FÍSICA I: MECÂNICA

Notas de Aulas :: Versão 1 - Agosto de 2021

Prof. Dr. Reginaldo Leão

IFMG&GESESC

Instituto Federal de Minas Gerais —
Grupo de Estudos em Sistemas Energéticos e Simulação Computacional.

MEDIDAS E UNIDADES

Nebulosa Hélix, concepção artística baseada em dados observacionais - Fonte: NASA

1.1 Introdução

A Física é uma das Ciências Naturais mais fundamentais que existem; por fundamental me refiro ao nível de detalhamento de seu objeto de estudo. Enquanto a Química se ocupa "principalmente" das transformações da matéria em nível molecular - quando a agregação das partículas fundamentais que compõem a matéria já é extremamente complexa - a Biologia, se ocupa principalmente dos organismos sua complexidade e relações - quando a organização molecular se dá de maneira tal que pode ser caracterizada como vida. A Física, por outro lado, se debruça sobre os entes que permitem tais estruturações e vai além; extrapola suas inferência para explicar tudo o mais que nos rodeia, a começar do tempo e o espaço, a matéria, seus distintos estados de agregação, as forças e relações quânticas que permitem suas transformações, sua aglutinação gravitacional e a formação dos corpos celestes, o próprio ciclo de vida dos elementos componentes da matéria, constantemente fundidos e destruídos no coração de estrelas jovens e velhas, a organização e complexidade das galáxias e o cosmos.

Embora o ser humano seja naturalmente um animal questionador, essa evolução científica só foi possível graças a sua capacidade de observar algo de forma sistemática, registrá-lo e organizá-lo sistematicamente, de modo tal que o permita sugerir inferências fundamentadas sobre o observado, questionar o observado e buscar respostas consistentes.

Ao longo da história, as mentes mais curiosas da humanidade fizeram esse percurso de construção do conhecimento de muitas formas distintas e não lineares. Alguns de forma mais consistentes, outros menos; variações daquilo que atualmente chamamos *Método Científico*, um conjunto de regras por meio das quais podemos construir novos conhecimentos de uma forma satisfatoriamente confiável.

Ainda que, o Método Científico seja quase sempre atribuído a Isaac Newton, ou as vezes a Galileu Galilei, sua criação não pode ser de fato atribuída a um único autor. O pensamento greco-ocidental, os lastros históricos do conhecimento científico de egípcios, sumérios e mesopotâmicos, o pensamento filosófico racionalista e determinista e mesmo contribuições recentes como a Teoria da Complexidade de Edigar Morin, foram fundamentais para compor a complexidade e o nível de especialidade e precisão da Ciência moderna.

No entanto, a despeito de todo o arcabouço conceitual por trás do método, é possível sugerir que o átomo do método científico provavelmente seja a *medida*.

1.2 Medidas Físicas

Na Física, a ação de medir deve ser entendida como o ato de se determinar um valor **satisfatóriamente preciso** para uma *grandeza física*.

Note que na definição anterior, dois conceitos foram introduzidos:

i) o conceito de precisão satisfatória;

ii) e o conceito de grandeza física

O primeiro deles está associado a impossibilidade de se medir com precisão total o valor de uma grandeza. Em outras palavras *é impossível determinar o valor verdadeiro de uma grandeza física.*

Esta impossibilidade se deve ao fato de que medir algo significa compará-lo com um determinado padrão. Quando se mede a distância entre duas cidades, o que se faz é comparar o espaço entre elas (medido segundo algum critério previamente determinado, como distância rodoviária ou geodésica) com o padrão

MEDIDAS E UNIDADES

quilômetro, por exemplo. Logo se quantifica a distância de interesse como múltipla ou submúltipla deste padrão previamente estabelecido.

O próprio quilômetro (km) é na verdade um múltiplo de uma unidade fundamental do Sistema Internacional de Unidades (SI), o metro (m). Ainda que exista uma definição histórica bastante curiosa para essa grandeza [1], fisicamente, a unidade métrica é aceita como a distância percorrida pela luz em uma fração de tempo igual a $1/299792458$ segundos. A propósito, a unidade de tempo segundos (s) também é uma unidade fundamental do SI.

