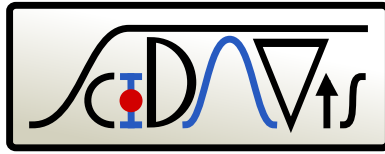


Criação e Formatação de Gráficos com o



Tiago de Paula

Na começo dos anos 2000, teve um crescimento de sistemas operacionais baseados em Linux e daí surgiram várias tentativas de criar um *software* de análise gráfica de dados para a plataforma, como os que existiam para Windows. Uma dessas aplicações de maior sucesso foi o *QtiPlot*, um clone *open source* do *Origin* feito em Python. Em 2007, no entanto, houve um grande desentendimento na equipe de desenvolvedores e uma parte dissidente continuou o código em um novo projeto chamado *SciDavis*. Atualmente, o projeto é um dos maiores da área e também pode ser utilizado em Windows e MacOS.

Ao longo dos anos, o *SciDavis* acumulou várias ferramentas desenvolvidas e testadas por várias pessoas do mundo todo. Porém, nesse material será explorado apenas as funcionalidades importantes no curso de Física Experimental 3 (F 329). A divisão das seções é feita para começar com as técnicas mais básicas (*Configurações Básicas e Apresentação dos Dados*), seguida das intermediárias (*Regressão Linear e Barras de Incerteza*) e, por fim, as mais específicas (*Escala Logarítmica, Equação Característica, Gráficos de Múltiplas Variáveis e Curvas de Nível*).

0 Configurações Básicas

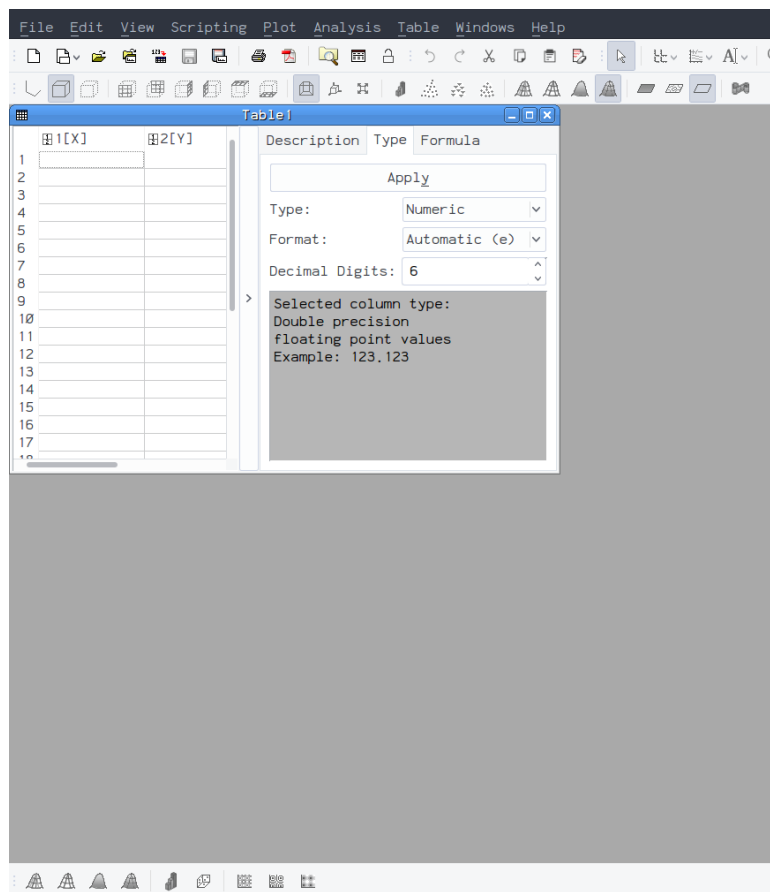


Figura 1: Tela inicial do SciDavis

0.1 Importando os Dados

Assim como no Origin, o SciDavis tem um gerenciador de tabelas próprio, apesar de simplificado, onde os dados podem ser apenas copiados e colados de outra tabela do Excel, Google Planilhas, LibreOffice Calc ou outra ferramenta do tipo. Quando os dados são importados assim, a formatação das linhas e colunas se matém. Outra opção é importar de arquivos de texto de campos separados, como o CSV e suas variações.

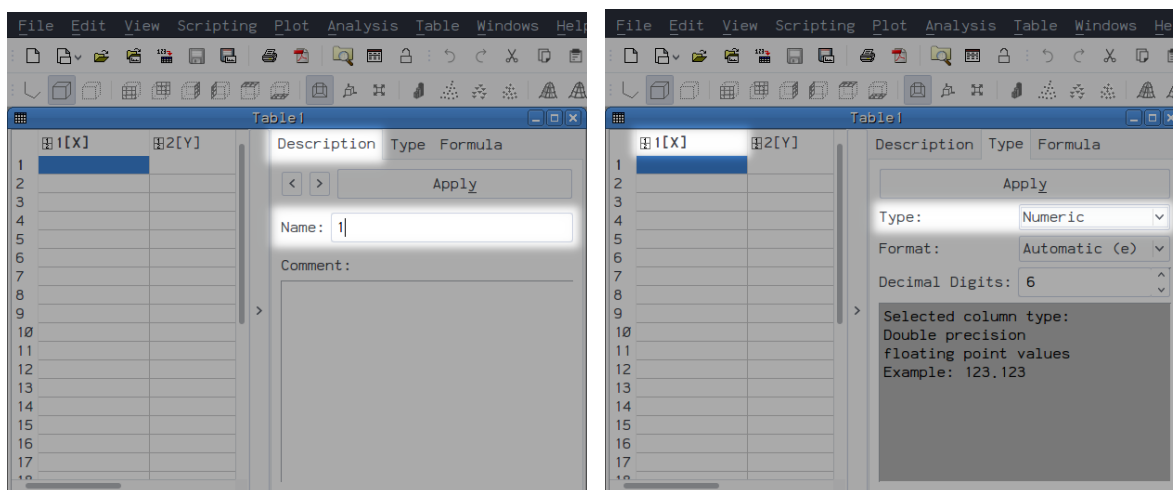


Cuidado com o separador decimal. Em português e outras línguas europeias é mais comum encontrar a vírgula [,] como separador da parte decimal do número, enquanto nos países anglofônicos é o ponto final [.], que define a parte fracionária e a vírgula serve para separar os milhares. Dependendo da configuração do SciDavis e da formatação original dos dados, isso pode causar problemas de importação e os dados serão tratados como tipo Text.

0.2 Configurando as Colunas

Por padrão, as colunas são criadas com números. Para mudar isso, basta alterar as propriedades da coluna, que fica na parte direita da janela da tabela, como na figura 2a. Além disso, se você importar os dados de um arquivo .csv, é possível utilizar a primeira linha como nome da coluna, o *header*.

Outra coisa importante é o tipo de dado da coluna. Para a construção dos gráficos, o desejado normalmente são dados de tipos numéricos ou, às vezes, datas. Porém, é possível que os dados estejam sendo tratados como texto, como quando o programa não reconhece o separador decimal utilizado. Por isso, deve se ter o cuidado de escolher o tipo certo, seguindo a figura 2b, antes e depois de importar os valores.



(a) Nome da coluna

(b) Tipo dos dados da coluna

Figura 2: Configuração da coluna selecionada

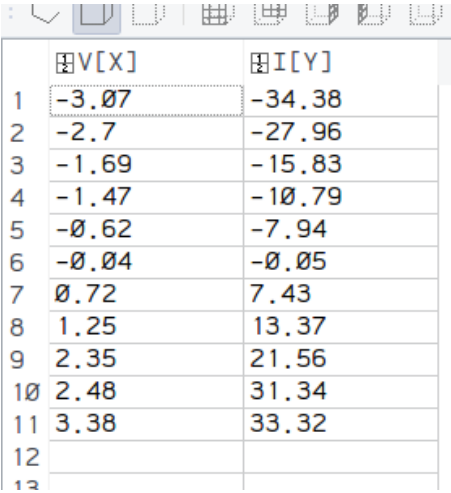


Lembre-se de pressionar o botão Apply sempre que alterar alguma propriedade da coluna, para realizar as alterações.

1 Apresentação dos Dados

Nesta seção, será tomado como exemplo a relação de corrente e tensão em um resistor, dado de forma teórica pela relação (1). Por mais que os dados usados aqui sejam os da figura 3, essa parte de apresentação de dados é importante para todos os tipos de análise, em especial, para dados coletados manualmente, como é o caso da maioria dos experimentos da disciplina de F 329.

$$I = \frac{1}{R} V \quad (1)$$



	V[X]	I[Y]
1	-3.07	-34.38
2	-2.7	-27.96
3	-1.69	-15.83
4	-1.47	-10.79
5	-0.62	-7.94
6	-0.04	-0.05
7	0.72	7.43
8	1.25	13.37
9	2.35	21.56
10	2.48	31.34
11	3.38	33.32
12		

Figura 3: Dados de corrente por tensão, gerados por computador

1.1 Dados Pontuais

Normalmente, quando se trata de dados pontuais, às vezes é importante mostrar esses dados, além de em alguma tabela, no gráfico também. O modo de se fazer isso no SciDavis é com a funcionalidade Scatter (figura 4).

