

Circuitos

Notas de aula: www.fap.if.usp.br/~hbarbosa

LabFlex: www.dfn.if.usp.br/curso/LabFlex

Profa. Eloisa Szanto
eloisa@dfn.if.usp.br
Ramal: 7111
Pelletron

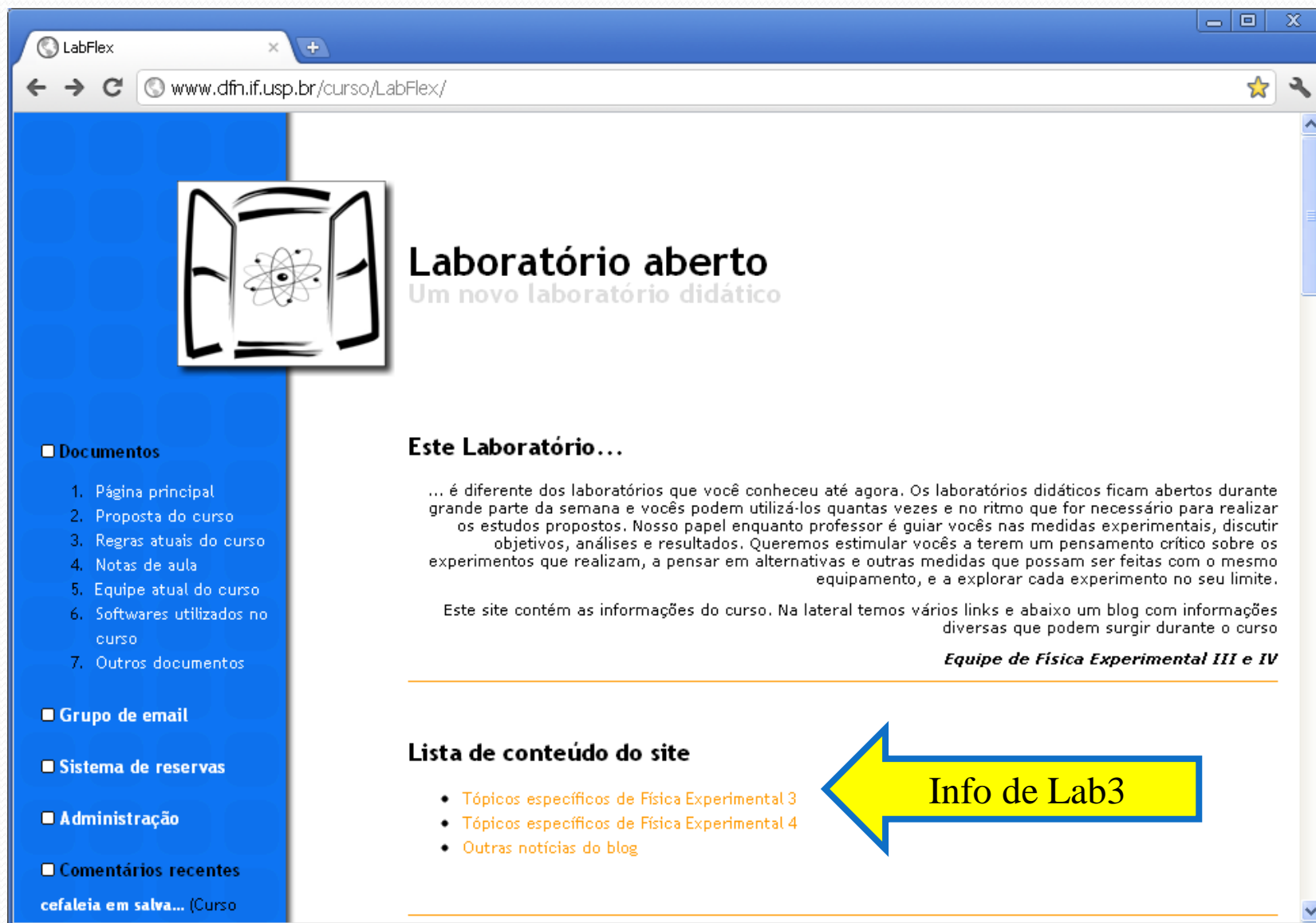
Prof. Henrique
Barbosa
hbarbosa@if.usp.br
Ramal: 6647
Basílio, sala 100

Prof. Nelson Carlin
nelson.carlin@dfn.if.usp.br
Ramal: 6820
Pelletron

Prof. Paulo Artaxo
artaxo@if.usp.br
Ramal: 7016
Basílio, sala 101

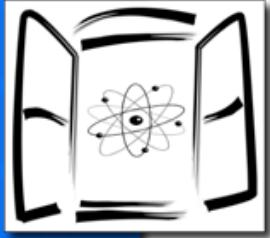
Física Exp. 3 Aula 3, Experiência 1

Usem o site!



LabFlex

www.dfn.if.usp.br/curso/LabFlex/



Laboratório aberto

Um novo laboratório didático

Documentos

1. Página principal
2. Proposta do curso
3. Regras atuais do curso
4. Notas de aula
5. Equipe atual do curso
6. Softwares utilizados no curso
7. Outros documentos

Grupo de email

Sistema de reservas

Administração

Comentários recentes

cefeleia em salva... (Curso

Este Laboratório...


... é diferente dos laboratórios que você conheceu até agora. Os laboratórios didáticos ficam abertos durante grande parte da semana e vocês podem utilizá-los quantas vezes e no ritmo que for necessário para realizar os estudos propostos. Nosso papel enquanto professor é guiar vocês nas medidas experimentais, discutir objetivos, análises e resultados. Queremos estimular vocês a terem um pensamento crítico sobre os experimentos que realizam, a pensar em alternativas e outras medidas que possam ser feitas com o mesmo equipamento, e a explorar cada experimento no seu limite.

Este site contém as informações do curso. Na lateral temos vários links e abaixo um blog com informações diversas que podem surgir durante o curso

Equipe de Física Experimental III e IV

Lista de conteúdo do site

- Tópicos específicos de Física Experimental 3
- Tópicos específicos de Física Experimental 4
- Outras notícias do blog



Arquivos no site...

LabFlex

www.dfn.if.usp.br/curso/LabFlex/

Documentos

1. Página principal
2. Proposta do curso
3. Regras atuais do curso
4. Notas de aula
5. Equipe atual do curso
6. Softwares utilizados no curso
7. Outros documentos

Grupo de email

Sistema de reservas

Administração

Comentários recentes

cefaleia em salva... (Curso relâmpago ...): dores de cabeça dores de...

pedro henrique (Curso relâmpago ...): curso esta ativo?

paulo (Curso relâmpago ...): interessa o curso

Fernandp (Curso relâmpago ...): interessado

enxaqueca (Curso relâmpago ...): estou interessado, obriga...

Tópicos de Física Experimental 3

A seguir São mostrados textos referentes ao curso de Física Experimental 3. [Para uma lista em ordem alfabética, clique aqui.](#)

1. [Vídeo tutoriais do FEMM](#)
2. [Ajustes de funções genéricas no Origin](#)
3. [Emissividade do tungstênio](#)
4. [Sensor de infra-vermelho PASCO](#)
5. [Arquivo DataStudio para medida de espectro de lâmpada](#)
6. [Convertendo dados do Osciloscópio GD5-20XX](#)
7. [Fis. Exp. III - 2008 - Material para experiência III](#)
8. [IMPORTANTE: Estudo de elétrons no campo magnético](#)
9. [Tutorial do Origin](#)
10. [Mapeamento de campos elétricos](#)
11. [Fis. Exp. III - 2008 - Material para experiência II](#)
12. [Precisão de leitura de tensão do DataStudio](#)
13. [Constante de Stefan-Boltzmann](#)
14. [Relação entre resistência e temperatura do tungstênio](#)
15. [Números aleatórios gaussianos](#)
16. [Tutorial de uso de multímetro](#)
17. [Fis. Exp. III - 2008 - Material para experiência I](#)
18. [Massas e dimensões das agulhas de bússola](#)
19. [Ressonância magnética](#)
20. [Applet para Lei de Faraday](#)
21. [Como obter LBeF?](#)
22. [Evite usar o amperímetro!](#)
23. [Correção na fórmula do desvio em campo magnético](#)
24. [QField](#)
25. [Acurácia e precisão](#)
26. [Sensor magnético PASCO CI-6520A](#)
27. [BROffice e Laplaciano](#)

**Arquivos importantes
Para a experiência**

Sistema de blog

LabFlex

www.dfn.if.usp.br/curso/LabFlex/

Sistema de reservas

Administração

Comentários recentes

cefaieia em salva... (Curso relâmpago ...): dores de cabeça dores de...

pedro henrique (Curso relâmpago ...): curso esta ativo?

paulo (Curso relâmpago ...): interessa o curso

Fernandp (Curso relâmpago ...): interessado

enxaqueca (Curso relâmpago ...): estou interessado, obriga...

Calendário

August 2011						
S	M	T	W	T	F	S
	1	2	3	4	5	6
7	8	9	10	11	12	13
14	15	16	17	18	19	20
21	22	23	24	25	26	27
28	29	30	31			

Arquivos

01 Aug - 31 Aug 2007

01 Sep - 30 Sep 2007

01 Oct - 31 Oct 2007

01 Nov - 30 Nov 2007

Lista de conteúdo do site

- Tópicos específicos de Física Experimental 3
- Tópicos específicos de Física Experimental 4
- Outras notícias do blog

Blog do LabFlex

Lab3 - 2011

Atenção para a primeira aula de discussão que será amanhã, dia 9/agosto, as 8hs. As duplas já foram formadas e distribuídas entre os professores:

Henrique Barbosa - Auditório Norte
Eloisa Szanto - Auditório Novo 1
Joel Brito - Auditório Novo 2

hbarbosa 08 08 11 - 10:38 Sem comentários

Aula Inaugural de Lab3 (DIURNO)

Pessoal,

Sejam bem vindos ao Laboratório Aberto de Física 3. Nesta terça feira vocês tiveram a aula inaugural do curso, onde foi passado o funcionamento, a metodologia, todas as regras e critérios de avaliação. Se tiverem alguma dúvida, vejam a aula em PDF no link abaixo:

<http://www.fap.if.usp.br/~hbarbosa/uploads/Site/LabAberto2011Fis3/Aula00.pdf>

Visitem o site para acompanhar as notícias da disciplina

Lista de Discussão

- Lista geral de todas as turmas, professores e monitores:
 - Deve ser usada para tirar dúvidas, trocar experiências, comparar resultados, etc...
 - Os avisos gerais da disciplinas serão distribuídos por esta lista, por isso, assinem!

<http://groups.google.com/group/labflex>

- Lista da nossa turma:
 - Deve ser usada para me encontrar, discutir algo entre apenas entre a nossa turma (ex. projeto), etc...

<http://groups.google.com/group/lab-henrique>

Experiência 1: Circuitos

1. Circuitos de Corrente Contínua

- Como medir grandezas elétricas?
- Os instrumentos de medida influenciam no resultado de uma medida? Como escolher o instrumento certo?

2. Pilha e Lâmpada

- Como varia a tensão de uma pilha ou em uma lâmpada em função da corrente? Curvas características, força eletromotriz e resistência interna

3. Capacitores

- Como é o campo elétrico de um capacitor real de placas paralelas? Simulações, medidas e teoria.

O que se pretende nesta semana:

- Simular o campo elétrico de um capacitor de placas paralelas.
- Essa simulação vai ser útil no segundo experimento que é a construção de um seletor de velocidades de partículas carregadas:
 - Esse instrumento utiliza um campo elétrico capaz de mudar a direção de um feixe de partículas carregadas.
 - O campo elétrico deve ser perpendicular à velocidade das partículas do feixe e a maneira mais simples de se obter isso é através de um capacitor de placas paralelas.

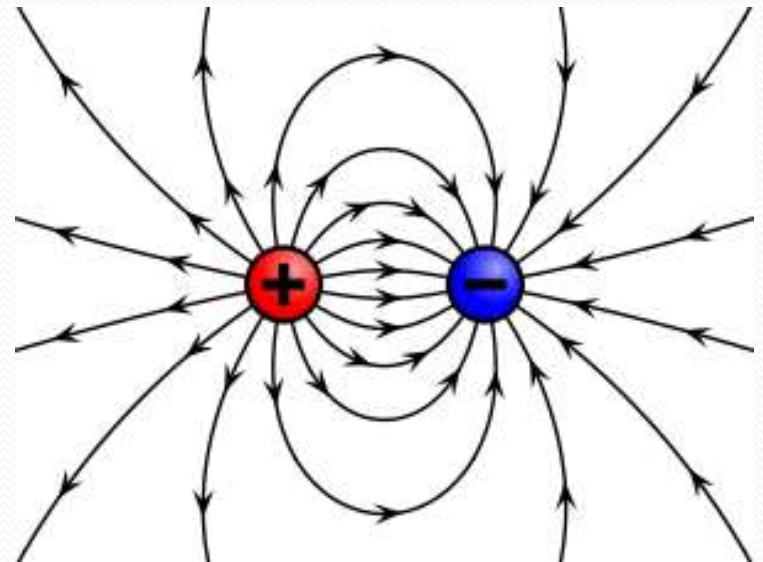
A proposta:

- Estudar isoladamente o campo elétrico de um capacitor que é um par de placas paralelas:
 - 1 - Simular o campo elétrico de um capacitor real de placas paralelas na cuba eletrolítica
 - 2 - Simular o campo elétrico de um capacitor real de placas paralelas numa planilha Excel e comparar com a simulação na cuba
 - 3 - Comparar a expressão analítica do campo elétrico, ao longo do eixo de simetria, do mesmo capacitor ideal de placas paralelas, com as 2 simulações acima
- Para tanto vamos passar rapidamente por algumas definições:
 - A maioria delas vocês estão vendo ou verão logo, no curso de teoria.

