

ASSOCIAÇÃO DE RESISTORES ELÉTRICOS ARTESANAIS COMO PROPOSTA EXPERIMENTAL INVESTIGATIVA INTERDISCIPLINAR PARA ENSINO DE QUÍMICA

*Association of handmade electrical resistors as an interdisciplinary experimental research proposal
for the teaching of Chemistry*

Letícia Gomes de Melo [melolg@usp.br]

Universidade de São Paulo, Instituto de Química de São Carlos

Av. Trabalhador São-carlense, 400, São Carlos, SP - Brasil

Luís Carlos de Moraes [luiscarlos_morais@yahoo.com.br]

Alexandre Augusto Todde Libório [todde-ale@hotmail.com]

Raíza Fonsêca Xavier Lima [raizauftm@gmail.com]

João Vitor Cagliari [jvcagliari@hotmail.com]

Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Departamento de Química

Av. Doutor Randolpho Borges Júnior, 1400, Univerdecidade, Uberaba, MG - Brasil

Daniel Pasquini [danielpasquini2013@gmail.com]

Instituto de Química, Universidade Federal de Uberlândia, Instituto de Química

Av. João Naves de Ávila, 2121 - Santa Mônica, Uberlândia, MG - Brasil

Recebido em: 16/06/2019

Aceito em: 16/12/2019

Resumo

Este artigo tem como objetivo relatar os resultados de uma atividade de pesquisa experimental desenvolvida durante um semestre em que a disciplina de Físico-Química II foi lecionada em um curso de graduação em Química. Os alunos realizaram a construção de circuitos elétricos artesanais utilizando grafite, óxido de grafite, polianilina e polipirrol. Alguns resistores comerciais foram usados como referência. Circuitos elétricos associados em paralelo e em séries foram investigados. A metodologia adotada nesta atividade consistiu em seis etapas: (1) proposta do problema, (2) identificação e exploração de ideias para solução do problema, (3) elaboração de planos de ações, (4) experimentação do planejamento, (5) análise dos dados obtidos e (6) finalização com a resolução do problema. Ao final da atividade foi possível observar bons resultados no processo de ensino-aprendizagem, considerando a participação ativa dos alunos no desenvolvimento conceitual, de autonomia e de trabalho em grupo.

Palavras-chave: Experiência investigativa; Interdisciplinaridade; Ensino de Química; Resistores elétricos.

Abstract

This article aims to report the results of an experimental research activity developed during a semester that Physical Chemistry II was taught in a degree course in Chemistry. The students performed the construction of handcrafted resistors applied in electrical circuits using graphite, graphite oxide, polyaniline and polypyrrole. Some commercial resistors were used as reference. Associated electrical circuits in parallel and series were investigated. The methodology adopted in this activity consisted of six steps: (1) proposal of the problem, (2) identification and exploration of ideas for solving the problem, (3) elaboration of action plans, (4) experimentation with planning, (5) interpretation of the results and (6) finalization with the problem resolution. At the end of the activity it was possible to observe good results in the teaching-learning process, considering the active participation of students in the conceptual development, autonomy and of group work.

Keywords: Experimental inquiry activities; Interdisciplinarity; Chemistry teaching; Electrical resistors.

INTRODUÇÃO

A existência de diversos problemas no ensino de Ciências da Natureza, como a linguagem específica, práticas que se reduzem à transmissão de informações e a pura memorização é inquestionável (Brasil, 2002), mas o que fazemos para superá-las se torna o diferencial. O uso da experimentação se mostra como uma alternativa e surge dessa necessidade de superar as limitações que são impostas no cenário educativo diferenciando destas práticas e da necessidade de ampliação do leque de recursos metodológicos que o professor pode usufruir para garantir que os estudantes tenham uma aprendizagem efetiva e que garantam a formação de estudantes críticos e com autonomia (Brasil, 2006). Além disso, segundo Giordan (1999), a experimentação desperta um forte interesse entre os alunos levando-os a obter uma melhor compreensão dos temas trabalhados. Sendo assim, como ignorar essa ferramenta didática que se mostra de tamanha relevância, principalmente no ensino de química?

Pensando nisso, modelos de ensino experimental se tornam interessantes alternativas no ensino de Física para o curso de Química. Além do fato dessas duas importantes áreas serem consideradas experimentais, segundo Rosito (2003) as atividades práticas propiciam uma melhor interação entre professores e alunos, oportunidade de planejamento conjunto e elaboração de estratégias de ensino, fazendo com que os alunos tenham uma melhor compreensão de como funciona a ciência.

No entanto, a simples aplicação de aulas experimentais não garante a construção de aprendizagens significativas. Ainda mais quando o ensino experimental é tratado como uma simples transmissão de conteúdos prontos passados por meio de apostilas e roteiros pré-estabelecidos, assim como uma comprovação da teoria no laboratório, sem nenhuma interação ou reflexão sobre aquilo que se está comprovando (Pereira, 2010). Por isso, é fundamental a problematização nas aulas práticas, independente do tipo de abordagem. Recorrendo-se a Base Nacional Comum Curricular (BNCC) onde é destacado que:

(...) é imprescindível que eles sejam progressivamente estimulados e apoiados no planejamento e na realização cooperativa de atividades investigativas, bem como no compartilhamento dos resultados dessas investigações. Isso não significa realizar atividades seguindo, necessariamente, um conjunto de etapas predefinidas, tampouco se restringir à mera manipulação de objetos ou realização de experimentos em laboratório (Brasil, 2017, p. 322).

Logo, faz-se necessário propiciar aos alunos novas atividades experimentais, nas quais os mesmos sejam estimulados a encontrarem desafios para que possam propor soluções.

Diante dessa situação, utilizando-se da experimentação no ensino, na disciplina de Físico Química II para o curso de Licenciatura em Química na Universidade Federal do Triângulo Mineiro, resistores artesanais foram desenvolvidos em sala de aula a fim de que fosse possível trabalhar conteúdos e conceitos aprendidos nas disciplinas de Química e Física. No entanto, foi possível ampliar o leque de conceitos envolvidos uma vez que os discentes puderam associar corrente elétrica, tensão elétrica e resistência elétrica com as estruturas químicas das diferentes matérias empregadas na confecção dos resistores artesanais. Também foram utilizados resistores comerciais para o estudo desses conteúdos como critério de comparação e validação de dados. Além disso, enriquecendo os pontos positivos da utilização desse projeto, a atividade surgiu como uma forma de aliar o ensino de física com o de química para estudar um objeto de estudo em comum, configurando uma abordagem conceitual muito utilizada por educadores que é a interdisciplinaridade.

Portanto, esse trabalho tem como objetivo relatar, propor e analisar uma atividade diferenciada de experimentação a partir da construção de circuitos elétricos com resistores

artesanais e comerciais, em circuitos elétricos associados em paralelo e série, de modo investigativo e interdisciplinar entre a Química e a Física.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A realização desta atividade permitiu testar a capacidade de generalização 1ª lei de Ohm dando a experimentação um caráter investigativo, além de afastar a ideia de que a experimentação tem a função de concretizar ou provar a veracidade da teoria científica, estando em concordância do que explicam os autores Azevedo (2004) e Silva, Machado e Tunes (2010). Além disso, a experimentação como alternativa para sair do formalismo matemático no ensino de resistência elétrica é relatada na literatura por diversos estudiosos da área (Alves, Martins & Sales, 2019; Borges, Gabriel & Prestes, 2006; Medeiros *et al.*, 2007; Ribas, Silva & Galvão, 2010; Rocha Filho, Salami & Lima, 2007; Salami, 2004; Silva & Lattouf, 1996).

Essa proposta além de se apresentar como alternativa a práticas que reduzem o objeto de estudo à memorização e ao formalismo matemático, também alia de modo interdisciplinar o estudo dos resistores com um viés químico e físico para o Ensino Superior. A interdisciplinaridade apresentada aqui está pautada na inter-relação dos conceitos das disciplinas de química e física de maneira a se aprofundar o conhecimento do objeto de estudo que são os resistores, trabalhando de forma conjunta as disciplinas e relacionando-as entre si (Fazenda, 2011). Por fim, as Diretrizes Curriculares para os cursos de Química pontuam que estes necessitam se estruturar de forma a promover a formação interdisciplinar requerida do profissional/cidadão e também deve desenvolver nos estudantes habilidades para resolução de problemas e espírito investigativo, além de outras (Zucco, Pessine & Andrade, 1999).

