

## Objetivos de Aprendizado

1. Medir tensão com um voltímetro e corrente com um amperímetro em um circuito elétrico.
2. Verificar a interferência dos instrumentos na medição.
3. Obter a curva característica de um resistor e de um diodo.
4. Determinar a resistência de um resistor através de sua curva característica e por medição direta.
5. Observar como um diodo conduz corrente.

## Introdução

A resistência ( $R$ ) de um dispositivo eletrônico, medida em Ohms ( $\Omega$ ), é definida pela relação  $R \equiv V/I$ , onde  $V$  é a amplitude da diferença de potencial entre os terminais (extremidades) do dispositivo e  $I$  é a amplitude da corrente passando através dele. Analogamente, a condutância é definida como o inverso da resistência:  $G \equiv 1/R$  e é dada pela corrente que atravessa um dispositivo para uma dada tensão aplicada:  $G = I/V$ .

Se há uma diferença de potencial  $V$  entre os terminais do dispositivo, então há um campo elétrico  $\vec{E}$  entre eles. Sabemos que o campo elétrico é a grandeza causadora de uma força que atua sobre cargas elétricas, mas não sabemos, para um dado dispositivo, como ele afeta as cargas e qual será a corrente observada. A Figura 1 ilustra o efeito de uma diferença de potencial aplicada a um sólido homogêneo contendo cargas livres (como um metal). O campo elétrico resultante causa o movimento dos elétrons do material com certa velocidade média. Esse movimento é observado como a corrente que atravessa o dispositivo. Porém, não é possível saber, a princípio, qual corrente será observada para uma dada tensão aplicada.

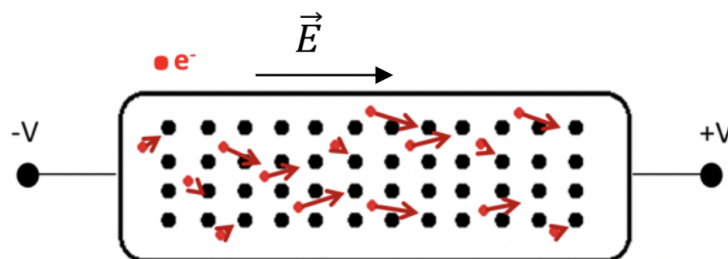


Figura 1: Movimento de cargas elétricas dentro de um sólido devido a um campo elétrico entre seus terminais.

A definição de resistência apenas diz que a razão entre tensão aplicada e corrente é chamada de resistência (ou, seu inverso, da condutância). Outra forma de ver isso é pensar que a resistência  $R$  é uma função de  $V$  e a corrente  $I$  é uma consequência de  $V$ ;  $R$  é a razão entre elas:  $R(V) = V/I(V)$ . Quando a resistência é **constante**, ou seja, quando ela não varia com a tensão, o dispositivo é chamado Ôhmico, ou seja,  $R(V) = R$ , onde  $R$  é uma constante (para uma dada **temperatura**, e outras condições fixas e numa faixa de tensão apenas). Dispositivos ditos ôhmicos, ou lineares, obedecem à chamada Lei de Ohm que diz que  $R$  é uma constante. Para estes dispositivos, sabemos portanto a relação entre tensão e corrente.

Resistores são dispositivos condutores, de resistência especificada, e portanto, ôhmicos, utilizados em circuitos elétricos para, por exemplo, manipular e controlar tensão e corrente ou para transformar a

energia elétrica em calor. Os tipos de resistores mais usados são os resistores de carvão, resistores de filme metálico e carvão e resistores de fio (níquel-cromo) enrolado, que diferem quanto ao elemento de resistência. Nem todos os dispositivos elétricos são ôhmicos assim como o resistor. Exemplos de dispositivos não ôhmicos são os diodos, LEDs (Diodo Emissor de Luz, do Inglês), entre outros.

A Figura 2 mostra os símbolos do resistor (2a), do diodo (2b), do LED (2c) e do fusível (2d). Para os diodos, o símbolo tem uma forma de seta que indica o sentido da corrente. Note que o símbolo do diodo é um triângulo e um traço. O traço indica o lado “negativo” do diodo que deve ser ligado ao potencial elétrico mais baixo para que o mesmo esteja em polarização direta e assim possa conduzir a corrente. O mesmo vale para o LED, com a diferença que o LED emite luz. No sentido contrário, tanto o diodo como o LED bloqueiam a passagem de corrente. Um outro tipo de dispositivo, neste caso de proteção contra sobrecorrente em circuitos, é o fusível. Este queima quando a corrente que passa pelo componente é maior do que o valor que o componente suporta (máxima corrente nominal), evitando que a corrente elevada danifique os aparelhos no circuito.

