



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO**

Instituto de Física

Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física

Mestrado Profissional em Ensino de Física

Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física



## **A eletrostática oculta na eletrodinâmica dos circuitos de corrente constante**

**Anderson José da Fonseca**

**Germano Maioli Penello**

Material instrucional associado à dissertação de mestrado de Anderson José da Fonseca, apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Instituto de Física, da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

**Rio de Janeiro  
Fevereiro de 2020**

# Sumário

Sumário	ii
1 Apresentação	1
2 Distribuição de cargas elétricas e campo elétrico em um circuito elétrico simples	2
3 Atividades para serem realizadas durante a sequência de ensino	25
4 Respostas das atividades	44

# 1. Apresentação

Caro professor,

Este material foi idealizado para ser utilizado como instrumento pedagógico auxiliar para o ensino de um circuito elétrico, enfatizando a importância do exame da distribuição das cargas elétricas como alternativa à abordagem habitual.

O texto foi elaborado para apoiar a condução da análise de um circuito elétrico composto por pilha, lâmpada incandescente, fios condutores resistivos e chave interruptora, destacando a relevância do estudo da distribuição das cargas elétricas para compreensão do funcionamento do circuito. A estrutura desse instrumento pedagógico foi concebida de uma forma que pudesse ser utilizada diretamente pelo estudante, mas também apresenta a aparência de uma sequência de ensino. Assim, inspirado nesse modelo, o professor pode construir sua própria sequência didática ou utilizá-lo como está, agregando a ele sua experiência docente com recursos, exemplos e analogias que privilegiem o aprendizado de forma significativa. O modo como o conteúdo desse componente didático foi desenvolvido pressupõe que os alunos já tenham estudado os fundamentos da eletrostática e a lei de Ohm. Entretanto, o professor pode adequá-lo para ser o ponto de partida para o estudo do eletromagnetismo.

## 2. Distribuição de cargas elétricas e campo elétrico em um circuito elétrico simples

Com certeza você já observou que uma lâmpada acende quase imediatamente após o acionamento do interruptor. Na verdade, tão rapidamente quanto a lâmpada acende a campainha soa ou as pás de um ventilador começam a girar assim que um botão é acionado. Mas, você sabe explicar o porquê?

Vamos simplificar a situação estudando um circuito composto por uma pilha, fios resistivos, uma lâmpada incandescente e uma chave interruptora. Observe a situação representada na sequência de imagens:

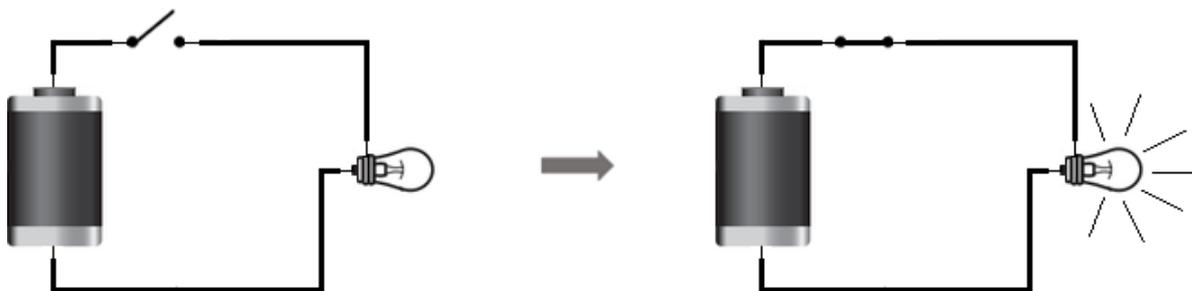


Figura 2.1: Esquema do circuito elétrico usado para fazer a lâmpada acender.

### Para começar...

Os elementos (pilha, fios condutores, chave interruptora e lâmpada) não foram arrumados de qualquer maneira. Eles foram ligados entre si com um objetivo: fazer a lâmpada

brilhar. Essa arrumação, com os integrantes conectados entre si, recebe o nome de circuito elétrico. Os componentes do circuito e a forma como eles são conectados uns aos outros determinarão o seu comportamento e do circuito como um todo. Um circuito é, portanto, um sistema. Isto é, um conjunto de elementos com características individuais porém, interdependentes e organizados de forma que o comportamento de cada componente é influenciado e influencia os demais. Assim, para entendermos como a lâmpada acende tão rapidamente, precisamos começar entendendo o que acontece no interior dos componentes do circuito. Para o nosso circuito simples, dois deles são fundamentais: a pilha e os fios condutores.

## **A pilha**

A pilha ou bateria é conhecida como um tipo de fonte portátil de energia. Ou seja, é um dispositivo que armazena energia, permitindo que ela possa ser transportada de um lugar para outro (no nosso bolso, por exemplo). Quando a pilha é conectada de forma adequada aos demais elementos do nosso circuito, algo funciona. Nossa lâmpada acende!!! Mas, qual o papel desempenhado pela pilha em nosso circuito? Por processos internos relacionados às reações químicas que ocorrem em seu interior, uma pilha consegue manter uma separação de cargas elétricas entre seus contatos metálicos (terminais ou polos). Os processos químicos em ação dentro da pilha fazem com que elétrons sejam deslocados e acumulados sobre um dos contatos externos, dando origem a uma região com uma concentração de cargas negativas (o polo negativo). Esses elétrons, estão em falta no outro contato (lembre-se do princípio de conservação da carga elétrica de um sistema), dando origem a uma região com concentração de carga positiva (o polo positivo). Quanto mais cargas se acumularem em cada um dos contatos, maior será a repulsão entre elas. Com o tempo, ficará cada vez mais difícil remover elétrons do polo positivo por causa da força de atração entre o polo e o elétron. De modo semelhante, a repulsão dificultará que elétrons adicionais sejam acumulados no polo negativo. O acúmulo de cargas em cada

terminal atinge o limite quando a força interna da pilha (que provoca a separação) se equilibra com as forças atrativas e repulsivas.

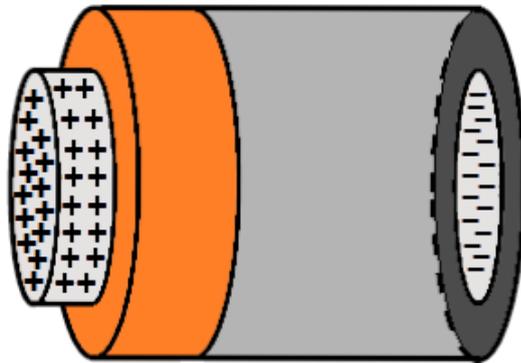


Figura 2.2: Pilha.

A Fig. 2.3 apresenta uma analogia com uma “pilha mecânica” e pode ajudá-lo a compreender o que acontece no interior dela durante o processo de separação das cargas. Um motor move uma esteira que remove elétrons de uma placa deixando-a positiva e os transporta até a outra placa, tornando-a negativa. Esse processo mantém constante a quantidade de carga em cada terminal e envolve um gasto de energia para o motor funcionar. Da mesma forma, as forças que realizam o trabalho de transportar os elétrons do polo positivo para o negativo (contrariando a ação do campo) consomem a energia liberada nas reações químicas.

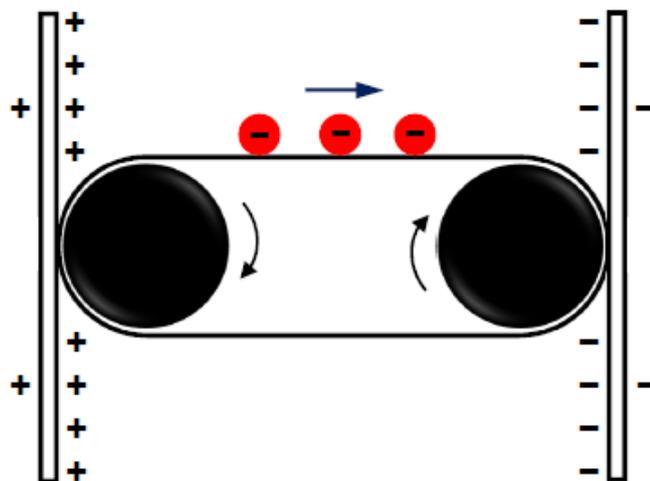


Figura 2.3: Modelo de uma “pilha mecânica”.

Existe algo importante que devemos lembrar: uma concentração de carga positiva ou negativa é uma fonte de campo elétrico!

## Os fios condutores

Relembrando o processo de eletrização por contato, os objetos condutores eram aqueles que, estando inicialmente neutros, quando entravam em contato com um objeto eletrizado, toda a sua superfície ficava eletrizada. Sendo assim, podiam transmitir a eletricidade de um ponto ao outro. Nos sólidos metálicos os elétrons das últimas camadas podem transitar livremente através da estrutura do material. Adotaremos um modelo no qual os fios condutores são formados por uma rede de íons estacionários (carregados positivamente) preenchida com um “mar” de elétrons, como um gás de elétrons “livres”. Esses elétrons são chamados de elétrons de condução e se movem incessantemente e desordenadamente pela rede de íons, colidindo frequentemente com os íons da rede. Como o movimento dos elétrons de condução é aleatório, sua velocidade vetorial média é nula.

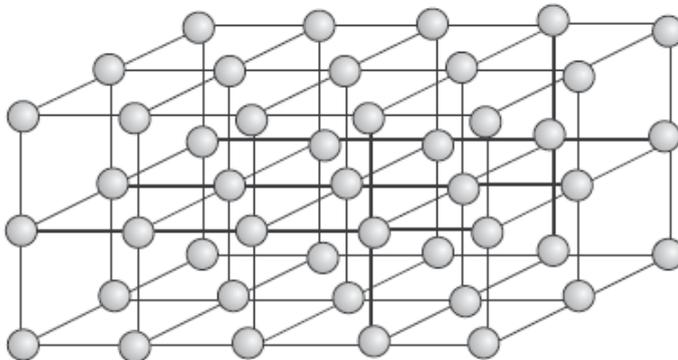


Figura 2.4: Rede de íons.

Se o fio condutor ficar sob a ação de um campo elétrico  $\vec{E}$ , os componentes do nosso modelo de condução (os íons da rede e os elétrons de condução) ficarão sujeitos a uma força elétrica (lembre-se que  $\vec{F} = q\vec{E}$ ). Porém, só elétrons de condução podem se movimentar pela rede! Eles terão, então, seu movimento orientado por esse campo (lembre-se  $\vec{F} = m\vec{a}$ ), originando uma corrente elétrica! Em um sólido metálico, a corrente elétrica

consiste no fluxo dos elétrons de condução através da rede de íons. Observe que se esse fluxo fosse determinado apenas pela ação do campo elétrico a velocidade dos elétrons aumentaria continuamente ao longo do tempo de uma quantidade igual a  $\frac{qE}{m}$ . Porém, lembre-se que em seu movimento através da rede de íons os elétrons de condução colidem frequentemente com ela. Nessas colisões, os elétrons transmitem toda sua energia cinética à rede de íons. Imediatamente após colidirem os elétrons retomam o seu movimento, pois absorvem energia do sistema. Você pode estar pensando que nada deve mudar, afinal tudo o que os elétrons ganham eles perdem. Mas, espere um pouco! Devido a interação com o campo elétrico a energia cinética dos elétrons foi aumentada. Portanto, os elétrons receberam energia de um agente externo e depositaram essa energia na rede de íons. Isso deve ter provocado alguma consequência sobre ela. E provoca! Durante as colisões, alguma quantidade de energia (que no princípio estava armazenada na bateria) é transmitida à rede de íons, aumentando a sua agitação térmica. Como resultado, o fio aquece. Além disso, como os elétrons estão sendo empurrados pelo campo elétrico, a velocidade vetorial média deles deixa de ser nula e faz com que eles se desloquem lentamente pelo condutor.

Pelo que vimos, os elétrons são arrastados através da rede de íons pela ação de um campo elétrico externo que tem origem em algum lugar. A dificuldade enfrentada pelo fluxo dos elétrons de condução ao atravessarem a rede de íons positivos é interpretada macroscopicamente como a resistência elétrica. Microscopicamente, existe uma grandeza que reúne as informações relacionadas a essas colisões e, portanto, está relacionada com a resistência elétrica. Essa grandeza é chamada de condutividade elétrica do material ( $\sigma$ ). O inverso da condutividade elétrica é a resistividade elétrica ( $\rho$ ).

Esqueça a ideia de que o movimento dos elétrons ocorre em linha reta. A trajetória é mais parecida com um zigue-zague, ricocheteando nos íons da rede e espalhando-se por ela, avançando lentamente no condutor (veja a Fig. 2.5). De fato, a velocidade média de percurso dos elétrons (conhecida como velocidade de deriva ou de arraste) é muito baixa. Para se ter uma ideia, a velocidade de uma lesma é cerca de  $2,8 \text{ mm/s}$  enquanto

a velocidade média de um elétron em um fio condutor de cobre, de seção transversal igual  $A = 2,5 \text{ mm}^2$ , percorrido por uma corrente elétrica de  $1,0 \text{ A}$ , é aproximadamente,  $0,029 \text{ mm/s}$ . É importante que você não confunda a velocidade que os elétrons possuem entre duas colisões com aquela relacionada ao seu movimento ordenado através do condutor. Entre uma colisão e outra os elétrons podem atingir velocidades da ordem de  $10^6 \text{ m/s}$ .

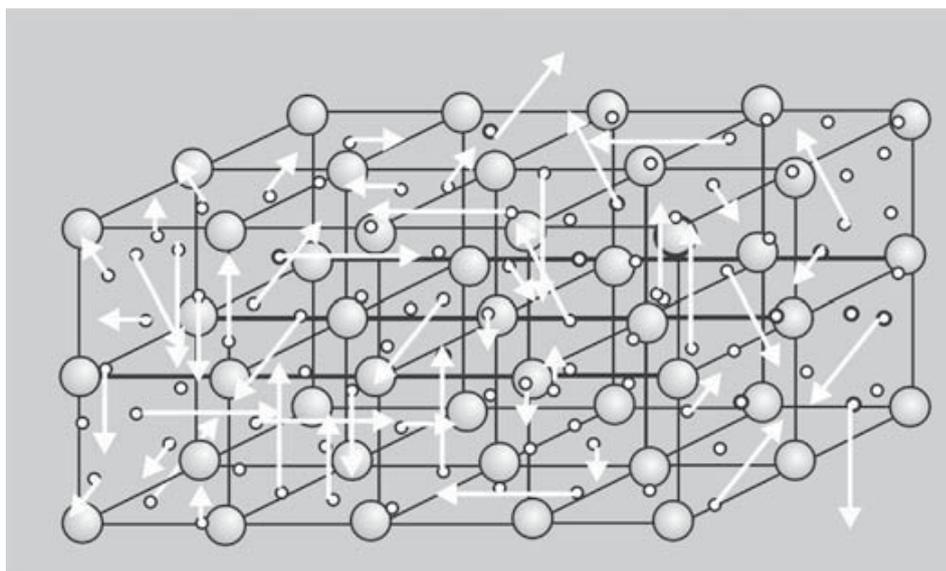


Figura 2.5: Movimento dos elétrons através da rede.

## O filamento da lâmpada

O filamento da lâmpada nada mais é do que um fio condutor, porém com uma resistência elétrica mais elevada que a dos fios condutores do circuito. Da mesma forma que nos fios condutores, uma parcela da energia armazenada na pilha é transformada em energia térmica. A diferença é que no filamento a quantidade de energia que é transformada em energia térmica (e que provocará o aquecimento) é muito maior. Ela é capaz de aumentar tanto a temperatura do filamento que radiação é emitida na forma de luz.

**Mas, se a resistência é maior no filamento da lâmpada, a velocidade de arraste dos elétrons (e, portanto, a corrente elétrica) não deveria ser menor?**

Sim!!! E para que a velocidade de deriva dos elétrons (e, portanto, a corrente elétrica) através do filamento da lâmpada seja a mesma, uma força de maior intensidade deve atuar sobre os elétrons. Retornando à relação entre a força elétrica e o campo elétrico  $\vec{F} = q\vec{E}$  e lembrando que o que provoca o movimento ordenado (fluxo) dos elétrons de condução é a ação de um campo elétrico sobre eles, chegamos à conclusão que se a força elétrica deve aumentar de intensidade para manter o fluxo de elétrons, significa que o valor do campo elétrico no filamento tem que ser maior. E é!!! Mas, como isso é possível? Teremos que explicar isso também!