Força elétrica entre cargas:

- A força entre duas cargas elétricas:
$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} \hat{u}$$
- É uma força conservativa! Ou seja, o trabalho que ela faz sobre uma carga só depende das posições inicial e final e não do caminho percorrido.
- Como é conservativa, existe um potencial tal que:

$$U_1 - U_2 = -W = -\int_{P_1}^{P_2} \vec{F} \cdot d\vec{l}$$

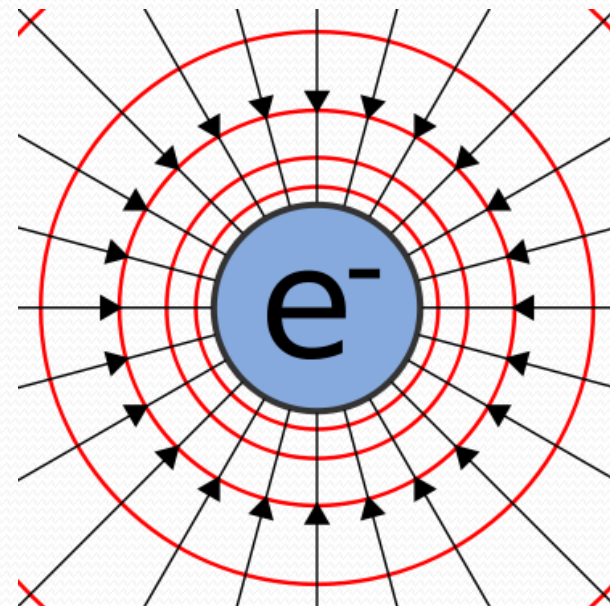
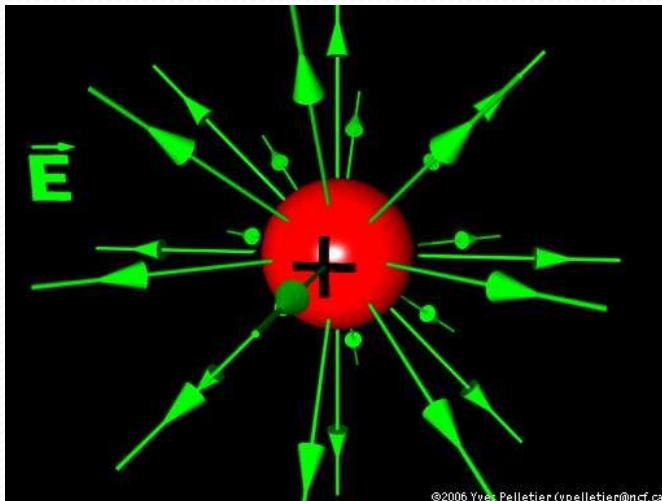


O campo elétrico

- O campo elétrico é definido como a força elétrica por unidade de carga:

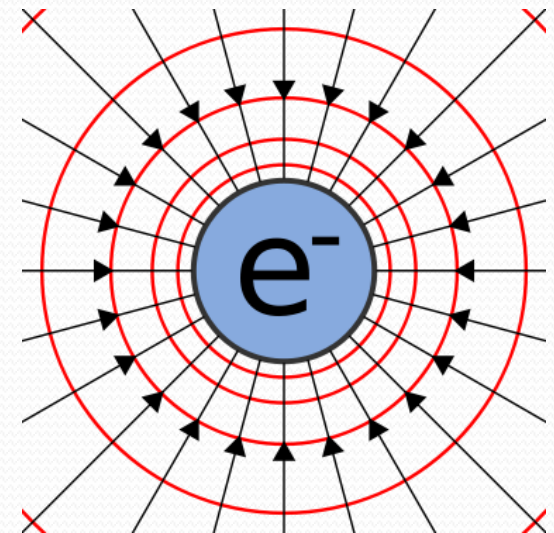
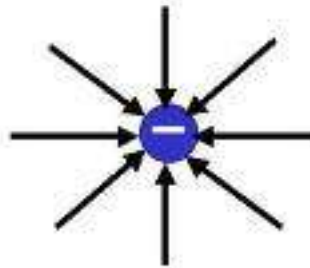
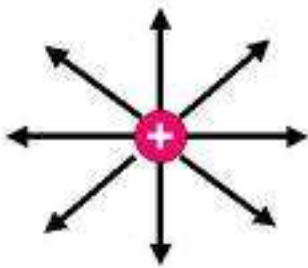
$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$$

- A direção do campo é a direção da força exercida sobre uma carga de teste positiva.



O campo elétrico

- Vai existir um campo de força numa determinada região do espaço quando o objeto apropriado em qualquer ponto dessa região fica sujeito a uma força:
 - Uma carga de teste positiva, colocada em qualquer posição em torno de uma carga “e” vai ficar sujeita a uma força cuja direção e sentido é indicado pelas flechas em negro.
 - **Faraday introduziu o conceito de linhas de força, ou linhas de campo, para indicar esses vetores.**



O Potencial elétrico

- O potencial eletrostático em um determinada posição (na vizinhança de uma distribuição de cargas é definido como a energia potencial que teria uma carga de teste nessa posição dividida pela carga de teste:

$$V(P_1) = -\frac{U(p_1)}{q} = \frac{U(P_0)}{q} - \frac{1}{q} \int_{P_0}^{P_1} \vec{F} \cdot d\vec{l}$$

- Se existe um campo de força numa região do espaço:

$$V(P_1) = V(P_0) - \int_{P_0}^{P_1} \vec{E} \cdot d\vec{l}$$

- Existe um valor de potencial associado a cada ponto, definido a menos de uma constante!

As linhas de campo e as equipotenciais

- Definição de potencial: para um deslocamento qualquer $d\mathbf{s}$ na posição, a variação dV no potencial é dada por:

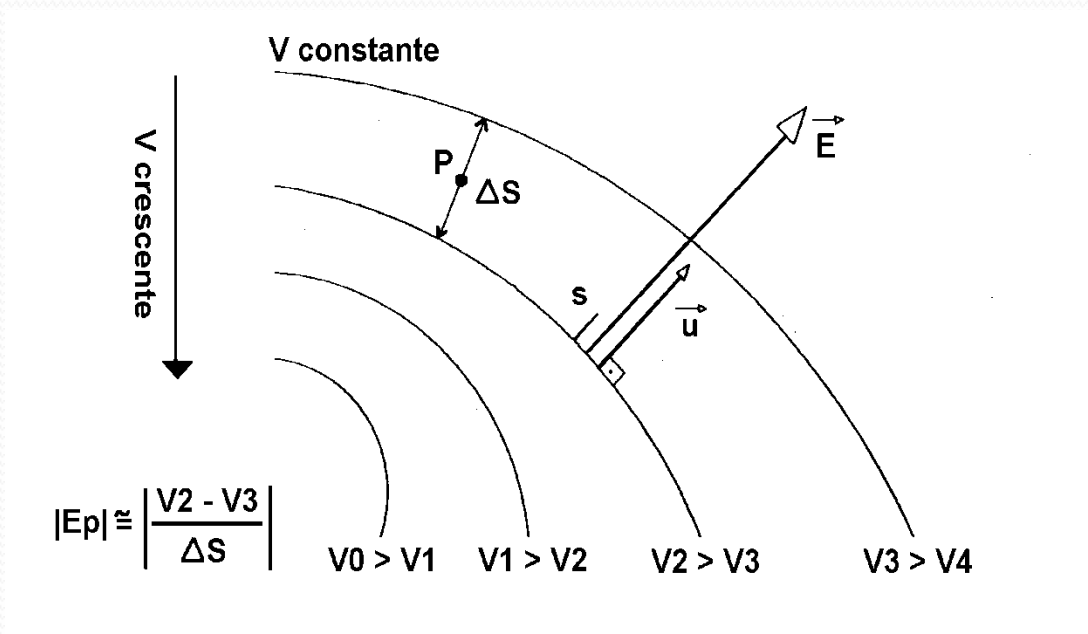
$$dV = -\vec{E} \cdot d\vec{s} = -Eds \cos \theta$$

θ é o ângulo entre o vetor campo elétrico \mathbf{E} e o vetor deslocamento $d\mathbf{s}$ na posição

- A máxima variação dV no potencial ocorre quando $d\mathbf{s}$ e \mathbf{E} são paralelos!
- Quando $d\mathbf{s}$ e \mathbf{E} são perpendiculares entre si, $dV=0$, e isso significa que \mathbf{E} é perpendicular às superfícies equipotenciais!

O campo elétrico

- \mathbf{u} é um versor perpendicular à equipotencial e s é a coordenada na direção do sentido de \mathbf{u} :



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

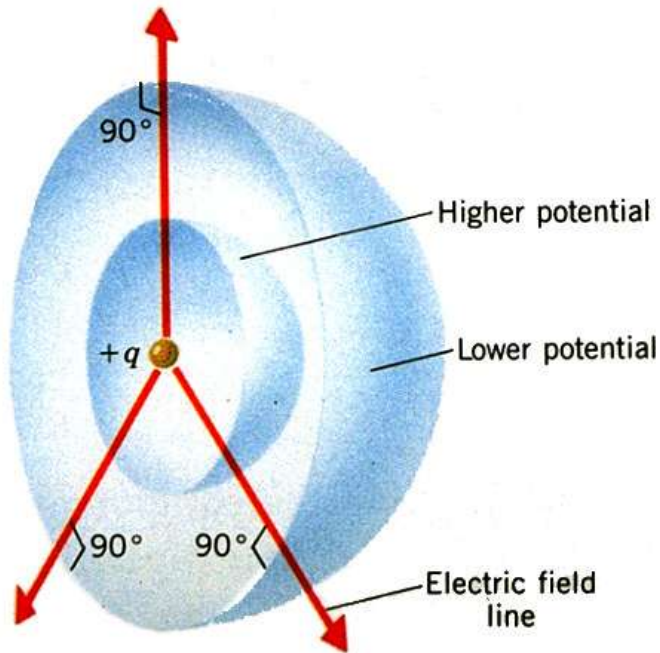
$$dV = -\vec{E} \cdot d\vec{s}$$

$$\vec{E} = -\frac{\partial V}{\partial s} \vec{u}$$

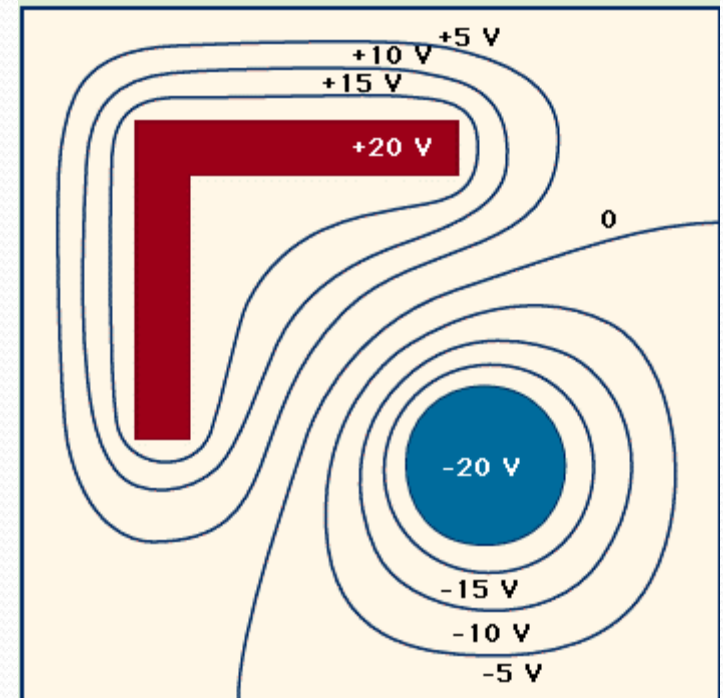
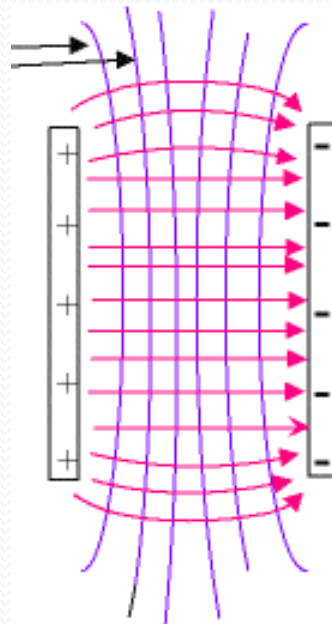
$$E \cong -\left(\frac{\Delta V}{\Delta s} \right)$$

Superfícies equipotenciais

- As superfícies equipotenciais (**3D**) (representadas por linhas equipotenciais **2D** no papel) são aquelas nas quais o valor do potencial **V** é constante.

