

Roteiro de Construção de Gráficos Análise de Experimentos Virtuais

Nos experimentos virtuais, pede-se a construção de gráficos baseados nos dados obtidos a partir dos quadros. O Microsoft Office Excel™ possui um tutorial de construção de gráficos bem completo, ainda que com algumas opções não desejáveis para os gráficos que pretendemos utilizar. A fim de auxiliar o trabalho de análise experimental, escrevemos este guia de orientação para a construção das representações gráficas, com algumas dicas sobre o que se deseja observar no relatório, ressaltando suas características mais importantes. Analisaremos neste tutorial um conjunto de dados que representa o movimento uniforme de um corpo, por critério de simplificação. Um exemplo de tabela de dados com a qual construiremos nossos gráficos de demonstração está na Tabela 1 a seguir:

Instante (s)	Posição (cm)
0,00	1,4
0,50	1,4
1,00	2,2
1,50	3,1
2,00	3,1
2,50	3,0
3,00	4,1
3,50	5,2
4,00	5,3
4,50	5,5

Tabela 1. Dados primários de instante e posição.

A tabela possui as colunas de *instante* e *posição*, as quais serão utilizadas para a análise cinemática da situação em questão. Tomemos como exemplo o gráfico de **posição por tempo**. Para proceder com a criação do gráfico, selecione as duas colunas de interesse (**a da esquerda corresponde ao eixo horizontal (Ox) e a da direita ao eixo vertical (Oy)**), e, na seção de *Gráficos* da guia *Inserir*, clique no tipo *Dispersão*, que é o mais conveniente para o tipo de análise desejado. Note que são sugeridos diferentes tipos de gráficos de dispersão, como o de *Dispersão Somente com Marcadores*, e o de *Dispersão com Linhas Retas e Marcadores*, conforme indicam as setas na Figura 1, a seguir:

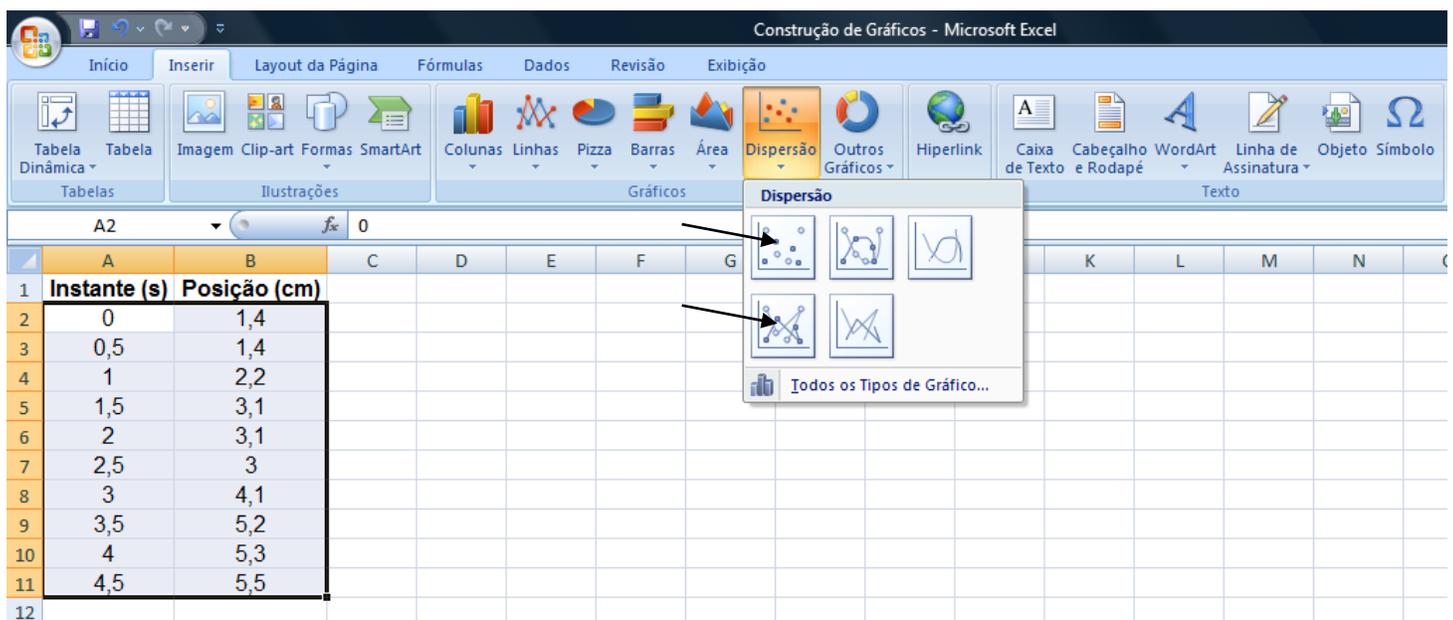


Figura 1. Tabela com dados primários selecionados e escolha do tipo de gráfico.

Tomaremos como exemplos estes dois subtipos de gráfico, de acordo com as Figuras 2a e 2b, e compararemos suas qualidades e defeitos:

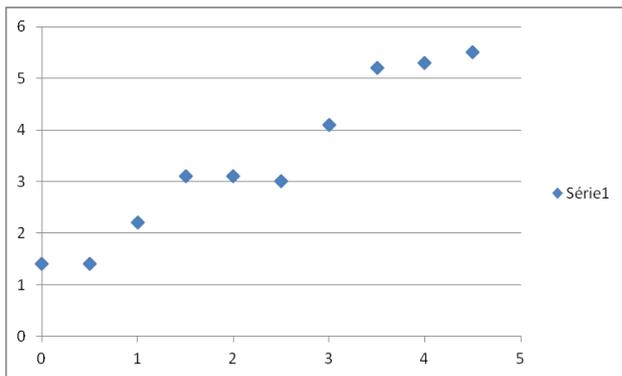


Figura 2a. Gráfico de *Dispersão Somente com Marcadores*, gerado automaticamente pelo Excel a partir dos dados selecionados, de acordo com a Figura 1.