**Será que já encontramos a nossa resposta?  
Isto é, se a pilha é uma fonte de campo  
elétrico, será esse campo o responsável  
por fazer a lâmpada brilhar?**

**Vamos pensar um pouco sobre isso...**

Já vimos que o campo elétrico diminui de intensidade à medida que nos afastamos da fonte do campo e aumenta quando nos aproximamos dela. Vale recordar: para uma carga puntiforme o valor do campo elétrico é calculado por:

$$E = k \frac{Q}{d^2}.$$

Sendo assim:

**Se a fonte do campo elétrico no filamento da lâmpada são as cargas que se encontram nos polos da bateria, a lâmpada não deveria brilhar mais quando colocada mais perto dela?**

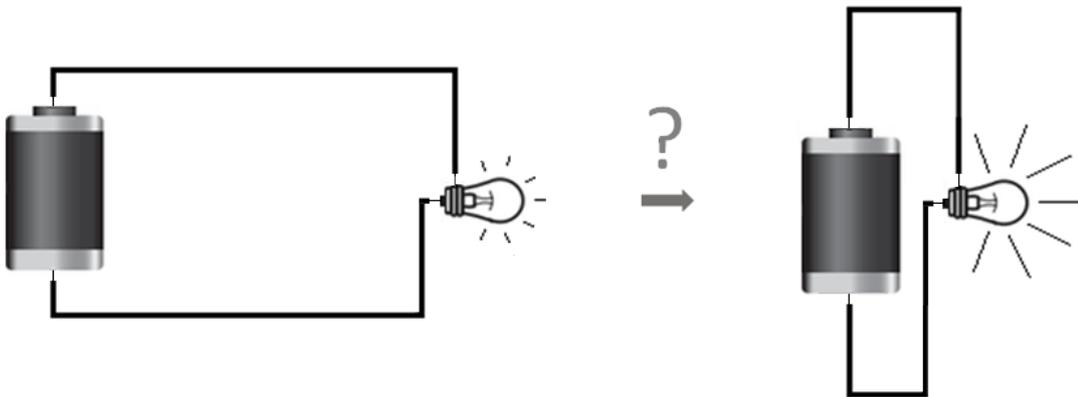


Figura 2.6: O brilho da lâmpada muda quando ela se aproxima ou se afasta da pilha?

Como o brilho da lâmpada não se altera, a pilha não pode ser a fonte do campo elétrico que provoca a corrente elétrica!

Ainda não encontramos nossa resposta!



Vamos investigar o que acontece com os fios condutores quando os conectamos aos contatos da pilha.

Conectar um condutor ao polo de uma pilha não é muito diferente de estabelecer o contato de um condutor eletrizado com um condutor neutro. A diferença é que a pilha consegue manter constante a quantidade de carga em seu terminal. Vamos lembrar o que acontece no processo de eletrização por contato, pois isso vai nos ajudar a entender o que acontece quando conectamos o condutor ao contato da pilha. Observe a sequência mostrada na Fig. 2.7.

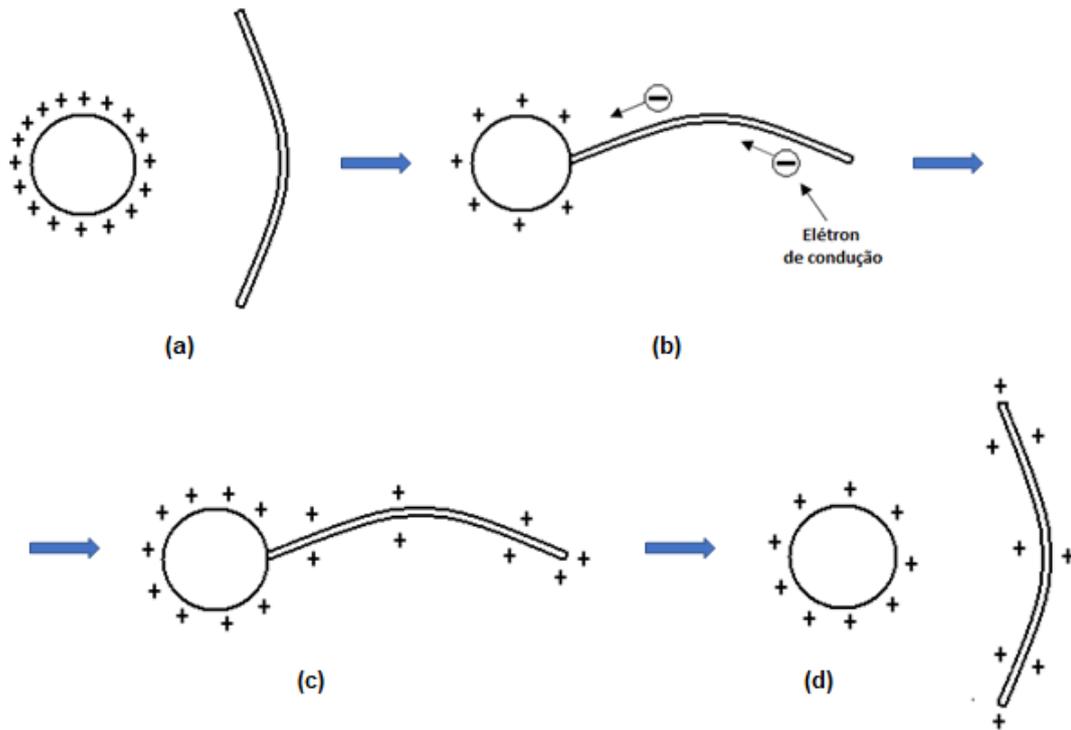


Figura 2.7: Processo de eletrização pelo contato.

Quando estabelecemos o contato de um condutor eletrizado positivamente com um objeto condutor neutro (um fio, por exemplo), os elétrons de condução do fio condutor são atraídos pelas cargas positivas excedentes do condutor eletrizado. Ocorre uma migração de elétrons do fio para o condutor eletrizado, deixando para trás regiões sobre o fio com falta de elétrons (portanto, eletrizadas positivamente) (Fig. 2.7**(b)**). Quando ocorre o equilíbrio entre as forças de atração sobre os elétrons de condução, exercidas pelos íons da rede do fio e pelas cargas positivas que existem no objeto condutor, o fluxo é interrompido (Fig. 2.7**(c)**). Ao serem separados, os dois objetos estão eletrizados positivamente (Fig. 2.7**(d)**). A quantidade de carga em cada um dos objetos é uma porção da carga elétrica total do sistema antes do contato (ou seja, a do objeto eletrizado, já que o fio condutor era neutro), de forma que a soma das quantidades de carga no objeto e no fio condutor (nosso sistema) quando forem separados (Fig. 2.7**(d)**) é igual a quantidade de carga do sistema antes do contato (Fig. 2.7**(a)**). Não foram criadas cargas elétricas ao encostar os

dois condutores! Uma vez que o nosso sistema é isolado, a quantidade de carga nele permanece constante. Esse é o princípio de conservação das cargas elétricas. Uma situação semelhante aconteceria se o objeto eletrizado estivesse carregado negativamente. A diferença é que ocorreria uma migração de elétrons do objeto eletrizado para o fio condutor inicialmente neutro. Ao final, ambos ficariam carregados negativamente.

## Conectando os fios aos polos da pilha

Quando o fio condutor, inicialmente neutro, é colocado em contato com o polo positivo da pilha (lembre-se, ele é uma fonte de campo elétrico) os elétrons de condução são atraídos ( $\vec{F} = q\vec{E}$ ) por ele e mergulham nele, deixando o fio com uma falta de cargas negativas (acompanhe pela Fig. 2.8). Para simplificar a nossa análise a forma como as cargas se distribuem nas curvas ou extremidades do fio não será explorada.

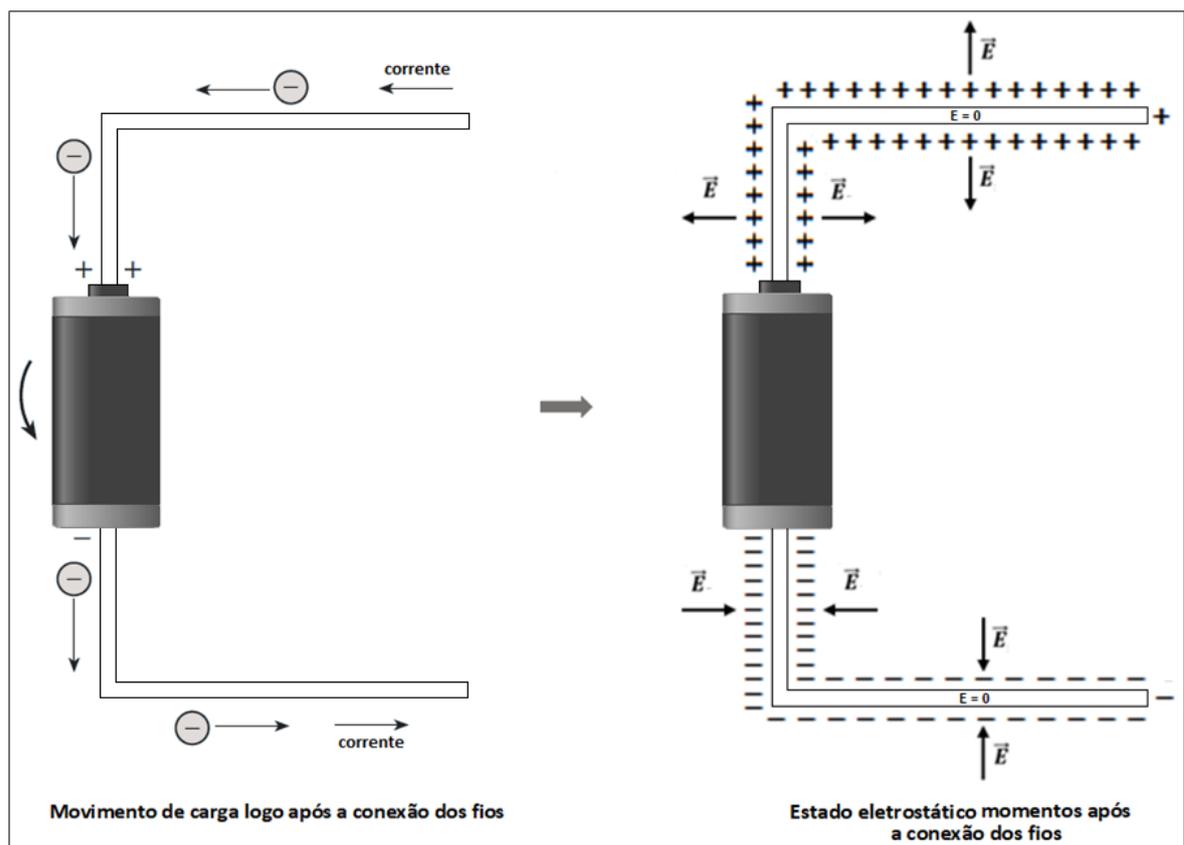


Figura 2.8: Estados transiente e estático durante a conexão dos fios com a bateria.

Esse processo continua até que haja o equilíbrio entre as forças de atração sobre os elétrons de condução exercidas pelos íons da rede do fio e pelas cargas positivas que existem no contato da pilha. No polo negativo os elétrons são repelidos e mais elétrons são adicionados ao fio, deixando-o com um excesso de partículas negativas. Essa transferência de elétrons do polo para o fio permanece até que ocorra o equilíbrio entre as forças de repulsão entre os elétrons do contato e o excesso que foi adicionado ao fio. Lembre-se: apesar de um contato receber elétrons (polo positivo) e outro perder elétrons (polo negativo), a pilha consegue manter constante a quantidade de carga em cada polo. Quando o equilíbrio é atingido, mais nenhum elétron é adicionado ou removido dos fios. Eles ficam carregados com a mesma densidade de carga que existe em cada um dos contatos da pilha, transformando-se em prolongamentos deles. Pensando em fios com uma geometria especial (cilíndrica) e desprezando o que acontece nas curvas e nas extremidades, a carga se distribui uniformemente pela superfície dos fios deixando o campo elétrico no interior do fio igual a zero e imediatamente fora da superfície diferente de zero e perpendicular a ela. Está lembrado do que acontece com condutores eletrizados quando alcançam o equilíbrio eletrostático? Não? Assista os vídeos indicados nos links a seguir:

- (1) <https://www.youtube.com/watch?v=qj-c6UHkmV0> (gaiola de Faraday);
- (2) <https://www.youtube.com/watch?v=YUWEKRChEME> (anéis carregados);
- (3) <https://www.youtube.com/watch?v=yOipO2Tr03c> (anel deformado).

Se você prestar atenção os elétrons de condução apresentam dois comportamentos em relação ao seu movimento. Um deles é o que ocorre antes que o equilíbrio eletrostático seja alcançado: existe um fluxo de elétrons no fio se aproximando de um contato da pilha (positivo) e se afastando de outro (negativo) e a velocidade média dos elétrons é diferente de zero durante esse período. Esse estado é conhecido como **transiente**. O outro é caracterizado pela ausência de fluxo de elétrons e começa quando o equilíbrio é atingido. Esse estado é chamado de **estático** e os elétrons de condução voltam a se movimentar

desordenadamente como em um condutor neutro. No equilíbrio eletrostático a velocidade média dos elétrons é nula.

O próximo passo é ligar as extremidades dos condutores. Mas, antes de efetuarmos essa ligação observe mais de perto o que se passa no interior do condutor, principalmente na região das pontas dos fios que serão conectadas. Como o arranjo está em equilíbrio eletrostático, o campo elétrico no interior do condutor é nulo. Mas, isso não quer dizer que as cargas situadas na superfície do fio não estejam agindo sobre as cargas do interior. O que acontece é que a soma dos campos elétricos gerados por todas as cargas da superfície em qualquer ponto do interior do condutor é zero. Observe a Fig. 2.9

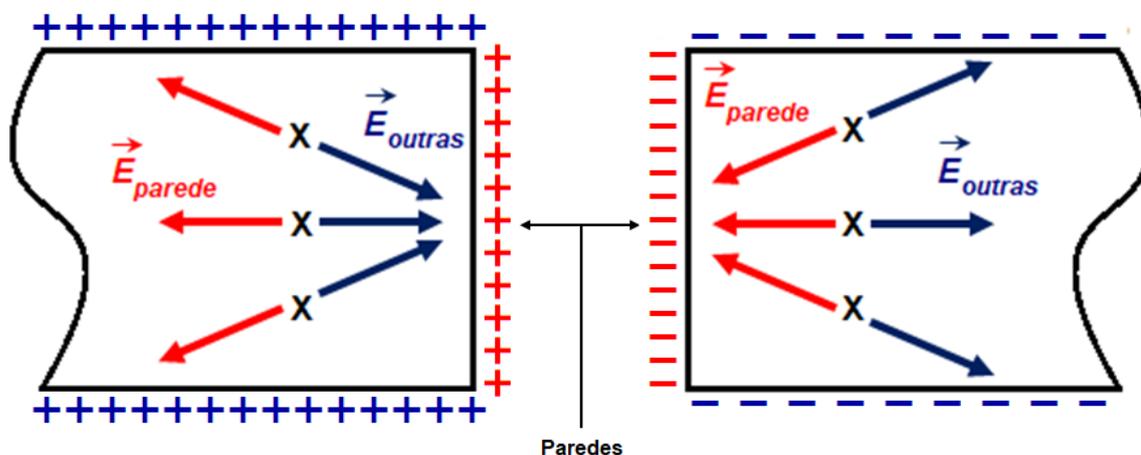


Figura 2.9: Campos produzidos pelas cargas das paredes do vão ( $\vec{E}_{parede}$ ) e de todas as outras cargas da superfície dos fios ( $\vec{E}_{outras}$ ).

