

# Laboratório de Física Moderna

## Efeito Fotoelétrico

### Aula 02

Marcelo Gameiro Munhoz  
[munhoz@if.usp.br](mailto:munhoz@if.usp.br)

# Nossa proposta para este trabalho

- 1º Passo: verificar as observações de Lenard
- 2º passo: verificar a previsão de Einstein

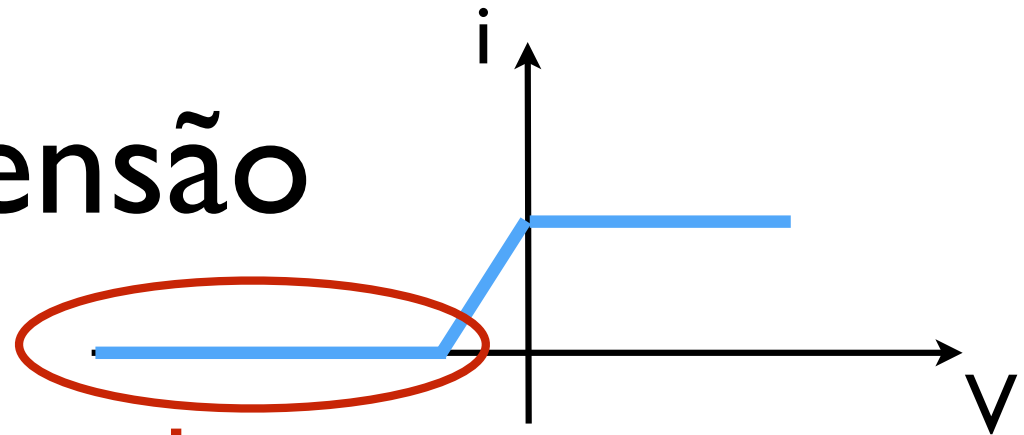
# 1º Passo: verificar as observações de Lenard

- A partir dessas medidas, verificar se a corrente é proporcional à intensidade de luz:
  - para uma determinada frequência de luz incidente e um valor fixo de tensão, o que acontece com a corrente quando diferentes atenuadores são utilizados?
- E verificar se a energia cinética dos elétrons aumenta com a frequência da luz incidente:
  - qual o valor da tensão que zera a corrente do circuito para diferentes frequências de luz?

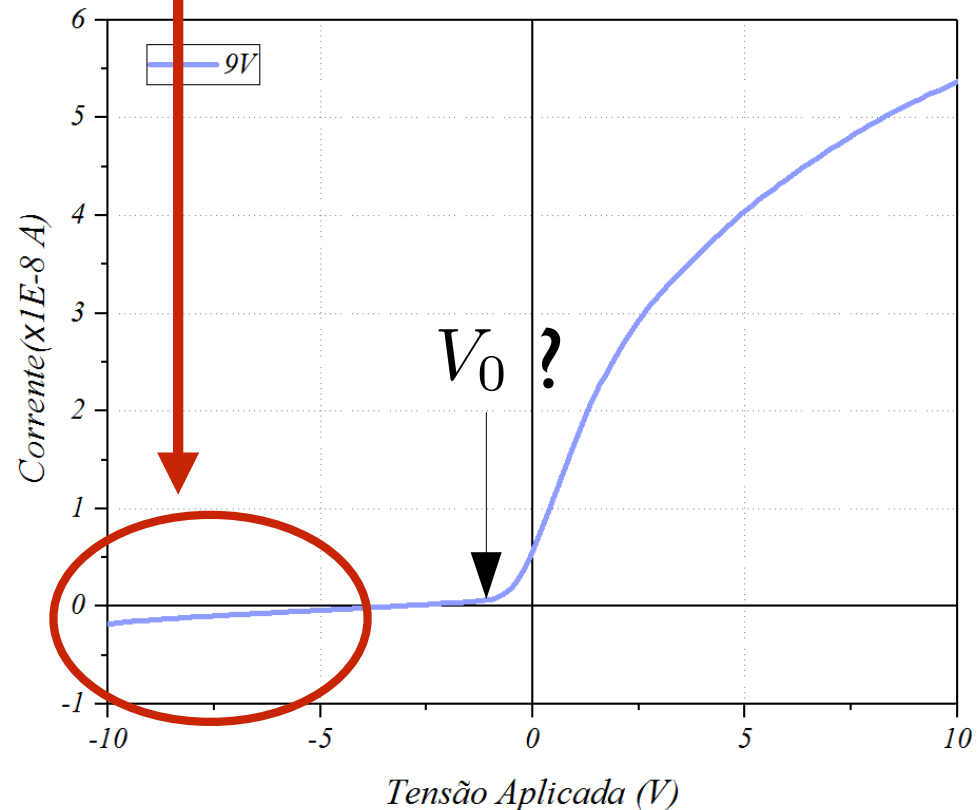
# 2º passo: verificar a previsão de Einstein

