



OLIMPIÁDA BRASILEIRA DE FÍSICA 2025
Prova Experimental da 3ª Fase
18 DE OUTUBRO DE 2025

NÍVEL II
Ensino Médio
1ª e 2ª Séries

LEIA ATENTAMENTE AS INSTRUÇÕES:

1. Esta prova destina-se exclusivamente aos alunos da **1ª e 2ª Séries do Ensino Médio**.
2. Este caderno de questões contém 16 folhas. Confira-o antes de iniciar a prova.
3. A prova é composta por 10 questões, totalizando 100 pontos.
4. As respostas devem ser dadas no **Caderno de Respostas**, que contém instruções adicionais. Leia-as cuidadosamente antes do início da prova.
 - O Caderno de Respostas possui 10 quadros para respostas.
 - **Cada resposta deve ocupar somente um quadro.**
5. Utilize o verso das folhas de questões para rascunhos.
6. As resoluções e respostas devem ser escritas com caneta esferográfica azul ou preta (não use caneta de ponta porosa ou tinteiro). O uso de lápis e borracha é permitido apenas no rascunho.
7. É permitido e recomendado o uso de calculadora científica simples, com funções estatísticas básicas. Não são permitidas calculadoras programáveis, ou com recursos gráficos ou com cálculo simbólico.
8. Não é permitido o uso de aparelho celular (nem para uso de aplicativo que emula uma calculadora simples).
9. A prova tem duração de 3 horas.
10. O estudante deve permanecer na sala por, no mínimo, 60 minutos.

Material no KIT

Use a Tabela 1 e a Figura 1 para identificar o material usado nos arranjos experimentais da prova.

	componente	quantidade	característica
1	protoboard	1	-
2	bateria	1	9 V
3	conector de bateria	1	-
4	fios de conexão	7	-
5	LED amarelo	2	brilho amarelo; cápsula incolor
6	LED vermelho	8	brilho vermelho; cápsula vermelha
7	capacitor C	2	1000 μF
8	Resistor R_{100}	6	100 Ω
	Resistor R_{200}	2	200 Ω
	Resistor R_{1k}	4	1 k Ω
	Resistor R_{4k7}	2	4,7 k Ω
	Resistor R_{10k}	2	10 k Ω
	Resistor R_{100k}	1	100 k Ω
9	Tabela de Cores dos Resistores	1	-
10	Etiquetas	20 (aprox.)	-

Tabela 1: Material no kit: identificação na Figura 1 (1^a col.); como o componente é referenciado na prova (2^a col.); quantidade no kit (3^a col.); característica (4^a coluna).



Figura 1: Material no kit. Os componentes identificados com números de 1 a 10 são descritos na Tabela 1. O segundo LED amarelo é sobressalente e está junto com os resistores.

Atenção e Cuidados

Um componente pode QUEIMAR se ligado incorretamente.

Faz parte da prova seguir as instruções de montagem e a manipulação cuidadosa do material experimental.

Não haverá reposição de componentes.

- **Leia as instruções de montagem e siga os exemplos dados ANTES de montar qualquer circuito.**
- Nunca ligue um LED sem **resistor de proteção**. Ele pode queimar tão rapidamente que talvez você nem perceba; simplesmente deixa de funcionar.
- **Evite curto-circuitos.** Com a bateria conectada, nunca deixe que extremidades de fios se encostem. Cuidado para não ligar, direta ou indiretamente, as barras (+) e (–) da alimentação. Um curto-circuito prolongado pode descarregar a bateria; aquecimento excessivo é um sinal de curto-circuito.
- **Salvo instrução em contrário**, desconecte a bateria ao modificar os arranjos.
- Não toque as extremidades expostas (terminais) de fios ou componentes conectados. O corpo humano é condutor e pode fechar inadvertidamente o circuito, alterando medições. Essa é a origem do *choque elétrico*: a corrente atravessa o corpo quando há diferença de potencial e um caminho condutor. Com baterias de 9 V, isso não representa perigo significativo, talvez nem seja sentido, mas pode comprometer o experimento.

Partes e Arranjos Experimentais da Prova

A prova tem três partes e cinco arranjos experimentais, cada um correspondente a uma montagem distinta na protoboard.

- Cada montagem requer que a bateria seja conectada às barras de alimentação da protoboard. Conecte o fio vermelho do conector à trilha (+) e o fio preto à trilha (–).
- Cada montagem, além da bateria e dos fios de conexão, traz uma *Lista de Material Específico* com a identificação dos componentes que **devem** ser utilizados. Diferentes montagens podem compartilhar componentes do kit.
- Nas *Listas de Material Específico*, os componentes são identificados pelo nome da 2ª coluna da Tabela 1. Para consultar características, use a 4ª coluna. Ex.: o componente R_{100} é um resistor de $100\ \Omega$.
- Considere que os valores numéricos dos componentes do kit **têm** precisão relativa de 5%; portanto, represente as grandezas com **três algarismos significativos**. Por exemplo, o resistor R_{4k7} tem resistência $R = 4,70\ k\Omega$.
- **Um mesmo resistor pode ser usado em vários arranjos experimentais.** Recomendamos fortemente usar as **etiquetas adesivas** fornecidas para identificá-los. Alternativamente, o kit contém uma tabela para identificação pelas cores, mas isso depende da iluminação e da acuidade visual. Não arrisque. Use as etiquetas!

Introdução

NÃO MONTE OS CIRCUITOS MOSTRADOS NA INTRODUÇÃO

A vida moderna seria impossível sem o uso de dispositivos elétricos e eletrônicos. Toda vez que você acende a luz de um cômodo, ativa um circuito elétrico. Mas por que **circuito** elétrico?

