

---

# RESISTORES NÃO ÔHMICOS À BASE DE ÁGUA<sup>+</sup>\*

---

*José Flávio Marcelino Borges*

Departamento de Física

Universidade Estadual de Ponta Grossa

*Melina Corrêa Gabriel*

*Raphael Euclides Prestes Salem*

Alunos de Iniciação Científica do Depto de Física – UEPG

Ponta Grossa – PR

## Resumo

*No Laboratório de ensino de Física Geral II, experimentam-se os conceitos, já trabalhados na teoria, de resistência elétrica e resistividade. Uma maneira simples e eficaz de verificar resistências não ôhmicas foi explorada por alunos de Iniciação Científica dos cursos de Licenciatura em Física e de Engenharia de Materiais da Universidade Estadual de Ponta Grossa. Nesse experimento, os alunos preencheram tubos plásticos descartáveis de filmes comerciais com água e soluções aquosas de NaCl e NaHCO<sub>3</sub>. Adequadamente perfurados, os tubos foram transpassados com pregos para fazer os contatos entre o meio fluido interno. Esses resistores à base de água foram submetidos a tensões variáveis a partir de um circuito composto por voltímetro, amperímetro e fonte de tensão variável. A partir dos dados obtidos foram traçados gráficos de  $i \times V$ , observando-se o comportamento ôhmico resultante.*

**Palavras-chave:** *Ensino de Física, experimentação, comportamento ôhmico.*

## Abstract

---

<sup>+</sup> Non ohmic resistors on water

<sup>\*</sup> *Recebido: outubro de 2005.  
Aceito: março de 2006.*

*In the Physics Laboratory to physicists and engineer students, the concepts studied in theory are experimentally realized as concepts about electric resistance, resistivity and ohmicity. A very simple and efficient way to observe ohmic behavior of resistances was found out by Physics and Engineering students of Universidade Estadual de Ponta Grossa. In this experiment, plastic and discardable tubes of commercial photographic films were filled up with water and water solutions with NaCl and NaHCO<sub>3</sub>. These tubes were properly perforated with nails to make the contacts with the fluid. After that, the water resistors samples were submitted to the circuit with variable voltage beam and, from the necessary measures made, were draught  $i \times V$  graphs and noticed the resultant ohmic behavior.*

**Keywords:** *Teaching of physics, experimentation, ohmic behavior.*

## **I. Introdução**

Em todo o mundo, a maioria das atividades realizadas durante as aulas do ensino médio ainda é baseada nas clássicas apresentações feitas pelo professor na forma de seminários. Grande parte dos cursos é centrada nas aulas teóricas, em que apenas uma pequena porcentagem dos estudantes tem a chance de explorar algum tipo de demonstração prática ou experimentação. Ainda nos melhores casos, o aprofundamento é muito superficial<sup>1</sup>. Ao contrário desta tendência, a Física sempre esteve muito ligada aos procedimentos e práticas experimentais, tanto que se acredita que ela, dentre as ciências naturais, sempre foi, e continua sendo, aquela que tem uma relação bastante estreita com atividades ligadas ao laboratório. Esse pensamento tornou-se tão fortemente arraigado que levou à introdução ao laboratório nos cursos de Física, pois, se para fazer Física é preciso do laboratório, então, para aprender Física ele também é necessário<sup>2</sup>. Observa-se que a assimilação dos conceitos de Física, tanto os mais simples quanto os mais sofisticados, pode ser facilitada com a experimentação.

Apesar dos conceitos de resistência e resistividade serem de fácil entendimento para a maioria dos estudantes do ensino médio, pode haver falta de sincronismo entre o conhecimento teórico e o aplicado<sup>3</sup>. Nesse caso, os professores podem decidir proporcionar a seus alunos práticas experimentais que enfatizem a

descrição qualitativa dos fenômenos, reforçando as relações de interdependência das variáveis resistência, resistividade, comprimento e área de secção reta dos condutores.

Desse modo, apresentamos um trabalho realizado com resistores confeccionados pelos próprios alunos com materiais reciclados simples: tubos descartáveis de filmes fotográficos preenchidos com líquidos como água adicionada com sais minerais.

