

## 43ª Olimpíada Internacional de Física — Prova Experimental

### Tallinn e Tartu, Estónia — Quinta-feira, 19 de Julho de 2012

- Dispõe de 5 horas para responder às questões. A prova contém 2 problemas cotados, no total, para 20 pontos. As duas montagens experimentais encontram-se em dois cubículos vizinhos, cada uma na sua mesa. Pode deslocar-se livremente entre as duas mesas, **mas não pode levar qualquer parte do equipamento experimental de uma mesa para a outra.**
- No início, o equipamento de uma das mesas encontra-se coberto e o da outra mesa está dentro de uma caixa. **Não pode descobrir o equipamento, abrir a caixa ou o envelope com os problemas antes de ouvir o sinal sonoro de início da prova (três sinais curtos).**
- **Não pode abandonar o seu local de trabalho sem autorização prévia.** Se necessitar de qualquer ajuda (**equipamento avariado**, calculadora avariada, ida à casa de banho, etc), levante a bandeira correspondente acima das paredes da caixa onde está sentado e mantenha-a levantada até à chegada de um organizador (as bandeiras “HELP” ou “TOILET” encontram-se no seu lugar e possuem uma haste longa).
- Utilize apenas o lado da frente das folhas.
- Há **Folhas de Resolução** para cada problema (no cabeçalho encontra o número e um pictograma alusivo ao problema). Escreva as suas resoluções nas Folhas de Resolução apropriadas. As Folhas de Resolução para cada Problema estão numeradas; use as folhas de acordo com a sua numeração. **Indique sempre a Parte do Problema e a Questão a que está a responder.** Copie as respostas finais para as caixas respectivas da **Folha de Respostas**. Há ainda **Papel de Rascunho**; utilize-o para escrever aquilo que não deseja que seja avaliado. Se tiver escrito nas Folhas de Resolução algo que não queira ver avaliado (tais como resoluções iniciais e incorrectas), marque-o com uma grande cruz.
- Se necessitar de mais folhas para um dado Problema, por favor levante a bandeira “HELP” e indique a um organizador o número do Problema: ser-lhe-ão dadas duas Folhas de Resolução (pode fazer este pedido mais de uma vez).
- **Deve usar o mínimo de texto possível:** tente explicar a sua resolução principalmente com equações, números, símbolos e diagramas. ~~Quando se tornar inevitável escrever uma explicação textual, tente providenciar uma tradução em inglês em simultâneo com o texto na sua língua mãe (se a tradução estiver incorrecta ou ausente, o texto na sua língua mãe será usado durante a Moderação).~~
- Evite movimentos desnecessários durante a prova e não abane o cubículo: a experiência envolvendo o LASER é muito sensível a vibrações.
- Não olhe directamente para o LASER nem para as suas reflexões. Pode danificar seriamente os seus olhos.
- O primeiro sinal sonoro (isolado) indica que está a 30 minutos do fim da prova; o segundo sinal (duplo) indica que faltam 5 minutos para o fim da prova; o terceiro sinal (triplo sinal sonoro) indica o fim da prova. **Após o terceiro sinal deve imediatamente parar de escrever.** Coloque todas as folhas no envelope que se encontra na sua secretária. **Não está autorizado a levar consigo qualquer folha de papel.** Se concluir a resolução da prova antes do sinal sonoro final, por favor levante a sua bandeira.

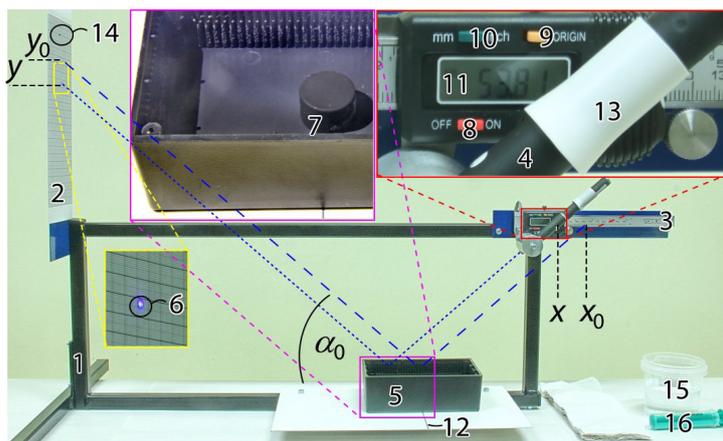


**Problema E1. A permeabilidade magnética da água (10 pontos)**

O efeito do campo magnético é normalmente fraco na maior parte dos materiais (excepto para os materiais ferromagnéticos). Isto deve-se a que a densidade de energia do campo magnético em substâncias com permeabilidade magnética relativa  $\mu$  é dada pela fórmula  $\omega = \frac{1}{2\mu\mu_0} B^2$ , e  $\mu$  é normalmente muito próximo de 1. Contudo, um protocolo experimental apropriado permite observar claramente estes efeitos. Neste problema irá estudar o efeito de um campo magnético (criado por um íman permanente de neodímio) na água. Os resultados experimentais serão posteriormente utilizados para calcular a permeabilidade magnética da água. **Não é requerido qualquer cálculo dos erros experimentais neste problema e não deve ter em conta os efeitos da tensão superficial da água.**

A montagem experimental inclui (ver figura) 1 um suporte, 3 uma craveira digital, 4 um apontador LASER, 5 um recipiente com água e 7 um íman permanente cilíndrico (o íman está magnetizado axialmente). O recipiente está fixo à base através da força exercida pelo íman. O LASER está fixo à craveira que por sua vez está fixa ao suporte. A craveira permite o deslocamento horizontal do LASER. Pode fazer deslizar o 13 tubo branco cónico sobre o corpo do LASER para manter premido o seu botão on-off. A profundidade da água sobre o íman deverá ser cerca de 1 mm (se for menos profunda, a superfície da água ficará tão curva que será difícil obter as leituras no papel milimétrico). 15 Um copo com água e 16 uma seringa podem ser usados para ajustar o nível da água no recipiente (para subir o nível da água 1 mm, adicione 13 ml de água). 2 Uma folha de papel milimétrico deve ser fixa à parte vertical do suporte (alvo) com 14 pequenos ímans. Se o ponto no alvo lhe parecer difuso, verifique se há pó na superfície da água e retire-o, soprando.