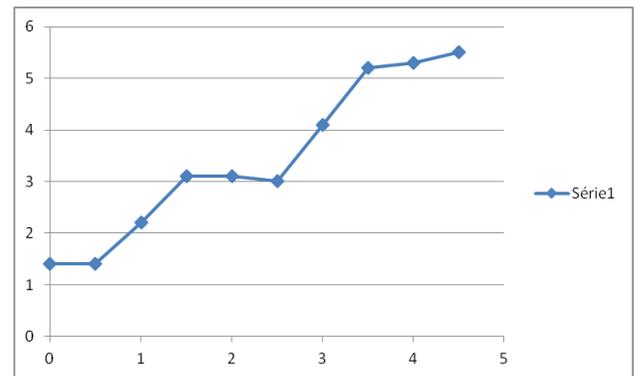


Figura 2b. Gráfico de *Dispersão com Linhas Retas e Marcadores*, gerado com base nos mesmos dados da Figura 2a.

A **Figura 2a** mostra uma disposição de pontos isolados, ou seja, sem qualquer tipo de ligação que pudesse identificar um padrão dos resultados. A **Figura 2b**, em contrapartida, liga os pontos experimentais com segmentos de reta. Apesar de aparentemente ser mais viável, a Figura 2b atrapalha a observação do comportamento dos pontos, pois os segmentos que os ligam não criam qualquer padrão que melhore as informações obtidas; em outras palavras, as linhas que ligam os pontos não estimam a posição do móvel nos intervalos de tempo onde não possuímos pontos experimentais (no caso do nosso exemplo, os intervalos entre 1,50 s e 2,00 s, entre 2,00 s e 2,50 s, e assim sucessivamente). Poderíamos ter utilizado também o gráfico de *Dispersão com Linhas Suaves e Marcadores*, como na **Figura 3**:

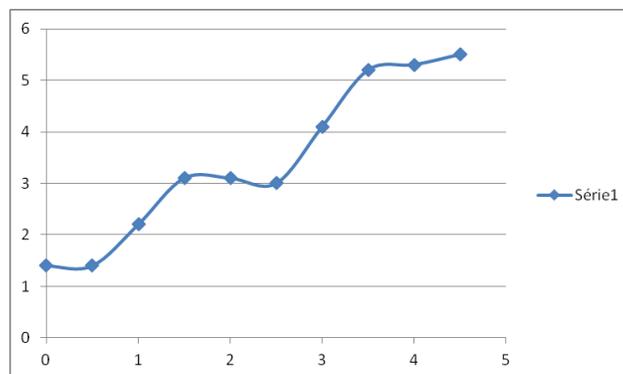


Figura 3. Gráfico de *Dispersão com Linhas Suaves e Marcadores*, gerado com base nos mesmos dados da Figura 2.

Entretanto, os resultados são análogos aos da Figura 2a. Tais observações nos levam à nossa primeira dica para a construção dos gráficos:

- **Dica 1:** Utilize a opção de Dispersão Somente com Marcadores para construir os gráficos, sem ligar os pontos por qualquer curva, linear ou suave. Os pontos experimentais isolados são visualizados com maior facilidade.

A posição do corpo, assim como qualquer outra medida física relacionada aos experimentos, possui uma incerteza associada, e essa informação deve estar explícita em nosso gráfico. Para tanto, sugerimos a realização dos seguintes procedimentos:

- 1) Selecione do gráfico os pontos experimentais clicando sobre um deles com o **botão esquerdo** do mouse. Na parte superior da janela, aparecerá um conjunto de três abas, as *Ferramentas de Gráfico* (*Design*, *Layout* e *Formatar*). Selecione a aba *Layout* (Figura 4);
- 2) Selecione, da seção *Análise*, a opção *Barras de Erros*. O Excel fornece opções diversas, mas para efeito de compreensão das diferentes opções, clique em *Mais Opções de Barras de Erros* (Figura 5);