- A partir das novas medidas da corrente em função da tensão extrair, de maneira mais precisa, o valor da tensão que zera a corrente ( $V_0$ ) para cada frequência de luz ( $\nu$ )
- Verificar se  $V_0$  é linearmente proporcional a  $\nu$
- Medir a constante de proporcionalidade e verificar se é compatível com a constante de Planck ( $V_0 = h/e \cdot \nu - \phi$ )

# Corrente X Tensão



- Notamos nos dados algo que não era esperado a partir da teoria: a medida de valores negativos de corrente!
- O que isso significa?
- Podemos extrair o  $V_0$  simplesmente observando o valor de tensão onde  $i = 0$  ?

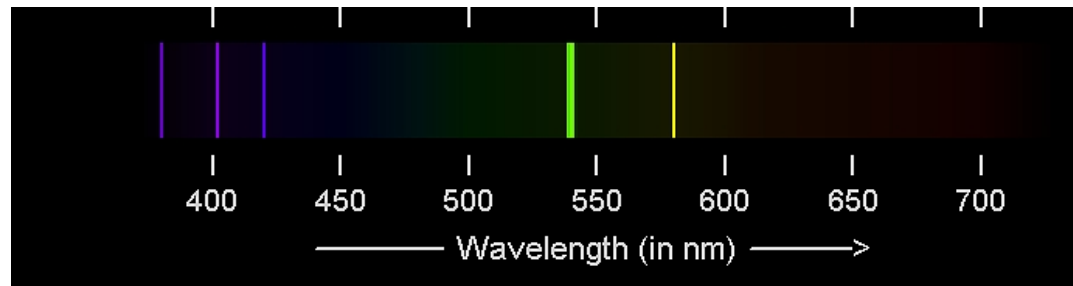


# Medidas Realizadas

- Medidas de corrente em função da tensão para diferentes raias (frequências) de luz e diferentes intensidades (atenuadores colocados no caminho da luz) com valores negativos e positivos de tensão
- Desta vez, limitou-se os valores de tensão para valores próximos àquele que zera a corrente, variando-se a tensão em passos menores de 0,1 em 0,1 V

# Medidas Realizadas

- Incidiu-se sobre a fotocélula, luz monocromática de 6 diferentes frequências:



Cor	Comprimento de onda (nm)
U.V.	365,016
Violeta	404,656
Azul	435.835
Verde	546.075
Amarelo	576.9610, 578.969 (dubleto)
Vermelho	614,950

# Medidas Realizadas

- Para cada comprimento de onda, além da medida sem atenuação (100 %), a luz foi atenuada em 80, 60, 40 e 20%, variando-se assim a intensidade da luz incidente

Cor	Comprimento de onda (nm)
U.V.	365,016
Violeta	404,656
Azul	435.835
Verde	546.075
Amarelo	576.9610, 578.969 (dubleto)
Vermelho	614,950

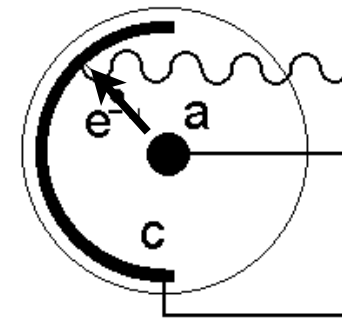


# Medidas Realizadas

- Também foi medido a corrente em função da tensão com a lâmpada de mercúrio desligada e a fotocélula tampada, a fim de se verificar o efeito de fenômenos espúrios (aqueles que não queremos estudar) nas medidas

# A corrente não vai a zero

- Por que medimos uma corrente não nula (e negativa) mesmo com uma tensão acima da energia cinética do elétron?
- Essa corrente de fundo pode ser:
  - corrente devido à luz ambiente
  - corrente devido ao efeito fotoelétrico no anodo
  - corrente de fuga no circuito (não é um capacitor ideal)
- Podemos obter essa corrente de fundo desligando a lâmpada de mercúrio e fazendo a medida, que pode ser subtraída dos dados



# A corrente não diminui abruptamente

- W. W. Roehr, *Physical Review* 44, 866 (1933)
- Os elétrons têm uma distribuição de energia dependente da temperatura dentro do metal, o que faz com que a energia cinética de saída varie para cada elétron
- Como esse efeito pode influenciar o resultado da análise?

