

# Relatório 01: Distribuição de Potencial e Campo Elétrico

João Pedro Guimarães Guilherme - RA 238846

Otávio Araújo Valderrama - RA 254099

Thyago Martins Paula Santos - RA 237752

Daniel de Sousa Cipriano - RA 233228

## 1. TEXTO PRINCIPAL

Neste experimento foi analisado a variação de potencial e o campo elétrico em um sistema de dipolo, gerado por uma fonte de tensão que alimenta dois eletrodos de cobre fixos, com uma tensão de 2,5 V, e, um eletrólito composto por uma solução aquosa de 4 a 5mm de  $\text{Cu}_2\text{SO}_4$  (Sulfato de Cobre II). Foi realizado um mapeamento de pontos, utilizando uma ponta de prova conectada a um voltímetro, que mede os diferentes potenciais para cada coordenada em um papel milimetrado, mergulhado na solução, visando identificar pontos equipotenciais. Observamos os resultados para o sistema contendo apenas os dois eletrodos, para um campo elétrico uniforme e sem alteração. Em seguida, analisamos o sistema com a adição de uma ponta condutora, que amplifica o campo elétrico. Por último, medimos a variação de potencial com efeito de um aro, essa situação é denominada Gaiola de Faraday e causa uma atenuação no campo elétrico no interior do aro.

Ao fim, os dados obtidos foram analisados utilizando softwares de apoio, através da geração de gráficos de curvas equipotenciais, gráficos de variação da voltagem em um eixo simétrico, análise do vetor campo elétrico associado às curvas, análise do módulo do campo elétrico para as diferentes configurações. Também foram feitas análises das incertezas envolvidas em cada medição e a influência delas na obtenção dos dados. Escolhemos para a tomada de dados, uma abordagem na qual analisamos diretamente valores constantes de tensão, anotando os pares de coordenadas (x,y) em que ocorrem equipotenciais.

De forma geral, o experimento teve como objetivo avaliar a influência da geometria de dipolos sobre a distribuição de potência entre eles. Adicionalmente, buscou-se aplicar o MMQ (método dos mínimos quadrados) para descobrir informações a mais sobre a natureza do experimento (como o campo elétrico, nesse caso).

O sistema de coordenadas aplicado ao experimento consiste na origem centrada no papel milimetrado com eixo x (paralelo às placas) e eixo y (perpendicular às placas). A variável dependente são os potenciais dos pontos (volts), enquanto as independentes são os pares de coordenadas obtidos no eixo (x,y) e a configuração inicial do experimento (com argola, com ponta ou sem aparatos adicionais).

A coleta de dados do experimento baseou-se na busca das voltagens (0,250 ; 0,500; 0,750; 1,000; 1,250; 1,750; 2,000) V, no qual foram coletados 6 pontos diferentes para cada voltagem em meio ao papel milimetrado. Essa regra se aplicou aos três casos estudados (placas paralelas, ponta e argola). Para a criação dos gráficos eixo de simetria foi imposta a busca por pontos que fossem fixos no eixo x[0] e alternados no eixo y, os pontos variam em 1cm, indo de [8; -8]cm.

Na aplicação do experimento observou-se uma influência no modo de inserção da ponteira na solução. A inclinação a qual a ponteira é submetida altera a leitura do multímetro, sendo notável que no eixo perpendicular às placas a incerteza de medição é maior do que no eixo paralelo. Isso se deve à influência da porção da ponteira inserida na solução aquosa e direção do campo elétrico, assim aumentando a superfície de contato, o que altera a percepção do aparelho na leitura da voltagem. Através dessa análise foi possível a realização do cálculo da incerteza total sobre a medição de voltagem, como na Equação 1. Note que essa incerteza é válida dentro da região delimitada pelas duas barras, onde a variação da incerteza da inclinação é quase nula. Nas bordas, o efeito da inclinação passa a variar mais, o que torna a incerteza da voltagem mais variável nesta região.

$$\Delta V^2 = \sigma_{\text{Leitura}}^2 + \sigma_{\text{Calibração}}^2 + \sigma_{\text{Inclinação}}^2 \Rightarrow \Delta V = 0,003V \quad (1)$$

Com relação a distribuição de potencial, o experimento com apenas as duas placas paralelas foi observado que as interações com o campo elétrico são aproximadamente constantes dentro da área delimitada pelas placas. Ou seja, o campo é uniforme entre as duas placas, porém, em suas bordas, é não-uniforme por causa do efeito de bordas. Isso pode ser percebido pela distorção das equipotenciais nas extremidades do sistema de coordenadas.