Resistência elétrica e a 1ª lei de Ohm

Em 1827, uma lei foi postulada pelo físico alemão Georg Simon Ohm, relacionou a tensão e corrente elétrica, de tal forma que permitiu determinar a resistência elétrica dos condutores elétricos. Esta lei ficou conhecida como primeira lei de Ohm (equação 1). A 1ª lei de Ohm é a afirmação de que a corrente que atravessa um condutor elétrico mantido a temperatura constante é diretamente proporcional à diferença de potencial aplicada ao condutor, sendo que o gráfico gerado da tensão *versus* a corrente elétrica é linear e tem como coeficiente angular a resistência elétrica (Halliday, Resnick & Walker, 2012):

$$U = R \times i \quad (1)$$

Onde U é a tensão, i é a corrente e R a resistência elétrica. A resistência elétrica é a propriedade física de um componente ou dispositivo que se opõe à passagem de corrente elétrica.

É possível também, em um circuito, obter as resistências de componentes associados em série. Quando uma diferença de potencial V é aplicada aos resistores ligados em série, a corrente i é a mesma em todos resistores e a soma das diferenças de potencial dos resistores é igual à diferença de potencial aplicada V (Halliday, Resnick & Walker, 2012). A resistência equivalente de dois ou mais componentes (R_n) em série é dada pela equação 2:

$$R_{\text{equivalente}} = R_1 + R_2 + \dots + R_n \quad (2)$$

Outro tipo de associação de componentes resistivos é a associação em paralelo. Diz-se que os componentes de um circuito estão associados em paralelo quando os componentes são ligados de modo a terem dois pontos de contato entre eles. Para que dois componentes estejam em paralelo, é preciso que estejam submetidos à mesma tensão, sendo ligados ao mesmo par de nós (Svoboda & Dorf, 2003). Assim, a mesma diferença de potencial é aplicada a todos os resistores do circuito

elétrico (Halliday, Resnick & Walker, 2012). No caso de duas resistências, a resistência equivalente é o produto das resistências dividido pela soma (equação 3):

$$R_{\text{equivalente}} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \quad (3)$$

De modo a generalizar, no caso de n resistências têm-se a equação 4:

$$\frac{1}{R_{\text{equivalente}}} = \sum_{j=1}^n \frac{1}{R_j} \quad (4)$$

Destaca-se também a propriedade de um material de resistir à passagem de corrente elétrica chamada de resistividade elétrica. A corrente elétrica é definida como um fluxo líquido de cargas através de alguma região e a quantidade desse fluxo dependerá do tipo de material pelo qual as cargas passam e da diferença de potencial entre as extremidades dele (Serway & Jewett, 2013). Materiais que são bons isolantes elétricos possuem elevados valores de resistividade, enquanto os que são bons condutores elétricos possuem baixa resistividade (Svoboda & Dorf, 2003).

Com base nas propriedades de resistência elétrica e resistividade, diferentes materiais podem ser utilizados para confecção de componentes eletrônicos capazes de controlar a passagem da corrente elétrica, sendo chamados de resistores. Estes componentes controlam a passagem da corrente elétrica em um circuito por meio da transformação da energia elétrica em energia térmica, o chamado efeito joule. Neste trabalho investigaram-se diferentes amostras com capacidades de conduzir eletricidade, que foram a grafite (natural e oxidada) e polímeros condutores como a polianilina com diferentes dopantes e o polipirrol.

Polímeros condutores

Por muito tempo os polímeros eram conhecidos apenas por serem isolantes elétricos, porém atualmente é conhecida a existência de polímeros que possuem a capacidade de conduzir corrente elétrica, os denominados polímeros condutores. Esses polímeros também podem ser chamados de polímeros conjugados por apresentarem cadeias conjugadas caracterizadas pelas sequências de ligações simples e duplas alternadas entre carbonos, resultando na presença de elétrons desemparelhados e deslocalizados ao longo dos orbitais π da cadeia polimérica.

Existem basicamente dois tipos de polímeros condutores: os extrínsecos, àqueles que são adicionados cargas condutoras em sua matriz polimérica e os intrínsecos, que não há adição de cargas por conta de sua própria matriz permitir uma circulação eletrônica relacionada às insaturações ao longo da cadeia polimérica. Podendo ser sintetizados de variadas formas, os Polímeros Condutores Intrínsecos (PCIs), podem ser classificados em homopolímeros (composto de apenas um tipo de meros/ moléculas), copolímeros (composto por mais de um tipo), ou as blends que são a mistura de homopolímeros diferentes, ou até mesmo de homopolímeros com copolímeros (De Paoli, 2001).

Uma forma de converter um polímero condutor no estado isolante elétrico para o estado condutor ou semicondutor elétrico é por meio de um processo denominado dopagem. Para isso, utilizam-se agentes denominados dopantes, que podem atuar na oxidação/redução de uma cadeia polimérica, onde os elétrons π da dupla ligação são facilmente removidos ou adicionados para formar um íon, neste caso polimérico (Faez *et al.*, 2000).

Um exemplo desse processo de dopagem é da polianilina (PAni). Esta pode ser dopada pelo processo de protonação, não ocorrendo a modificação do número de elétrons de sua cadeia polimérica e divide-se em três estados baseados em sua oxidação: a leucoesmeraldina em sua forma totalmente reduzida, a pernigranilina em sua forma oxidada e, por fim, a base esmeraldina que geralmente encontra-se com cerca de 50% de sua forma oxidada e que ao reagir com ácidos fortes

resultam em um sal esmeraldina condutor (Padilla, 2011). A PANi apresenta um futuro promissor, pois é de fácil obtenção e pode ser sintetizada a partir da anilina. Sua estrutura possui uma alternância de carbonos sp^2 com duplas ligações nos anéis benzenóides e quinóides, o que permite uma livre transição eletrônica em condições específicas. Esses anéis se conectam entre si por meio de um átomo de nitrogênio, como mostrado na Figura 1:

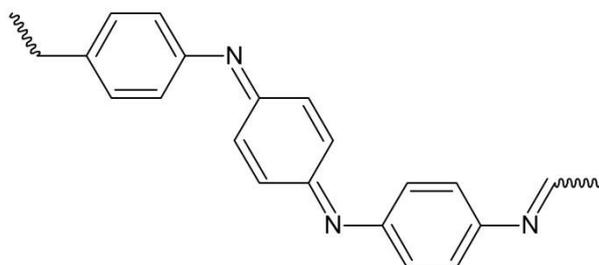


Figura 1 - Estrutura da Polianilina (adaptado de Atkins & Jones, 2012, p. 779).

Outro polímero intrinsecamente condutor é o polipirrol (PPy). Este apresenta condutividade muito superior quando comparado a outros polímeros, e também uma alta resistência à corrosão, sendo estas as propriedades que o diferencia dos demais polímeros. Este polímero apresenta uma estrutura cíclica apresentando duas formas de ressonância: aromática e a quinônica (não equivalentes energeticamente), denominadas como estruturas não-degeneradas. Para que o polipirrol possa ser utilizado como condutor elétrico é necessário a oxidação, retirada de elétrons e a redução, inserção de elétrons no sistema π conjugado, mas isso ocorre durante a síntese ou pode ser induzido via processo de dopagem (Santim, 2011). Uma das suas diversas aplicações está na utilização em dispositivos eletrocrômicos presentes em espelho retrovisor antiofuscante automático, produzidos em alguns carros no Brasil (De Paoli, 2001).

Grafite e óxido de grafeno

A grafite, um dos alótropos do carbono, é constituída de um empilhamento de estruturas bidimensionais com espessura atômica e átomos de carbono com hibridização sp^2 ligados entre si covalentemente formando um retículo cristalino hexagonal. Essas estruturas são denominadas de grafeno e interagem entre si via interação de Van der Waals, como representado na Figura 2. Devido à presença de um sistema π de conjugação ao longo de sua estrutura bidimensional apresenta incríveis propriedades, como: alta condutividade térmica e elétrica, além de grande resistência mecânica. A ligação entre as folhas de grafeno é feita por meio de ligações de van der Waals com distância interplanar de 3,354 Å (Geim & Novoselov, 2007; Wallace, 1947).

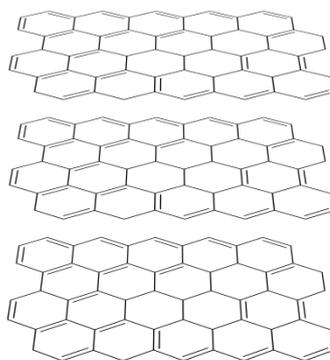


Figura 2 - Estrutura da grafite.

Em consequência das propriedades citadas, a grafite se tornou um importante material de partida para produção de grafeno, quando este foi isolado em 2004, pelos pesquisadores A. Geim e

K. Novoselov por meio da técnica *peeling* (Novoselov *et. al.*, 2004). O grafeno é considerado a menor porção de átomos de carbono ligados em forma de folha com espessura atômica. Uma via de produção para obtenção do grafeno a partir da grafite natural é o método de oxidação de Hummers seguido de redução e esfoliação, resultando no óxido de grafeno reduzido (rGO).