Para responder a essa pergunta, considere o caso mais simples do circuito usado para acender uma lâmpada. A Figura 2 mostra uma ilustração desse circuito (esquerda) e um esquema que o representa (direita). A bateria é a fonte de energia do sistema; para que essa energia seja utilizada, é necessário que haja corrente elétrica. Isso ocorre quando existe um caminho, formado por fios condutores e dispositivos (a lâmpada, no caso), que conecta o polo positivo (+) ao polo negativo (–) da bateria. Esse caminho fechado é chamado de *circuito elétrico*.

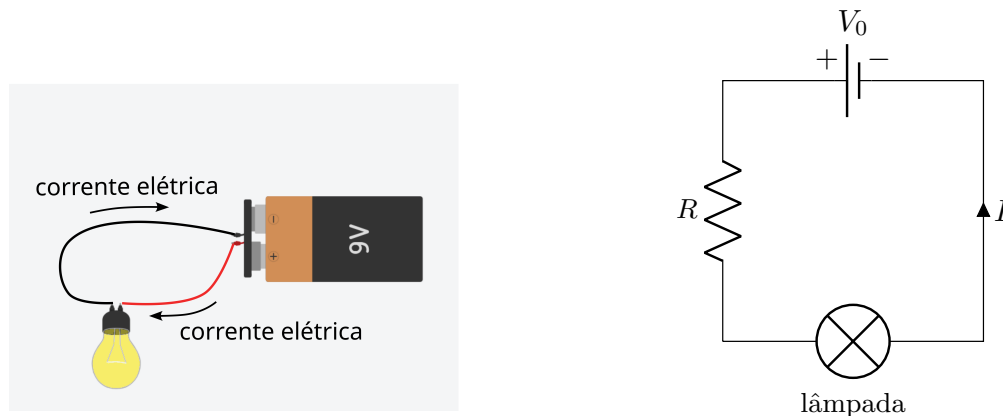


Figura 2: À esquerda, ilustração de um circuito para acender uma lâmpada incandescente (não disponível no kit!) com uma bateria de 9 V e dois fios de conexão. À direita, sua representação esquemática, na qual os elementos do circuito são indicados por símbolos (note a indicação do sentido da corrente I).

O polo positivo da bateria encontra-se a um potencial elétrico (energia potencial elétrica por unidade de carga) maior que o do polo negativo. *Tensão* (ou voltagem) é a diferença de potencial elétrico entre dois pontos; neste exemplo, na bateria há 9,00 V de tensão entre seus terminais. É essa diferença de potencial que produz a corrente elétrica no circuito a eles conectado.

Se o caminho é interrompido (por exemplo, removendo-se o fio que liga a lâmpada ao polo negativo), não há corrente elétrica e a lâmpada não acende, pois o ar é isolante e não fornece um caminho condutor entre pontos de potenciais distintos.

- Uma corrente elétrica I ocorre quando há um caminho condutor ligando dois pontos de *potenciais elétricos diferentes*.
- A corrente elétrica I flui do ponto de maior potencial para o de menor potencial.
- Dizemos que o circuito está *fechado* quando o caminho condutor está completo; e *aberto* quando há interrupção.

- No SI, a unidade de medida de corrente é o ampère (A) e a de potencial elétrico ou tensão (diferença de potencial elétrico) é o volt (V).

Introdução - Protoboard

A protoboard é uma matriz de contatos que permite montar e testar circuitos sem solda, simplesmente encaixando os componentes. O ordenamento dos **pontos de conexão** para fios e dispositivos segue um padrão. Especificamente, no modelo ilustrado na Figura 3, que é o fornecido no kit:

- Há **dois grupos de colunas** separados por um sulco central: um identificado pelas letras *a-e* e outro por *f-j*.
- As linhas são numeradas de 1 a 30.
- Em cada lateral há uma **barra de alimentação** formada por duas trilhas longitudinais, identificadas pelos símbolos positivo (+) e negativo (-).

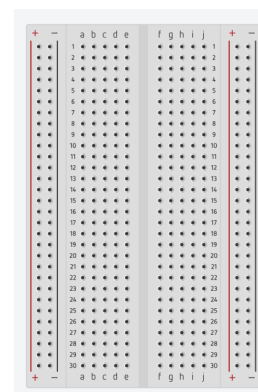


Figura 3: Protoboard fornecida no kit.

Antes de usar, é essencial entender que, **internamente**, já estão eletricamente conectados entre si os pontos de conexão que:

- ficam na **mesma linha**, dentro do mesmo grupo de colunas (*a-e* ou *f-j*);
- pertencem à **mesma trilha** das barras laterais de alimentação.

Como usar, para conectar o componente *A* ao componente *B*:

- conecte um terminal de cada componente em **pontos da mesma linha** e do **mesmo grupo de colunas**;
- nunca conecte **dois terminais do mesmo componente** na mesma linha do mesmo grupo de colunas.

A Figura 4 mostra a montagem correta do circuito da lâmpada e uma montagem incorreta de **curto-circuito** (quando há um caminho que conecta os polos da bateria composto apenas por fios).