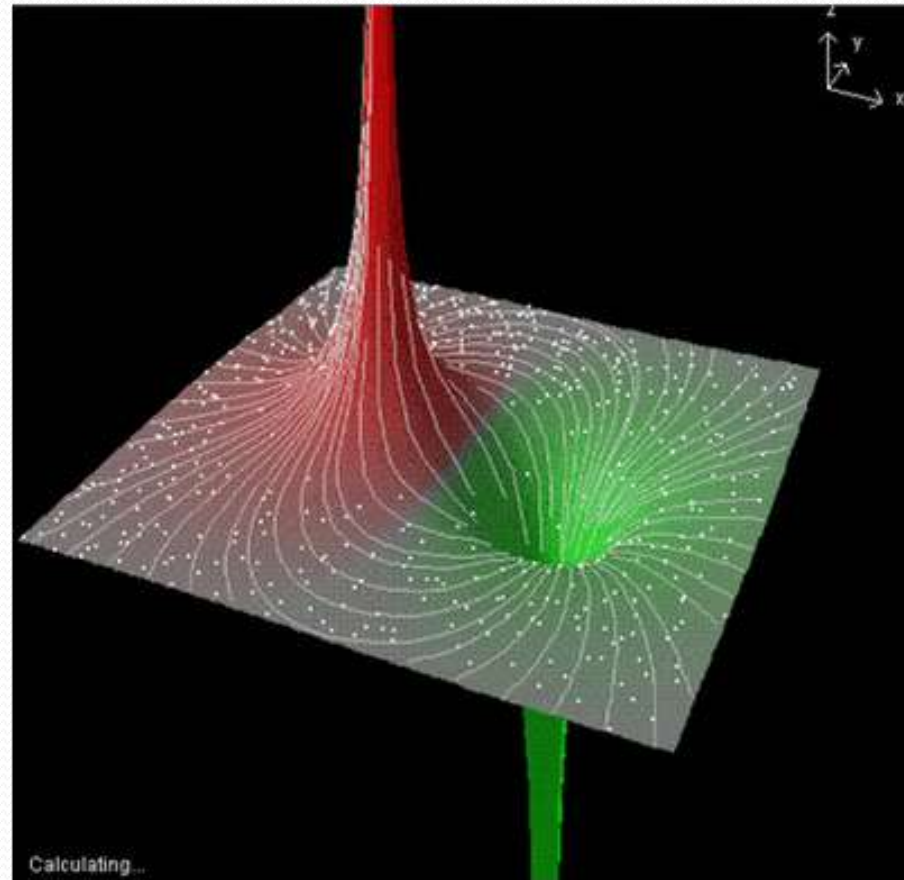


Copyright John Wiley & Sons



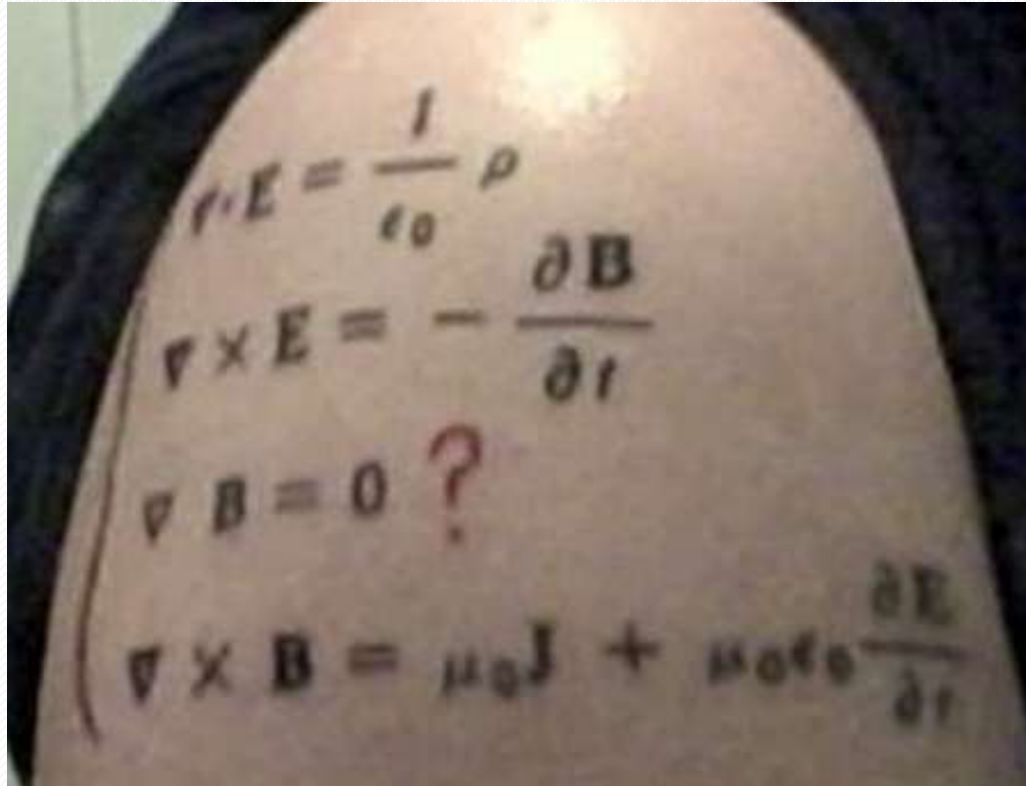
Linhas de campo

- As linhas de campo são perpendiculares às equipotenciais.
- Ex.: A configuração é a de um dipolo elétrico, mostrando as linhas de campo tridimensionais.



Como e o que medir para o estudo do campo elétrico?

- Não é possível medir campo elétrico, mas é possível medir diferenças de potencial:
 - Com elas se constrói as equipotenciais
 - A partir das equipotenciais se obtém o campo elétrico
- Como determinar o potencial?
 - Analiticamente a partir da resolução das equações diferenciais que descrevem a geometria da configuração de cargas
 - Métodos numéricos → simulação computacional
 - Simulação experimental numa cuba eletrolítica bidimensional



1. Calculando teoricamente

Comparação teórica

Para determinar o potencial teoricamente, precisamos resolver as equações do EM

- Lei de Gauss

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0} \quad \Rightarrow \quad \vec{\nabla} \cdot (-\nabla V) = \frac{\rho}{\epsilon_0}$$

- Equação de Poisson para o potencial

$$\nabla^2 V = -\frac{\rho}{\epsilon_0}$$

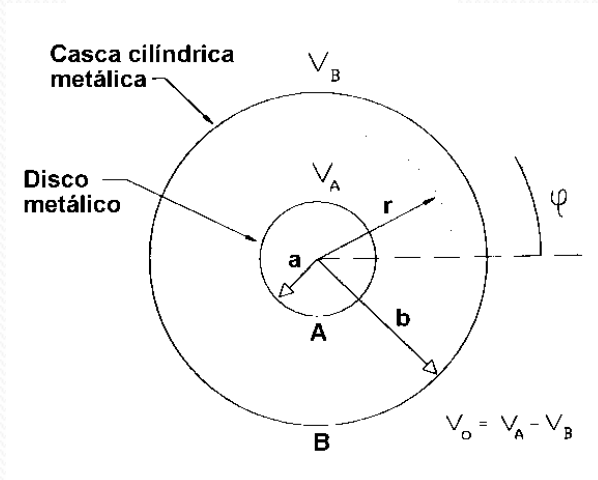
- Na ausência de cargas livres (Equação de Laplace)

$$\nabla^2 V = 0$$

Resolvendo a equação de Laplace

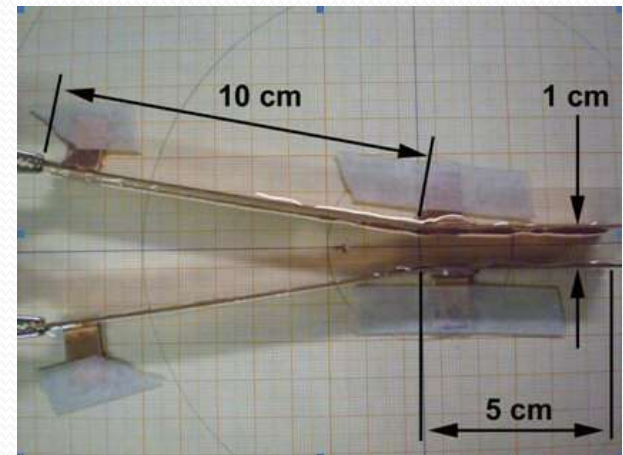
$$\nabla^2 V = 0$$

- Sistemas simétricos
 - Resolução algébrica fácil



$$V(r) = A \ln r + B$$

- Sistemas mais complexos
 - Como resolver?



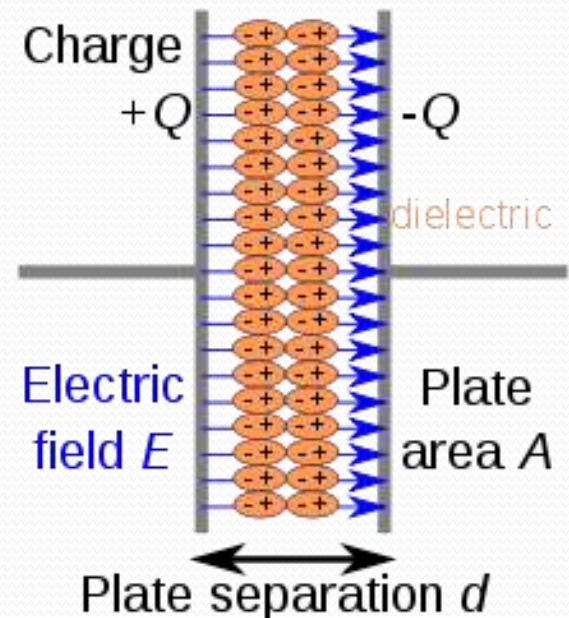
$$V(x, y) = ?$$

Outro exemplo simples: Capacitor

- Um capacitor é formado por dois condutores separados por uma região não condutora (dielétrico).
- Quando cargas opostas se acumulam em cada um dos condutores, um campo elétrico se forma entre os dois.
- A capacitância é dada por:

$$C = \frac{q}{V}$$

- A unidade no S.I. é o Farad



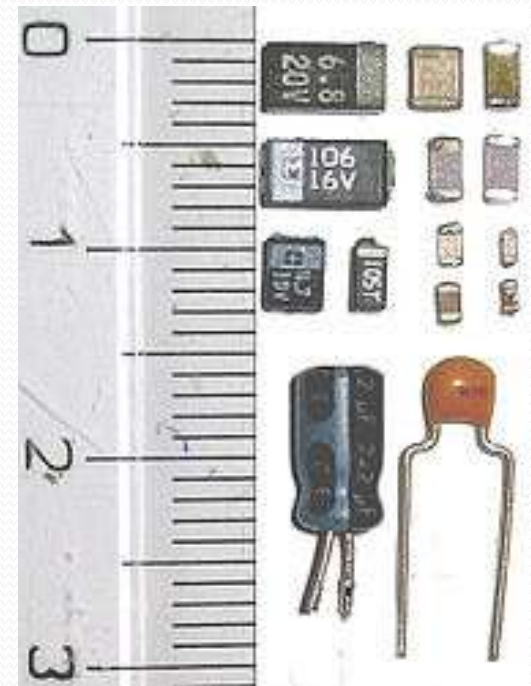
Capacitor

- É preciso de um trabalho externo para mover as cargas entre os dois condutores de um capacitor.
- Quando se retira a influência externa (desliga-se o capacitor), o campo elétrico persiste e o trabalho realizado fica armazenado no campo elétrico.

- O trabalho é simplesmente:

$$W = \int \vec{F} \cdot d\vec{s} = -\int q\vec{E} \cdot d\vec{s} = +\int_0^q qdV$$

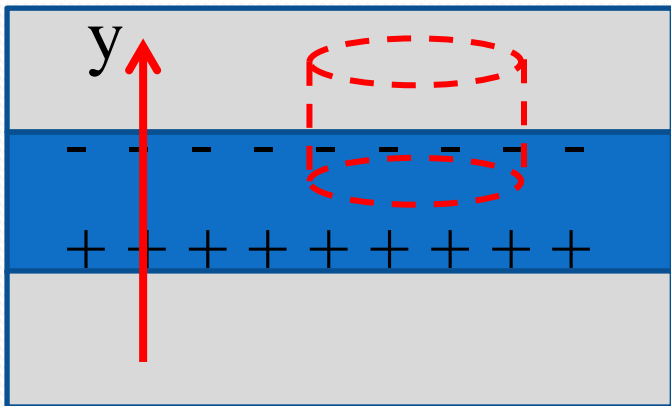
$$W = \int_0^q \frac{q}{C} dq = \frac{q^2}{2C} = \frac{CV^2}{2} = \frac{qV}{2}$$