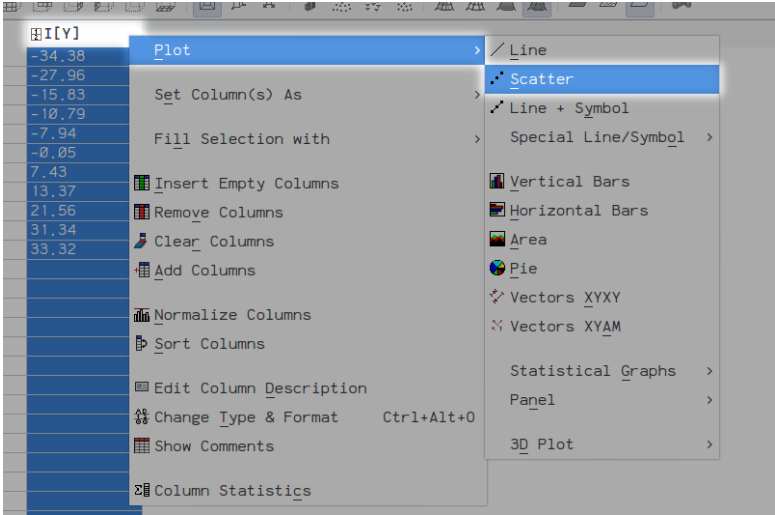


Figura 4: Scatter

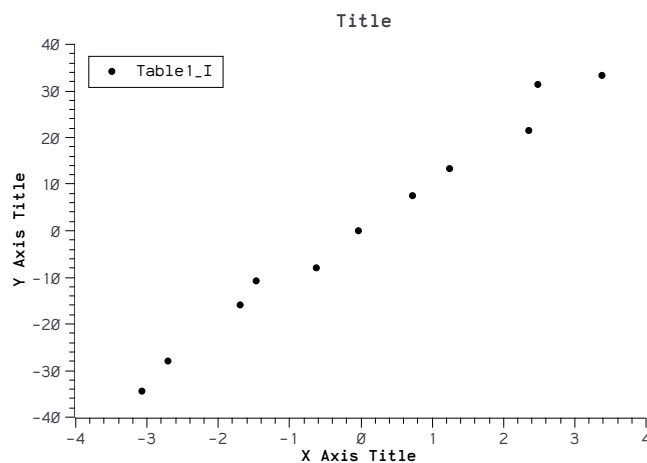


Figura 5: Resultado do Scatter

1.2 Tratamento da Legenda

O SciDavis gera uma legenda padrão para os elementos desenhados no gráfico. O ideal é alterá-las para serem mais informativas. As legendas também podem ser reposicionadas apenas arrastando-as. Por padrão, o plano de fundo da legenda é transparente, mas é recomendável mudar para um plano de fundo preenchido em branco ou qualquer que seja a cor de fundo do gráfico.

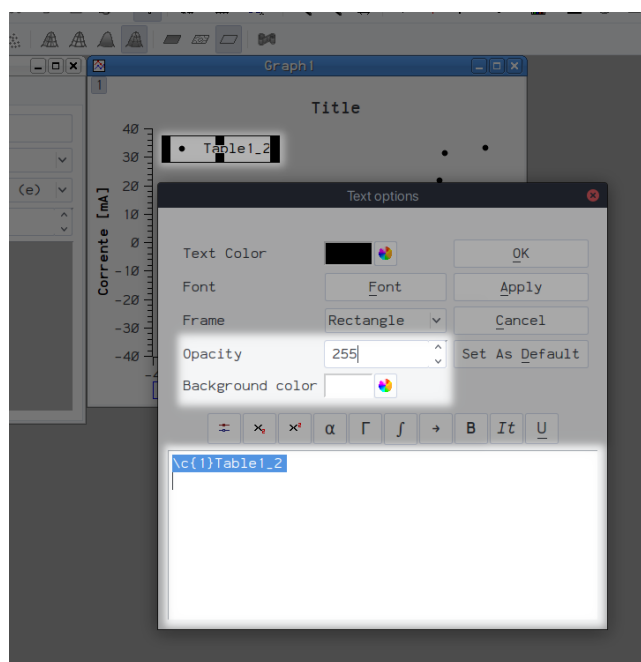
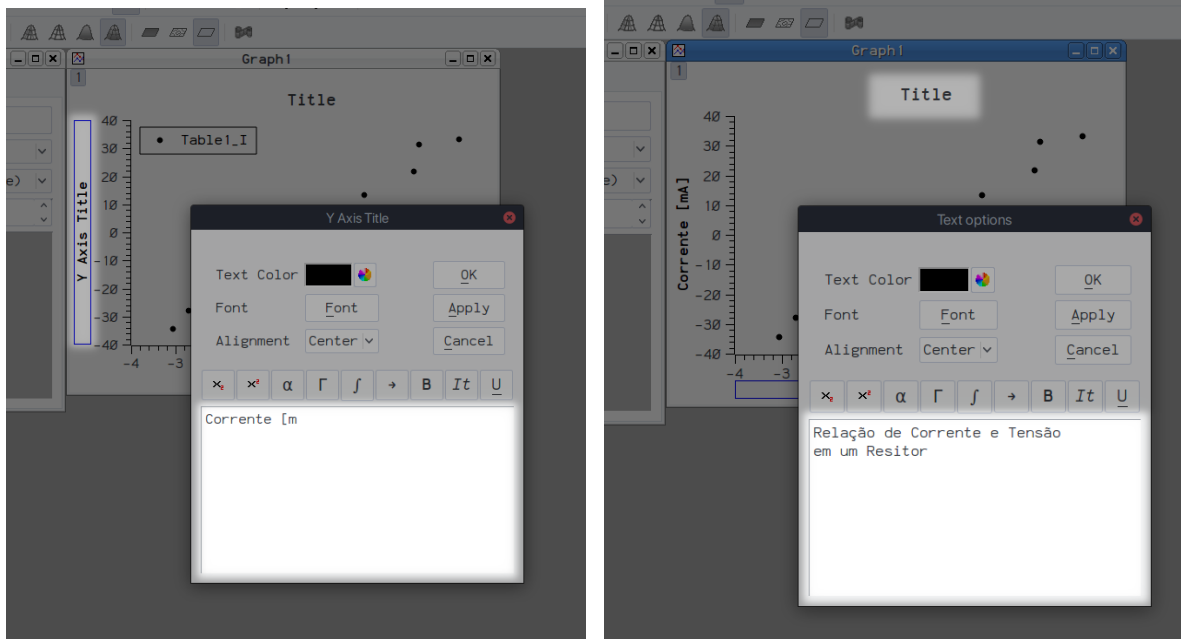


Figura 6: Alterando o texto da legenda

1.3 Formatação dos Eixo e do Título

Diferente do Origin, o SciDavis não coloca nada no texto do gráfico, então isso deve ser feito manualmente, como é visto nas figuras 7a e 7b.

1.4 Linhas de Grid



(a) Alterando dos nomes dos eixos

(b) Mudança do título

Figura 7: Opções dos textos principais do gráfico

1.4 Linhas de Grid

Para ler melhor os eixos do gráfico, é possível colocar linhas de *grid* acompanhando os valores principais.

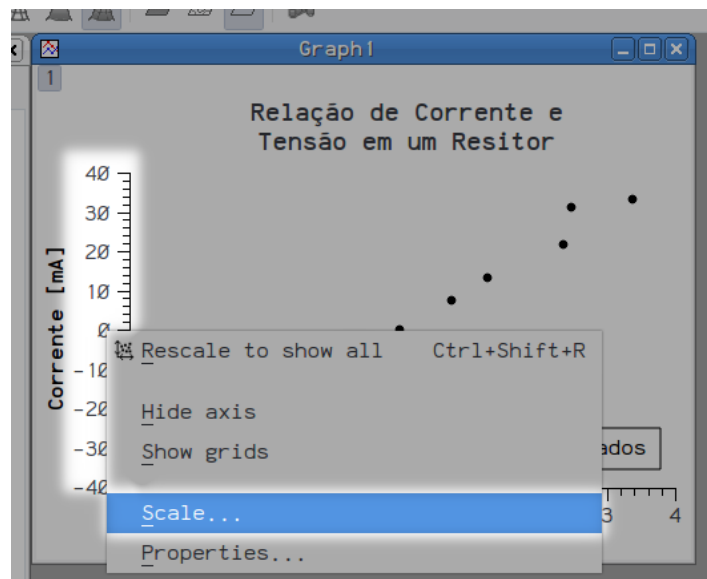
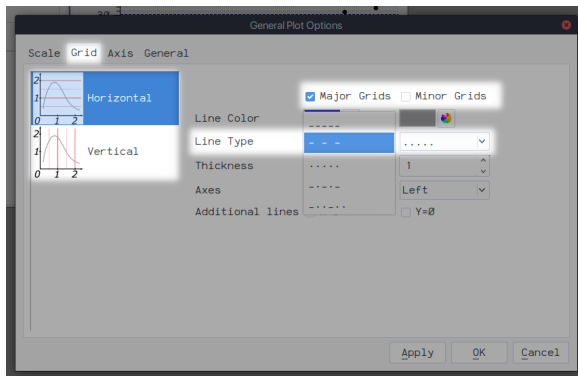


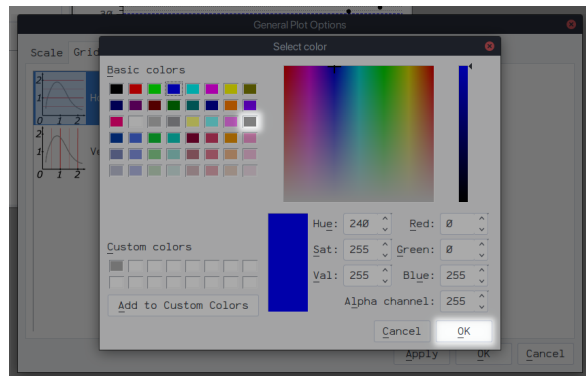
Figura 8: Acesso as opções de formatação de linha de acompanhamento dos eixos

No material, serão utilizadas linhas principais horizontais e verticais, que serão em tracejados em cinza escuro, sem linhas secundárias. Essas configurações podem e devem ser alteradas para cada gráfico, dependendo da facilidade e da importância da leitura dos valores.