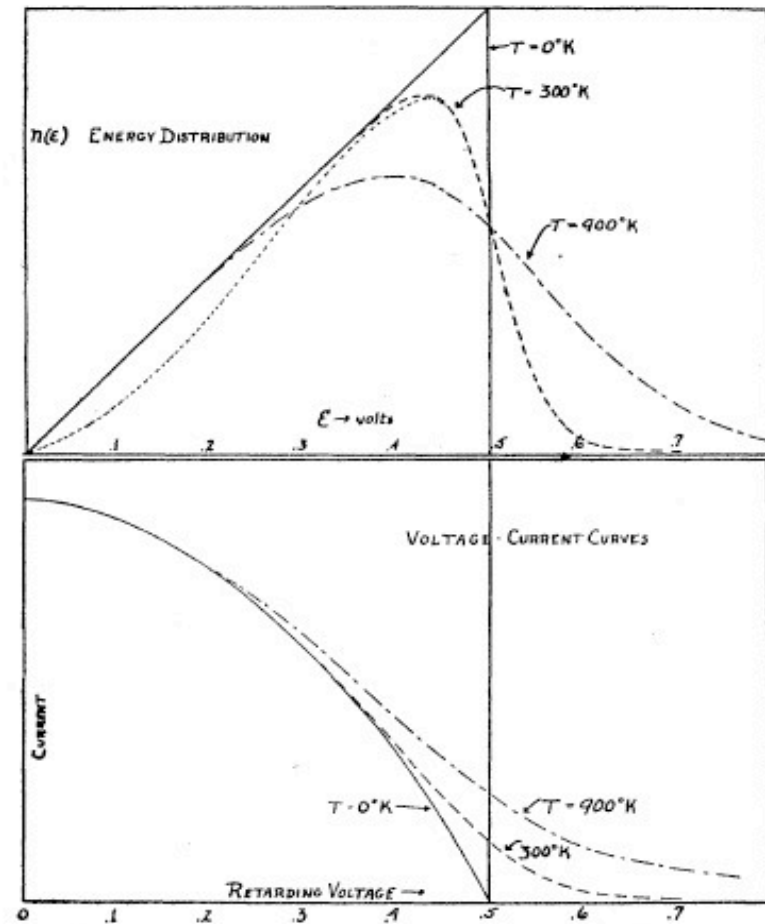


FIG. 1. Theoretical energy distribution and voltage-current curves for three temperatures.

# Análise dos dados

- Como extrair de maneira rigorosa o valor de  $V_0$  dos dados, considerando esses efeitos espúrios?
- Como avaliar a incerteza dessa medida?
- Uma vez obtidos os valores de  $V_0$  para cada frequência  $\nu$ , verificar o comportamento de  $V_0 \times \nu$  e, se possível, extrair o valor da constante de Planck  $h$
- Avaliar o valor de  $h$  obtido. **Considerando-se as incertezas**, o que podemos concluir sobre o experimento?

