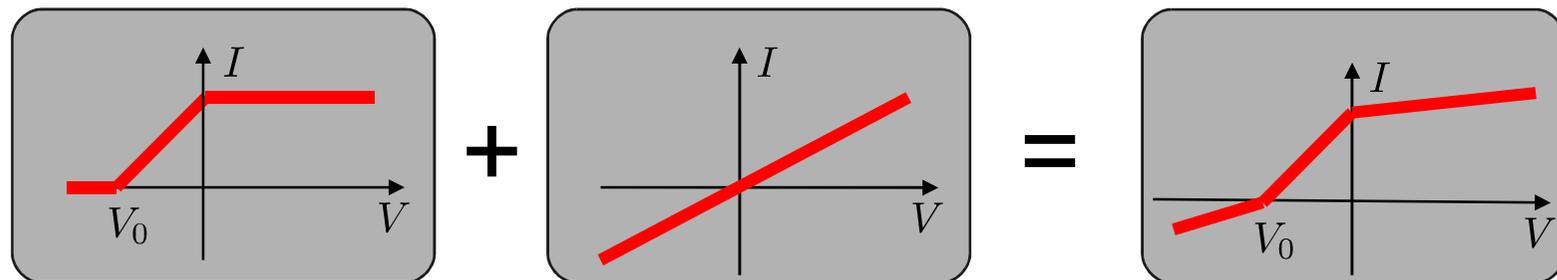
**Note que sigma representa uma quantidade física (largura da banda espectral) e não somente uma incerteza.**

# Curvas Experimentais: (Spoiler)

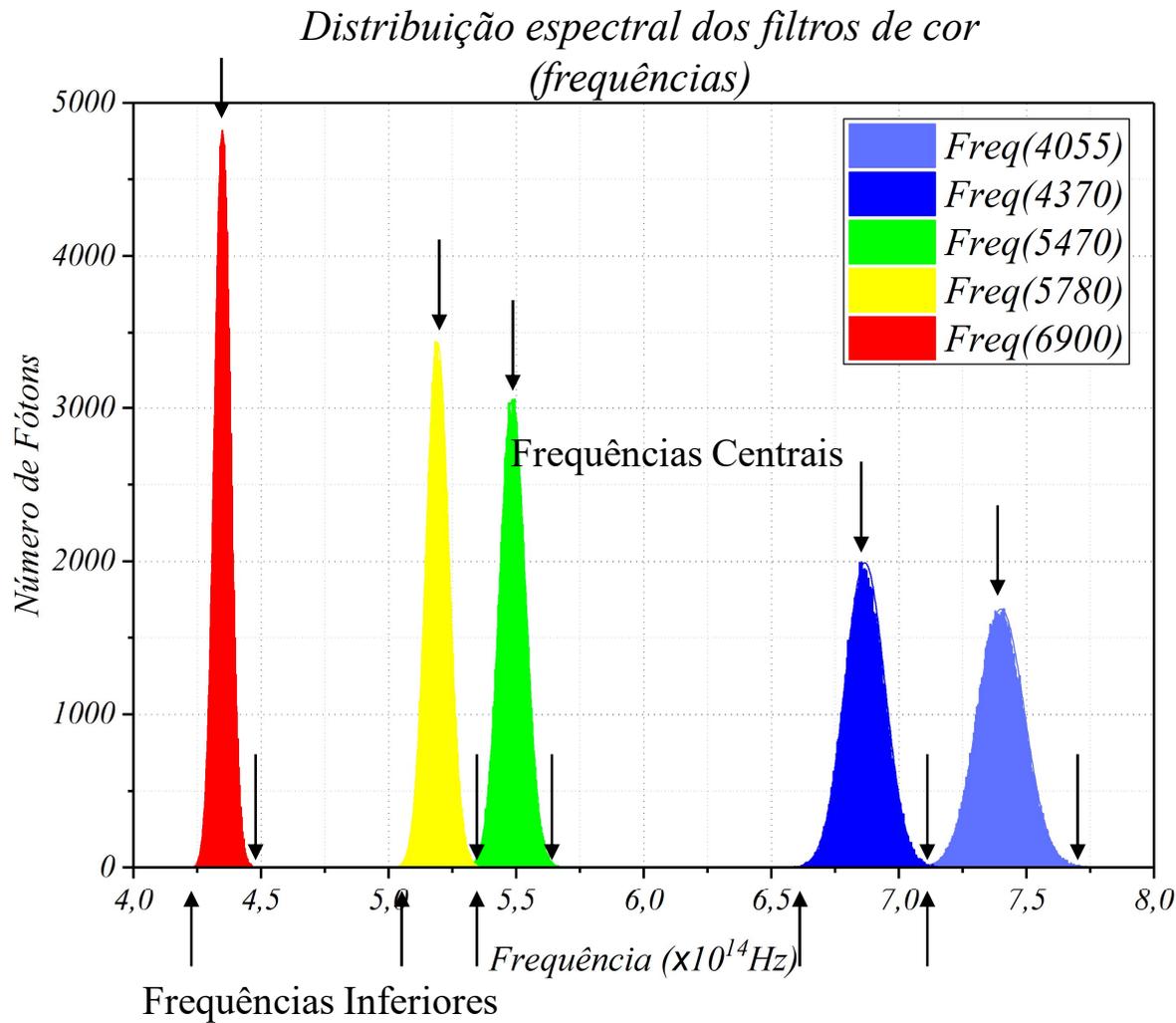


A corrente não vai a Zero!

