

Pós-Prática

Emissão Termoelétrica

Edmur C. Neto - 12558492

Rafael F. Gigante - 12610500

Instituto de Física de São Carlos
Universidade de São Paulo

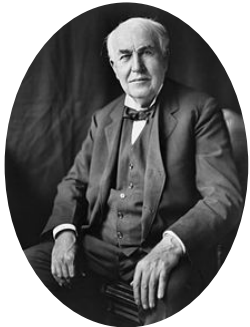
29/05/2024

INTRODUÇÃO



Frederick Guthrie
(1873)

- Observou que uma bola de ferro aquecida a alta temperatura acumulava carga negativa ao seu redor.



Thomas Edison
(1875)

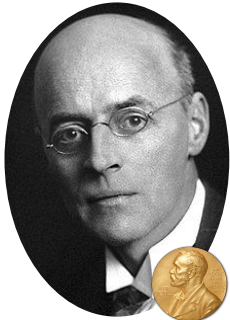
- Descobriu que um filamento metálico, sob vácuo, emitia elétrons quando aquecido.
- Percebeu que havia um fluxo de elétrons preferencial em apenas uma direção: do filamento aquecido para uma placa a menor temperatura;

INTRODUÇÃO



John A. Fleming
(1904)

- Aplicou o efeito para converter um sinal fraco AC em outro DC.



Owen Richardson
(1901)

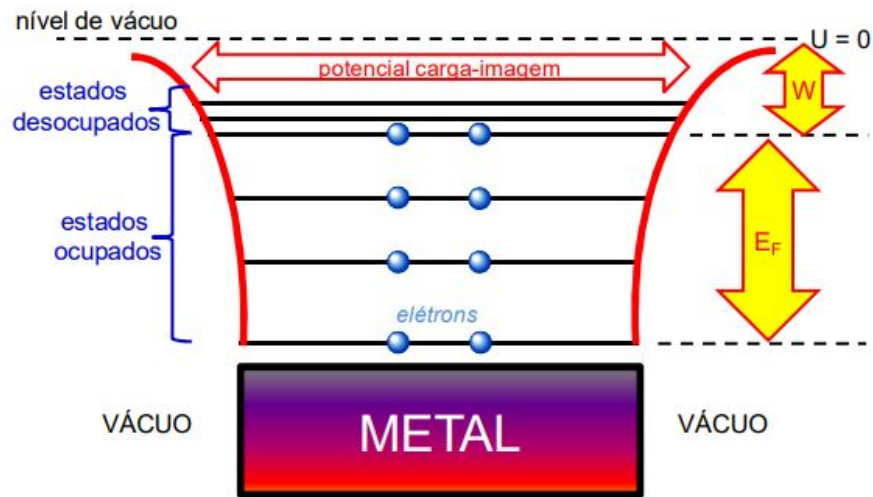
- Demonstrou que o número de elétrons emitidos por um filamento aquecido depende da temperatura conforme uma equação do tipo Arrhenius:

$$k = Ae^{-\frac{E_a}{RT}}$$

- A exponencial denota a fração de moléculas com energia maior ou igual a E_a .

INTRODUÇÃO

➤ Função Trabalho:

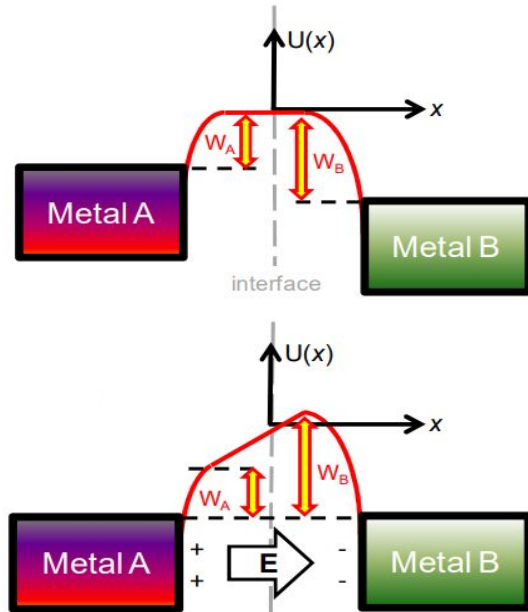


Representação esquemática dos níveis de energia associados a elétrons em um metal.

- Energia de Fermi (E_F): define o maior nível energético que os elétrons podem ocupar;
- Função Trabalho (W): energia mínima necessária para extrair um elétron de um sólido;
- Depende da constituição química, do agrupamento dos elétrons e da condição da superfície.

INTRODUÇÃO

➤ Contato entre dois metais:



- Movimentação de cargas devido à diferença entre as funções trabalho;
- A movimentação ocorre até que haja um campo elétrico que iguale o potencial químico dos metais;

$$V_A - V_B = -e(W_A - W_B)$$

Representação esquemática dos níveis de energia associados a elétrons em um metal.

INTRODUÇÃO

➤ Equação de Richardson-Dushman:

- Densidade de corrente máxima emitida por um metal à temperatura T:

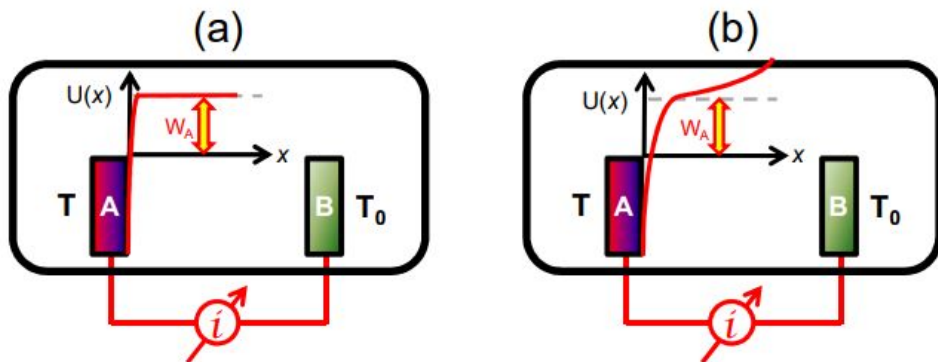
$$j = A_0 T^2 \exp\left(-\frac{W}{k_B T}\right), \quad A_0 = 4\pi \frac{k_B^2 e m}{h^3} \sim 1.2 \times 10^6 \text{ A m}^{-2} \text{ K}^{-2}$$

- Considerando a dependência da função trabalho com a temperatura:

$$W = W_0 + \alpha T \quad \Rightarrow \quad j = A_0 \exp\left(-\frac{\alpha}{k_B}\right) T^2 \exp\left(-\frac{W_0}{k_B T}\right)$$

INTRODUÇÃO

➤ Lei de Child-Langmuir:



Representação de duas placas metálicas sob vácuo conectadas por um amperímetro. Tem-se o potencial experienciado pelo elétron ilustrado nas situações: (a) na ausência de cargas espaciais, e (b) na presença de uma nuvem de elétrons