# Como extrair de maneira rigorosa o valor de $V_0$ dos dados?

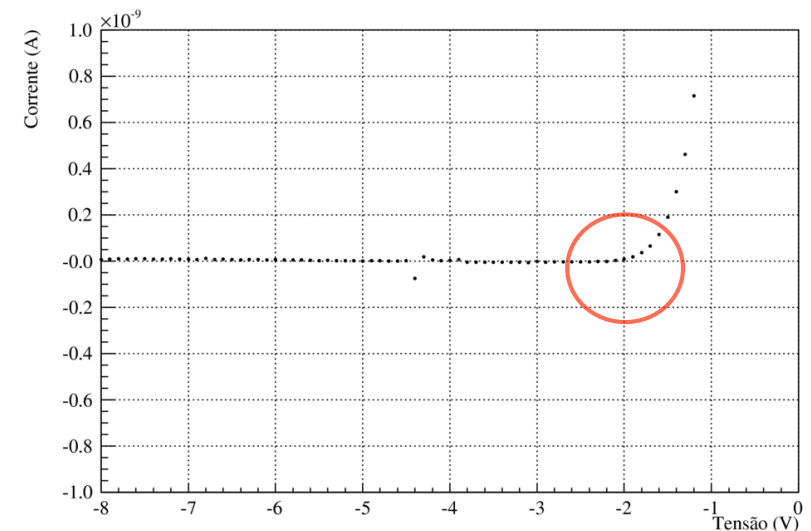
- Considerar as incertezas da corrente ( $i$ ) e da tensão ( $V$ ). Como podemos avaliar as incertezas dessas medidas? O que devemos levar em consideração?
- Criar um método (um procedimento) para extrair  $V_0$  dos gráficos de  $i \times V$ , considerando todos os fatores presentes nas medidas
- É importante considerar o efeito da temperatura? E das correntes de fundo? Podemos apenas ignorá-las?

# Como extrair de maneira rigorosa o valor de $V_0$ dos dados?

- Uma sugestão:
  - subtrair as correntes de fundo (verificar se **realmente** elas foram eliminadas dos dados)

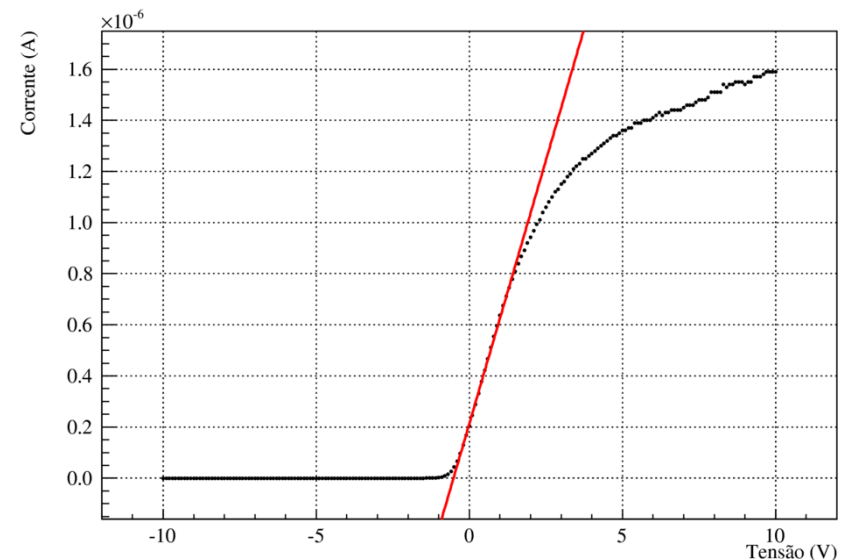
# Como extrair de maneira rigorosa o valor de $V_0$ dos dados?

- Uma sugestão:
  - subtrair as correntes de fundo (verificar se **realmente** elas foram eliminadas dos dados)
  - encontrar o valor no eixo-x onde a corrente deixa de ser nula (ou negativa)
- Por que este método é válido?



# Como extrair de maneira rigorosa o valor de $V_0$ dos dados?

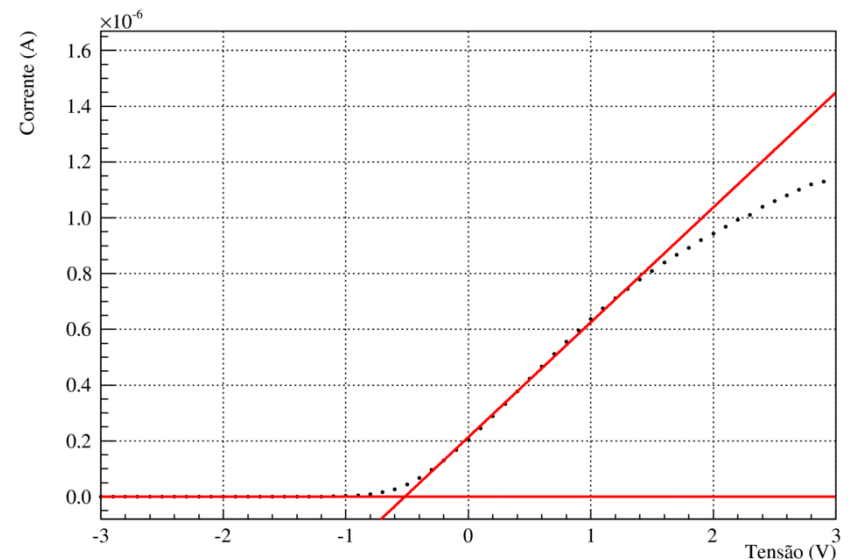
- Outra sugestão:
  - subtrair as correntes de fundo (verificar se **realmente** elas foram eliminadas dos dados)
  - ajustar uma reta aos pontos que apresentam um comportamento linear
  - extrapolar a mesma para o eixo-x a fim de identificar o valor de  $V_0$
- Por que este método é válido?