1.5 Resultado



(a) Opções dos eixos (aba Grid)



(b) Mudança de cor das linhas

Figura 9: Opções de linhas de *grid*

1.5 Resultado

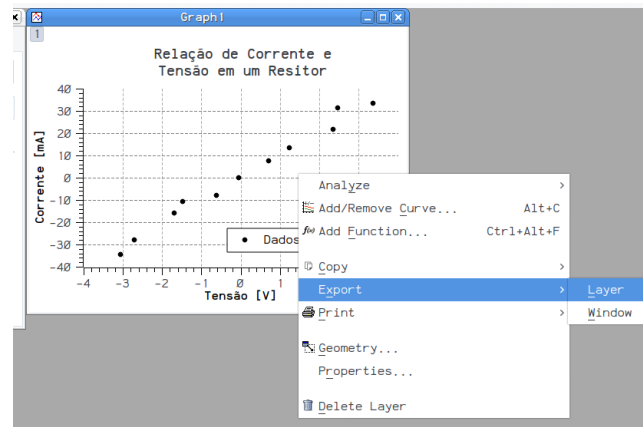


Figura 10: Salvando o gráfico resultante

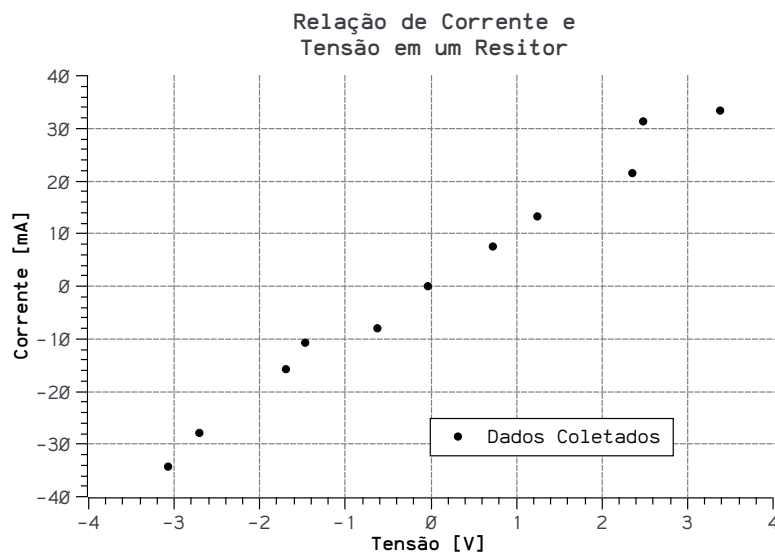


Figura 11: Gráfico de exemplo de formatação

2 Regressão Linear

É muito comum aparecer algum tipo de relação linear entre os dados. Nesse tipo de relação costuma-se aplicar técnicas de regressão, normalmente mínimos quadrados, para encontrar a melhor reta que representa esses dados.

Pelo alinhamento dos pontos da seção *Apresentação dos Dados* e pela equação teórica 1, fica clara a possibilidade de se aplicar uma regressão linear e, portanto, os dados continuarão os mesmos nessa seção.

2.1 Aplicação da Regressão

A regressão normalmente é feita pelas opções **Analyze: Fit Linear** em cima de um Scatter dos pontos, como na figura 12. Existem outras formas de regressão além da linear, mas elas não serão necessárias nesta matéria.

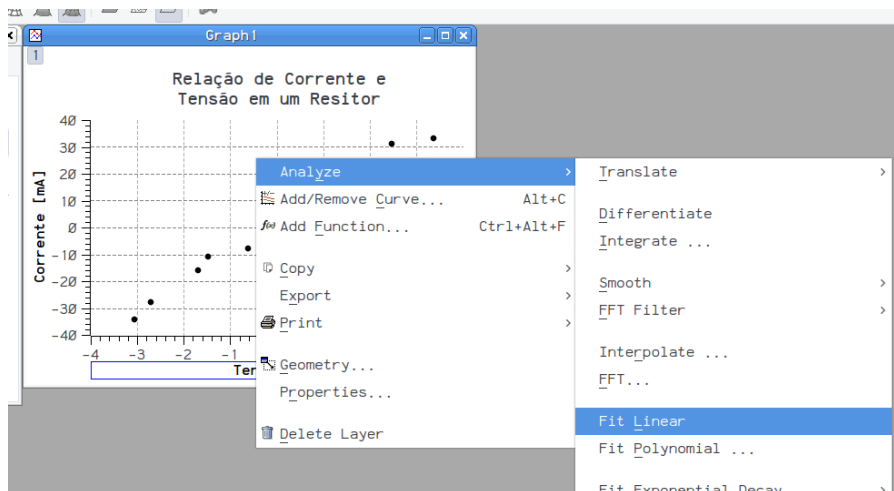


Figura 12: Aplicando a regressão linear nos gráfico de exemplo (figura 11)

2.2 Valores dos Coeficientes

Os valores dos coeficientes encontrados com a regressão aparecem em um *log* sobre a janela da tabela e do gráfico dentro do SciDavis.

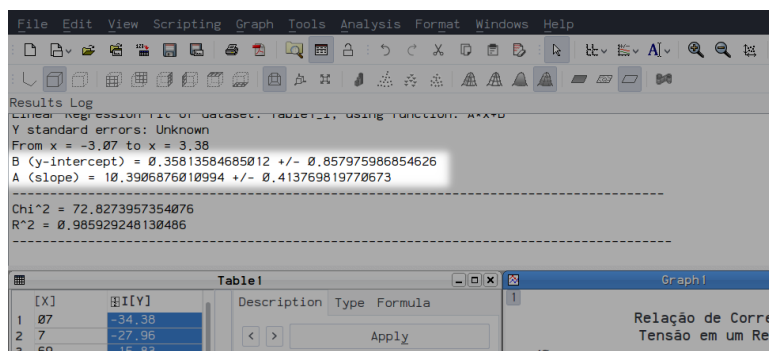


Figura 13: Resultado com os coeficientes encontrados para a regressão

2.3 Resultado

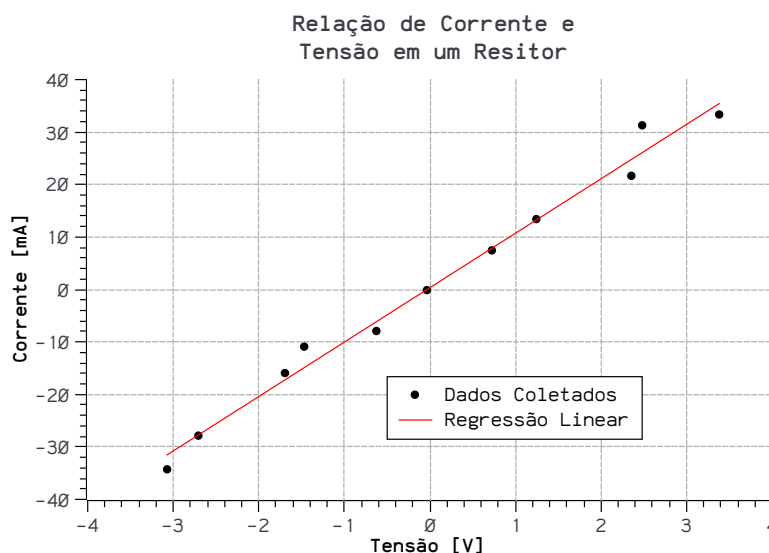


Figura 14: Exemplo de regressão linear

3 Barras de Incerteza

Como exemplo para a aplicação de barras de incerteza, continuaremos com os mesmo dados da seção *Apresentação dos Dados*, porém agora com as incertezas associadas a cada medida, que foram criadas, novamente, com o auxílio de um computador, e podem ser vistas na figura 16.

3.1 Adicionando Colunas

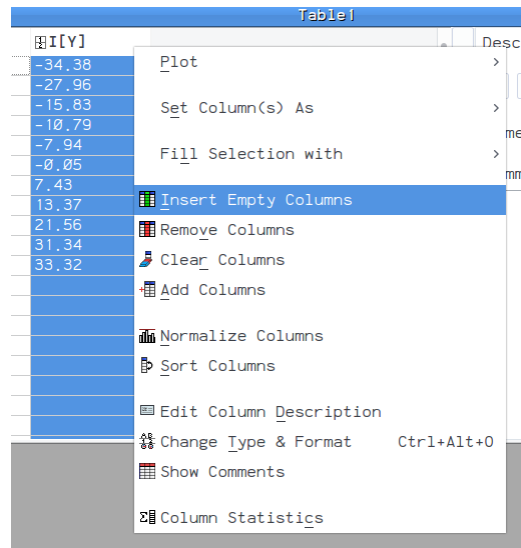


Figura 15: Inserindo novas colunas

Para adicionar as incertezas, é preciso gerar novas colunas nas tabelas, como mostra a figura 15, lembrando sempre de formatá-las como na seção *Configurando as Colunas*. A tabela com os dados de incerteza deve ficar algo parecido com a figura 16.