Deste modo, medir a distância entre duas cidades, significa comparar tal distância a um conjunto de unidades quilométricas linearmente justapostas a que dá-se o nome de "escala quilométrica". Uma medida inteira nesta escala hipotética está condicionado, ao fato de que os pontos que marcam as limites da distância medida, coincidam com os extremos de cada unidade quilométrica da escala, medida esta cuja a probabilidade de ocorrência é baixíssima já que a cada um quilômetro apenas um ponto atende a essa condição.

Par descrever qualquer outra medida que não seja inteira, recorre-se aos submúltiplos do escala original, o metro por exemplo, *a o que se denomina aumento de resolução*. Deste modo a escala quilométrica passa a ser subdividida em 1000 partes iguais, cada qual com 1 m de extensão. No entanto, retorna-se certamente na mesma dificuldade de medida, já que a cada metro apenas um ponto é capaz de expressar um valor inteiro de medida nessa escala. Medidas não inteiras poderiam ser expressas como a centésima parte do metro o centímetro (cm) e em seguida milímetros e assim sucessivamente *ad infinitum*.

Como se vê, a redução da escala incrementa a precisão de uma medida apenas até certo nível, já que independentemente daquela utilizada, o problema da indeterminação do valor absoluto da medida se mantém, considerando que apenas o conhecimento de um determinado ponto dentre outros infinitos atenderia essa premissa. Além disto, o incrementos sucessivos na resolução da escala, simultaneamente potencializa a questão da *acuidade*, que é nível de capacidade que um determinado sensor - um ser humano usando o sentido da visão, por exemplo - possui de perceber a distinção entre múltiplas medidas. Donde se chega a ideia de *precisão satisfatória* para a medida sendo realizada.

[1] Pesquise pela "históriado metro" para saber mais

IMPORTANTE: *Deve-se estabelecer de forma planejada e antecipada, o nível de precisão desejado para uma medida, e só então selecionar o instrumento e a metodologia ideal para a tomada desta.*

1.2.1 Incerteza de Medidas

Obviamente, quando se estabelece uma precisão limite, não se pode apenas desprezar a imprecisão associada, de modo tal que é preciso tratar a **incerteza** (σ) associada à medida. Assim para a expressão correta de uma medida, é preciso informar simultaneamente o valor da leitura e esse valor de incerteza.

A incerteza representa o intervalo de confiança de uma leitura através de um intervalo finito e não nulo representado nas formas das Equações 1.1 e 1.2

$$m = M \pm \sigma \tag{1.1}$$

$$m = M^{+\sigma'_{M_+}}_{-\sigma''_{M_-}} \tag{1.2}$$

A Equação 1.1 representa a incerteza simétrica em torno da leitura (M), ao passo que a Equação 1.2 representa a incerteza assimétrica em torno de M. Ou seja M pode variar entre $M+\sigma$ e $M-\sigma$ na Equação 1.1 e $M+\sigma'$ e $M-\sigma''$ na Equação 1.2.

São muitos os métodos para o cálculo de σ, para a avaliação da precisão e seleção do número de algarismos significativos, e dependem, dentre outras coisas, do instrumento utilizado, da metodologia e do número de fontes de erros. Os detalhes deste tipo de análise merecem considerações mais pormenorizadas e uma discussão mais elaborada, e só serão tratados desta forma em outra obra complementar a essa.

No entanto, algumas convenções simples podem ser adotadas.

Convenções sobre incertezas e algarismos significativos

Algarismos significativos *são os dígitos numéricos de um valor que possuem significado*, exatamente por isso podem ser utilizados para se representar, dentre outras coisas, estimativas da incerteza de uma medida.

Suponha uma régua semelhante à da Figura 1.1, graduada em milímetros (mm). Ao ser usada para medir o objeto, a leitura obtida é certamente 63 mm, porém há alguma dúvida sobre o comprimento do objeto que se estende para além deste ponto.