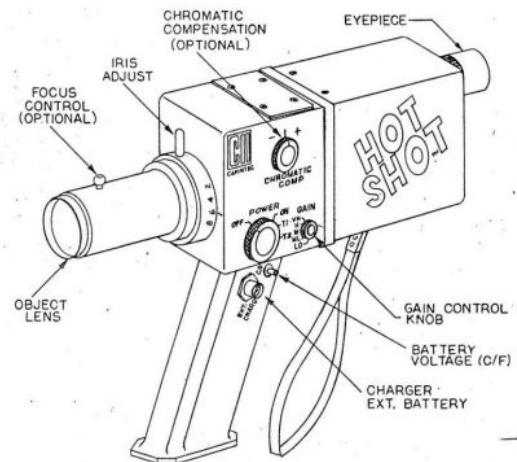
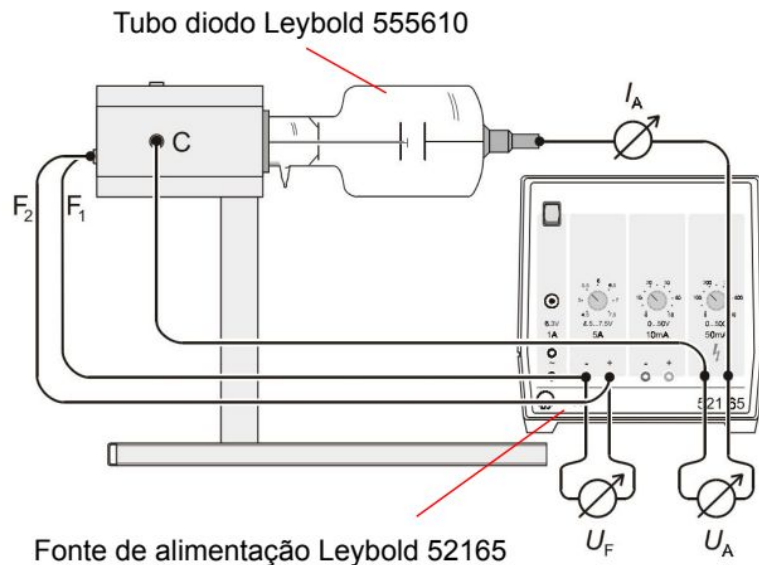
- **Cargas espaciais:** região com excesso de carga;
- **Corrente de saturação:** corrente constante entre as placas, depende apenas de T .

$$j = \frac{4}{9} \epsilon_0 \sqrt{\frac{2e}{m}} \frac{V_{AB}^{3/2}}{d^2}$$

OBJETIVOS

- Verificar o efeito termiônico;
- Obter as curvas $I \times V$ para diferentes temperaturas de filamento;
- Verificar a lei de Child-Langmuir;
- Determinar a função de trabalho do cátodo;
- Calcular a razão e/m ;
- Observar a retificação para correntes alternadas.

EXPERIMENTO



Pirômetro óptico

Diagrama do aparato experimental a ser utilizado, onde temos um tubo diodo, uma fonte de alimentação e um pirômetro óptico.

EXPERIMENTO

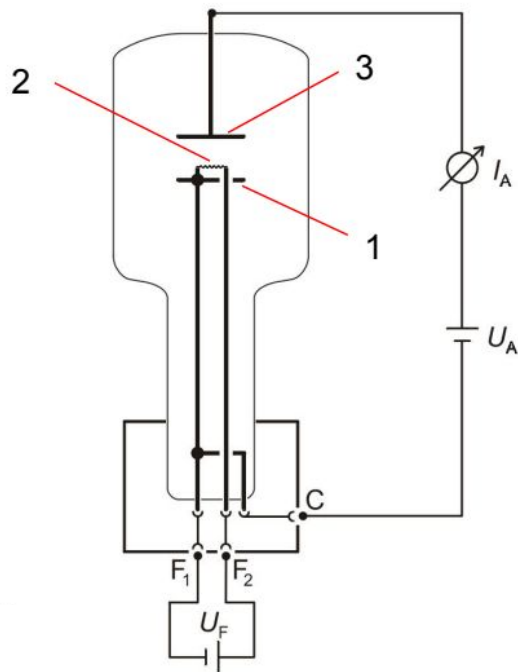


Diagrama do tubo diodo Leybold.

1 - Cátodo;

2 - Filamento de tungstênio;

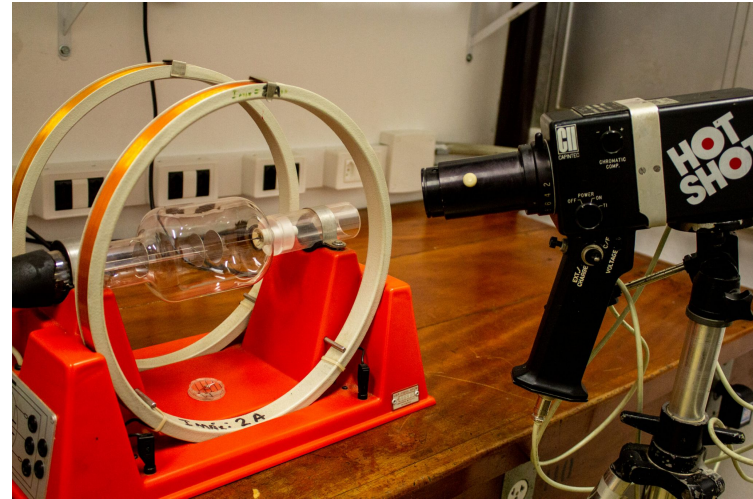
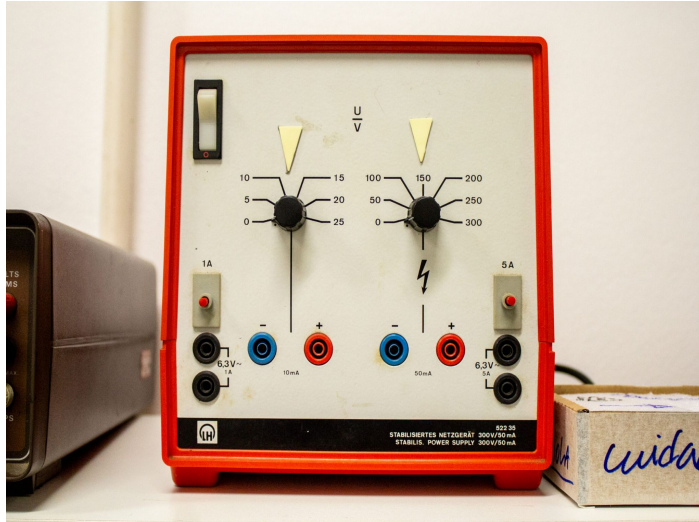
3 - Anodo;

U_F - Tensão de aquecimento do filamento;

U_A - Tensão de anodo;

I_A - Corrente de anodo.