Devido ao elevado rendimento e ao baixo custo esse processo torna-se um método vantajoso de obtenção de rGO. Porém, o produto final (rGO) ainda apresenta inúmeros defeitos em sua rede cristalina gerados pelos vários grupamentos oxigenados advindos da oxidação (Figura 3), fator esse que explica um aumento da resistência elétrica em relação ao sistema conjugado no grafeno, pois nem todas as duplas ligações que garantem a deslocalização de elétrons são restauradas após a reação química de redução (Mehl *et al.*, 2014).

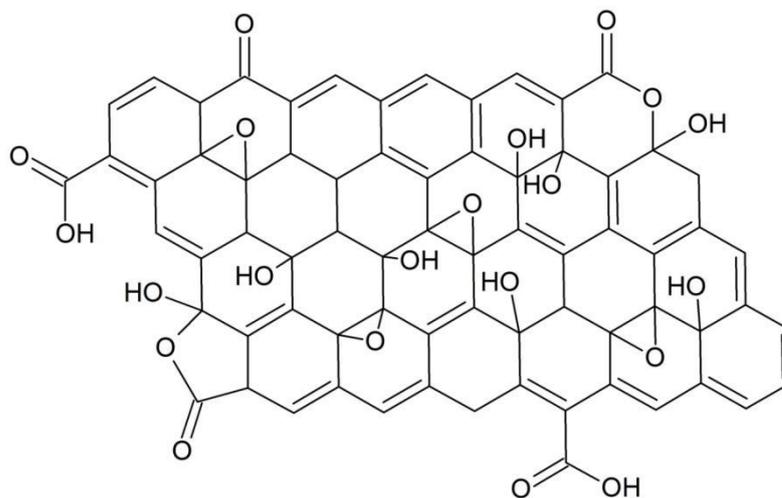


Figura 3 - Estrutura representativa do grafeno oxidado (GO).

METODOLOGIA

Essa atividade está de acordo com que os autores Azevedo (2004) e Silva, Machado e Tunes (2010) discutem sobre o significado da experimentação no ensino de Química e dentro desse contexto a proposta de experimentação desse trabalho foi desenvolvida. A atividade experimental investigativa pode ser dissociada nas seguintes etapas: 1^a proposta do problema, 2^a identificação e exploração das ideias para resolução do problema, 3^a elaboração de planos de ações, 4^a experimentando o planejamento, 5^a análise dos dados obtidos e 6^a finalização com a resolução do problema.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

1^a Etapa: propondo o problema

No início do semestre, o professor propôs a atividade da parte experimental da disciplina de Físico-Química II como forma de trabalho interdisciplinar. Uma vez que a proposta está condizente com o tópico condutividade, que seria estudado na disciplina e também pelo fato dos alunos terem estudado circuitos elétricos em disciplina no curso de Física, foi decidido que a atividade experimental seria pautada na investigação da condutividade de estruturas sólidas condutoras de eletricidade e assim, resolveu-se explorar os circuitos elétricos com os componentes condutores de eletricidade apresentados na presente proposta.

Nessa atividade, o principal objetivo foi compreender o comportamento de resistores artesanais construídos com diferentes tipos de componentes condutores de elétrons e avaliá-los de

acordo com a 1ª lei de Ohm, estruturas químicas e suas morfologias pelas imagens de microscopia eletrônica de varredura (MEV). Dessa forma, a principal pergunta problema que norteou a atividade foi “como varia o comportamento elétrico dos resistores elétricos artesanais em circuitos elétricos quando comparados com os resistores comerciais?”.

Para responder esta pergunta, os discentes deveriam de forma autônoma aprofundar no assunto já estudado por meio de pesquisas bibliográficas e realizar discussões para traçar planos de ações. O professor forneceria todos os recursos necessários a partir do que fosse decidido como plano de trabalho pelos alunos. Como a turma era pequena foi formado apenas um grupo de 7 alunos.

Por fim, o professor determinou que estes deveriam entregar como produto final resistores artesanais construídos com diferentes componentes condutores de eletricidade aplicados em um circuito elétrico integrado a um LED, além de explicar como foi realizada a análise dos dados obtidos e os resultados encontrados. Também foi solicitado que os alunos efetuassem uma comparação dos resistores artesanais com os resistores que são vendidos nas lojas de componentes eletrônicos. Seria avaliado o desempenho desses resistores em circuitos associados em paralelo e série, além de comparar o valor da resistência elétrica do resistor elétrico comercial com a tabela de códigos de cores utilizada para verificar valores de resistência elétrica.

2ª Etapa: identificação e exploração das ideias para resolução do problema

Como ponto de partida os alunos decidiram escolher aos materiais a serem utilizados na confecção de resistores caseiros, os quais seriam empregados como limitadores de corrente elétrica para acender o LED. Para o desenvolvimento da atividade em seu plano de trabalho, os alunos sugeriram as seguintes ideias e questões “(i) descobrir como e de que material é feito um resistor, (ii) quais materiais podem ser utilizados para fabricar um resistor? (iii) seria possível com esses materiais limitar a corrente elétrica até um valor específico de tal forma que seja possível acender um LED sem danificá-lo? (iv) a 1ª lei de Ohm é capaz de prever a resistência desse resistor que fabricamos? (v) como um resistor comercial se comporta de acordo com a lei de Ohm? (vi) será que esses resistores artesanais suportam associações em série e paralelo como os comerciais? (vii) a resistência elétrica será alterada dependendo do material utilizado no resistor? (viii) qual técnica utilizar para verificar o comportamento de diferentes materiais?”.

3ª etapa: elaboração de planos de ações

Nessa etapa, os alunos discutiram o que seria necessário para realização do experimento. A partir de das pesquisas realizadas, de conhecimentos adquiridos em outras disciplinas e projetos científicos (conhecimentos prévios), das ideias e questões (i) e (ii) foi realizada a comparação da variação de resistência elétrica de materiais com grafite natural (Gr) e oxidada (GO), polianilina (PAni) com diferentes dopantes e polipirrol (PPy).

Para medir as resistências elétricas dos resistores fabricados eles definiram que um estudo da 1ª lei de Ohm seria realizado a partir dos dados obtidos e estes seriam aplicados a um circuito elétrico integrado ao LED solucionando as questões (iii) e (iv). Em relação a questão (v), os alunos concordaram que deveriam aplicar uma tensão elétrica no resistor comercial e verificar como ele se comportava, assim como também seriam associados resistores comerciais e artesanais em série e paralelo para comparação e solução da questão (vi). Além disso, para verificar como os materiais escolhidos se diferenciavam foi escolhida a técnica de microscopia eletrônica de varredura (MEV) para verificar as diferenças de morfologia e possibilitar posteriormente uma associação com outros dados para entender o comportamento desses materiais, traçando uma solução para as questões (vii) e (viii).

As escolhas dos resistores comerciais a serem comprados foram baseadas previamente nas determinações dos valores de resistências elétricas dos resistores artesanais. O grupo planejou que seriam feitas associações com apenas dois resistores caseiros tanto em série, como em paralelo, para facilitar a medida e baratear o teste. Além disso, também foi escolhida a estrutura física do resistor elétrico artesanal e como seria adaptada para a realidade do projeto.

Para realização da prática foram usados multímetros digitais Minipa modelo ET-1649 3^{5/6} dígitos, protoboard (1000 furos), *jumpers*, conectores tipo jacaré, fonte de alimentação de bancada PS 305D regulável até 30 volts e até 5 ampères, bateria de 9 Volts, prensa hidráulica, pipetas de Pasteur, cola quente, resistores comerciais de 33 Ω , 330 Ω e 1000 Ω (escolhidos após medição da resistência elétrica dos resistores artesanais).

4ª etapa: experimentando o planejamento

Para construção dos resistores elétricos artesanais, os alunos utilizaram uma mistura de grafite com polianilina dopada com ácido clorídrico (HCl), grafite oxidada (GO) misturada com polianilina dopada com ácido p-toluenossulfônico (PTSA), grafite natural, grafite oxidada misturada com polianilina dopada com ácido clorídrico e polipirrol misturado com grafite oxidada. As amostras para confecção dos resistores foram cedidas pelo professor uma vez que tais amostras são usadas nas pesquisas científicas.