Na placa com ponta foi analisada que nas áreas próximas a ponta existe um adensamento das linhas equipotenciais, o que causa um aumento do campo elétrico nessa região. Porém, longe dessa ponta, a distribuição do potencial se assemelha muito ao caso sem a ponta.

Por fim, no setup de Gaiola de Faraday existe uma distorção da distribuição de potencial ao redor e dentro da argola, apesar de, em regiões longes da argola, a distribuição ser novamente similar ao caso sem argola. Dentro da argola, o potencial elétrico é constante, o que causa um campo elétrico nulo, enquanto, nas proximidades da argola, as linhas equipotenciais se distorcem para contorná-la.

Em todos os casos, há simetria em relação ao eixo perpendicular às barras. Isso ocorre até nos setups com a argola e a com a ponta por causa da escolha do posicionamento desses objetos: nos dois casos, os objetos foram colocados no eixo de simetria.

Com relação ao potencial ao longo do eixo de simetria, o setup com somente as barras paralelas apresenta uma variação constante da ddp. Isso mostra que, nesse caso, o campo elétrico é constante do eixo de simetria, o que coincide com teoria de que capacitores de placas paralelas geram campos aproximadamente uniformes e constantes em seu interior. Por meio do MMQ, é possível tratar os dados para concluir que o campo elétrico ao longo do eixo é de  $13,4(3)$  V/m.

No caso da placa com uma ponta, nota-se que a ddp possui dois comportamentos diferentes dependendo da posição avaliada. Antes de chegar na ponta, a ddp varia rapidamente, o que reflete em um campo elétrico mais intenso de  $16,4(4)$  V/m. Uma explicação para esse fenômeno é que cargas elétricas tendem a se acumular em estruturas de pontas. Como a ddp da outra barra continua a mesma, isso força a variação de ddp da ponta até a barra ser mais rápida. Ao analisar a ddp em na própria estrutura de ponta, nota-se que o campo elétrico é baixíssimo ( $3(3)$  V/m). Isso faz sentido porque as barras e a ponta são feitas de metal, o que permite que a ddp delas sejam praticamente iguais.

Finalmente, no setup da argola, percebe-se que o campo elétrico possui, novamente, dois comportamentos: um dentro da argola; um fora. Dentro da argola, o campo é efetivamente nulo ( $0(1)$  V/m), o que comprova o efeito de atenuação de campos elétricos por meio de Gaiolas de Faraday. Fora da argola, o campo elétrico é constante, porém maior que no caso com somente as barras, porque possui uma intensidade de  $16(1)$  V/m. Pode-se interpretar que isso ocorre porque, dado que a argola força a ddp a ser constante em seu interior, é necessário variar o potencial em um espaço mais curto (a argola ocupa espaço), o que força o campo a ser maior.