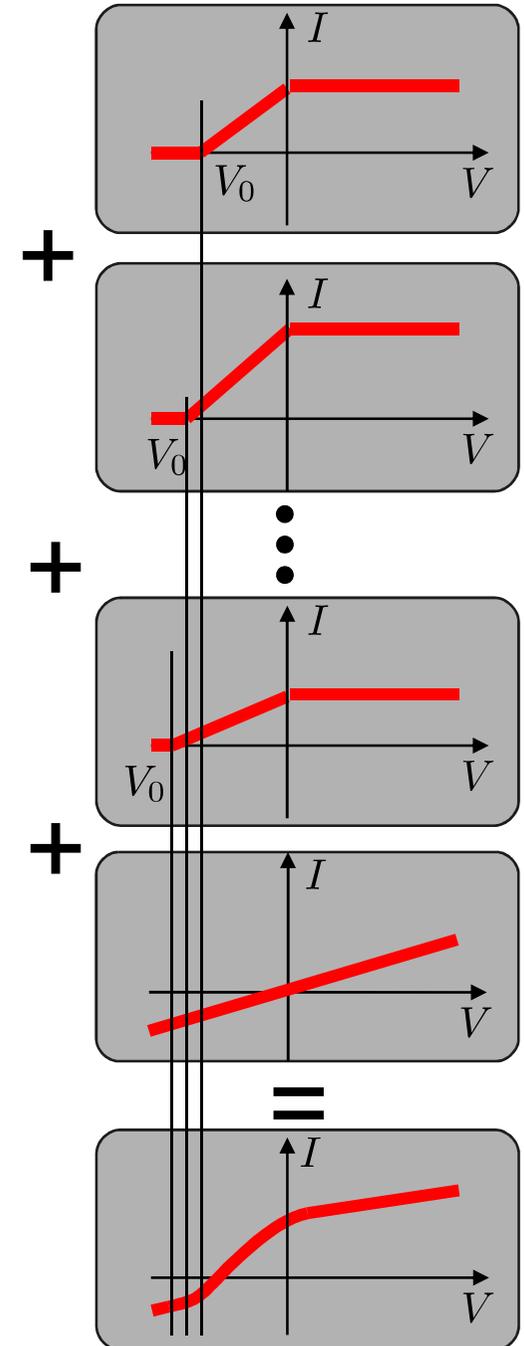
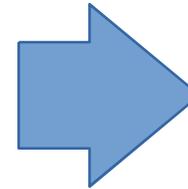
- Iluminação parasita (de outras fontes)
- Correntes de fuga no circuito
- Efeito fotoelétrico no ânodo



# Todas as frequências dentro da banda causam efeito:



$$eV_0 = hf - e\phi$$



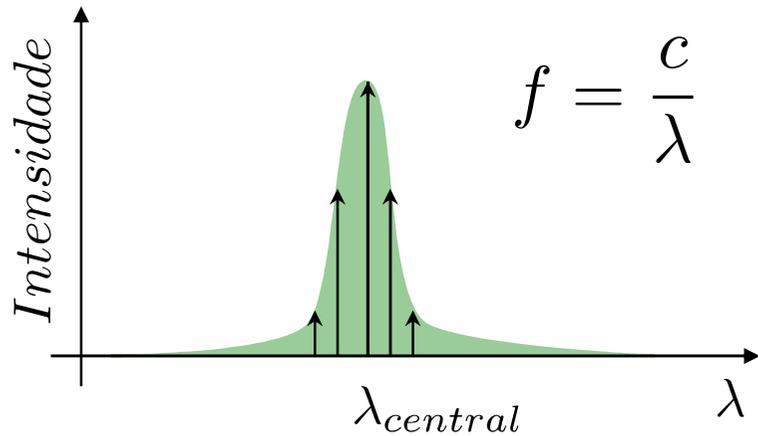
Qual frequência dentro da banda do filtro você deve utilizar nos ajustes  $V_0 \times f$  ?

# Curvas Experimentais: (Spoiler)

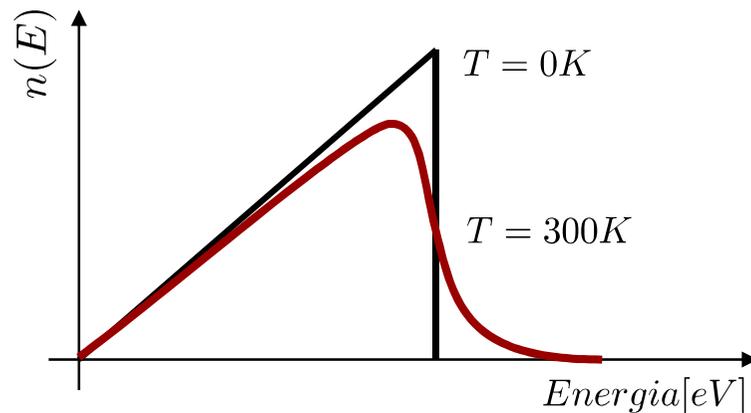
Qual o efeito da largura espectral e da Temperatura?

