MEDIÇÃO DA RESISTIVIDADE ELÉTRICA EM CONDUTORES METÁLICOS

Measurement of electrical resistivity in metallic conductors

BERNARDI, Luis Otavio
Colégio Porto Seguro

PANTANO FILHO, Rubens
Faculdade de Tecnologia César Lattes

Resumo: A resistividade elétrica é uma importante característica dos materiais, uma vez que diferentes materiais também apresentam diferentes valores de resistividade. Esses valores podem indicar se o material é condutor, semicondutor ou isolante elétrico. Os condutores metálicos são os que apresentam menores valores de resistividade. A resistência elétrica de um fio condutor depende diretamente da resistividade do material que o constitui. Algumas substâncias, como metais e água salgada, conduzem bem a eletricidade. Outras, como a borracha, o plástico e o vidro, resistem ao fluxo de eletricidade. Esse fato está diretamente relacionado com a resistividade desses materiais. Medições de resistividade são importantes em vários ramos da Engenharia, tal como as análises de solos. As propriedades elétricas do solo podem ser medidas de várias maneiras diferentes, existindo vários métodos de medição. As características das rochas, por exemplo, podem ser avaliadas pela medição da resistividade das mesmas, segundo técnicas especializadas. O inverso da resistividade é denominado condutividade. As medições de condutividade são feitas principalmente em processos industriais para obter informações sobre concentrações iônicas totais (por exemplo, compostos dissolvidos) em soluções aquosas. Algumas das aplicações mais extensamente usadas são a purificação da água e a medição dos níveis de concentração em soluções. Assim, o principal objetivo desse trabalho consiste em determinar a resistividade de um condutor metálico pela avaliação da tensão e da intensidade de corrente nele estabelecidos, bem como de suas características geométricas.

Palavras-chave: resistividade elétrica, condutividade, tensão elétrica, corrente elétrica.

ABSTRACT: The electrical resistivity is an important characteristic of the materials, since different materials also have different values of resistivity. These figures may indicate whether the material is conductive, semiconductive and insulating electric. The metallic conductors are those with lower values of resistivity. The electrical resistance of a thread depends directly on the resistivity of material that is. Some substances, like metals and salt water, well lead to electricity. Others, such as rubber, plastic and glass, resist the flow of electricity. This fact is directly related to the resistivity of these materials. Measurements of resistivity are important in various branches of Engineering, as the analysis of soils. The electrical properties of the soil can be measured in many different ways, there are several methods of measurement. The characteristics of the rocks, for example, can be assessed by measuring the resistivity of the same, the second technical expertise. The inverse of resistivity is called conductivity. Measurements of conductivity are made mainly in industrial processes to obtain information on total ionic concentrations (eg dissolved compounds) in aqueous solutions. Some of the most widely used applications are water purification and measurement of concentration levels in solutions. Thus the main purpose of this study is to determine the resistivity of a metal driver for assessing the intensity of voltage and current it down, as well as its geometrical characteristics.

Keywords: electrical resistivity, conductivity, electrical voltage, electrical current.

1. Introdução

Na Grécia antiga, por volta de 600 a.C., Tales de Mileto realizou algumas experiências com âmbar (resina sólida fossilizada proveniente das árvores). Assim, ele descobriu que a barra de âmbar, quando atritada com a pele de animal, adquiria a propriedade de atrair pequenos pedaços de palha. De certa forma, pode-se dizer que esses foram os primeiros fenômenos elétricos estudados. A palavra eletricidade se origina do vocábulo *elektron*, palavra grega para designar o âmbar. A partir da segunda metade do século XVIII, a eletricidade teve seus conhecimentos sistematizados.

Charles Augustin Coulomb, Karl Friedrich Gauss, George Simon Ohm, Michael Faraday e James Clerk Maxwell, importantes pensadores dos séculos XVIII e XIX, notabilizaram-se pelas suas contribuições ao estudo da eletricidade e do magnetismo, imortalizando seus nomes na história da ciência. Dentre outras, há uma importante relação entre grandezas elétricas, denominada Lei de Ohm, muito útil na análise de circuitos elétricos.