Em cada ponta do fio, prestando atenção nos locais marcados com **X**, o campo elétrico produzido pelas cargas na parede ( $\vec{E}_{parede}$ ) equilibra-se com o campo gerado por todas as outras cargas ( $\vec{E}_{outras}$ ) localizadas na superfície do fio. Se não fosse assim o campo elétrico no interior do fio não seria nulo e o arranjo não estaria em equilíbrio.

Imagine que você pudesse congelar o tempo e só o deixasse voltar a fluir quando quisesse ou que o tempo passasse tão lentamente que você pudesse acompanhar as transformações que ocorrerão no fio quando você unir as paredes das pontas dos fios. Se você juntar as duas paredes, as cargas sobre elas neutralizam a região interna, porém as car-

gas da superfície permanecem agindo sobre as cargas no interior do fio. Se você tivesse paralisado o tempo no momento da união veria algo como mostrado na Fig. 2.10.

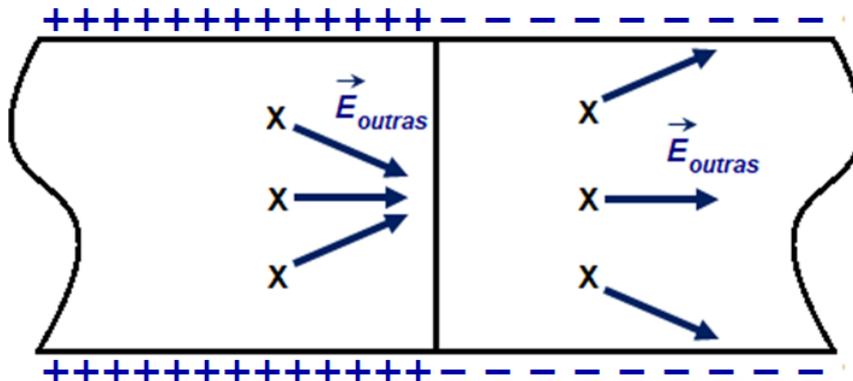


Figura 2.10: Campos produzidos apenas pelas cargas da superfície dos fios.

Contudo, repare na distribuição das cargas elétricas superficiais na região onde houve o contato entre as extremidades. A passagem imediata da região positivamente carregada para a negativamente carregada parece estranha. E realmente é! Isso se chama descontinuidade e a ação mútua entre as cargas fará com que ela desapareça. Além disso, o campo elétrico no interior do condutor não é mais igual a zero. Se você seguir a direção dos vetores representados na Fig. 2.10, à medida que for deixando o tempo fluir, vai verificar que, como a força tem sentido oposto ao do campo, pois as cargas móveis são negativas ( $\vec{F} = q\vec{E}$ ), alguns elétrons deverão se mover para uma região com falta de elétrons, diminuindo a quantidade de carga positiva dela. Outros elétrons deverão se afastar das áreas com grande quantidade de carga negativa, tornando-as mais positivas. Depois de algum “tempinho” (uma fração de nanossegundo) você observará que houve uma “diluição” nas cargas da superfície (veja Fig. 2.11).

É importante que você perceba e guarde a seguinte informação: o campo elétrico no interior do fio é produzido pelas cargas elétricas localizadas na superfície dele e as características desse campo (módulo e orientação) dependem de como essas cargas estão distribuídas por lá. Do mesmo modo como aconteceu quando as pontas dos fios foram unidas, qualquer mudança na distribuição de cargas da superfície altera o campo elétrico

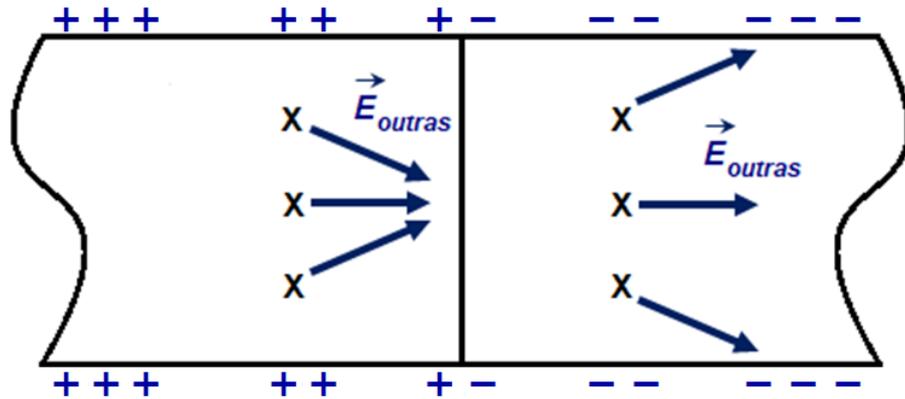


Figura 2.11: Carga elétrica superficial “diluída” pouco tempo depois que ocorre a junção das extremidades dos fios. Quanto maior a quantidade de sinais (+) ou (-) e mais próximos eles estiverem significa que a quantidade de carga localizada desse sinal naquela região é maior.

no interior do fio. Além disso, como o campo elétrico se estende pelo espaço, sua ação produzirá nas cargas móveis distribuídas ao longo do fio o mesmo efeito que você observou nas cargas próximas do local onde as extremidades dos fios foram unidas. Mas, para isso, ele tem que se propagar até elas.

**TÔ VENDO UMA  
ESPERANÇA!**

**Você já vai começar a entender porque a lâmpada do nosso circuito acende quase instantaneamente.**



Já que estamos falando sobre a propagação do campo elétrico, existe uma informação fundamental a respeito disso: a rapidez com que o campo elétrico se propaga em um meio é igual a da luz. No vácuo, a velocidade da luz atinge seu maior valor, cerca de  $c = 300.000$  km/s. Em meios materiais, essa velocidade é menor, porém da mesma ordem de grandeza

( $10^5$  km/s). Sendo assim, qualquer mudança na arrumação das cargas elétricas provoca uma mudança no campo elétrico que viaja tão rapidamente que parece instantâneo. O tempo que a informação leva para chegar até as cargas, ou seja, que o campo elétrico se propague até elas percorrendo uma distância  $d$ , é  $\Delta t = d/v$ . E como  $v$  é da ordem de  $10^5$  km/s, o tempo de espera será muitíssimo curto. Se você pensar em um circuito com o comprimento igual ao diâmetro da Terra, a lâmpada acenderá em menos de meio segundo. Confira!!! Essa é, aproximadamente, a rapidez com que tudo acontece durante o estado transiente.

Se você pudesse deixar o tempo passar muito lentamente veria as mudanças na arrumação das cargas elétricas da superfície do fio se estendendo por todo o fio até que não houvesse mais variações nessa distribuição e no campo elétrico. Nesse estado as cargas se arrumaram de tal forma que próximo aos polos da pilha a concentração de cargas é maior, diminuindo gradativamente ao longo do fio. Algo parecido com o que é mostrado na Fig. 2.12. Lembre-se que quanto maior a quantidade de sinais (+) ou (-) e mais próximos eles estiverem significa que a quantidade de carga localizada desse sinal naquela região é maior.

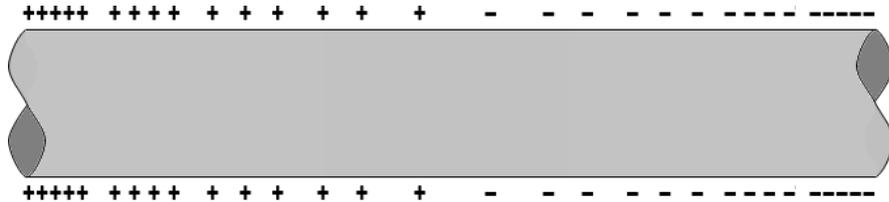


Figura 2.12: Distribuição aproximada da carga elétrica na superfície do fio depois que o estado estacionário foi alcançado.

A partir do que já vimos, vamos pensar um pouco sobre as consequências de termos cargas elétricas distribuídas não-uniformemente sobre o fio:

- (a) longe dos contatos da pilha são as cargas elétricas localizadas na superfície do fio que produzem o campo elétrico tanto no interior do fio quanto do lado de fora dele;
- (b) logo depois que as pontas dos fios foram ligadas, a arrumação das cargas elétricas da

superfície passou a mudar porque o campo elétrico interno deixou de ser nulo (veja Fig. 2.11) ficando em alguns lugares orientado para o exterior (retirando elétrons da superfície), em outros ficava direcionado para dentro do fio (levando elétrons para a superfície do fio) e em outros era paralelo à superfície do fio (movimentando os elétrons nessa direção);

(c) depois de um curtíssimo intervalo de tempo a arrumação das cargas da superfície não muda mais.

Para mudar a arrumação das cargas na superfície é preciso levar elétrons para lá ou tirar elétrons de lá. Como foi destacado no item **(b)** isso acontecia porque em alguns lugares o campo elétrico era orientado para a superfície e em outros para dentro do fio (direções transversais), e por causa da quantidade de elétrons chegando nesses locais e saindo deles, movendo-se paralelamente à superfície do fio. Então, se na superfície as cargas não mudam mais a sua arrumação, como dito no item **(c)**, é porque o campo elétrico não apresenta mais as direções transversais e o fluxo de elétrons paralelo à superfície se tornou constante. Mas, como visto no item **(a)**, tem que existir um campo elétrico no interior do fio. Qual a orientação desse campo, então? A única direção que restou é a que permanece paralela à superfície do fio. Mas, ela também desloca os elétrons, fazendo-os chegar e sair de um local qualquer no fio. Isso não provocaria uma mudança na arrumação das cargas? Sim!!! Mas, se essa arrumação não muda mais é porque a quantidade de elétrons que chega também sai, ou seja, um fluxo constante de cargas. Isso é verdade porque estamos pensando que nosso fio é homogêneo, com a mesma condutividade elétrica em todos os lugares. Veremos, quando introduzirmos um resistor em nosso arranjo, que ocorre uma alteração na distribuição das cargas devido à mudança de condutividade elétrica. A velocidade média dos elétrons de condução é, portanto, a mesma em todos os pontos do fio. Para mover os elétrons dessa maneira o campo elétrico precisa ter o mesmo valor no fio todo. Sendo assim, as características do campo elétrico no fio são:

- (1) módulo: constante;
- (2) direção: paralela à superfície do fio;
- (3) sentido: das regiões mais positivas para as mais negativas.

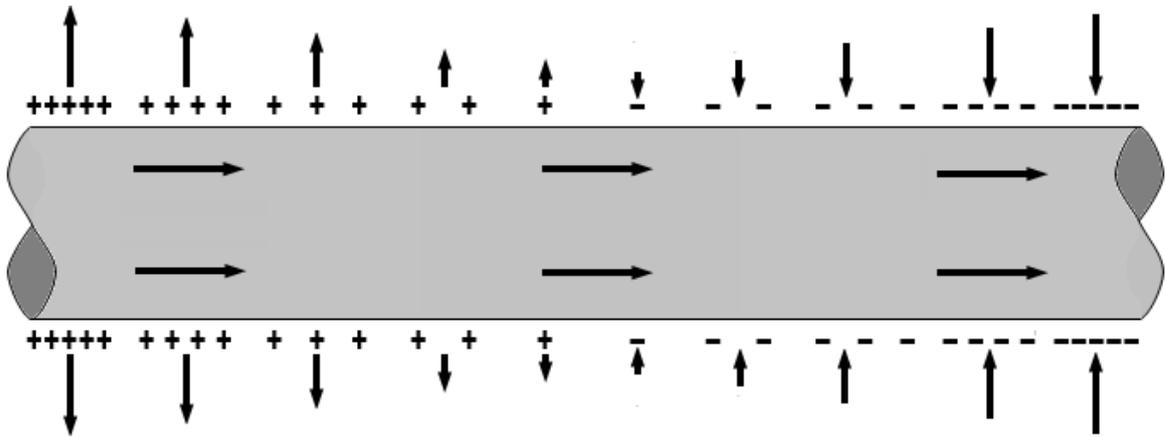


Figura 2.13: Campo elétrico interior e distribuição de carga aproximada em um fio reto no regime estacionário. Externamente, o campo apresenta duas componentes: uma paralela à superfície e outra perpendicular a ela. Apenas a componente perpendicular do campo elétrico foi representada.

O resultado da ação desse campo é que, em qualquer lugar do fio, você verá passando uma quantidade igual de elétrons no intervalo de tempo que você escolher. Isso quer dizer que existe uma corrente elétrica constante (fluxo constante) percorrendo todo o fio. A intensidade dessa corrente elétrica é calculada por

$$i = \frac{q}{\Delta t}.$$

O estado no qual a arrumação das cargas na superfície, o campo elétrico e a corrente elétrica permanecem constantes ao longo do tempo é conhecido como **estado estacionário**. O campo elétrico fora do fio varia sua intensidade e sua orientação à medida que nos afastamos ou nos aproximamos do fio e também quando percorrermos o comprimento dele porque, além da componente paralela à superfície do fio, existe outra que é perpendicular à superfície (veja Fig. 2.13).

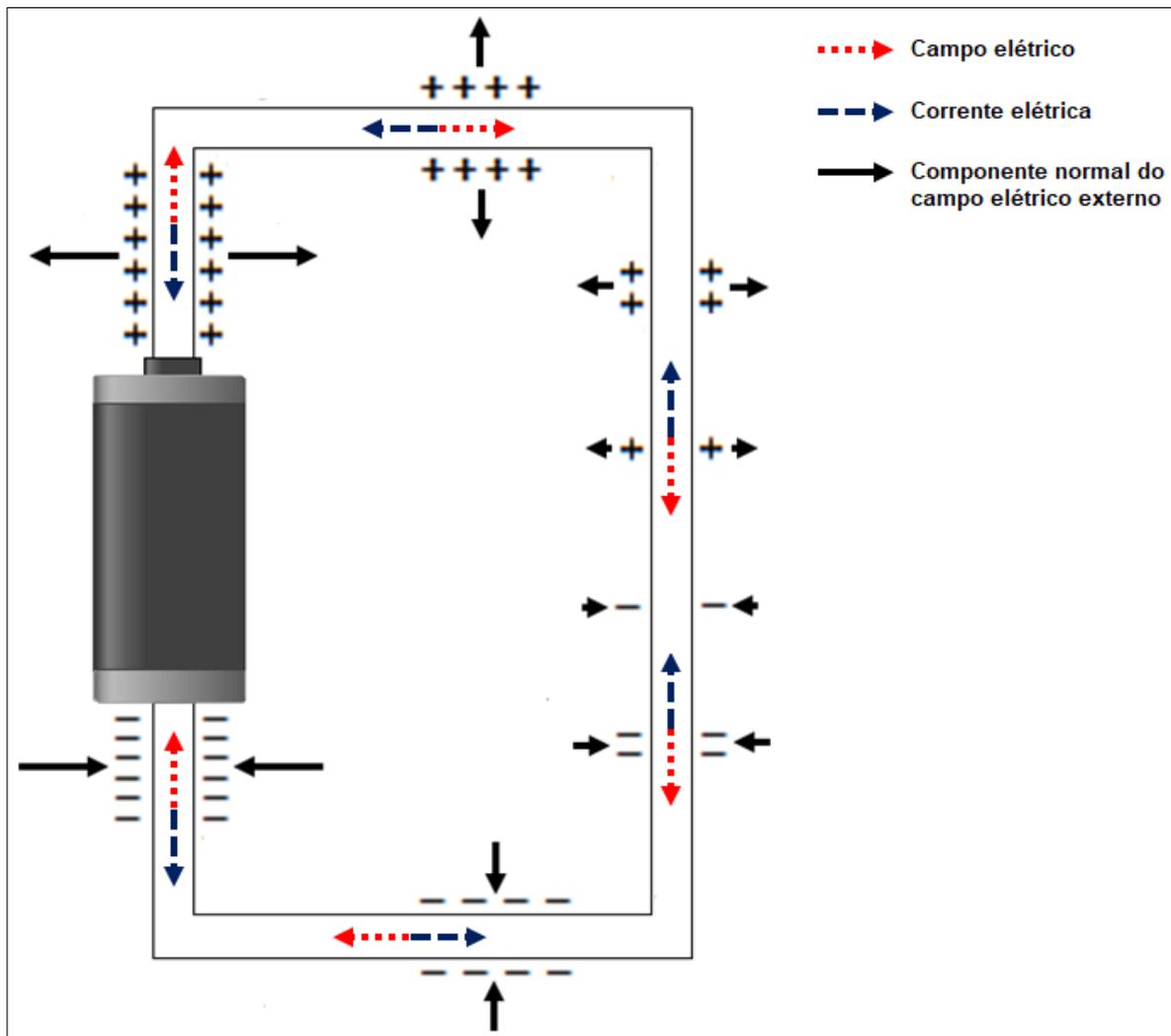


Figura 2.14: Campo elétrico, corrente elétrica e distribuição superficial de carga aproximada ao longo do circuito no regime estacionário. Externamente, apenas a componente perpendicular do campo elétrico foi representada.