Observa-se que o procedimento de trabalhar com resistores à base de água traz algumas vantagens ao processo ensino-aprendizagem:

- viabiliza ao aluno construir de forma lúdica seus próprios resistores;
- faz o aluno perceber os fatores que alteram a resistência, como geometria do invólucro, espaçamento entre os eletrodos (pregos), etc.;
- permite o uso de um resistor oco, com geometria padrão, para avaliar as propriedades resistivas de diferentes líquidos;
- ensina a interpretar gráficos  $i \times V$  e visualizar as diferenças entre resistores ôhmicos e não- ôhmicos;
- permite ao professor de Física desenvolver um trabalho multidisciplinar com professores, por exemplo de Química, no momento da avaliação das propriedades resistivas de uma certa solução com diferentes composições estequiométricas de sais, etc.; e
- possibilita ao aluno usar outros invólucros para que sejam observados efeitos de fatores geométricos, tais como secção reta e a distância entre terminais.

Ainda, os resistores criados podem ser associados em série ou em paralelo bem como participar de circuitos RL, RC e RLC.

## II. Introdução teórica

As cargas móveis que constituem uma corrente elétrica, aceleradas por uma diferença de potencial (ddp), realizam colisões contra os átomos ou moléculas de um condutor. Desta forma, observa-se uma oposição oferecida pelo condutor à passagem de corrente elétrica através dele. Essa oposição poderá ser maior ou menor, dependendo da natureza do material submetido à diferença de potencial. Para caracterizar a oposição que um condutor oferece à passagem da corrente, define-se uma grandeza denominada resistência elétrica,  $R^4$ . Observa-se que, quanto maior o comprimento  $L$  do material condutor, maior a resistência  $R$  e esta resistência elétrica depende também da área de secção reta  $A$  por onde passa a

corrente nesse condutor. A natureza do material é um aspecto importante a ser observado no que se refere à resistência elétrica, porque a resistividade  $\rho$  de cada estrutura depende de alguns aspectos como arranjo cristalino, livre caminho médio, número de impurezas e defeitos entre dois pontos.

A relação entre todos os elementos mencionados acima na determinação da resistência elétrica  $R$  de um condutor pode ser expressa por:

$$R = \rho \frac{L}{A}.$$

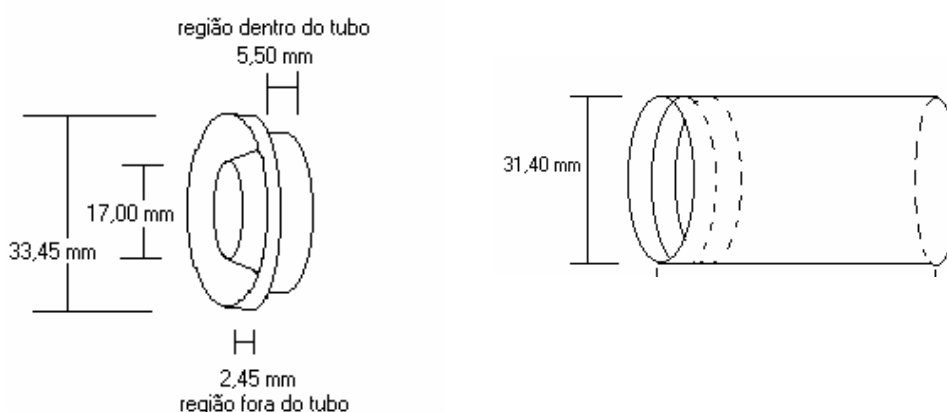
Para os condutores ôhmicos, ou seja, os que possuem resistência constante independente do módulo e da polaridade da diferença de potencial aplicada, a expressão  $V = R i$  pode ser usada como definição de  $R$  e mostra que a tensão aplicada em um determinado material é proporcional à corrente que por ele passa. O valor  $R$  (resistência) é a constante de proporcionalidade dessa relação. Construindo-se um gráfico  $i \times V$ , para um condutor ôhmico, obtém-se uma reta passando pela origem. A inclinação deste gráfico fornece o valor da resistência  $R$  do condutor. Se o condutor não obedecer à lei de Ohm, o gráfico  $i \times V$  não será retilíneo, podendo apresentar diversos aspectos, dependendo da natureza do condutor<sup>5</sup>.