Hoje, sabe-se que a eletricidade está presente a todo tempo ao nosso redor e em nós mesmos. Na natureza, a eletricidade pode ser observada, por exemplo, numa grande descarga elétrica. No corpo humano, também se pode observar a eletricidade, tal como nos impulsos elétricos do olho para o cérebro: nas células da retina existem substâncias químicas que são sensíveis à luz; quando uma imagem se forma na retina estas substâncias produzem impulsos elétricos que são transmitidos ao cérebro. Muitos outros efeitos que cotidianamente presenciamos ao nosso redor são, no fundo, resultados de forças eletromagnéticas. Por exemplo, plantas verdes absorvem a luz solar - que é uma onda eletromagnética - e convertem a energia em energia potencial eletromagnética sob a forma de moléculas de carboidrato, a base de quase toda a vida na Terra. Daí a importância do estudo dos fenômenos elétricos.

Em seus trabalhos cotidianos, pesquisadores, engenheiros e outros profissionais das mais variadas áreas do conhecimento humano têm necessidade de conhecer as características dos materiais que serão empregados em seus projetos de pesquisa ou de aplicação. Nesse contexto, também estudar e analisar as propriedades elétricas dos materiais é, na maioria das vezes, fundamentalmente necessário.

Resistividade e condutividade são duas das principais propriedades elétricas de materiais, permitindo-nos caracterizar se os mesmos são bons ou maus condutores de eletricidade. Essas duas grandezas também têm uma dependência com a temperatura dos materiais. O estudo de suas características permite uma melhor compreensão dos fenômenos elétricos, bem como a escolha adequada de materiais elétricos para determinados fins.

Assim, este trabalho tem como objetivo principal a determinação da resistividade elétrica de um condutor metálico, por intermédio da Lei de Ohm, utilizando as medições de tensões e intensidades de correntes elétricas nele estabelecidas, bem como analisar as influências de suas características geométricas nas propriedades resistivas do mesmo.

2. Revisão bibliográfica

2.1. Resistividade

A velocidade de migração dos elétrons em um fio metálico com corrente está relacionada com o campo elétrico no fio. Se a intensidade do campo for aumentada, aumenta-se a intensidade da força elétrica sobre os elétrons e a velocidade de migração também aumenta (SERWAY; JEWETT JR., 2002). Assim, pode-se verificar experimentalmente que em um metal, à temperatura constante, a densidade de corrente **J** é diretamente proporcional ao campo elétrico **E** aplicado, ou seja:

$$\vec{J} = \sigma\vec{E} \qquad (1)$$

Na equação (1) acima, σ é uma constante denominada condutividade. Dessa forma, quanto maior for a condutividade de um material menor deve ser a intensidade do campo elétrico **E** para criar uma mesma densidade de corrente **J**. Algumas vezes, σ pode depender do campo elétrico aplicado. No Sistema Internacional de Unidades, a unidade de σ é $(A/m^2)/(V/m)$, ou então, (A/V)/m, o que equivale à siemens por metro (S/m).

Em geral, os “bons” metais apresentam condutividades altas. Por “bons” metais se entendem os metais que apresentam senão todas, pelo menos a maior parte das propriedades metálicas, tais como a ductilidade e brilho, além de propriedades químicas claramente metálicas, como a valência exclusivamente positiva (EISBERG; LERNER, 1983). O recíproco da condutividade é denominado de resistividade ρ. Assim, pode-se escrever:

$$\rho = \frac{1}{\sigma} \qquad (2)$$

A unidade de resistividade é o inverso da unidade de condutividade, ou seja, metro por siemens (m/S). Agora, utilizando a equação (2), pode-se reescrever a equação (1) da seguinte forma:

$$\vec{E} = \rho \vec{J} \qquad (3)$$

De acordo com a definição de resistividade elétrica**, ρ** é uma característica específica de cada substância e não de uma amostra particular da mesma (HALLIDAY; RESNICK, 1984). Quanto melhor condutor for o material, tanto menor será sua resistividade. De um modo geral, os metais são as substâncias que apresentam menores resistividades. A resistividade de um material depende, entre outras coisas, da temperatura. Em geral, a resistência dos metais aumenta com a temperatura. Isto está em acordo com o fato de que o aumento da temperatura faz com que os átomos vibrem mais rapidamente no material, promovendo com isto o aumento do número de "colisões" entre os mesmos e os elétrons livres. Na Tabela 1, a seguir, são apresentados alguns valores característicos de resistividades de alguns materiais.