Agora, você já possui as informações para entender tudo o que está representado no circuito, mostrado na Fig. 2.14. Você imaginava que pudesse aprender tanta coisa interessante tentando entender o que se passa quando você liga as pontas de um pedaço de fio aos polos de uma pilha?

Mas ainda falta algo: a lâmpada! Como você viu, o filamento da lâmpada nada mais é que um pedaço de fio condutor, porém feito de um material que possui uma condutividade elétrica mais baixa que os fios usados para interligar os componentes do

circuito. Aliado as suas características geométricas, sua resistência se torna muito mais elevada que a dos fios de ligação (lembre-se que  $R = \rho \frac{\ell}{A}$ )<sup>1</sup>. Para você ter uma ideia, vamos comparar a resistência do filamento de uma lâmpada incandescente com a de um pedaço de fio de cobre de seção transversal igual a  $1,5 \text{ mm}^2$ . O filamento de uma lâmpada incandescente de 60 watts de potência e que funciona sob tensão de 120 volts possui  $0,58 \text{ m}$  de comprimento (esticado)<sup>2</sup> e um diâmetro de  $0,046 \text{ mm}$ , feito de tungstênio que apresenta uma resistividade elétrica  $\rho_W = 52,8 \times 10^{-9} \text{ } (\Omega\text{m})$  a  $20^\circ\text{C}$ . A resistividade elétrica do cobre na mesma temperatura é igual a  $\rho_{Cu} = 16,8 \times 10^{-9} \text{ } (\Omega\text{m})$ . A  $20^\circ\text{C}$ , a resistência do filamento é aproximadamente 2837 vezes maior que a de um pedaço de fio de cobre do mesmo comprimento. O fio de cobre precisaria apresentar cerca de 1645 metros de comprimento para possuir a mesma resistência do filamento<sup>3</sup>.

Vamos examinar primeiro o que muda em relação à distribuição de cargas quando existe um trecho do circuito com uma resistência elétrica diferente. A corrente elétrica corresponde ao fluxo de elétrons através de uma região (seção transversal) do fio ou do resistor e sua intensidade é determinada pela quantidade de carga que passa por essa área em determinado intervalo de tempo, ou seja, se fixarmos o tempo de espera em 1 segundo, o que importa são quantos elétrons por segundo passam pela região escolhida. Sendo assim, dois fatores influenciam a intensidade da corrente: **(1)** a quantidade de elétrons de condução que existem na região; **(2)** a rapidez com que esses elétrons se deslocam através do condutor. Como assim? Pense no fluxo como o resultado da contagem dos elétrons que passam pela seção transversal. A redução no número de elétrons livres de um local para outro pode ser compensada com o aumento na velocidade média dos elétrons.

Mas, o que isso tem a ver com o resistor? Tudo! No resistor a quantidade elétrons livres é menor que no condutor, pois esse é um dos fatores que determinam a condutivi-

---

<sup>1</sup>A resistividade elétrica  $\rho$  é o inverso da condutividade  $\sigma$ : ( $\rho = 1/\sigma$ ).

<sup>2</sup>O fio do filamento é torcido em forma de espiral e depois enrolado da mesma forma.

<sup>3</sup>A resistência dos condutores aumenta com o aquecimento por causa da dependência da resistividade com a temperatura. Se os cálculos fossem realizados com a lâmpada em seu funcionamento normal, a resistência do filamento seria muito maior.

dade elétrica do material. Para que a contagem dos elétrons que passam por uma seção transversal do fio seja igual a de uma região com a mesma área no resistor, a velocidade de deriva dos elétrons de condução precisa ser maior. E por que queremos que o fluxo de carga seja o mesmo? Porque no estado estacionário a intensidade da corrente elétrica tem que ser a mesma no fio e no resistor, caso contrário a conservação da carga elétrica nos diz que elétrons ficarão acumulados ou em falta nas fronteiras entre os dois componentes. Nós já tínhamos percebido que haveria esse aumento na velocidade média dos elétrons no resistor quando falamos dele. Ainda não explicamos o porquê, mas já temos uma pista do que pode ser: um campo elétrico extra, além daquele que as cargas distribuídas na superfície produzem dentro do resistor, provocaria o aumento da velocidade de deriva do elétrons. Porém, onde se encontra a fonte desse campo elétrico?

Até agora, a estratégia adotada para você entender o que acontece no circuito foi: **o comportamento no estado estacionário é um resultado do que acontece no regime transiente.** Vamos continuar com esse raciocínio. Durante o transiente os elétrons ainda estão se arrumando no circuito. A conservação da carga elétrica nos diz que o número de elétrons que entra numa região tem que ser igual à quantidade desses portadores de carga que ficam acumulados nela somada à que saem dela. Isso é verdade tanto no regime estacionário quanto no transiente. Perceba que entendendo dessa maneira o número de elétrons que ficam na região pode ser positivo ou negativo. Quando positivo, significa que a região ficou com um excesso de elétrons. Sendo negativo, houve uma redução no número de elétrons que já existiam na região. Durante o regime transiente a quantidade de elétrons que penetram nas regiões de transição não precisa ser a mesma que a que sai delas. Esse comportamento é obrigatório no estado estacionário!

Na Fig. 2.15 está representado o modelo de um resistor ligado aos fios condutores. Para você entender o que acontece durante o transiente, somente os elétrons livres dos fios, do resistor e das regiões de transição estão sendo mostradas. Acompanhando o movimento dos elétrons da esquerda para a direita, você verá que a quantidade de elétrons livres que

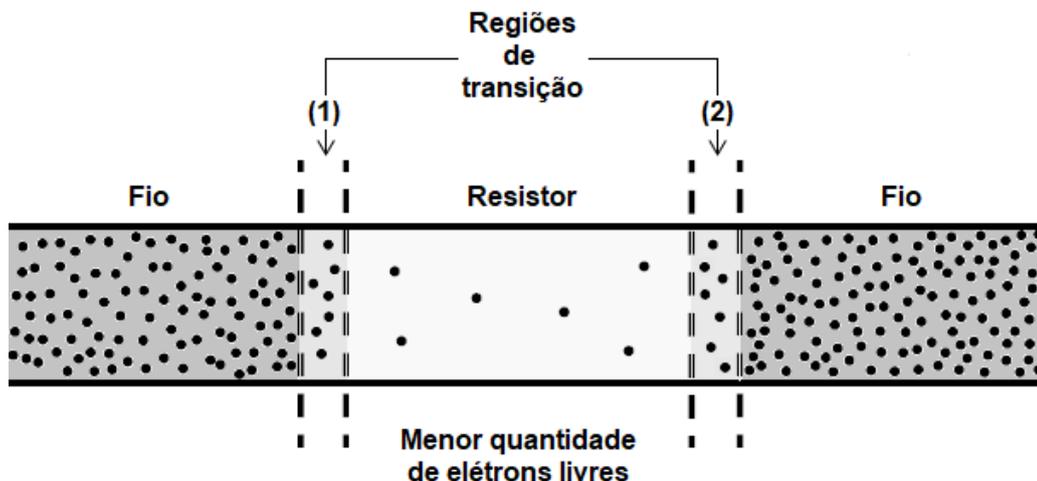


Figura 2.15: Representação de um resistor ligado aos fio condutores. Somente os elétrons livres dos fios, do resistor e das regiões de transição estão sendo mostradas.

penetram na região de transição (1) é menor que aquela que sai dela, porque não existem tantos elétrons de condução ali como no fio. Na região de transição (2) acontece o oposto: chegam menos elétrons do que saem, pois existe um número menor de cargas negativas móveis no resistor. Não há problema nisso. Lembre-se que no regime transiente o número de elétrons que entram na região não precisa ser igual ao que sai dela. E de fato não é! Usando a conservação da carga elétrica você concluirá que a região (1) acumulará elétrons e a (2) apresentará falta deles. Esse processo acaba quando o estado estacionário é alcançado. Como consequência das mudanças ocorridas durante o transiente formaram-se duas camadas carregadas localizadas nas regiões de transição (veja a Fig. 2.16). O campo elétrico extra no interior do resistor é devido à existência dessas camadas.

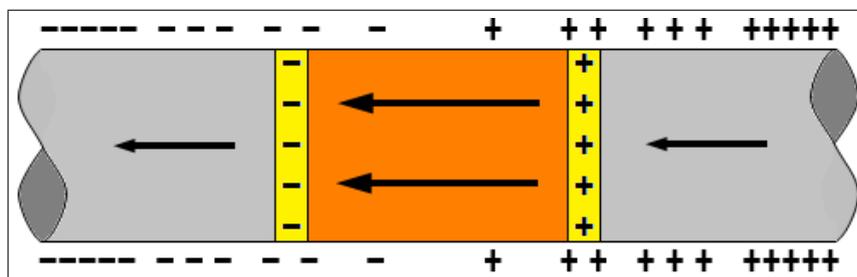


Figura 2.16: Representação do campo elétrico e da distribuição de carga aproximada nos fios e no resistor durante o estado estacionário.

Conseguimos completar nosso circuito! Já sabemos também porque os elétrons movem-se mais rapidamente nos resistores que nos condutores. Falta apenas respondermos por que ao se ligar o interruptor a lâmpada acende quase instantaneamente? Então, vamos lá! Quando a chave interruptora é fechada o campo elétrico no interior do fio no local do fechamento deixa de ser zero e passa deslocar os elétrons de condução, modificando a distribuição deles ao longo do fio e dos demais componentes do circuito. Como essa mudança é provocada pelo campo elétrico, ela acontece praticamente com a mesma rapidez com que o campo elétrico se propaga através dos fios, isto é, com a mesma ordem de grandeza da velocidade da luz no vácuo (300.000 km/s). Rapidamente, as cargas se arrumam de tal forma que uma corrente elétrica constante é estabelecida. Portanto, a lâmpada acende quase instantaneamente porque a informação (campo elétrico) de que o circuito se completou viaja a uma velocidade da ordem de  $10^5$  km/s. A Fig. 2.17 representa o circuito formado pelos fios condutores, lâmpada e pilha.

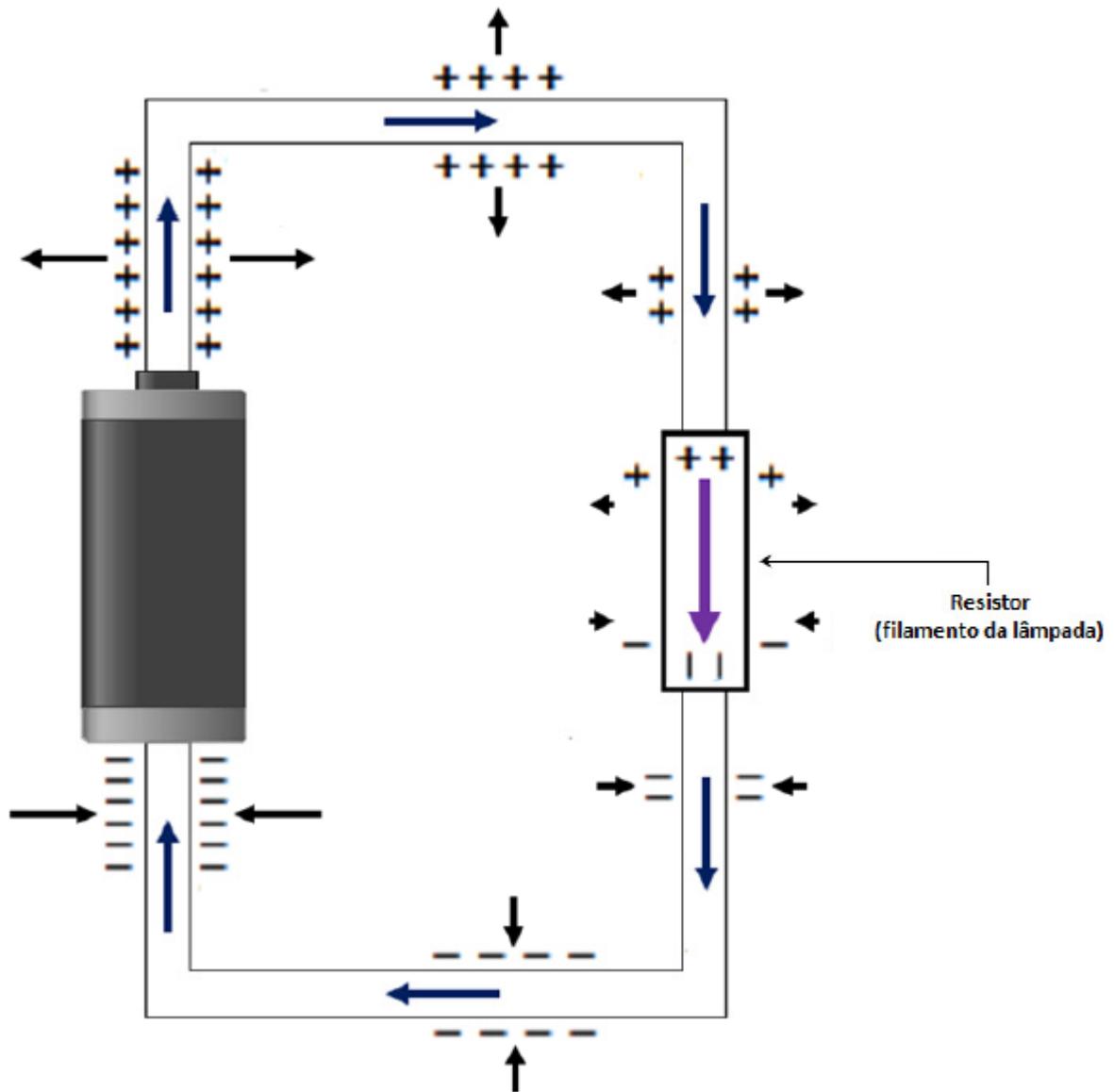


Figura 2.17: Representação do campo elétrico e da distribuição superficial de carga aproximada nos fios e no resistor de um circuito no estado estacionário. Externamente, apenas a componente perpendicular do campo está sendo representada.

### 3. Atividades para serem realizadas durante a sequência de ensino

O material desta seção foi criado para ser impresso separadamente e utilizado como um caderno de anotações pelos alunos que estiverem realizando as atividades.

Podemos fazer uma lâmpada acender usando uma pilha, um interruptor e fios condutores.

Por que ao se ligar o interruptor a lâmpada acende quase instantaneamente?

## Caderno de Anotações

Aluno: \_\_\_\_\_

Escola: \_\_\_\_\_

# Apresentação

Caro aluno,

Este material foi desenvolvido para você registrar e organizar as ideias que o ajudarão a responder: **por que ao se ligar o interruptor a lâmpada acende quase instantaneamente?** Com suas anotações, esperamos que você possa comparar o seu conhecimento inicial com o que será apresentado e discutido, e reunir as informações necessárias para elaborar a sua resposta.

Esse **Caderno de Anotações** foi elaborado para ser usado como um instrumento de acompanhamento do aprendizado. Durante a exposição e discussão do conteúdo, periodicamente, você será convidado a preenchê-lo com informações sobre o seu entendimento a respeito do comportamento dos componentes em um circuito elétrico. Os registros serão feitos com o auxílio de tabelas, perguntas e figuras. Nas tabelas você encontrará determinadas características relacionadas aos componentes de um circuito elétrico, que serão examinadas à medida que eles forem sendo interligados. Toda vez que um componente for adicionado, o comportamento dele e daqueles que já estiverem presentes sofrerá nova análise para que você possa perceber e registrar suas características, verificando se houve alguma alteração devido à associação dele com os outros componentes, enfatizando a visão do circuito como um sistema. Você também terá a oportunidade de relatar suas dúvidas ao preencher as tabelas, acrescentar informações e demonstrar seu conhecimento usando figuras. É fundamental que você acompanhe com atenção a exposição do conteúdo e participe das discussões, expressando o seu entendimento e manifestando suas dúvidas, além de preencher de forma honesta e sincera esse caderno.