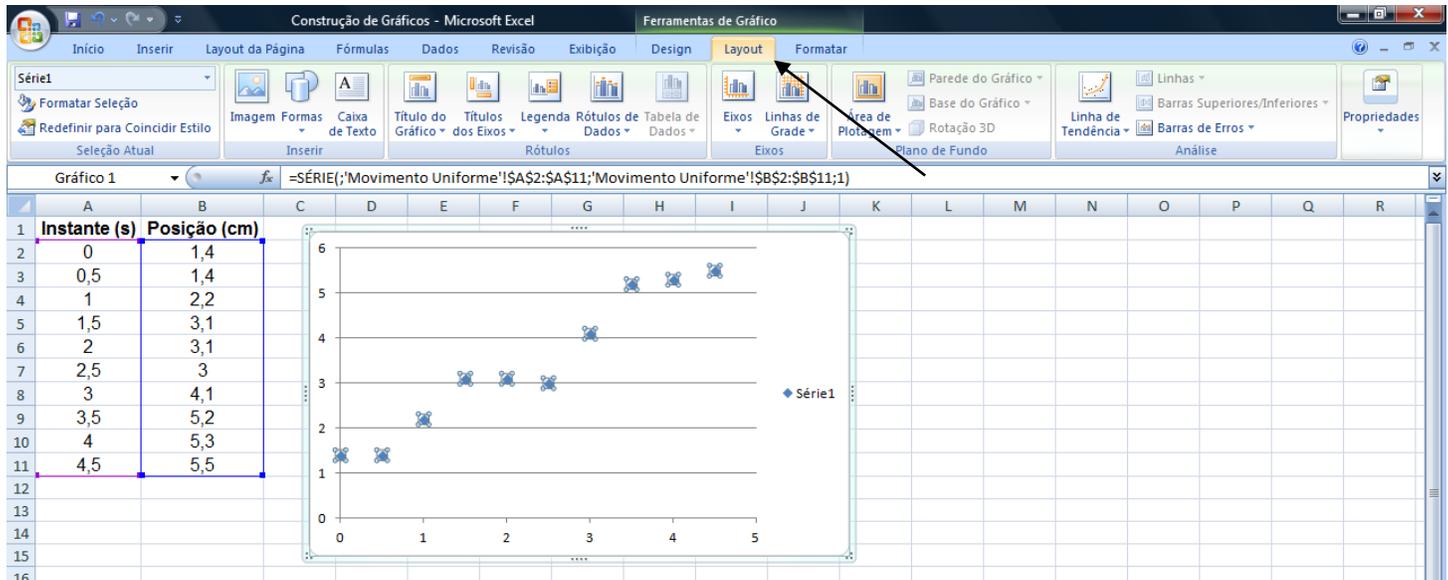


Figura 4. Com os pontos do gráfico selecionados, as *Ferramentas de Gráfico* são disponibilizadas.

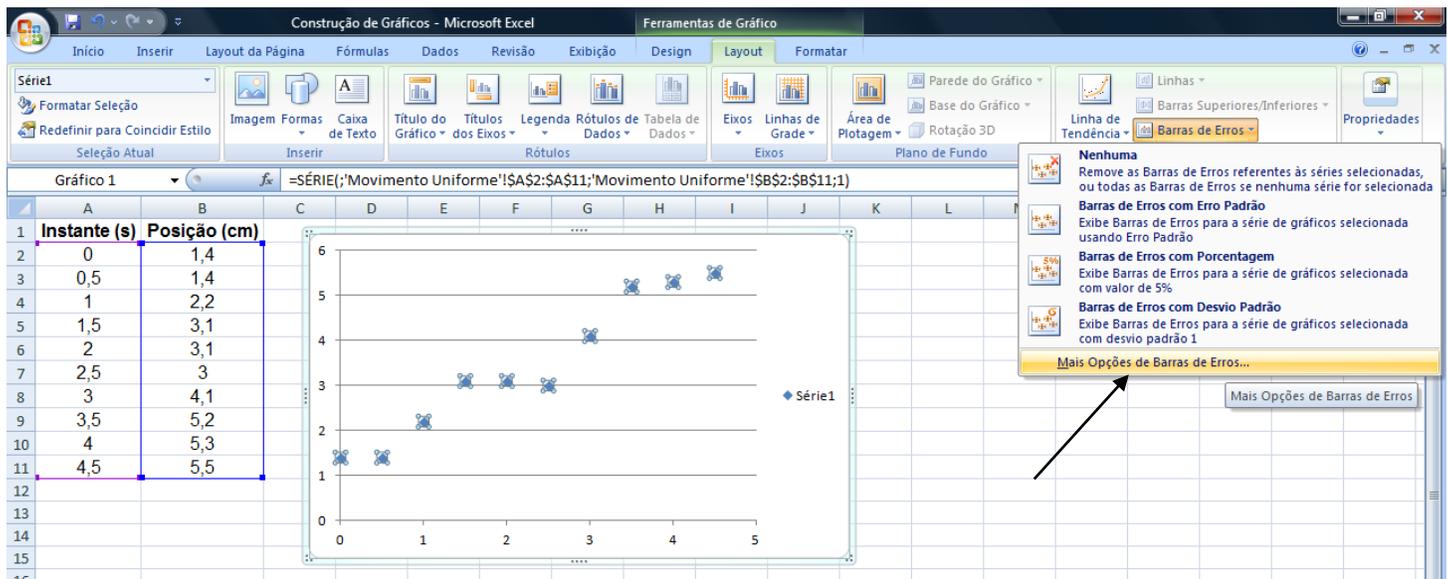


Figura 5. Na seção *Análise* da aba *Layout* é possível explorar as diferentes opções para *Barras de Erros*.

- 3) Será exibida uma janela (Figura 6), *Formatar Barras de Erros*. Na opção *Barras de Erros Verticais*, na caixa *Exibir*, selecione a *Direção Ambos* e o *Estilo Final* com *Legenda*, para que as barras de incerteza apareçam no gráfico acima e abaixo dos pontos experimentais (tanto para mais, quanto para menos), com pequenos traços limitando as barras de erro;
- 4) Na caixa *Erro*, há várias opções:
 - *Valor Fixo*: estipula um mesmo valor de incerteza para todos os pontos experimentais;
 - *Porcentagem*: estipula o erro como uma porcentagem de cada valor experimental;

- *Desvios Padrão*: caso haja necessidade, pode-se calcular a incerteza pelo desvio padrão dos dados;
- *Erro Padrão*: estipula como incerteza uma unidade da escala do gráfico;
- *Personalizar*: permite que o usuário escolha de sua pasta de planilhas um valor ou uma faixa de valores de incerteza correspondentes aos pontos experimentais, tanto para mais quanto para menos.

Selecione a opção *Valor Fixo*, e digite 0,5 na caixa de texto respectiva.