Tabela 1 – Resistividade de alguns materiais.

Material	Resistividade ρ (m/S)
Condutores	
Prata	$1{,}58.10^{-8}$
Cobre	$1{,}67.10^{-8}$
Alumínio	$2{,}65.10^{-8}$
Tungstênio	$5{,}60.10^{-8}$
Ferro	$9{,}71.10^{-8}$
Semicondutores	
Carbono (grafite)	$(3 - 60).10^{-5}$
Germânio	$(1 - 500).10^{-3}$
Silício	0,1 – 60
Isolantes	
Vidro	$10^{9} - 10^{12}$
Borracha	$10^{13} - 10^{15}$

Fonte: http://www.unb.br/iq/kleber/EaD/Eletromagnetismo/Resistividade/Resistividade.html.

2.2. Leis de Ohm

Retomando a equação (1) e integrando ambos os lados da mesma em um percurso ao longo do condutor, tem-se:

$$\int_a^b \vec{E} \cdot d\vec{\ell} = i \int_a^b \frac{\rho}{A} d\ell \qquad (4)$$

onde o vetor $\vec{dl}$ é paralelo a $\vec{J}$. Dessa forma, a integral do lado esquerdo pode ser reescrita da seguinte forma:

$$\int_a^b \vec{\nabla} V \cdot d\vec{\ell} = -\int_a^b \vec{E} \cdot d\vec{\ell} = V_b - V_a = V_{ab} \qquad (5)$$

A integral do lado direito da equação (4) é denominada resistência elétrica do condutor, ou seja:

$$R = \frac{\rho L}{A} \qquad (6)$$

Na equação (6), também denominada 2ª Lei de Ohm, **L** representa o comprimento do condutor e **A** sua área de secção transversal, conforme ilustração da Figura 1.

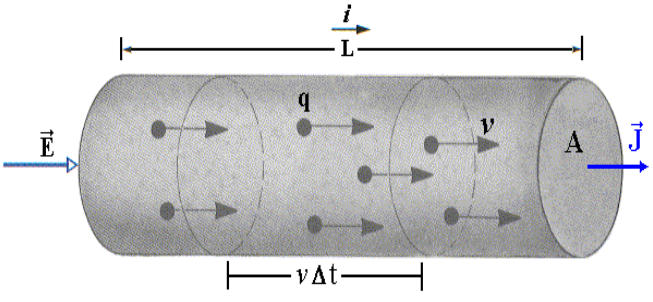

Figura 1 – Ilustração de um condutor metálico.

 ISSN 1679-8902

A equação (6) mostra que a resistência elétrica depende das características geométricas do condutor, bem como de sua resistividade. Esta equação está de acordo com o que se observa experimentalmente, ou seja, condutores feitos do mesmo material, mas que diferem pelos comprimentos e pelas áreas das seções transversais apresentam diferentes resistências ao movimento dos elétrons. Também é possível verificar que apresentam maior resistência elétrica aqueles de maior comprimento L, com a mesma seção transversal, ou seja:

$$L_2 > L_1 \quad \Rightarrow \quad R_2 > R_1 \qquad (7)$$

Por outro lado, para condutores de mesmo comprimento, apresenta maior resistência o condutor de menor área de seção transversal.

$$A_3 > A_2 \quad \Rightarrow \quad R_3 > R_2 \qquad (8)$$

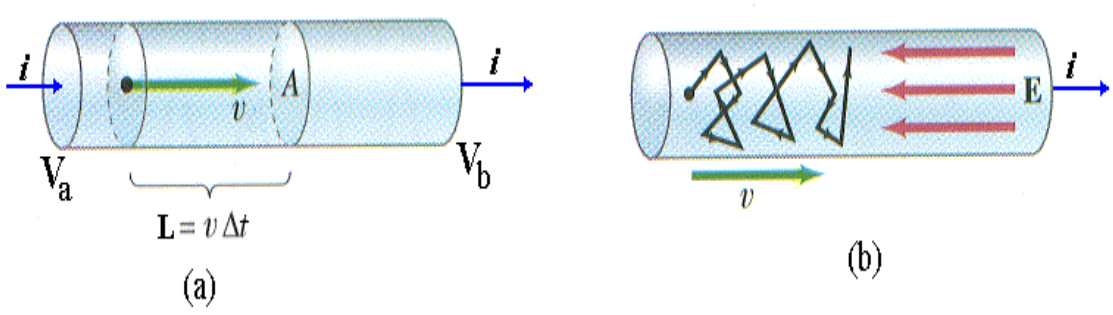

Figura 2 – Ilustração da resistência à passagem de elétrons no interior do condutor.