$$eV_0 = hf - e\phi$$

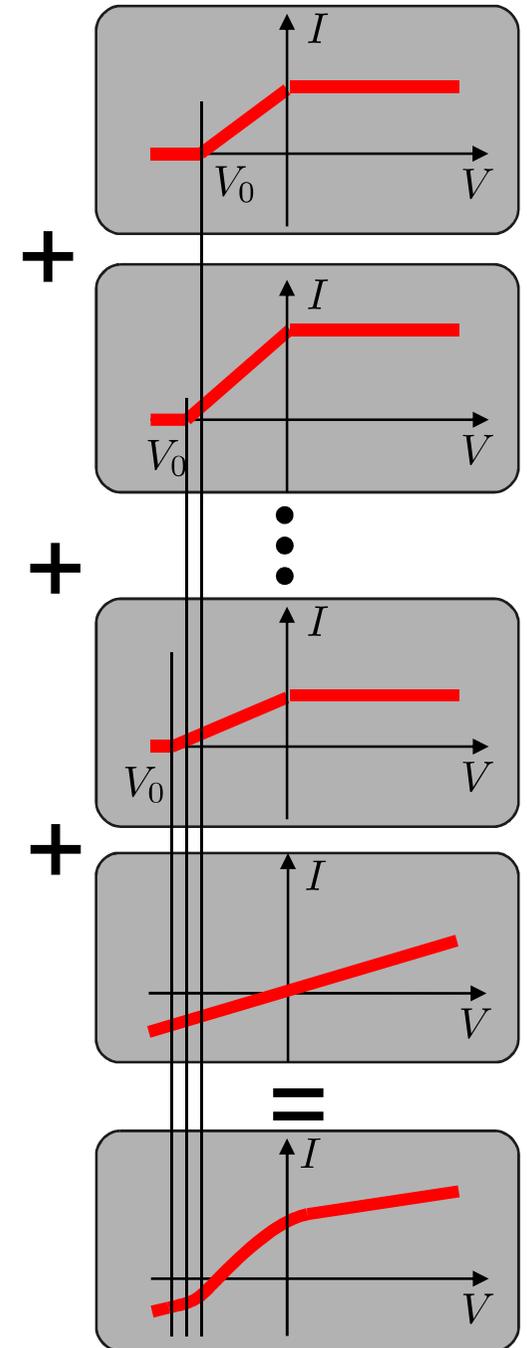
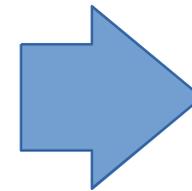
*Dispersão da intensidade luminosa em função do comprimento de onda*



*Distribuição térmica de energias dos elétrons “livres” em um metal*



A. L. Hughes, L. A. DuBridge, Photoelectric Phenomena, McGraw-Hill, New York, 1932, Ch1-2, p1-37



# Detalhes do Programa de Aquisição:

Ajustes dos limites de tensão da rampa e resolução

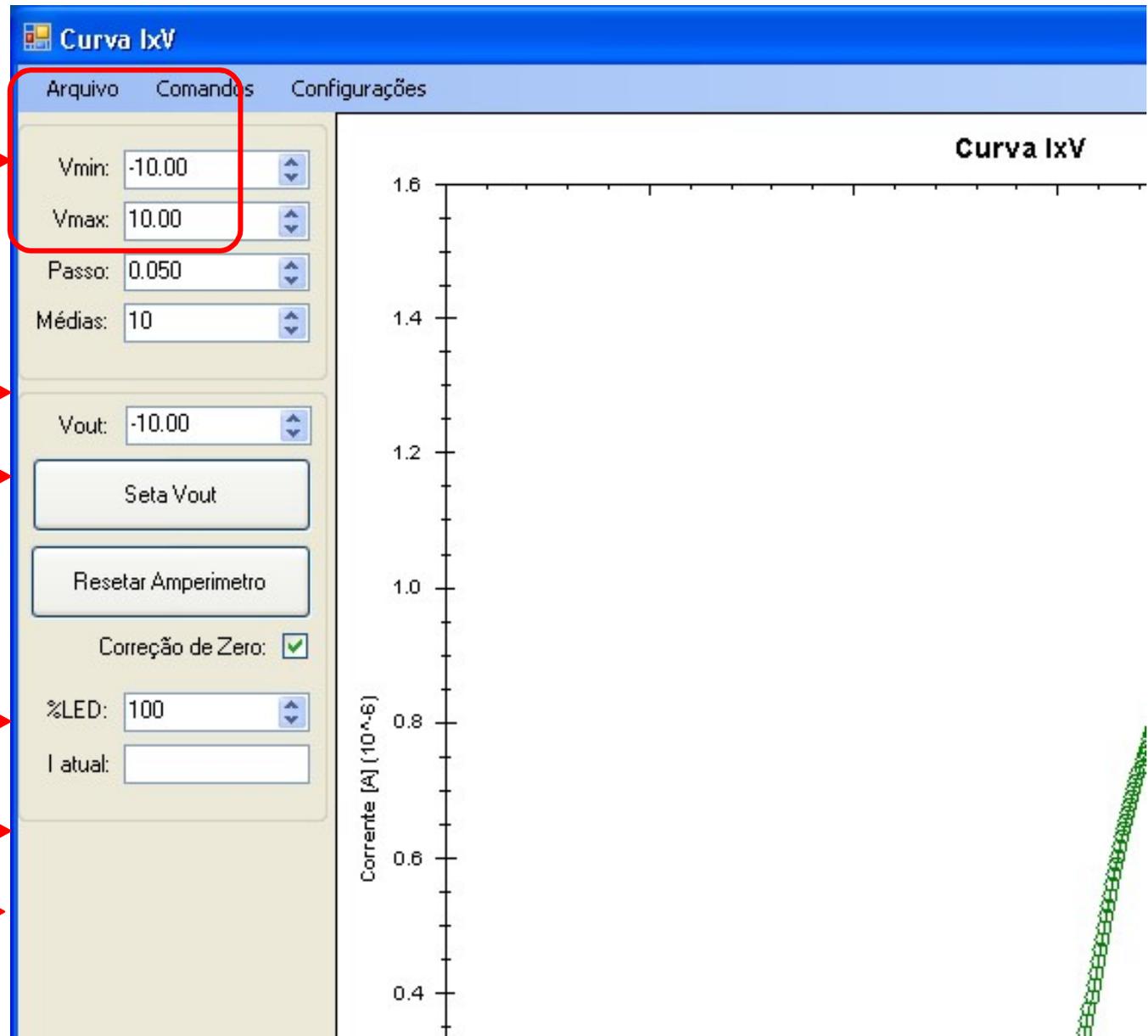
**Neste experimento:**  
**-3 V a 5 V, passo 0,05 V**