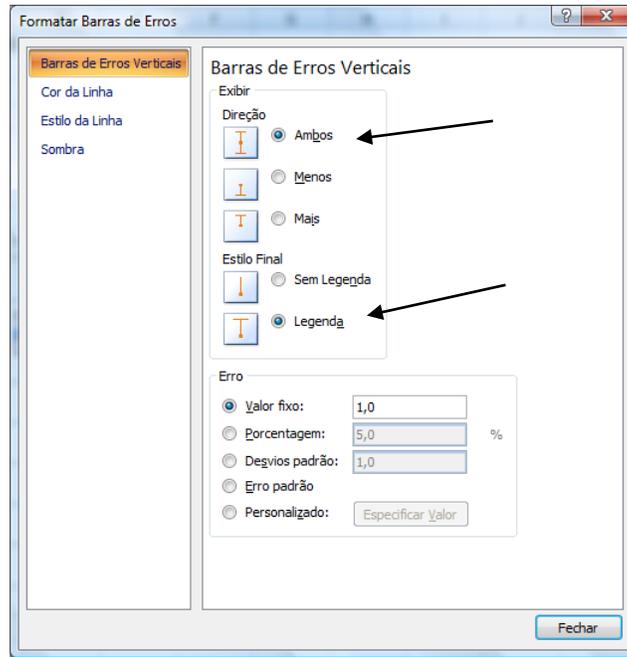


Figura 6. Janela *Formatar Barras de Erros*, e suas diversas opções de manipulação e tratamento das barras de incerteza.

No caso de nosso exemplo, podemos utilizar tanto a opção *Valor Fixo* quanto a opção *Personalizar* para confeccionar nosso gráfico, já que a incerteza da posição é fixa e tem valor **0,5 cm**, ou seja, metade da escala do instrumento de medida (régua centimetrada). Após esta sequência de passos, o gráfico aparecerá com barras de erros horizontais e verticais. Clicando em uma das barras de erro horizontais (Figura 7) e deletando-a (com as teclas *Delete* ou *Backspace* de seu teclado), o conjunto será deletado (nos experimentos a incerteza do tempo é normalmente desprezada) e o gráfico terá o aspecto da Figura 8, apenas com as barras de erro verticais:

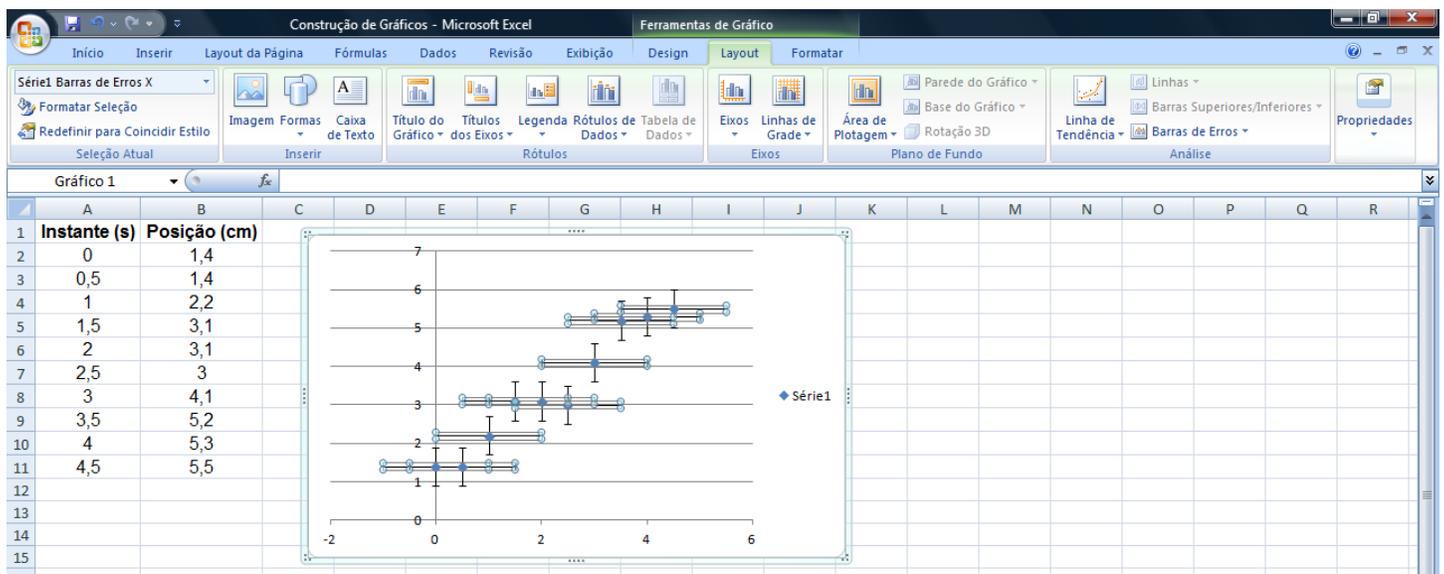


Figura 7. Barras de erro horizontais do gráfico selecionadas.

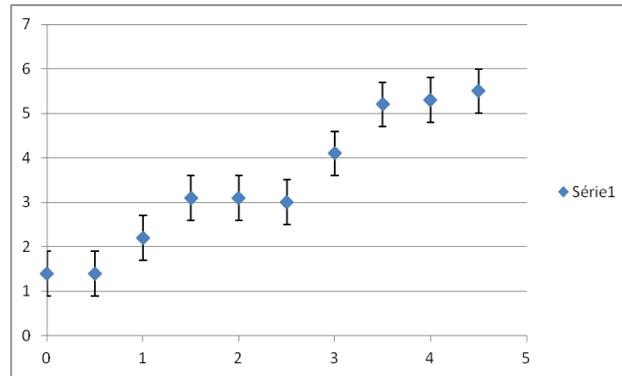


Figura 8. Gráfico das posições do móvel em função dos instantes com indicação de incerteza da posição.

Tais procedimentos nos levam à nossa segunda dica:

- **Dica 2:** Adicione os valores de incerteza nos gráficos clicando com o botão esquerdo sobre um dos pontos experimentais e selecionando *Barras de Erros* na seção *Análise* da aba de *Layout* das *Ferramentas de Gráfico*. As configurações das barras de incerteza estão disponíveis em *Mais Opções de Barras de Erros*.