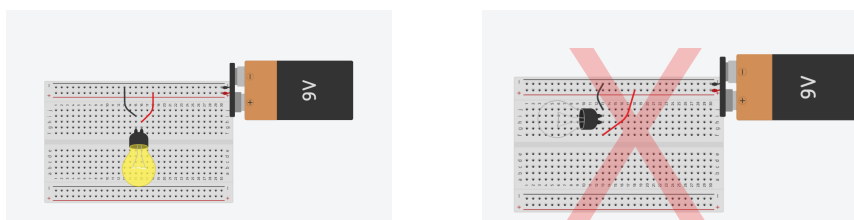


Figura 4: **Não tente montá-lo com um LED. Ele será inutilizado (queimará)!** À esquerda, montagem correta: (1) os terminais da lâmpada estão em linhas diferentes; (2) cada terminal da lâmpada está na mesma linha que o terminal de um fio conectado à barra de alimentação; (3) os fios conectam-se a trilhas diferentes da barra de alimentação. À direita, uma montagem de **curto-circuito**, que nunca deve ser feita: (1) os terminais da lâmpada estão na mesma linha e (2) os fios conectados à barra de alimentação fecham o caminho na mesma linha do mesmo grupo de colunas.

Introdução - Componentes Eletrônicos

Um *componente eletrônico* é um dispositivo físico com dois ou mais terminais que, ao ser conectado a um circuito, exerce uma função definida. Componentes simples permitem construir e estudar comportamentos complexos de circuitos. Nesta prova, você investigará algumas propriedades dos componentes apresentados na Tabela 2.

6pt

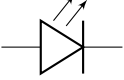
Componente	Símbolo	Parâmetros
Resistor		resistência (R)
LED		corrente (I_F) e tensão (V_F) diretas
Capacitor Polarizado		capacitância (C)

Tabela 2: Componentes contidas no kit: símbolos em esquemas e principais parâmetros que os caracterizam no contexto da prova.

Introdução - Unidades e Precisão das Medidas

As questões propostas na prova podem solicitar a determinação de valores numéricos.

- Exceto quando explicitamente solicitado, não é necessário determinar as incertezas das medidas. No entanto, para compatibilidade com a tolerância de 5% dos componentes utilizados, os valores devem ser **expressos** com três algarismos significativos.
- A Tabela 3 reúne as unidades do SI das grandezas utilizadas na prova.

Grandeza	unidade	Símbolo
corrente	ampère	A
tensão	volt	V
resistência	ohm	Ω
capacitância	farad	F

Tabela 3: Unidades de medidas no SI das grandezas utilizadas na prova.

Parte A - Resistores e LEDs

Um **resistor** é um componente cuja função é limitar a corrente ou dividir a tensão e converter energia elétrica em calor.

A função de um **LED** é emitir luz (converter energia elétrica em luz). Porém, como todo diodo (a sigla LED vem do inglês *Light Emitting Diode*), ele é **componente polar** e permite a passagem de corrente em um sentido e bloqueia no outro. **A intensidade de seu brilho é proporcional à intensidade da corrente I que o atravessa.**

Ao conectar um LED, ligue o ânodo (perna longa) ao ponto de maior potencial e o cátodo (perna curta) ao de menor potencial. Um LED permite apenas fluxo de corrente do ânodo para o cátodo. O ânodo e o cátodo são, respectivamente os polos positivo e negativo do LED.

Parte A - Lista de Material Específico

- 1 LED vermelho.
- 1 resistor R_{200} .
- 1 resistor R_{4k7} .

Parte A - Arranjo Experimental

Inicialmente, use o resistor R_{4k7} e monte o circuito conforme a Figura 5. **Não ligue o circuito sem o resistor: o LED queimar!** Na montagem correta, o LED acende.

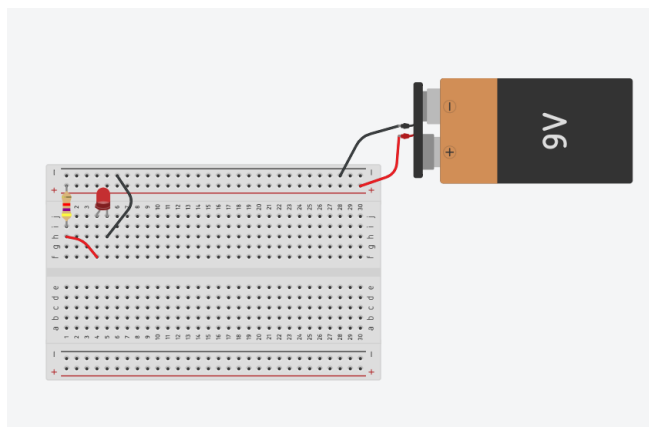
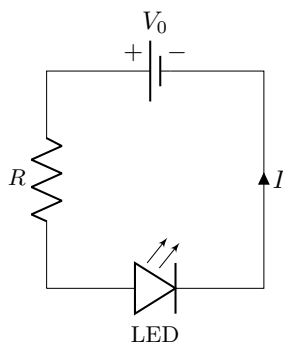


Figura 5: Circuito R-LED. Esquema (esq.) e montagem na protoboard (dir.).

Questão 1 (5 pontos). Considerando o arranjo experimental da **Parte A**, responda:

- Com a bateria desligada**, retire o resistor e reconecte-o invertendo os pontos de conexão de seus terminais. O que você observa ao religar a bateria? Um resistor possui polaridade? Justifique com base no resultado observado.
- Com a bateria desligada**, recoloque o resistor na posição original e inverta as conexões do LED (troque ânodo e cátodo). O que você observa ao religar a bateria? Explique em termos da polaridade do LED e do sentido da corrente convencional.
- Remonte o circuito inicial utilizando o resistor R_{200} no lugar do R_{4k7} . Em comparação com o circuito inicial, o que você observa? Como se comparam as correntes nos dois circuitos?