A condução de carga elétrica nos líquidos é feita de maneira diferente da corrente nos metais. Quando dissolvemos NaCl em água, por exemplo, os íons  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$ , que formam os cristais desta substância, tornam-se praticamente livres no líquido. Como esses íons estão livres, quando se aplica um campo elétrico, eles se deslocam em sentidos contrários. Esse movimento de cargas negativas para um lado e cargas positivas para outro constitui uma corrente elétrica equivalente àquela que passa nos trechos metálicos de um circuito. Nos líquidos, os átomos não estão tão coesos como nos corpos sólidos, por isso, ao introduzirmos os eletrodos negativo e positivo no interior de um líquido qualquer, os átomos recebem os impulsos dos elétrons livres que participam do fluxo da corrente elétrica. Nesse momento, estes átomos começam a perder elétrons e, por conseqüência, tornam-se eletricamente positivos. São, portanto, atraídos para o eletrodo negativo. Já os elétrons que se libertaram dos átomos do líquido, por serem naturalmente negativos, são atraídos pelo eletrodo positivo. Assim, em um líquido, teremos duas correntes de partículas de sentidos contrários: esse fenômeno recebe o nome genérico de eletrólise<sup>5</sup>. Usando esses conceitos básicos e com o intuito de verificar, didaticamente, o comportamento ôhmico de líquidos a partir da construção de gráficos  $i \times V$ , resistores foram feitos com tubos descartáveis de filmes fotográficos comerciais preenchidos com água e solução aquosa de NaCl e  $\text{NaHCO}_3$ .

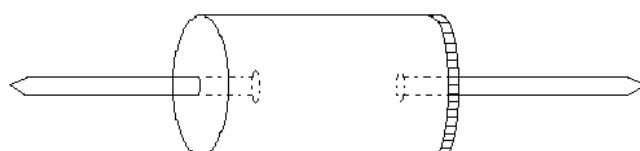
### III. Procedimento experimental

Para a medida da resistividade de líquidos, objetivo deste trabalho, foram utilizados cinco pequenos tubos brancos semitransparentes de filme fotográfico com suas respectivas tampas, doze pregos grandes, cabos conectores, fonte elétrica e multímetros, além das substâncias cujas resistências foram medidas.

A Fig. 1 mostra o formato dos tubos fotográficos com tampa e suas medidas e na Fig. 2 vê-se o formato final dos resistores.



*Fig. 1 - Formato dos tubos descartáveis de filmes fotográficos com tampa e suas medidas.*



*Fig. 2 - Formato final dos resistores à base de água. O tubo é lacrado e dois pregos traspassam a tampa e o fundo do tubo.*

O primeiro passo deste experimento foi a montagem dos resistores. Para isso, todos os tubos e tampas foram lavados com detergente e esponja e enxaguados com água da torneira. Após, os tubos, as tampas e os pregos foram limpos com álcool e bem secos com papel toalha.

Os pregos, de comprimento (com a cabeça) igual a 69,50 mm e diâmetro do corpo de 3,50 mm, foram colocados nas extremidades dos tubos (tampa e base inferior) por meio de furos, deixando-se 15,00 mm dos pregos para

dentro dos tubos (o lado da cabeça). Os furos pelos quais passaram os pregos foram vedados com cola de silicone pelo lado de fora para não afetar as medidas de tensão e corrente das amostras.

Ao todo foram preenchidos cinco tubos plásticos: um com água de torneira, dois com soluções de água destilada com bicarbonato de sódio em concentrações diferentes e os últimos dois com água destilada com cloreto de sódio nas mesmas concentrações dos dois anteriores.

Finalmente, usamos um multímetro digital da Minipa (modelo ET 1501) com resolução de  $10 \Omega$  e precisão de 0,5% na faixa de  $20k \Omega$  e resolução de  $1k \Omega$  com precisão de 1,0% na faixa de  $2M \Omega$ , para medir a resistência equivalente.

Na tabela I, são mostradas as resistências medidas e as resistividades calculadas de cada um dos resistores, a partir da equação  $R = \rho \frac{L}{A}$ , na qual  $L$  (o espaço entre um prego e outro dentro do tubo) e  $A$  (área da secção reta do tudo) foram medidos pelos alunos. A resistência lida pelo multímetro tem um comportamento estável porque o aparelho fornece uma tensão fixa de aproximadamente 0,71V sobre a resistência lida.

Tabela I - Resistências medidas com multímetro e as resistividades calculadas de cada um dos resistores.

Resistor	Soluções	Resistências	Resistividades
1	água destilada + 1g de Bicarbonato de sódio	$895 \text{ k}\Omega \pm 1\%$	$3,73 \times 10^4 \Omega\text{m}$
2	água destilada + 0,3g de Bicarbonato de sódio	$2,0 \text{ k}\Omega \pm 0,5\%$	$472 \Omega\text{m}$
3	água destilada + 1g de cloreto de sódio	$1,88 \text{ k}\Omega \pm 0,5\%$	$464 \Omega\text{m}$
4	água destilada + 0,3g de cloreto de sódio	$1,4 \text{ k}\Omega \pm 0,5\%$	$100 \Omega\text{m}$
5	água comum de torneira	$10 \text{ k}\Omega \pm 0,5\%$	$4,173 \times 10^2 \Omega\text{m}$

O próximo passo foi montar um circuito com cada resistor contendo um amperímetro em série, um voltímetro em paralelo e uma fonte de tensão variável. O desenho ilustrativo da montagem do circuito é apresentado na Fig. 3.