Os outros elementos identificados na figura são os seguintes: 6 o ponto onde o LASER embate no alvo, 11 o ecrã de LCD da craveira, 10 o botão que muda as unidades da craveira de centímetros a polegadas e vice-versa, 8 o botão que liga e desliga a craveira e 9 o botão para marcar a origem das leituras da craveira. Por baixo do apontador LASER existe mais um botão da craveira que altera a origem temporariamente. Se pressionar este último botão inadvertidamente, carregue nele novamente para voltar ao modo normal de medição.



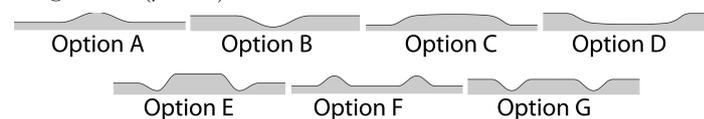
Os valores numéricos para os cálculos são : distância horizontal entre o centro do íman e o alvo  $L_0 = 490$  mm. Verifique (e ajuste se necessário), o alinhamento do centro do íman nas duas direcções perpendiculares. O eixo vertical do íman deve intersectar o feixe do LASER assim como a 12 linha negra na placa onde está apoiado o recipiente. O campo magnético no eixo do íman à altura de 1 mm da sua superfície é  $B_0 = 0.5$  T. Densidade da água:  $\rho_w = 1000$  kg/m<sup>3</sup>. Aceleração da gravidade:  $g = 9.8$  m/s<sup>2</sup>. Permeabilidade do vazio:  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$  H/m.

**AVISOS:**

- ♦ A orientação do LASER já está ajustada. Não a altere!
- ♦ Não olhe para o LASER directamente ou para as suas reflexões!
- ♦ Não tente retirar o íman de neodímio! É muito forte!
- ♦ Não coloque materiais magnéticos na proximidade do íman!
- ♦ Desligue o LASER quando não estiver a usá-lo! As pilhas acabam em 1h!

**Parte A. Avaliação qualitativa da forma da superfície da água (1 pontos)**

A superfície da água curva ligeiramente quando o íman cilíndrico é colocado abaixo dela. Observe qual a forma da superfície imediatamente acima do íman. De acordo com esta observação indique se a água é diamagnética ( $\mu < 1$ ) ou paramagnética ( $\mu > 1$ ).



Escreva a letra correspondente à resposta correcta na Folha de Respostas, junto com a desigualdade  $\mu > 1$  ou  $\mu < 1$  que melhor descreva a resposta da água ao campo magnético. **Não necessita justificar a sua resposta.**

**Parte B. Avaliação quantitativa da forma da superfície da água (7 pontos)**

A curvatura da água pode ser avaliada com elevada precisão através da medida da reflexão do feixe do LASER pela superfície. Este efeito será usado para calcular como a altura da superfície da água varia com a posição horizontal sobre o íman.

- i. (1.6 pts) Meça a altura  $y$  do ponto onde o LASER embate no alvo em função da distância  $x$  medida na craveira (ver figura). Deverá escolher valores para  $x$  que cubram todo o espectro de valores possíveis. Escreva os resultados na tabela da Folha de Respostas.
- ii. (0.7 pts) Represente graficamente os dados obtidos na alínea anterior.
- iii. (0.7 pts) Usando o gráfico obtido, determine o ângulo  $\alpha_0$  do feixe do LASER com a horizontal (ver figura).

Note que o declive ( $\tan \beta$ ) da superfície da água num determinado ponto pode ser escrito da seguinte maneira:

$$\tan \beta \approx \beta \approx \frac{\cos^2 \alpha_0}{2} \cdot \frac{y - y_0 - (x - x_0) \tan \alpha_0}{L_0 + x - x_0},$$



onde  $y_0$  é a altura do ponto onde o LASER embate no alvo quando o feixe é reflectido do ponto onde o eixo do íman intersecta a superfície da água, e  $x_0$  é a posição respectiva da craveira.

**iv. (1.4 pts)** Calcule os valores obtidos para o declive da superfície da água em função de  $x$  e escreva-os na tabela da Folha de Respostas. Note que é possível simplificar os cálculos se substituir uma determinada combinação de termos na expressão para  $\beta$  por informação recolhida no gráfico anterior.

**v. (1.6 pts)** Calcule, em função de  $x$ , a altura da superfície

de água relativa a um ponto da superfície longe do íman, e preencha a tabela da Folha de Respostas.

**vi. (1 pt)** Represente a graficamente os valores calculados na alínea anterior. Indique no gráfico qual a região onde o feixe embate na superfície directamente por cima do íman.

**Parte C. Permeabilidade magnética (2 pontos)**

Usando os resultados da parte B, calcule o valor de  $\mu - 1$  (a dita *susceptibilidade magnética*) onde  $\mu$  é a permeabilidade magnética relativa da água. Escreva a fórmula final e o valor numérico na Folha de Respostas.