Vamos começar?!

Bom trabalho!

1) Você possui uma pilha, fios condutores e uma lâmpada. Faça um esquema de um circuito elétrico que faça a lâmpada acender. Para isso utilize os seguintes símbolos:



**Pilha**



**Lâmpada**



**Fios condutores**

Você encontrou alguma dificuldade para completar essa tarefa?

Não.

Sim. \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**Aluno:** \_\_\_\_\_

**Escola:** \_\_\_\_\_

2) A seguir, estão representados três componentes de um circuito elétrico que se encontram **DESCONECTADOS**.



**Pilha**



**Lâmpada**



**Fio condutor**

Na tabela abaixo, cada um dos campos em branco relaciona uma característica a um dos componentes apresentados na figura acima. Ao marcar com um **X** no campo, você está indicando que naquele elemento existe a presença daquela característica. Você pode marcar mais de um campo para cada componente. Seguindo essa orientação, marque adequadamente com **X** os campos em branco da tabela a seguir:

	<b>Carga elétrica localizada</b>	<b>Campo elétrico</b>	<b>Diferença de potencial</b>	<b>Resistência elétrica</b>	<b>Corrente elétrica</b>
<b>Pilha</b>					
<b>Fio condutor</b>					
<b>Lâmpada</b>					

Houve alguma dúvida ao relacionar a presença da característica ao componente?

**Não.**

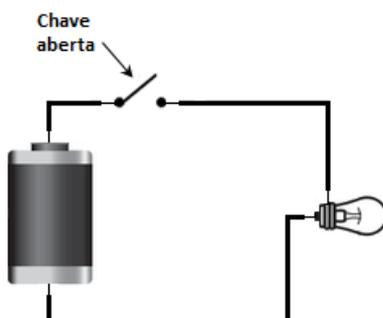
**Sim.** Em qual(is) componente(s)?  **Pilha**     **Fio condutor**     **Lâmpada**

Qual(is) dúvida(s)? \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

**Aluno:** \_\_\_\_\_

**Escola:** \_\_\_\_\_

3) O esquema abaixo mostra uma pilha, fios condutores e uma lâmpada conectados entre si e a uma chave interruptora que está **ABERTA**.



Na tabela abaixo, cada um dos campos em branco relaciona uma característica a um dos componentes apresentados na figura acima. Ao marcar com um **X** no campo, você está indicando que naquele elemento existe a presença daquela característica. Você pode marcar mais de um campo para cada componente. Seguindo essa orientação, marque adequadamente com **X** os campos em branco da tabela a seguir:

	Carga elétrica localizada	Campo elétrico	Diferença de potencial	Resistência elétrica	Corrente elétrica
Pilha					
Fios condutores					
Lâmpada					

Houve alguma dúvida ao relacionar a presença da característica ao componente?

( ) Não.

( ) Sim. Em qual(is) componente(s)? ( ) Pilha ( ) Fios condutores ( ) Lâmpada

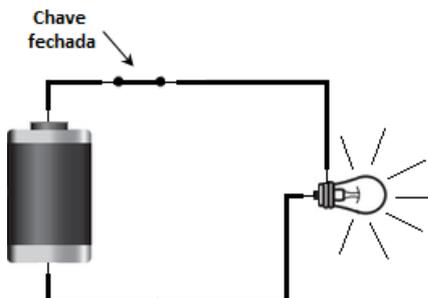
Qual(is) dúvida(s)? \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Aluno: \_\_\_\_\_

Escola: \_\_\_\_\_

4) O esquema abaixo mostra uma pilha, fios condutores e uma lâmpada conectados entre si e a uma chave interruptora que está **FECHADA**.



Na tabela abaixo, cada um dos campos em branco relaciona uma característica a um dos componentes apresentados na figura acima. Ao marcar com um **X** no campo, você está indicando que naquele elemento existe a presença daquela característica. Você pode marcar mais de um campo para cada componente. Seguindo essa orientação, marque adequadamente com **X** os campos em branco da tabela a seguir:

	Carga elétrica localizada	Campo elétrico	Diferença de potencial	Resistência elétrica	Corrente elétrica
<b>Pilha</b>					
<b>Fios condutores</b>					
<b>Lâmpada</b>					

Houve alguma dúvida ao relacionar a presença da característica ao componente?

( ) Não.

( ) Sim. Em qual(is) componente(s)? ( ) Pilha ( ) Fios condutores ( ) Lâmpada

Qual(is) dúvida(s)? \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

Aluno: \_\_\_\_\_

Escola: \_\_\_\_\_

5) Abaixo encontra-se representada uma pilha.



Na tabela abaixo, cada um dos campos em branco relaciona uma característica ao componente apresentado na figura acima. Ao marcar com um **X** no campo, você está indicando que aquela característica está presente no elemento. Você pode marcar mais de um campo se julgar conveniente. Seguindo essa orientação, marque adequadamente com **X** os campos em branco da tabela a seguir

	<b>Carga elétrica localizada</b>	<b>Campo elétrico</b>	<b>Diferença de potencial</b>	<b>Resistência elétrica</b>	<b>Corrente elétrica</b>
<b>Pilha</b>					

Há alguma outra característica que você gostaria de relacionar a esse componente?

Não.

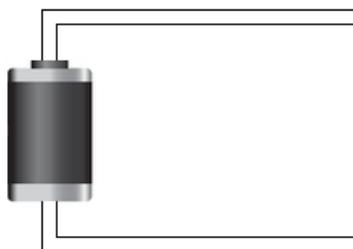
Sim.

Qual? \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Aluno: \_\_\_\_\_

Escola: \_\_\_\_\_

6) O esquema abaixo mostra uma pilha e fios condutores ligados aos seus contatos. Faça a análise da situação considerando que ela se passa no período conhecido como **TRANSIENTE**, isto é, o intervalo de tempo desde a conexão dos fios condutores aos contatos da pilha até o regime permanente ser estabelecido.



Na tabela abaixo, cada um dos campos em branco relaciona uma característica a um dos componentes apresentados na figura acima. Ao marcar com um **X** no campo, você está indicando que naquele elemento existe a presença daquela característica. Você pode marcar mais de um campo para cada componente. Seguindo essa orientação, marque adequadamente com **X** os campos em branco da tabela a seguir:

	<b>Carga elétrica localizada</b>	<b>Campo elétrico</b>	<b>Diferença de potencial</b>	<b>Resistência elétrica</b>	<b>Corrente elétrica</b>
<b>Pilha</b>					
<b>Fios condutores</b>					

Houve alguma dúvida ao relacionar a presença da característica ao componente?

**Não.**

**Sim.** Em qual(is) componente(s)?  **Pilha**     **Fios condutores**     **Lâmpada**

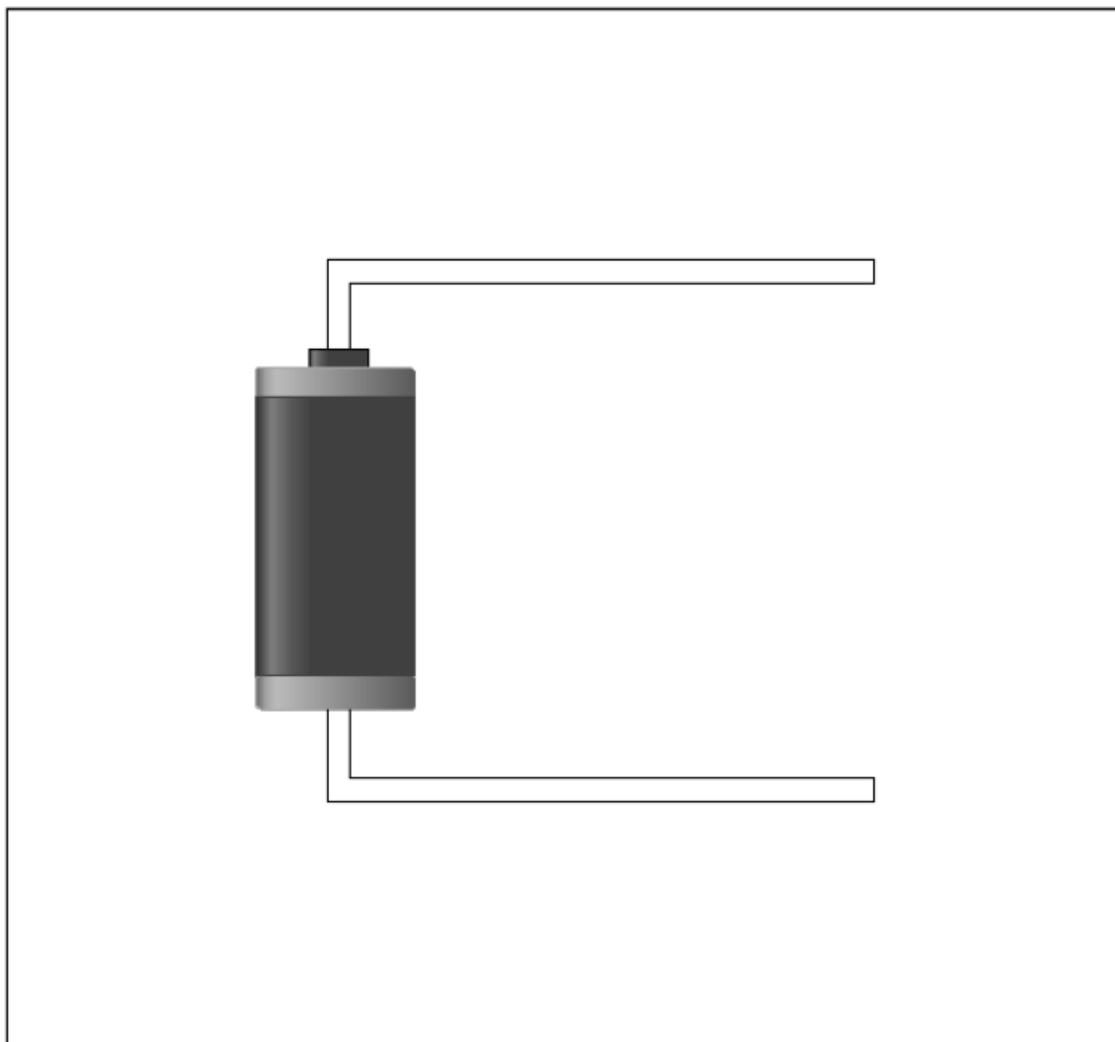
Qual(is) dúvida(s)? \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**Aluno:** \_\_\_\_\_

**Escola:** \_\_\_\_\_

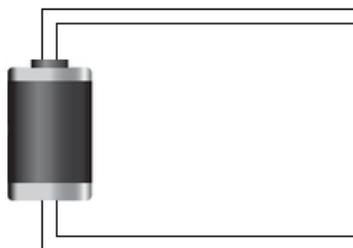
A figura da atividade anterior foi reproduzida no quadro abaixo. Faça uma representação do que ocorre nos **FIOS CONDUTORES** durante o **TRANSIENTE**.



Aluno: \_\_\_\_\_

Escola: \_\_\_\_\_

7) O esquema abaixo mostra uma pilha e fios condutores ligados aos seus contatos. Faça a análise da situação considerando que ela se passa depois que o regime **ESTÁTICO** foi alcançado.



Na tabela abaixo, cada um dos campos em branco relaciona uma característica a um dos componentes apresentados na figura acima. Ao marcar com um **X** no campo, você está indicando que aquela característica está presente no elemento. Você pode marcar mais de um campo se julgar conveniente. Seguindo essa orientação, marque adequadamente com **X** os campos em branco da tabela a seguir:

	<b>Carga elétrica localizada</b>	<b>Campo elétrico</b>	<b>Diferença de potencial</b>	<b>Resistência elétrica</b>	<b>Corrente elétrica</b>
<b>Fios condutores</b>	<input type="checkbox"/> no interior	<input type="checkbox"/> no interior			
	<input type="checkbox"/> na superfície	<input type="checkbox"/> na superfície			

Houve alguma dúvida ao relacionar a presença da característica ao componente?

Não.

Sim. Em qual(is) componente(s)?  Pilha     Fios condutores     Lâmpada

Qual(is) dúvida(s)? \_\_\_\_\_

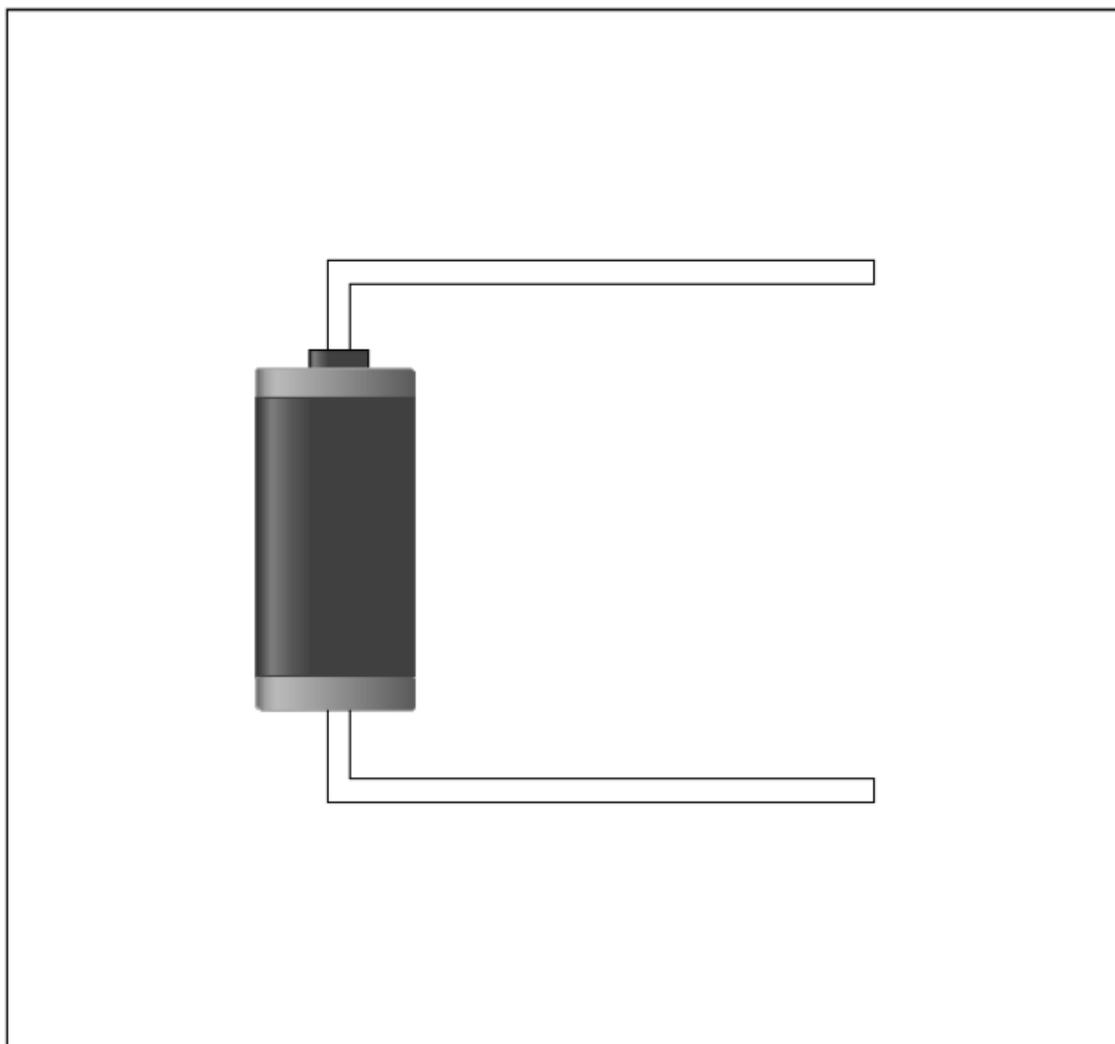
\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**Aluno:** \_\_\_\_\_

**Escola:** \_\_\_\_\_

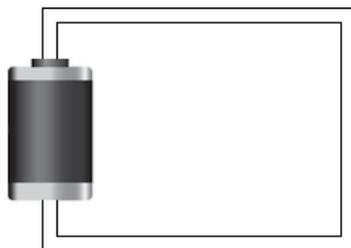
A figura da atividade anterior foi reproduzida no quadro abaixo. Faça uma representação do **VETOR CAMPO ELÉTRICO** e da **DISTRIBUIÇÃO DAS CARGAS ELÉTRICAS** nos **FIOS CONDUTORES** considerando que o regime **ESTÁTICO** já foi alcançado .