EXPERIMENTO

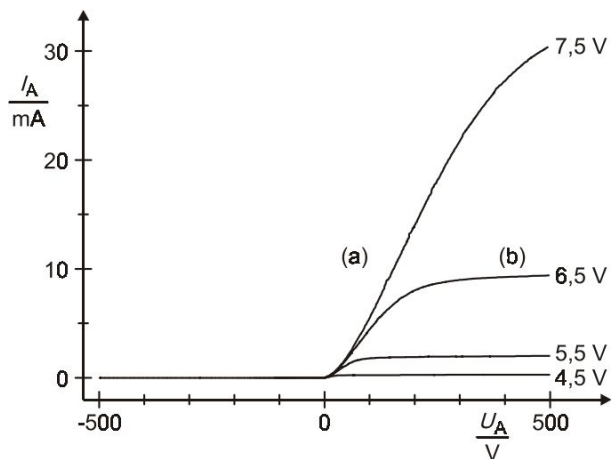


Fotografias do equipamento a ser utilizado.

EXPERIMENTO

➤ Efeito termiônico:

- Determinar a corrente I_A em função da tensão U_A para diferentes temperaturas do filamento (diferentes tensões U_F);
- Espera-se obter o seguinte resultado:



Corrente em função da tensão para diferentes temperaturas do filamento.

- (a) Região com carga espacial: vale a lei de Child-Langmuir;
- (b) Região de saturação de corrente: o valor de saturação aumenta com a temperatura.

EXPERIMENTO

➤ Função trabalho do cátodo:

- Manter a tensão $U_A = 0$ V, medir a corrente I_A para diferentes temperaturas do filamento.

$$j = A_0 T^2 \exp\left(-\frac{W}{k_B T}\right)$$

$$\ln\left(\frac{j}{T^2}\right) = -\frac{W}{k_B T} + \ln(A_0)$$

Tungstênio: $W = 4.5\text{eV}$

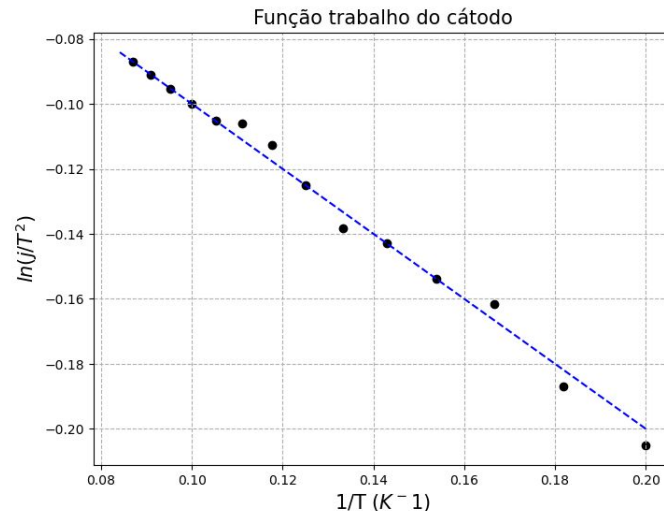


Gráfico esperado para o experimento.

EXPERIMENTO

➤ Determinação da razão e/m :

- Calcular a razão e/m para diferentes temperaturas.

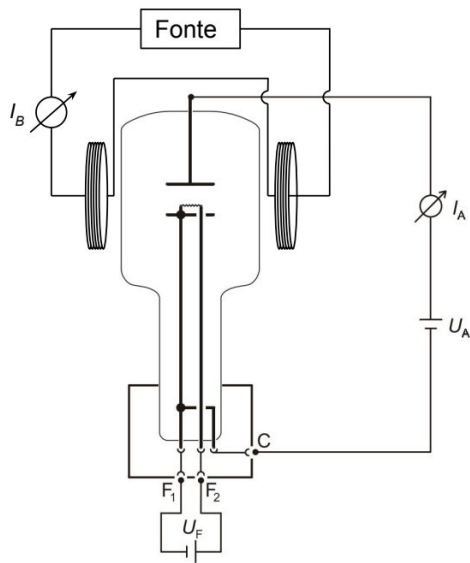


Diagrama do tubo diodo com as bobinas de Helmholtz.

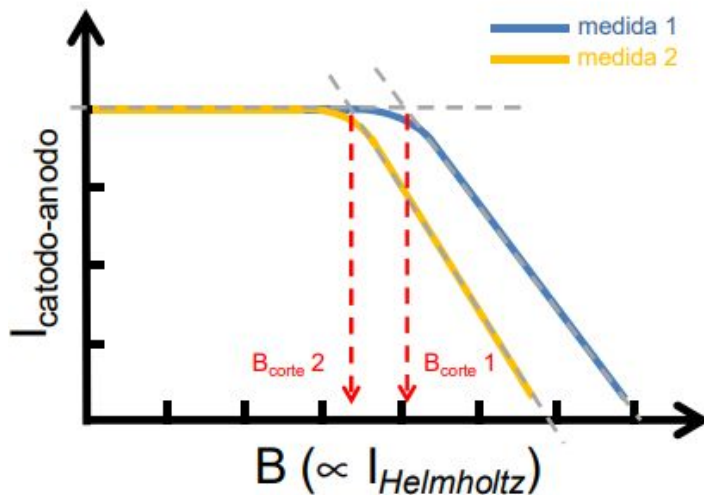


Gráfico esperado para o experimento.

$$evB = m \frac{v^2}{d}$$
$$\frac{1}{2}mv^2 = eV$$

$$\frac{e}{m} = \frac{2V}{(Bd)^2}$$

$$B = \left(\frac{5}{4}\right)^{\frac{3}{2}} \frac{\mu_0 N I}{R}$$

EXPERIMENTO

➤ Retificação:

- Observar o fenômeno de retificação aplicando um potencial alternado entre o cátodo e ânodo.

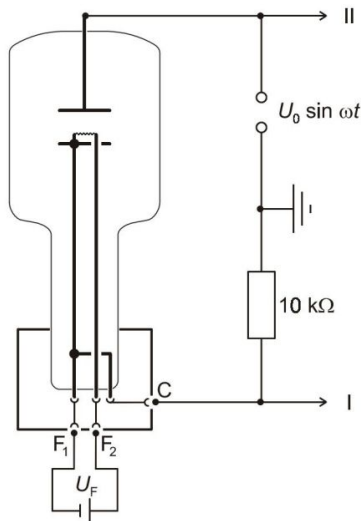


Diagrama do tubo diodo com as uma tensão alternada.