Reset do Picoamperímetro

Ajuste de intensidade do LED

**Rampa Lenta**  
(faz médias por ponto): 10

Rampa rápida  
(leitura única por ponto)



**Resete o Pico-amperímetro com a iluminação desligada.**

# Procedimentos

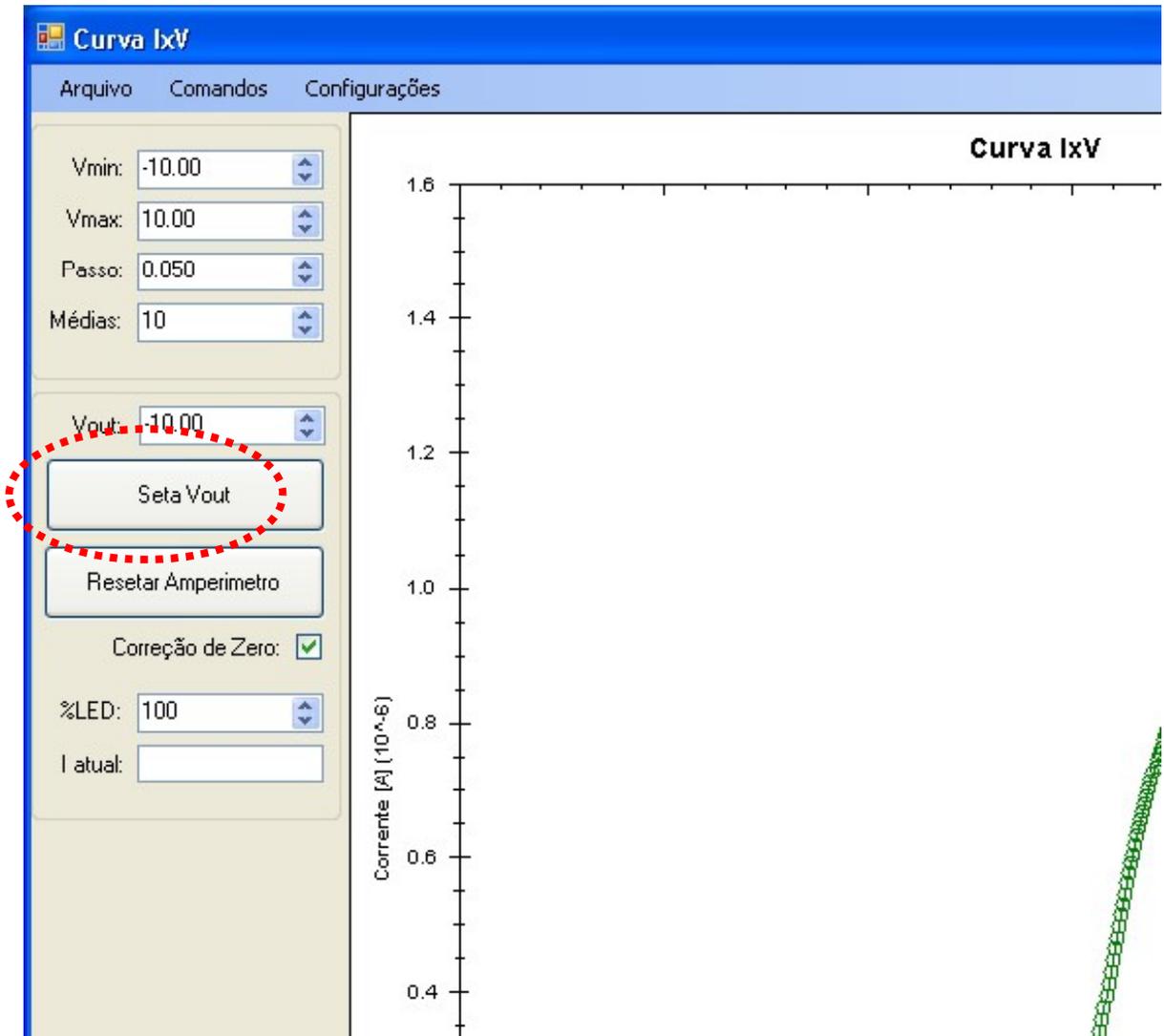
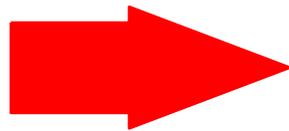
- 1) Ligue todos os equipamentos (pico amperímetro, gerador de funções, computador) e abra o programa de aquisição do pico amperímetro / fonte de tensão (ProKeithley).
- 2) Resete o pico-amperímetro: com a iluminação desligada. Pressione o botão “Reset Pico-amperímetro”.
- 3) **Adquira as curvas  $I \times V$  para diversas intensidades luminosas (%LED) de 20%, 40%, 60%, 80% e 100%. Utilize a resolução de tensão no programa ProKeithley de 0.05V e façam uma rampa lenta de -3 V a 5 V (média de 5 medidas cada ponto)**
- 4) Repita o procedimento para os demais LEDs
- 5) Adquira a curva  $I \times V$  com a LED desligado, e outra curva com a fenda da fotocélula totalmente tampada.

Essa corrente medida é comparável com a corrente de fundo obtida com a lâmpada ligada?