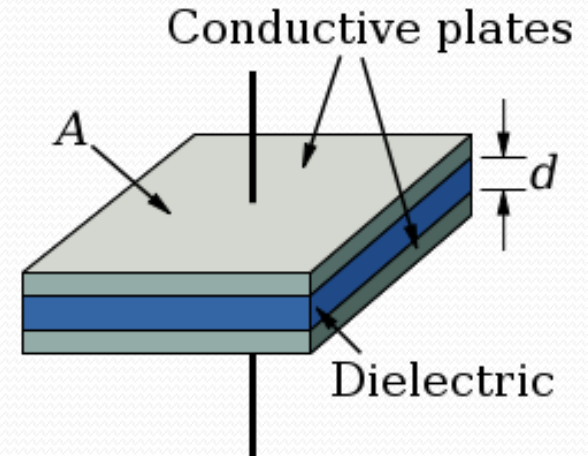
Capacitor de placas paralelas

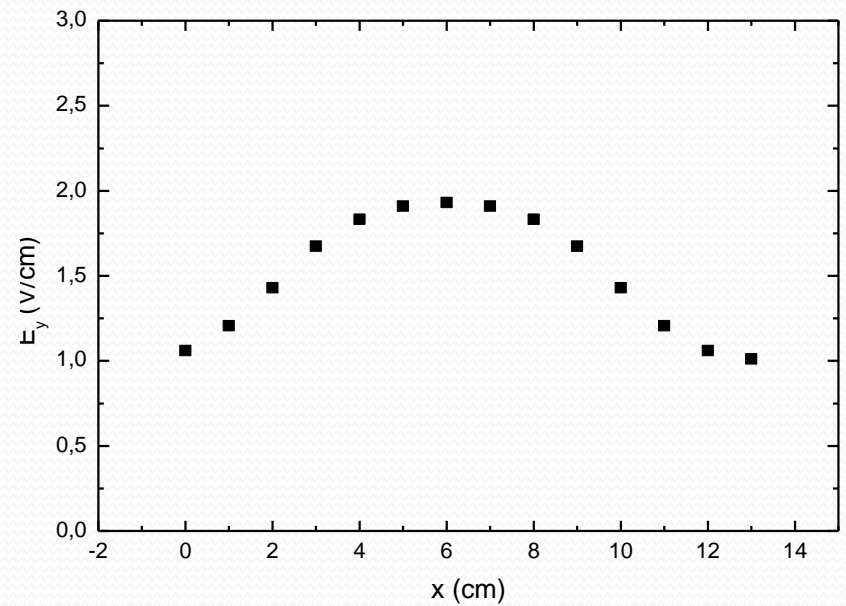
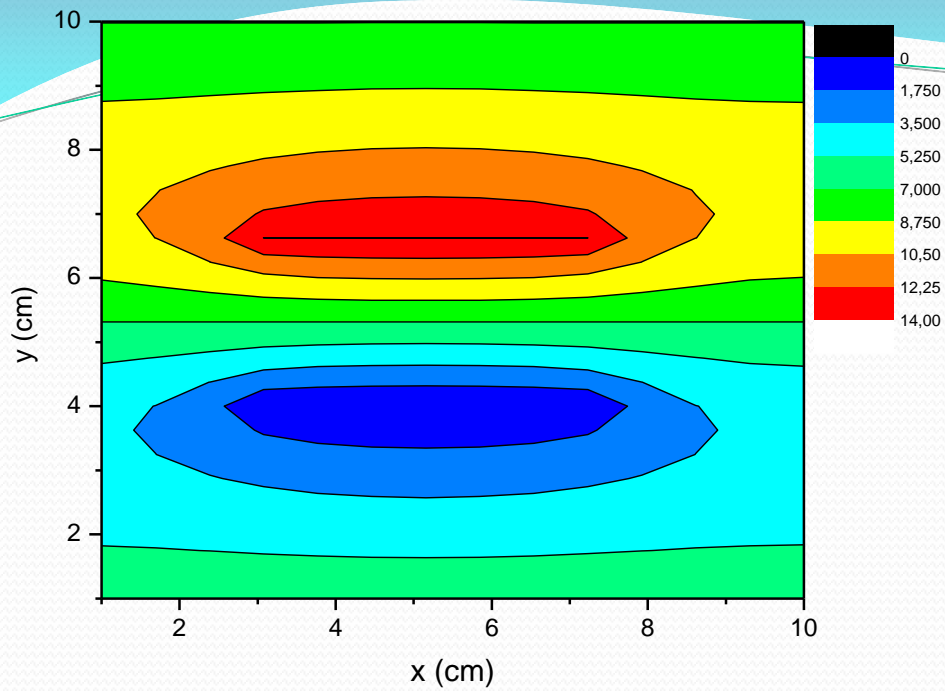
- O capacitor mais simples é o de placas paralelas. Se d é pequeno, o campo elétrico é **uniforme, perpendicular as placas**, e pode ser calculado pela lei de gauss:

$$\oint_S \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{q}{\epsilon_0} \Rightarrow E dA = \frac{dq}{\epsilon_0} \Rightarrow E = \frac{dq / dA}{\epsilon_0} \Rightarrow V = \frac{q}{\epsilon_0 A / d}$$



$$\vec{E} = 0$$
$$\vec{E} = |E| \hat{j}$$





2. Simulação numérica

Resolução numérica da equação de Laplace

- Vamos olhar o Laplaciano em duas dimensões:

$$\nabla^2 V = \frac{\partial^2}{\partial x^2} V(x, y) + \frac{\partial^2}{\partial y^2} V(x, y) = 0$$

- Como calcular estas derivadas?
 - Aproximação numérica para derivada

$$\frac{\partial}{\partial x} V(x, y) \approx \frac{\Delta V}{\Delta x} = \frac{V(x + \Delta x / 2, y) - V(x - \Delta x / 2, y)}{\Delta x}$$

Resolução numérica da equação de Laplace

- Vamos agora calcular a derivada segunda

$$\begin{aligned}\frac{\partial^2}{\partial x^2} V(x, y) &\approx \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{V(x + \Delta x/2, y) - V(x - \Delta x/2, y)}{\Delta x} \right) \\ &\approx \frac{1}{\Delta x} \left(\frac{\partial}{\partial x} V(x + \Delta x/2, y) - \frac{\partial}{\partial x} V(x - \Delta x/2, y) \right)\end{aligned}$$

- Vamos calcular o primeiro termo da expressão acima:

$$\frac{\partial}{\partial x} V(x + \Delta x/2, y)$$

Resolução numérica da equação de Laplace

- Cálculo do primeiro termo:

$$\frac{\partial}{\partial x} V(\overbrace{x + \Delta x/2, y}^{x_0}) = \frac{V(\overbrace{x + \Delta x/2 + \Delta x/2, y}^{x_0}) - V(\overbrace{x + \Delta x/2 - \Delta x/2, y}^{x_0})}{\Delta x}$$

- Ou seja:

$$\frac{\partial}{\partial x} V(x + \Delta x/2, y) = \frac{V(x + \Delta x, y) - V(x, y)}{\Delta x}$$

- Do mesmo modo para o segundo termo:

$$\frac{\partial}{\partial x} V(x - \Delta x/2, y) = \frac{V(x, y) - V(x - \Delta x, y)}{\Delta x}$$

Resolução numérica da equação de Laplace

- Assim, as derivadas segunda, em x e y , valem:

$$\frac{\partial^2}{\partial x^2} V(x, y) = \frac{V(x + \Delta x, y) - 2V(x, y) + V(x - \Delta x, y)}{\Delta x^2}$$

$$\frac{\partial^2}{\partial y^2} V(x, y) = \frac{V(x, y + \Delta y) - 2V(x, y) + V(x, y - \Delta y)}{\Delta y^2}$$

- Se escolhermos $\Delta x = \Delta y = \Delta$ pode-se resolver a equação de Laplace facilmente

$$\frac{\partial^2}{\partial x^2} V(x, y) + \frac{\partial^2}{\partial y^2} V(x, y) = 0$$

Resolução numérica da equação de Laplace

- Substituindo as derivadas calculadas e fazendo $\Delta x = \Delta y = \Delta$ a equação de Laplace fica:

$$\frac{V(x + \Delta, y) + V(x - \Delta, y) - 4V(x, y) + V(x, y + \Delta) + V(x, y - \Delta)}{\Delta^2} = 0$$

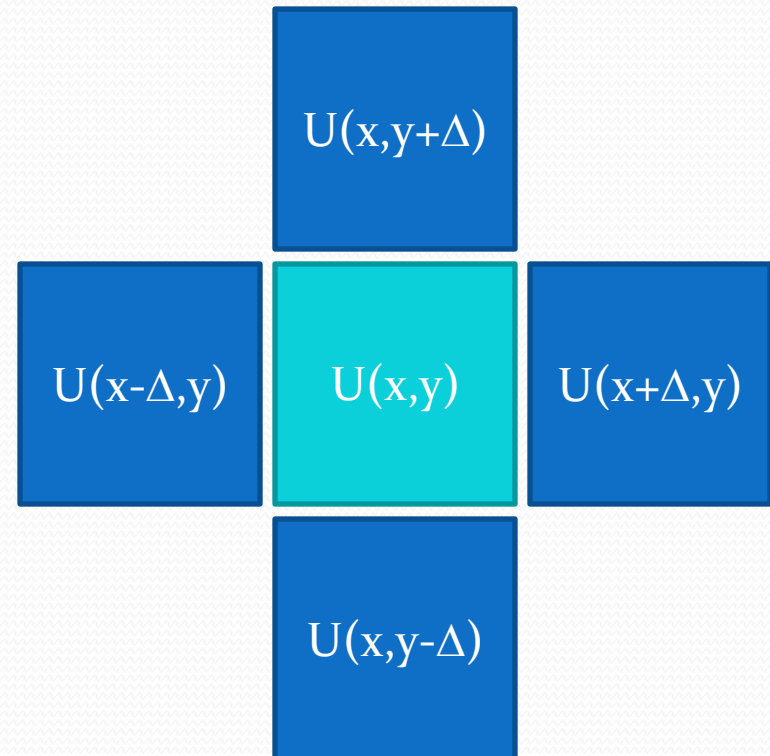
- Isolando o termo $V(x,y)$, encontramos:

$$V(x, y) = \frac{V(x + \Delta, y) + V(x - \Delta, y) + V(x, y + \Delta) + V(x, y - \Delta)}{4}$$

Resolução numérica da equação de Laplace

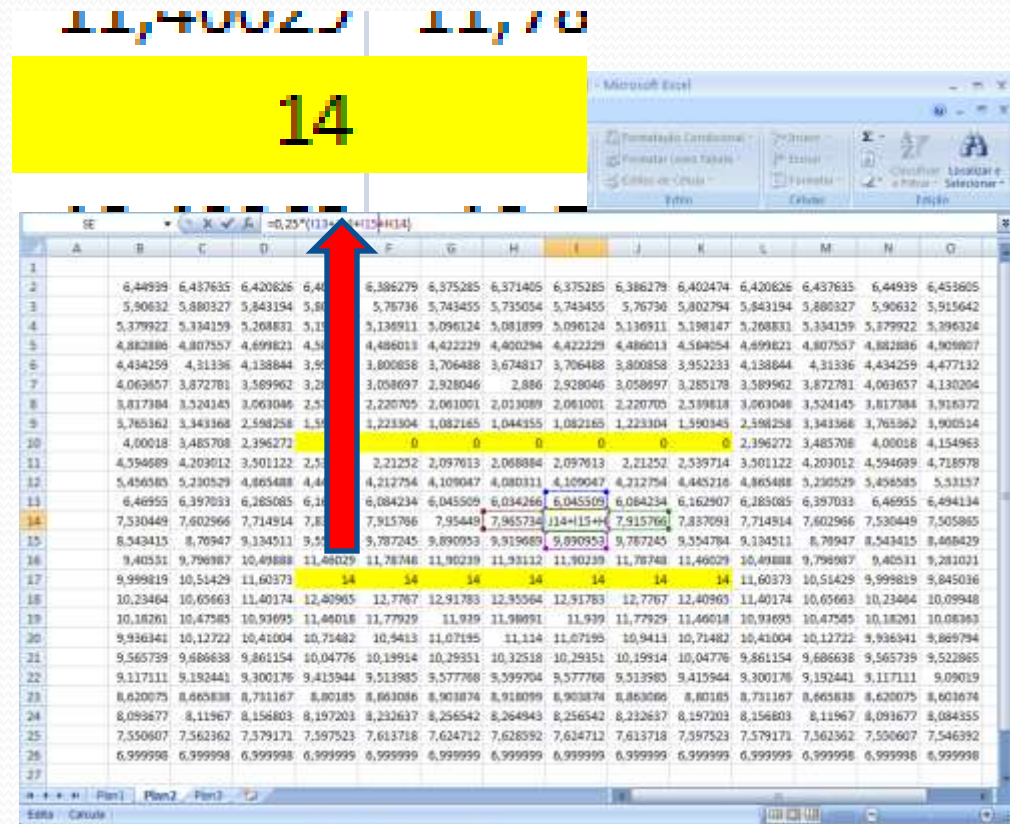
- Ou seja:
 - A solução da equação de Laplace diz que o potencial em um ponto é dado pela MÉDIA SIMPLES dos potenciais nas vizinhanças.
 - Podemos usar o EXCEL!!!!

$$V(x,y) = \frac{1}{4} \left(\begin{array}{c} V(x + \Delta, y) + \\ V(x - \Delta, y) + \\ V(x, y + \Delta) + \\ V(x, y - \Delta) \end{array} \right)$$