Parte B - Associação de Componentes

6pt

Associação em série. Dois ou mais componentes estão ligados em série quando formam um único caminho entre dois pontos; assim, **todos são percorridos pela mesma corrente I** . Por conservação de energia, a tensão entre os pontos inicial e final é a soma algébrica das quedas de tensão em cada componente (medidas no sentido da corrente).

A Figura 6 apresenta um circuito com dois LEDs, L_1 e L_2 , e um resistor R ligados em série. A tensão entre a e d é a soma das quedas no resistor (V_R) e nos LEDs (V_{L1} e V_{L2}). Como esses pontos também estão ligados à bateria de tensão V_0 , temos:

$$V_0 = V_R + V_{L1} + V_{L2}. \quad (1)$$

Em série, um resistor pode atuar como *divisor de tensão*: a tensão disponível para os demais elementos é $V_0 - V_R$.

A **Relação entre tensão V_R e corrente I em um resistor** é dada pela lei de Ohm

$$V_R = RI. \quad (2)$$

onde R é uma constante característica do resistor, denominada resistência que é medida em ohms (Ω).

A **relação entre tensão V e corrente I em um LED ideal** é caracterizada por pela *tensão limite* V_F : para $V < V_F$, a corrente é nula; para $V \gtrsim V_F$, o LED conduz sem resistência (sem capacidade de limitar a corrente). Por isso, sem resistor de proteção, o circuito poderia entrar em curto.

Em LEDs reais, a dependência entre V e I é mais complexa. O fabricante especifica uma *tensão direta* (equivalente à V_F no modelo idealizado) e uma *corrente direta* I_F de operação. Para dimensionar a resistência R do resistor de proteção de uma fonte de tensão V_0 deve-se considerar que a máxima corrente I_0 deve ser limitada

$$I_0 = \frac{V_0}{R} \leq I_F. \quad (3)$$

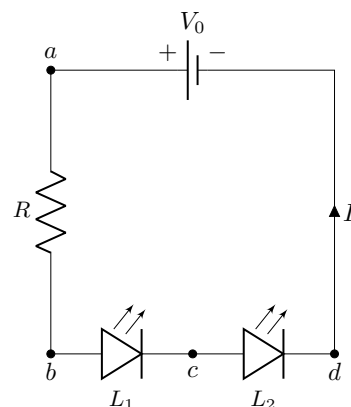


Figura 6: Ligação em série de dois LEDs e um resistor. O sentido da corrente I está indicado.

Parte B.1 - Associação de LEDs em Série

Parte B.1 - Lista de Material Específico

- Resistor $R_{4k7} = 4,7\text{ k}\Omega$ para proteção do conjunto de LEDs em série;
- Resistor $R_{100k} = 100\text{ k}\Omega$ para o LED de referência de brilho mínimo;
- 8 LEDs vermelhos.

Parte B.1 - Arranjo Experimental

Monte, na protoboard, **dois** circuitos conforme a Figura 7. Conecte a bateria às barras de alimentação da protoboard. Para $N = 1$, ambos os LEDs devem acender.

1. **Circuito principal:** N LEDs vermelhos em série com o resistor de proteção R_{4k7} . Nas figuras, está montado nas linhas iniciais (antes da linha 13).
2. **Circuito de brilho de referência:** 1 LED vermelho em série com R_{100k} . Nas figuras, está montado nas linhas finais (após a linha 26).

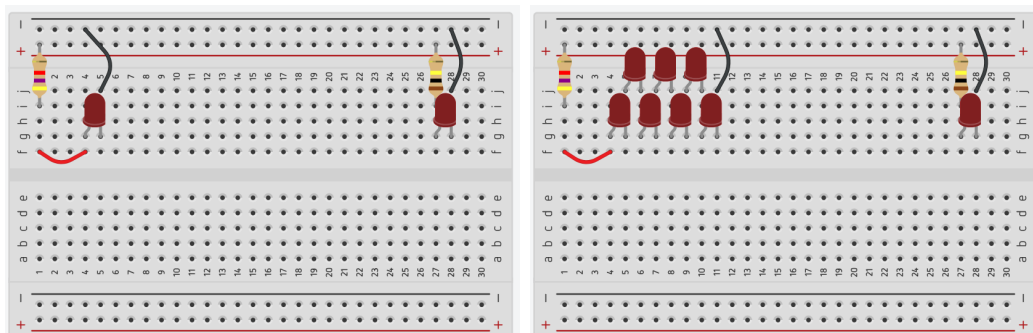


Figura 7: LEDs em série ($N = 1$ à esq., $N = 7$ à dir.).

Questão 2 (10 pontos). Considerando o arranjo experimental da **Parte B.1**, faça montagens com $N = 1, 2, 3, \dots, 7$ LEDs. Considere $V_0 = 9,00\text{ V}$.

- (a) Use a Eq. (3) para determinar a *corrente máxima* nos circuitos **principal** e de **brilho de referência**. Apresente o resultado em mA.
- (b) Compare o brilho do LED do **circuito principal** com $N = 1$ com o brilho do **circuito de referência**. Isso é esperado? Por quê?
- (c) A tensão *disponível por LED* em série é limitada por $V_{\max} \approx V_0/N$. Se os LEDs fossem ideais (todos com igual tensão de limiar V_L), para $V_{\max} < V_L$ não passaria corrente e nenhum LED acenderia. No LED real, ao aumentar N há um ponto em que o conjunto praticamente apaga (fica muito abaixo do brilho de referência). Determine o menor N em que isso ocorre e **estime** V_L .

Parte B.2 - Associação de Resistores em Série e Paralelo

A associação em série de componentes já foi apresentada na **Seção B.1**. Nesta seção vamos apresentar a associação em paralelo, e depois montar circuitos com resistores ligados em série nos arranjos experimental **B.2(a)** e em paralelo no arranjo experimental **B.2(b)**.