Em muitas situações será útil a opção *Personalizar* da caixa *Erro* da janela *Formatar Barras de Erros*, principalmente quando a incerteza for variável. Suponhamos uma grandeza x , cujos valores medidos nos diferentes instantes estejam de acordo com a tabela da Figura 9. Repare que a incerteza associada a cada valor medido é variável. Construindo o gráfico da grandeza x em função do tempo, obtemos o gráfico mostrado na Figura 9:

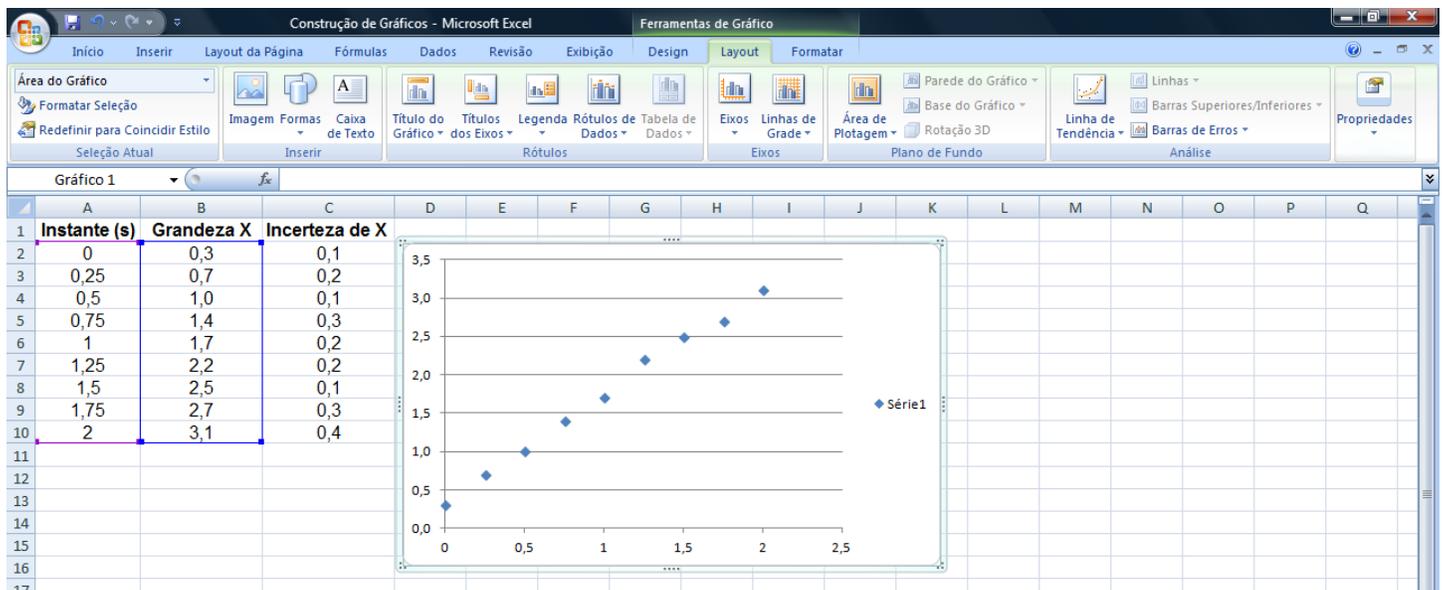


Figura 9. Tabela com os valores medidos da grandeza x nos diferentes instantes com a incerteza variável entre cada medição e gráfico do comportamento da grandeza x ao longo do tempo. Como demarcar no gráfico as incertezas dos pontos experimentais?

Para inserir as barras de erros nos pontos experimentais do gráfico, sugerimos os seguintes passos:

- 1) Repita os procedimentos mostrados nas Figuras 4, 5 e 6;
- 2) Na caixa *Erro* da janela *Formatar Barras de Erros*, selecione a opção *Personalizar*;
- 3) Clique no botão *Especificar Valor*. Será exibida uma pequena janela, *Barras de Erros Personalizadas*, de acordo com a Figura 10;