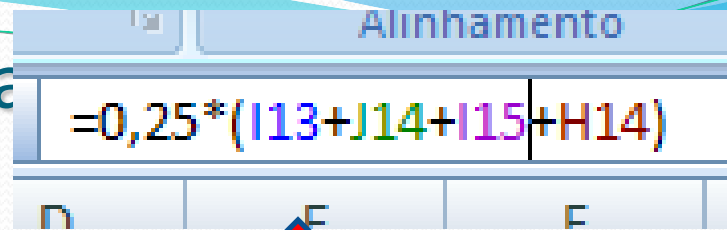


Criando um Excel para calcular o Laplaciano

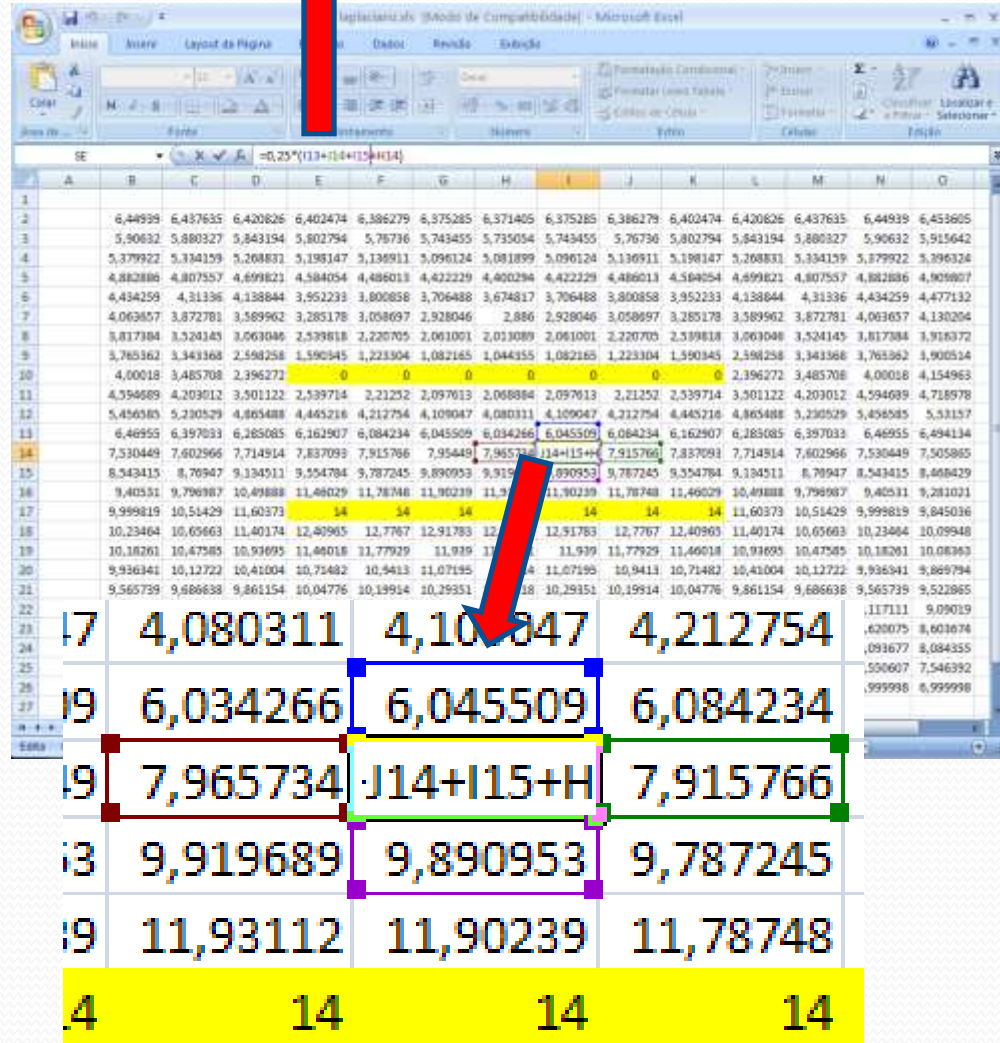
- Definir o tamanho equivalente (D) de cada célula
- Definir as condições de contorno
 - Amarelo para diferenciar



Criando um Excel para ca



- Definir o tamanho equivalente (D) de cada célula
- Definir as condições de contorno
 - Amarelo para diferenciar
- Programar as equações nas células



$$f_x = 0,25 * (E26 + F2 + E3 + D2)$$

Criando um

o Laplaciano

- Definir o tamanho da matriz equivalente e a célula inicial
- Definir as condições de contorno
 - Amarelo para diferenciar
- Programar as equações nas células
- Estabelecer bordas cíclicas para simular o infinito
- Mandar calcular (F9) até convergir.

	D	E	F
02	6,386184	=0,25*(E26+F2+E3+D2)	6,354573
91	5,809742	5,770682	5,736701
61	5,237632	5,168216	5,108773
97	4,671778	4,55722	4,4604

laplaciano.xls (Modo de Compatibilidade) - Microsoft Excel

Fórmula Dado Revisão Edição

Formato Condicional Ferramentas de Tabela Cálculo de Células

Estilos de Células

SE

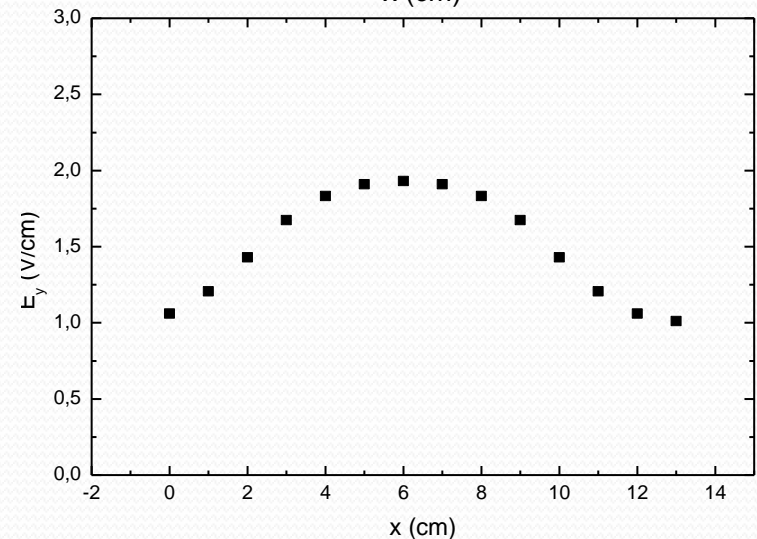
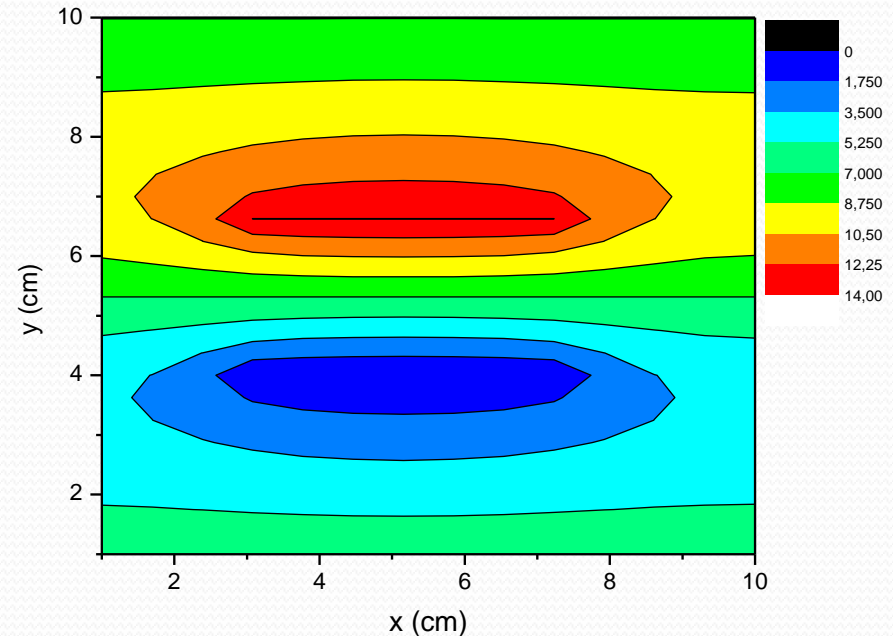
0,25*(I13+I14+I15+H14)

A	B	C	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1													
2	6,44939	6,437635	6,420265	6,402474	6,386279	6,375285	6,371405	6,375285	6,386279	6,402474	6,420265	6,437635	6,44939
3	5,90632	5,880327	5,843194	5,802794	5,757336	5,743455	5,735054	5,743455	5,757336	5,802794	5,843194	5,880327	5,90632
4	5,379922	5,341159	5,288831	5,235147	5,138911	5,096124	5,081899	5,096124	5,138911	5,198147	5,268831	5,334159	5,379922
5	4,882886	4,807557	4,699823	4,584054	4,486013	4,422229	4,400294	4,422229	4,486013	4,584054	4,699823	4,807557	4,882886
6	4,434259	4,31136	4,138844	3,951233	3,800858	3,706488	3,674817	3,706488	3,800858	3,951233	4,138844	4,31136	4,434259
7	4,063857	3,872781	3,589962	3,285178	3,058697	2,928046	2,886	2,928046	3,058697	3,285178	3,589962	3,872781	4,063857
8	3,817384	3,520485	3,063046	2,539818	2,226705	2,061001	2,013089	2,061001	2,226705	2,539818	3,063046	3,520485	3,817384
9	3,765162	3,343168	2,598258	1,900545	1,223304	1,082165	1,044355	1,082165	1,223304	1,590345	2,398258	3,343168	3,765162
10	4,00018	3,485708	2,396272	0	0	0	0	0	0	0	2,396272	3,485708	4,00018
11	4,594689	4,203612	3,501122	2,539714	2,21252	2,097013	2,068884	2,097013	2,21252	2,539714	3,501122	4,203612	4,594689
12	5,456385	5,230529	4,865488	4,445218	4,212754	4,109047	4,080311	4,109047	4,212754	4,445218	4,865488	5,230529	5,456385
13	6,46955	6,397033	6,285085	6,162907	6,048234	6,045509	6,04266	6,045509	6,048234	6,162907	6,285085	6,397033	6,46955
14	7,530449	7,602966	7,714914	7,837093	7,915706	7,95449	7,955734	7,95449	7,915706	7,837093	7,714914	7,602966	7,530449
15	8,543415	8,70947	9,134511	9,554784	9,787245	9,890933	9,919689	9,890933	9,787245	9,554784	9,134511	8,70947	8,543415
16	9,40551	9,798887	10,49888	11,48029	11,78748	11,90239	11,93132	11,90239	11,78748	11,48029	10,49888	9,798887	9,40551
17	9,999819	10,51429	11,60379	14	14	14	14	14	14	14	11,60379	10,51429	9,999819
18	10,23464	10,65663	11,40174	12,40965	12,7767	12,91783	12,93564	12,91783	12,7767	12,40963	11,40174	10,65663	10,23464
19	10,18261	10,47585	10,93695	11,46018	11,77929	11,939	11,98991	11,939	11,77929	11,46018	10,93695	10,47585	10,18261
20	9,936341	10,12722	10,41004	10,71482	10,9413	11,07195	11,114	11,07195	10,9413	10,71482	10,41004	10,12722	9,936341
21	9,565739	9,686638	9,861154	10,04776	10,19914	10,29351	10,32518	10,29351	10,19914	10,04776	9,861154	9,686638	9,565739
22	9,117111	9,192441	9,300179	9,413944	9,513985	9,577768	9,599704	9,577768	9,513985	9,413944	9,300179	9,192441	9,117111
23	8,620075	8,668838	8,731167	8,80185	8,863086	8,903874	8,918099	8,903874	8,863086	8,80185	8,731167	8,668838	8,620075
24	8,093677	8,11567	8,158803	8,197203	8,232637	8,256542	8,264943	8,256542	8,232637	8,197203	8,158803	8,11567	8,093677
25	7,550607	7,562362	7,579171	7,597523	7,613718	7,624712	7,628392	7,624712	7,613718	7,597523	7,579171	7,562362	7,550607
26	6,999998	6,999998	6,999998	6,999998	6,999998	6,999998	6,999998	6,999998	6,999998	6,999998	6,999998	6,999998	6,999998

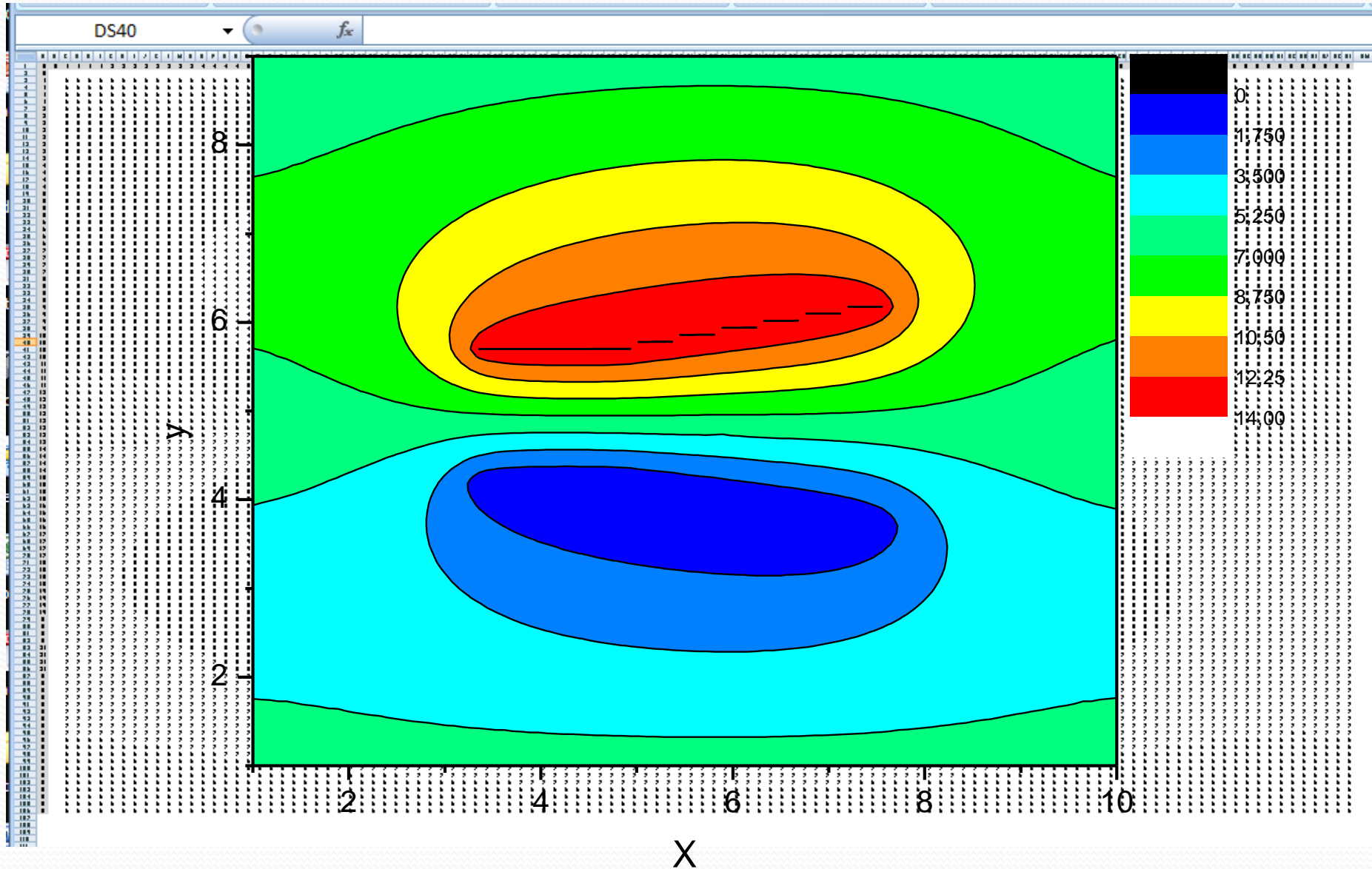
7,0362	8,775445	8,837
12,0214	8,16784	8,204
546428	7,566058	7,583
366152	6,967447	6,968