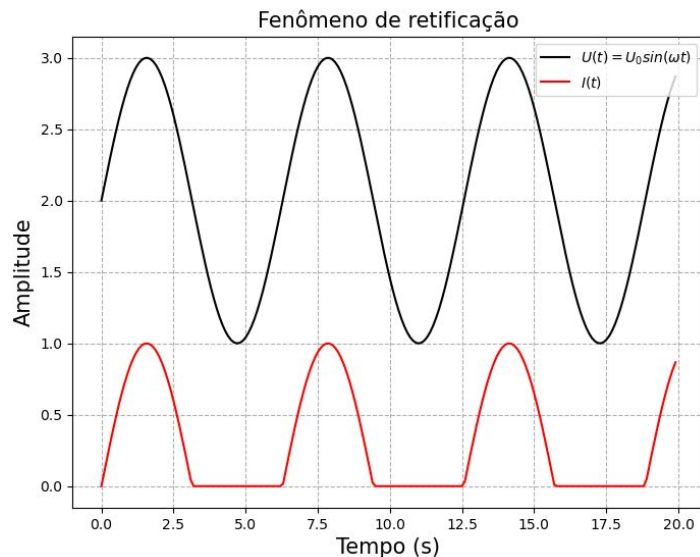
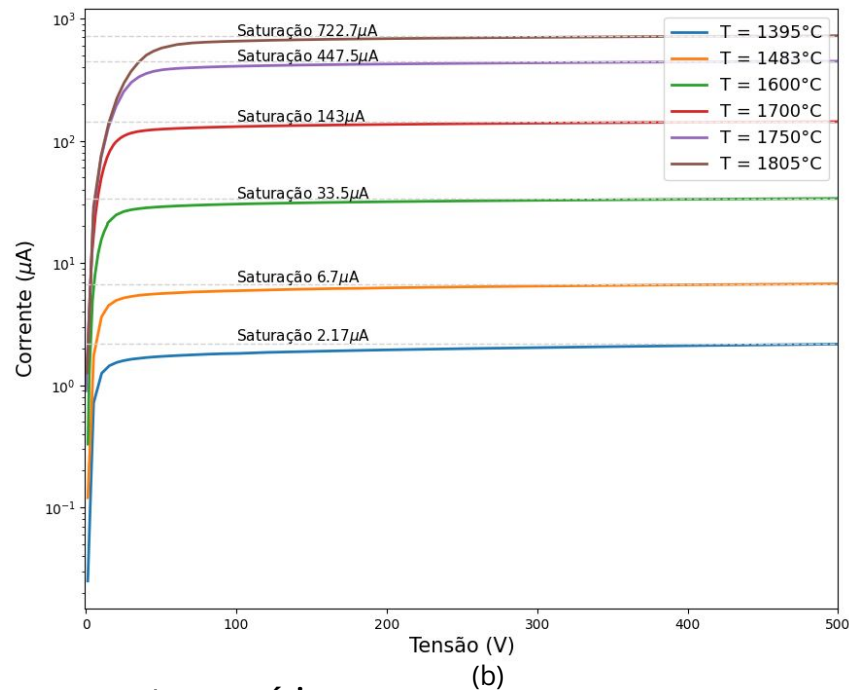
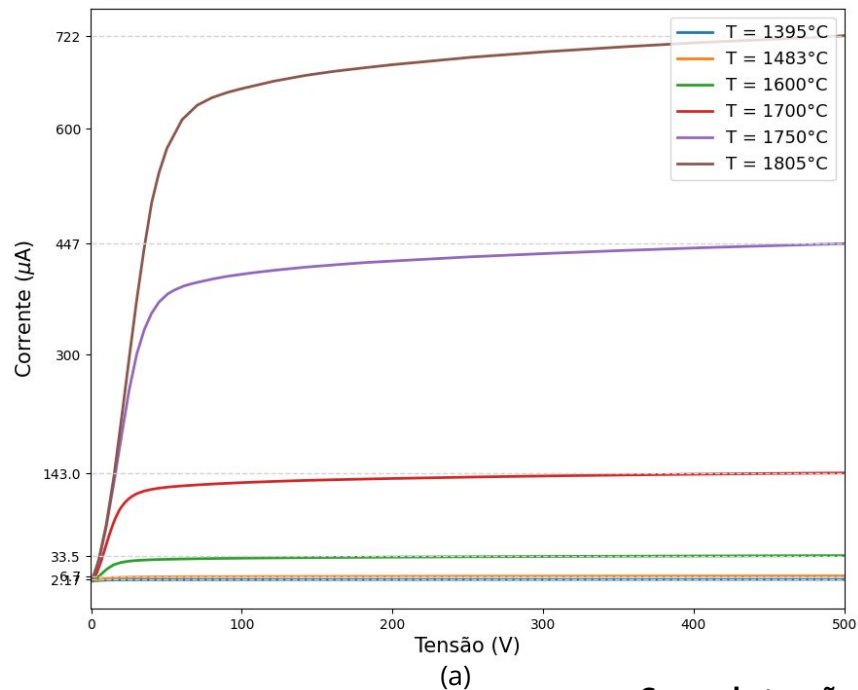


Gráfico esperado para o experimento.

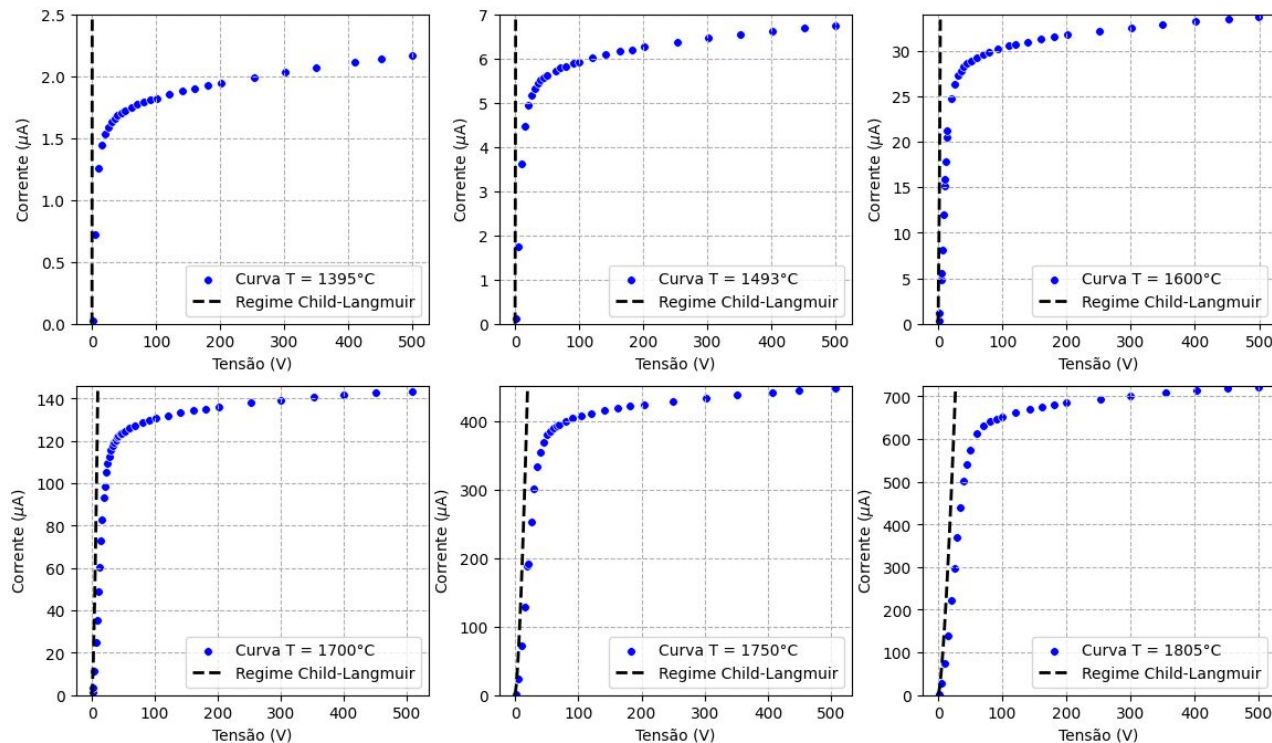
RESULTADOS OBTIDOS

➤ Efeito Termoiônico:



Curva de tensão versus corrente para várias temperaturas em escala: (a) linear, (b) mono-log

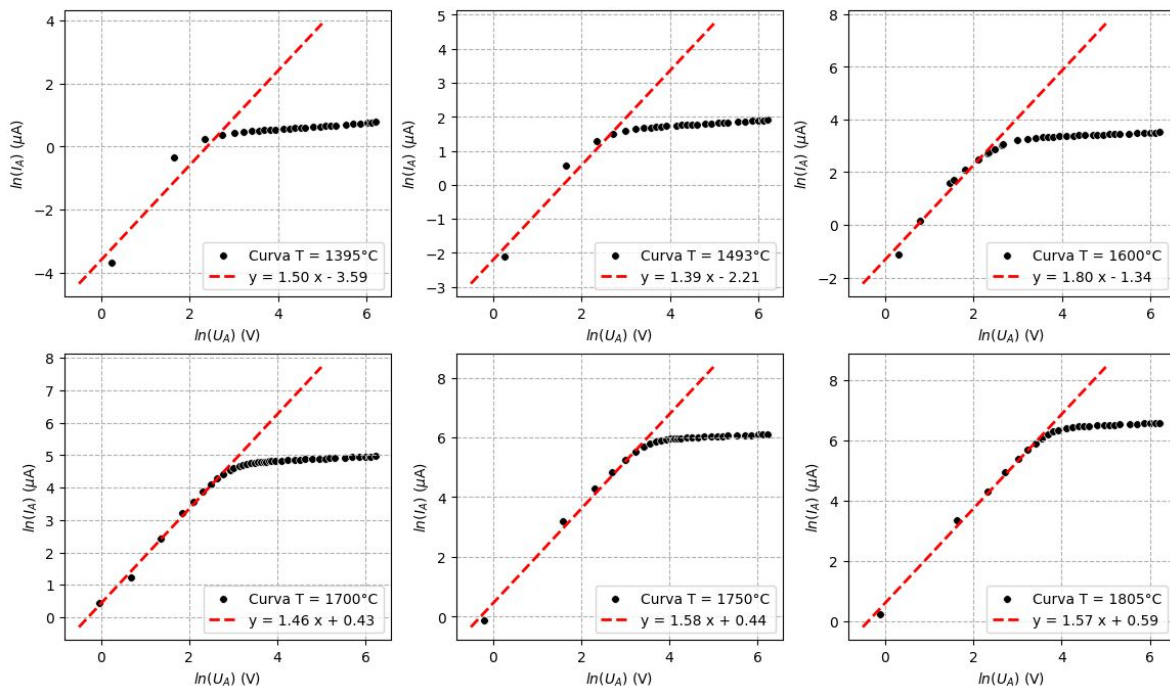
RESULTADOS OBTIDOS



Comparação dos dados experimentais com a lei de Child-Langmuir

$$j = \frac{4}{9} \epsilon_0 \sqrt{\frac{2e}{m}} \frac{V_{AB}^{3/2}}{d^2}$$

RESULTADOS OBTIDOS

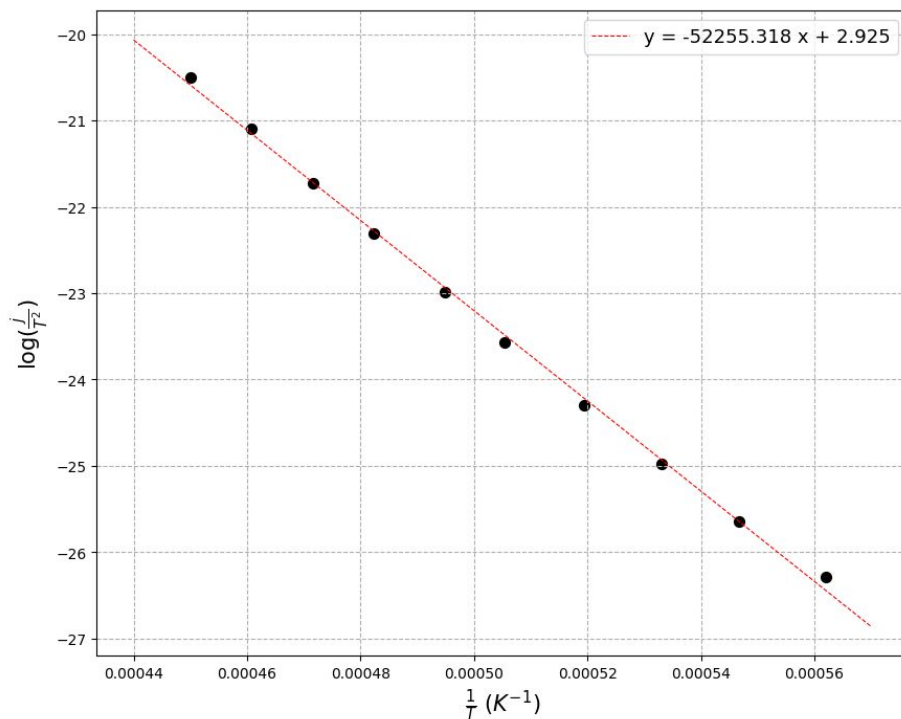


Comparação dos dados experimentais com a lei de Child-Langmuir

$$\ln(j) = \frac{3}{2} \ln(V_{AB}) + \ln \left(\frac{4}{9} \epsilon_0 \sqrt{\frac{2e}{m}} \right)$$

RESULTADOS OBTIDOS

➤ Função trabalho do cátodo:



Ajuste linear para estimar a função trabalho e o parâmetro de dependência α .

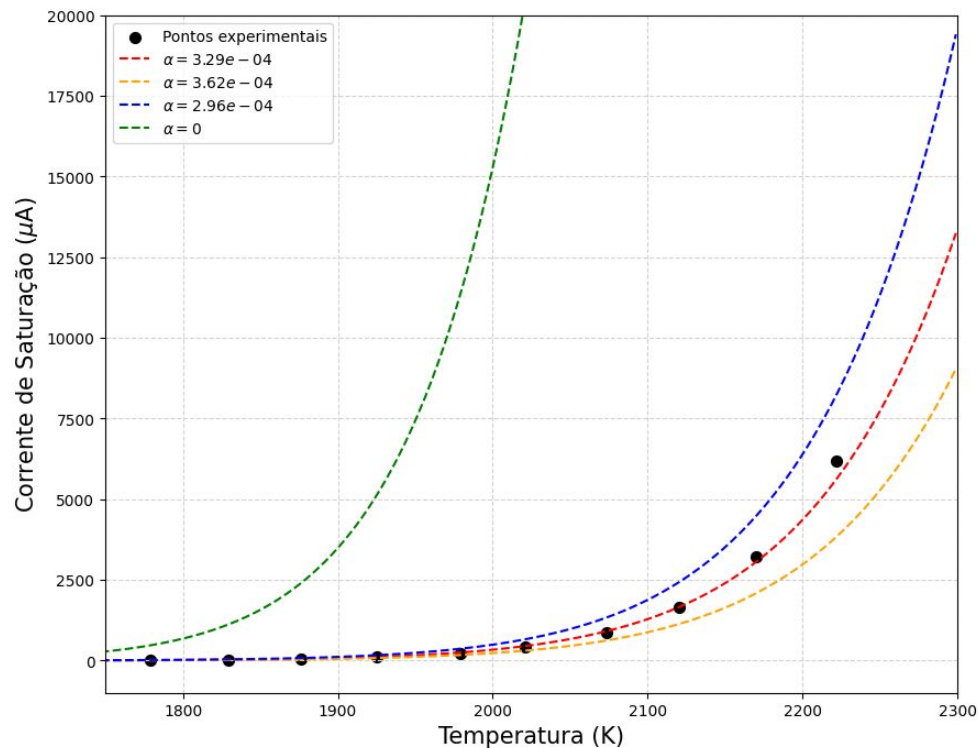
$$\ln \left(\frac{j}{T^2} \right) = -\frac{W_0}{k_b T} + \left[\ln(A_0) - \frac{\alpha}{k_b} \right]$$