Após a montagem do circuito, foi então variada de 0 a 12 volts a tensão (ddp) na fonte, com um  $\Delta V$  de 0,4 a 0,4 V e observada a variação da corrente  $i$ .

A fonte usada foi a Mod. 602 da MMECL, que tem uma precisão estimada em décimos de volts. Para a observação da ddp aplicada paralelamente aos resistores, foram usados multímetros digitais da Minipa, modelo ET 1501, que têm uma resolução de 1mV (até 2V) e de 10mV (de 2 a 20 volts), com precisão de 0,5%. Para leitura da corrente através dos resistores, foram utilizados multímetros da mesma marca com resolução de 1 $\mu$ A (até 2 mA) e de 100 $\mu$ A (na faixa de 200mA), com a precisão de 0,8% e 1,2 %, respectivamente.

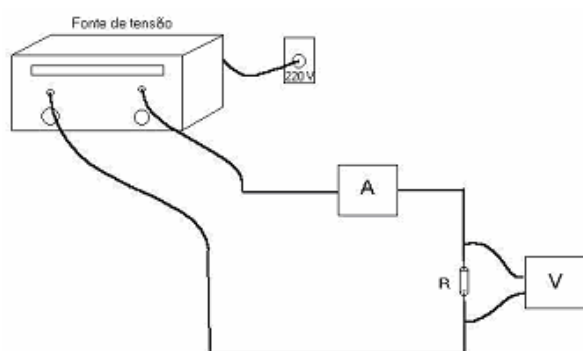


Fig. 3 - Desenho ilustrativo da montagem do circuito com os resistores à base de água. Nessa figura vê-se uma fonte de tensão, um amperímetro (A) ligado em série com o resistor e um voltímetro (V).

A última etapa deste projeto foi a construção de gráficos  $i \times V$ , a partir dos dados obtidos para a interpretação do comportamento resistivo dos resistores.

#### IV. Dados obtidos e avaliação dos resultados

Nas Fig. 4, 5 e 6 observam-se exemplos de gráficos  $i \times V$ , construídos a partir dos dados dos valores de corrente e tensão coletados para os resistores preenchidos com água de torneira, 0,3g de NaCl e 0,3g de NaHCO<sub>3</sub>, respectivamente.

Pôde-se perceber que os resistores à base de água da torneira tiveram um comportamento não-ôhmico típico, com valores relativamente altos de resistências.

No caso dos resistores com soluções de sais, à medida que se aumenta a tensão, começa a ocorrer a eletrólise, um comportamento que, apesar de esperado, altera significativamente o resultado das resistências, principalmente em regiões de tensão superior a 8 volts. O gráfico do resistor com 0,3g de NaCl (Fig. 5) apresenta uma região de variação aproximadamente linear entre 1 e 7 volts, portanto, a resistência é aproximadamente constante. Da mesma forma, o gráfico do resistor com 0,3g de NaHCO<sub>3</sub> (Fig. 6) apresenta essa linearidade entre 3 e 7 volts. Neste último, vemos uma discrepância nos dados coletados com valor inferior a 2 volts. A razão para esta discrepância é que estes são típicos dados coletados por alunos, durante uma aula de laboratório, e plotados sem nenhum refinamento.

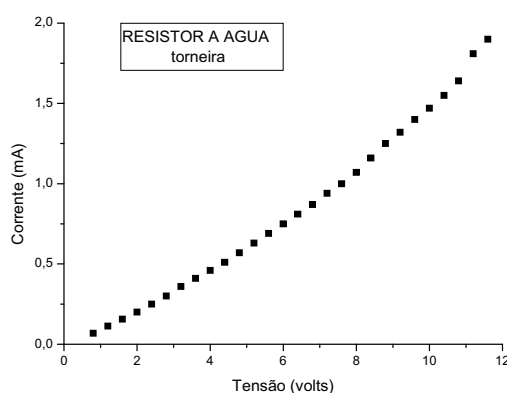


Fig. 4 - Gráfico  $i \times V$  de resistores à base de água de torneira.