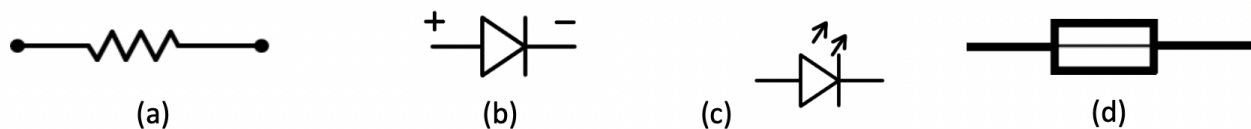


Figura 2: (a) Símbolo do resistor, (b) símbolo do diodo, (c) símbolo do LED e (d) fusível.

### Curvas características

Neste experimento, pretende-se estudar as “curvas características” de um resistor e de um diodo. Curvas características são gráficos que indicam como um dispositivo conduz corrente quando tensão é aplicada em seus terminais, ou seja, qual é a corrente que passa em função da tensão. Deve-se notar que o agente causador (tensão) é colocado no eixo horizontal e o efeito (corrente) é colocado no eixo vertical e ambas as grandezas são medidas simultaneamente. Como exemplo, apresentamos na Figura 3 a curva característica de uma lâmpada incandescente. Note que neste exemplo a relação entre corrente e tensão é linear apenas para valores muito baixos de tensão (até  $\approx 0,1V$ ). Para tensões e correntes mais altas, a lâmpada aquece e o valor de sua resistência muda, causando o comportamento não-linear. A lâmpada incandescente é exemplo de um dispositivo não-ôhmico.

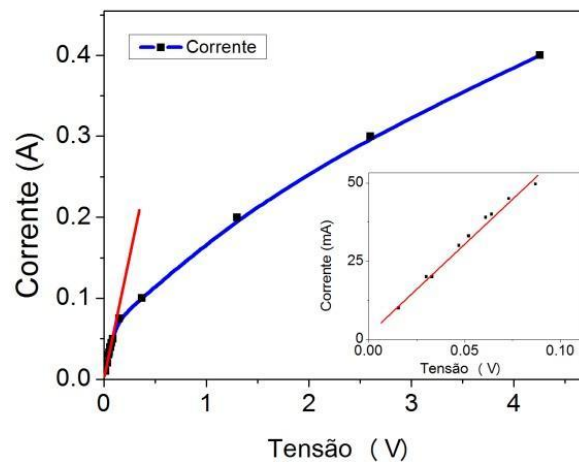


Figura 3: Curva característica de uma lâmpada incandescente. As barras de incerteza são menores que os símbolos utilizados para indicar os dados no gráfico. A curva em vermelho representa um ajuste linear feito aos dados. No detalhe são mostrados os dados na região linear do gráfico usados para o ajuste.

### Usando o voltímetro e amperímetro para obtenção de curvas características

Utilizamos um voltímetro para medir a diferença de potencial entre os terminais de um dispositivo. Isso está de acordo com o entendimento de que o efeito relevante é o campo elétrico e que a grandeza relevante é a diferença de potencial entre os terminais e não o potencial de um destes terminais com relação a um potencial de referência. A Figura 4 ilustra a forma de ligar os terminais de um voltímetro com o componente. Esta ligação é usualmente chamada ‘em paralelo’. Assim, os terminais do voltímetro estão nos mesmos potenciais das extremidades do dispositivo.

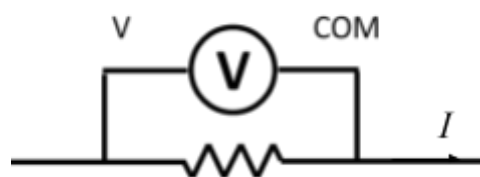


Figura 4: Ligação em paralelo de um voltímetro a um componente.

Para medir a corrente que atravessa um componente é preciso utilizar um amperímetro que é sempre ligado ‘em série’. Dessa forma, a corrente que atravessa o medidor (amperímetro) é a mesma que atravessa o componente.