$$\Rightarrow W_0 = 4.503 \pm 0.002$$

Tungstênio: $W = 4.5eV$

$$\Rightarrow \alpha = (3.29 \pm 0.01) \cdot 10^{-4} [eV/K]$$

RESULTADOS OBTIDOS



Comparação dos pontos experimentais com a equação de Richardson-Dushman para diferentes valores de α .

RESULTADOS OBTIDOS

➤ Razão (e/m):

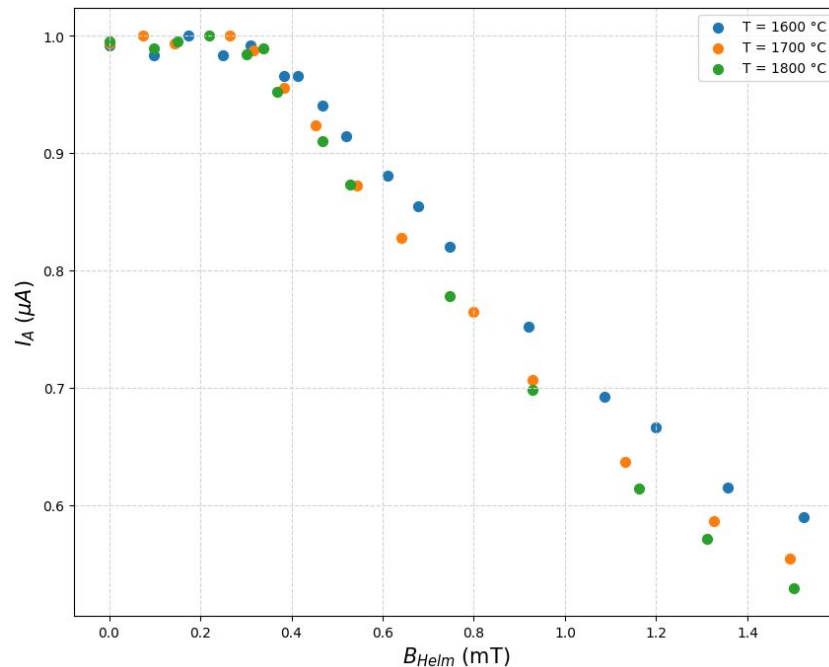
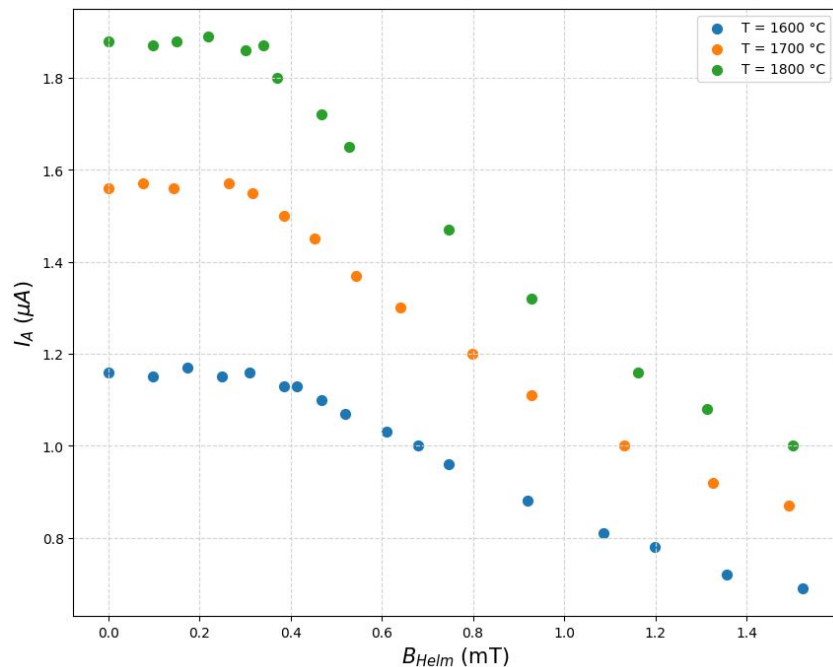
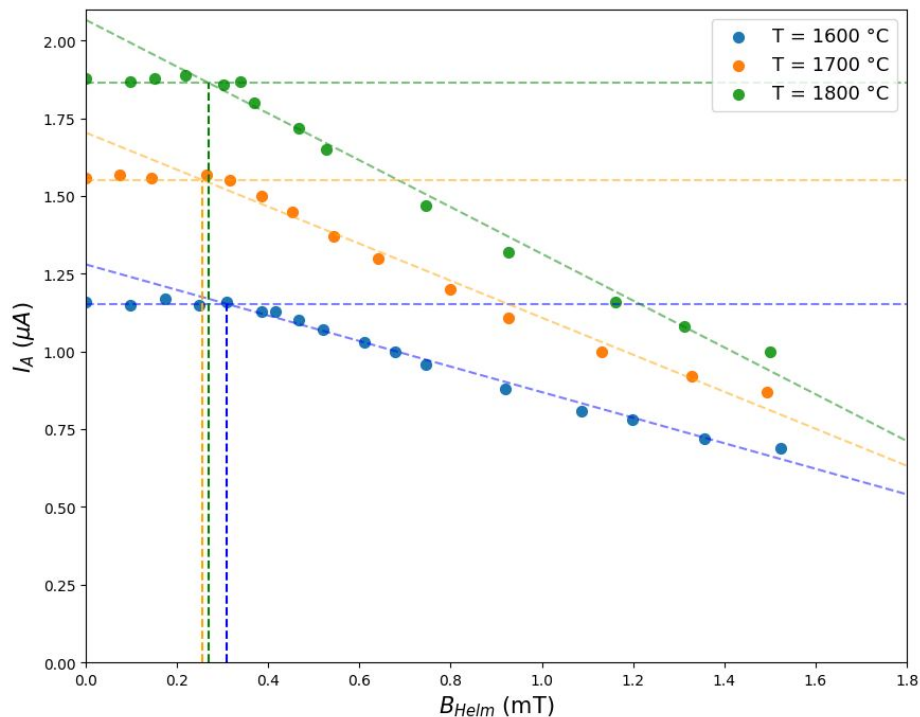


Gráfico da corrente no ânodo em função do campo.