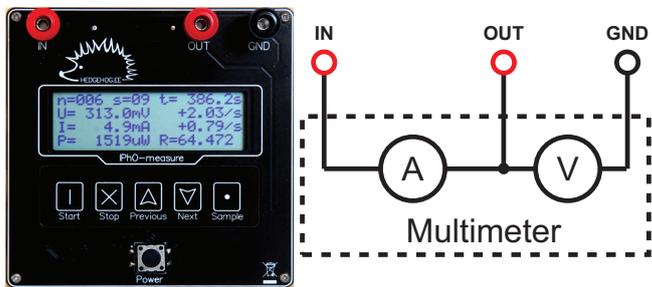


**Problema E2. Caixa misteriosa não-linear (10 pontos)**

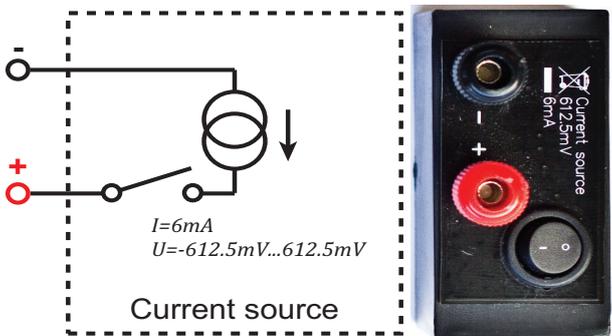
Nos problemas simples sobre circuitos eléctricos que está habituado a resolver, os circuitos são constituídos por elementos lineares, isto é, elementos em que as grandezas eléctricas (tensão, corrente, etc.) são directamente proporcionais umas às outras. Por exemplo, os circuitos a que está habituado contém normalmente resistências ( $V = RI$ ), condensadores ( $Q = CV$ ) e bobinas/indutâncias ( $V = L\dot{I}$ ), sendo  $R$ ,  $C$  e  $L$  constantes características dos elementos (lineares) do circuito. Neste problema vai examinar um circuito que contém elementos não-lineares, isto é, elementos para os quais não é válido assumir que as grandezas eléctricas são proporcionais umas às outras. Estes elementos estão colocados no interior de uma caixa negra (a caixa misteriosa).

O equipamento experimental é um multímetro (“IPhO-measure”), uma fonte de corrente, uma caixa misteriosa contendo elementos não-lineares e quatro fios de ligação. Tenha o cuidado de não quebrar o selo da caixa misteriosa.

O multímetro pode medir corrente e tensão simultaneamente. Pode armazenar no multímetro 2000 conjuntos de dados. Cada conjunto contém informação sobre: tensão ( $V$ ), corrente ( $I$ ), potência ( $P = IV$ ), resistência ( $R = V/I$ ), taxa de variação da tensão ( $\dot{V}$ ), taxa de variação da corrente ( $\dot{I}$ ) e instante em que as medidas são tiradas ( $t$ ). Leia o manual para obter informação mais detalhada. Se tentar armazenar mais de 2000 conjuntos de medições, os mais antigos começarão a ser substituídos.

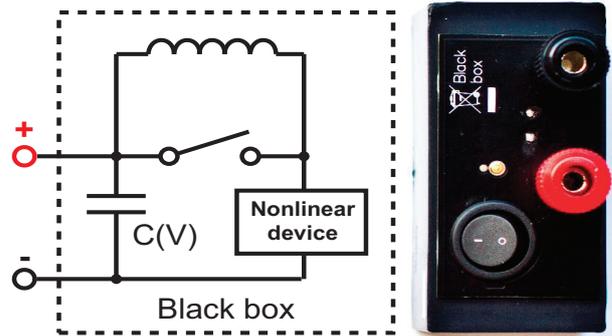


A fonte de corrente constante fornece uma corrente estável desde que a tensão aos seus terminais se mantenha entre  $-0.6125\text{ V}$  e  $0.6125\text{ V}$ . Quando está desligada, a fonte de corrente comporta-se como uma resistência elevada (praticamente infinita).



A caixa misteriosa contém um condensador de elevada capacidade (que é muito ligeiramente não-linear), um elemento não-linear desconhecido e uma indutância  $L = 10\ \mu\text{H}$  de resistência interna desprezável. A indutância pode ser incluída ou excluída do circuito, como é indicado no esquema deste. O elemento não-linear pode ser considerado uma resistência para

a qual a relação entre tensão e corrente é não-linear [ $I(V)$  é uma função contínua, com  $I(0) = 0$ ]. Note que, para o condensador, se tem algo equivalente. Neste caso, é a capacidade diferencial  $C(V) = dQ/dV$  que não é exactamente constante. **A tensão na caixa misteriosa é positiva quando o potencial no terminal vermelho é superior ao potencial no terminal negro. Para obter uma tensão positiva deve-se ligar os terminais da caixa misteriosa aos terminais da mesma cor da fonte de corrente (se quiser pode usar tensões negativas).**



Pode descarregar o condensador da caixa misteriosa curto-circuitando-o directamente nos seus terminais ou através dos terminais *IN* e *OUT* do multímetro: a resistência interna do condensador é suficiente para garantir que nada é danificado em qualquer dos processos.

**Não necessita de estimar quaisquer erros ou incertezas em todo este problema.**

**Parte A. Circuito sem indutância (7 pontos)**

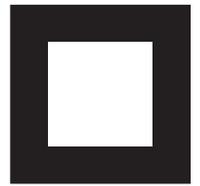
Nesta parte, mantenha o interruptor da caixa misteriosa fechado (carregue em “I”), para garantir que a indutância está curto-circuitada.

Note que algumas medidas podem ser demoradas. Leia bem todas as tarefas da Parte A antes de começar a responder para evitar trabalho desnecessário.