	V[X]	dV[Y]	I[Y]	dI[Y]
1	-3.07	0.29	-34.38	3.16
2	-2.7	0.27	-27.96	3.07
3	-1.69	0.18	-15.83	1.65
4	-1.47	0.16	-10.79	0.94
5	-0.62	0.06	-7.94	0.72
6	-0.04	0.02	-0.05	0.11
7	0.72	0.08	7.43	0.72
8	1.25	0.13	13.37	1.36
9	2.35	0.2	21.56	2.16
10	2.48	0.27	31.34	2.9
11	3.38	0.36	33.32	3.33
12				
13				

Figura 16: Dados atualizados com as incertezas

3.2 Tipo das Novas Colunas

3.3 Resultados

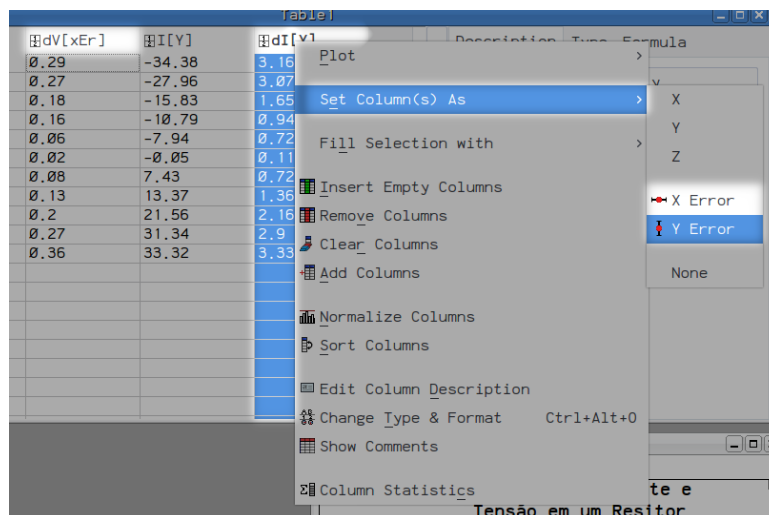


Figura 17: Mudando o tipo das novas colunas para relacionar com os valores das medidas

3.3 Resultados

A funcionalidade Scatter, quando selecionada com as colunas de incerteza, gera o gráfico da figura 18.

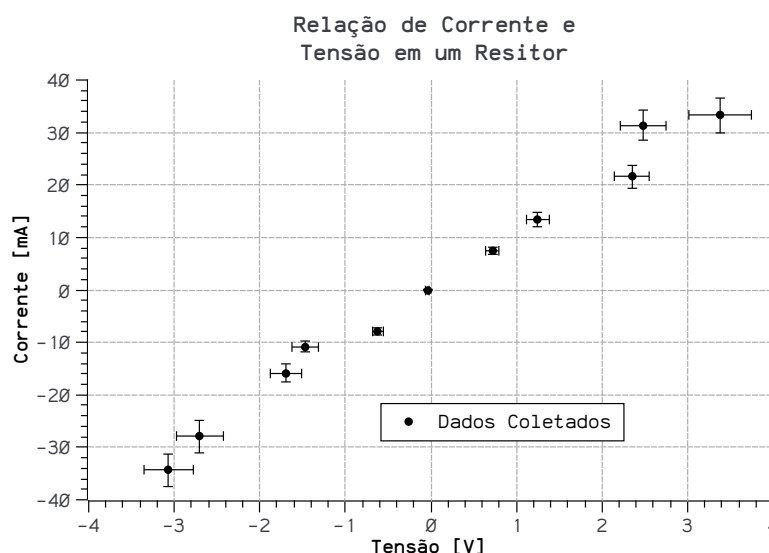


Figura 18: Gráfico de corrente por tensão com as incertezas de cada medida

Entretanto, se for aplicada a formatação da seção *Apresentação dos Dados* e a regressão linear, como na seção *Regressão Linear*, o resultado deveria ficar semelhante a figura 19, cujos coeficientes são $B = 0.34 \pm 0.11$ e $A = 9.8 \pm 0.3$.

Note que os coeficientes A e B da regressão em 19, tanto em seus valores quanto nas suas incertezas, são levemente diferentes dos da figura 13, mesmo com os dados numéricos idênticos. A diferença aqui se deve as incertezas dos dados, que agora estão sendo levadas em conta no cálculo da regressão.

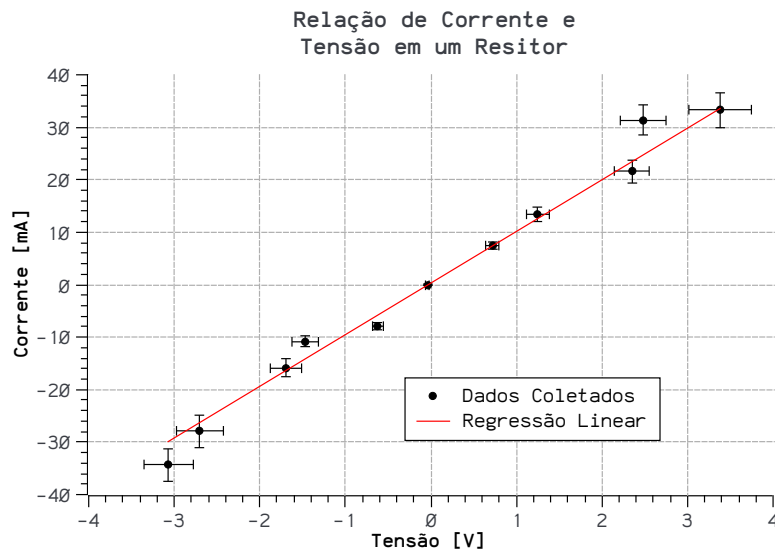


Figura 19: Gráfico formatado, com barras de incerteza e regressão linear

4 Escala Logarítmica

Várias vezes, no entanto, os dados não apresentam relação linear. Nesses casos, é importante encontrar alguma técnica de linearização que transforma os dados para novos valores dependentes, mas que se relacionam de maneira linear. Algo como a relação 2.

$$f(x,y) = a + b g(x,y) \quad (2)$$

Dentre as técnicas mais comuns, muitas envolvem a aplicação de logaritmos para linearizar alguma relação de potência de x , isto é, nos casos de $y \propto x^k$, ou alguma relação exponencial, $y \propto k^x$. Para esses casos, é comum a utilização de escala logarítmica na intenção de se observar melhor os dados, em que $f(x,y) = \log(y)$ e $g(x,y) = \log(x)$.

4.1 Gráfico Log-Log

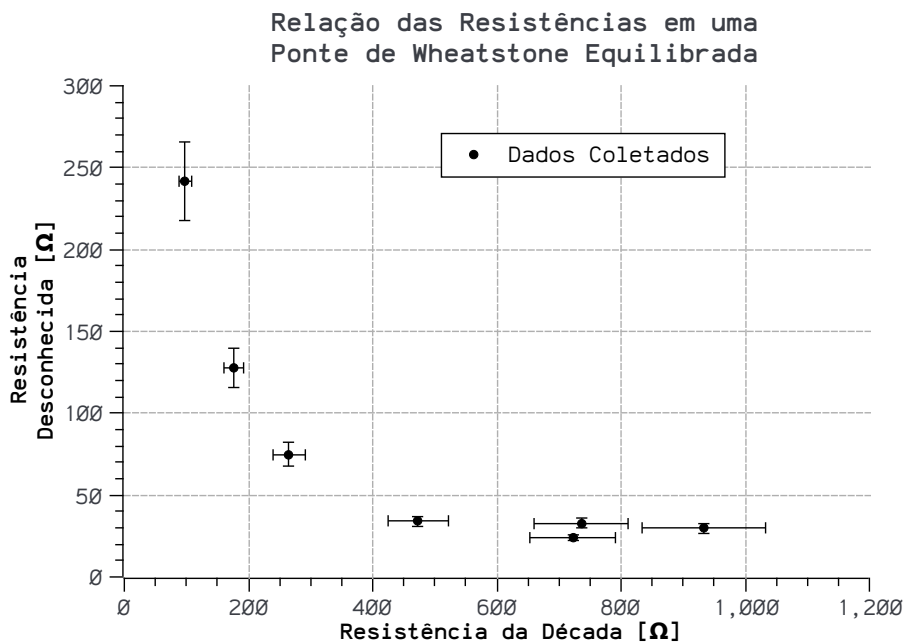


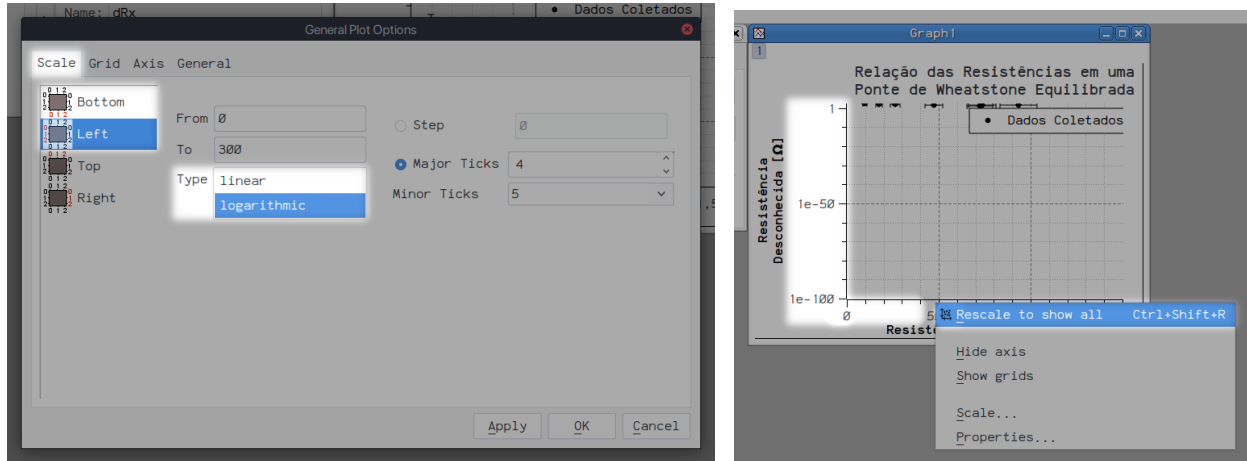
Figura 20: Gráfico da relação da ponte de Wheatstone (3)