Os materiais obtidos foram prensados, de forma a garantir uma maior compactação. O fio de *jumpers* foi prensado em conjunto com as amostras. As massas das amostras foram pesadas e usadas nas mesmas quantidades para confecção de todos os resistores artesanais. Para o envoltório utilizou-se as pontas plásticas das pipetas de Pasteur que eram de polipropileno (PP) e uma camada de cola quente foi passada e prensada para cobrir todos os resistores. Os resistores comerciais foram fornecidos pelo professor, bem como todos os materiais utilizados para o desenvolvimento do trabalho. O resultado obtido pode ser observado na Figura 4:

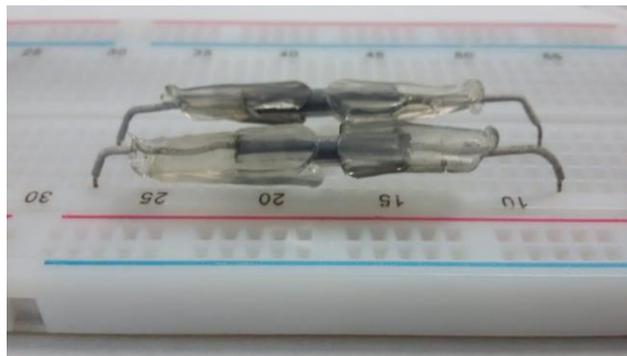


Figura 4 - Resistores artesanais conectados em uma protoboard.

As resistências elétricas individuais dos resistores artesanais foram medidas com um multímetro digital, colocando cada ponteira de medição na extremidade dos resistores. Também se associou os resistores artesanais em série e paralelo, variando a tensão elétrica aplicada de 0 até 4 volts (na fonte de bancada) e medindo a corrente elétrica (no multímetro digital). Usando os dados obtidos nessas medições, os alunos confeccionaram gráficos da tensão elétrica pela corrente elétrica, de forma a obter como tangente a resistência elétrica do resistor correspondente. A partir dos valores obtidos de resistência elétrica individual para cada resistor artesanal escolheu-se resistores comerciais com valores próximos de resistência elétrica, para efeito de comparação. O método descrito anteriormente também foi realizado para medição da resistência individual e associada dos resistores comerciais.

Ao fim dessas análises, os discentes criaram um circuito elétrico de forma a associar um resistor caseiro com função de limitar uma corrente elétrica necessária para acender um LED. Para controle da tensão elétrica foi utilizada uma fonte de energia de bancada. O circuito elétrico montado é mostrado na Figura 5, onde o polo da fonte de energia de onde flui a corrente elétrica é representada pelo símbolo +, o resistor caseiro é r e o LED.

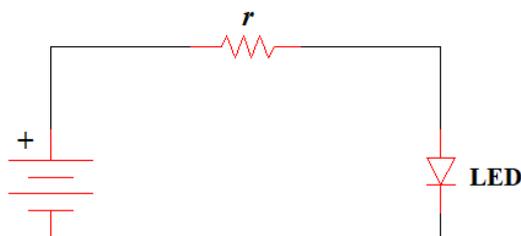


Figura 5 - Representação do circuito elétrico resistor-LED utilizado para aplicação de resistores artesanais.

5ª etapa: análise dos dados obtidos

Os dados obtidos na experimentação foram organizados em tabelas e gráficos. A partir disso, os alunos realizaram discussões para compreender se seria possível utilizar os resistores fabricados para limitar uma corrente elétrica e futuramente aplicá-los a um circuito integrado ao LED. Além disso, a 1ª lei de Ohm foi verificada. Os alunos também realizaram a análise das imagens de microscopia eletrônica de varredura para verificar as diferenças na morfologia.

- **Medição de resistências elétricas dos resistores comerciais e artesanais**

Como dito anteriormente, para medir os valores da resistência elétrica dos resistores comerciais mostrados na figura 6 (33 Ω , 330 Ω e 1000 Ω) os alunos utilizaram inicialmente o multímetro digital. Os valores medidos nos resistores comerciais foram de: 32,8 Ω , 322 Ω e 983 Ω .

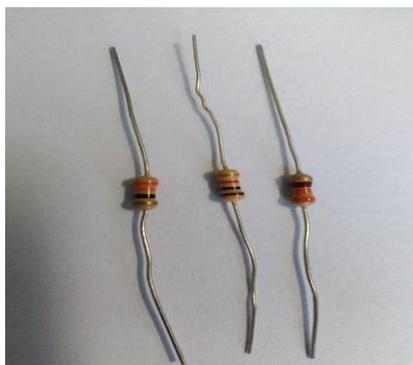


Figura 6 - Resistores comerciais utilizados na atividade.

Além de medir os valores de resistência elétrica com o multímetro, os alunos também realizaram uma comparação dos dados obtidos utilizando o multímetro digital com a tabela de cores (figura 7), de modo a relacionar as faixas de diferentes colorações de cada resistor com o código correspondente. Como resultado, os alunos observaram que para o resistor elétrico em que foi medido 32,8 Ω no multímetro encontrou-se o valor de 33 $\Omega \pm 1,65$, para o resistor de 322 Ω encontrou-se o valor de 330 $\Omega \pm 16,5$ e, por fim, para o resistor de 983 Ω encontrou-se o valor de 1000 $\Omega \pm 50$. As relações utilizadas pelos alunos para chegar nesses valores a partir tabela de código de cores se encontram representadas na Figura 7.

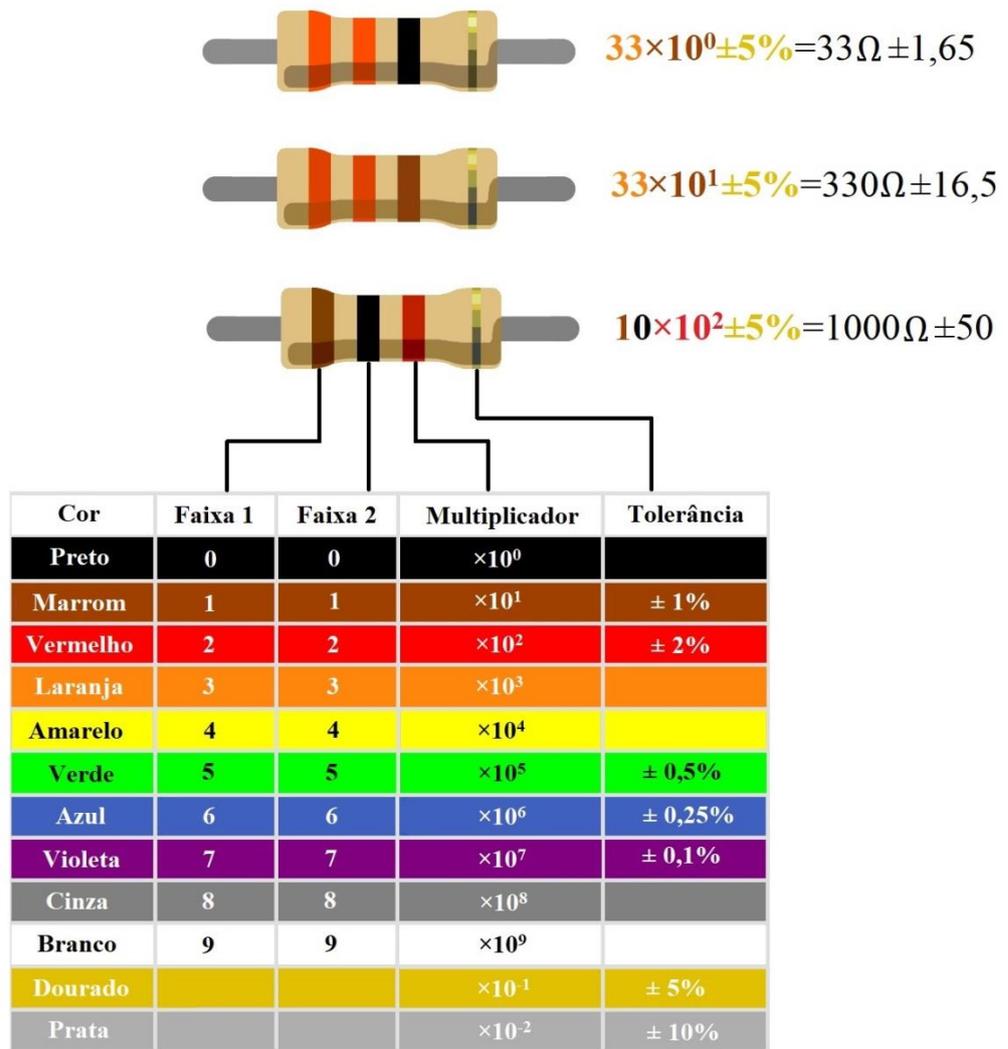


Figura 7 - Representação dos cálculos realizados pelos alunos utilizando os códigos de cores de resistores

Ao observar os valores obtidos pelo multímetro digital, os alunos foram capazes de notar que estes valores se encontram dentro do limite de tolerância assinalado pela tabela de código de cores utilizadas.