- i. (1 pt) Confirme a corrente de saída da fonte de corrente é aproximadamente 6 mA e determine o intervalo de valores de corrente que obtém para tensões entre 0 e +480 mV. Indique o circuito que montou para esta confirmação.
- ii. (1.2 pts) Mostre que a capacidade diferencial  $C(V)$  da caixa misteriosa é aproximadamente 2 Farad medindo  $C(V_0) = C_0$  para uma tensão  $V_0$  à sua escolha. Indique o circuito que montou.
- iii. (2.2 pts) Desprezando a não-linearidade da capacidade [ $C(V) \approx C_0$ ], determine a curva corrente vs. tensão característica do elemento não-linear da caixa misteriosa. Faça o gráfico, na Folha de Respostas, de  $I(V)$  para as tensões positivas que consegue obter na caixa misteriosa. Indique o circuito que montou.
- iv. (2.6 pts) Usando agora vários valores da tensão dentro da gama de tensões positivas que consegue obter, determine e represente graficamente a capacidade diferencial  $C(V)$  (na Folha de Respostas). Escreva os valores máximo e mínimo da capacidade diferencial  $C_{\min}, C_{\max}$  que obteve. Indique o circuito que montou.

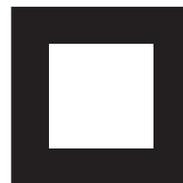
**Parte B. Circuito com indutância (3 pontos)**

Inclua a indutância no circuito abrindo o interruptor da caixa misteriosa (carregue em “0”). Usando o mesmo método que



em **A-iii**, meça e represente graficamente a curva corrente vs. tensão característica do elemento não-linear. Descreva todas as diferenças significativas entre a curva da Parte A e que acabou de obter. Sugira uma explicação para as diferenças recorrendo a argumentos qualitativos.

Para esta explicação deve considerar a seguinte informação adicional: o elemento não-linear possui uma capacidade parasita (de aproximadamente 1 nF) ligada em paralelo à resistência não-linear.

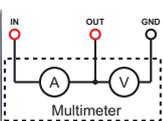


### IPhO-measure: manual resumido

O *IPhO-measure* é um multímetro que pode medir tensão ( $V$ ) e corrente ( $I$ ) simultaneamente. Quando o aparelho regista (armazena) os valores de tensão e corrente que está a medir, são também armazenadas as derivadas em ordem ao tempo da tensão ( $\dot{V}$ ) e da corrente ( $\dot{I}$ ) nesse instante. São ainda armazenados o produto  $P = VI$ , a razão  $R = V/I$  e o instante  $t$  em que o registo de dados é feito. Os dados armazenados são organizados em conjuntos diferentes; cada registo é indexado pelo número do conjunto de dados a que diz respeito ( $s$ ) e por um contador  $n$  que indica a sua posição nesse conjunto. Todos os dados são escritos numa memória flash interna e podem mais tarde ser recuperados.

### Comportamento eléctrico

O aparelho comporta-se como um amperímetro e um voltímetro ligados da seguinte forma:



	Gama	Resist. Interna
Voltímetro	0...2 V	1 M $\Omega$
Voltímetro	2...10 V	57 k $\Omega$
Amperímetro	0...1 A	1 $\Omega$

### Utilização

- Carregue em “POWER” para ligar o *IPhO-measure*. O aparelho não começa imediatamente a medir. Para o fazer, carregue em “START”. Pode também percorrer os dados anteriormente armazenados.
- Para percorrer os dados armazenados (de todos os conjuntos de dados), carregue em “PREVIOUS” ou “NEXT”. Pressione os botões durante algum tempo para saltar directamente de um conjunto de dados para outro.
- Carregue em “START” para iniciar a medida de um novo conjunto de dados.
- Durante uma medida, carregue em “Sample” para armazenar os valores registados pelo aparelho nesse instante.
- É possível percorrer os dados armazenados no conjunto de dados activo mesmo durante um processo de medida. Use os botões “PREVIOUS” e “NEXT”.
- Carregue em “STOP” para terminar um conjunto e parar o processo de medida. Note que o aparelho permanece ligado, ficando disponível para iniciar um novo conjunto de medidas, ou para analisar os dados armazenados.
- Carregar em “POWER” desliga o aparelho. Embora o aparelho exiba a mensagem “my mind is going...”, os dados gravados não são apagados.

### Mostrador



Cada registo exibido no mostrador contém nove valores:

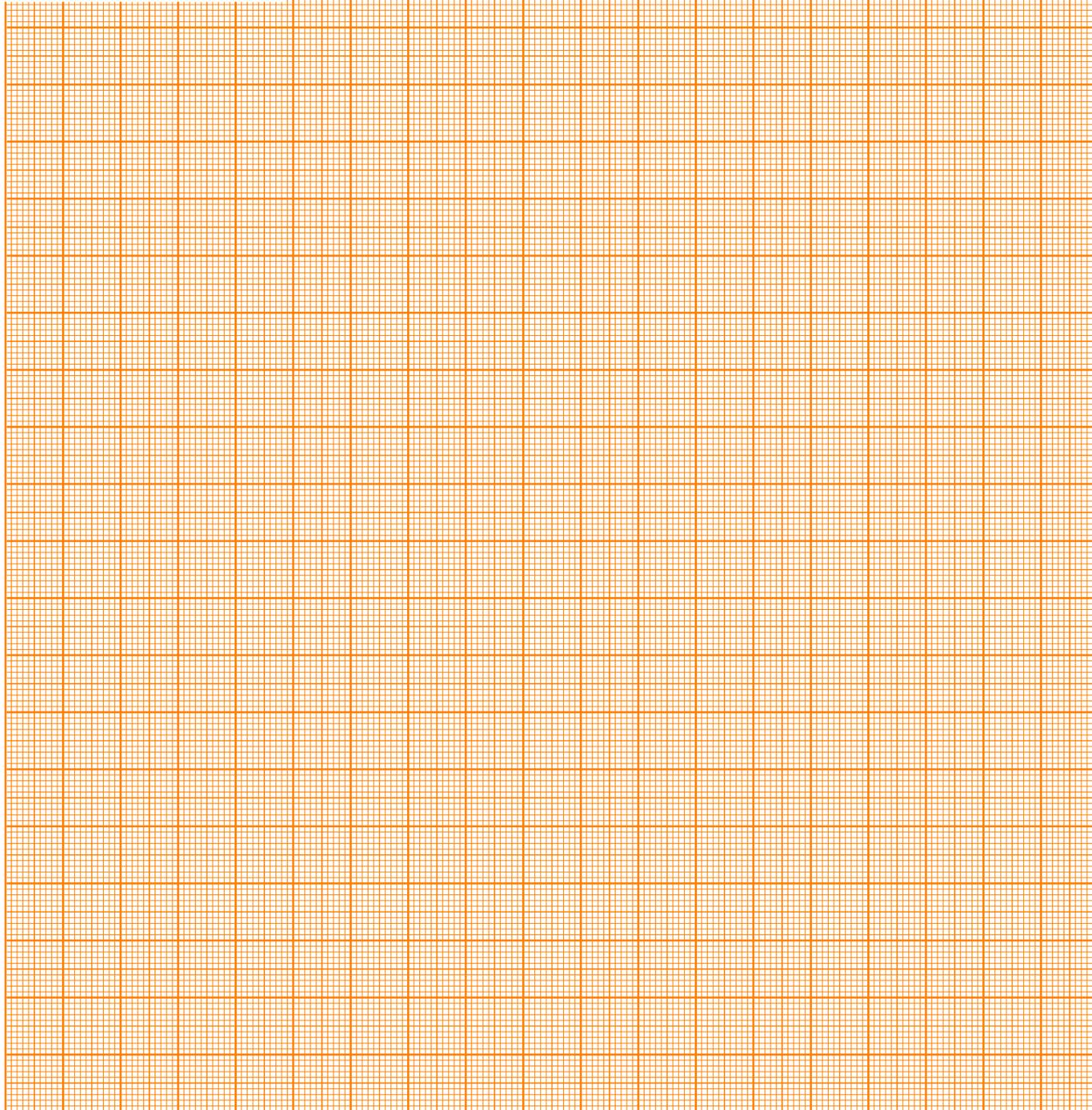
1. o índice  $n$  que indica a posição desse registo no conjunto de dados;
2. o índice  $s$  do conjunto de dados;
3. o tempo  $t$  decorrido desde o início do registo desse conjunto de dados;
4. o valor lido pelo voltímetro  $V$ ;
5. a taxa de variação de  $V$  (a sua derivada em ordem ao tempo  $\dot{V}$ ); se não for possível obter uma derivada fiável devido a flutuações, é indicado “+nan/s”;
6. o valor lido pelo amperímetro  $I$ ;
7. a taxa de variação de  $I$  (a sua derivada em ordem ao tempo  $\dot{I}$ ); se não for possível obter uma derivada fiável devido a flutuações, é indicado “+nan/s”;
8. o produto  $P = VI$ ;
9. a razão  $R = V/I$ .

Se qualquer das variáveis se encontrar fora da gama de valores permitida, o mostrador exibe “+inf” ou “-inf”.





