

Laboratório de Eletromagnetismo

Patrick Dias Catrincke Pedro Henrique de Carvalho Olios

1- Objetivo:

Uma carga elétrica perturba o espaço ao seu redor, criando um campo elétrico. Não é simples medir diretamente o campo eletrostático ponto a ponto no espaço a partir de um experimento, mas é possível compreender a partir de medidas de potencial elétrico, com o auxílio de um multímetro, a disposição das linhas de campo em uma superfície. Por definição, uma diferença de potencial elétrico entre dois pontos (tensão V) equivale a 1 Volt quando o campo elétrico realiza um trabalho de 1 Joule para transportar uma carga de 1 Coulomb.

$$1 \text{ J/C} = 1 \text{ V}$$

Existe também uma relação útil entre o campo elétrico e o potencial elétrico, dada por:

$$\vec{E} = -\vec{\nabla}V$$

A qual pode ser decomposta, nas direções x e y , como:

$$E\hat{x} = -\vec{\nabla}V = -\frac{dV}{dx}\hat{x}.$$

$$E\hat{y} = -\vec{\nabla}V = -\frac{dV}{dy}\hat{y}.$$

Neste momento, é importante contextualizar que uma superfície equipotencial é uma superfície na qual todos os pontos nela contidos possuem o mesmo potencial. Uma linha traçada sobre esta superfície é, portanto, uma linha equipotencial. Desse modo, a tensão sobre dois pontos em uma mesma linha é igual a 0.

Partindo para o entendimento de uma situação próxima da real, vejamos como o que foi discutido se aplica ao exemplo de um capacitor de placas paralelas.

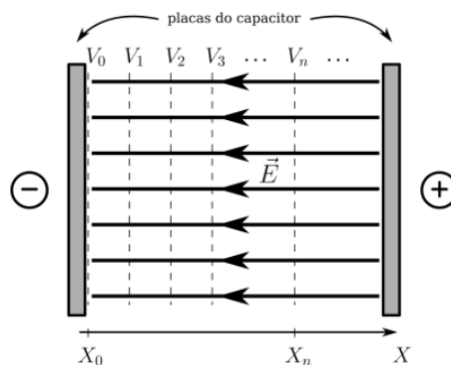


Figura 1: Capacitor com campo elétrico uniforme entre placas paralelas.

Em um campo elétrico constante, o gradiente da tensão elétrica também é constante, de forma que se verifica por meio da relação:

$$\frac{dV}{dX} = cte. \Rightarrow E = cte.$$

A partir do que foi exposto, veremos como os dados coletados no experimento realizado ajudam a compreender a relação de campo estabelecida.

2- Procedimento experimental

Para a parte experimental, usamos um recipiente transparente com água e sal que possui duas placas metálicas nas extremidades para aplicarmos a tensão elétrica que geraria o campo elétrico que iríamos medir. Usando uma fonte de tensão cc, aplicamos 20 Volts nas placas metálicas, sendo o positivo da fonte na extremidade esquerda e o negativo na extremidade direita. Para as medições, marcamos pontos em uma folha de papel milimetrado com um lápis tanto no eixo horizontal quanto no vertical distando 2 centímetros cada um e o posicionamos embaixo do recipiente. Usando os pontos marcados como guias, medimos a tensão em cada um desses pontos usando um multímetro digital na escala de 20 Volts. As medições foram feitas da seguinte forma:

Posicionando a ponta do negativo do multímetro na placa da direita (negativo da fonte) e a ponta positiva do multímetro é posicionada em cada ponto guia que foi marcado no papel milimetrado, esperando a leitura do multímetro se estabilizar antes de passar para o próximo ponto, enquanto os dados obtidos foram anotados

em uma planilha eletrônica.

3- Resultados

Foi feito um programa em python para analisar, a partir da planilha confeccionada com os dados coletados, as relações de campo aferidas no experimento.

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from scipy.interpolate import griddata
import pandas as pd

# carrega os dados de tensão do arquivo CSV
csv_file = "measures.csv"
df = pd.read_csv(csv_file, delimiter=';', decimal=',', header=None)

# extrai os valores de tensão do DataFrame e converte para float
tensões = df.values.astype(float)
vmin = np.min(tensões)
vmax = np.max(tensões)

# gera as coordenadas x e y para a grade
x = np.arange(0, tensões.shape[1] * 2, 2) # 2 cm entre pontos
y = np.arange(0, tensões.shape[0] * 2, 2) # 2 cm entre pontos
x_grid, y_grid = np.meshgrid(x, y)