Utilizando-se a definição estabelecida pela equação (6), pode-se voltar à equação (4) e escrevê-la na forma:

$$V_{ab} = iR \qquad (9)$$

No Sistema Internacional de Unidades, a resistência **R** do condutor é medida em (volt/ampère) ou ohm (Ω). Para muitos materiais, incluindo os metais, experimentos mostram que a resistência é constante para grande parte das voltagens aplicadas. Esse comportamento é conhecido como 1ª Lei de

Ohm. Os materiais ou dispositivos que obedecem à Lei de Ohm são denominados ôhmicos. Assim, para esses materiais há uma relação linear entre a voltagem aplicada e a intensidade de corrente estabelecida (SERWAY, JEWETT JR., 2002).

As duas Leis de Ohm não valem apenas para os metais. De modo aproximado, elas valem também para a maioria dos materiais sólidos, inclusive os maus condutores de eletricidade (AMALDI, 1995). Convém também ressaltar que o âmbito da validade da equação (9) pode ser muito limitado para justificar o termo “lei”. Não é um enunciado fundamental sobre a natureza, como o é, por exemplo, a Lei de Coulomb. Na verdade, é uma expressão empírica que descreve com precisão o comportamento de muitos materiais numa faixa de valores de tensão tipicamente encontrados nos circuitos elétricos (KELLER, GETTYS e SKOVE, 1999).

3. Materiais e Métodos

Para determinação da resistividade, utilizou-se um fio de material metálico, com 11 m de comprimento, disposto em torno de um suporte de madeira de forma cúbica, com arestas de comprimentos 25 cm, de modo que a extensão de cada volta em torno da armação correspondia a 1 metro do comprimento fio, conforme ilustração da Figura 3.



Figura 3 – Ilustração do suporte com o condutor.

Para alimentar o circuito montado, utilizou-se uma fonte de tensão, marca MINIPA, modelo MPC 3003D, conforme ilustração na Figura 4.



Figura 4 – Ilustração fonte de tensão utilizada.

A primeira extremidade do fio metálico foi conectada em uma fonte de tensão, utilizando-se um resistor R = 330 Ω como limitador de corrente, conforme esquema ilustrado na Figura 5.

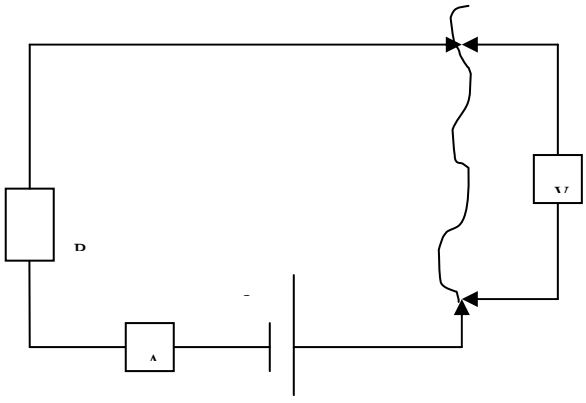

Figura 5 – Ilustração do circuito utilizado.

Inicialmente, ajustou-se a fonte de tensão de modo a manter uma corrente de intensidade constante da ordem de 9 mA. Em seguida, a outra conexão entre a fonte e o fio ocorreu em um ponto de sua extensão correspondente a 1 m do mesmo, medindo-se então a tensão estabelecida. Depois disso, variando-se o comprimento de 1 em 1 m a partir da primeira extremidade, as medições de tensão e de intensidade de corrente foram feitas por meio de multímetros, marca DAWER, modelo DM 3340. Numa segunda etapa, retirou-se o resistor R limitador de corrente, ajustando-se a fonte para manter uma corrente de intensidade da ordem 100 mA.