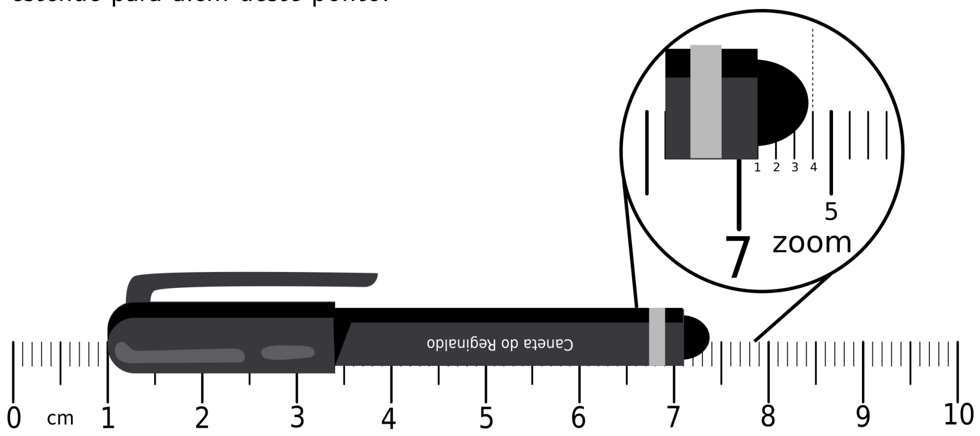

Figure 1.1: Régua graduada.

Observando mais atentamente a região de *zoom* na imagem, é possível observar que a extremidade da caneta está além do terceiro milímetro após a marcação de 7 cm na escala. Alguns avaliarão essa medida residual como como $7/10\,mm$, provavelmente a maioria como $8/10\,mm$ e alguns ainda avaliarão como $9/10\,mm$. De fato, 63,7 mm, 63,8 mm e 63,9 mm **são todas medidas válidas, igualmente certas e igualmente erradas**.

A leitura 63 corresponde ao valor de M na Equação 1.1, mas qual a incerteza dessa medida ?

Em instrumentos analógicos, como é o caso da escala graduada, a convenção mais comum adota a incerteza como sendo igual a metade da **precisão** do instrumento. A escala da Figura 1.1 tem precisão de 1 mm, portanto, a incerteza de medidas em escalas como essa é de 0,5 mm. Considerando um leiturista que sugerisse 63,8 mm para o tamanho da caneta, o valor da medida seria $m = 63,8 \pm 0,5\ mm$.

Na leitura em questão a convenção demonstrada na Figura 1.2 é adotada para a identificação dos algarismos significativos.

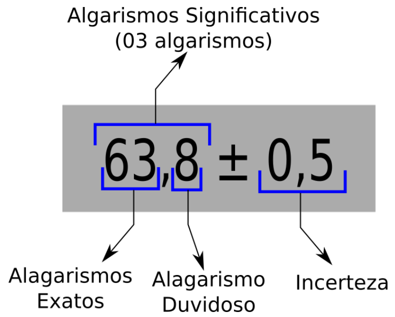

Figure 1.2: Algarismos de uma leitura.

Algarismos exatos são aqueles que se pode determinar com certeza absoluta na leitura da escala, já o algarismo duvidoso, será sempre aquele que pode suscitar dúvida entre diferentes leituristas. Como o algarismo duvidoso carrega inexatidão, *não faz sentido que qualquer leitura possua mais do que apenas um algarismo deste tipo*.

Outra convenção importante que geralmente é adotada na falta de algo mais preciso, é a forma de determinação da incerteza de uma medida na qual este valor não foi explicitamente declarado. Nestes casos, *é comum se adotar a incerteza como sendo a metade do valor unitário do menor alagarismo exato*.

IMPORTANTE:

1. *Qualquer medida de uma determinada grandeza deve possuir apenas um algarismo duvidoso.*
2. *A incerteza de medidas para as quais este valor não foi explicitamente declarado, deve ser assumida como sendo igual à metade do valor unitário do menor algarismo significativo exato.*

O problema do algarismo zero (0)

Zeros que são colocados em um número para posicionar o separador decimal, jamais devem considerados algarismos significativos. Estes casos são melhores identificados na composição de medidas expressas em unidades de medida diferentes daquelas dos instrumentos em que foram determinadas.

Suponha, por exemplo, uma balança comercial com precisão de 0,1 quilogramas (kg), que tenha feito uma leitura de 2,5 kg. Quando este valor é expresso em gramas - uma unidade de medida distinta daquela original da balança -, então a leitura ficaria 2500 gramas (g). Note que no número 2500 os zeros a direita, não tem significado pois a balança não possui tal precisão, portanto não são significativos e só existem para possibilitar a ocorrência do ponto decimal em uma posição correspondente a unidade grama.

De forma semelhante, se uma balança graduada em gramas mede 20 g e o usuário, desejando expressar esse valor em kg o escreve como 0,020 kg, os zeros a esquerda não são significativos, pois só foram introduzidos para possibilitarem a colocação do separador decimal na casa deciaml correspondente à unidade de medida de massa desejada. Este tipo de técnica é bastante comum na Física, quando se precisa compatibilizar diferentes unidades de medida de uma mesma grandeza, ou se operar com grandezas distintas compondo uma unidade derivada desejada, ou mesmo para a compatibilização de unidades com constantes físicas.