# interpola os valores de tensão para criar uma grade suave
grid_tensões = griddata((x_grid.ravel(), y_grid.ravel()), tensões.ravel(), (x_grid, y_grid), method='cubic')

# calcula o gradiente das linhas equipotenciais para obter Ex e Ey
Ey, Ex = np.gradient(-grid_tensões) # sinal negativo porque estamos encontrando o gradiente da tensão

# Plota a imagem da distribuição de tensão usando um mapa de cores
plt.figure()
plt.imshow(grid_tensões, extent=(x.min(), x.max(), y.min(), y.max()), origin='lower', cmap='inferno', vmin=vmin, vmax=vmax)
cbar = plt.colorbar(label='Tensão')
cbar.set_ticks([vmin, vmax]) # ajusta a escala
cbar.set_ticklabels([str(vmin), str(vmax)])
plt.xlabel('X (cm)')
plt.ylabel('Y (cm)')
plt.title('Distribuição de Tensão')
plt.grid(True)

# Plota apenas linhas equipotenciais
plt.figure()
contour_lines = np.linspace(vmin, vmax, 21)
plt.contour(x_grid, y_grid, grid_tensões, levels=contour_lines, cmap='viridis')
plt.colorbar(label='Tensão (V)')
plt.xlabel('X (cm)')
plt.ylabel('Y (cm)')
plt.title('Linhas Equipotenciais')
plt.grid(True)

# Plota linhas equipotenciais e vetores de campo elétrico juntos
plt.figure()
plt.contour(x_grid, y_grid, grid_tensões, levels=contour_lines, cmap='viridis')
plt.colorbar(label='Tensão (V)')
plt.quiver(x_grid, y_grid, Ex, Ey, scale=20, color='red') # observe o sinal negativo para Ey
plt.xlabel('X (cm)')
plt.ylabel('Y (cm)')
plt.title('Linhas Equipotenciais e Vetores de Campo Elétrico')
plt.grid(True)