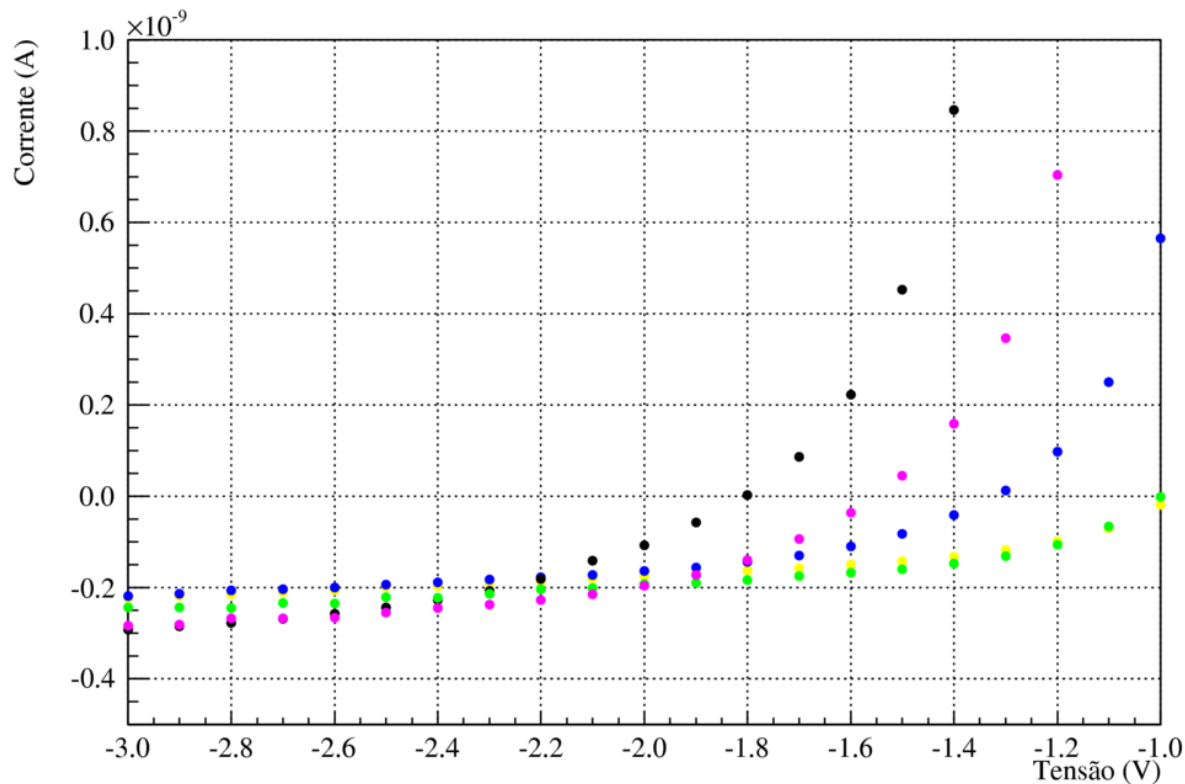
# Como extrair de maneira rigorosa o valor de $V_0$ dos dados?

- Mais uma sugestão:
  - ao invés subtrair as correntes de fundo, ajustar uma reta aos pontos que apresentam um comportamento linear nos dois extremos e encontrar o valor no eixo-x onde elas se encontram a fim de identificar o valor de  $V_0$
- Por que este método é válido?



# Como extrair de maneira rigorosa o valor de $V_0$ dos dados?

- As medidas com várias intensidades de luz podem ajudar? Como e por quê?