$$R_x = \frac{R_1 R_2}{R_d} \quad (3)$$

Se imaginarmos os dados do gráfico 20 como parte de um caso da ponte de Wheatstone dado pela equação 3, sendo R_d a resistência da década e R_x a resistência desconhecida, podemos aplicar a seguinte técnica de linearização:

$$\begin{aligned}
 \log(R_x) &= \log(R_1 R_2 (R_d)^{-1}) \\
 &= \log(R_1 R_2) + \log((R_d)^{-1}) \\
 &= \log(R_1 R_2) - \log(R_d)
 \end{aligned}$$

Portanto, podemos montar um gráfico log-log de R_x por R_d , cujo coeficiente angular deveria resultar em -1 .



(a) Opções de escala (acessado como na figura 8)

(b) Atualização dos limites da escala

Figura 21: Mudança para a escala logarítmica

Para os gráficos com escala logarítmica, foram usadas linhas de *grid* secundárias com um cinza mais claro para ajudar na visualização.

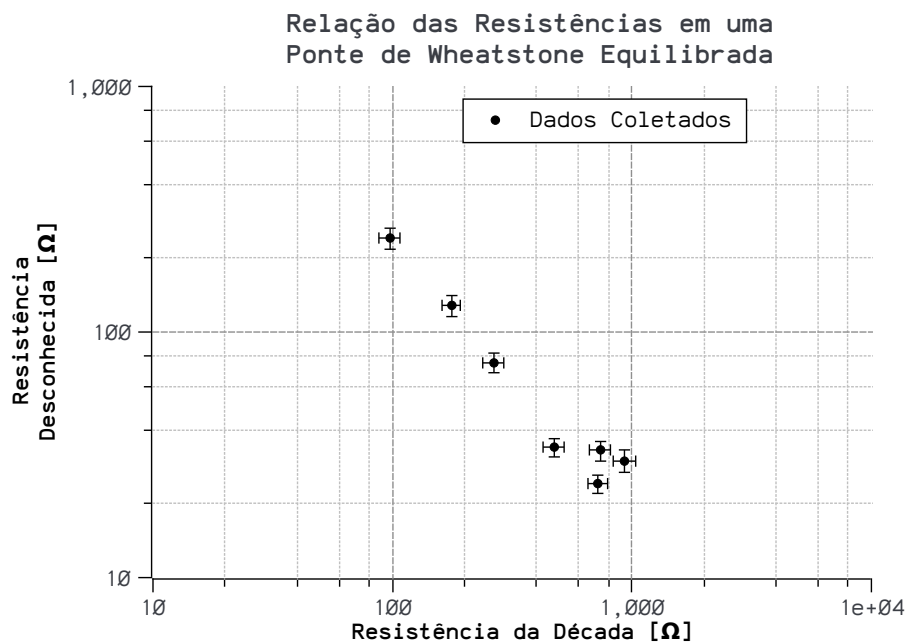


Figura 22: Gráfico log-log dos dados da figura 20

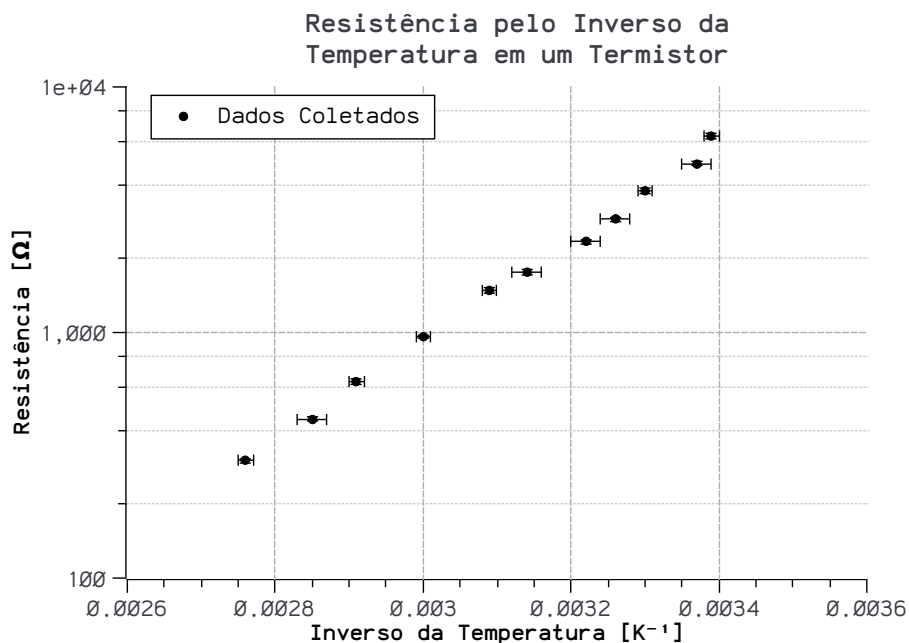
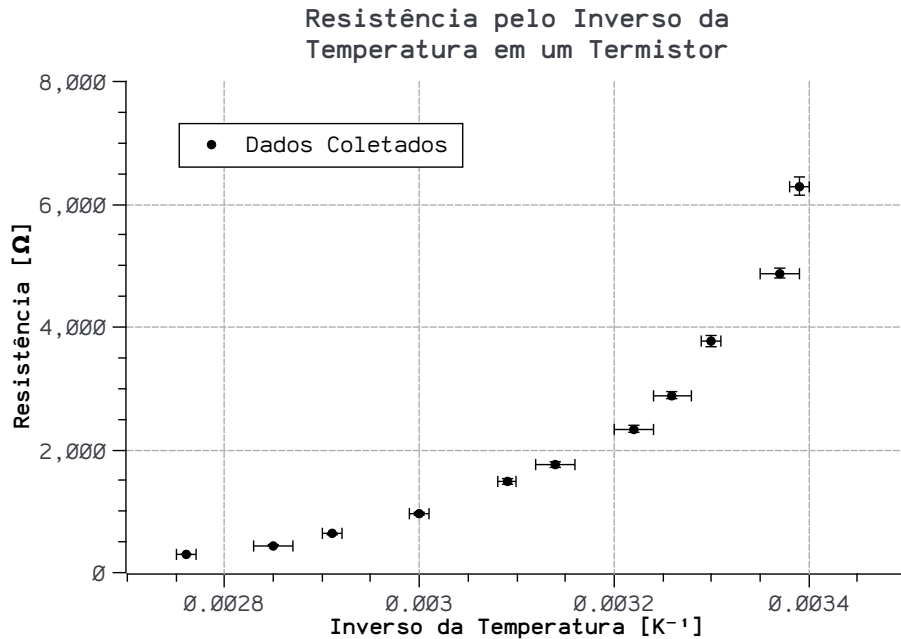
4.2 Gráfico Semi-Log

$$R = A \exp(B T^{-1}) \quad (4)$$

Agora com os dados da figura 23 e a relação (4), com R como a resistência e T^{-1} o inverso da temperatura, a linearização se torna:

$$\begin{aligned}
 \ln(R) &= \ln(A \exp(B T^{-1})) \\
 &= \ln(A) + \ln(\exp(B T^{-1})) \\
 &= \ln(A) + B T^{-1}
 \end{aligned}$$

Que pode ser usada em um gráfico semi-log de $R \times T^{-1}$, aplicando a escala logarítmica apenas no eixo da esquerda.



4.3 Regressão em Escala Logarítmica

A regressão de uma curva de potência ou exponencial é possível com técnicas de regressão não-linear, só que essas técnicas não cabem no escopo dessa matéria. Uma outra opção muito utilizada é encontrar uma linearização, como na equação (2), e, com a nova relação linear de $f(x,y) \times g(x,y)$, aplicar a regressão linear como da seção *Regressão Linear*. O único detalhe é que é preciso encontrar os valores de $f(x,y)$ e $g(x,y)$ e suas incertezas para cada par (x,y) dos dados e só com esses valores pode-se encontrar os coeficientes a e b , como foi feito na figura 25, com os dados da seção *Gráfico Log-Log*.

A mudança dos dados de (x,y) para $(f(x,y), g(x,y))$ ajuda nos cálculos, só que normalmente causa um distanciamento do sentido físico dos dados. Então, é importante decidir qual dos gráficos utilizar ou se cabe usar os dois gráficos.