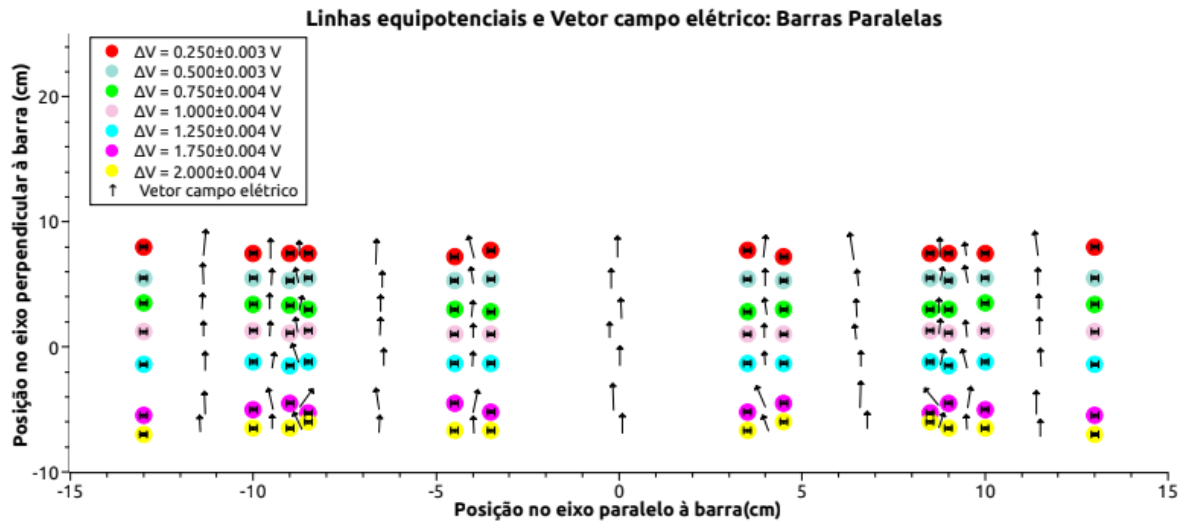
Note que o campo no caso fora da argola e no caso antes da ponta são muito parecidos. Uma justificativa possível para essa coincidência é que as dimensões de extensão da argola e da ponta são similares e, portanto, limitam o espaço que o potencial tem para variar de forma parecida.

Levando em consideração o centro das placas paralelas e a parte frontal da ponta, analisamos que há um aumento da intensidade do campo de  $13,4(3)$  V/m, no centro das placas paralelas, para  $16,4(4)$  V/m, na frente da ponta. Porém, com o maior distanciamento da ponta, as cargas de campo voltam a se equalizar. Analisando agora a relação entre os valores do centro da gaiola de faraday e das barras paralelas, há uma diferença considerável já que, no interior da argola, o campo elétrico vale  $0(1)$  V/m, devido ao efeito de faraday, enquanto, no centro das placas, é  $13,4(3)$  V/m.

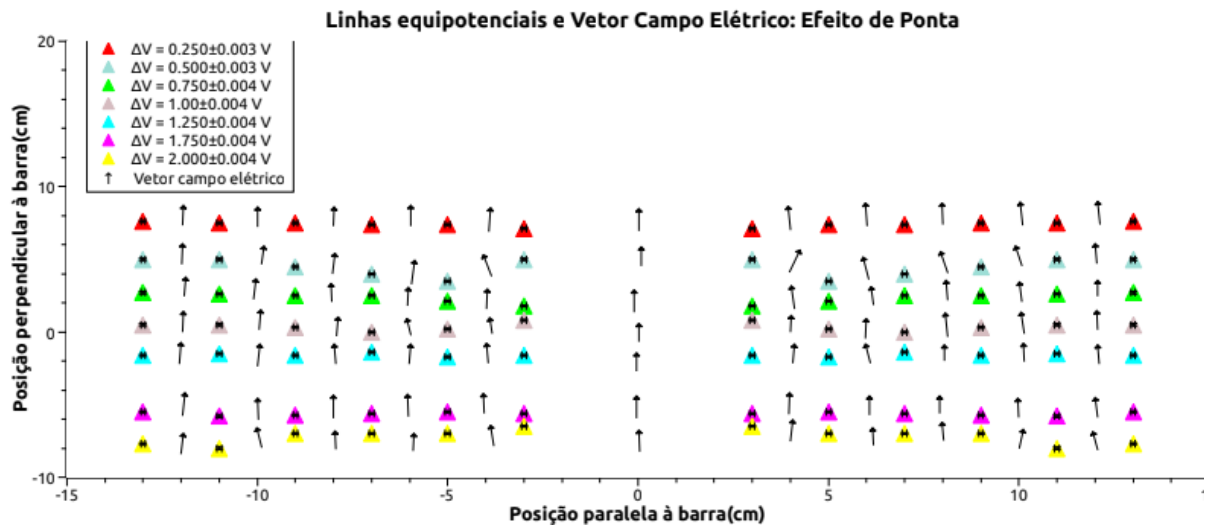
Os resultados obtidos para as barras paralelas demonstram que existe uma continuidade nas linhas equipotenciais dos campos elétricos. Na ponta existe amplificação do campo elétrico o que acarreta um adensamento das linhas equipotenciais. Em relação ao efeito argola nota-se que em sua parte interna existe uma constância da potência, em contrapartida sua parte externa há uma deformação das linhas equipotenciais. Demonstrando que a forma e posição das barras influenciam na direção e sentido do campo elétrico, além de alterar a leitura do multímetro.