Além destas análises realizadas para os resistores comerciais, também foram realizadas medições para os resistores caseiros. Neste caso, foi utilizado apenas o multímetro digital para medir os valores de resistência individuais de cada resistor fabricado, sendo fabricados dois resistores (A e B) de cada material. Os valores encontrados pelos alunos para essas resistências podem ser observados na tabela 1.

Tabela 1 - Resistência elétrica individual dos resistores artesanais.

Material	Resistência individual (Ω)	
	A	B
Grafite	25,1	23,0
PAni-HCl+GO	129,4	230,0
PPy+GO	1100	1000
PAni-PTSA+GO	1180	1290

A partir dessa tabela, os alunos puderam relacionar como o tipo de dopante (HCl e PTSA) afeta os valores de resistência elétrica, como a oxidação da grafite aumenta a resistência elétrica e o que influencia a alteração de polímero condutor na mistura (PAni e PPy). Com base em conhecimentos prévios, os alunos já esperavam uma menor resistência elétrica por parte da grafite natural, que é conhecida pela elevada condutividade elétrica de cerca de $2,3 \times 10^4$ S/cm (Wu *et al.*, 2012). Os discentes puderam atestar esta hipótese inicial nos resultados obtidos nas medidas de resistência elétrica de cada resistor artesanal.

- **Aplicação da 1ª Lei de Ohm**

Pela associação na protoboard de dois resistores comerciais em série e paralelo, e pela variação da tensão aplicada pela fonte de energia de 0 até 4 volts e medida da corrente elétrica nos circuitos foi possibilitado aos alunos verificar a resistência elétrica equivalente desses resistores em série e em paralelo. Foram utilizados 2 resistores de cada valor. Os dados obtidos por eles podem ser observados na tabela 2.

Tabela 2 - Dados obtidos pelos alunos das resistências elétricas dos resistores comerciais.

Resistência individual (Ω)	Resistores em série		Resistores em paralelo	
	Resistência pela 1ª lei de Ohm (Ω)	Resistência equivalente teórica (Ω)	Resistência pela 1ª lei de Ohm (Ω)	Resistência equivalente teórica (Ω)
32,80	67,55	65,60	18,76	16,40
322,0	657,9	644,0	158,6	161,0
983,0	2000	1966	464,6	492,5

Usando os dados obtidos nessas medições os alunos aplicaram a 1ª Lei de Ohm descrita na equação 1. A partir desses dados, os alunos confeccionaram gráficos da tensão elétrica pela corrente elétrica, de forma a obter como coeficiente angular a resistência elétrica do resistor correspondente. O gráfico 1 é equivalente aos valores obtidos da variação da tensão elétrica pela variação da corrente elétrica para a associação de resistores comerciais em série. Já o gráfico 2, se relaciona a essa variação para a associação de resistores comerciais em paralelo.

Nesta tabela, a “resistência pela 1ª lei de Ohm” se refere aos valores de resistência elétrica dos resistores em série e em paralelo que são os coeficientes angulares visto nos gráficos 1 e 2, obtidas pela equação 1. Já a “resistência equivalente teórica” se refere ao valor de resistência elétrica equivalente obtida pela equação 2 (no caso da associação em série) e pela equação 3 (para associação em paralelo).

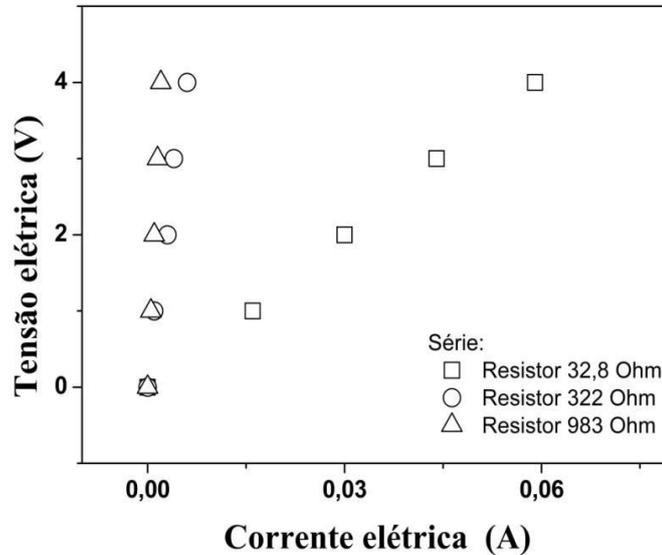


Gráfico 1 - Tensão elétrica *versus* a corrente elétrica do circuito em série dos resistores comerciais.

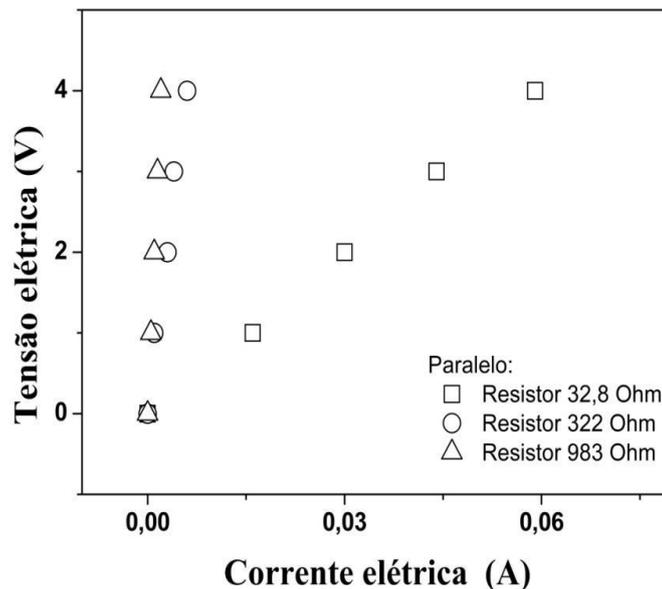


Gráfico 2 - Tensão elétrica *versus* a corrente elétrica do circuito em paralelo dos resistores comerciais.

A partir da tabela 2 e dos gráficos 1 e 2 da tensão elétrica pela corrente elétrica, os quais fornecem a resistência elétrica como coeficiente angular da reta traçada, os discentes observaram que a resistência equivalente obtida pela aplicação da 1ª lei de Ohm difere um pouco da resistência equivalente teórica para resistor associado em série e associado em paralelo. Os alunos sugeriram a hipótese de que o erro associado ao cálculo está relacionado com o uso dos conectores chamados

“garras de jacaré”, que podem aumentar em algumas unidades a resistência elétrica do circuito. Além disso, eles também observaram o aumento crescente da inclinação da reta, ou seja, do coeficiente angular (resistência elétrica) do resistor de 32,8 Ω , para o de 322 Ω ao resistor de 983 Ω .

O método descrito acima também foi realizado para medição da resistência individual e associada dos resistores artesanais. Também foram utilizados dois resistores (A e B) do mesmo material para cada circuito. A tabela 3 foi confeccionada pelos alunos para coleta de dados das resistências elétricas equivalentes obtidas pela aplicação da 1ª lei de Ohm (R - 1ª lei de Ohm) que é apresentada na equação 1, as resistências elétricas equivalentes obtidas colocando a ponta do multímetro no início e fim do circuito (R_{eq} observada) e as resistências equivalentes teóricas (R_{eq} teórica) obtidas pelas equações 2 (associação em série) e 3 (associação em paralelo).

Além disso, gráficos da tensão pela corrente elétrica foram criados visando obter a resistência elétrica dos resistores artesanais a partir do coeficiente angular da reta. O gráfico 3 está relacionado aos valores obtidos da variação da tensão elétrica pela variação da corrente elétrica para a associação de resistores artesanais em série, já o gráfico 4 se relaciona a esta variação para a associação de resistores artesanais em paralelo.

Tabela 3 - Dados obtidos pelos alunos nas medidas de resistência elétrica dos resistores artesanais. Os números na coluna de material se referem a 1- Grafite, 2- PAni-HCl+GO, 3- PPy+GO, 4- PAni-PTSA+GO.