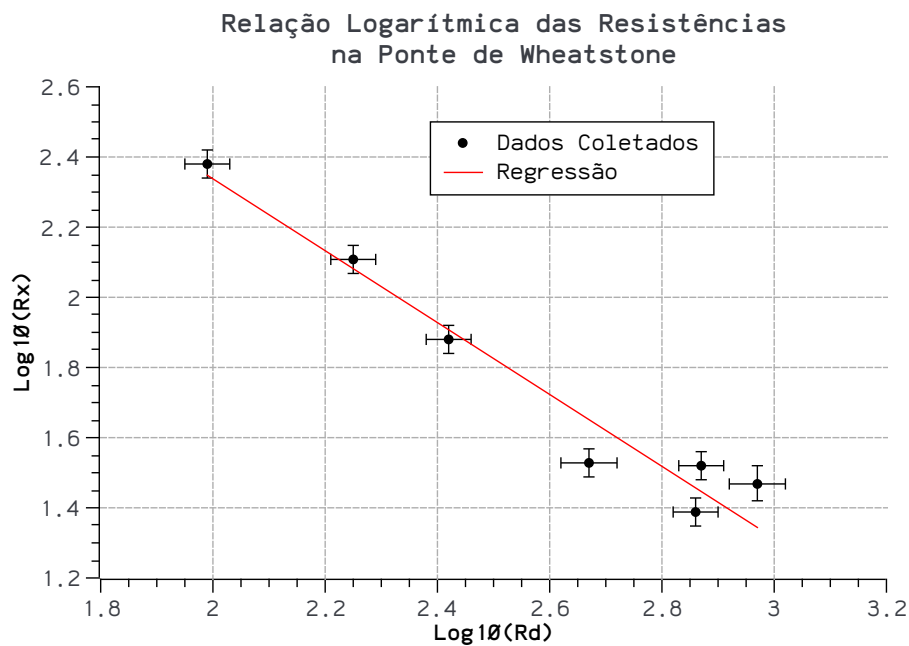


Figura 25: Gráfico da regressão da relação (3). Nesse caso, $b = -1.03 \pm 0.05$, o que serviria para mostrar que $b \approx -1$, por exemplo.

5 Equação Característica

Um exemplo de equação característica é a equação (4), do termistor, que será utilizada nesta seção. Os dados gerados para o gráfico 23 continuarão os mesmos aqui.

5.1 Encontrando os Coeficientes

O primeiro passo normalmente é encontrar os coeficientes da equação característica. Se for uma equação de reta, uma simples regressão linear é bastante para encontrar esses coeficientes e para mostrar a equação esperada.

Para os outros caso, no entanto, é preciso linearizar a equação, como feito na seção *Escala Logarítmica*, encontrar os coeficientes da linearização e transformar para os coeficientes da equação inicial.

No caso dos dados do termistor, a regressão é aplicada como na figura 26. Logo, os coeficientes se tornam $A = \exp(-7.095) \approx 0.0008293$ e $B = 4643.029$.

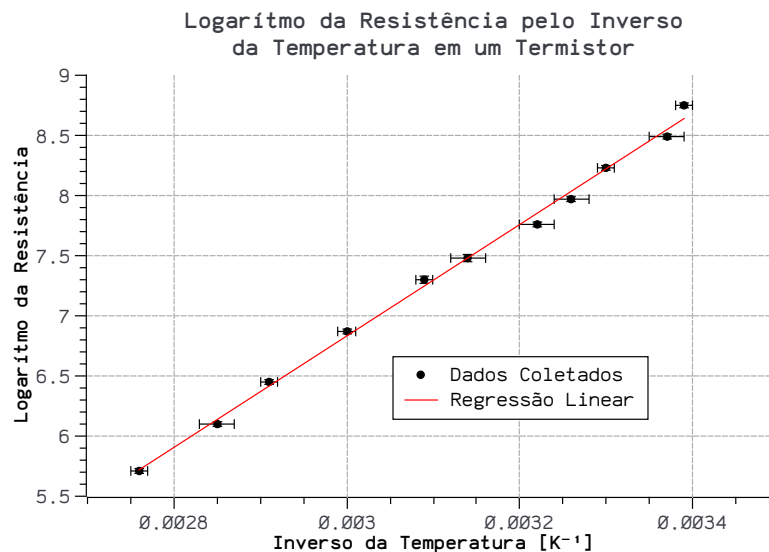
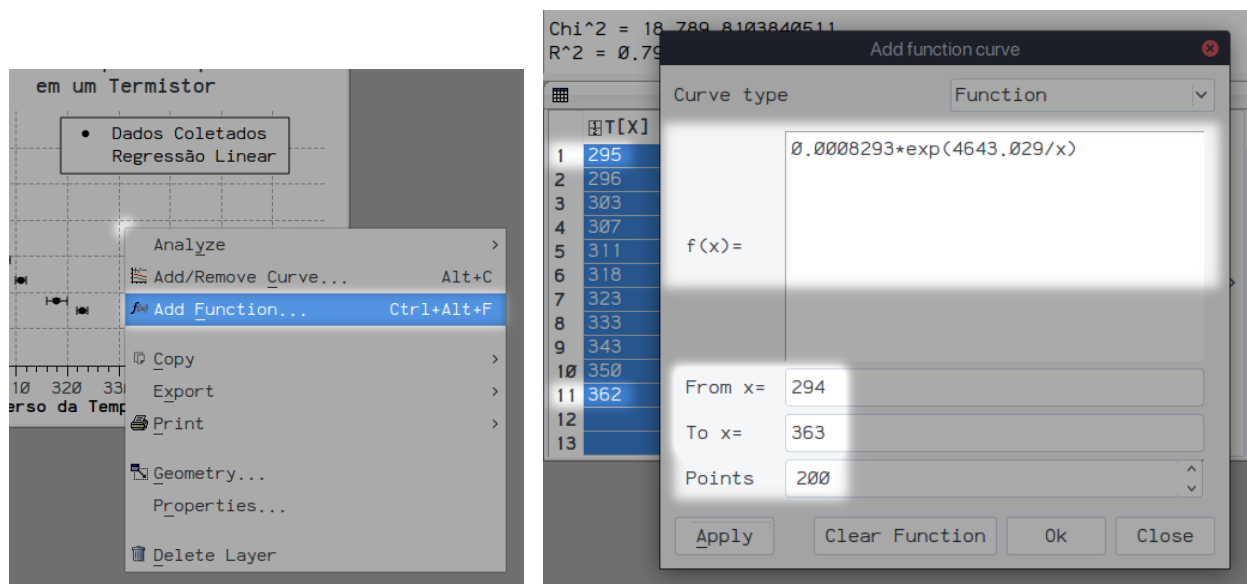


Figura 26: Gráfico da linearização da equação (4)

5.2 Gráfico de Funções

Voltando para os dados originais, de R por T , podemos desenhar a equação característica, agora com os valores dos coeficientes, sobre o Scatter dos dados, como mostra a figura 27.



(a) Adicionando uma função no gráfico

(b) Colocando a função $R = 0.0008293 \exp(4643.029/T)$

Figura 27: Desenhando uma função no gráfico

5.3 Ajustes de Formatação

Por padrão, a cor da nova curva do gráfico é escolhida como preto, mas isso pode ser mudado com um duplo clique sobre a curva. Neste exemplo a cor decidida foi vermelho, que acompanha o padrão de regressão dos exemplos anteriores.

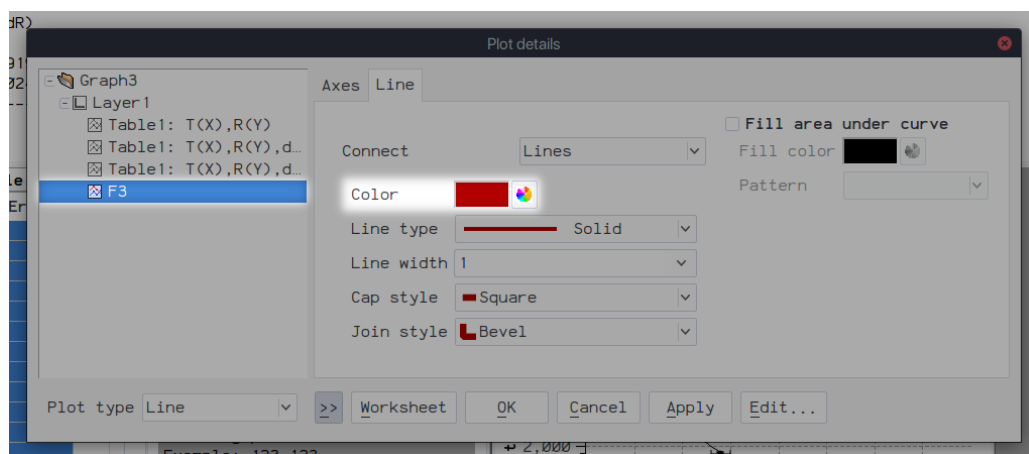


Figura 28: Mudança da cor da nova curva

Além da cor, é importante lembrar de tratar da curva na legenda do gráfico.