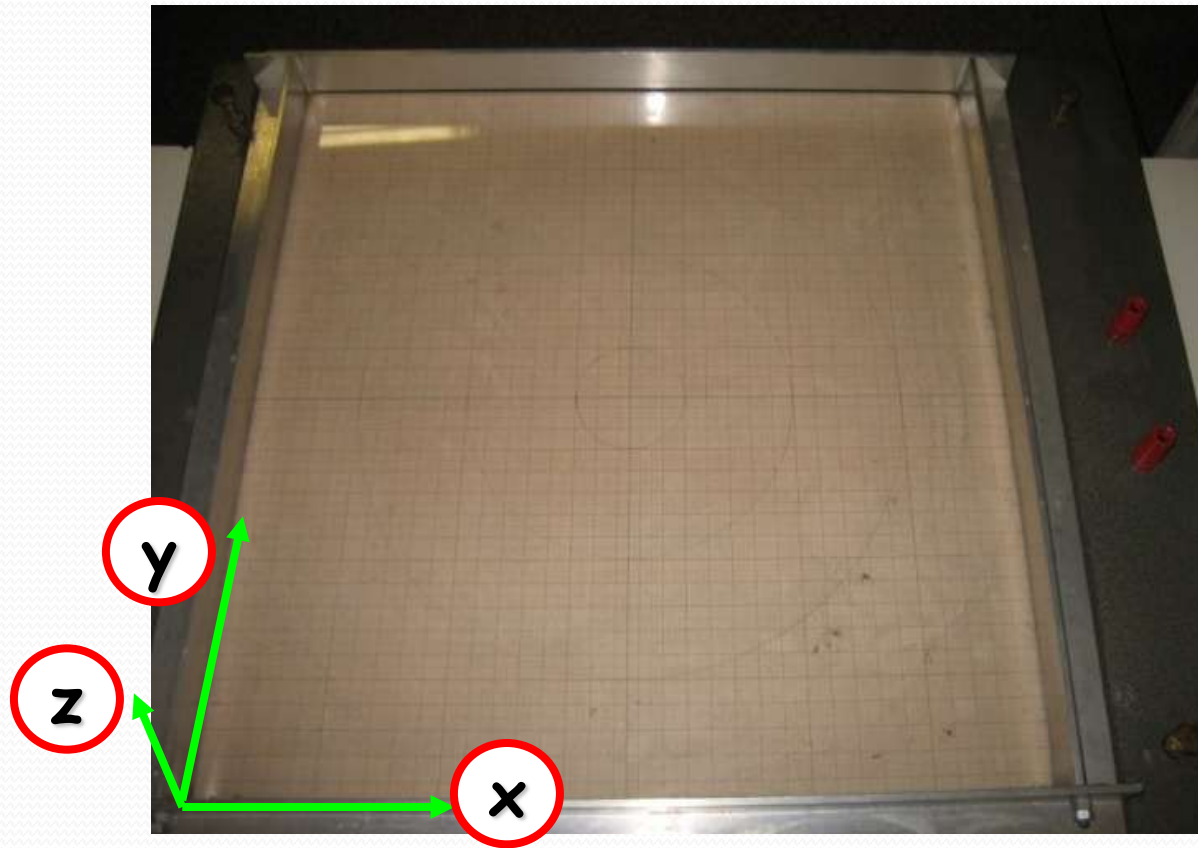
Criando um Excel para calcular o Laplaciano

- Copiar a matriz para o Origin ou programa gráfico de sua preferência
- Fazer a análise como se fossem dados normais de potencial
 - Calcular campos
 - equipotenciais
 - etc.



Um exemplo com uma malha grande (mais precisão)





2. Simulação na cuba eletrolítica

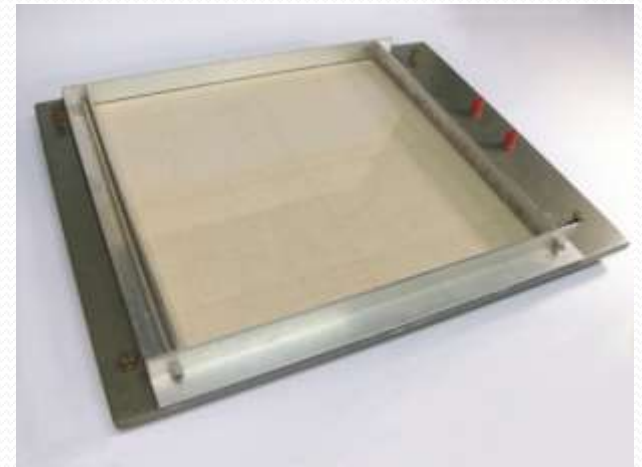
Simulação com cuba eletrolítica

- Uma cuba bidimensional somente simula problemas que tenham simetria em
- Um problema eletrostático é entendido como bidimensional se:
 - o potencial elétrico V , não varia na direção do eixo z , mesmo que a configuração de cargas e/ou superfícies carregadas seja tridimensional.
 - Isso significa que o campo elétrico dessa configuração não terá componente na direção do eixo z e basta realizar o mapeamento do potencial numa seção transversal xy dessa configuração, para determinar os componentes do campo E nessa seção. Todas as outras seções serão análogas.

A simulação com cuba eletrolítica

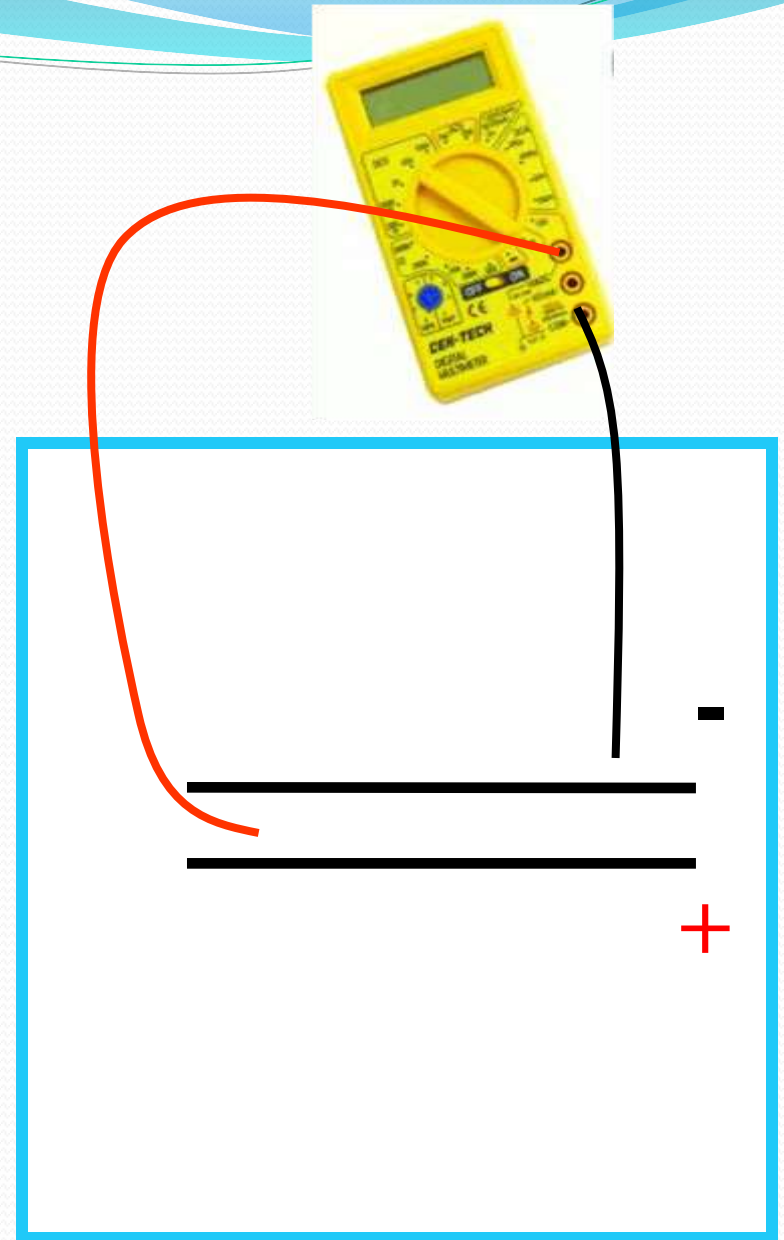
- Ela deve permitir a medida de diferenças de potencial com voltímetros.
- Ela deve satisfazer as condições de contorno do problema: uma delas é que o campo elétrico dentro dos eletrodos metálicos seja nulo ou que o potencial dentro dos eletrodos seja constante.

Monta-se na cuba, em 2 dimensões, a configuração dos eletrodos que gera o campo elétrico de interesse.



A simulação com cuba eletrolítica

- **Em princípio**, construímos os eletrodos metálicos com a geometria certa, **carregamos** com uma diferença de potencial e medimos o potencial em vários pontos para determinar as equipotenciais.



Medida do potencial

- Não é tão simples porque:
- O potencial não pode ser medido no ar
 - A ponta de prova altera completamente o potencial a ser determinado.
 - Seria perdida a simetria em z .
 - Na comparação da resistência interna de um voltímetro com a resistência de uma camada de ar de alguns centímetros, verifica-se que a resistência interna do voltímetro é muitíssimo menor do que seria necessário.

Medida do potencial

- **Uma maneira de contornar esses problemas:**
 - Usar um meio material de baixa condutividade, mas cuja resistência elétrica entre os pontos envolvidos na medição seja muito menor que a resistência interna do voltímetro (assim conseguimos medir!)
 - Só que, neste caso, o dispositivo não é mais eletrostático, porque flui corrente elétrica!!
- **Ainda assim podemos simular corretamente o problema eletrostático desde que:**
 - A condutividade σ seja muito menor que a do metal de que são feitos os eletrodos.
 - O meio seja ôhmico.

Medida do potencial

- É fácil de entender:
- A densidade de corrente que passa através do meio e dos eletrodos tem que ser a mesma (continuidade):

$$\vec{j} = \sigma \vec{E}$$

- Se tivermos $\sigma_{\text{eletrodo}} \gg \sigma_{\text{meio}}$ então o campo elétrico no interior do eletrodo é muito menor que o campo no meio (para manter j constante)... E pode ser desprezado.

$$\textit{resistividade} = \rho = \frac{1}{\sigma} = \frac{1}{\textit{condutividade}}$$

Resumo

- Em resumo,
 - desde que a **condutividade** do meio material seja muito menor que a do eletrodo metálico
 - que esse meio obedeça à lei de Ohm
 - que as correntes estejam em regime estacionário,
- ... o campo elétrico dentro dos eletrodos metálicos pode ser desprezado
- ... e as condições de contorno são aproximadamente as mesmas que na ausência do meio material.