6pt

Dois ou mais componentes estão **associados em paralelo** entre os pontos a e b quando **ambos os terminais** de cada componente se conectam a a e b . Assim, todos ficam submetidos à **mesma tensão** V_{ab} . Pela conservação de carga (corrente), a corrente total no ramo é a soma das correntes em cada componente. Veja a Figura 8, na qual três resistores R_1 , R_2 e R_3 estão ligados em paralelo; vale $I = i_1 + i_2 + i_3$. Em seguida, esse conjunto liga-se em série com o LED e seu resistor de proteção r .

Nem sempre se tem acesso a um resistor com o valor exato desejado. Nesses casos, recorremos às associações em série ou em paralelo de resistores disponíveis para obter a resistência equivalente R_{eq} necessária. Usando a Lei de Ohm, mostra-se que, para resistores:

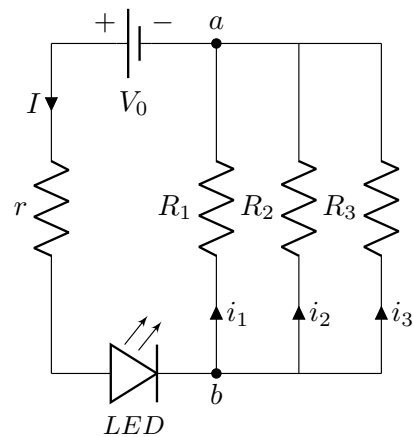


Figura 8: Os resistores R_1 , R_2 e R_3 estão **associados em paralelo**.

$$R_{eq} = \sum_{k=1}^N R_k \quad (\text{ligação em série}), \quad (4)$$

e, para a associação em paralelo,

$$\frac{1}{R_{eq}} = \sum_{k=1}^N \frac{1}{R_k} \quad (\text{ligação em paralelo}). \quad (5)$$

A partir da Eq. (4), é fácil obter duas **regras práticas para associação em paralelo**. Para dois resistores R_1 e R_2 em paralelo:

$$R_{eq} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}. \quad (6)$$

Para N resistores **idênticos em paralelo**, cada um de resistência R :

$$R_{eq} = \frac{R}{N}. \quad (7)$$

Propriedade de interesse do LED pisca-pisca. O LED pisca-pisca requer uma corrente mínima $I_{\min}$ para começar a piscar; abaixo desse valor, permanece aceso com brilho aproximadamente constante. O objetivo das Partes B.2(a) e B.2(b), é estimar $I_{\min}$ com arranjos experimentais que associam resistores em série e em paralelo.

Parte B.2(a) - Lista de Material Específico

- 1 LED amarelo pisca-pisca.
- 1 resistor R_{200} (proteção do LED).
- 6 resistores R_{100} .

Parte B.2(a) - Arranjo Experimental

Monte o circuito usando o LED amarelo (pisca-pisca) com o resistor R_{200} de proteção e N resistores R_{100} ligados em série. A Figura 9 mostra, os casos $N = 1$ (à esquerda) e $N = 6$ (à direita). Note que o resistor R_{200} está conectado diretamente à trilha (+). Conecte a bateria às barras de alimentação da protoboard. Na montagem com $N = 1$, o LED amarelo deve funcionar como pisca-pisca.

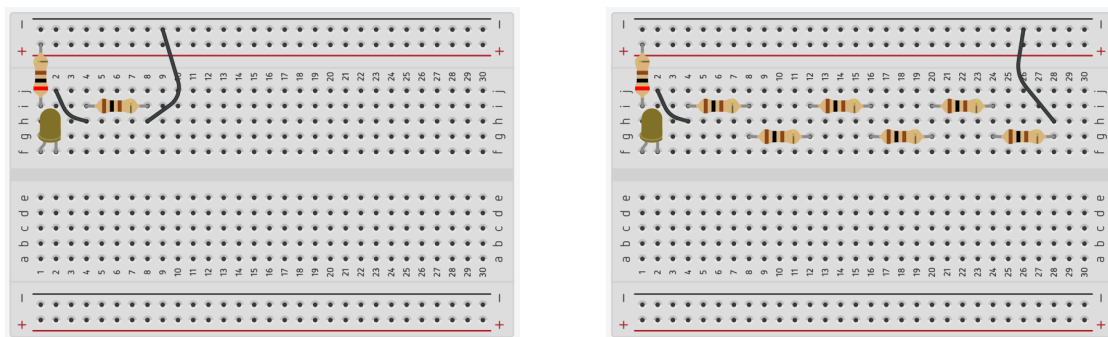


Figura 9: Conjunto de N resistores ligados em série ($N = 1$ esq., $N = 6$ dir.). O conjunto está ligado em série ao LED e ao resistor R_{200} .

Questão 3 (10 pontos). Considerando o arranjo experimental da **Parte B.2(a)**, faça montagens com $N = 1, 2, 3, \dots, 6$ e registre o comportamento do LED: *piscaando*, *brilho constante* ou *apagado*. Calcule $R_{eq,100}$ usando a Eq. (4) considerando a associação do conjunto de N resistores R_{100} e $R_{eq,circ}$ que inclui também R_{200} . Não propague incertezas; escreva resistências com **3 algarismos significativos** (tolerância de 5%).

(a) Apresente os resultados na tabela:

N	$R_{eq,100}$ (k Ω)	$R_{eq,circ}$ (k Ω)	comportamento do LED
1	...	...	...
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
6	...	...	...