# Como avaliar a incerteza dessa medida?

- Elaborar uma maneira de avaliar as incertezas de  $V_0$  que deve refletir:
  - as incertezas de  $i$  e  $V$
  - **e o procedimento usado para extraí-lo dos dados**

# Analisar $V_0 \times \nu$

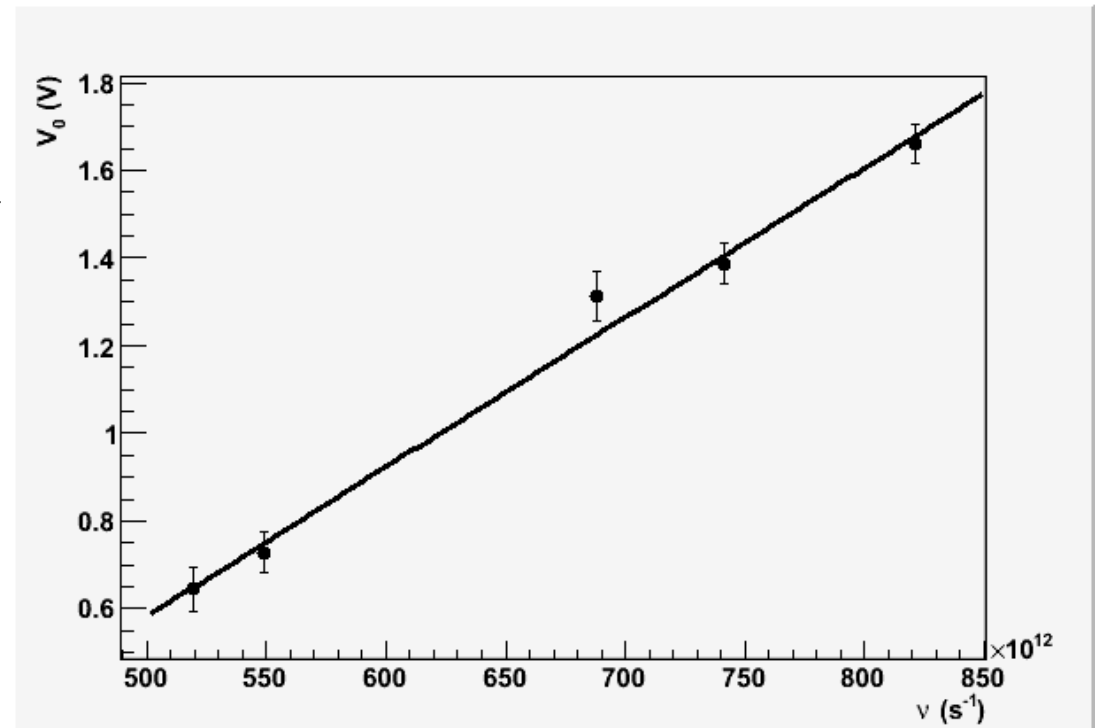
- Devemos considerar uma incerteza em  $\nu$ ?
- Como se certificar que o comportamento de  $V_0 \times \nu$  é linear?
- Caso seja linear, realizar um ajuste de uma reta aos dados
- A incerteza de  $h$  deve refletir as incertezas de  $V_0$  e  $\nu$

# Como interpretar os resultados?

- A que conclusões os dados e sua análise nos permitem chegar?
- Será que compreendemos e consideramos todos os fatores que poderiam influenciar os resultados do nosso experimento?
- Como descobrir isso?

# Exemplo de um experimento realizado

- Resultado:  
 $h = 5,5(3) \times 10^{-34} J \cdot s$
- O que podemos concluir deste resultado?
  - $E_c$  de fato apresenta uma dependência linear com  $\nu$
  - Porém, a constante de proporcionalidade não é compatível com a constante de Planck



# Exemplo de um experimento realizado

- Como podemos interpretar este resultado?
- Não consideramos todos os fatores do experimento que poderiam influenciar no seu resultado?
- Quais hipóteses podem ser levantadas?  
Como testa-las?

# Quais efeitos podemos considerar?

- Use a criatividade!
- Algumas idéias:
  - Devemos considerar efeitos devido à geometria da fotocélula?
  - Devemos considerar a influência da mistura de diferentes raios na medida?
  - Será que as incertezas foram tratadas corretamente?



# Atividades para o Próximo Encontro

- Discutir o procedimento adotado para se estudar o fenômeno do efeito fotoelétrico, justificando as escolhas feitas
- Mostrar os resultados finais da análise
- Discutir as conclusões extraídas do estudo realizado