plt.show()
```

Figura 2: Script responsável pelo tratamento de dados

O código utiliza os valores de tensão da planilha do excel para criar um grid de cores que varia do mais quente ao mais frio. Após isso, usa a função “plt.contour()” da biblioteca matplotlib para agrupar os valores próximos aos números inteiros de 0 a 20 (armazenada na variável “contour_lines”) e desenhar as linhas equipotenciais. Por fim, calcula o gradiente da tensão para encontrar E_x e E_y , e os utiliza para traçar as setas do campo elétrico no último gráfico. Os resultados obtidos foram:

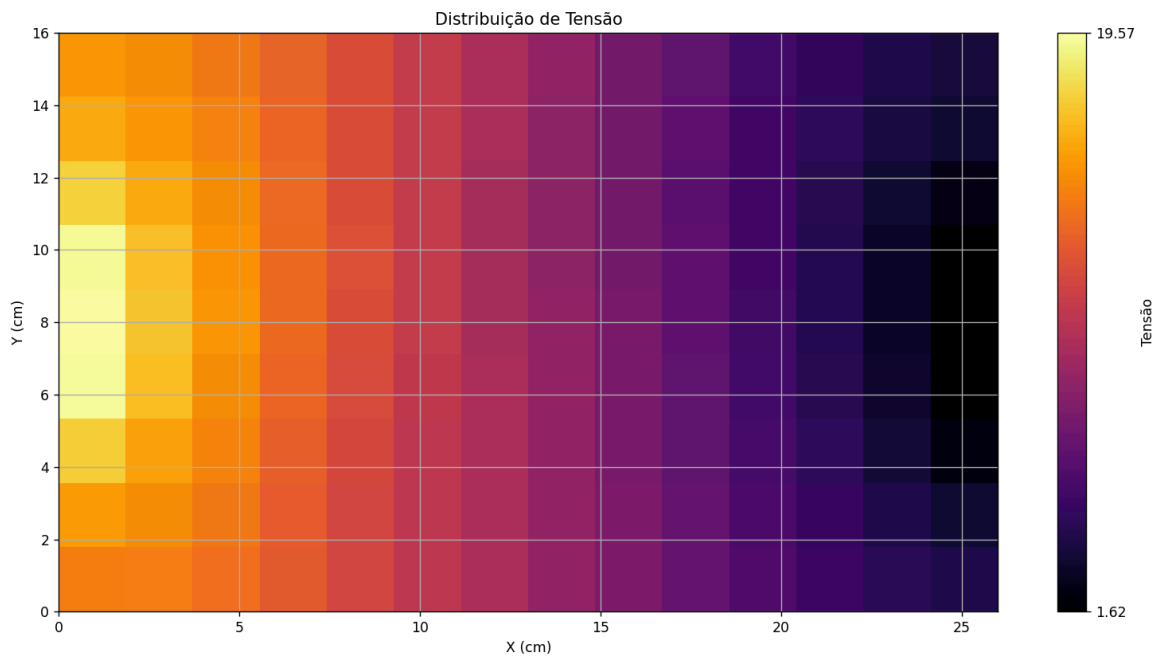


Figura 3: Gráfico de cores para a distribuição da tensão medida.

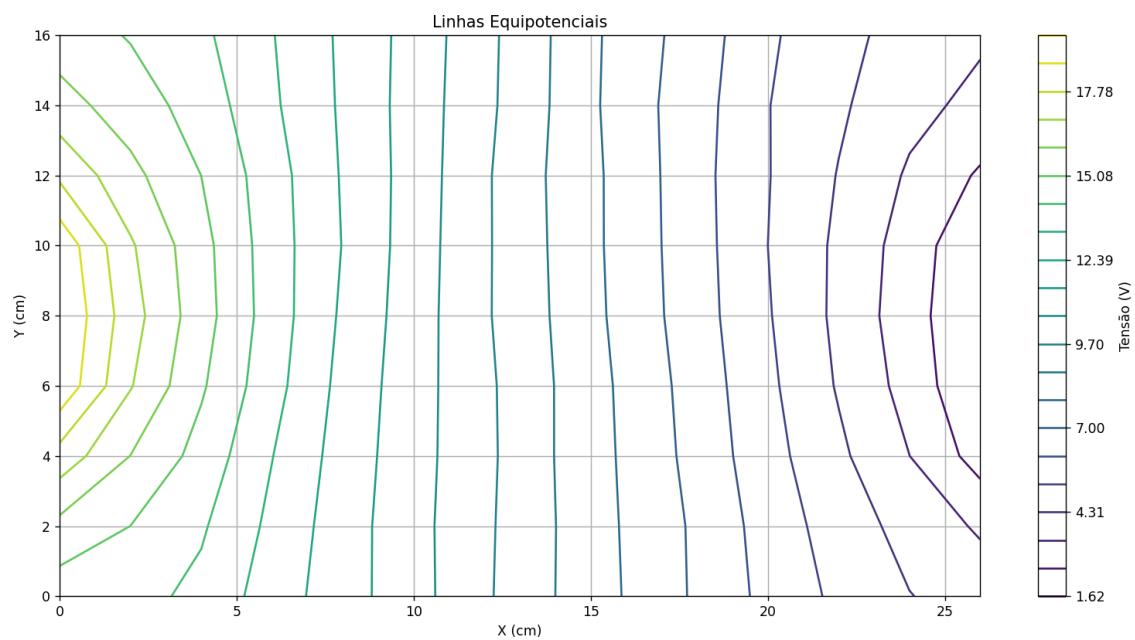


Figura 4: Gráfico das linhas equipotenciais distribuídas no espaço.

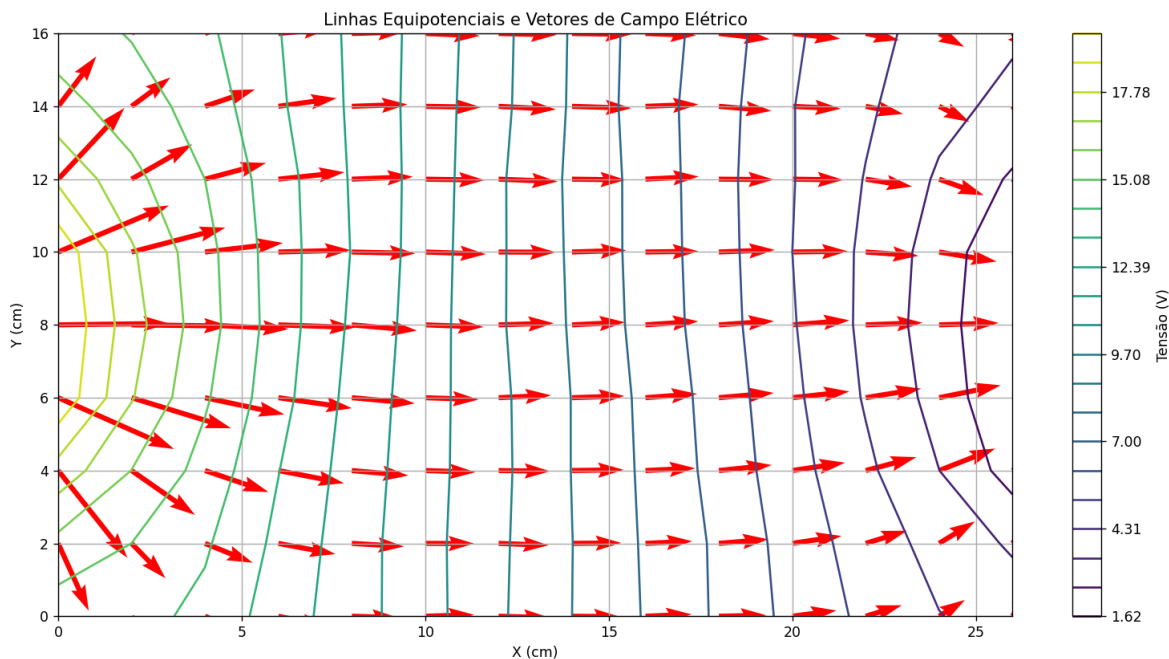


Figura 5: Gráfico das linhas equipotenciais e vetores de campo elétrico distribuídos no espaço.

4- Análise dos resultados

Com os resultados obtidos do experimento e a teoria como base, podemos comparar as duas situações. Em semelhança com o ideal teórico, os resultados do experimento mostram o vetor campo elétrico na direção do menor potencial, vindo do maior potencial. Porém comparando as figuras 5 (resultado obtido) e 1 (resultado teórico ideal) podemos ver que no experimento, diferentemente da teoria, os vetores campo elétrico não são totalmente paralelos ao eixo horizontal, possuem desvio em sua direção, o que também afeta as linhas equipotenciais, este efeito é acentuado nas extremidades do recipiente.

Essa diferença se deve tanto a fatores do meio quanto fatores físicos externos ao meio. Cada medida é afetada pelo fato dos elementos usados no meio (água e sal) não apresentarem pureza o suficiente para gerar resultados satisfatórios, além de fatores físicos como sujeiras, tais como fios de cabelo, e também o nível da mesa não estar totalmente alinhada.

5- Conclusão

