

Esquema para Relatório

1. **Introdução:** A introdução tem a função de apresentar o tema sobre o qual o experimento versa. Portanto, deve-se descrever os fundamentos teóricos sobre os quais o experimento foi projetado. A exposição teórica deve ser adaptada e restrita às condições do experimento e não precisa esgotar o assunto. Ela deve abordar os conceitos a serem empregados no experimento, na análise dos dados e na discussão dos resultados. Além disso, a introdução deve conter uma motivação para a realização do experimento, destacando a importância dos resultados que serão obtidos.
2. **Procedimento experimental:** Nesta seção, deve-se descrever o arranjo experimental empregado, explicitando-se a função das diversas componentes do equipamento. Ademais, nesta parte, relata-se os passos seguidos na realização do experimento, ou seja, como ele foi efetivamente levado a cabo. Deve-se sempre que possível ilustrar a descrição do experimento com figuras, diagramas, fluxogramas, etc.
3. **Análise dos Dados:** Aqui se deve descrever o procedimento utilizado para, partindo-se dos resultados brutos do experimento, chegar-se aos resultados finais desejados.
4. **Resultados:** Neste item, os dados obtidos (brutos e finais) devem ser exibidos na forma mais conveniente (gráficos, tabelas, etc.), bem como descritos detalhadamente.
5. **Discussão:** Nesta parte, devemos discutir os resultados obtidos dentro da teoria esboçada na introdução. Apenas como exemplos de discussão, podemos citar a comparação dos resultados experimentais com aqueles que seriam esperados teoricamente ou a interpretação dos valores obtidos experimentalmente a partir da teoria exposta na introdução. Aqui também vale discutir as possíveis fontes de erro e, em que medida, as condições experimentais se afastam daquelas supostas na teoria.
6. **Conclusão:** Na conclusão, deve-se resumir o experimento realizado (p. ex.: *“Neste experimento medimos a relação entre a grandeza x e a grandeza y, utilizando o arranjo experimental”*). Naturalmente, deve-se também expor brevemente as conclusões que se pode tirar dos resultados (p. ex.: *“Os nossos resultados permitem concluir que a relação entre a grandeza x e a grandeza y é...”*).

Naturalmente um esquema para apresentação de relatórios de experimentos não é único e, portanto pode ser alterado conforme a necessidade para cobrir melhor as peculiaridades de cada experimento e o próprio estilo do autor.

Gráficos e Tabelas: Tratamento de erros

Tabelas

São conjuntos de dados estatísticos, associados a um fenômeno, dispostos numa determinada ordem de classificação. Expressam as variações qualitativas e quantitativas de um fenômeno. *A finalidade básica da tabela é resumir ou sintetizar dados de maneira a fornecer o máximo de informação num mínimo de espaço.* Na apresentação de uma tabela devem ser levados em consideração os seguintes critérios:

- toda tabela deve ter significado próprio, dispensando consultas ao texto;
- em geral, uma tabela é composta de:
 - um título: Uma breve descrição daquilo que a tabela contém e as condições nas quais os dados foram obtidos.
 - um cabeçalho: É a parte superior da tabela, contendo informações sobre o conteúdo de cada coluna da tabela. Se for grandezas físicas, coloca-se também a unidade utilizada, de modo que no corpo irá aparecer números puros.
 - uma coluna indicadora, se necessária, indica o conteúdo das linhas. Normalmente é colocada na coluna mais a esquerda.
 - um corpo: é onde se coloca o resultado que se deseja relatar.
- a tabela deve ser colocada em posição vertical, para facilitar a leitura dos dados. No caso em que isso seja impossível, deve ser colocada em posição horizontal, com o título voltado para a margem esquerda da folha. Se a tabela ou quadro não couber em uma página, deve ser continuado na página seguinte. Neste caso o final não será delimitado por traço horizontal na parte inferior e o cabeçalho será repetido na página seguinte.
- não devem ser apresentadas tabelas nas quais a maior parte dos casos indiquem inexistência do fenômeno.

Gráficos

Depois de sintetizados em tabelas, os dados *podem* ser apresentados em gráficos, com a finalidade de proporcionar ao interessado uma visão rápida do comportamento do fenômeno. Serve para representar qualquer tabela de maneira simples, legível e interessante, tornando claros os fatos que poderiam passar despercebidos em dados apenas tabulados.