Além desses dois procedimentos, mediu-se também diretamente a resistência elétrica do condutor, para os diferentes comprimentos, utilizando-se o multímetro. Com um micrômetro, marca MITUTOYO, mediu-se também o diâmetro do fio metálico.

4. Resultados e discussão

4.1. Resultados

Os resultados obtidos para as tensões e intensidades de corrente elétrica estão mostrados na Tabelas 2; nesse caso, utilizando-se o resistor R limitador de corrente.

Tabela 2 – Tensão e intensidade de corrente no condutor (com resistor de limitação).

L (m)	U (volt)	I (mA)
1	3,045	8,78
2	3,158	8,72
3	3,208	8,60
4	3,334	8,60
5	3,450	8,60
6	3,557	8,49
7	3,780	8,39
8	3,840	8,22
9	3,912	8,14
10	4,030	8,06
11	4,150	8,02

 ISSN 1679-8902

Os valores da Tabela 2 também estão mostrados no gráfico da Figura 6.

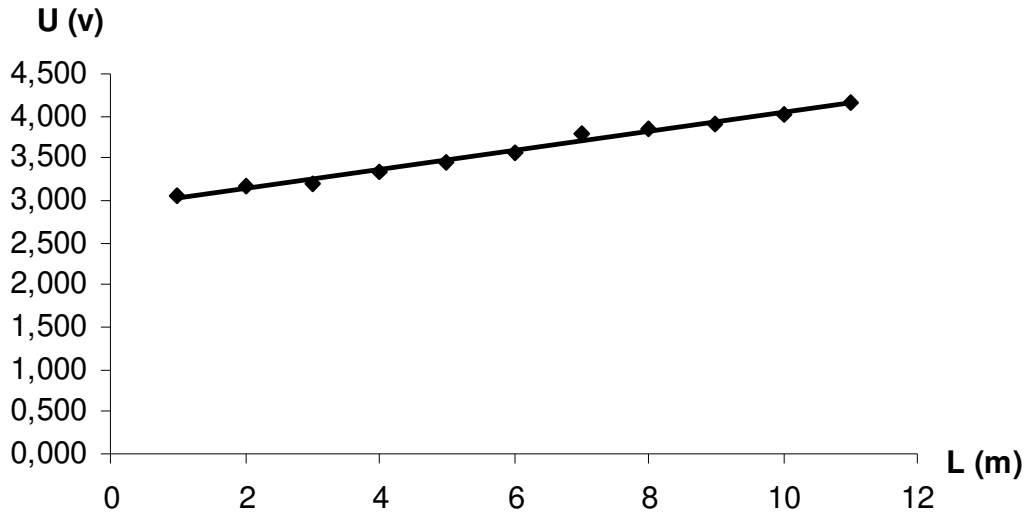

Figura 6 – Gráfico da tensão em função do comprimento do condutor (com limitador).

Da mesma forma, a Tabela 3 mostra os resultados obtidos para a mesma situação sem o resistor R limitador de corrente.

Tabela 3 – Tensão e intensidade de corrente no condutor (sem resistor de limitação).

L (m)	U (volt)	I (mA)
1	1,817	113,4
2	3,578	113,1
3	5,290	112,6
4	7,020	112,5
5	8,750	112,3
6	10,470	112,0
7	13,870	111,2
8	15,540	110,9
9	17,230	110,6
10	18,900	110,3
11	20,600	110,0

Os valores da Tabela 3 estão mostrados no gráfico da Figura 7.