Em suma, foi possível observar no experimento a ação do campo elétrico quando se aplica uma diferença de potencial elétrico em um meio condutor e constatar a teoria de que o vetor campo elétrico está na direção do maior potencial elétrico para o menor potencial elétrico. Esse conceito é aplicado amplamente nas tecnologias de capacitores, onde esse campo elétrico é armazenado dentro do capacitor. Devido a fatores do meio e fatores físicos externos ao meio a observação diferiu da teoria mostrando um desvio do vetores campo elétrico e das linhas equipotenciais, mostrando que eles não são perfeitamente retos como mostra a teoria e que este efeito é acentuado nas extremidades do condutor.

6- Referências

1. Finatto, H., Voigt, G. H. M., Carvalho, B. C., Zegarra, L. B. R., & Armas, L. E. G.. (2019). Mapping of equipotential surfaces using the free Quantum Geographic Information System software. *Revista Brasileira De Ensino De Física*, 41(4), e20190051. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2019-0051>
2. Laboratório de Física III, experimento 1. **Mapeamento de linhas equipotenciais.** <https://lemon.paginas.ufsc.br/files/2019/10/roteiro-exp-1.pdf>
3. D. Halliday. **Fundamentos de Física: eletromagnetismo.** (LTC, Rio de Janeiro, 2009).

7- Anexos

TENSÃO (V)													
14.60	14.51	13.95	12.86	11.88	10.93	9.83	8.8	7.84	6.87	5.85	5.02	4.34	3.94
15.72	15.08	14.30	13.08	11.91	10.9	9.86	8.81	7.8	6.85	5.73	4.79	4	3.29
17.42	15.97	14.76	13.31	12.01	10.94	9.91	8.78	7.75	6.7	5.54	4.49	3.42	2.14
19.37	16.94	15.20	13.61	12.12	10.97	9.89	8.78	7.7	6.62	5.4	4.23	3.08	1.65
19.57	17.25	15.46	13.75	12.25	11.02	9.81	8.71	7.59	6.5	5.28	4.11	2.9	1.62
19.31	16.99	15.38	13.72	12.36	11.06	9.82	8.67	7.55	6.46	5.21	4.14	3	1.73
17.62	16.23	15.08	13.67	12.31	11.11	9.82	8.64	7.56	6.41	5.25	4.27	3.3	2.4
16.33	15.53	14.70	13.43	12.26	11.1	9.92	8.7	7.44	6.48	5.24	4.45	3.67	3.18
15.53	15.02	14.37	13.33	12.23	11.15	9.95	8.72	7.48	6.6	5.35	4.59	3.95	3.54

Figura 6 - Planilha eletrônica dos resultados coletados