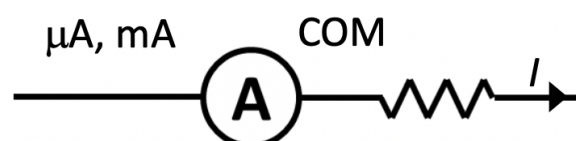


Figura 5: Ligação em série de um amperímetro a um componente.

Medidas de curvas características envolvem, por exemplo, a utilização de uma fonte de tensão DC ajustável (e não fixa ou alternada) e dois multímetros (um na função voltímetro e outro na função amperímetro). As medidas de corrente e tensão devem ser feitas de forma simultânea para uma mesma tensão aplicada. Uma boa prática é incluir no circuito uma resistência dita de proteção ( $R_p$ ) e/ou um fusível ( $F$ ) para evitar que montagens incorretas coloquem os equipamentos em risco. O resistor de proteção ( $R_p$ ) é necessário apenas se o dispositivo que será testado tiver uma resistência baixa ( $\approx 50 \Omega$ ).

Dois circuitos típicos para medidas de curvas características são apresentados abaixo, cada um com suas vantagens e desvantagens.

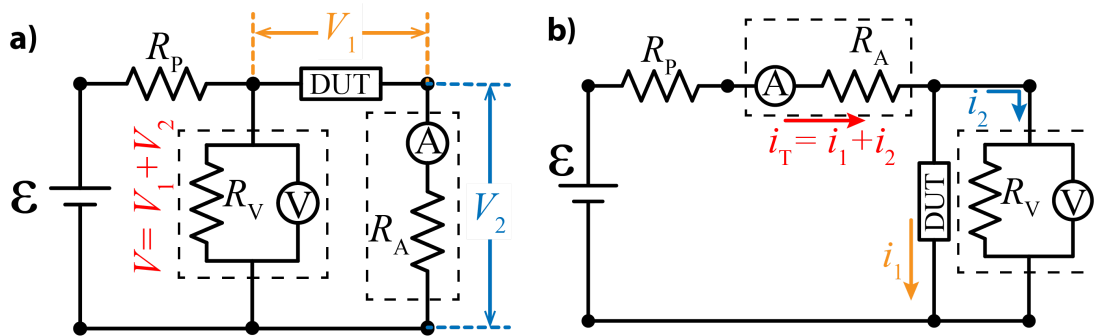


Figura 6: Circuitos para medição de tensão e corrente em um dispositivo. Em (a), o amperímetro mede a corrente atravessando o DUT. Em (b), o amperímetro mede a corrente total no circuito. O circuito em (b) é mais comumente utilizado. DUT – Dispositivo a ser testado (*Device Under Test*)

O circuito da Figura 6 (a) (circuito da esquerda) mede a corrente que passa pelo dispositivo sem interferência, entretanto mede a tensão somando a queda de potencial no dispositivo e no amperímetro. Esse circuito só é adequado quando a resistência do dispositivo que será medido é muito maior que a resistência interna do amperímetro (pesquise para saber qual é o valor típico e/ou pelo manual). Ele é apenas útil quando o componente que será testado tem resistência comparável com a resistência interna do voltímetro, mas isso não é usual. Assim, esse circuito é pouco utilizado. Nesse experimento em particular, este circuito se torna necessário apenas no caso em que o dispositivo é um diodo em polarização reversa.

Já o circuito da Figura 6 (b) (circuito da direita) mede a tensão aplicada no dispositivo que será testado sem interferência, entretanto mede a corrente somando a corrente que passa pelo dispositivo ( $i_2$ ) com a corrente que passa pelo voltímetro ( $i_1$ ). Esse circuito é adequado quando a resistência do dispositivo é pequena com relação à resistência interna do voltímetro (pesquise para saber o valor típico e/ou pelo manual). Essa montagem é utilizada na vasta maioria das situações.

### Simulações TinkerCad (Atividade Opcional)

Utilize o *software* TinkerCad para simular a medida da corrente em função da tensão em 4 situações distintas: tensão positiva e negativa tanto para o diodo quanto para o resistor. Verifique qual circuito é o mais adequado em cada uma destas situações, assim como quais escalas de tensão e corrente devem ser utilizadas.