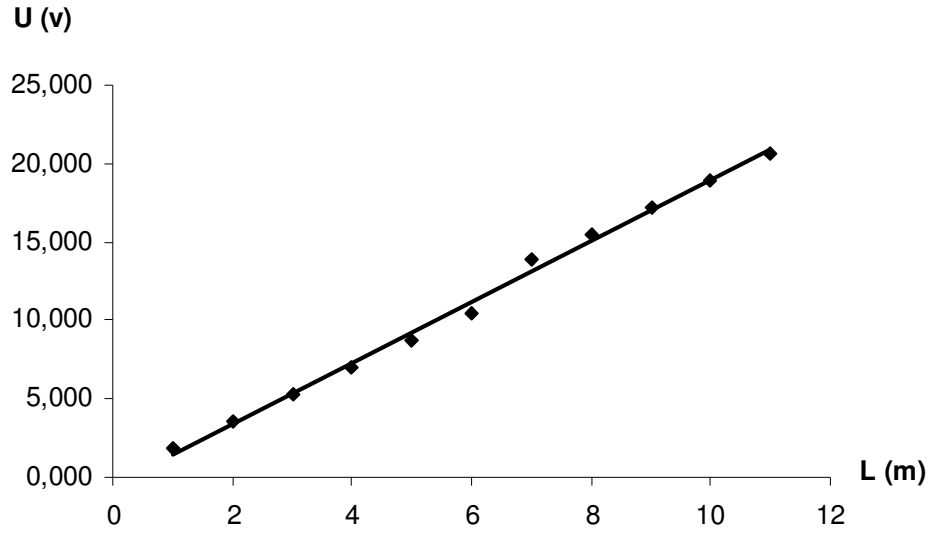

Figura 7 – Gráfico da tensão em função do comprimento do condutor (sem limitador).

Na Tabela 4, a seguir, estão mostrados os valores da resistência elétrica do condutor, em função do comprimento L do mesmo, medindo diretamente com o ohmímetro.

Tabela 4 – Resistência elétrica e comprimento do fio condutor.

L (m)	R (ohm)
1	17
2	37
3	49
4	63
5	78
6	94
7	122
8	138
9	155
10	173
11	192

Os valores da Tabela 4 estão mostrados no gráfico da Figura 8.

 ISSN 1679-8902

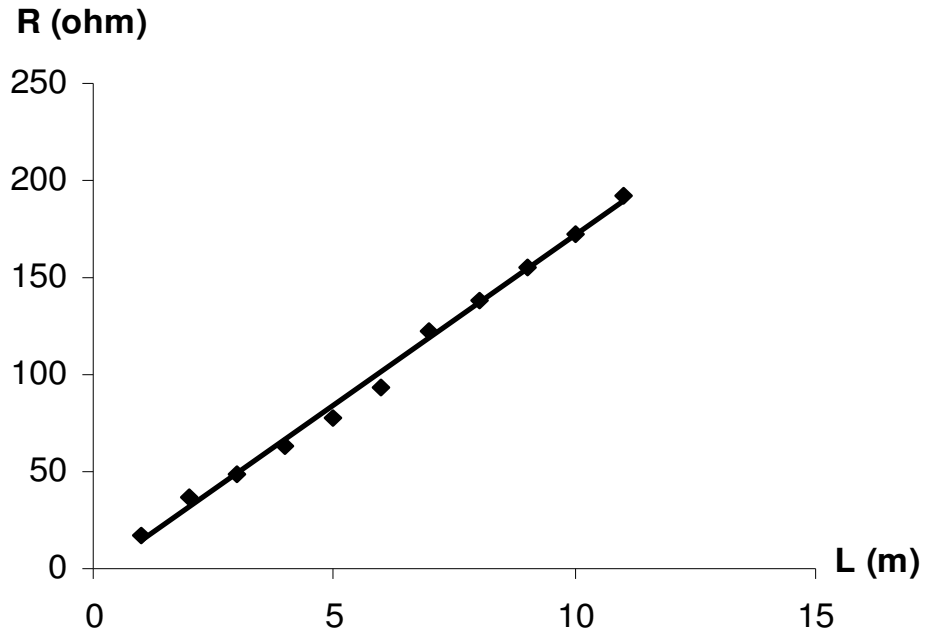

Figura 8 – Gráfico da resistência elétrica em função do comprimento do condutor.

O valor obtido para o diâmetro do fio metálico, medido diretamente com o micrômetro, foi (0,32 ± 0,01) mm.

4.2. Determinação da resistividade

A resistividade do material foi obtida pelos gráficos da tensão em função comprimento do condutor. Deve-se observar que, pelas equações (6) e (9), pode-se escrever $\rho = (U/L).A/i$, onde o quociente (U/L) representa o coeficiente angular da reta obtida nos gráficos das Figuras 6 e 7. Assim, obteve-se o valor médio $\rho = (5,14 \pm 0,40).10^{-6}$ Ω.m para o caso do circuito com o resistor de limitação.