(b) Considere $V_0 = 9,0$ V. Usando apenas os resultados desta questão e a Lei de Ohm (Eq. (2)), estime $I_{\min}$ com a respectiva incerteza.

Parte B.2(b) - Lista de Material Específico

- 1 LED amarelo pisca-pisca.
- 1 resistor R_{200} (proteção do LED).
- 4 resistores R_{1k} .

Parte B.2(b) - Arranjo Experimental

Monte o circuito usando um conjunto de $N = 1, 2, 3$, ou 4 resistores R_{1k} ligados **em paralelo**. O conjunto depois deve ser ligado **em série** ao LED amarelo (pisca-pisca) e resistor R_{200} de proteção. A Figura 10 mostra, os casos $N = 1$ (à esquerda) e $N = 4$ (à direita). Note que o resistor R_{200} está ligado diretamente à trilha (+). Caso seja necessário reveja a Figura 8 que mostra esquema do presente arranjo experimental com $N = 3$ no qual r é o resistor de proteção. Conecte a bateria às barras de alimentação da protoboard montadas acima. Na montagem com $N = 1$, o LED amarelo deve funcionar como pisca-pisca.

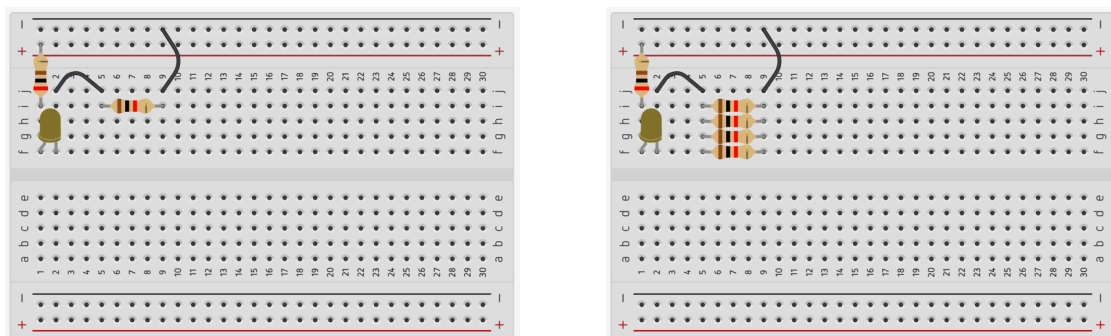


Figura 10: Conjunto de N resistores R_{1k} ligados em paralelo ($N = 1$ à esq, $N = 4$ à dir.). O conjunto está ligado em série ao LED e ao resistor R_{200} .

Questão 4 (15 pontos). Considerando o arranjo experimental da **Parte B.2(b)**, faça montagens com $N = 1, 2, 3$, e 4 e registre o comportamento do LED: *piscaando*, *brilho constante* ou *apagado*. Use a Eq. (5) para determinar $R_{eq,1k}$, a resistência equivalente do conjunto de N resistores R_{1k} ligados em paralelo. Depois, use Eq. (4) para determinar $R_{eq,circ}$, a resistência equivalente do circuito, que inclui a associação em série do conjunto com R_{200} . Não propague incertezas; escreva resistências com **3 algarismos significativos** (tolerância de 5%).

(a) Apresente os resultados na tabela:

N	$R_{eq,1k}$ (k Ω)	$R_{eq,circ}$ (k Ω)	comportamento do LED
1	...	...	...
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
4	...	...	...

(b) Considere $V_0 = 9,0$ V. Usando apenas os resultados desta questão e a Lei de Ohm (Eq. (2)), estime $I_{\min}$ com a respectiva incerteza.

(c) Compare os resultados de $I_{\min}$ obtidos nas **Questões 3 e 4**.

Parte C - Carga e Descarga de um Capacitor

Capacitores são dispositivos capazes de armazenar energia elétrica. Eles são caracterizados pelo valor de sua capacitância C , cuja unidade no Sistema Internacional é o Farad (símbolo F). Quanto maior C , maior a quantidade de energia que o capacitor pode armazenar. O tempo de carga e descarga, isto é, a rapidez com que libera ou absorve energia, depende da resistência R do circuito em que está ligado. Graças a essa propriedade, um circuito RC pode ser ajustado para controlar o intervalo de tempo em que a energia é fornecida ou armazenada.

Por exemplo, considere o funcionamento do flash de um celular. Para produzir um pulso de luz muito intenso é necessária uma potência muito superior à que a bateria pode fornecer diretamente. Nesse caso, um capacitor pode ser carregado lentamente por um circuito RC compatível com a bateria e, em seguida, descarregado em um circuito de resistência muito baixa (ou praticamente nula), liberando sua energia de forma quase instantânea. Assim, o capacitor atua como um reservatório de energia que permite obter o pulso luminoso intenso. Este é apenas um exemplo: os capacitores são componentes quase onipresentes em dispositivos eletrônicos, sendo utilizados em associação com resistências justamente por sua capacidade de fornecer e absorver energia em intervalos de tempo controláveis.

Em um circuito RC, no qual um resistor de resistência R está ligado em série a um capacitor de capacitância C , o tempo característico T de carga ou descarga do capacitor, no qual ele atinge cerca de 63% de sua capacidade de armazenamento, é dado por

$$T = RC. \quad (8)$$

Em um circuito RC-LED, além do capacitor e do resistor, liga-se em série um LED. Porém, ao contrário de R , que possui valor constante, a resistência efetiva do LED varia com a tensão V_{LED} (voltagem) aplicada em seus terminais. Essa característica faz com que a dependência de T com R não obedeça mais à equação 8.