Certas regras devem ser seguidas na construção de um gráfico, para uma melhor padronização:

1. Todo gráfico deve ser constituído a partir de dados adequadamente tabulados. A menos que a quantidade de dados for muito grande para ser mostrado em tabelas ; é o caso de medidas obtidas automaticamente e armazenadas em um arquivo no computador; então o gráfico passa a ser a principal forma de mostragem dos resultados.
2. tamanho do gráfico deve ser escolhido de acordo com a acuidade dos valores tabulados. Em geral, a curva deve preencher a maior parte da folha. Mas tem que se tomar cuidado para que não haja mais algarismos significativos no gráfico que os da medição.
3. As divisões da escala devem ser destacadas, para facilitar a visualização.
4. Deve-se evitar escrever os valores dos dados tabulados nos eixos coordenados, pois isto dificulta a visualização da escala e suas subdivisões. O gráfico bem feito, com um simples ponto é possível saber o valor de suas coordenadas.
5. Para dados com valores muito grandes ou muito pequenos, é conveniente utilizar potências de dez.
6. As grandezas grafadas (não são os valores da tabela, são os valores das principais divisões do eixo) e suas respectivas unidades (com as devidas potências de dez quando for o caso) devem ser indicadas ao longo dos eixos de forma clara.
7. Para cada par de dados na tabela, deve ser localizado um ponto no gráfico. Se houver mais de uma série de dados, pode se utilizar símbolos diferentes para cada conjunto (círculos, quadrados, pequenos triângulos) ou cores diferentes. De tal maneira que é possível fazer comparações entre várias séries de medições.
8. Ao utilizar um papel previamente milimetrado, utilize de preferência uma escala baseada em números inteiros, por exemplo 1mm = 2 segundos, ou 20 mm = 5 cm ($a = b$, quer dizer "a" mm no gráfico corresponde a "b" unidades da medida feita)
9. Uma curva suave deve ser traçada entre os pontos ou próximos a ele (lembre, a cada dado, há um erro associado) . *A menos que haja explícita recomendação, um gráfico nunca deve ser feito interligando os pontos por segmentos de reta.*
10. Todo gráfico deve ter um título visível. E se for o caso a legenda para os vários conjunto de dados.

Tipos de Erros

Erros de acurácia

- Falhas (ou Erros grosseiros): São erros cometidos por desconhecimento do assunto tratado, inabilidade, distração, etc., e, portanto, desqualificam o experimentalista.
- Erros sistemáticos: Podem ser causados por falhas do aparelho de medida, calibração incorreta e aproximações teóricas incorretas (por exemplo, desprezar a resistência do ar, pode levar a um erro sistemático nos resultados.).

Erros de Precisão

- Erro Instrumental (ou Erro de Escala): Está embutida em todo aparelho de medida, não há como eliminá-lo. Quando a medida corresponde a uma fração da menor divisão da escala do instrumento, há uma certa imprecisão na medida. Considera-se que o erro instrumental de um aparelho analógico seja igual a metade da menor divisão da escala do aparelho; e de um aparelho digital como sendo a menor divisão da escala do aparelho. O *erro instrumental* ($\Delta_{\text{instrumental}}$) representa a limitação do instrumento.
- Erro aleatório ($\Delta_{\text{aleatório}}$): As vezes, as condições sob as quais um experimento é realizado podem não ser exatamente as mesmas a cada vez que realiza o experimento, como por exemplo situações em se mede o tempo com um cronômetro (há o tempo de reflexo do operador). Há então uma flutuação aleatória em torno de um valor, chamado de valor mais provável.

Melhor estimativa = valor médio das várias medidas

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N}$$

Erro aleatório = Desvio Padrão da média

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N - 1}}, \text{ (desvio padrão)}$$

$$\Delta_{\text{aleatório}} = \frac{\sigma_x}{\sqrt{N}}, \text{ (desvio padrão da média)}$$

Qual é o erro experimental ?

O erro experimental é a soma do Erro Instrumental com o Erro Aleatório.

$$\Delta_{\text{experimental}} = \Delta_{\text{instrumental}} + \Delta_{\text{aleatório}}$$

Os erros de acurácias devem ser eliminados. Pressupõe-se que o experimentalista fez todos os esforços para eliminar todos os tipos de falhas ou erros sistemáticos.