[1] Halliday D; Resnick R; Merrill J. Fundamentos de Física vol.3, Eletromagnetismo, 3ª Edição, LTC, RJ, 1995. Cap. 24 e 26

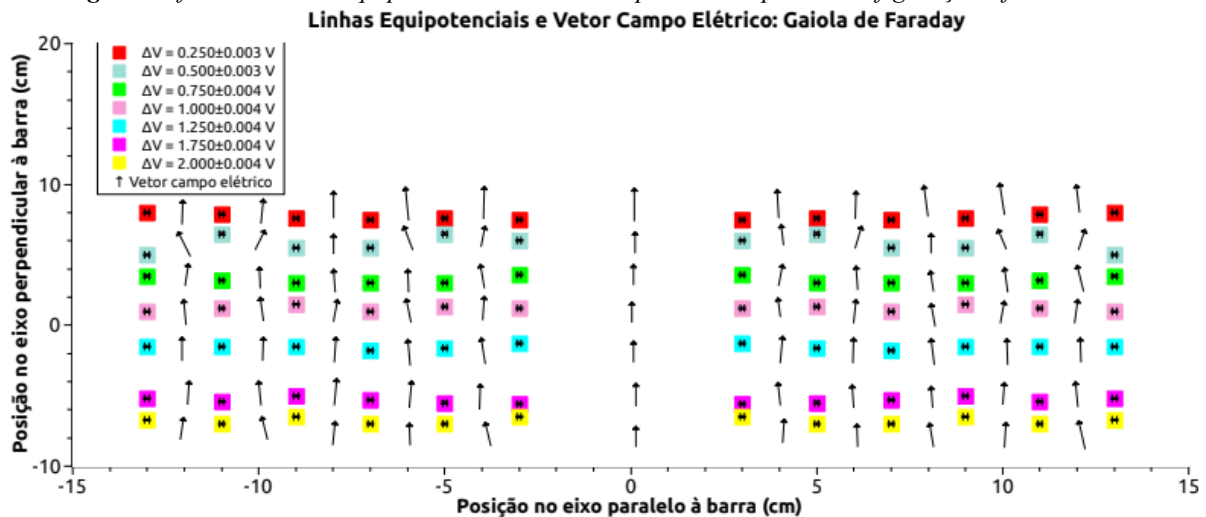
## 2. Gráficos



*Fig 1: Gráfico de Linhas Equipotenciais e Vetor Campo Elétrico para a configuração Barras Paralelas*



*Fig 2: Gráfico de Linhas Equipotenciais e Vetor Campo Elétrico para a configuração Efeito de Ponta*



*Fig 3: Gráfico de Linhas Equipotenciais e Vetor Campo Elétrico para a configuração Gaiola de Faraday*