Com a simulação, você poderá ver o comportamento da curva característica e o intervalo de corrente e tensão que deverão ser utilizados. A partir dessa análise determine para qual intervalo de tensão/corrente as medidas deverão ser realizadas. Note que se o comportamento não é linear (a curva  $I \times V$  não é linear), não faz sentido utilizar pontos igualmente espaçados em tensão. Note que queremos determinar ‘toda’ a curva da

corrente em função da tensão, ou seja, a curva não deve exibir ‘buracos’ (regiões em que não sabemos os valores de corrente e tensão).

**Dica:** No TinkerCad a menor variação de tensão obtida no componente “Fonte de Tensão” é de 0,2V, o que pode não ser suficiente para verificar as não linearidades dos circuitos (em especial nos diodos de silício). Uma maneira de diminuir essa variação de tensão é usar um divisor de tensão resistivo (dois resistores em série com a fonte, sendo um deles aquele em que se deseja obter medida de tensão com variação menor que 0,2V). Pense e explore essa possibilidade!

Faça um circuito que simule um amperímetro e um voltímetro reais, ou seja, um circuito que contenha além dos equipamentos de medição as resistências internas. No caso do amperímetro, a resistência interna muda (muito) com a escala. Com base nesse circuito verifique quais das duas estratégias apresentadas na Fig. 6 seria a melhor para medir a resistência interna dos equipamentos.

Apesar de ser opcional e poder bonificar o relatório em até 1,0 ponto, recomendamos que os grupos explorem essa rota para um melhor entendimento do experimento.

### Material Utilizado

Multímetro (dois), placa de ensaio ("protoboard"), fonte de tensão variável, resistor de  $100\ \Omega$  e diodo de silício, resistor de proteção ( $220\ \Omega$  nominal).

### Vídeo-Experimento

O objetivo geral do experimento é determinar a curva característica de dois dispositivos: um resistor e um diodo de silício. A partir da curva característica será encontrada a resistência dos dois dispositivos. Os vídeos-experimentos mostram as montagens de ambos os circuitos, para resistor e para diodo. Para cada tipo de circuito e componente, a tensão de saída da fonte é variada, e para cada valor de tensão aplicada podemos obter a leitura dos valores de corrente e tensão no amperímetro e voltímetro, respectivamente. As medições são realizadas para tensão positiva e negativa. Notem que os fundos de escala dos equipamentos podem mudar durante o experimento.

#### **[EA]: Determinação da resistência de um resistor.<sup>1</sup>**

Determine a curva característica de um resistor de valor nominal  $R_x = 100\ \Omega (\pm 5\%)^2$  e sua resistência. Os dados para análise deverão ser obtidos a partir do vídeo-experimento. Defina uma estratégia de coleta de dados (a cada 0,5 V; 1 V; etc.). Compare com o valor nominal do resistor e com o valor medido

---

<sup>1</sup> EA: Experimento de Aplicação.

<sup>2</sup> Note que  $\pm 5\%$  corresponde aos limites do intervalo de incerteza nominal. Para encontrar a incerteza é necessário atribuir a esse intervalo uma função de distribuição de probabilidade retangular.

com o ohmímetro. **Considere tensão positiva e negativa. Escolha o circuito mais adequado para cada uma destas situações.**

No seu relatório:

1. Descreva o procedimento experimental adotado no vídeo, justificando a escolha do circuito.
2. Qual é a variável independente (grandeza física que é propositadamente alterada) e a dependente (grandeza física alterada em decorrência de alteração imposta à variável independente)?
3. Discuta como é possível determinar a resistência interna do voltímetro e do amperímetro e os circuitos adequados para realizar essa medida.
4. Monte uma tabela de tensão, corrente e resistência, com o fundo de escala utilizado em cada medida (consulte o manual do multímetro). Para essa última, calcule a resistência a partir de  $V$  e  $I$  medidos. Inclua as incertezas de cada valor.
5. Faça um gráfico de  $I \times V$  e  $R \times V$  com os dados do item anterior

**Observação:** Em geral, ao fazer um gráfico, colocamos a variável independente na abscissa e a dependente na ordenada do gráfico. Aqui em particular, a tensão causa o efeito de corrente e, portanto, iremos fazer o gráfico dessa forma: corrente em função da tensão.