Aluno: \_\_\_\_\_

Escola: \_\_\_\_\_

8) O esquema abaixo mostra uma pilha e um fio condutor ligado aos seus contatos. Faça a análise da situação considerando que ela se passa depois que o regime **ESTACIONÁRIO** foi alcançado.



Na tabela abaixo, cada um dos campos em branco relaciona uma característica a um dos componentes apresentados na figura acima. Ao marcar com um **X** no campo, você está indicando que aquela característica está presente no elemento. Você pode marcar mais de um campo se julgar conveniente. Seguindo essa orientação, marque adequadamente com **X** os campos em branco da tabela a seguir:

	<b>Carga elétrica localizada</b>	<b>Campo elétrico</b>	<b>Diferença de potencial</b>	<b>Resistência elétrica</b>	<b>Corrente elétrica</b>
<b>Fio condutor</b>	<input type="checkbox"/> no interior	<input type="checkbox"/> no interior			
	<input type="checkbox"/> na superfície	<input type="checkbox"/> na superfície			

Houve alguma dúvida ao relacionar a presença da característica ao componente?

Não.

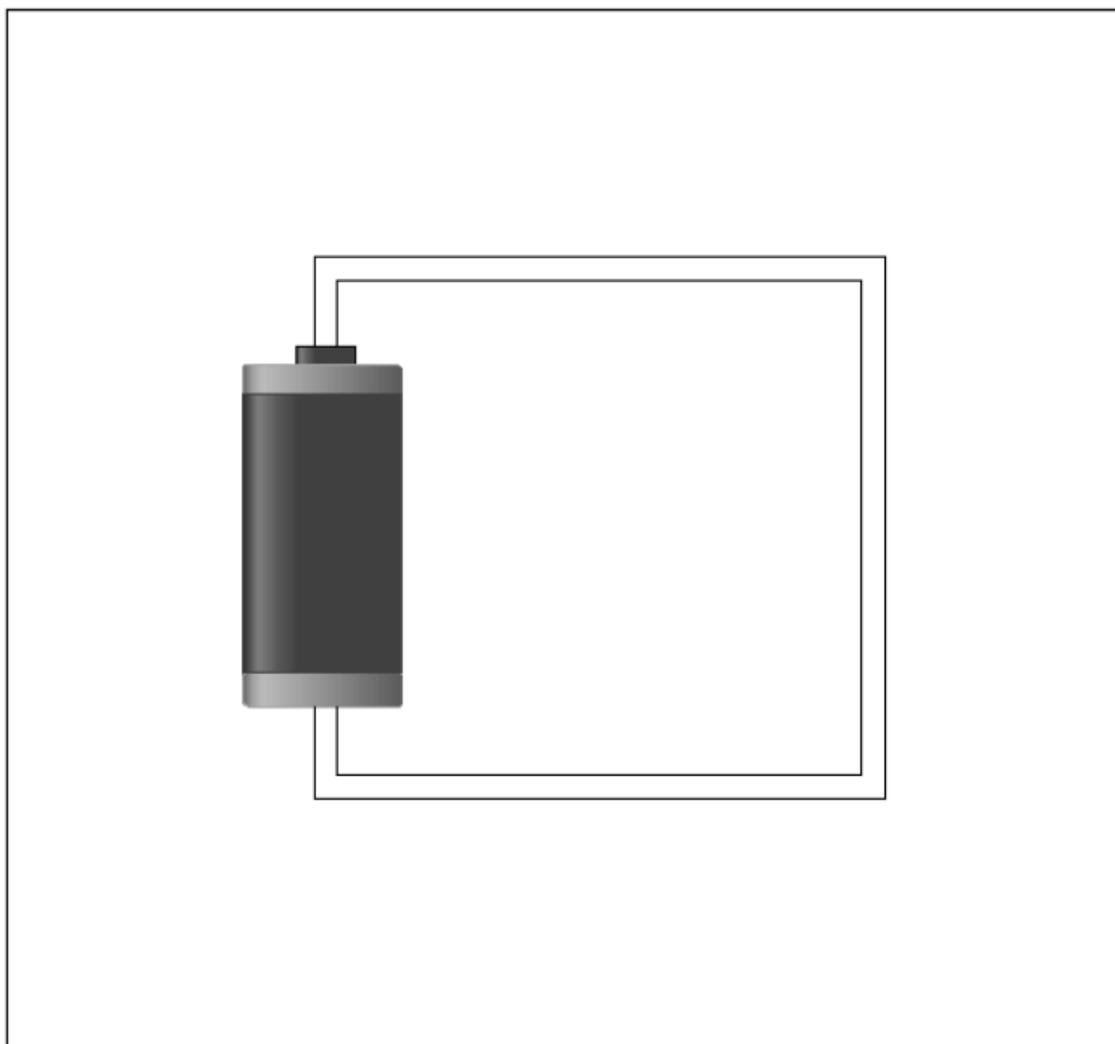
Sim. Em qual(is) componente(s)?  Pilha     Fios condutores     Lâmpada

Qual(is) dúvida(s)? \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

**Aluno:** \_\_\_\_\_

**Escola:** \_\_\_\_\_

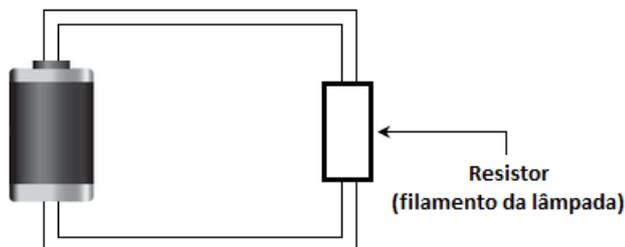
A figura da atividade anterior foi reproduzida no quadro abaixo. Faça uma representação do **VETOR CAMPO ELÉTRICO** e da **DISTRIBUIÇÃO DAS CARGAS ELÉTRICAS** nos **FIOS CONDUTORES** considerando que o regime **ESTACIONÁRIO** já tenha sido alcançado.



Aluno: \_\_\_\_\_

Escola: \_\_\_\_\_

9) O esquema abaixo mostra uma pilha e um resistor (filamento da lâmpada) interligados por fios condutores. Faça a análise da situação considerando que ela se passa depois que o regime **ESTACIONÁRIO** foi alcançado.



Na tabela abaixo, cada um dos campos em branco relaciona uma característica a um dos componentes apresentados na figura acima. Ao marcar com um **X** no campo, você está indicando que naquele elemento há presença daquela característica. Você pode marcar mais de um campo para cada componente. Seguindo essa orientação, marque adequadamente com **X** os campos em branco da tabela a seguir:

	<b>Carga elétrica localizada</b>	<b>Campo elétrico</b>	<b>Diferença de potencial</b>	<b>Resistência elétrica</b>	<b>Corrente elétrica</b>
<b>Fios condutores</b>	( ) no interior ( ) na superfície	( ) no interior ( ) na superfície			
<b>Resistor (filamento da lâmpada)</b>	( ) no interior ( ) na superfície	( ) no interior ( ) na superfície			

Houve alguma dúvida ao relacionar a presença da característica ao componente?

( ) Não.

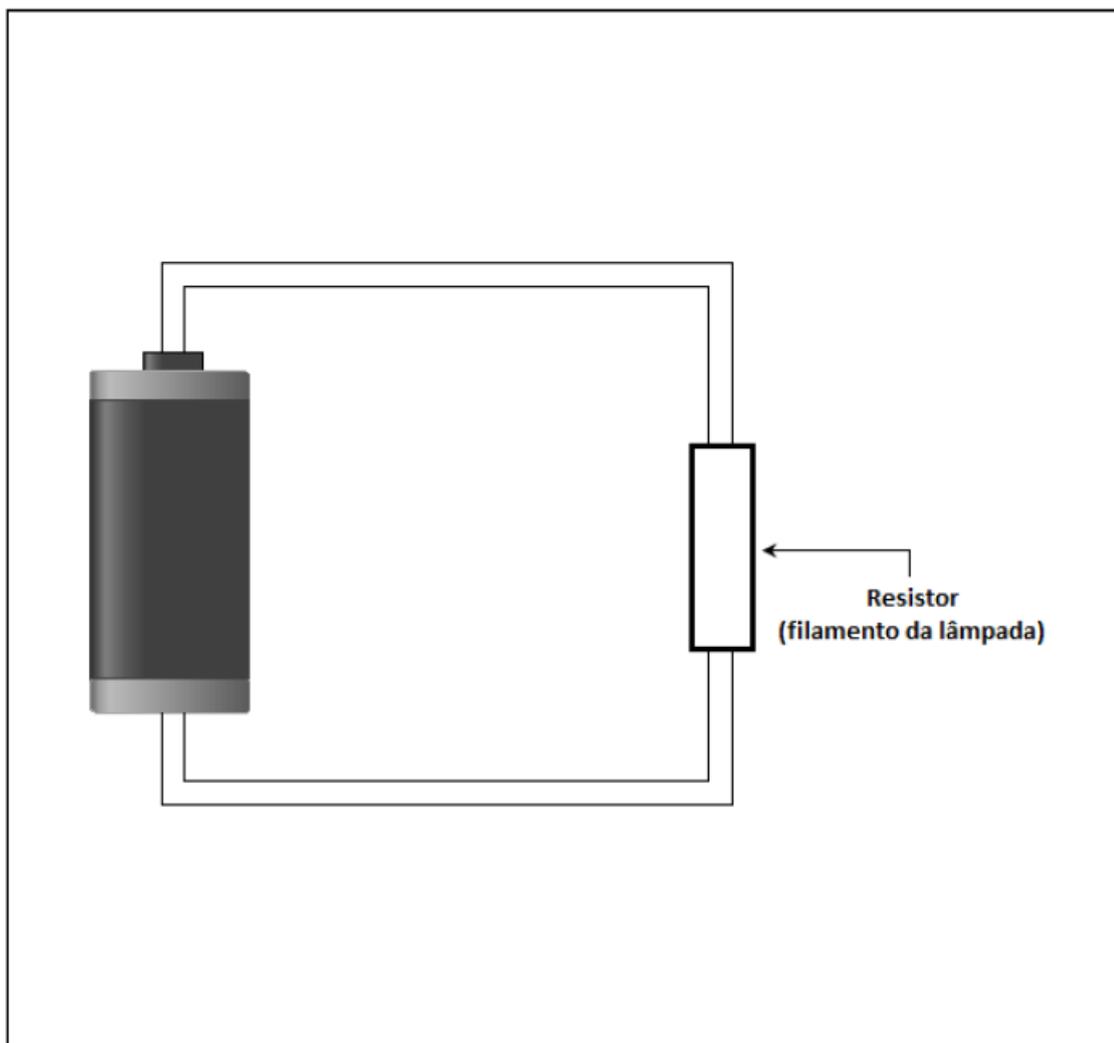
( ) Sim. Em qual(is) componente(s)? ( ) Pilha ( ) Fios condutores ( ) Lâmpada

Qual(is) dúvida(s)? \_\_\_\_\_

Aluno: \_\_\_\_\_

Escola: \_\_\_\_\_

A figura da atividade anterior foi reproduzida no quadro abaixo. Faça uma representação do **VETOR CAMPO ELÉTRICO** e da **DISTRIBUIÇÃO DAS CARGAS ELÉTRICAS** nos **FIOS CONDUTORES** e no **RESISTOR** considerando que o regime **ESTACIONÁRIO** já foi alcançado.

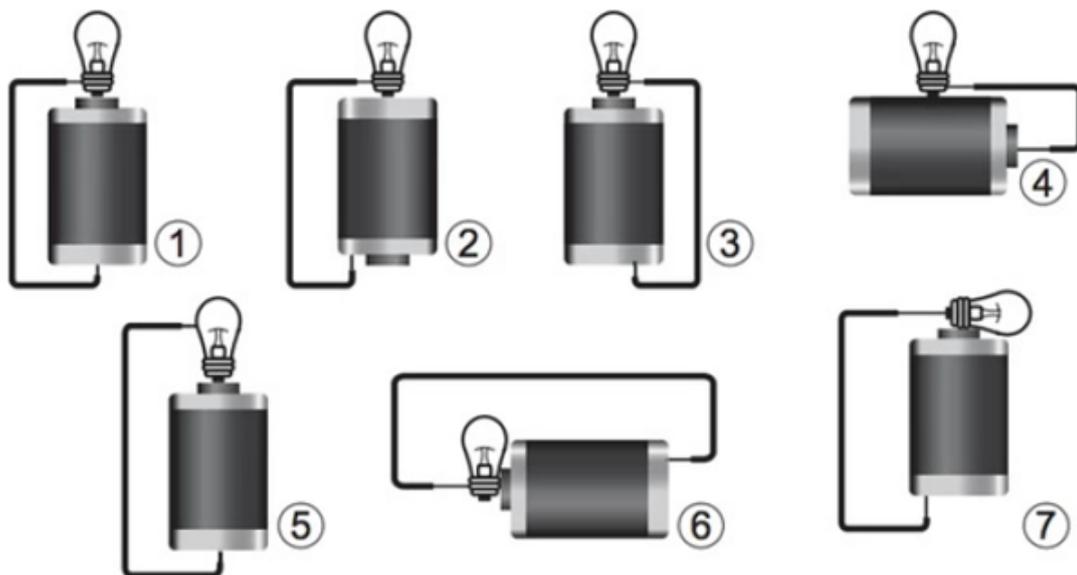


Aluno: \_\_\_\_\_

Escola: \_\_\_\_\_



11) Um curioso estudante, empolgado com a aula de circuito elétrico que assistiu na escola, resolve desmontar sua lanterna. Utilizando-se da lâmpada e da pilha, retiradas do equipamento, e de um fio com as extremidades descascadas, faz as seguintes ligações com a intenção de acender a lâmpada:



GONÇALVES FILHO, A.; BAROLLI, E. **Instalação Elétrica: investigando e aprendendo.** São Paulo: Scipione, 1997 (adaptado).

Tendo por base os esquemas mostrados, em quais casos a lâmpada acendeu?

- (A) (1), (3), (6)
- (B) (3), (4), (5)
- (C) (1), (3), (5)
- (D) (1), (3), (7)
- (E) (1), (2), (5)

**Aluno:** \_\_\_\_\_

**Escola:** \_\_\_\_\_

12) Um circuito em série é formado por uma pilha, uma lâmpada incandescente e uma chave interruptora. Ao se ligar a chave, a lâmpada acende quase instantaneamente, irradiando calor e luz. Popularmente, associa-se o fenômeno da irradiação de energia a um desgaste da corrente elétrica, ao atravessar o filamento da lâmpada, e à rapidez com que a lâmpada começa a brilhar. Essa explicação está em desacordo com o modelo clássico de corrente.

De acordo com o modelo mencionado, o fato de a lâmpada acender quase instantaneamente está relacionado à rapidez com que

- (A) o fluido elétrico se desloca no circuito.
- (B) as cargas negativas móveis atravessam o circuito.
- (C) a bateria libera cargas móveis para o filamento da lâmpada.
- (D) o campo elétrico se estabelece em todos os pontos do circuito.
- (E) as cargas positivas e negativas se chocam no filamento da lâmpada.