A cuba serve para mapear
o campo que queremos



Só precisa achar um meio
adequado

Água comum

- Vamos experimentar a água da torneira:
 - tem sais: $\sigma_{\text{H}_2\text{O}} \ll \sigma_{\text{Cu}}$?
- Nós medimos e a água é ôhmica, vale:

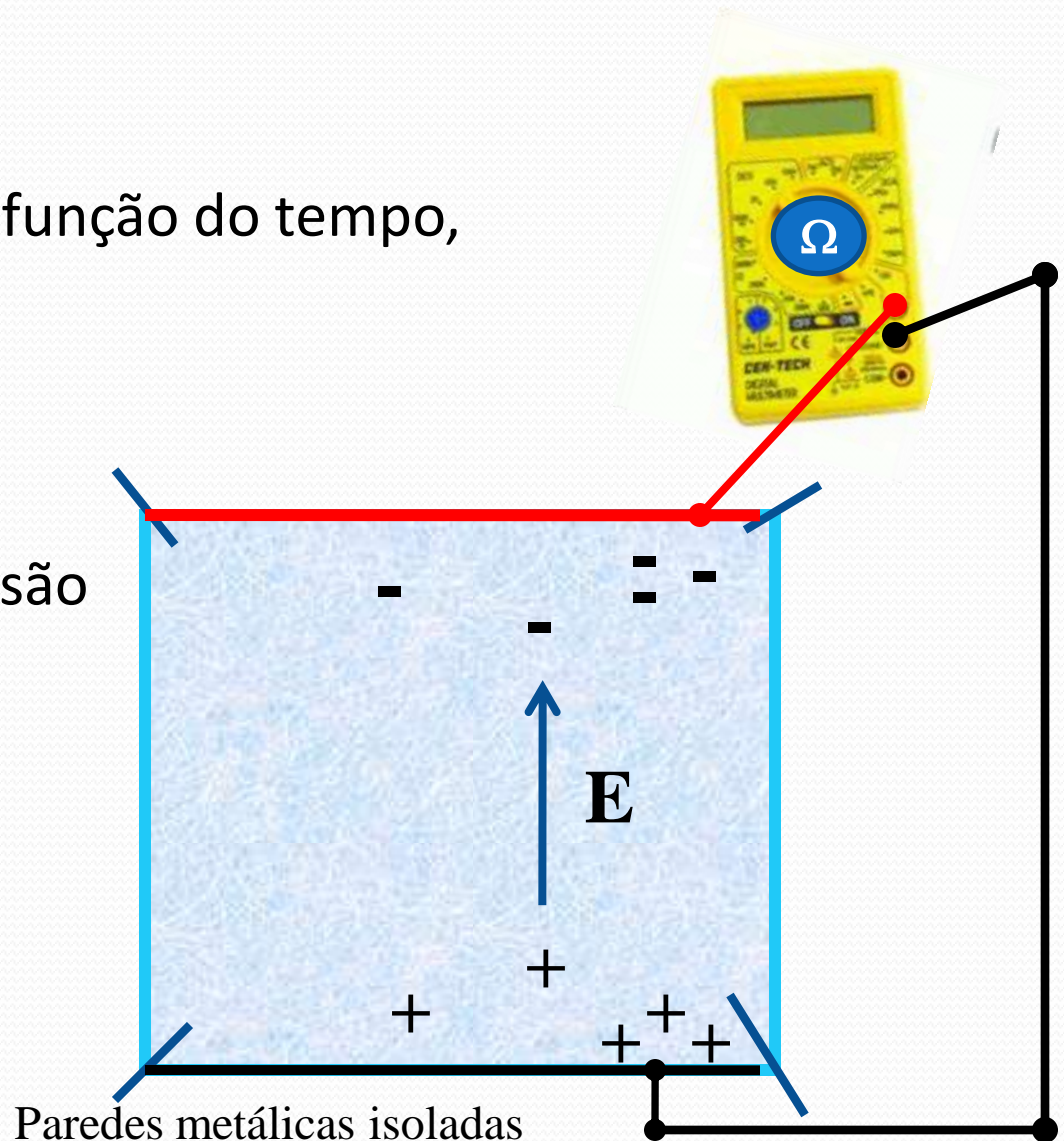
$$R = \rho \frac{L}{A} = \left(\frac{1}{\sigma} \right) \frac{L}{A}$$

- a constante de proporcionalidade ρ é chamada de resistividade e é o inverso da condutividade σ .
- a unidade da condutividade é $\Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$. A condutividade do cobre é $\sigma = 5,71 \times 10^5 \Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$.
- o comprimento L é a distância entre as laterais, e a área A é obtida a partir da altura h da água e da largura d das laterais.



Medir a resistância da cuba: DC

- Coloque água na cuba
 - Quase cheia
 - Leia a resistância em função do tempo, anotando os valores.
- O ohmímetro:
 - Deve aplicar uma tensão constante para fazer a medida, certo?



Polarização dos eletrodos

- Você verá que as leituras do ohmímetro vão mudando:
 - Vai aumentando a resistência da cuba à medida que o tempo passa.
- O que ocorre:
 - Os íons positivos da solução vão para o eletrodo negativo
 - Começa a aumentar a densidade de carga positiva perto do eletrodo negativo, de maneira que os íons positivos que vêm depois são desacelerados pelo potencial dessas cargas
 - ... e vice-versa
- Consequência: à medida que aumenta a densidade de carga próxima aos eletrodos, cai drasticamente a densidade de corrente. Problema não é mais eletrostático!

Polarização dos eletrodos

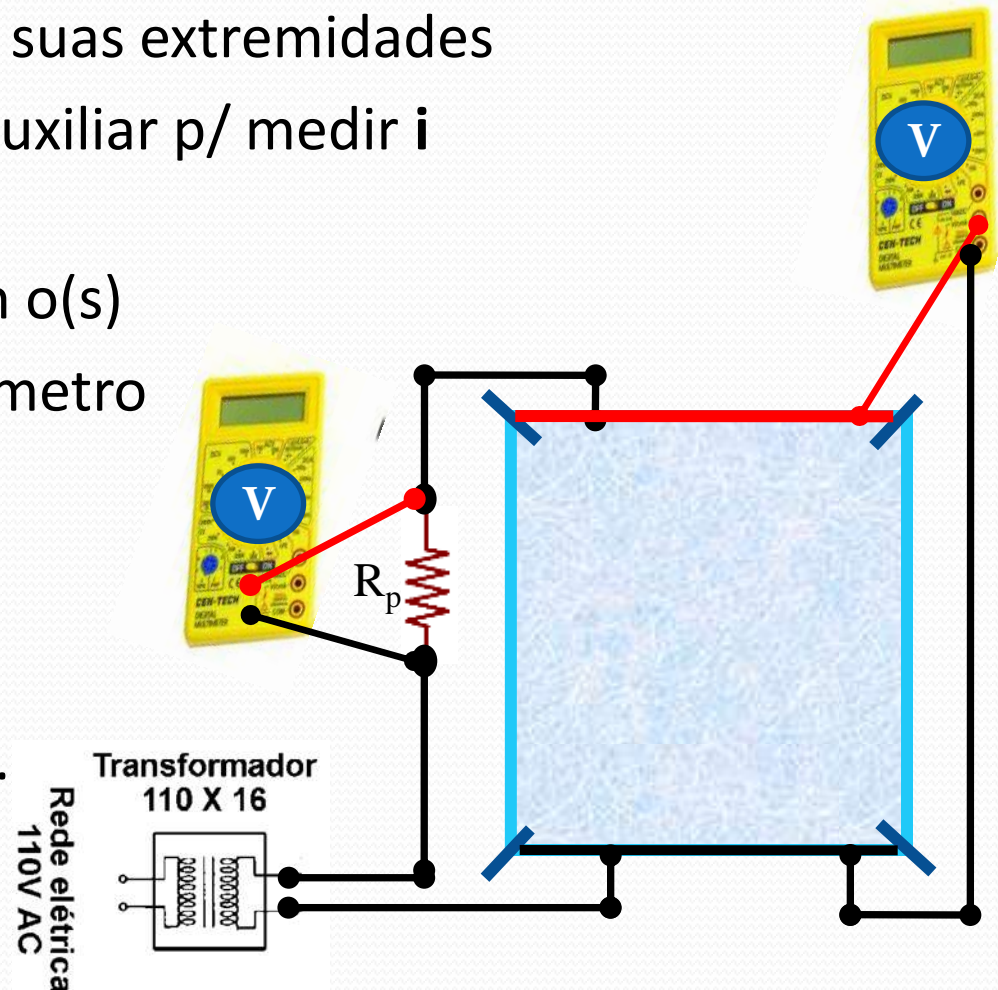
- Para evitar isso:
- Mexer a solução? Funciona, mas é pouco prático...
 - Imagine o que acontece com a área de seção reta, sem falar em perda de solução
- Corrente alternada?
 - a tensão de que dispomos é a da rede elétrica, cuja frequência é de **60Hz**.
 - Pode-se verificar se é suficientemente para eliminar a polarização dos eletrodos ao se comparar dados experimentais com previsões teóricas.

A fonte de tensão alternada

- Não vamos ligar a cuba diretamente na tomada:
 - **127V**, não é necessário, além do que pode ser perigoso.
 - O gerador de áudio, por sua vez tem tensão muito baixa, também não serve.
- A solução:
 - Usar um transformador que abaixe a tensão da rede para **14, 12, 15 V, 18V** eles têm voltagens de saída ligeiramente diferentes, e a frequência é a da rede, **60Hz**.

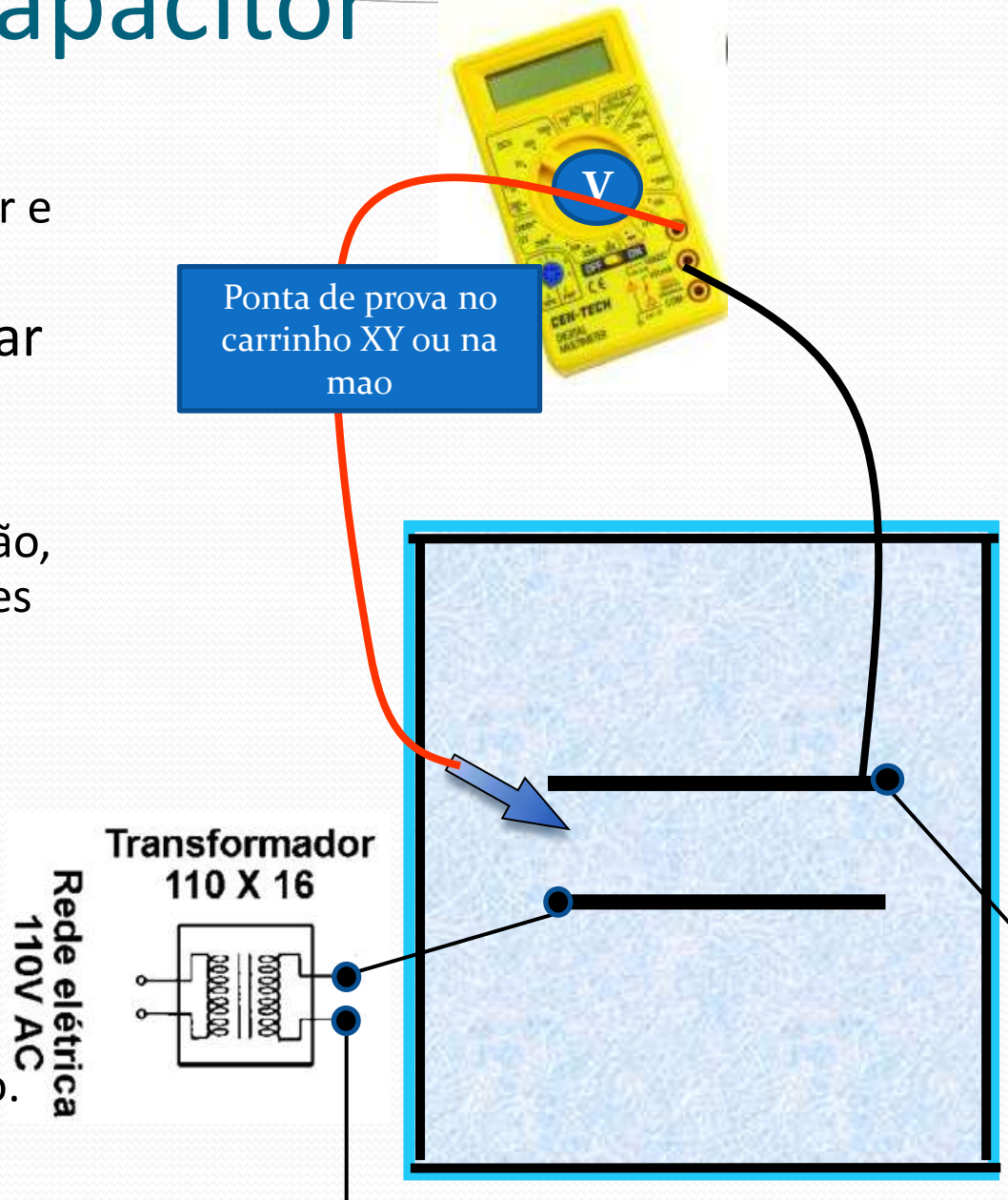
Medindo a resistância da cuba: AC

- Coloque água na cuba: da metade para cima
- Ligue um voltímetro entre suas extremidades
- Coloque uma resistência auxiliar p/ medir i
 - Qual valor?
- Calcule R_{cuba} compare com o(s) valor(es) medido com ohmímetro
- Calcule a condutividade σ
- Compare com a do cobre
- Veja se a cuba pode servir para mapear campo elétrico.