6. Descreva o padrão observado nos gráficos. A corrente/resistência é constante ou cresce/decrece com a tensão? A relação entre as grandezas é de fato linear ou exibe algum outro tipo de dependência? Caso essa relação seja linear, discuta a linearidade do gráfico de  $I \times V$  em conexão com a lei de Ohm. Discuta também o gráfico  $R \times V$  em conexão com a lei de Ohm.
7. Usando um software de tratamento de dados (como Python, Origin, SciDavis ou qualquer outro) faça um ajuste linear aos dados e encontre os coeficientes angular e linear com suas incertezas calculadas por MMQ.

**Atenção:** Você coletou dados suficientes que lhe permitam fazer um ajuste linear adequado aos dados? O gráfico dos dados experimentais deve ter vários pontos de modo a minimizar a incerteza dos coeficientes angular e linear. Considere a necessidade de coletar e adicionar mais pontos ao seu gráfico.

8. Utilizando o coeficiente angular do ajuste, determine o valor de  $R_x$ . Note que o coeficiente angular é a condutância, medida em Siemens cujo símbolo é  $[S]$  e é equivalente a  $[\Omega^{-1}]$ . É preciso tomar o inverso (e propagar a incerteza) para se obter a resistência do resistor.
9. Compare o valor obtido no item anterior para a resistência com o valor nominal e o valor medido com o ohmímetro (multímetro). **Leve em conta as incertezas para fazer a comparação.**
10. Discuta o significado do coeficiente linear do gráfico  $I \times V$ .
11. Qual é a função do fusível e como sua presença interfere no experimento?

**[EO]: Observação do comportamento de um diodo ao conduzir corrente elétrica.**<sup>3</sup>

<sup>3</sup> EO: Experimento Observacional.

Determine a curva característica de um diodo de silício. Os dados para análise deverão ser obtidos a partir do vídeo-experimento. Defina uma estratégia de coleta de dados (a cada 0,5 V; 1 V; etc.). **Considere a tensão aplicada positiva e negativa. Escolha o circuito mais adequado para cada uma destas situações.**

No seu relatório:

1. Descreva o procedimento experimental adotado no vídeo, justificando a escolha do circuito.
2. Monte uma tabela com os valores de tensão, corrente e resistência e o fundo de escala utilizado em cada medida. Calcule a resistência a partir de  $V$  e  $I$  medidos. Inclua as incertezas de cada valor.
3. Monte um gráfico de corrente versus tensão ( $I \times V$ ) com os dados obtidos para o diodo (novamente, o agente causador está no eixo horizontal).
4. Monte um gráfico de resistência versus tensão ( $R \times V$ ) para o diodo. **Dica: Pode ser útil utilizar escala logarítmica nesse gráfico!**
5. Descreva o padrão observado nos gráficos. A corrente/resistência é constante ou cresce/decrece com a tensão?
6. A partir dos gráficos de  $I \times V$  e  $R \times V$  obtidos, descreva o comportamento da resistência do diodo em função da tensão aplicada. Discuta se este componente é um elemento ôhmico.
7. Discuta se é possível utilizarmos o mesmo circuito para medir a corrente e tensão no diodo quando mudamos a sua polarização.
8. Faça um gráfico do logaritmo neperiano da corrente,  $\ln(I)$ , em função da diferença de potencial aplicada entre os terminais do diodo, observe e discuta a relação obtida.
9. Analise comparativamente os gráficos  $I \times V$  e  $R \times V$  encontrados nas duas partes do experimento (resistor e diodo) e descreva em 1 ou 2 frases as diferenças entre eles.
10. Qual é a função do resistor de proteção e como a sua presença e valor interferem no experimento?

### Fontes de Incertezas

Discuta em seu relatório as possíveis fontes de incertezas e como elas afetam os valores experimentais obtidos. Neste experimentos, as principais fontes de incerteza a serem consideradas são:

- Corrente: leitura e calibração do multímetro
- Tensão: leitura e calibração do multímetro

Para cada uma das fontes citadas acima, avaliar a incerteza associada e combinar as incertezas pertinentes.

### Bibliografia

1. Halliday D.; Renick R.; Walker, J. Fundamentos de Física vol. 3.
2. Burian Jr., Y; Lyra, A.C.C. Circuitos Elétricos.
3. Gussow M., Eletricidade Básica.
4. Lima Jr., A.W., Eletricidade e Eletrônica Básica.