5.4 Resultado

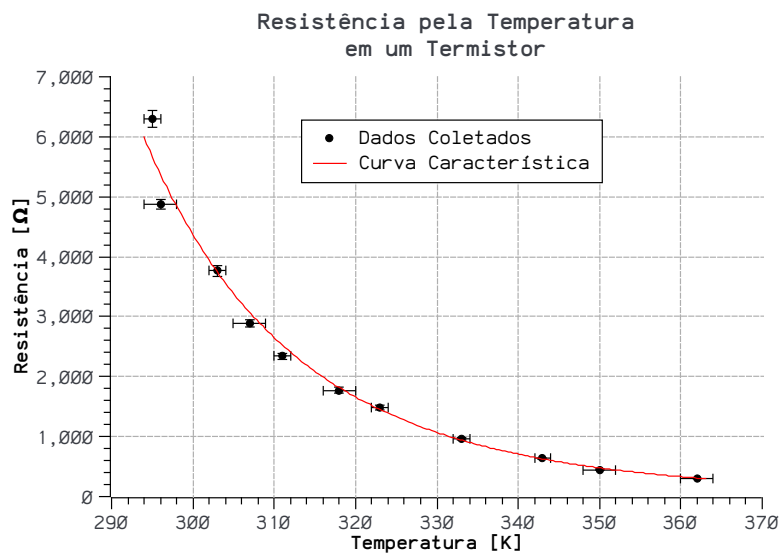


Figura 29: Gráfico com a curva característica do termistor

6 Gráficos de Múltiplas Variáveis

Para os casos em que é necessário apresentar dados com mais de uma variável dependente de um mesmo dado X , existe a opção de gráficos múltiplos. Eles servem para comparar as relações do tipo $y_1 = f(x)$ e $y_2 = g(x)$, quando x , y_1 e y_2 são medidos em conjunto.

Em experimentos com circuitos, esse tipo de dado aparece, por exemplo, na medição de tensão em nós diferentes para a comparação de seus comportamentos no tempo. É o caso do circuito da figura 31, cujos dados foram colocados como na figura 30.

Table 1			
	t[X]	V1[Y]	V2[Y]
1	0	0	1.99
2	0.4	1.95	2.28
3	0.8	3.59	2.21
4	1.2	4.66	1.79
5	1.6	5	1.09
6	2	4.55	0.22
7	2.4	3.38	-0.69
8	2.8	1.67	-1.49
9	3.2	-0.29	-2.06

Figura 30: Dados gerados com simulador

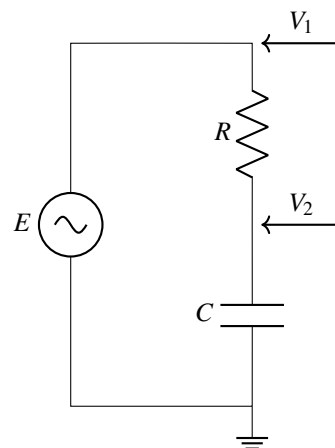


Figura 31: Circuito de defasagem de tensão por um capacitor

6.1 Gráficos de Eixos Separados

Uma opção para mostrar os dois canais ao mesmo tempo é colocar cada um em seu próprio gráfico com seus próprios eixos. No SciDavis, isso é feito como na figura 32, mas pode ser feito em duas imagens separadas também. O problema com essa abordagem é que as escalas diferentes não mostram muito bem as proporções entre os canais de entrada e saída.

6.2 Gráficos de Eixos em Conjunto

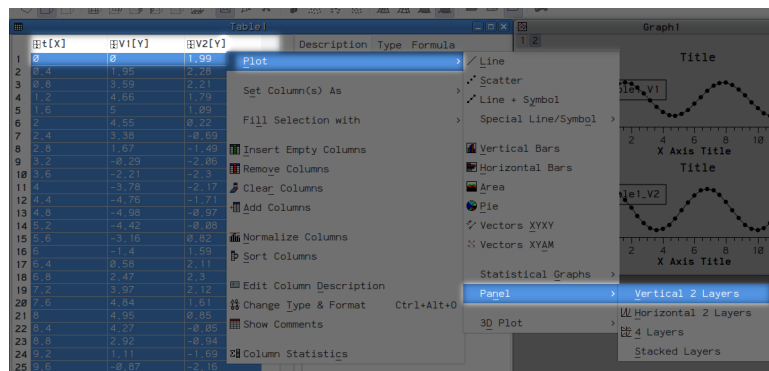


Figura 32: Criando os gráficos separados

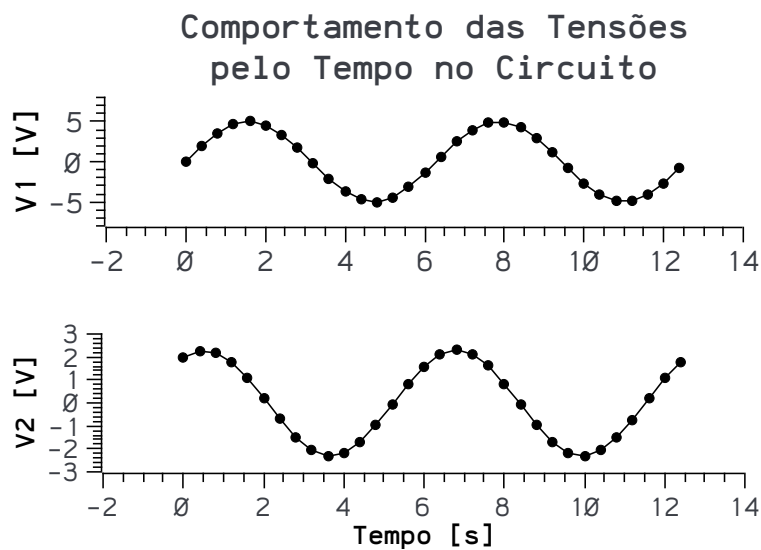


Figura 33: Gráficos das tensões de entrada e saída do circuito

6.2 Gráficos de Eixos em Conjunto

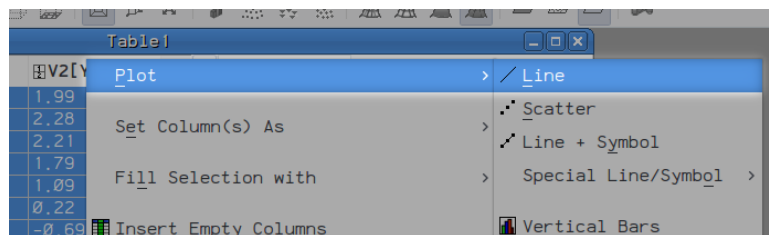
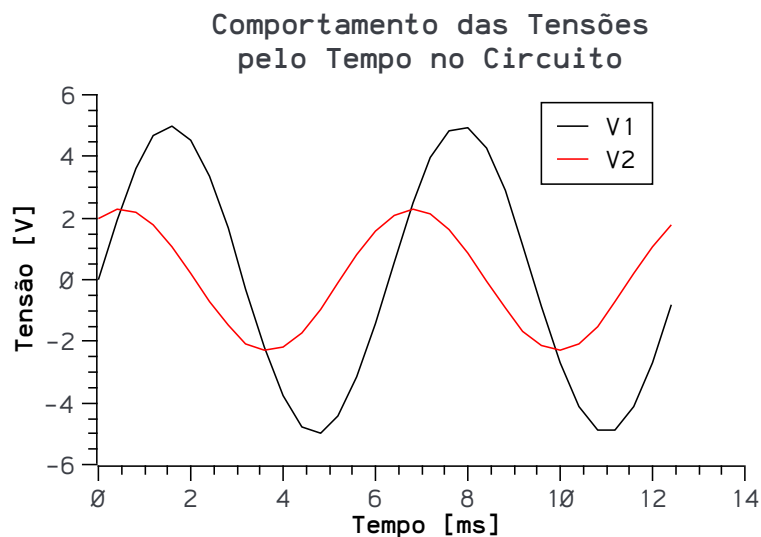
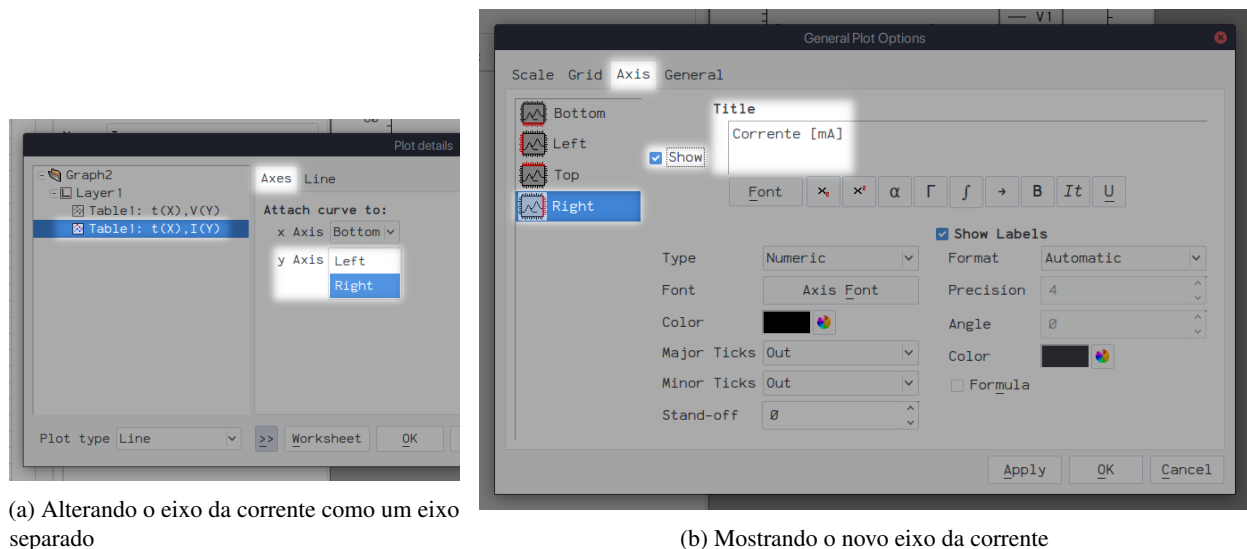


Figura 34: Criando o gráfico com as duas curvas

Esse método é melhor para visualizar a diferença de escala entre os dados, mas, se algum dos dados tem uma escala muito diferente, o gráfico pode acabar perdendo na percepção dos dados. Um dos maiores limites para esse método, no entanto, é que as variáveis dependentes precisam ter a mesma motivação física e, por causa disso, a mesma gradeza, caso contrário, o eixo compartilhado entre elas perde completamente o sentido.