RESULTADOS OBTIDOS

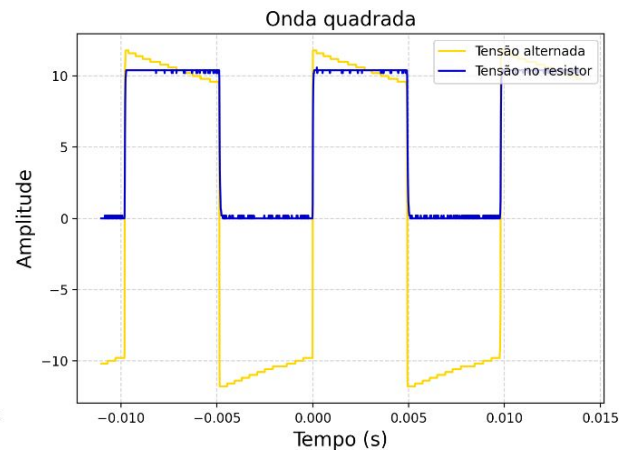
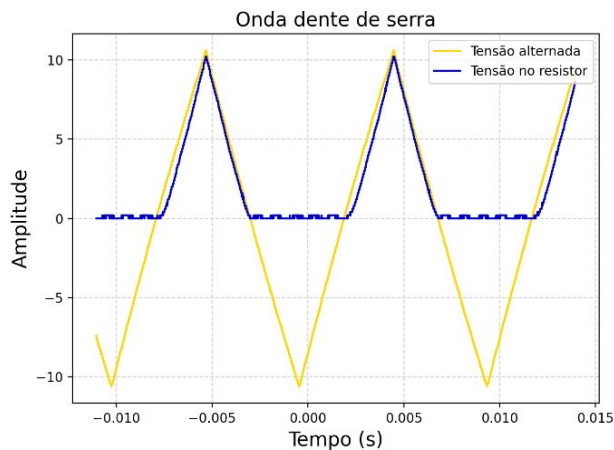
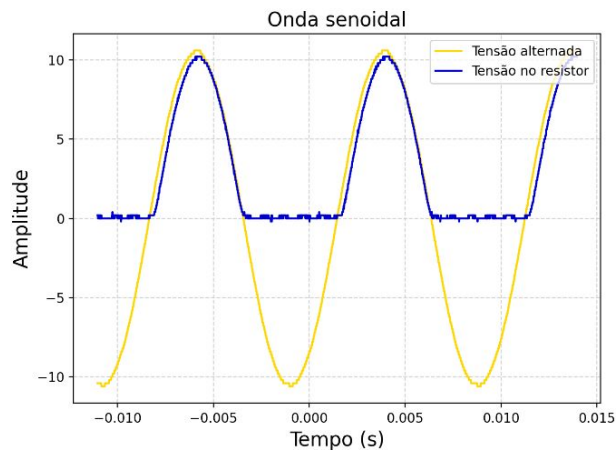


Ajustes para a estimativa do campo de corte.

T (°C)	B (mT)	e/m (C/Kg)	Erro relativo
1600	0.309 ± 0.001	$0.549 \cdot 10^{-11}$	68.80%
1700	0.256 ± 0.001	$0.704 \cdot 10^{-11}$	59.97%
1800	0.270 ± 0.001	$0.569 \cdot 10^{-11}$	67.64%
Esperado		$1.759 \cdot 10^{-11}$	

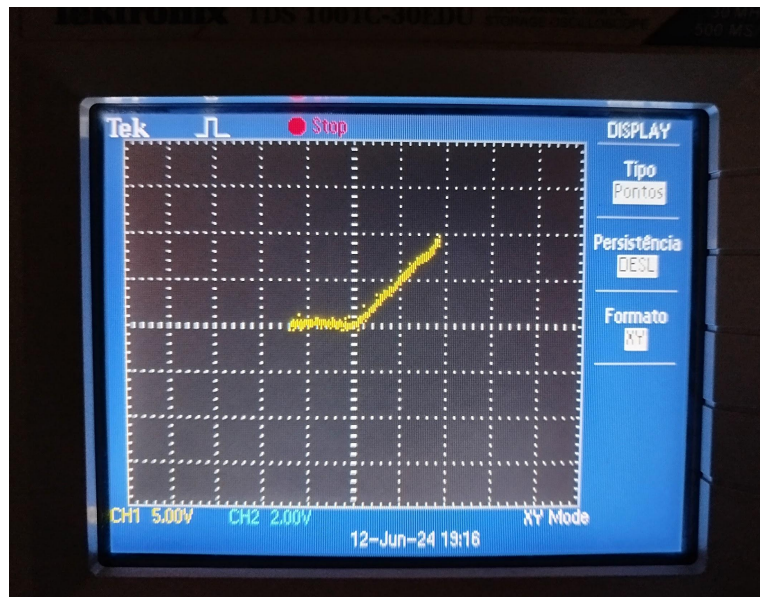
RESULTADOS OBTIDOS

➤ Retificação:



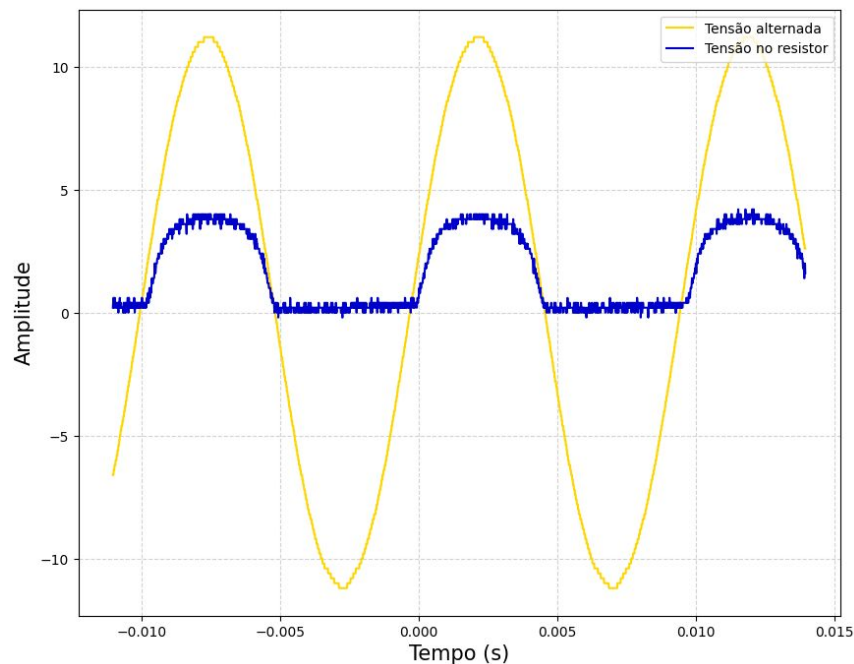
Retificação para diferentes formatos de onda.