ii. (0.7 pts) Gráfico:  $y$  versus  $x$



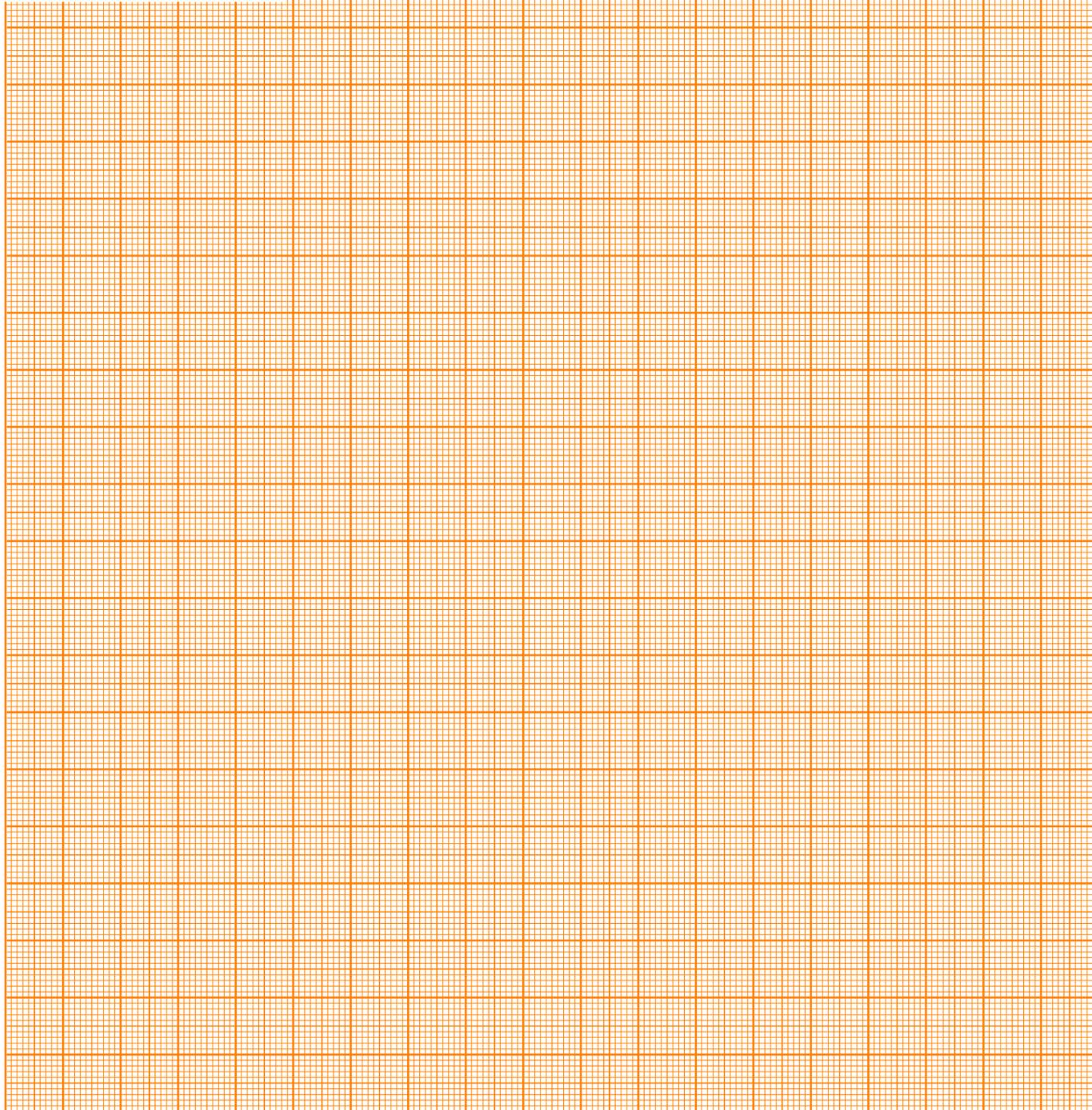
iii. (0.7 pts)  $\alpha_0 =$

iv. (1.4 pts) Use a quarta coluna da tabela da alínea i.

v. (1.6 pts) Use a sétima coluna da tabela da alínea i.



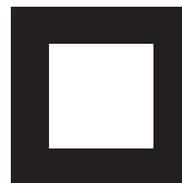
vi. (1 pt) Gráfico:  $h$  versus  $x$



Parte C. Permeabilidade magnética (2 pontos)

Fórmula:  $\mu - 1 =$

Valor:  $\mu - 1 =$



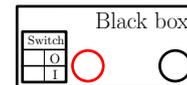
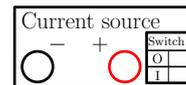
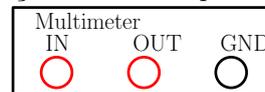
**Problema E2. Caixa misteriosa não-linear (10 pontos)**

**Parte A. Circuito sem indutância (7 pontos)**

**i. (1 pt)** Corrente mínima e máxima:

$I_{\min} =$   
 $I_{\max} =$

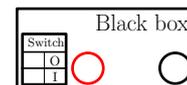
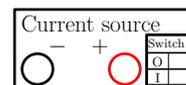
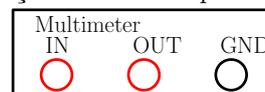
Esboço do circuito (indique também as posições dos interruptores):



**ii. (1.2 pts)**

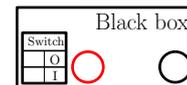
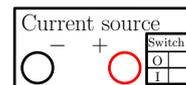
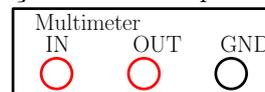
$V_0 =$   
 $C_0 =$

Esboço do circuito (indique também as posições dos interruptores):



**iii. (2.2 pts)**

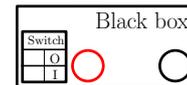
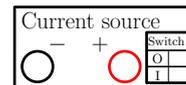
Esboço do circuito utilizado para obter  $I(V)$  (indique também as posições dos interruptores):



Anote os valores de  $I(V)$  e quaisquer outros resultados intermédios que ache necessários na tabela da página seguinte. (Use o menor número de colunas possível.) Faça o gráfico na página 6.

**iv. (2.6 pts)**

Esboço do circuito utilizado para obter  $C(V)$  (indique também as posições dos interruptores):



Anote os valores de  $C(V)$  e quaisquer outros resultados intermédios que ache necessários na tabela da página seguinte. (Use o menor número de colunas possível.) Faça o gráfico na página 7.