Para evitar a dificuldades no acompanhamento dos algarismos significativos, é bastante recomendável que as medidas e constantes físicas sejam expressas como potências de 10 em Notação Científica.

Notação Científica

A natação científica é uma recurso de representação de valores por meio de potências de dez (10^n) multiplicadas pela mantissa $(\mathcal{M})$ do valor que se deseja representar somada à incerteza deste valor, conforme mostrado pela Equação 1.3.

$$m = (\mathcal{M} \pm \sigma) \cdot 10^n \tag{1.3}$$

É também convencionado que o valor de $\mathcal{M}$ deve estar no intervalo determinado por $1 \leq \mathcal{M} < 10$.

Para compreender melhor o uso do recurso, vamos expressar a leitura da régua para o tamanho da caneta em notação científica. Como a medida foi de $63,8 \pm 0,5\,mm$, deve-se multiplicar o valor por 10^{-1} para que a mantissa esteja entre $1 \leq \mathcal{M} < 10$.

SEÇÃO DE CÁLCULOS:
$(63,8 \pm 0,5) \cdot 10^{-1} = (6,38 \pm 0,05) \cdot 10^{-1}$

Neste caso, a vantagem do uso de notação científica não é tão aparente, porém, no exemplo da seção anterior quando o significado dos zeros na leitura $2500\,g$ foi discutido, a forma de $\mathcal{M}$ indica exatamente o número de algarismos significativos no valor.

SEÇÃO DE CÁLCULOS:
$(2500 \pm 100) \cdot 10^{-3}\,g = (2,5 \pm 0,1) \cdot 10^{-3}\,g$

É possível notar que a mantissa possui exatamente dois algarismos significativos, além disso, deve ser observado que neste instrumento em específico a incerteza foi assumida como sendo de $100g$. *Em instrumentos digitais a incerteza é fornecida pelo fabricante ou convencionada como sendo sua resolução.*

Algarismos Significativos nas Operações Matemáticas Básicas

Quando grandezas são operadas matematicamente deve-se determinar uma convenção para o tratamento do número de algarismos significativos e incertezas de medidas. Os métodos de tratamento da propagação das incertezas através das operações matemáticas são um pouco mais complexos e não serão tratados neste tópico introdutório. Todavia, as convenções para o cuidado com o número de algarismos significativos são bastante simples conforme pode ser visto na lista abaixo.

MEDIDAS E UNIDADES

Convenções para determinação do número de algarismos significativos nas operações matemáticas básicas.

1. **SOMA E SUBTRAÇÃO:** O número de *casas decimais* no resultado deve ser igual ao número da menor quantidade de casas dentre aquelas presentes nos termos da operação.
2. **MULTIPLICAÇÃO E DIVISÃO:** O número de *algarismos significativos* no resultado deve ser igual ao número da menor quantidade de algarismos significativos dentre aqueles presentes nos termos da operação.
3. **ESTIMATIVAS:** Todos os resultados estimados devem possuir apenas um algarismo significativo, segundo sua órdem de grandeza.

Quando arredondamento se fizerem necessários para o atendimento às regras anteriores, então a seguinte convenção deve ser utilizada.

Regras para arredondamento

Após a seleção do total de dígitos conservados - aqueles que parmanecerão no valor - segundo as regras de determinação do número de algarismos significativos, deve-se verificar se:

- o primeiro algarismo abandonado for maior que 5, ou sendo 5 e o seguinte qualquer que não seja 0, o último dígito conservado deve ser acrescido de uma unidade (e.g. $1,7|6 \rightarrow 1,8|$ ou $1,7|51 \rightarrow 1,8|$);
- o primeiro algarismo abandonado for menor que 5, o último dígito conservado não deve ser alterado (e.g. $1,7|3 \rightarrow 1,7|$);
- o primeiro algarismo abandonado for igual a 5 seguido de um dígito zero, o último dígito conservado deve ser acrescido de uma unidade, se for ímpar, e mantido, se for par. (e.g. $1,7|51 \rightarrow 1,8|$ ou $1,6|51 \rightarrow 1,6|$);

Ordens de Grandezas e Estimastivas

A *Via-Láctea* é uma galáxia espiral com pouco mais de 10^5 anos luz de diâmetro, idade de 10^{10} anos terrestres e 10^{11} estrelas vivas.