# Detalhes do Programa de Aquisição:

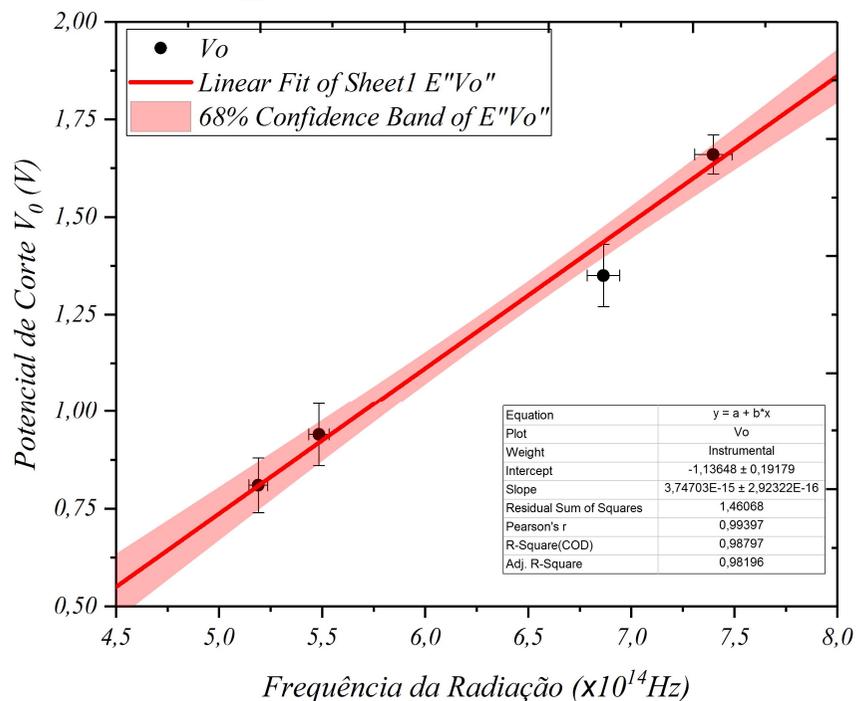
Um detalhe: Confiram se as “configurações regionais” do Windows está setada para “Inglês dos Estados Unidos”.

Ajuste de intensidade  
do LED  
(segunda semana)



Não precisa desligar o LED no instante do RESET do pico-amperímetro!  
O programa é legal e faz isso para você!

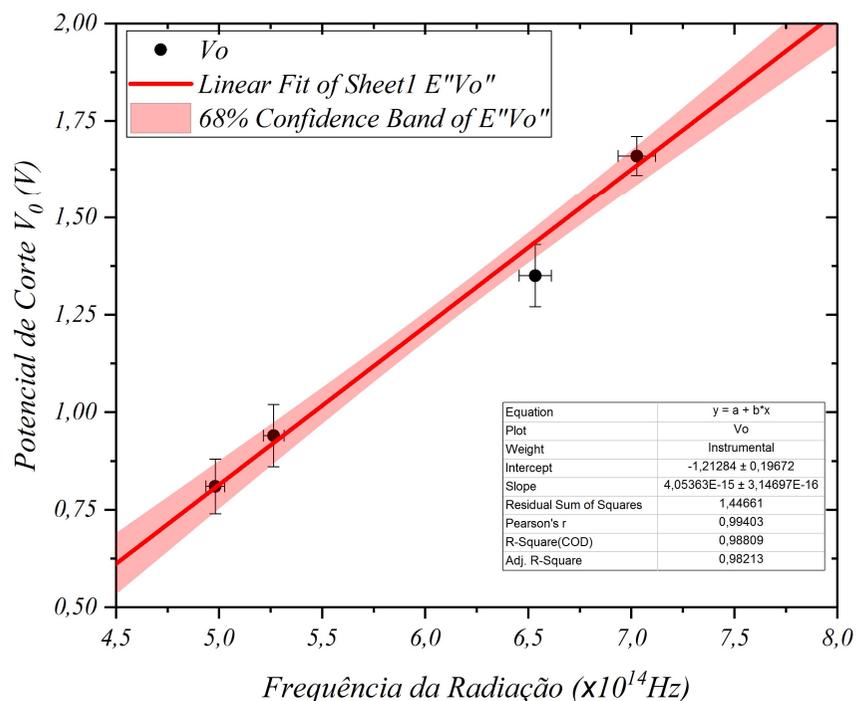
# Exemplos de resultados:



Sem compensação da frequência  
(*erro* = 10%)

$$h = (3,75 \pm 0,29) \times 10^{-15} (eV \cdot s)$$

$$\phi = (-1,14 \pm 0,19)(eV)$$



Com compensação da frequência  
(*erro* = 2%)

$$h = (4,05 \pm 0,31) \times 10^{-15} (eV \cdot s)$$

$$\phi = (-1,21 \pm 0,19)(eV)$$

Valores esperados:

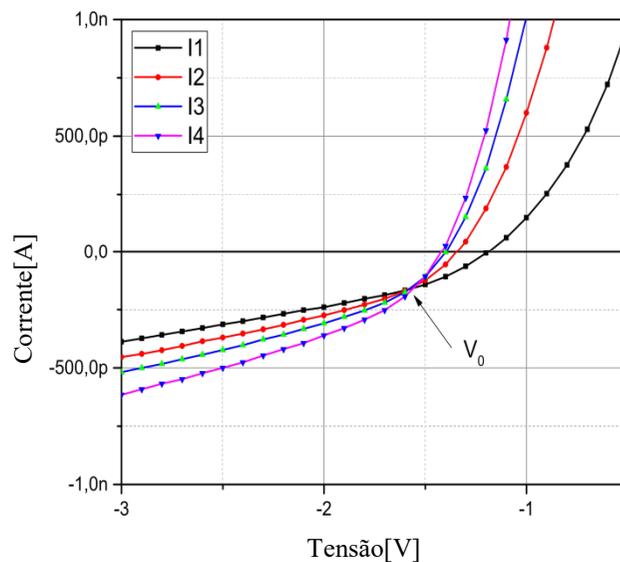
$$h = 4,13 \times 10^{-15} (eV \cdot s)$$