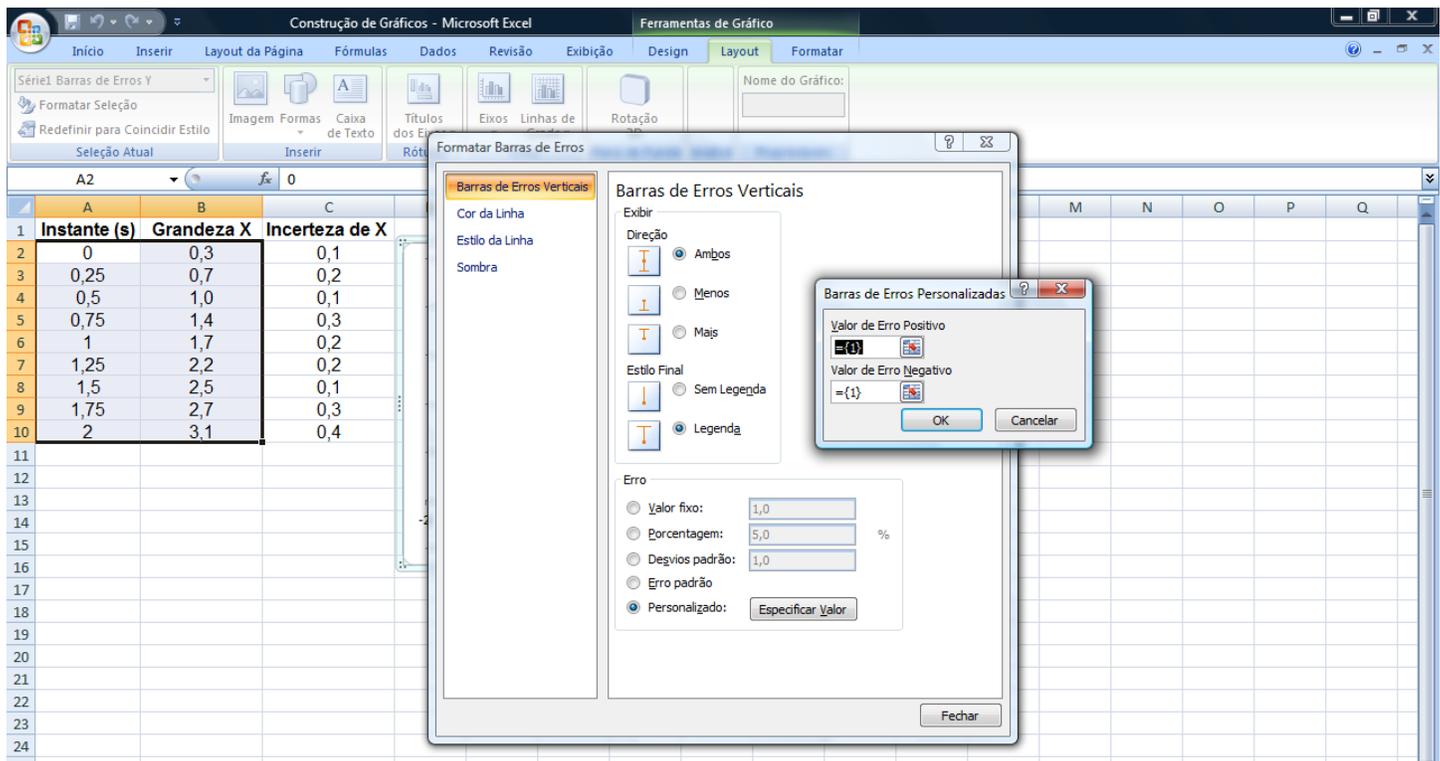


Figura 10. Clicando no botão *Especificar Valor*, a janela *Barras de Erros Personalizadas* é exibida.

- 4) Esta janela nos permite escolher valores para as partes positiva e negativa das barras de erros de cada ponto experimental. Com o erro padrão (de uma unidade, pré-definido pelo Excel) selecionado na caixa de texto referente ao *Valor de Erro Positivo*, ou seja, $=\{1\}$, selecione com o mouse as células de C2 a C10, correspondentes às incertezas dos valores medidos para a grandeza x , de acordo com a Figura 11. (Para proceder com esta seleção, pressione o botão esquerdo do mouse sobre a célula C2, arraste o ponteiro do mouse até a célula C10 e solte o botão esquerdo do mouse);
- 5) Repita o procedimento anterior para o *Valor de Erro Negativo*, e pressione o botão *OK*;
- 6) Feche a janela *Formatar Barras de Erros*. Você terá configurado as barras de erros horizontais e verticais com os valores da coluna *Incerteza de X*. Para remover as barras de erros horizontais, repita o procedimento mostrado na Figura 7. O gráfico terá o aspecto da Figura 12, apenas com barras de erros verticais.