Material	Resistência individual (Ω)		Resistores em série			Resistores em paralelo		
	A	B	R - 1ª lei de Ohm (Ω)	R_{eq} observada (Ω)	R_{eq} teórica (Ω)	R - 1ª lei de Ohm (Ω)	R_{eq} observada (Ω)	R_{eq} teórica (Ω)
1	5,1	3,0	44,1	48,1	48,0	11,7	11,8	12,0
2	29,4	30,0	404,4	405,0	359,0	73,6	83,0	82,8
3	1100	1000	2017	2130	2100	321,1	520,0	523,8
4	1180	1290	2190	2500	2470	1578	1600	616,3

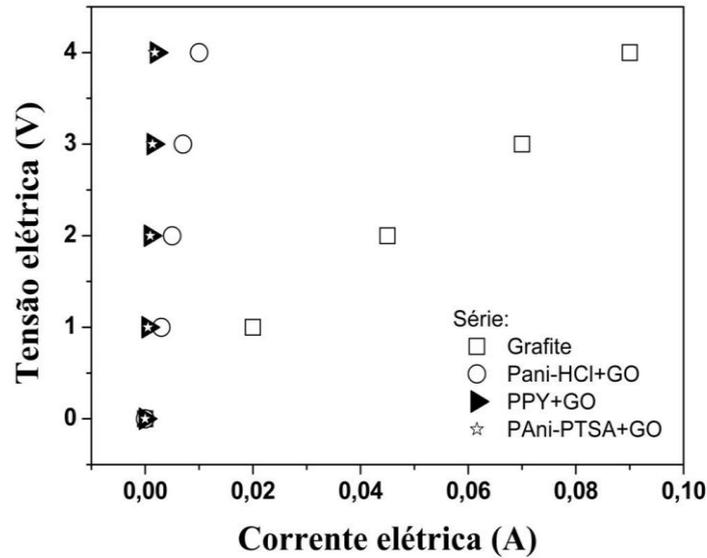


Gráfico 3 - Tensão elétrica *versus* a corrente elétrica do circuito em série dos resistores artesanais.

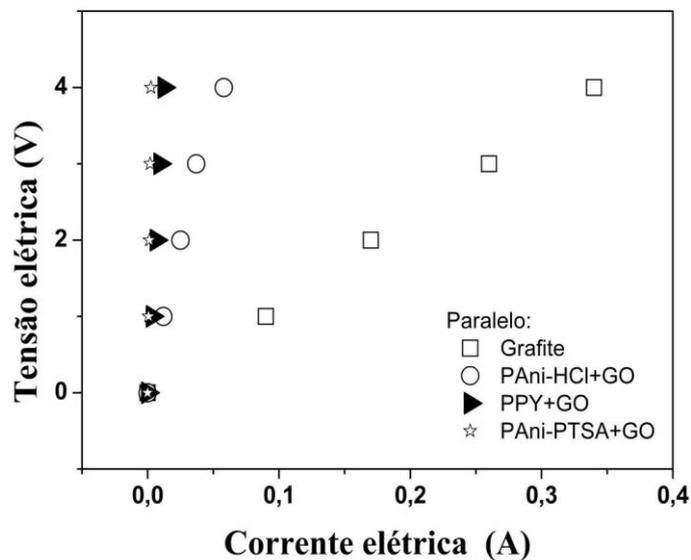


Gráfico 4 - Tensão elétrica *versus* a corrente elétrica do circuito em paralelo dos resistores artesanais.

Observando os dados obtidos que são apresentados na tabela 3 e dos gráficos 3 e 4, os alunos puderam obter também a resistência elétrica dos resistores artesanais pelo coeficiente angular do gráfico 3 e 4 (na tabela essa resistência elétrica está nomeada como “R - 1ª lei de Ohm”). Os alunos notaram que a resistência equivalente obtida pela aplicação da 1ª lei de Ohm também difere em algumas unidades da resistência equivalente teórica (R_{eq} teórica) e da resistência equivalente observada (R_{eq} observada), associando esta diferença às oscilações na corrente elétrica apresentadas pelo resistor artesanal.

A variação mais perceptível foi a do resistor elétrico confeccionado com material PAni-PTSA+GO, que apresentou uma diferença de cerca de 1000Ω entre a R_{eq} teórica e as resistências medidas experimentalmente (R_{eq} observada e R pela 1ª lei de Ohm). Após várias hipóteses levantadas, os alunos relacionaram esta diferença com a dificuldade de confecção do resistor com

essa amostra, pois foi observada uma compactação ruim que pode ter interferido na passagem da corrente elétrica e gerado um aumento de resistência elétrica nas medidas experimentais.

Pelos gráficos 3, 4 e a partir dos dados da Tabela 3 observaram que, a grafite natural é a amostra que possui menor coeficiente angular. De acordo com a 1ª lei de Ohm descrita na equação 1, o coeficiente angular do gráfico da tensão elétrica pela corrente elétrica será a resistência elétrica. Já as amostras nas quais ocorreu a oxidação da grafite, isto é, que tem amostra da grafite oxidada, os estudantes observaram o aumento da resistência elétrica. Condizente com o esperado, uma vez que o processo oxidativo ocasiona a perda de grande parte dos carbonos com hibridização sp^2 .

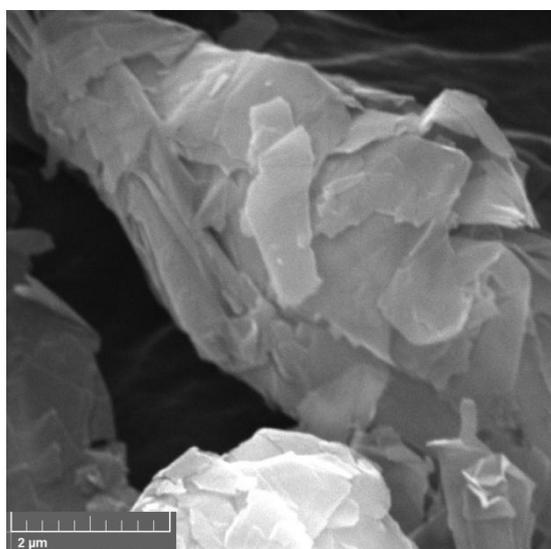
Após os discentes realizarem essas análises, eles também efetuaram a comparação entre os resistores comerciais e artesanais usando as tabelas 2 e 3, observando como eles se comportam quando associados em série e paralelo. Eles observaram que os resistores comerciais apresentaram um comportamento mais “estável”, visto que os resistores artesanais apresentaram inúmeras oscilações entre os valores experimentais e teóricos, de acordo com a tabela 3. Também constataram que os resistores artesanais Grafite e PANi-HCl+GO apresentaram menos variações entre seus valores de resistência.

Essas constatações levaram aos alunos discutirem a importância que o material a ser comercializado apresente boa reprodutibilidade nas medidas e que haja pouca variação nas medidas entre os resistores produzidos.

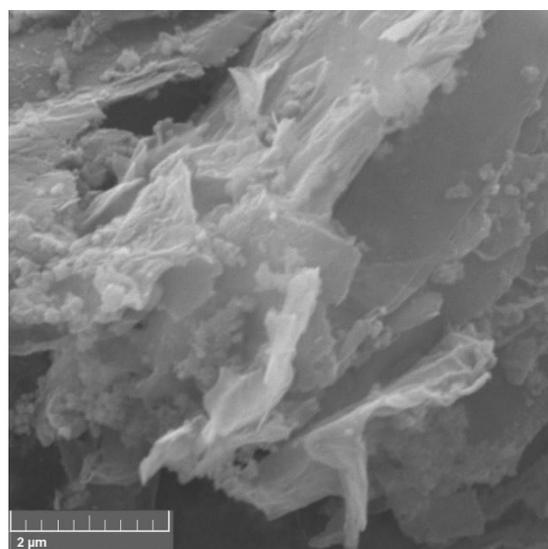
Além destas observações, os alunos também relacionaram que o tipo de dopante afeta os valores de resistência elétrica e que isso poderia estar relacionado com a afinidade entre o dopante e o polímero usado, fator este que eles puderam discutir com base nas medidas de microscopia eletrônica de varredura.

• Morfologia das amostras usando Microscopia Eletrônica de Varredura

O objetivo das imagens de microscopias eletrônicas de varredura (MEV) apresentadas na Figura 8 foi permitir aos alunos ampliar sua capacidade abstrata, uma vez que durante a confecção dos resistores as amostras condutoras elétricas eram apenas vistas com diferenças nas cores e aspectos dos sólidos.