Da mesma forma, obteve-se o valor médio $\rho = (5,30 \pm 0,29).10^{-6}$ Ω.m para o caso do circuito sem o resistor de limitação de corrente.

Também se calculou a resistividade por meio dos valores da resistência elétrica, medidos diretamente com o ohmímetro, utilizando-se da equação (6). Nesse caso, o valor médio obtido foi $\rho = (5,43 \pm 0,30).10^{-6}\ \Omega.m$.

4.3. Discussão

Analisando-se os valores médios obtidos para a resistividade, observa-se que a utilização ou não do resistor limitador de corrente influencia nos resultados.

Utilizando-se o resistor limitador de corrente, a fonte ficou mais instável, aumentando-se os erros nas leituras dos valores da tensão e da corrente. Para comprimentos do fio acima de 5 m, com o limitador de corrente, os valores da tensão e da intensidade da corrente ficaram mais estáveis. Assim, considerando somente esses valores, obtém-se o valor médio de $\rho = (5,36 \pm 0,29).10^{-6}\ \Omega.m$, ou seja, mais próximo daquele obtido por medição direta com o ohmímetro. Isso ocorre, provavelmente, porque para esses valores de comprimento, as resistências dos segmentos do fio já estão mais próximas do valor da resistência do limitador de corrente. Assim, pequenas mudanças no posicionamento do cursor sobre o fio não alteram significativamente a resistência total e, também, a distribuição da tensão entre o fio e o resistor. Ao contrário, sem o limitador de corrente, as pequenas mudanças no posicionamento do cursor provocam alterações significativas na resistência do segmento de fio, tornando mais estável a leitura dos valores nos aparelhos.

5. Conclusões

O método utilizado permite a determinação da resistividade do material, possibilitando assim avaliar se o material é bom condutor ou isolante elétrico. Os valores calculados para a resistividade indicam que o material que compõe o fio metálico pode ser o Zn (zinco), uma vez que, para este metal, o valor encontrado na literatura foi $6,2.\ 10^{-6}\ \Omega.m$ (CALLISTER JR., 2002).

 ISSN 1679-8902

Pode-se verificar que a resistência elétrica do condutor metálico é aproximadamente constante quando a temperatura do mesmo não varia significativamente. Em outras palavras, significa que, nessas condições, a intensidade de corrente elétrica no condutor metálico é diretamente proporcional à tensão aplicada em seus terminais. Também é possível concluir que a resistência elétrica do condutor metálico (na forma de fio) aumenta proporcionalmente com o aumento do comprimento do mesmo. Dessa forma, houve necessidade de aumento da tensão para manter a intensidade da corrente elétrica quando se aumentou o comprimento do condutor.

Verificou-se também que a resistividade do material é praticamente invariável com as alterações de comprimento, tensão aplicada e corrente estabelecida. As pequenas diferenças observadas se devem aos erros inerentes ao processo.

Referências

AMALDI, H. **Imagens da Física.** 1ª ed. *São Paulo*: Scipione. 1995. p. 539.

CALLISTER JR., W. D. **Ciência e engenharia de materiais:** uma introdução. 5ª ed. Trad. SOARES, S. M. S. *Rio de Janeiro*: Livros Técnicos e Científicos. 2002. p. 589.

EISBERG, R. M.; LERNER, L. S. **Física:** fundamentos e aplicações. 1ª ed. v. 3. *São Paulo*: McGraw-Hill do Brasil Ltda. 1983. p. 422.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R. **Física**. 4ª ed. v. 3. *Rio de Janeiro*: Livros Técnicos e Científicos. 1984. p. 322.

http://www.unb.br/iq/kleber/EaD/Eletromagnetismo/Resistividade/Resistividade.html.Acessado em 02/12/08.

KELLER, F. J.; GETTYS, W. E.; SKOVE, M. J. **Física**. 1ª ed. v. 2. *São Paulo*: Makron Books. 1999. p. 615.

SERWAY, R. A.; JEWETT JR., J. W. **Princípios de Física:** eletromagnetismo. 1ª ed. v. 3. *São Paulo*: Pioneira Thomson Learning. 2004. p. 200.