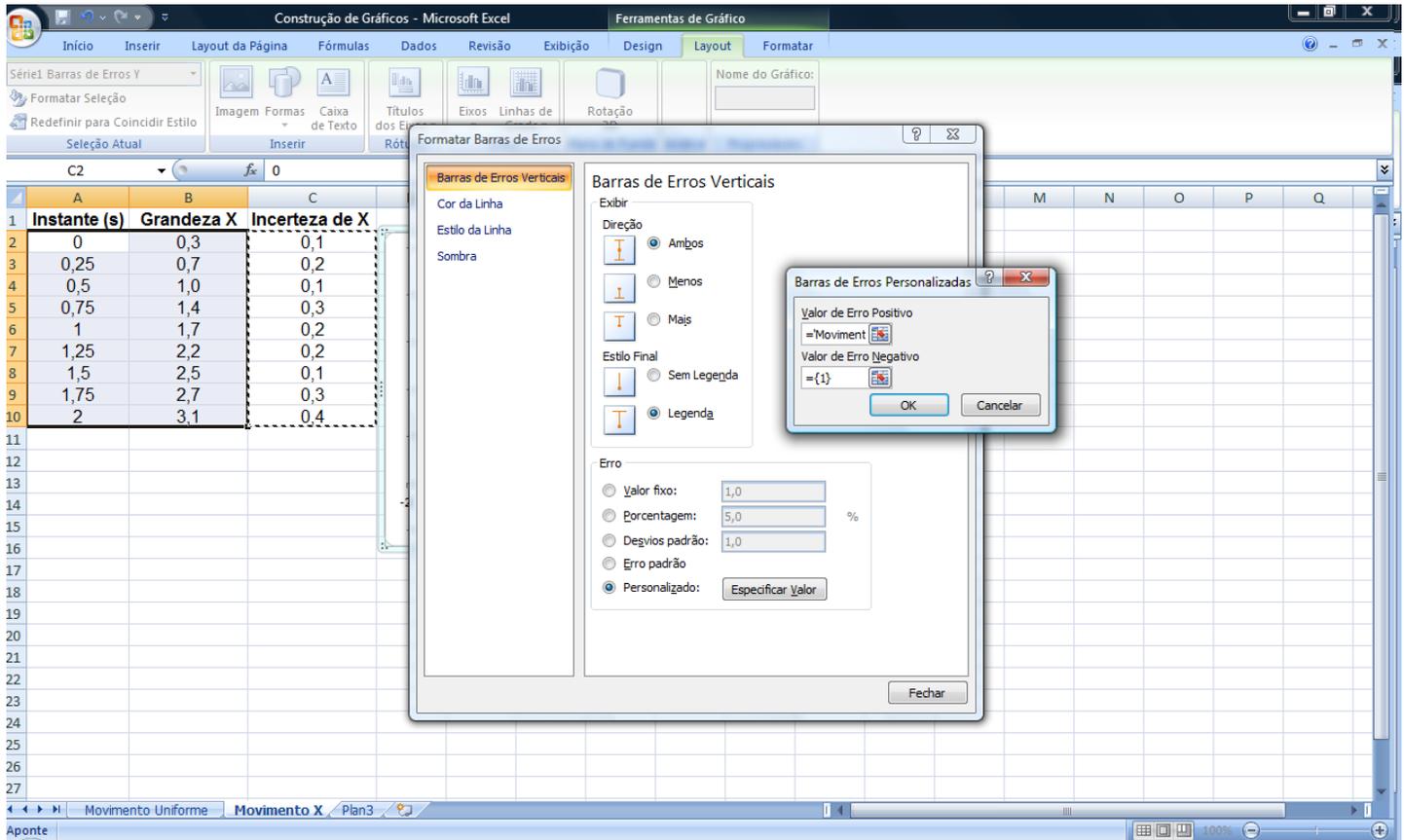


Figura 11. Valores de incerteza dos valores medidos da grandeza x sendo associados à parte positiva das barras de erros.

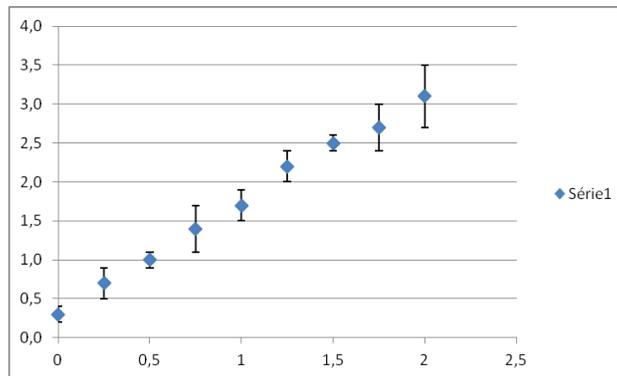


Figura 12. Gráfico do comportamento temporal da grandeza x, com as barras de erros verticais dispostas corretamente.

Para se proceder com uma análise concisa e clara dos dados dispostos nos gráficos das Figuras 8 e 12, sugerimos ainda que os mesmos tenham seu visual aperfeiçoado. Como mostra com mais clareza o gráfico da Figura 8, as barras de erro não conseguem ser distinguidas muito claramente dos pontos experimentais, uma vez que os mesmos estão muito grandes quando comparados às suas barras de incerteza. Também observamos que há uma legenda gerada automaticamente (“Série1”), que para nós não terá utilidade. Além disso, não há título nos eixos. Aprenderemos agora a corrigir estes pequenos detalhes para melhorar a disposição e o corpo do gráfico.

Inicialmente, para excluir a legenda, basta clicar sobre a mesma com o botão esquerdo do mouse e deletá-la com os botões *Backspace* ou *Delete* de seu teclado.

Os pontos experimentais podem ser manipulados clicando com o botão direito sobre os mesmos e selecionando a opção *Formatar Séries de Dados*. Nas *Opções de Marcador*, podemos alterar o tamanho dos marcadores ao selecionar o tipo de marcador *Interno*, de acordo com a Figura 13, a seguir. O ideal é que os pontos tenham um tamanho médio de **3 pt**, a fim de destacar claramente as incertezas associadas a cada ponto.

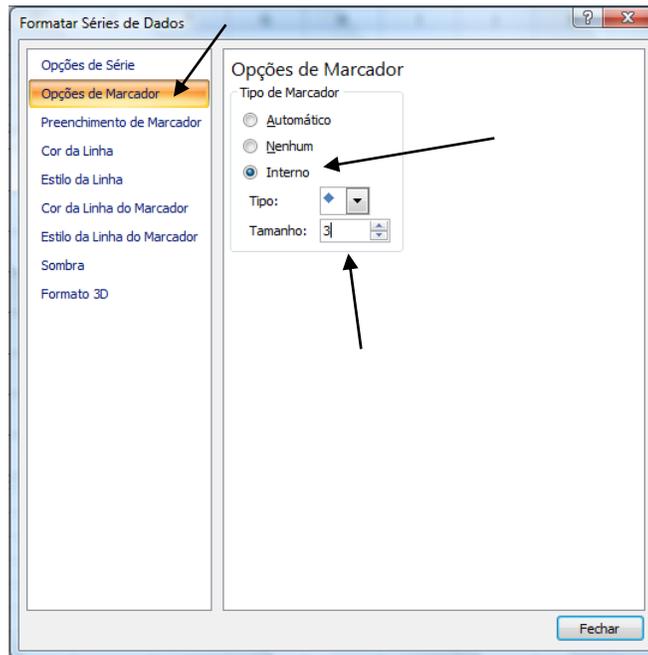


Figura 13. Janela *Formatar Séries de Dados*, que permite a manipulação dos pontos experimentais.

Isso nos leva à nossa terceira dica para construção de gráficos diz respeito aos detalhes de exibição:

- **Dica 3:** Diminua o tamanho dos pontos experimentais no gráfico selecionando-os com o botão direito, no menu *Formatar Séries de Dados* caso os mesmos ocupem no gráfico um espaço indevido em comparação com as suas barras de incerteza.