$C_{\min} =$   
 $C_{\max} =$



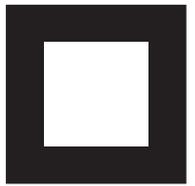
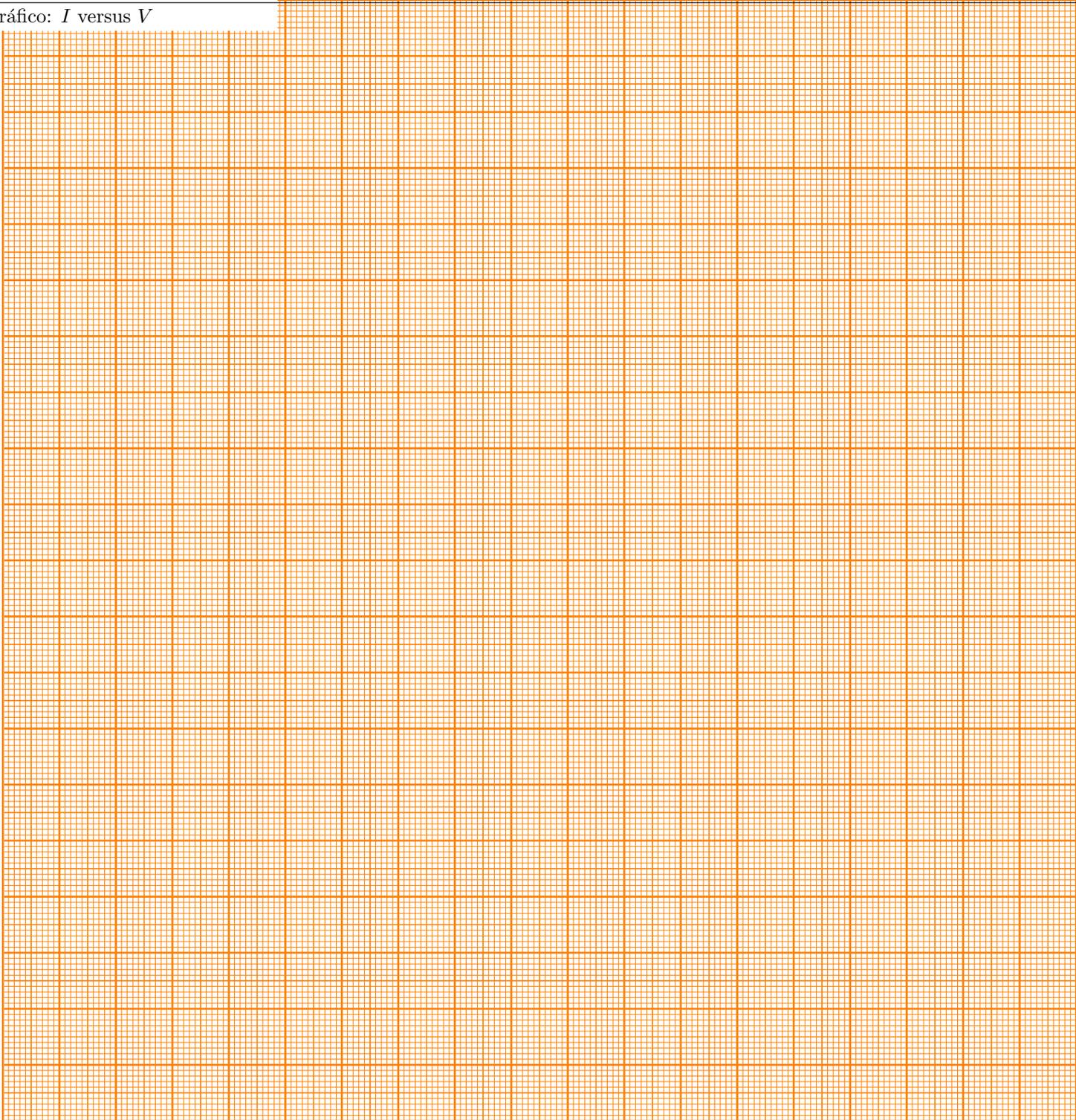


Gráfico:  $I$  versus  $V$



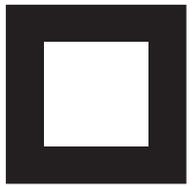
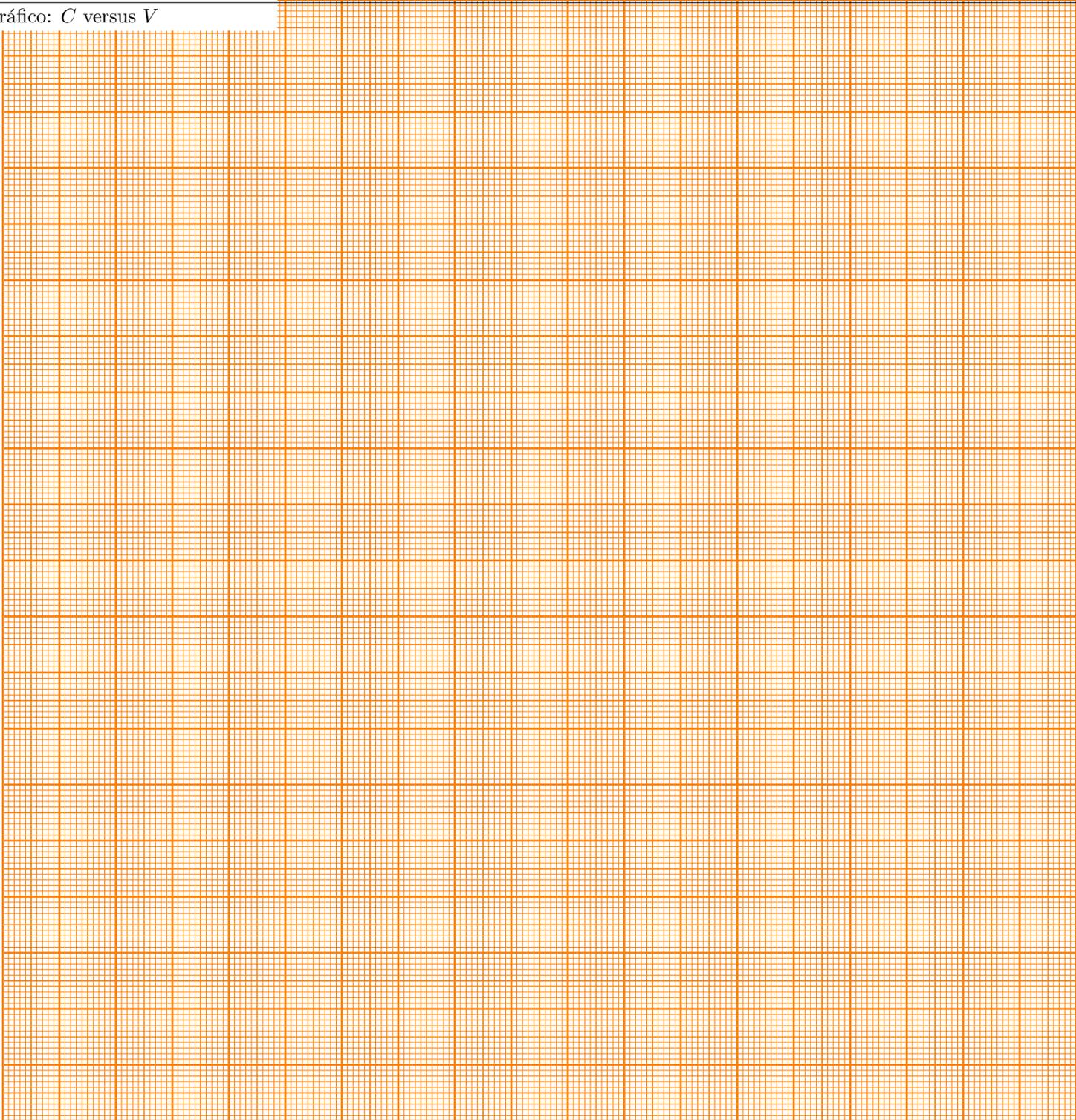