(a)



(b)

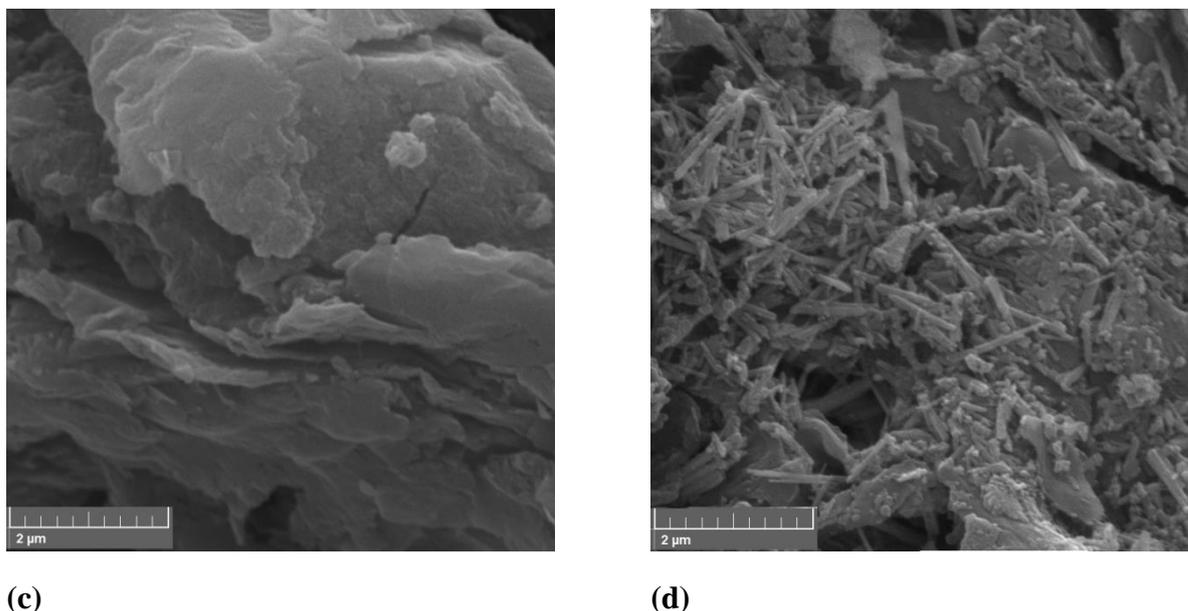


Figura 8 - Microscopias eletrônicas das amostras usadas para confecção dos resistores artesanais: (a) grafite natural, (b) PPy+GO, (c) PANi-HCl+GO, (d) PANi-PTSA+GO.

As imagens apenas foram manipuladas e observadas sem o uso de um instrumento óptico. Mas ao se depararem com as imagens eletrônicas a surpresa e encanto que os discentes demonstraram foram imensas e intensas. Principalmente nas imagens da Figura 8-(c;d). Eles constataram que pelo simples fato da amostra PANi ser dopada com o ácido PTSA ou com o ácido HCl na presença de GO, ocorreu uma enorme diferença morfológica. E aquele simples pozinho que foi visto ao manipularem, agora se apresentava na forma de filamentos lineares (imagem “d”). Puderam confirmar pela Figura 8-a aparência de folhas sobrepostas e identificaram ser da grafite, uma vez que o professor já tinha discutido os aspectos físicos dessa amostra previamente. Na Figura 8-b observaram a presença de pequenos aglomerados de partículas e a presença de “folhas menos uniformes” dispersas na mistura.

Como a microscopia MEV já faz parte da realidade das pesquisas brasileiras e atualmente é de mais fácil acesso, torna-se importante um discente acadêmico manter contato com tal tecnologia. Pouquíssimos são os artigos de ensino de Química que abordam esse tipo de análise na formação dos estudantes. O professor discutiu em sala de aula os aspectos estruturais de cada componente químico usado para se produzir os resistores e as micrografias MEV permitiram evidenciar alguns aspectos já discutidos em sala de aula.

6ª etapa: finalização com a resolução do problema

Com a análise dos dados obtidos, os estudantes puderam responder à pergunta inicial e entender como varia o comportamento dos materiais que atuam como resistores elétricos em circuitos elétricos, utilizando conceitos de Física e Química. Os alunos concluíram que foi possível observar o aumento da resistência elétrica quando ocorreu a oxidação da grafite e relacionaram este aumento ao rompimento das ligações π entre carbonos na estrutura da grafite, dado pela formação de carbonos do tipo sp^3 . As presenças desses carbonos funcionam com pontos de bloqueio da passagem da corrente elétrica na estrutura do grafeno. Observaram que a inserção do tipo de dopante, no caso HCl ou PTSA, influenciará na resistência elétrica, visto que PANi-HCl+GO apresentou menor resistência elétrica em comparação com PANi-PTSA+GO, que teve a maior resistência elétrica obtida entre os quatro resistores elétricos. O resistor de PPy+GO apresentou resistência elétrica próxima ao resistor PANi-PTSA+GO. Também observaram que a grafite apresentou a menor resistência elétrica entre os resistores artesanais, pois sua estrutura química possibilita a movimentação eletrônica ao longo das ligações π entre carbonos nas folhas de grafeno.

Por fim, também foi realizada a aplicação dos resistores ao circuito integrado ao LED e os cálculos da corrente necessária para acendê-lo, além do valor de corrente elétrica usada para limitar o sistema a fim de não danificar o LED.

- **Aplicação do resistor caseiro em um circuito elétrico com LED**

Nessa etapa do processo, os alunos realizaram a aplicação direta do resistor caseiro de PANi-HCl+GO (B) com resistência elétrica de 230Ω e visou verificar a funcionalidade desse resistor artesanal, esperando que este limitasse a corrente elétrica gerada fornecendo apenas a quantidade de 20 mA para acender o LED branco. Sendo assim, para fins experimentais os alunos consideraram como sendo igual a 20 mA a corrente necessária para acender o LED sem danificá-lo, ou seja, a corrente elétrica que o resistor elétrico deixaria fluir até o LED. Na Figura 9 é possível verificar esse circuito montado e o LED aceso, além disso, verifica-se que foram utilizados 6,6 V neste circuito elétrico.

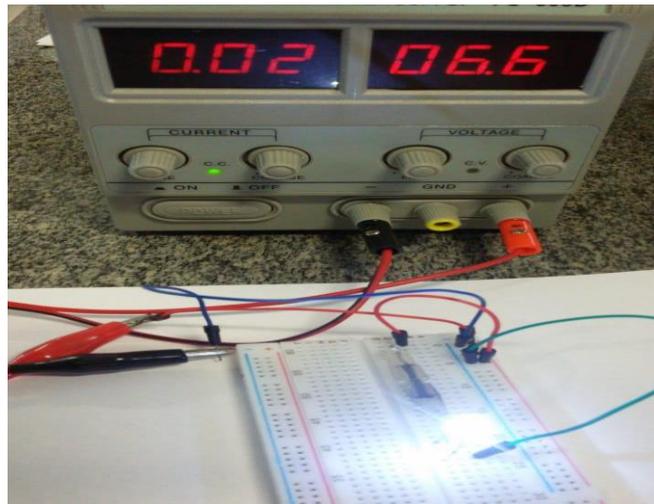


Figura 9 - Resistor caseiro aplicado ao circuito elétrico para acender um LED

Sabendo que esse resistor apresenta a resistência elétrica de 230Ω e que quando é aplicada uma tensão de 2 V nos terminais circula uma corrente de 20 mA pelo LED, os alunos fizeram os seguintes cálculos para presumir a tensão necessária nesse circuito elétrico, a partir da equação 5:

$$R = \frac{(V_{\text{aplicado}} - V_{\text{LED}})}{I_{\text{LED}}} \quad (5)$$

$$230\Omega = \frac{V_{\text{aplicado}} - 2V}{0,02mA}$$

$$V_{\text{aplicado}} = 6,6 V$$

Onde a resistência elétrica do resistor aplicado ao circuito elétrico é representada pela letra R , a tensão elétrica aplicada ao circuito elétrico é representado por V_{aplicado} , a tensão elétrica aplicada ao LED é representada por V_{LED} e a corrente elétrica necessária para acender o LED é representada por I_{LED} .

Considerando que a tensão de barreira deste LED em específico é 2 V, qualquer tensão aplicada que ultrapasse esse limite produzirá alguma corrente. Dessa forma, qualquer corrente acima de 1 mA aplicada a um LED de 3 ou 5 mm já faz com que este emita luz perfeitamente visível. Sendo assim, os estudantes observaram que com o aumento gradual da tensão da fonte entre 2 V e 6,6 V a corrente aumenta de forma praticamente linear, e a partir de 1 mA a luz deve ser

visível e ter sua intensidade aumentada até atingir o máximo na corrente definida como limite (20 mA). Além disso, nessa etapa os alunos puderam verificar como é feita a montagem do circuito na prática e concluir que o resistor elétrico artesanal pode ser utilizado para limitar a corrente elétrica em um circuito elétrico.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste projeto, a interdisciplinaridade entre a Química e a Física permitiu aos alunos o estudo dos resistores de forma a relacionar ambas as disciplinas. Enquanto a Física permitiu definir o que é a resistência elétrica, como ela é medida e quais equipamentos podem ser utilizados nesta medição, a Química permitiu entender qual a relação da resistência elétrica e as diferentes estruturas químicas dos materiais escolhidos, como por exemplo, a formação de uma ligação π (C_{sp^2}) e o sistema de conjugação eletrônico.