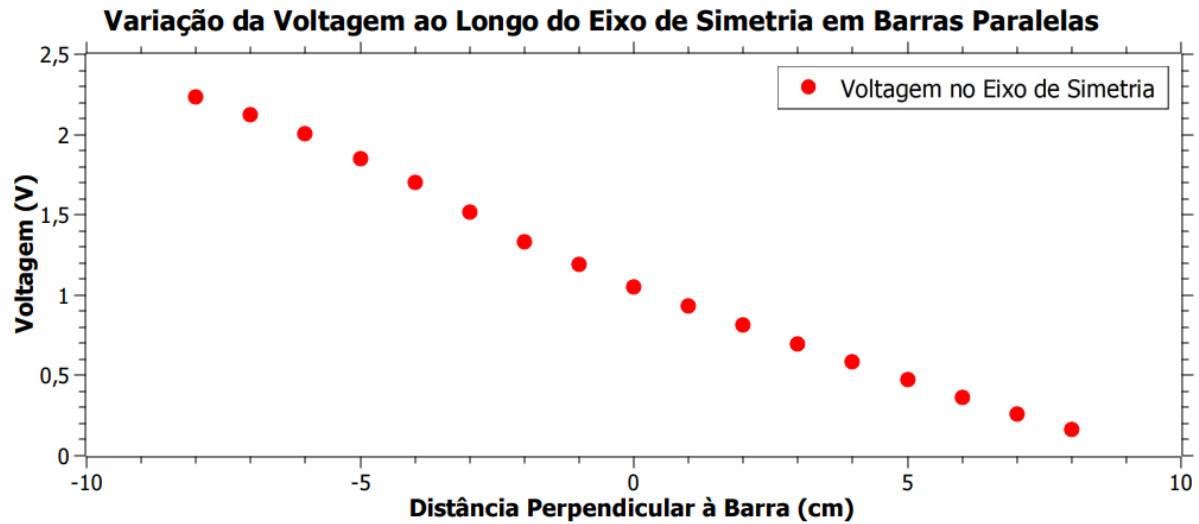


Fig 4: Gráfico de Variação da Voltagem ao Longo do Eixo De Simetria para a configuração de Barras Paralelas

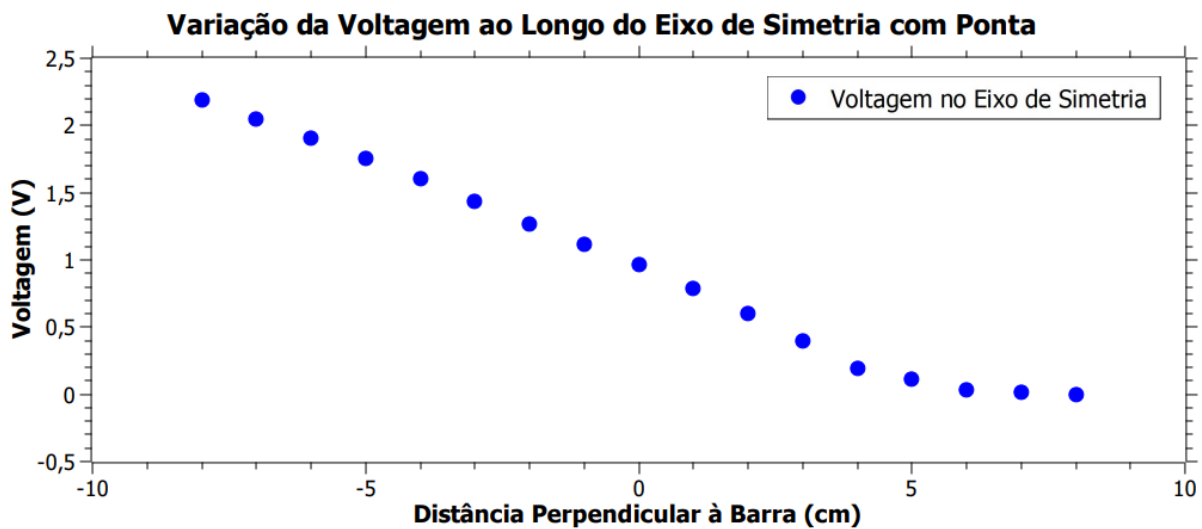


Fig 5: Gráfico de Variação da Voltagem ao Longo do Eixo De Simetria para a configuração de Efeito de Ponta