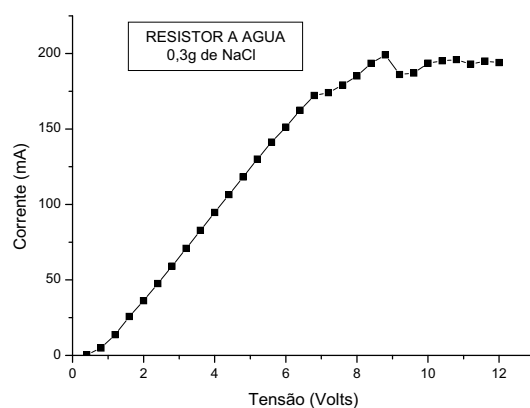


Fig. 5 - Gráfico  $i \times V$  de resistores à base de água com adição de NaCl.



No caso dos resistores com soluções de sais, à medida que se aumenta a tensão, começa a ocorrer a eletrólise, um comportamento que, apesar de esperado, altera significativamente o resultado das resistências. Esta alteração se faz perceber principalmente em regiões de tensão superior a 8 volts. O gráfico do resistor com 0,3g de NaCl (Fig. 5) apresenta uma região de variação aproximadamente linear entre 1 e 7 volts, portanto a resistência é aproximadamente constante. Da mesma forma, o gráfico do resistor com 0,3g de NaHCO<sub>3</sub> (Fig. 6) apresenta esta linearidade entre 3 e 7 volts. Neste último, vemos uma discrepância nos dados coletados abaixo de 2 volts. A razão para esta discrepância é que estes são típicos dados coletados por alunos, durante uma aula de laboratório, e plotados sem nenhum refinamento.

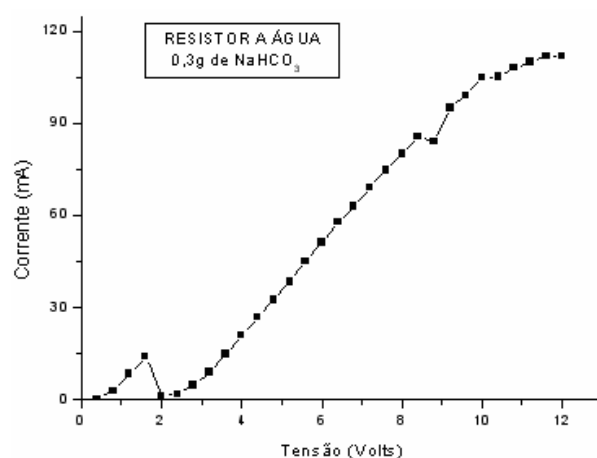


Fig. 6 - Gráfico  $i \times V$  de resistores à base de água com adição de NaHCO<sub>3</sub>.

À medida que se aumentou a concentração dos sais na água, aumentou a corrente e diminuiu a resistência. Devido ao aumento da eletrólise na solução, muitos resistores começaram a vazar e, com este vazamento nos tubos, perdeu-se o sentido dos resultados, chegando-se a gráficos com muitas variações, principalmente em regiões de tensões superiores a 8 volts.

## V. Conclusões

É possível construir resistores à base de água a partir de tubos descartáveis de filmes fotográficos e obter resultados experimentais coerentes.

A tensão de 8 volts parece ser o limite após o qual a solução começa a reagir fortemente com o metal do prego usado como eletrodo nos resistores, fazendo com que a resistência oscile.

Os resistores à base de água de torneira e com baixa concentração de sais se mostraram mais adequados para este trabalho didático.

As medidas repetidas, inclusive dias depois, apresentaram grande grau de reprodutibilidade, mostrando que, mesmo com a evolução das reações químicas dentro do resistor, devido à eletrólise, as curvas das resistências se mantêm aproximadamente inalteradas.

Pode ser feito um trabalho, não mostrado aqui, da variação da concentração de sais na água pela resistência adquirida, fazendo com que os alunos construam e observem gráficos de  $R \times$  concentração.

## **Bibliografia**

<sup>1</sup> FERRARI, T. B.; HARA, S. H.; AZIANI, J. L.; ROCHA, L.; DE PAULA E.; MULATO, M. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 24, n. 3, p. 296-305; 2002.

<sup>2</sup> FILHO, J. P. A. **Caderno Catarinense de Ensino em Física**, v. 17, n. 2, p. 174-188; 2000.

<sup>3</sup> FILHO, J. B. R.; COELHO, S.; SALAMI, M.; MACIEL, M. R.; SCHRAGE, P. U. **Caderno Catarinense de Ensino em Física**, v. 20, n. 2, p. 228-236, 2003.

<sup>4</sup> MÁXIMO, A.; ALVARENGA, B. **Curso de Física**. 5. ed. Ed. Scipione, 2000. v. 3.

<sup>5</sup> PARANÁ, D. N. S. **Física: Eletricidade**. 6. ed. Ed. Ática, 1998. v. 3.