$$\phi = -1,36(eV)$$

# Métodos de Análise dos Dados

**Objetivo:** encontrar o potencial de corte  $V_0$  para cada uma das frequências da radiação incidente

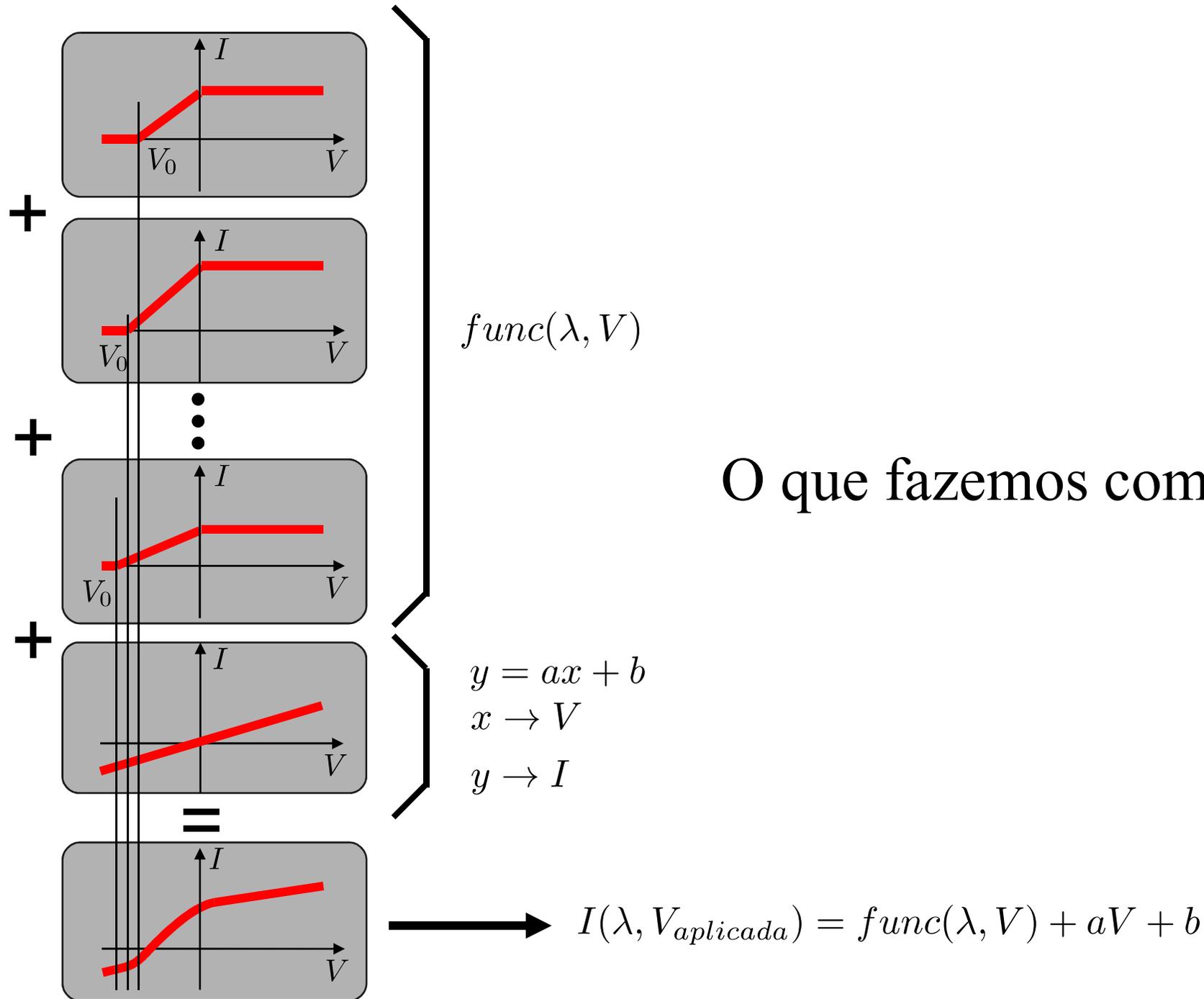
Método das intensidades



**Potencial de corte independe da intensidade da radiação!**

**Então o ponto de intersecção das curvas é uma boa estimativa do potencial de corte**

# Outro método para determinação de $V_0$ :



# Outro método para determinação de $V_0$ :

$$I(V_{aplicada}) = func(\lambda, V) + aV + b$$

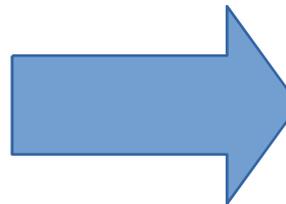
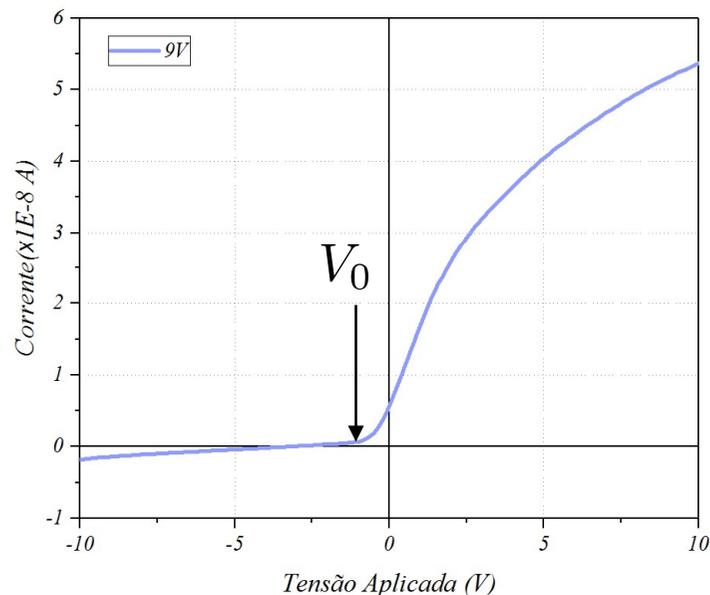
$$\frac{dI(V_{aplicada})}{dV} = \frac{dfunc(\lambda, V)}{dV} + a$$

