ATIVIDADE 13 - Medidas de velocidade e aceleração

Na aula passada aproveitamos o fato de que conseguimos reproduzir o movimento de descida do carrinho com boa precisão para medir valores de velocidade instantânea em várias posições do trilho. Vamos iniciar esta aula analisando esses dados.

1. Uso do software LabPlot

A planilha do Google tem a vantagem de ser prática e de simples compartilhamento. Porém, suas funcionalidades para a análise de dados são bastante limitadas. Por isso, vamos passar a utilizar o programa gratuito LabPlot, disponível na área de trabalho do computador.

Abra o LabPlot e digite na primeira coluna os valores de distância percorrida e, na segunda coluna, os valores de velocidade instantânea. Agora, clique no menu **Planilha**, escolha **Analisar e plotar dados**, depois **Ajuste** e **Personalizado**.

Surgirá um gráfico e um painel à direita, com diversas abas. Vamos configurar o ajuste nesse painel.

2. Modelagem do movimento de descida: velocidade em função da distância percorrida

A modelagem dos dados coletados envolve o uso de um modelo teórico para a situação em análise. Modelos teóricos preveem equações que relacionam as quantidades em estudo. No caso, estamos analisando a relação entre a velocidade instantânea (v) do carrinho após ele percorrer uma distância (d).

O carrinho desce o trilho sujeito a uma série de efeitos, como a resistência do ar, o atrito residual com o trilho, trepidações, etc. Nenhum modelo teórico consegue capturar precisamente todos os efeitos presentes em um experimento. Dito de outra maneira, todo modelo teórico envolve algum tipo de simplificação da realidade. Portanto, todo modelo teórico vai descrever a realidade com alguma imprecisão e a verdade está nos dados experimentais, e não no modelo.

Neste ponto da nossa disciplina, não vamos nos ater aos detalhes da dedução do modelo teórico. Isso ficará a cargo da disciplina de Física Teórica. Vamos apenas usar um modelo simplificado que despreza completamente o atrito com o trilho, com o ar, as trepidações, etc. Nessas condições, pode-se mostrar que a velocidade instantânea se relaciona com a distância percorrida seguindo a relação:

$$v = \sqrt{2\,a\,d}\ ,$$

onde o parâmetro a é a aceleração, dada por: $a = g\,sen\,(\theta)$, sendo g a chamada aceleração de queda livre, e θ é o ângulo de inclinação do trilho. Perceba que, segundo o modelo, a aceleração a é constante enquanto o carrinho desce o trilho, pois g e θ não mudam na descida. Portanto, o modelo prevê que o carrinho se move em um movimento retilíneo uniformemente variado.

Perceba que, pelo modelo, a velocidade instantânea *v* varia em função de *d* segundo uma função do tipo:

$$f(x) = C\sqrt{x}\,,$$

onde C é uma constante. Note que, na relação acima, usamos a notação f(x) usada nos livros de matemática. É fundamental compreender a correspondência: $v \leftrightarrow f$, $d \leftrightarrow x$. Se você compreendeu bem, identificará a constante C como sendo $\sqrt{2a}$.

Modelos teóricos geralmente relacionam as quantidades envolvidas no problema usando funções matemáticas. No caso, a função que aparece envolve uma raiz quadrada. Devido a todas as imprecisões que podem ocorrer na modelagem de um experimento, não esperamos que os dados

coletados sigam exatamente uma relação matemática como a prevista pelo modelo. Em geral, os dados experimentais vão seguir uma função matemática apenas de forma aproximada.

Portanto, dentre todas as funções possíveis, o modelo prevê que a função raiz quadrada é a mais adequada:

$$f(x) = C\sqrt{x}$$

Porém, precisamos determinar um valor da constante C que se ajuste bem aos dados experimentais. Existe um certo grau de arbitrariedade na escolha dos bons círculos. Sempre será assim: haverá uma faixa de valores de parâmetros que serão considerados adequados, dentro de uma certa exigência.

O programa LabPlot tem métodos implementados para encontrar os valores mais adequados dos parâmetros das funções para descrever os dados das tabelas e gráficos. Não vamos aprender aqui a deduzir esses métodos teórico-computacionais. Vamos apenas utilizá-los.

Para isto, no painel aberto à direita do gráfico, na aba **Geral**, procure um campo chamado **Ajustar**. Nele há um espaço com o rótulo `f(x)`. Nele, digite `C * sqrt(x)`. Observe que no campo chamado **Parâmetros** surgiu uma tabela com uma linha e o nome `C`. Clique em ⚙️**Executar**.

Como resultado, foi traçada no gráfico a curva de raiz quadrada mais bem ajustada. Avalie se o ajuste foi de boa qualidade. O LabPlot informa, na aba **Parâmetros** do painel à direita, o melhor valor do parâmetro C e também a incerteza associada a ele. Representando pela letra grega sigma (σ) a incerteza, podemos dizer que qualquer valor dentro do intervalo

$$(C - \sigma, C + \sigma)$$

representa uma curva que descreve de forma aceitável os dados experimentais.

Escreva o valor de C e o valor de σ na folha de dados deste roteiro. Use apenas um algarismo significativo para σ e arredonde o valor de C na casa decimal onde está a incerteza.