Uma vez obtida a melhor estimativa de uma grandeza e determinado o erro experimental, o resultado da medida é escrita como

$$X = (X_{\text{melhor estimativa}} \pm \Delta X_{\text{experimental}}) \text{ unidade}$$

$$\text{ou} \quad x = (\bar{x} \pm \Delta_{\text{exp}}) \text{ unidades}$$

Algarismos Significativos

Os algarismos significativos de uma medida são aqueles razoavelmente confiáveis. Na leitura de uma medida física um e apenas um algarismo estimado ou incerto deve ser retido. Ou seja, há apenas um algarismo duvidoso. Os algarismos significativos é formado pelos algarismos que temos certeza (valor lido do aparelho) mais um algarismo duvidoso ("chutado") que compreende em um valor entre dois que temos certeza (provenientes da menor subdivisão do aparelho de leitura do instrumento). Por exemplo: uma régua comum, mede com precisão até o milímetro, então o décimo do milímetro é duvidoso; uma medida feita com esta régua deve ter algarismo até o décimo do milímetro. Uma medida do tipo 32,284 mm não faz sentido com esta régua; o valor correto a ser expresso poderia ser 32,3 mm (veja que o 0,3 mm é duvidoso, foi o valor "chutado" entre 32mm e 33mm), possuindo assim 3 algarismos significativos. Devemos ter o hábito de escrever uma medida guardando apenas os algarismos significativos. Incluir algarismos não significativos, pode dar uma idéia falsa da precisão do instrumento utilizado.

O erro de uma medida normalmente incide sobre o algarismo duvidoso. Desta forma o erro experimental de uma medida tem apenas um algarismo significativo.

Lembre-se que zero a esquerda não é significativo, pois se utilizarmos potências de 10, eles desaparecem. Por exemplo, a medida $0,0345\text{ m}$ possui 3 algarismos significativos, esta medida pode ser escrita também como $34,5\text{ mm}$.

Devemos ter cuidado com zeros a direita, para que não haja confusão, devemos utilizar de potência de 10. Por exemplo, a medida 345400 m significa que há 6 algarismos significativos, que o último zero é o duvidoso, ou melhor que o instrumento mede com precisão até o 10 m.; se acaso a precisão do instrumento utilizado fosse até o quilômetro (10^3 m), deveríamos escrever a medida da seguinte forma $345,4 \times 10^3\text{ m}$, mostrando claramente que há 4 algarismos significativos, que o décimo do quilômetro é o duvidoso e que o instrumento utilizado mede com precisão até o quilômetro.

Quando há operações entre medidas, deve-se observar as seguintes regras:

- O número de algarismos significativos no resultado da multiplicação, ou da divisão de vários números não pode ser maior que o menor número de algarismos significativos de qualquer dos fatores, ou divisores.
- O resultado da adição, ou da subtração, de dois números não tem algarismos significativos além da última casa decimal na qual os dois números originais têm algarismos significativos.

Propagação de erros

Sempre que trabalhamos com dados experimentais, nos deparamos com situações onde é necessário que se efetue cálculos envolvendo duas ou mais grandezas às quais já estão associados os seus respectivos erros. Os valores resultantes destes cálculos, em geral, são menos precisos do que se os valores fossem determinados diretamente através de uma só medida. Isto porque os erros vão se acumulando na medida em que manipulamos matematicamente as grandezas envolvidas.

Regras de propagação de erros.

1. Regra da Soma

$$\bar{a} = \bar{x} + \bar{y}$$

$$\Delta a = \Delta x + \Delta y$$

2. Regra da Subtração

$$\bar{a} = \bar{x} - \bar{y}$$

$$\Delta a = \Delta x + \Delta y$$

O erro da soma ou da subtração é a soma dos erros das parcelas.

3. Regra da Multiplicação

$$\bar{a} = \bar{x} \times \bar{y}$$

$$\frac{\Delta a}{\bar{a}} = \frac{\Delta x}{\bar{x}} + \frac{\Delta y}{\bar{y}}$$

4. Regra da Divisão

$$\bar{a} = \frac{\bar{x}}{\bar{y}}$$

$$\frac{\Delta a}{\bar{a}} = \frac{\Delta x}{\bar{x}} + \frac{\Delta y}{\bar{y}}$$

O erro relativo do produto ou da divisão é a soma dos erros relativos dos fatores.
Erro relativo =

5. Regra de potência

$$\bar{y} = a\bar{x}^n$$

$$\Delta y = an\bar{x}^{n-1}\Delta x$$

6. Regra da derivada

$$\bar{y} = f(\bar{x})$$

$$\Delta y = \left. \frac{df}{dx} \right|_{x=\bar{x}} \Delta x$$

¹ Texto adaptado da Universidade Católica de Brasília – Curso de Física