Corrente de fundo

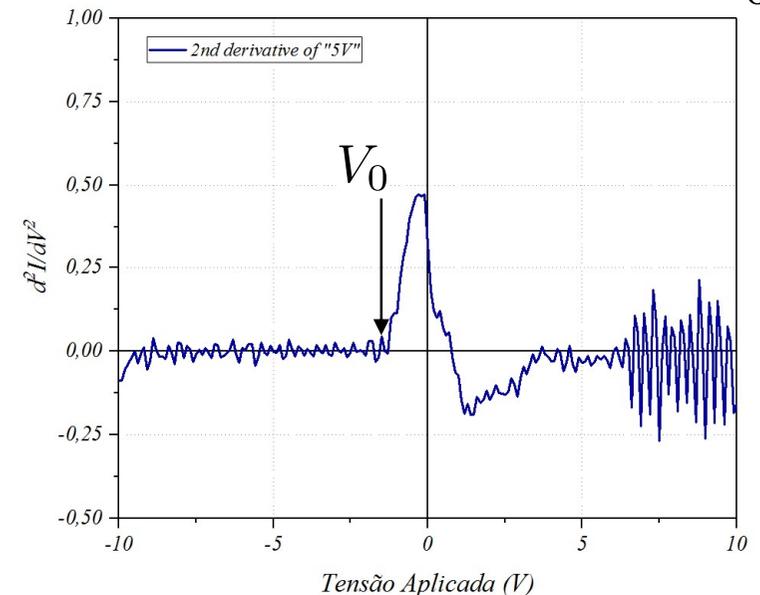
$$\frac{d^2 I(V_{aplicada})}{dV^2} = \frac{d^2 func(\lambda, V)}{dV^2}$$

Eliminamos a parcela da corrente relativa à corrente de fundo.

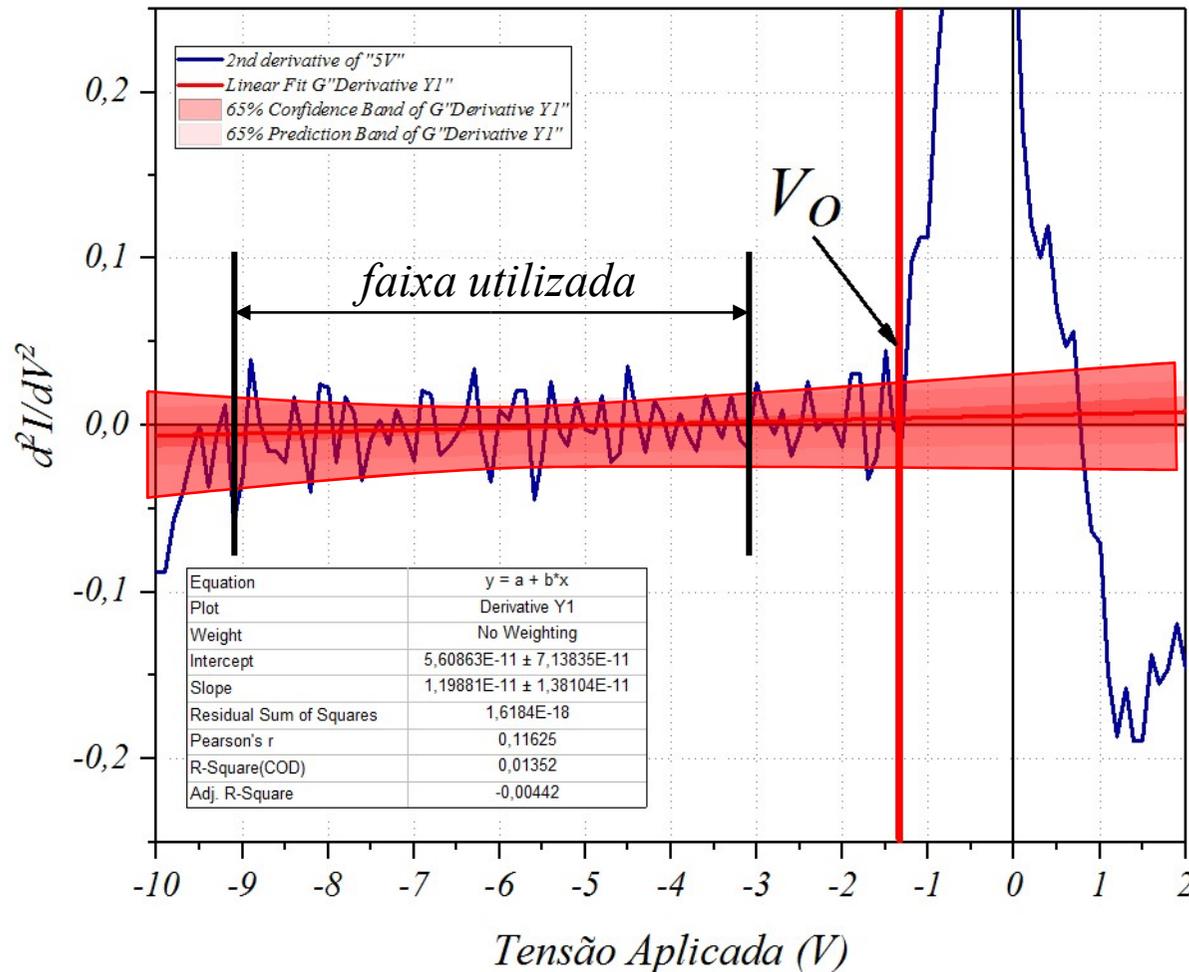
Fazemos isso numericamente, utilizando o Origin:



Qual o critério para escolher o  $V_0$  ??