O desafio desta parte da prova é investigar experimentalmente a dependência do tempo de descarga T de um capacitor em um circuito RC-LED com o valor da resistência R . Vamos verificar se, na região de interesse, essa dependência pode ser descrita por uma lei de potência do tipo

$$\left(\frac{T}{\tau}\right) = A \left(\frac{R}{R_0}\right)^\lambda \quad (9)$$

em que A e λ são parâmetros a serem ajustados, e τ e R_0 definem, respectivamente, as escalas de tempo e resistência.

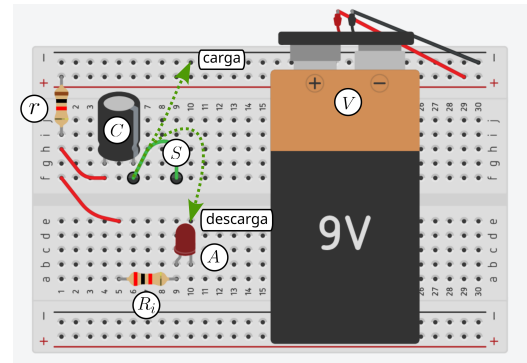
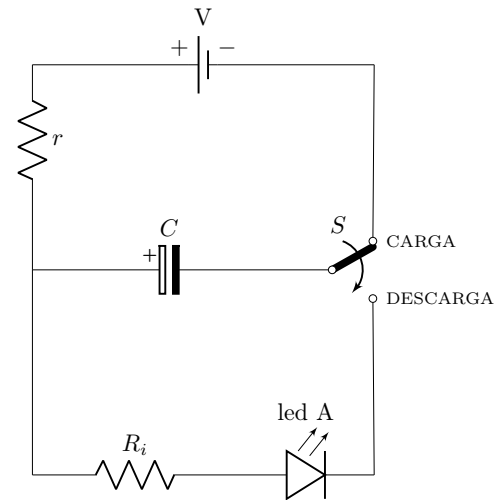


Figura 11: Acima, diagrama esquemático dos circuitos RC e RC-LED. Abaixo montagem na protoboard. A chave S é implementada na protoboard por um fio cuja extremidade móvel ou se conecta ou à trilha de alimentação negativa ou ao cátodo (polo negativo) do LED A .

A Figura 11 mostra a parte do arranjo experimental que implementa os circuitos RC e RC-LED. Eles devem ser ativados alternadamente. Inicialmente, a extremidade móvel do fio **switch** deve ser conectada à linha de alimentação negativa (–) para o carregamento do capacitor. Em seguida, a conexão da extremidade móvel do switch deve ser imediatamente transferida para o ponto de conexão ligado ao polo negativo do LED *A*. Isso ativa o circuito RC-LED: o LED *A* começa a brilhar e, à medida que o capacitor se descarrega, seu brilho vai diminuindo. Com estes circuitos é possível verificar, qualitativamente, os processos de carga e descarga do capacitor.

Para uma investigação quantitativa da dependência do tempo de descarga com R , é necessário acrescentar à protoboard dois outros circuitos. O primeiro circuito utiliza um LED *T* pisca-pisca, que funcionará como cronômetro. O segundo circuito contém um LED *B*, com as mesmas características do LED *A*, que servirá como referência de brilho mínimo. O LED *B* é ligado em série a um resistor de alta resistência e permanece com um brilho baixo constante. A Figura 12 mostra a protoboard completa com todos os quatro circuitos (a bateria não é mostrada para não sobrecarregar a figura). Na figura à esquerda, o fio **switch** está na posição CARGA e, à direita, na posição DESCARGA.

Durante o processo de descarga do capacitor, quando o LED *A* atingir o brilho do LED *B*, o capacitor *C* deve ser considerado descarregado. O tempo de descarga será então determinado pelo número de pulsos (piscadas) do LED *T*.

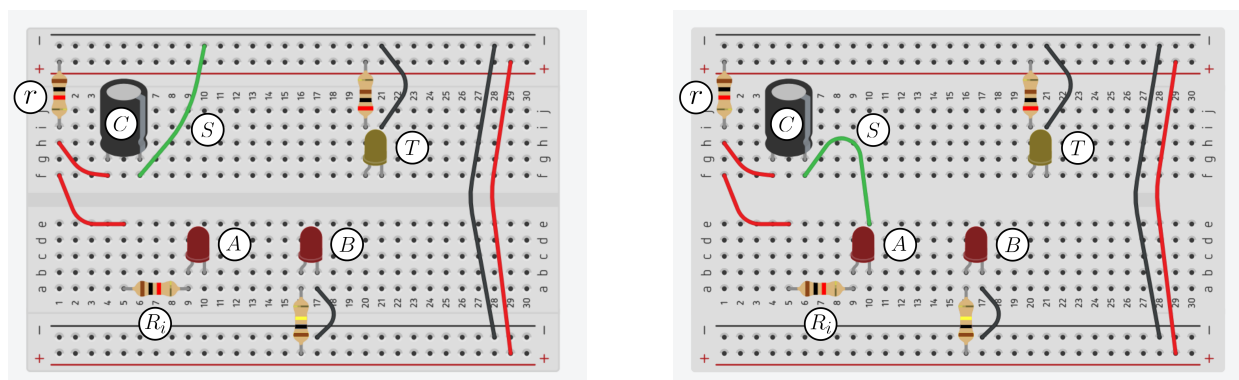


Figura 12: Arranjo experimental (exceto pela falta da bateria). Acima, com switch *S* no modo CARGA e abaixo com switch *S* no modo DESCARGA. *T* é um LED pisca-pisca e *B* um LED de brilho constante.