Figura 35: Gráfico em conjunto das tensões V_1 e V_2 do circuito

6.3 Gráficos com Apenas a Abscissa Comum



(a) Alterando o eixo da corrente como um eixo separado

(b) Mostrando o novo eixo da corrente

Figura 36: Criando o gráfico com três eixos

Imagine agora o caso em que queremos mostrar a defasagem entre a corrente e a tensão no capacitor da figura 31. A única grandeza comum agora é o tempo, então vamos precisar de gráficos de três eixos. No SciDavis, isso é feito como na seção *Gráficos de Eixos em Conjunto*, com as alterações mostradas nas imagens 36a e 36b. Normalmente, é melhor alterar as cores para melhor representar cada dado.

As vezes, os gráficos com múltiplas curvas podem ficar sobrecarregados de informação. Quando isso acontece, o melhor é separar os dados em gráficos distintos pra manter a legibilidade. Gráficos de três eixos podem ficar complicados com facilidade.

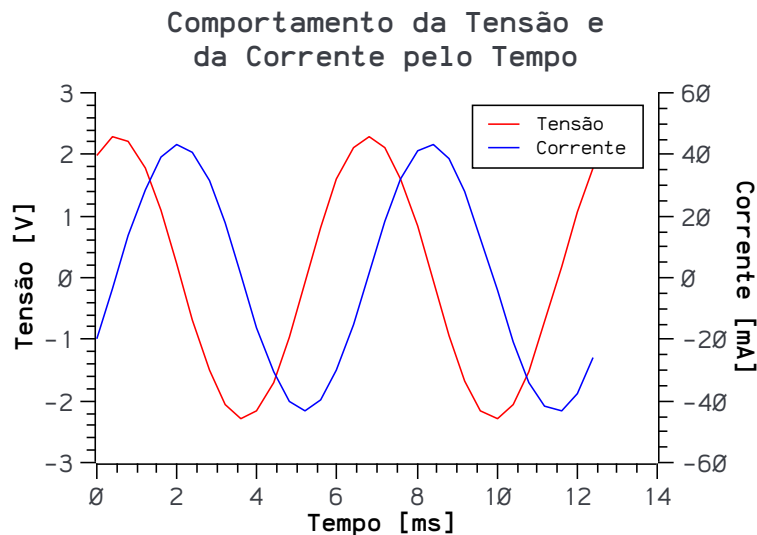


Figura 37: Gráfico de corrente e tensão por tempo no capacitor (circuito 31)

7 Curvas de Nível

Curvas de nível servem para representar dados tridimensionais em um plano. As três variáveis para esse tipo de gráfico são x e y independentes e $z = f(x, y)$.

Serão usados, como exemplo, dados semelhantes aos do experimento sobre potencial elétrico entre barras de cobre em uma solução condutiva. Nesse caso, as variáveis independentes são as distâncias x e y no plano e a variável dependente é o potencial V de cada ponto.

7.1 Limitações do SciDavis

Com o SciDavis, as opções para fazer curvas de nível são bem mais limitadas do que com outras ferramentas e os resultados costumam ter muitos problemas de formatação. Observe na figura 38 como é difícil a leitura dos níveis com as cores e como as curvas de nível não fazem muito sentido. Além disso, esse modelo de gráfico serve apenas para pontos igualmente espaçados de x e y .

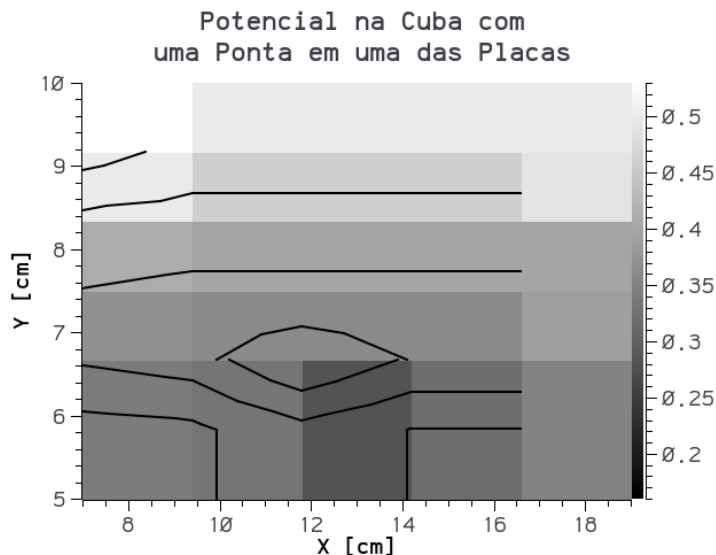


Figura 38: Exemplos de gráfico de curvas de nível do SciDavis

7.2 Simulando Curvas de Nível

Apesar de tudo isso, é possível simular curvas de nível com um gráfico de múltiplas variáveis. Para tanto, é preciso que os dados sejam coletados seguindo valores fixos de z que significa medir as equipotenciais em valores específicos de V no caso das medidas de potencial na cuba.

No SciDavis, basta separar os valores de cada z diferente em colunas próprias de y . A tabela deve ficar algo parecido com a da figura 39. Com isso, basta aplicar o mesmo processo de montagem do gráfico da seção *Gráficos de Eixos em Conjunto*.

7.3 Opções de Formatação

	x[X]	0.255[Y]	0.356[Y]	0.405[Y]	0.455[Y]	0.502[Y]
1	7	4.6	7.1	8	9.25	9.75
2	9	4.9	7	8	9.25	10
3	11	5.25	7	8	9	10
4	13	5.75	7.25	8.1	9	10
5	15	5.2	7	8	9	10.25
6	17	4.75	7	8	9	10
7	19	4.5	6.75	7.75	8.75	9.75
8						
9						

Figura 39: Montagem dos dados de posições para cada potencial

7.3 Opções de Formatação

Por padrão, o SciDavis escolhe cores variadas para cada nível, mas é mais recomendado seguir tons variados de uma mesma cor. Para este exemplo será seguido um padrão de cores monocromáticas. Além disso, a grossura das linhas (Line width) foi alterada para o valor 2.

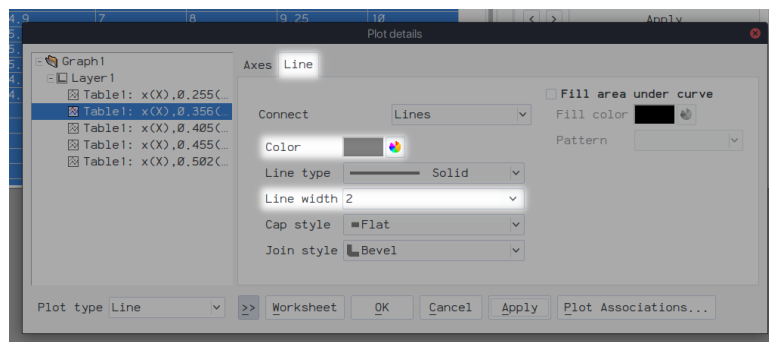


Figura 40: Principais opções de formatação



É importante a adição de sufixos com a unidade do valor medido na legenda.

7.4 Resultado

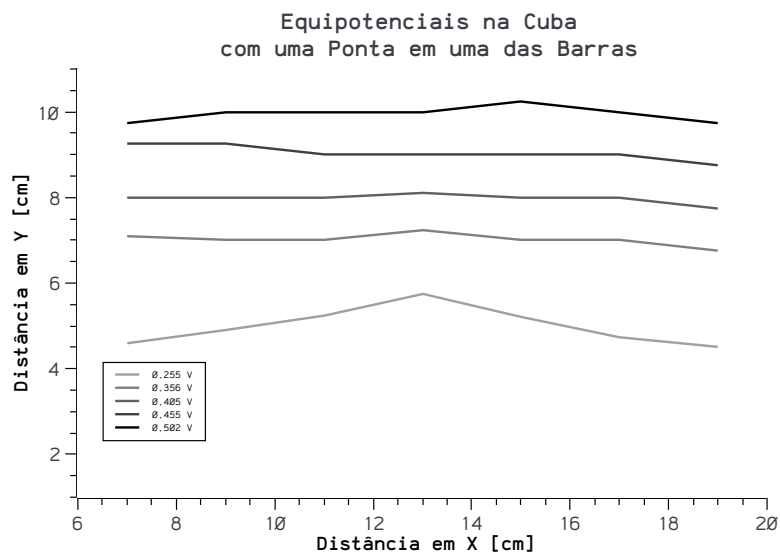


Figura 41: Deformação das equipotenciais gerada pela adição de uma ponta