RESULTADOS OBTIDOS

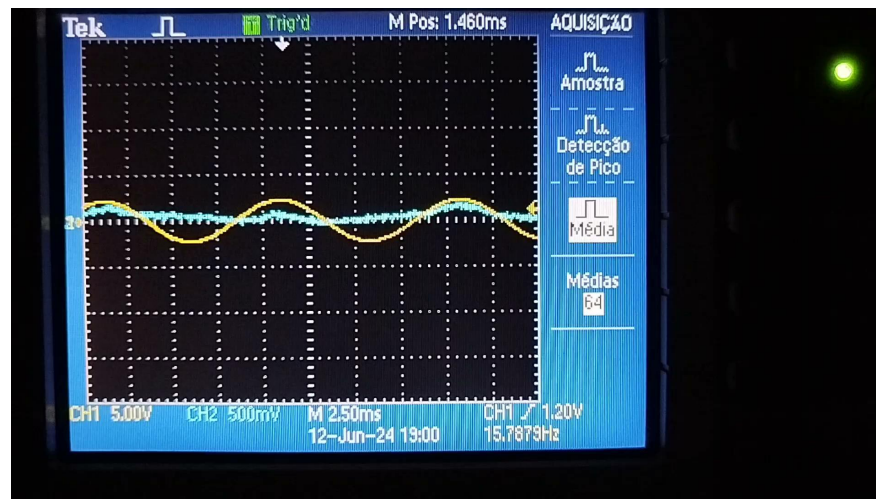


Retificação no modo XY do osciloscópio.

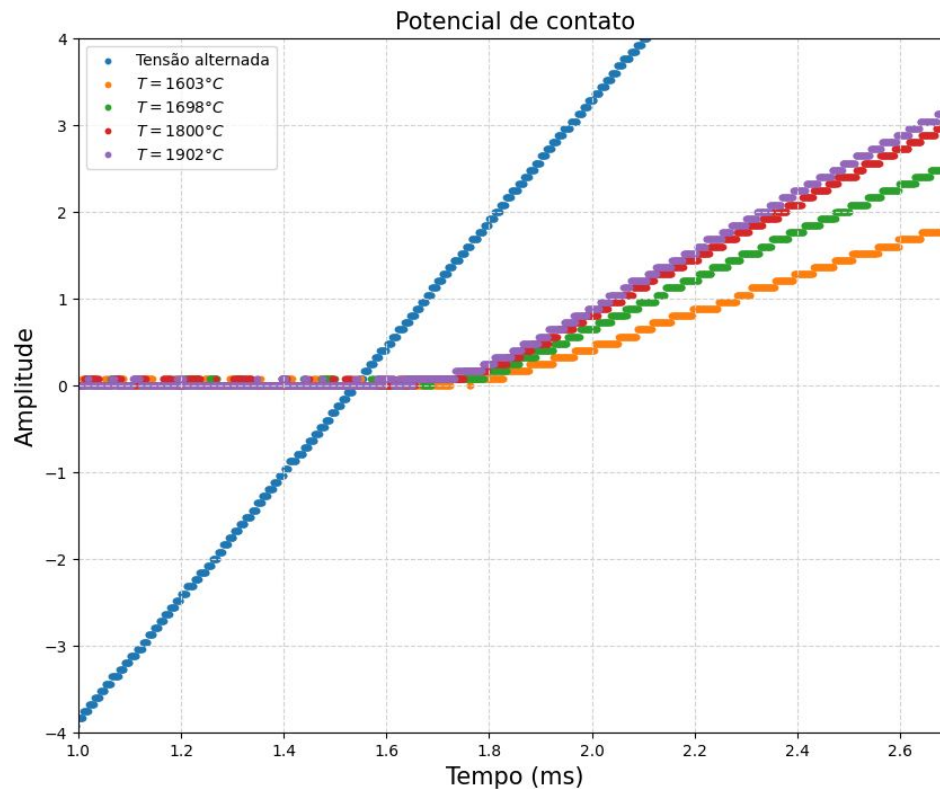
RESULTADOS OBTIDOS



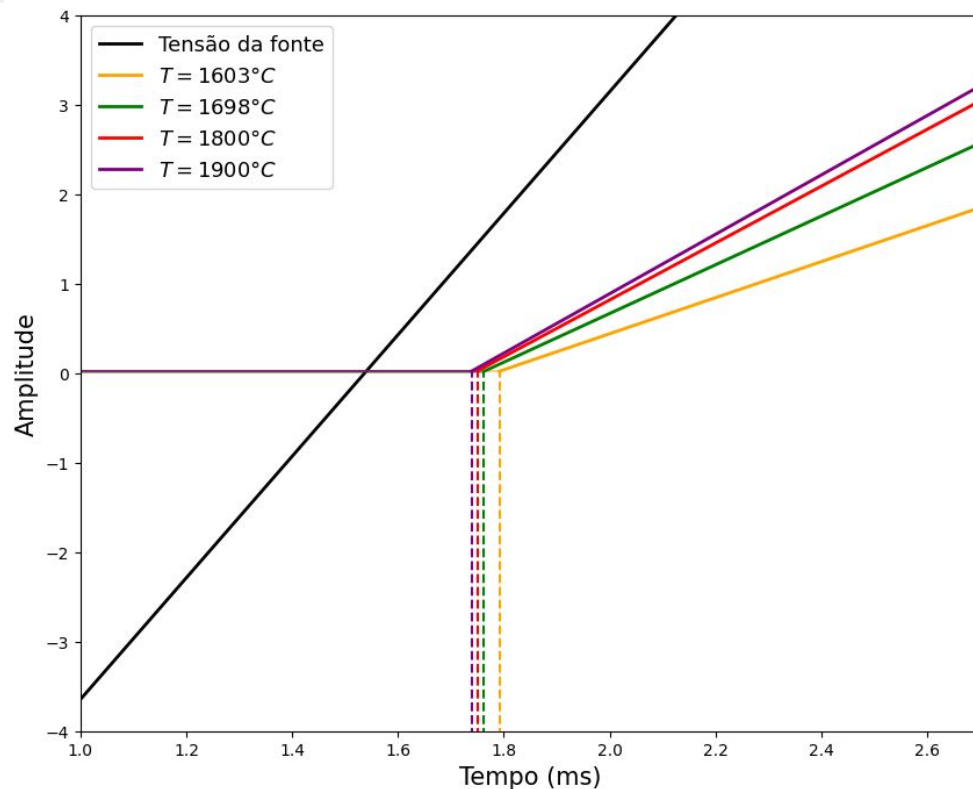
Retificação no regime de saturação da corrente.



RESULTADOS OBTIDOS



RESULTADOS OBTIDOS



Ajuste para estimação dos parâmetros.

T (°C)	Tempo (ms)	Coef. Ang.
1603	1.792	2.013
1698	1.762	2.721
1800	1.751	3.177
1900	1.739	3.319

Conclusões

- Obtemos curvas experimentais de $I \times V$ condizentes com a lei de Child-Langmuir, com melhores resultados para altas temperaturas;
- Obtemos a função trabalho do tungstênio e caracterizamos o parâmetro α para ajustar os dados com a equação de Richardson-Dushman no regime de saturação;
- Estimamos a razão carga-massa e obtemos um erro relativo médio de 65.47% em comparação ao valor esperado;
- Foi observado o fenômeno de retificação condizente com o esperado e, além disso, analisamos o comportamento das curvas em função da temperatura.