Parte C - Lista de Material Específico

1. **Circuito pisca-pisca:** 1 LED amarelo (*T*) e 1 resistor R_{200} .
2. **Circuito LED de brilho de referência:** 1 LED vermelho (*B*) e 1 resistor R_{100k} .
3. **Circuitos acoplados RC (carga) e RC-LED (descarga):**
 - (a) 1 capacitor (*C*).
 - (b) 1 LED vermelho (*A*).
 - (c) 1 resistor $r = R_{1k}$ para o circuito RC.
 - (d) 2 resistores R_{1k} , 2 resistores R_{4k7} e 2 resistores R_{10k} para uso como resistor R do circuito RC-LED. **Devem** ser usados isoladamente ou associados (mais detalhes abaixo).

Parte C - Arranjo Experimental

Ao conectar o capacitor, ligue o ânodo (perna longa) ao ponto de maior potencial e o cátodo (perna curta e/ou com a indicação $(-)$ na lateral) ao de menor potencial.

- Monte a protoboard com o arranjo experimental de acordo com a Figura 12 utilizando os elementos de cada parte descritos na lista de materiais específicos da **Parte C**.
- **Se necessário, mude a posição dos componentes. Em particular, pode ser útil montar o LED B mais próximo do LED A para facilitar a comparação dos brilhos.**
- Os resistores dados no item 3(d) da lista de material específico devem ser usados isoladamente ou associados em (i) série, (ii) paralelo, ou (iii) série e paralelo, para definir a resistência R_i do circuito RC-LED. **É proibido o uso de resistores fora da lista de material específico da Parte C.**
 - Use no máximo três resistores nas associações.
 - Identifique por R_i , ($i = 1, 2, 3, \dots$) sua i -ésima escolha.
 - Defina valores no intervalo $R_i \in [1,00; 20,0] \text{ k}\Omega$ ($R_1 = 1,00 \text{ k}\Omega$ já está na montagem inicial).
 - Registre R_i e o tipo de associação nas colunas 2 e 3 da **Questão 5**.
- **Atenção com a polaridade correta de montagem do capacitor dos LEDs.**

Parte C - Procedimento Experimental

Em cada repetição desta etapa, altere apenas a resistência R_i da malha de descarga, mantendo inalteradas as demais partes do circuito, inclusive a ligação da bateria.

1. Escolha um novo valor de R_i .
2. Conecte o switch para posição CARGA e conte pelo menos 10 piscadas do LED T .
3. Mude o fio switch para a posição DESCARGA. **Importante:** a outra extremidade do fio switch permanece na mesma posição.
4. Nesse momento, o LED A acende, indicando que o capacitor C começa a se descarregar. Meça o número de piscadas $T_{i,1}$ do LED T até que o LED A apresente brilho igual ao do LED B .
5. Mantendo o valor R_i , obtenha ao menos mais uma estimativa de T_i , repetindo os passos 2 a 3. Identifique-a como $T_{i,2}$. Se necessário, faça outras repetições, identificando-as como $T_{i,\ell}$ com $\ell = 3, 4, \dots$.

Questão 5 (10 pontos). Apresente os resultados experimentais obtidos na **Parte C** organizados em uma tabela, conforme o modelo abaixo. Para cada valor da resistência R_i do circuito RC-LED, registre as repetições $T_{i,\ell}$ (em unidades de τ , o intervalo entre pulsos do LED pisca-pisca) e informe, na última coluna, a estimativa $\overline{T}_i$ (média) e a incerteza σ_T correspondente.

i	Resistores e associação	R_i (k Ω)	$T_{i,1}$ (τ)	$T_{i,2}$ (τ)	...	$\overline{T}_i \pm \sigma_T$ (τ)
1	R_{1k}	1,00	...	...	...	...
⋮		⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
⋮	R_{10k} e R_{10k} em série	20,0	...	...	...	...

Questão 6 (5 pontos). Usando os valores de $\overline{T}_i$ e R_i apresentados na **Questão 5**, faça um gráfico em **papel milimetrado** de $(T/\tau) \times (R/R_0)$, onde $R_0 = 1 \text{ k}\Omega$ e τ é o intervalo de tempo entre piscadas do LED amarelo.

Questão 7 (10 pontos). Usando os valores de $\overline{T}_i$ e R_i apresentados na **Questão 5**, faça um gráfico em **papel log-log** de $(T/\tau) \times (R/R_0)$, onde $R_0 = 1 \text{ k}\Omega$ e τ é o intervalo de tempo entre piscadas do LED amarelo.

Questão 8 (10 pontos). *Linearize* a Eq. (9). Qual a transformação (ou transformações) das variáveis (T/τ) e (R/R_0) que devem ser feitas para que haja uma dependência linear entre elas? Apresente uma tabela com as grandezas linearizadas e as incertezas da variável linearizada (T/τ) .

Questão 9 (15 pontos). Considerando a dependência entre T e R dada pela Eq. (9).

- (a) Faça um ajuste linear das grandezas obtidas na tabela da **Questão 8**.
- (b) Todos os pontos experimentais foram usados no ajuste? Quais não foram considerados? Justifique.
- (c) Qual o valor de λ e sua respectiva incerteza?
- (d) Qual o valor do parâmetro A e sua respectiva incerteza?

Questão 10 (10 pontos). Apresente **no mesmo gráfico**, em papel milimetrado (1) os valores experimentais organizados na tabela da **Questão 8** (medidas linearizadas de $\overline{T}_i$ e R_i) e (2) a reta do ajuste linear obtido na **Questão 9**. Identifique eventuais pontos não utilizados no ajuste.