Interpretando o resultado do ajuste

Se você avalia que, após o ajuste, seu modelo teórico descreve bem os dados experimentais, você pode usar a função matemática prevista pelo modelo (e com os melhores valores numéricos obtidos para os parâmetros) para analisar a relação entre as quantidades em estudo.

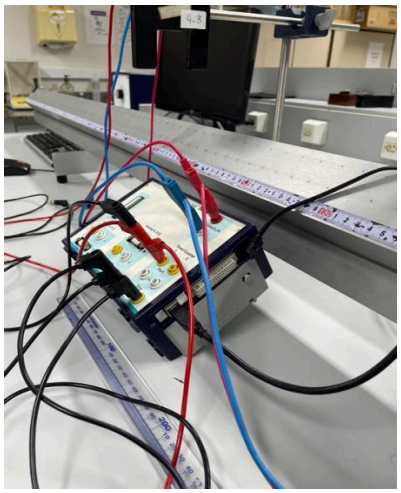
É essa função ajustada que interpola corretamente os dados coletados. Podemos utilizá-la também para obter informações sobre valores fora do intervalo medido. Use a função obtida para estimar a velocidade do carrinho quando ele atinge o final do trilho.

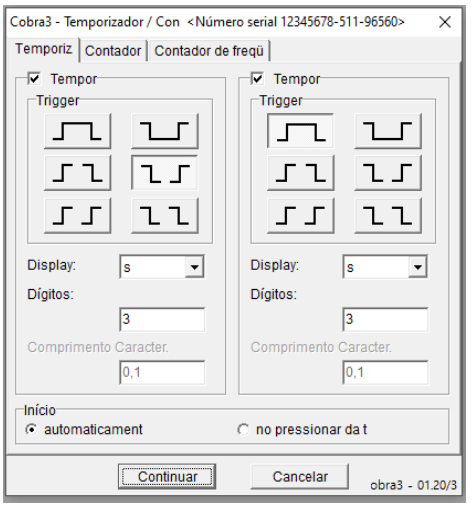
Normalmente, os parâmetros matemáticos do modelo têm interpretação no contexto em análise. No caso da descida do carrinho, o parâmetro está relacionado à aceleração. A partir do valor obtido da constante C, calcule o valor da aceleração prevista pelo modelo. Anote o valor obtido para a aceleração na folha de dados.

3. A função horária da velocidade na descida do trilho

Na seção anterior, analisamos como a velocidade varia em função da distância percorrida pelo carrinho na descida do trilho. Agora, vamos estudar a relação entre a velocidade e o tempo transcorrido desde que o carrinho é largado. Para isso, precisaremos de dois sensores. Utilizaremos a configuração que, na primeira aula, chamamos de “avançada”:

O cabo de dados do sensor de luz 1 deve ir até o conector “Timer Counter 1 – Start” do Cobra 3. O cabo de dados do sensor de luz 2 deve ir até o conector “Timer Counter 1 – Star” do Cobra 3. Um ficará por cima do outro. Pegue outro cabo que deve sair do conector “Timer Counter 1 - Start” para o conector “Timer Counter 1 - Stop”. Finalmente, um outro cabo deve sair de “Timer Counter 1 - Stop” para “Timer Counter 2 - Stop”





Para simplificar, configure o parâmetro “Display” no Temporizador 1 (da esquerda) para indicar a velocidade (m/s).

Posicione o primeiro sensor a uma distância qualquer entre 20 e 40 cm do topo do trilho. Anote a posição escolhida na folha de dados. Nas próximas coletas de dados, mantenha esse primeiro sensor sempre na mesma posição.

O segundo sensor será colocado em **seis** posições diferentes, de forma a preencher a Tabela 3, disponível na folha de dados

4. Modelagem da relação entre a velocidade e o instante de tempo

O mesmo modelo simplificado que mencionamos anteriormente prevê que a relação entre velocidade instantânea e o instante de tempo correspondente é:

$$v(t) = v_0 + at \ ,$$

onde, como antes, $a = g\,sen\,(\theta)$ é a aceleração. Que tipo de função matemática o modelo prevê para a relação entre *v* e *t*? Escreva essa função na folha de dados.

Coloque os dados da Tabela 3 no LabPlot. Faça o gráfico $v \times t$ e, em seguida, o ajuste da função adequada a esse gráfico.

Qual é a aceleração do movimento prevista por essa análise? E qual é a velocidade inicial do carrinho?

5. Gráfico da posição em função do tempo

Faça o gráfico da posição em função do tempo, usando os dados da Tabela 3. Pelo modelo do movimento uniformemente variado, a relação entre essas quantidades é da forma:

$$x(t) = x_0 + v_0 t + at^2/2 \ ,$$

Faça o ajuste adequado e obtenha valores para x_0, v_0 e a, com as respectivas incertezas. Compare o valor obtido para a aceleração

Análise da velocidade em função da distância percorrida

C =

σ =

intervalo de valores de C:

a =

Análise da velocidade em função do tempo

Tabela 3

Posição do sensor (cm)	Instante de tempo (s)	Velocidade (m/s)

v0 =

a =