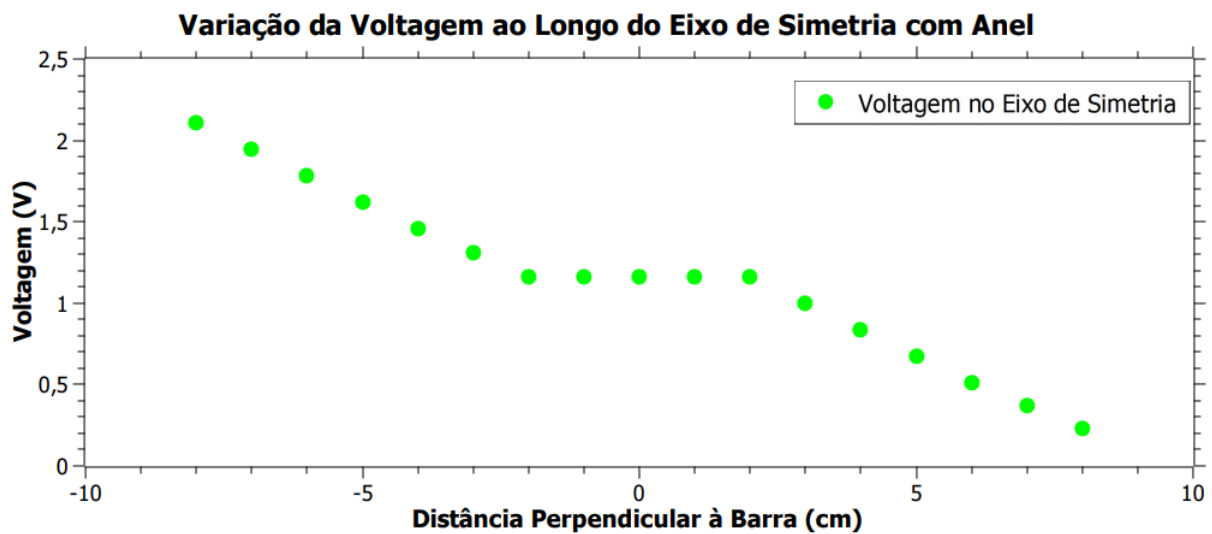


Fig 6: Gráfico de Variação da Voltagem ao Longo do Eixo De Simetria para a configuração de Gaiola de Faraday

### 3. INCERTEZAS

Para calcular a incerteza da coordenada x, como nas da Figura 1, considera-se a incerteza do papel milimetrado (metade da menor divisão), a de paralaxe (menor divisão) e a do diâmetro da ponteira (incerteza triangular), como avaliado na Equação 2.

$$\Delta x^2 = \sigma_{Diâmetro}^2 + \sigma_{Papel}^2 = \left(\frac{0,175}{2\sqrt{6}}\right)^2 + 0,05^2 \Rightarrow \Delta x = 0,06cm \quad (2)$$

Note que a forma de encontrar a incerteza da coordenada y é feita da mesma forma.

Para calcular a incerteza da voltagem, como as da Figura 1, considera-se a incerteza de leitura do voltímetro (incerteza retangular), a de calibração (dada pela regulação do equipamento) e a de inclinação do ponteiro (incerteza triangular sobre a inclinação no eixo y - o que mais afeta), como avaliado na Equação 3.

$$\begin{aligned} \Delta V^2 &= \sigma_{Leitura}^2 + \sigma_{Calibração}^2 + \sigma_{Inclinação}^2 = \\ &= \left(\frac{0,001}{2\sqrt{3}}\right)^2 + (0,3\% \times 0,252 + 2 \times 0,001)^2 + \left(\frac{1,174-1,158}{2\sqrt{6}}\right)^2 \Rightarrow \Delta V = 0,003V \end{aligned} \quad (3)$$

Os mesmos procedimentos das Equações 2 e 3 foram aplicados nas outras medições de voltagem em uma dada posição.

Para calcular a incerteza do campo elétrico, a partir de dados como na Figura 4, utiliza-se o método dos mínimos quadrados, como feito na Equação 3. Note que o campo elétrico equivale ao coeficiente angular da reta de melhor ajuste no gráfico ddp por y.

$$\Delta E^2 = \Delta y^2 \times \frac{N}{N \times \Sigma(y^2) - (\Sigma y)^2} = 0,06^2 \times \frac{17}{17 \times 408 - 0^2} \Rightarrow \Delta E = 0,003V/cm = 0,3V/m \quad (4)$$