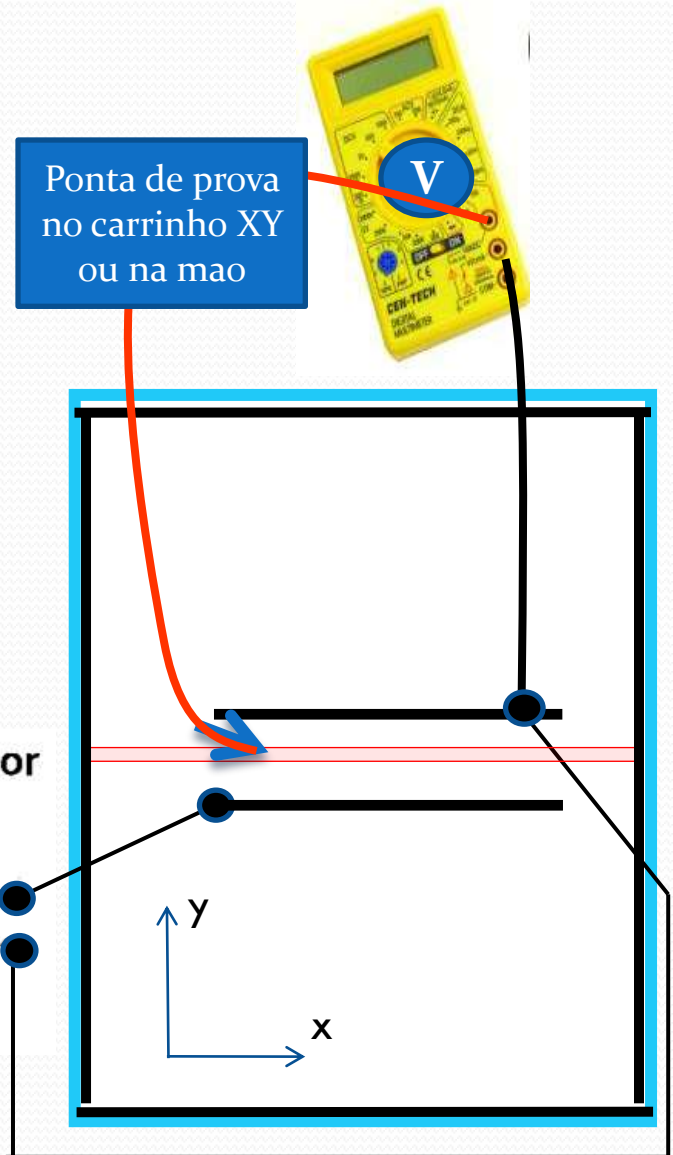
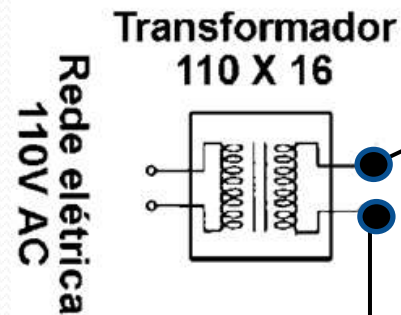
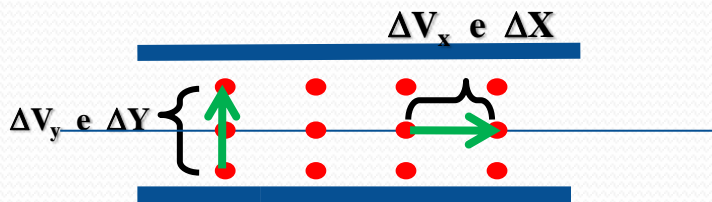
Simulação do capacitor

- Montar o circuito ao lado:
 - Cuba, transformador abaixador e voltímetro.
- As placas de cobre vão simular um capacitor de placas paralelas:
 - Para manter as placas na posição, há um pequeno tubo com cortes onde as placas são encaixadas.
- Condição de contorno:
 - Você pode usar papel alumínio para deixar todas as bordas condutoras.
 - Lembre-se de medir qual o potencial delas! Você vai precisar saber para a simulação.



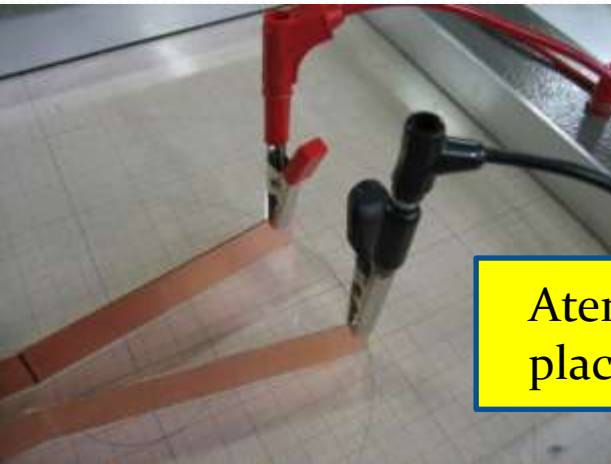
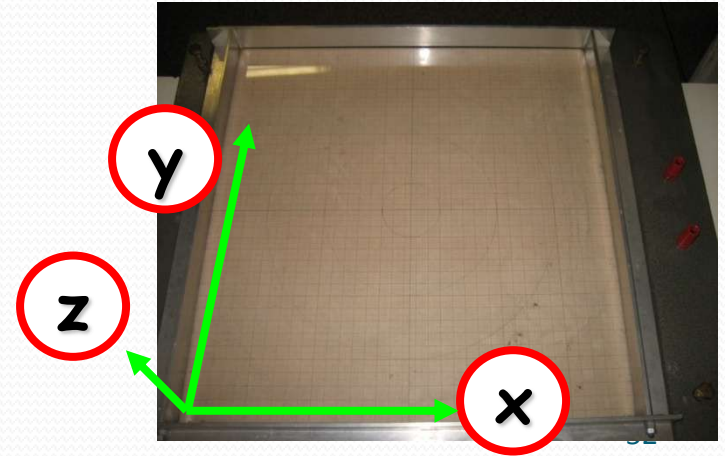
Para medir o campo elétrico

- Medir o potencial acima, abaixo e ao longo da linha de simetria
- Calcular o campo elétrico sobre o eixo de simetria usando $\vec{E} = \nabla V$
 - O que você espera para as componentes **x** e **y**?

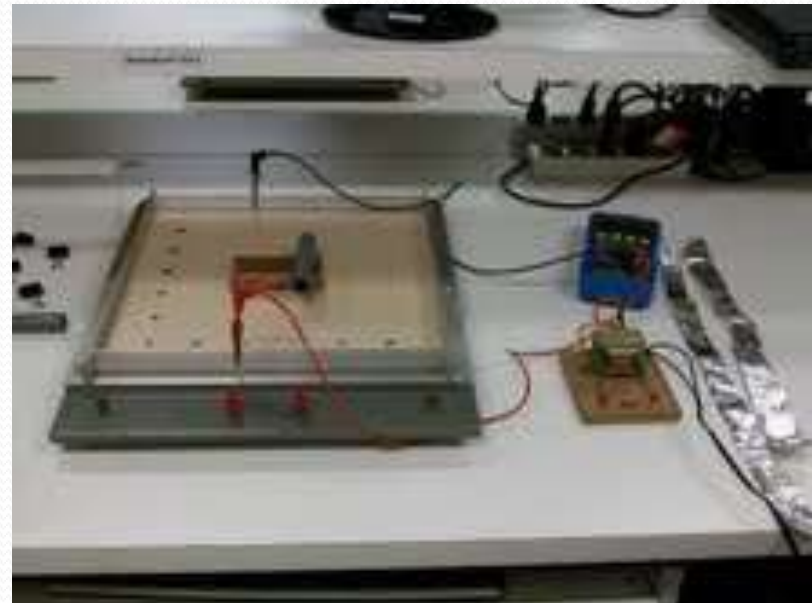


Cuidados Experimentais

- Nivele a cuba (porque?)
- Defina o seu sistema de coordenadas.
- Cuidado para não colocar o jacaré dentro d'água para não alterar o campo que esta medindo.
- DICA: As placas não são muito compridas, então separe-as de no máximo 5cm

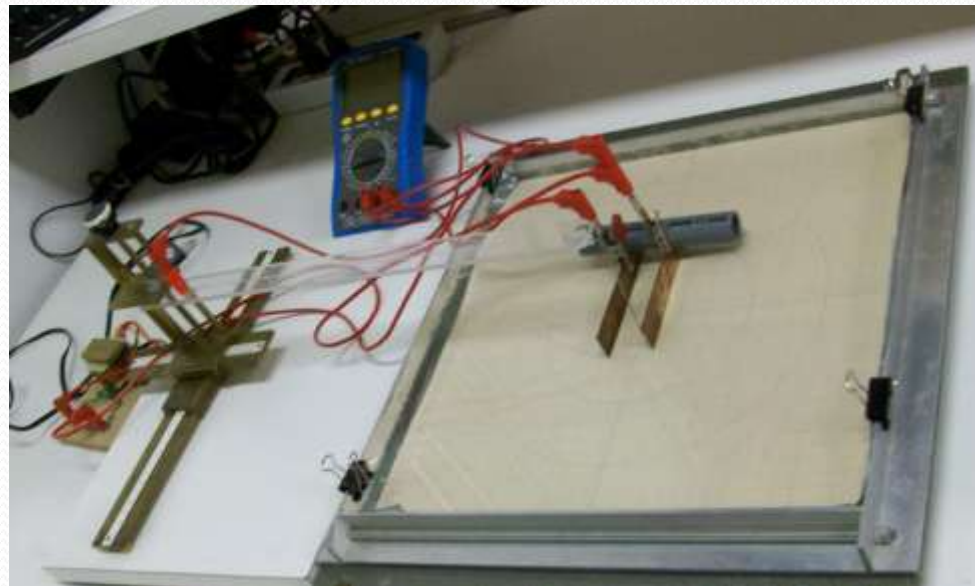
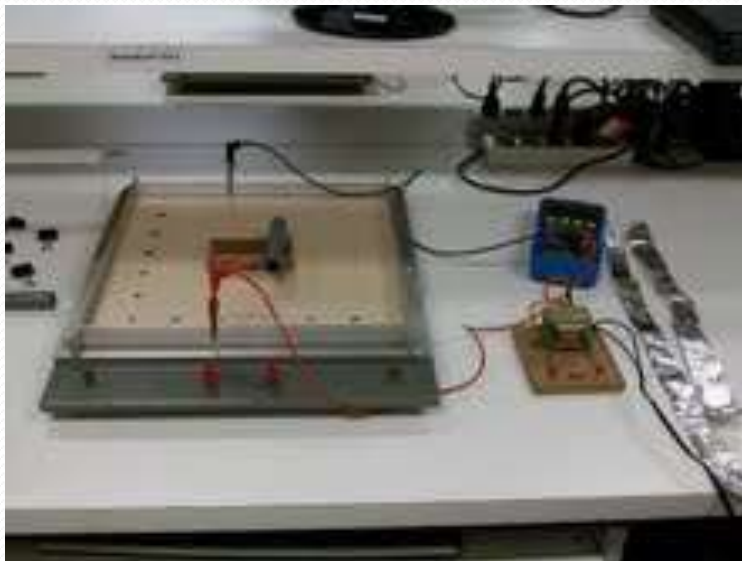


Atenção: usar as placas paralelas!



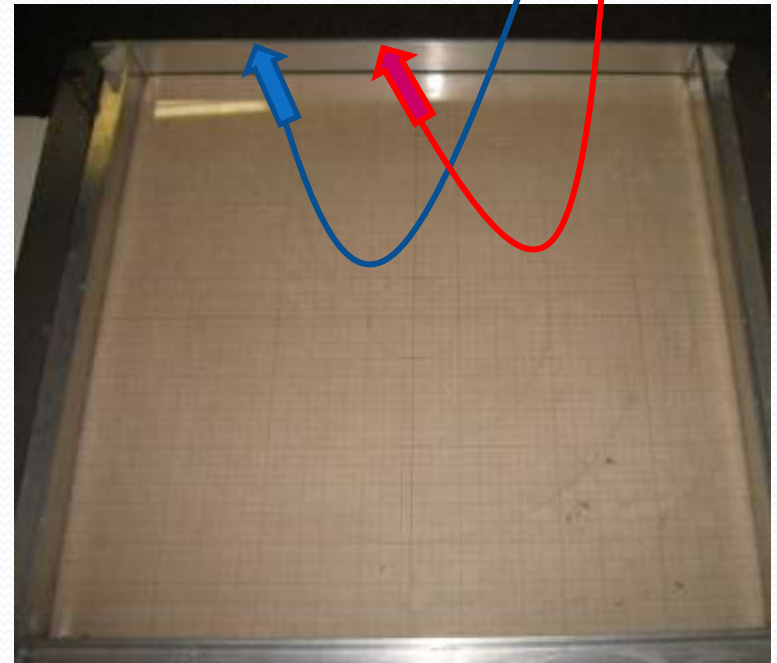
Cuidados Experimentais 2

- Para medir o capacitor, vamos colocar papel alumínio em torno da borda da cuba.
 - Assim, os limites estarão sempre no mesmo potencial elétrico, e podemos medir qual o potencial!
 - Isso vai ajudar na comparação dos dados experimentais com a simulação e com a teoria.



Cuidados Experimentais 3

- Atenção:
 - Dois lados da cuba estão isolados (cobertos com durex transparente)
 - Outros dois não estão isolados, e portanto são condutores!
- Você pode e deve testar qual e' qual com o multímetro.
 - Na posição de diodo, ele vai apitar quando passar corrente. Encoste as pontas, por dentro, em cada lateral, e descubra quais estão isoladas, e quais não estão.



Tarefa 1 desta semana:

- **Comparar** a resistência da cuba em **DC** à resistência da cuba em **AC** e **comparar ambas com R_{interna}** do **voltímetro**
- Calcular a resistividade da água e **comparar com a do cobre**
- Medir o potencial em torno da linha média entre as placas (**5mm** acima e **5mm** abaixo).
- Qual o potencial do eixo de simetria? E qual o potencial das bordas da cuba?
- Fazer um gráfico do campo elétrico, **E_x** e **E_y** , ao longo da linha média entre as placas
 - Qual a componente mais importante?

Tarefas 2 desta semana

- Faça uma simulação do mesmo problema, resolvendo a equação de Laplace numa planilha Excel.
 - Calcule o campo elétrico E_x e E_y ao longo do eixo de simetria do capacitor e compare com os dados experimentais **no mesmo gráfico.**
 - Procure a solução analítica na literatura e sobreponha essa solução às duas acima.
- Discuta os resultados:
 - O campo é uniforme dentro e fora das placas?
 - Existem efeitos de borda?
- Há compatibilidade entre a simulação, a teoria e as medidas na cuba? Sim, não, porque??

Tarefa 3 desta semana:

- Meça uma equipotencial completa.
 - Escolha um valor de potencial tal que a curva feche entorno de uma das placas.
 - Dica: neste caso, talvez seja mais prático medir com a ponta de prova na mão, ao invés de usar a bancada x-y
- Faça um gráfico 2D colorido (ou curvas de nível) do potencial elétrico simulado na planilha e sobreponha a curva medida acima.
- Comente essa superposição com base nos erros experimentais.