### Notas técnicas

Quando estamos num laboratório manipulando osciloscópios, fontes de tensão, dispositivos diversos, é bom estarmos atentos a alguns detalhes técnicos mínimos a respeito das especificidades dos mesmos. Como caráter informativo, listamos abaixo 2 notas técnicas úteis para este experimento:

**Nota 1:** Sempre obtenha os dados com a melhor precisão possível, de acordo com os equipamentos disponíveis, ou seja, faça uso das diferentes escalas.

**Nota 2:** Observe que em todos os casos a potência máxima dissipada no resistor não ultrapassa 1,5W, valor compatível com a capacidade de dissipação de calor (2W) dos resistores utilizados na montagem. No caso do diodo esse limite reflete-se na corrente que não pode ultrapassar 300 mA.



## Rubricas de Avaliação do Relatório

[R] Sobre o Resistor, [D] sobre o diodo, [A] ambos.

peso	rubrica	Habilidade	Ausente	Inadequada	Precisa melhorar	Adequada
1-1	G2	[A] Capacidade de avaliar como as incertezas afetam os resultados	Incertezas experimentais não são avaliadas	Há uma avaliação das incertezas, mas na maior parte a avaliação está ausente, vaga ou incorreta.	A avaliação de incertezas não é feita corretamente até o resultado final.	As incertezas são avaliadas adequadamente até o resultado final.
1-1	G4	[A] Capacidade de registrar e representar os resultados	Dados ou gráficos ausentes ou incompreensíveis.	Alguns dados e gráficos estão ausentes ou difíceis de se compreender.	Todos os gráficos e dados pedidos estão presentes, mas alguns não estão claros.	Todos os dados e gráficos estão presentes e claros.
1-1	G5	[A] Capacidade de analisar os gráficos	Os gráficos não são analisados	Há uma tentativa de análise dos gráficos, mas tem sérias falhas.	A análise é adequada, mas contém alguns erros ou omissões, como a falta de incertezas.	A análise está completa e correta. Coeficientes com incertezas são apresentados.
1	B7	[A] Capacidade de identificar um comportamento nos dados	Não há tentativa de observar um padrão.	O padrão descrito é incorreto, irrelevante ou não é consistente com os dados	O padrão discutido tem pequenos erros ou omissões ou falta de clareza.	O padrão descrito é muito relevante com relação aos dados
1	F2	[A] Capacidade de comunicar o tema e descobertas do experimento de forma clara e completa.	Nenhuma discussão sobre o tema e as descobertas do experimento estão presentes.	O experimento e as descobertas são discutidos, mas vagamente. Não há reflexão e conclusão sobre a qualidade dos achados.	O experimento e as descobertas são comunicados, mas a reflexão e conclusão final são inadequadas ou incoerentes.	O experimento e as descobertas são discutidos com clareza. Há uma reflexão sobre a qualidade e conclusão final dos achados.
1	B1	[D] Capacidade de identificar o fenômeno a ser investigado.	O efeito não é mencionado.	A descrição do efeito é confusa ou foge dos pontos de interesse.	O fenômeno é descrito de forma vaga ou incompleta.	O fenômeno a ser investigado é descrito de forma clara.
1	D4	[R] Capacidade de fazer um julgamento sobre os resultados do experimento	Nenhuma discussão é apresentada sobre os resultados do experimento	Um julgamento é feito sobre os resultados, mas não é razoável ou coerente.	Um julgamento aceitável é feito sobre o resultado, mas o raciocínio é falho ou incompleto. Ou as incertezas não são levadas em consideração. Ou suposições não são discutidas. O resultado é escrito como um único número.	Um julgamento aceitável é feito sobre o resultado, com raciocínio claro. Os efeitos das suposições e incertezas experimentais são considerados. O resultado é escrito como um intervalo.

A nota poderá ser alterada posteriormente (sempre limitada entre 0 e 10 pontos) segundo os fatores indicados na tabela abaixo

a.	Discussões solicitadas não foram realizadas	Reduzir a nota em até 1,0 ponto.
b.	Uso incorreto de algarismos significativos Incertezas têm mais de dois algarismos significativos.	Reduzir a nota em até 1,0 ponto.
c.	Relatório com mais de 5 páginas	Reduzir a nota em até 1,0 ponto.
d.	Tarefas e simulações online	Bonificação de até 1,0 ponto na nota.