Além disso, o uso da microscopia eletrônica de varredura (MEV), da tabela de código de cores e da autonomia na montagem dos circuitos, na fabricação dos resistores e na escolha dos materiais utilizados durante o projeto concedeu aos alunos a possibilidade de realizar decisões de forma crítica e participativa diante das problemáticas criadas e possibilitaram o entendimento de como funciona a ciência.

Ao fim deste trabalho é possível concluir que a utilização da metodologia de ensino por investigação gerou resultados positivos na formação dos discentes, pois estes participaram ativamente do seu processo de aprendizagem e trabalharam em grupo realizando discussões ao longo de toda atividade. Esta atividade também contribuiu para a formação profissional do discente, visto que este pode ter contato com uma metodologia diferente da tradicional e entender como funciona a experimentação investigativa, podendo utilizá-la futuramente quando docente. Enfatizamos a relevância do uso de diferentes metodologias no curso de licenciatura, que proporcionem um leque maior de conhecimento de novos métodos aos discentes.

Esta prática demonstrou ter uma grande utilidade de aplicação no ensino de Química, visto que permite ao próprio aluno construir resistores artesanais e utilizá-los para entender melhor os conceitos aprendidos nas disciplinas. Os resistores artesanais atenderam a proposta da prática, apresentando boa estabilidade diante das variações na tensão elétrica e demonstrando potencialidade para ser utilizado como recurso didático. Porém, vemos como um obstáculo o acesso a alguns materiais como a PANi, o PPy e grafite oxidado. No caso desta atividade, o professor já tinha acesso a estes materiais o que possibilitou a utilização, mas nada impede que os materiais sejam alterados e a prática adaptada a realidade da instituição em que serão aplicados, seja ela de ensino médio ou superior. O resto dos materiais é de fácil acesso e baixo custo.

Ao final os alunos foram questionados pelo professor sobre um parecer do que foi realizado e os discentes responderam que pela primeira vez eles se sentiram autores de um trabalho no qual reuniu um assunto atual, de grande importância no cenário mundial e que foi possibilitado a eles exercitarem conhecimentos adquiridos, conceitos aprendidos e ainda, conseguiram expressar o que foi realizado de uma forma didática.

Por fim, esperamos que este relato possa incentivar o uso de experiências investigativas como alternativa as experiências laboratoriais tradicionais pautadas no acompanhamento de roteiros pré-estabelecidos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alves, S. E., Martins, S., & Sales, N. L. L. (2019). A ELETRICIDADE A PARTIR DO ENSINO POR INVESTIGAÇÃO: UMA EXPERIÊNCIA DIALÓGICA NA FORMAÇÃO CONTINUADA DE PROFESSORES. *Experiências em Ensino de Ciências*, 14(1), 290-307.

- Atkins, P. W., & Jones, L. (2012). *Princípios de química: questionando a vida moderna e o meio ambiente*. 5ª edição. Porto Alegre: Bookman.
- Azevedo, M. C. P. S. (2004). Ensino por investigação: problematizando as atividades em sala de aula. In: Carvalho, A. M. P. (Org.), *Ensino de ciências: unindo a pesquisa e a prática* (pp. 19-33). São Paulo: Pioneira Thomson Learning.
- Borges, J. F. M., Gabriel, M. C., & Prestes, R. E. (2006). Resistores não Ôhmicos à base de água. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 23(2), 267-274.
- Brasil. Ministério da Educação. (2017). *Base Nacional Comum Curricular*. Brasília: MEC. Disponível em: http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_versaofinal_site.pdf. Acesso em: 30 de dezembro de 2019.
- Brasil. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Básica. (2006). *Orientações curriculares para o ensino médio: Ciências da natureza, Matemática e suas tecnologias*, volume 2. Brasília, MEC/SEB. Disponível em: http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/book_volume_02_internet.pdf.
- Brasil. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e tecnologia. (2002). *PCN+ Ensino médio: orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais – Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias*. Brasília: MEC/SEMTEC. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/CienciasNatureza.pdf>
- De Paoli, M. A. (2001). Plásticos inteligentes. *Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola*, 2, 9-12.
- Faez, R., Reis, C., Freitas, P. S. de, Kosima, O. K., Ruggeri, G., & De Paoli, M. A. (2000). Polímeros condutores. *Química Nova na Escola*, 11(1), 13-18.
- Fazenda, I. C. A. (2011). *Integração e Interdisciplinaridade no Ensino Brasileiro: Efetividade ou Ideologia?* 6ª edição. São Paulo: Edições Loyola.
- Geim, A. K., & Novoselov, K. S. (2007). The rise of graphene. *Nature Materials*, 6, 183–191.
- Giordan, M. (1999). O papel da experimentação no ensino de ciências. *Química nova na escola*, 10(10), 43-49.
- Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (2012). *Fundamentos de física: eletromagnetismo*. 9ª edição. Rio de Janeiro: LTC, volume 3.
- Medeiros, A. A., Júnior, M. J. N., Oliveira, W. C., & Oliveira, N. S. M. (2007). *Uma estratégia para o ensino de associações de resistores em série/paralelo acessível a alunos com deficiência visual*. In: Atas do XVII Simpósio Nacional de Ensino de Física. Maranhão: São Luís.
- Mehl, H., Matos, C. F., Neiva, E. G. C., Domingues, S. H., & Zarbin, A. J. G. (2014). Efeito da variação de parâmetros reacionais na preparação de grafeno via oxidação e redução do grafite. *Química Nova*, 37(10), 1639-1645.
- Novoselov, K. S., Geim, A. K., Morozov, S. V., Jiang, D., Zhang, Y., Dubonos, S. V., Grigorieva, I. V., & Firsov, A. A. (2004). Electric Field Effect in Atomically Thin Carbon Films. *Science* 306(5696), 666–669.

- Padilla, R. M. A. (2011). *Estudo de Transporte de Carga de Polímeros de Polianilina* (Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica, PUC-Rio). Rio de Janeiro. Disponível em: <https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/colecao.php?strSecao=resultado&nrSeq=18472@1>
- Pereira, B. B. (2010). Experimentação no ensino de ciências e o papel do professor na construção do conhecimento. *Cadernos da FUCAMP*, 9(11).
- Ribas, A. S., Silva, S. C. R., & Galvão, J. R. (2010). *Utilizando tecnologias cotidianas e de baixo custo para ensinar a 2ª lei de Ohm*. In: II Simpósio Nacional do Ensino de Ciência e Tecnologia - II SINECT. Ponta Grossa: UTFPR.
- Rocha Filho, J. B. da, Salami, M. A., & Lima, V. M. R. (2007). Observando a Física da não-linearidade em um experimento simples. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 24(2), 224-232.
- Rosito, B. A. (2003). O ensino de Ciências e a experimentação. In: Moraes, R. (Org.), *Construtivismo e ensino de ciências: reflexões epistemológicas e metodológicas* (pp. 195-208). Porto Alegre: EDIPUCRS.
- Salami, M. A. (2004). *Resistores e capacitores com lápis, papel e plástico* (Dissertação de Mestrado em Ciências e Matemática, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul - PUCRS). Porto Alegre. Disponível em: <http://tede2.pucrs.br/tede2/handle/tede/3498>
- Santim, R. H. (2011). *Síntese e Caracterização de Polipirrol (PPy) obtido pelo processo químico convencional e microemulsão* (Dissertação de Mestrado do Curso de Ciência dos Materiais, Universidade Estadual Paulista – “Júlio de Mesquita Filho”). Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/91966>
- Serway, R. A., & Jewett J. R., J. W. (2013). *Física para cientistas e engenheiros: luz, ótica e física moderna*. 8ª edição. São Paulo: Cengage Learning, volume 3.
- Silva, D. da, & Lattouf, R. (1996). Eletricidade: atividade de ensino coerente com um modelo construtivista. *Pro-posições*, 7(1), 41-57.
- Silva, R. R. da., Machado, P. F. L., & Tunes, E. (2010). Experimentar sem medo de errar. In: Santos, W. L. P. dos., & Maldaner, O. A. (Orgs.), *Ensino de química em foco* (pp. 231-261). Ijuí: Ed. Unijuí.
- Svoboda, J., & Dorf, R. (2003). *Introdução aos Circuitos Elétricos*. 5ª edição. Rio de Janeiro: LTC.
- Wallace, P. R. (1947). The band theory of graphite. *Physical Review*, 71(9), 622-634.
- Wu, Z. S., Zhou, G., Yin, L. C., Ren, W., Li, F., & Cheng, H. M. (2012). Graphene/metal oxide composite electrode materials for energy storage. *Nano Energy*, 1(1), 107-131.
- Zucco, C., Pessine, F. B., & Andrade, J. B. D. (1999). Diretrizes curriculares para os cursos de química. *Química Nova*, 22(3), 454-461.