Outros itens importantes de serem incluídos são os títulos dos eixos (onde identificaremos a variável referente a cada eixo com sua respectiva unidade de medida). Estes títulos podem ser inseridos a partir das opções da seção *Rótulos* da aba *Layout* das *Ferramentas de Gráfico*. Sugerimos seguir os passos indicados a seguir:

- 1) Para inserir o título do eixo dos tempos, selecione *Títulos dos Eixos*, em seguida *Título do Eixo Horizontal Principal*, escolhendo *Título Abaixo do Eixo*. Será exibida uma caixa de texto abaixo do eixo, onde é possível alterar seu conteúdo, como mostra a Figura 14.
- 2) Para inserir o título do eixo das posições ou das velocidades, selecione *Títulos dos Eixos*, em seguida *Título do Eixo Vertical Principal*, escolhendo *Título Girado*. O procedimento de alteração do conteúdo da caixa de texto referente a este eixo é análogo ao do eixo dos tempos.
- 3) Note que não é necessário que o gráfico tenha um título, uma vez que a especificação da grandeza de cada eixo, seja através de sua letra representativa ou de seu nome por extenso, explicita de modo satisfatório qual grandeza é a variável sendo considerada (tempo), e qual grandeza é a função (posição/grandeza x).
- 4) Após fazer estas alterações, os gráficos terão os aspectos mostrados nas Figuras 15a e 15b.

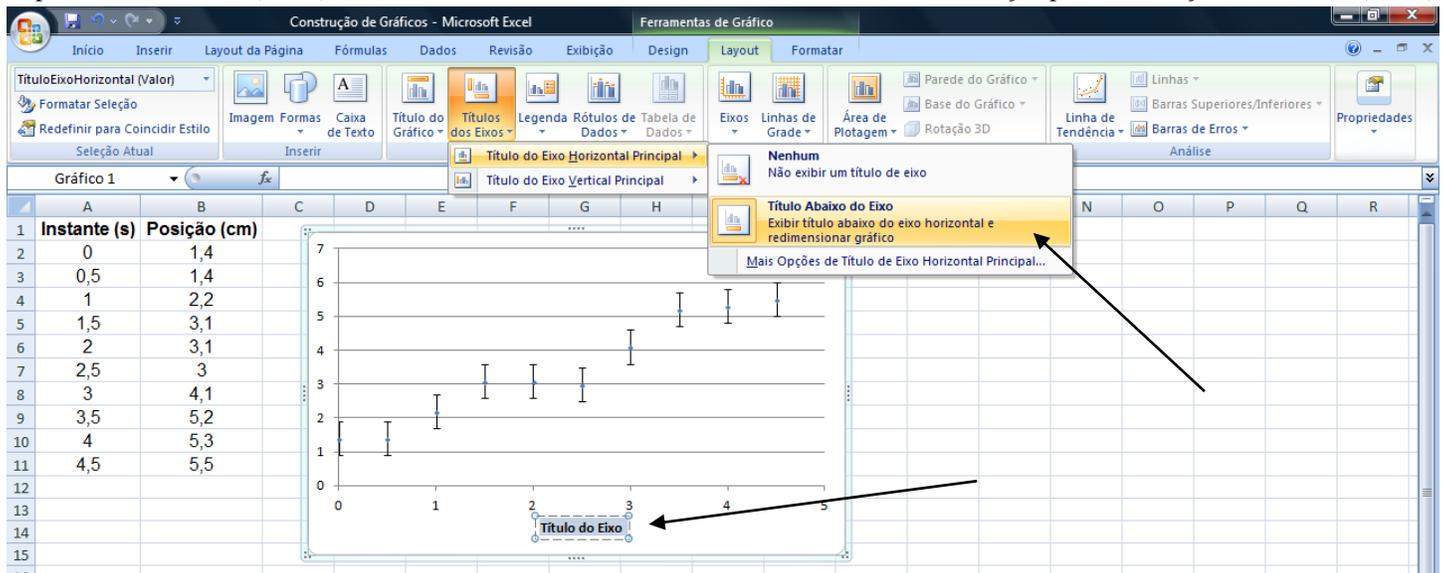


Figura 14. Inclusão do título do eixo horizontal dos tempos.

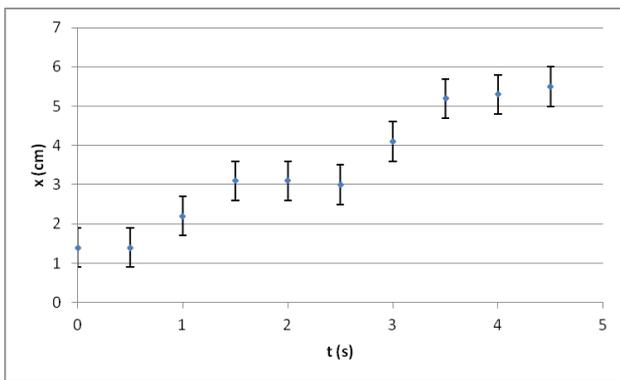


Figura 15a. Aspecto final do gráfico de posição em função do tempo com pontos experimentais e barras de incerteza adequados.

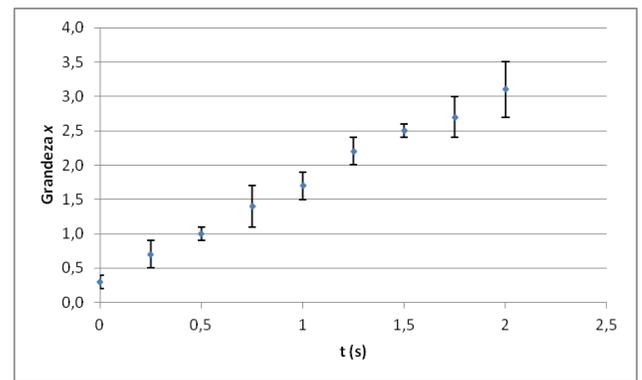


Figura 15b. Aspecto final do gráfico da grandeza x em função do tempo com pontos experimentais e barras de incerteza adequados.