# $V_0$ é tomado como o primeiro ponto fora da reta ajustada:



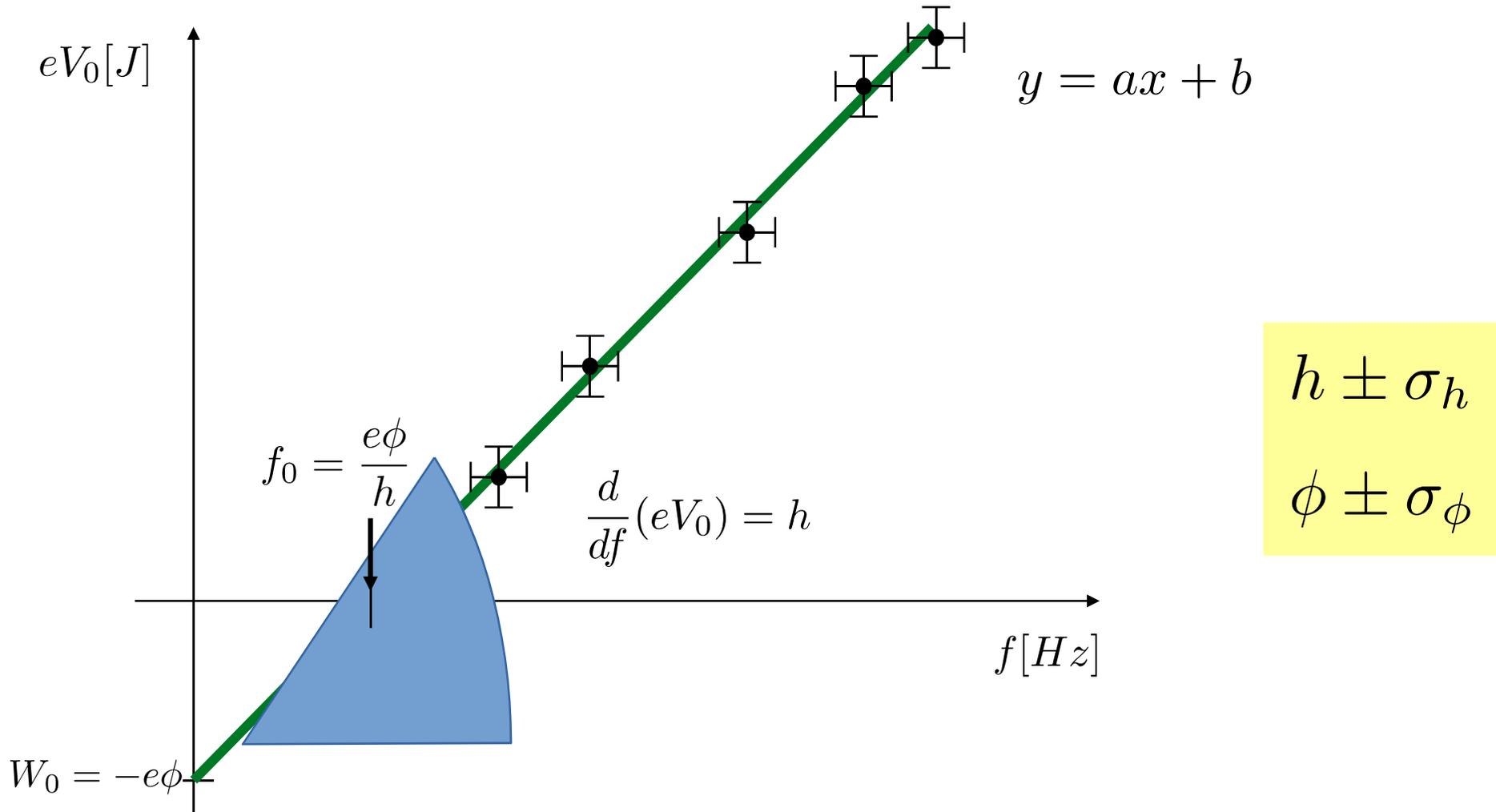
Ajustamos uma reta na região em torno de zero  
Incluimos no Ajuste o intervalo de confiança de 68%.  
Consideramos o  $V_0$  como o primeiro ponto fora da zona de confiança da reta.

Usando o Origin podemos fazer o procedimento de forma simples

**Problema: Muito sensível a ruídos. Importante ter um bom conjunto de dados**

# Não esqueçam: propagar as incertezas no ajuste

(Compare os resultados dos 2 métodos)



Quais são as unidades de medida naturais deste experimento?  
Os resultados são compatíveis com os valores da literatura?

# Análise de dados e Relatório

Curvas Experimentais ; corrente x tensão para todos comp onda

Gráficos das análises pelos 2 métodos :

1º método: todas as intensidades no mesmo gráfico para cada frequência

2º método (derivada): 100% intensidade para cada frequência

Gráficos dos ajustes  $V_o \times f$  para cada método



Constante de Planck e função trabalho  
Comparação com a literatura

**Bom Trabalho!**