**Aluno:** \_\_\_\_\_

**Escola:** \_\_\_\_\_

## 4. Respostas das atividades

Esta seção do documento contém as respostas para cada uma das perguntas feitas aos alunos no caderno de anotações da seção anterior. Esse material serve como uma referência para que o professor possa guiar os alunos no processo de aprendizagem.

---

- 1) Você possui uma pilha, fios condutores e uma lâmpada. Faça um esquema de um circuito elétrico que faça a lâmpada acender. Para isso utilize os seguintes símbolos:



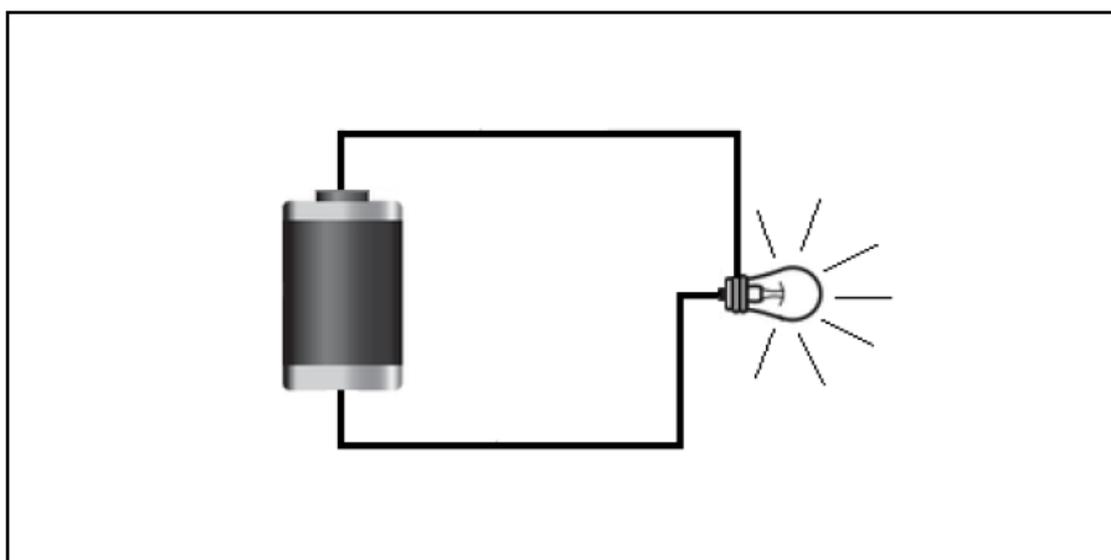
**Pilha**



**Lâmpada**



**Fios condutores**



2) A seguir, estão representados três componentes de um circuito elétrico que se encontram **DESCONECTADOS**.



**Pilha**



**Lâmpada**

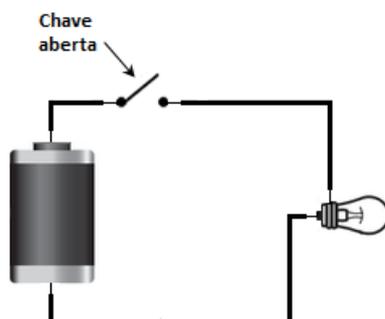


**Fio condutor**

Na tabela abaixo, cada um dos campos em branco relaciona uma característica a um dos componentes apresentados na figura acima. Ao marcar com um **X** no campo, você está indicando que naquele elemento existe a presença daquela característica. Você pode marcar mais de um campo para cada componente. Seguindo essa orientação, marque adequadamente com **X** os campos em branco da tabela a seguir:

	<b>Carga elétrica localizada</b>	<b>Campo elétrico</b>	<b>Diferença de potencial</b>	<b>Resistência elétrica</b>	<b>Corrente elétrica</b>
<b>Pilha</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>		
<b>Fio condutor</b>					
<b>Lâmpada</b>					

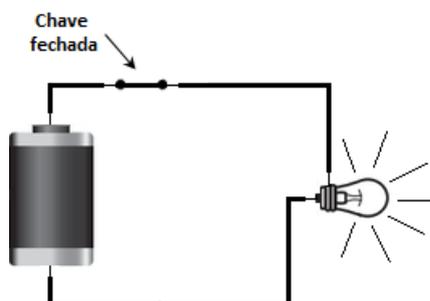
- 3) O esquema abaixo mostra uma pilha, fios condutores e uma lâmpada conectados entre si e a uma chave interruptora que está **ABERTA**.



Na tabela abaixo, cada um dos campos em branco relaciona uma característica a um dos componentes apresentados na figura acima. Ao marcar com um **X** no campo, você está indicando que naquele elemento existe a presença daquela característica. Você pode marcar mais de um campo para cada componente. Seguindo essa orientação, marque adequadamente com **X** os campos em branco da tabela a seguir:

	<b>Carga elétrica localizada</b>	<b>Campo elétrico</b>	<b>Diferença de potencial</b>	<b>Resistência elétrica</b>	<b>Corrente elétrica</b>
<b>Pilha</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>		
<b>Fios condutores</b>	<b>X</b>	<b>X</b>			
<b>Lâmpada</b>	<b>X</b>	<b>X</b>			

- 4) O esquema abaixo mostra uma pilha, fios condutores e uma lâmpada conectados entre si e a uma chave interruptora que está **FECHADA**.



Na tabela abaixo, cada um dos campos em branco relaciona uma característica a um dos componentes apresentados na figura acima. Ao marcar com um **X** no campo, você está indicando que naquele elemento existe a presença daquela característica. Você pode marcar mais de um campo para cada componente. Seguindo essa orientação, marque adequadamente com **X** os campos em branco da tabela a seguir:

	<b>Carga elétrica localizada</b>	<b>Campo elétrico</b>	<b>Diferença de potencial</b>	<b>Resistência elétrica</b>	<b>Corrente elétrica</b>
<b>Pilha</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>
<b>Fios condutores</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>
<b>Lâmpada</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>

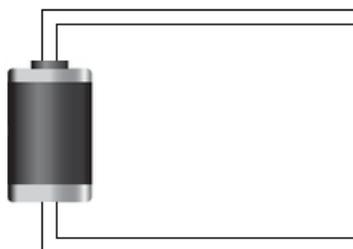
5) Abaixo encontra-se representada uma pilha.



Na tabela abaixo, cada um dos campos em branco relaciona uma característica ao componente apresentado na figura acima. Ao marcar com um **X** no campo, você está indicando que aquela característica está presente no elemento. Você pode marcar mais de um campo se julgar conveniente. Seguindo essa orientação, marque adequadamente com **X** os campos em branco da tabela a seguir

	<b>Carga elétrica localizada</b>	<b>Campo elétrico</b>	<b>Diferença de potencial</b>	<b>Resistência elétrica</b>	<b>Corrente elétrica</b>
<b>Pilha</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>		

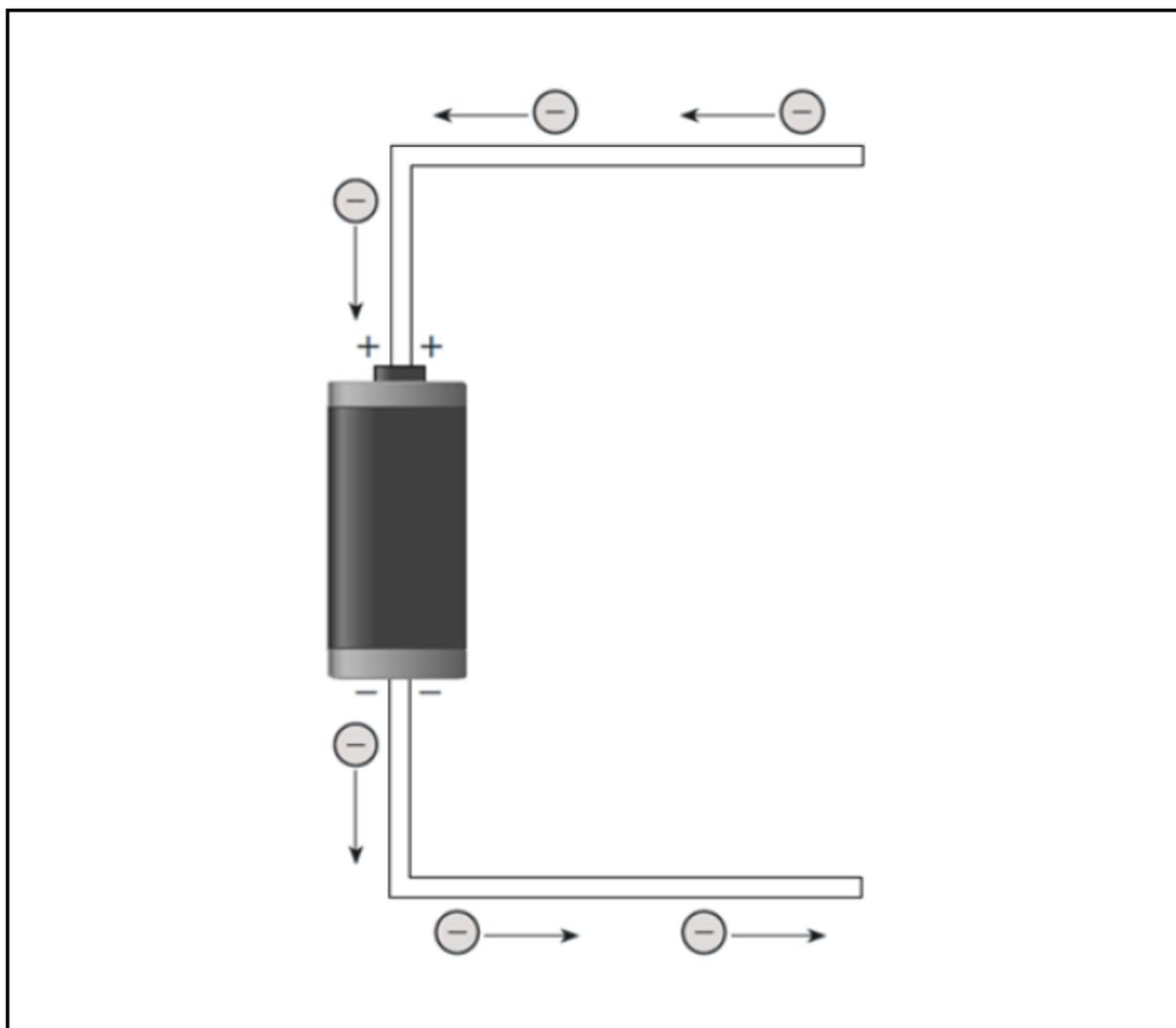
- 6) O esquema abaixo mostra uma pilha e fios condutores ligados aos seus contatos. Faça a análise da situação considerando que ela se passa no período conhecido como **TRANSIENTE**, isto é, o intervalo de tempo desde a conexão dos fios condutores aos contatos da pilha até o regime permanente ser estabelecido.



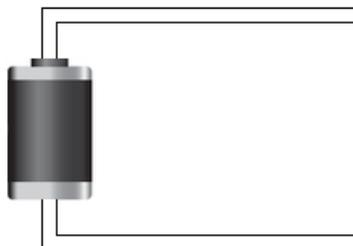
Na tabela abaixo, cada um dos campos em branco relaciona uma característica a um dos componentes apresentados na figura acima. Ao marcar com um **X** no campo, você está indicando que naquele elemento existe a presença daquela característica. Você pode marcar mais de um campo para cada componente. Seguindo essa orientação, marque adequadamente com **X** os campos em branco da tabela a seguir:

	<b>Carga elétrica localizada</b>	<b>Campo elétrico</b>	<b>Diferença de potencial</b>	<b>Resistência elétrica</b>	<b>Corrente elétrica</b>
<b>Pilha</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>
<b>Fios condutores</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>

A figura da atividade anterior foi reproduzida no quadro abaixo. Faça uma representação do que ocorre nos **FIOS CONDUTORES** durante o **TRANSIENTE**.



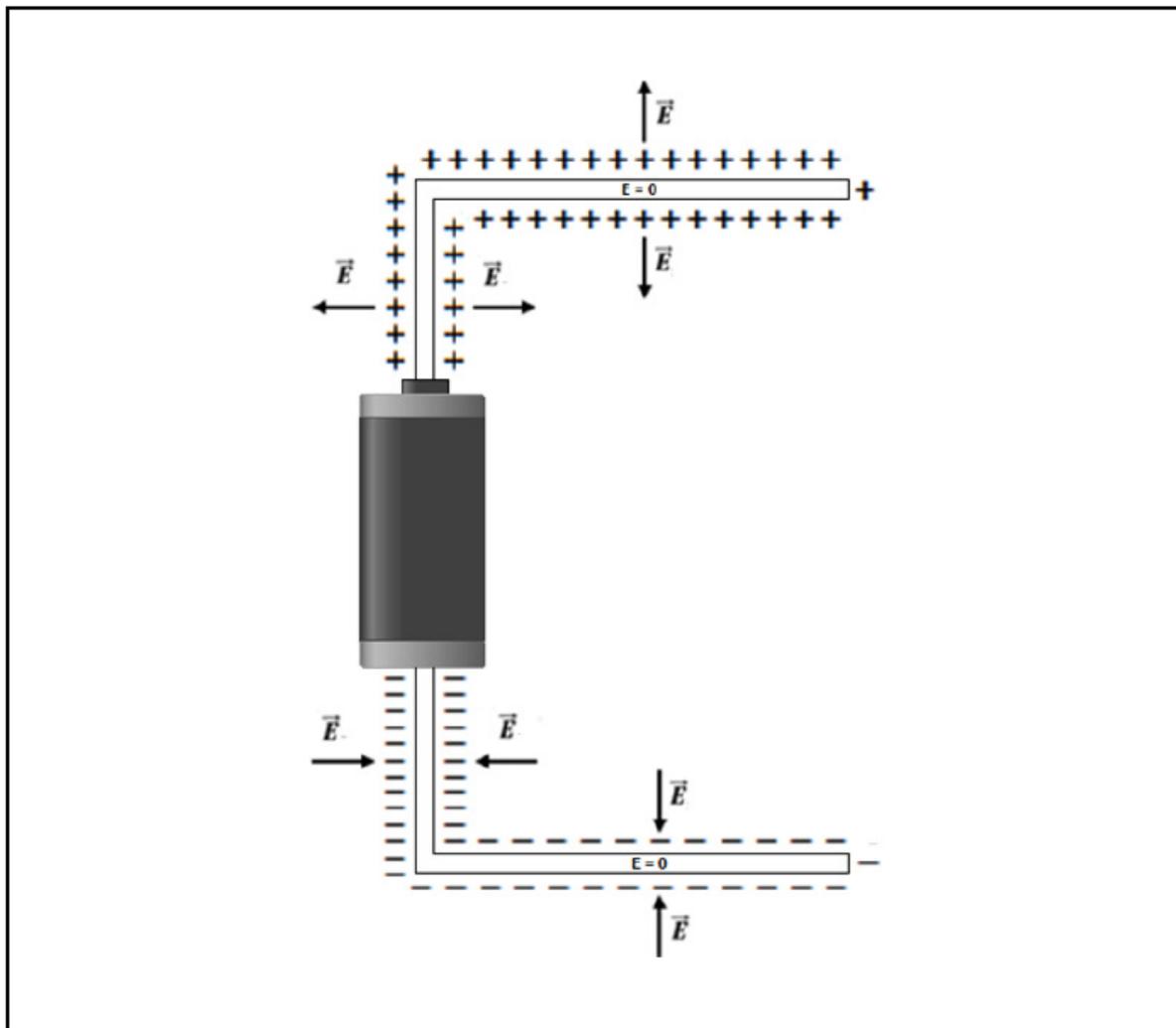
- 7) O esquema abaixo mostra uma pilha e fios condutores ligados aos seus contatos. Faça a análise da situação considerando que ela se passa depois que o regime **ESTÁTICO** foi alcançado.