Gráfico:  $C$  versus  $V$





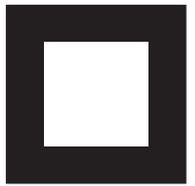
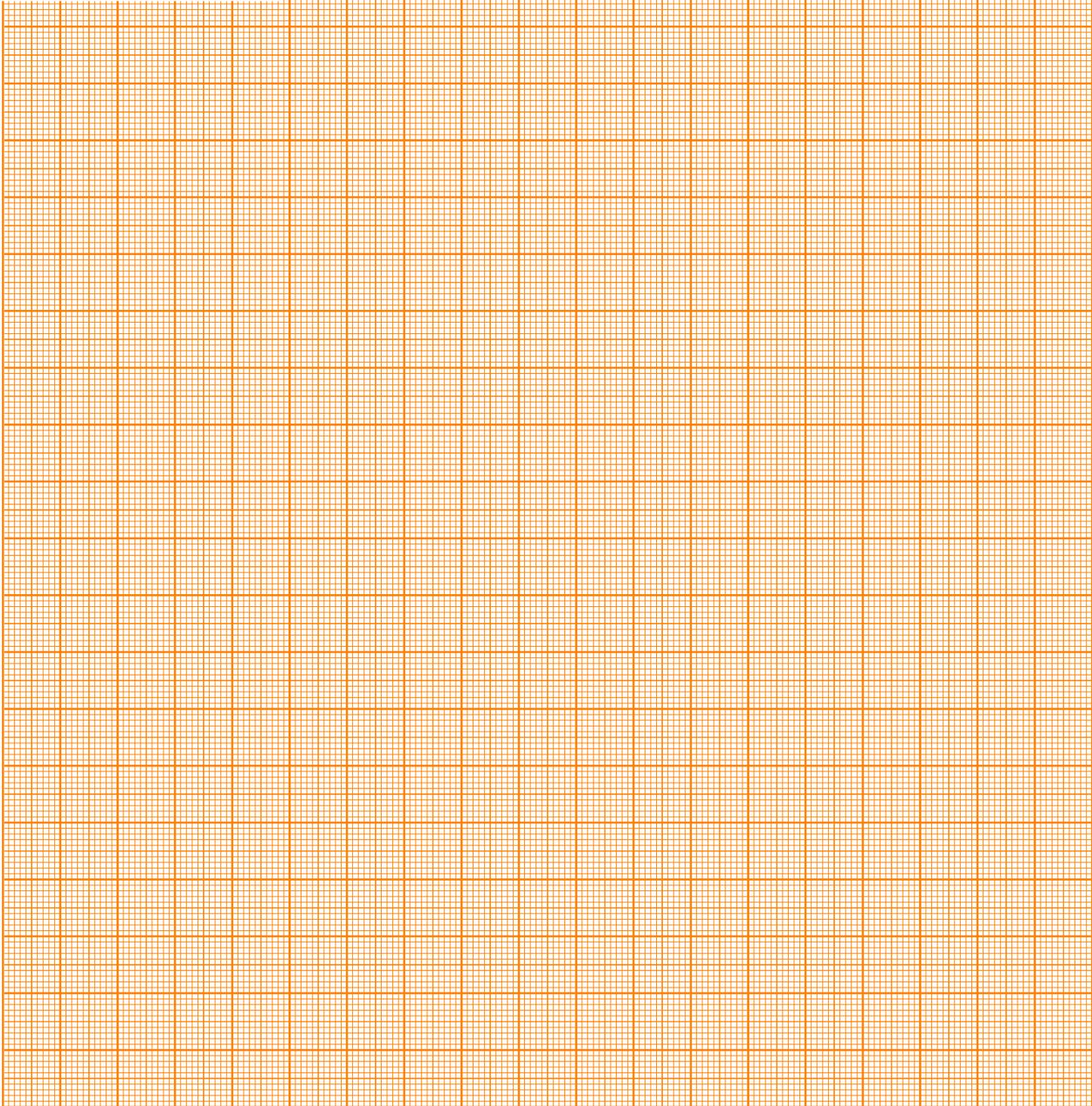


Gráfico:  $I$  versus  $V$



Há diferenças significativas entre as curvas das Partes A e B quando

Explicação destas diferenças:

Condição para $V$	
Condição para $I(V)$ da Parte A	