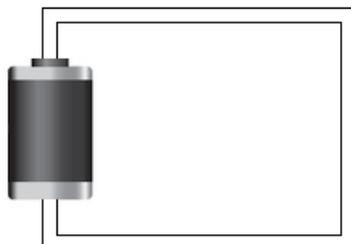
Na tabela abaixo, cada um dos campos em branco relaciona uma característica a um dos componentes apresentados na figura acima. Ao marcar com um **X** no campo, você está indicando que aquela característica está presente no elemento. Você pode marcar mais de um campo se julgar conveniente. Seguindo essa orientação, marque adequadamente com **X** os campos em branco da tabela a seguir:

	<b>Carga elétrica localizada</b>	<b>Campo elétrico</b>	<b>Diferença de potencial</b>	<b>Resistência elétrica</b>	<b>Corrente elétrica</b>
<b>Fios condutores</b>	( ) no interior <b>(X)</b> na superfície	( ) no interior <b>(X)</b> na superfície			

A figura da atividade anterior foi reproduzida no quadro abaixo. Faça uma representação do **VETOR CAMPO ELÉTRICO** e da **DISTRIBUIÇÃO DAS CARGAS ELÉTRICAS** nos **FIOS CONDUTORES** considerando que o regime **ESTÁTICO** já foi alcançado .



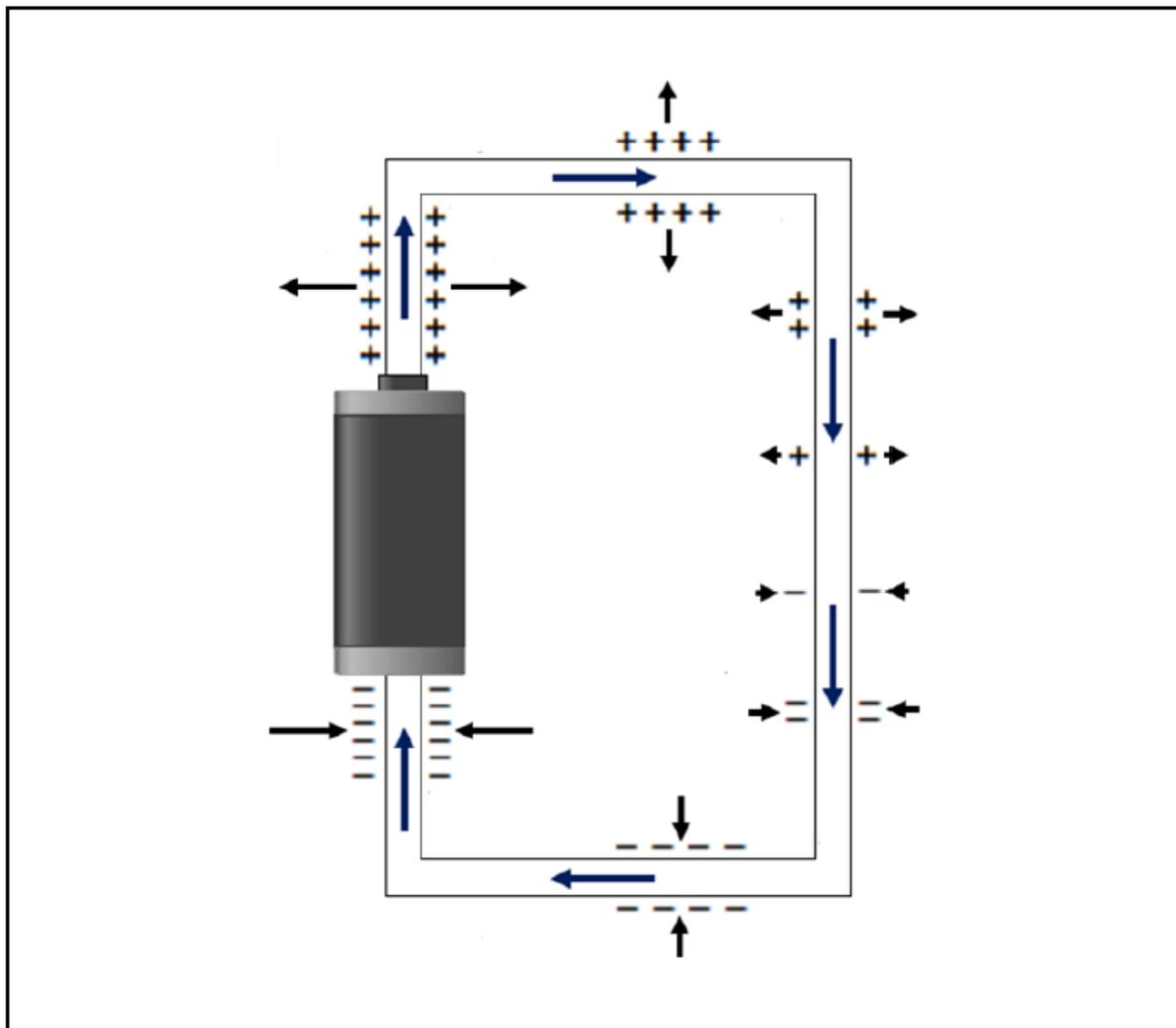
- 8) O esquema abaixo mostra uma pilha e um fio condutor ligado aos seus contatos. Faça a análise da situação considerando que ela se passa depois que o regime **ESTACIONÁRIO** foi alcançado.



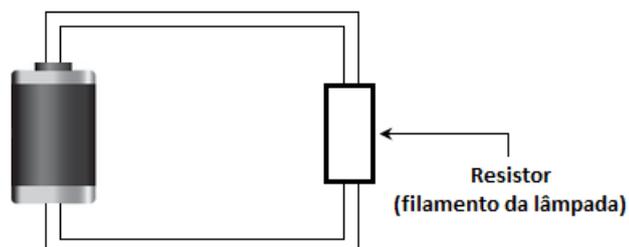
Na tabela abaixo, cada um dos campos em branco relaciona uma característica a um dos componentes apresentados na figura acima. Ao marcar com um **X** no campo, você está indicando que aquela característica está presente no elemento. Você pode marcar mais de um campo se julgar conveniente. Seguindo essa orientação, marque adequadamente com **X** os campos em branco da tabela a seguir:

	Carga elétrica localizada	Campo elétrico	Diferença de potencial	Resistência elétrica	Corrente elétrica
<b>Fio condutor</b>	( ) no interior ( <b>X</b> ) na superfície	( <b>X</b> ) no interior ( <b>X</b> ) na superfície	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>

A figura da atividade anterior foi reproduzida no quadro abaixo. Faça uma representação do **VETOR CAMPO ELÉTRICO** e da **DISTRIBUIÇÃO DAS CARGAS ELÉTRICAS** nos **FIOS CONDUTORES** considerando que o regime **ESTACIONÁRIO** já tenha sido alcançado.



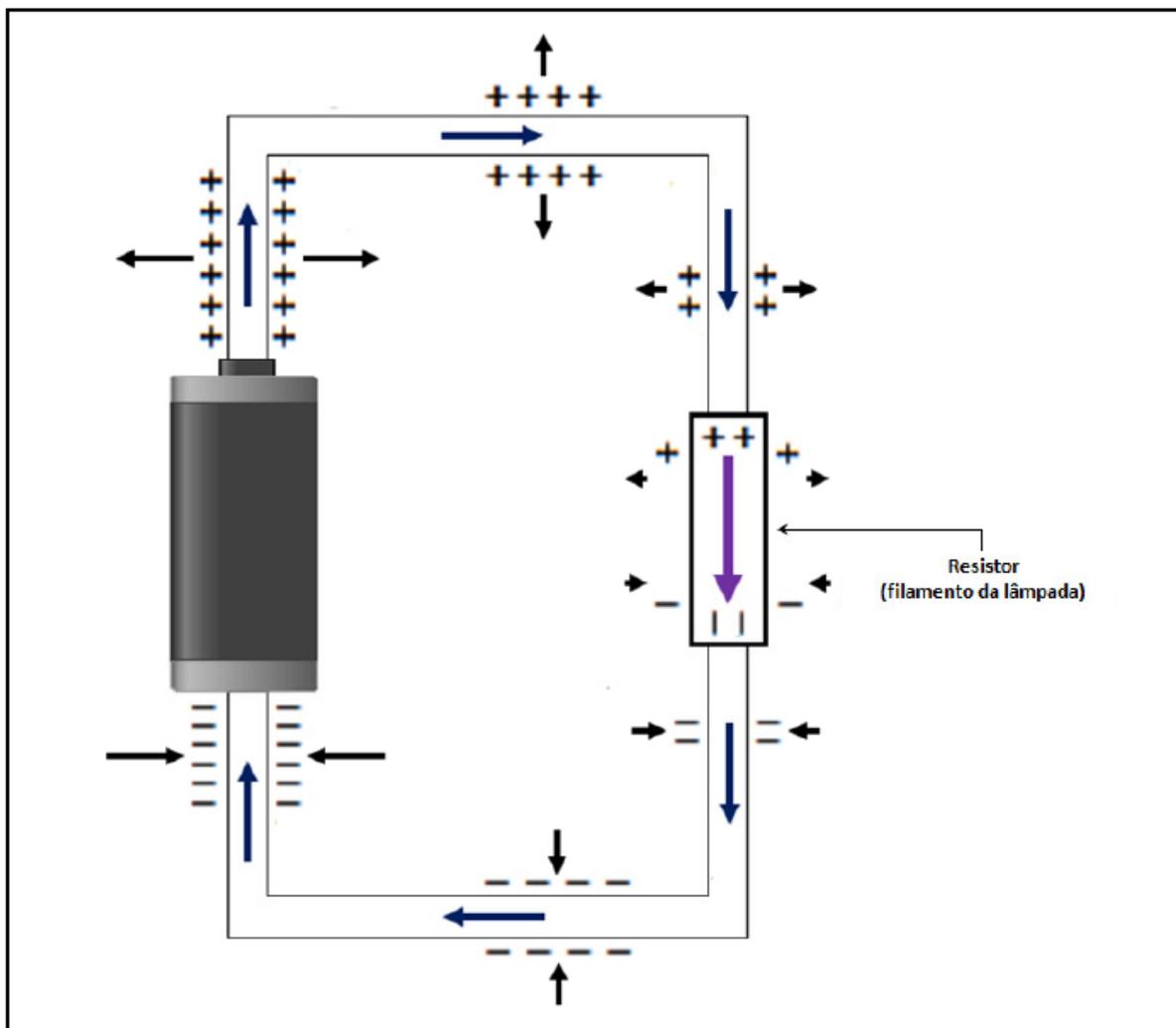
9) O esquema abaixo mostra uma pilha e um resistor (filamento da lâmpada) interligados por fios condutores. Faça a análise da situação considerando que ela se passa depois que o regime **ESTACIONÁRIO** foi alcançado.



Na tabela abaixo, cada um dos campos em branco relaciona uma característica a um dos componentes apresentados na figura acima. Ao marcar com um **X** no campo, você está indicando que naquele elemento há presença daquela característica. Você pode marcar mais de um campo para cada componente. Seguindo essa orientação, marque adequadamente com **X** os campos em branco da tabela a seguir:

	Carga elétrica localizada	Campo elétrico	Diferença de potencial	Resistência elétrica	Corrente elétrica
<b>Fios condutores</b>	( ) no interior (X) na superfície	(X) no interior (X) na superfície	X	X	X
<b>Resistor (filamento da lâmpada)</b>	(X) no interior (X) na superfície	(X) no interior (X) na superfície	X	X	X

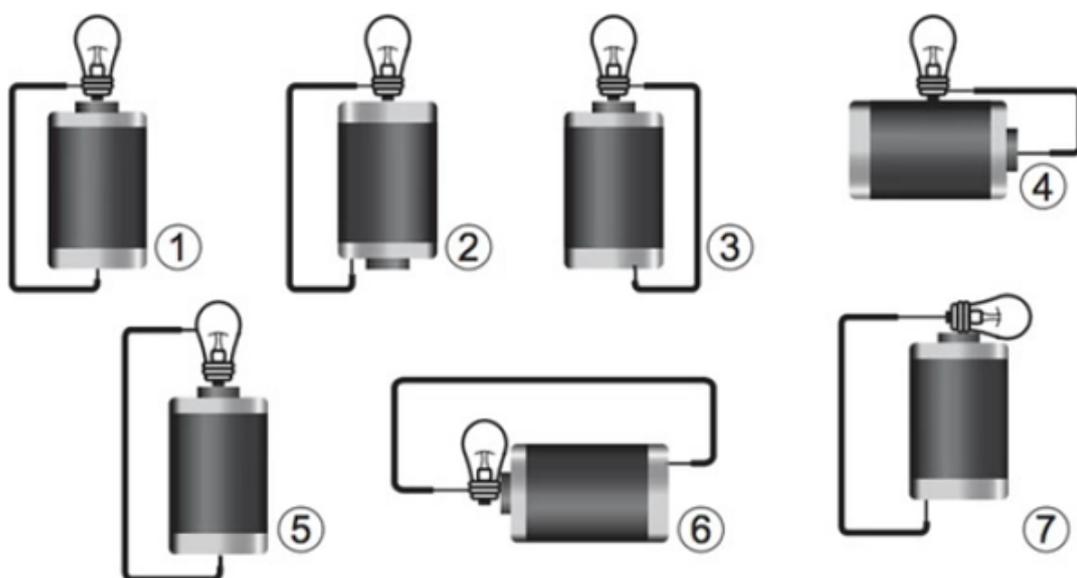
A figura da atividade anterior foi reproduzida no quadro abaixo. Faça uma representação do **VETOR CAMPO ELÉTRICO** e da **DISTRIBUIÇÃO DAS CARGAS ELÉTRICAS** nos **FIOS CONDUTORES** e no **RESISTOR** considerando que o regime **ESTACIONÁRIO** já foi alcançado.



10) Agora que você já ampliou o seu conhecimento sobre o circuito elétrico que faz uma lâmpada acender, elabore uma resposta para a pergunta: **por que ao se ligar o interruptor a lâmpada acende quase instantaneamente?**

Quando a chave interruptora é fechada o campo elétrico no interior do fio no local do fechamento deixa de ser zero e passa deslocar os elétrons de condução, modificando a distribuição deles ao longo do fio e dos demais componentes do circuito. Como essa mudança é provocada pelo campo elétrico, ela acontece praticamente com a mesma rapidez com que o campo elétrico se propaga através dos fios, isto é, com a mesma ordem de grandeza da velocidade da luz no vácuo (300.000 km/s). Rapidamente, as cargas se arrumam de tal forma que uma corrente elétrica constante é estabelecida. Portanto, a lâmpada acende quase instantaneamente porque a informação (campo elétrico) de que o circuito se completou viaja a uma velocidade da ordem de  $10^5$  km/s.

11) Um curioso estudante, empolgado com a aula de circuito elétrico que assistiu na escola, resolve desmontar sua lanterna. Utilizando-se da lâmpada e da pilha, retiradas do equipamento, e de um fio com as extremidades descascadas, faz as seguintes ligações com a intenção de acender a lâmpada:



GONÇALVES FILHO, A.; BAROLLI, E. **Instalação Elétrica: investigando e aprendendo.** São Paulo: Scipione, 1997 (adaptado).

Tendo por base os esquemas mostrados, em quais casos a lâmpada acendeu?

- (A) (1), (3), (6)
- (B) (3), (4), (5)
- (C) (1), (3), (5)
- (D) (1), (3), (7)
- (E) (1), (2), (5)

**Alternativa D.**

- 12) Um circuito em série é formado por uma pilha, uma lâmpada incandescente e uma chave interruptora. Ao se ligar a chave, a lâmpada acende quase instantaneamente, irradiando calor e luz. Popularmente, associa-se o fenômeno da irradiação de energia a um desgaste da corrente elétrica, ao atravessar o filamento da lâmpada, e à rapidez com que a lâmpada começa a brilhar. Essa explicação está em desacordo com o modelo clássico de corrente.

De acordo com o modelo mencionado, o fato de a lâmpada acender quase instantaneamente está relacionado à rapidez com que

- (A) o fluido elétrico se desloca no circuito.
- (B) as cargas negativas móveis atravessam o circuito.
- (C) a bateria libera cargas móveis para o filamento da lâmpada.
- (D) o campo elétrico se estabelece em todos os pontos do circuito.
- (E) as cargas positivas e negativas se chocam no filamento da lâmpada.

**Alternativa D.**