Ao ler o texto anterior, não é difícil inferir que os dados informados são todos **estimativas** dos respectivos valores reais, impossíveis de serem determinados precisamente no atual estágio de desenvolvimento científico.

Os valores usados para representar as grandezas mencionadas são todos exemplos de estimativas dadas como **ordens de grandeza**.

Uma ordem de grandeza, é uma potência de dez (*atenção para não confundir o conceito com o de notação científica*) usada para expressar com confiabiliade aceitável, um valor cuja a expressão precisa seja impossível, muito dispendiosa, ou desnecessária. *A potência selecionada para este propósito, deve ser a mais próxima do valor que se está estimando.*

As dimensões de nossa galáxia, o número de átomos de carbono presentes em um organismo vivo, o número de elétrons livres por m^3 em um condutor elétrico, são todos exemplos de grandezas que podem ser satisfatoriamente representadas apenas por uma órdem de grandeza.

Vejamos um exemplo.

EXEMPLO - Estimando o número de átomos de carbono no corpo humano.

No livro *What Do You Think You Are? The science of what makes you you*, de Brian Clegg, o autor estima o fração mássica média de átomos de carbono no organismo humano como algo próximo de 18%.

Sabendo disto, estime a ordem de grandeza do número de átomos de carbono em um ser humano com massa de 70 kg.

SOLUÇÃO:

Se 18% dos 70 kg da massa corpórea na situação proposta forem átomos de carbono (C), então tem-se uma massa de:

$$m_C = 70 \cdot 0,18 \approx 13kg$$

Considerando a massa do elemento C, dada a abundância isotópica, como de aproximadamente $12\,g.mol^{-1}$. Então em $1,3 \cdot 10^4\,g$ *(Note aqui a utilização da notação científica para adequação do número de algarismos significativos.)* tem-se:

$$M_{molar} = \frac{m}{N_{mols}} \rightarrow 12 = \frac{1,3 \cdot 10^4}{N_{mols}} \rightarrow N_{mols} \approx 1,1 \cdot 10^3 mols$$

Agora considerando a constante de Avogadro (N_A) como $6,0 \cdot 10^{23}$, podemos determinar o número de átomos N_C.

$$N_C = N_{mols} \cdot N_A = 1,1 \cdot 10^3 \cdot 6,0 \cdot 10^{23} \rightarrow N_C \approx 6,6 \cdot 10^{26} \approx 10^{27} \text{ átomos de carbono.}$$

Alguns valores como 5, 50, 500... geralmente costumam gerar alguma confusão quando precisam ser expressos como ordens de grandeza, no entanto a confusão é apenas aparente. Note na sequência abaixo que o número cinco não é um ponto equidistante às potências de 10 mais próximas, mas sim o valor 5,5.

$$...10^0, 2, 3, 4, \mathbf{5}, 6, 7, 8, 9, 10^1...$$

Deste modo, utilizaremos como critério de seleção da potência de dez a seguinte regra:

Regras para a seleção da potência de dez em estimativas de órdens de grandeza.

Valores que quando expressos na forma de notação científica sejam menores 5,5 terão ordem de grandeza igual à potência de dez da notação, do contrário terão ordem de grandeza igual à potência de dez imediatamente superior.

Existem outras convenções para este propósito, no entanto, por questão de simplicidade e por tratar-se de disciplina introdutória, manteremos este padrão por todo o semestre.

Table 1.1: Tabela de prefixos.

Prefixo	**Símbolo**	**Ordem de Grandeza**	**Prefixo**	**Símbolo**	**Ordem de Grandeza**
Femto	f	10^{-15}	Deca	da	10^1
Pico	p	10^{-12}	Hecto	h	10^2
Nano	n	10^{-9}	Quilo	k	10^3
Micro	μ	10^{-6}	Mega	M	10^6
Mili	m	10^{-3}	Giga	G	10^9
Centi	c	10^{-2}	Tera	T	10^{12}
Deci	d	10^{-1}	Peta	P	10^{15}

Algumas vezes as ordens de grandeza, ou mesmo as grandezas propriamente ditas, podem ser expressas por meio de abreviações representativas de sua magnitude. Quando dizemos *quilômetro* representado por km, utilizamos o prefixo quilo (*kilo*), junto à unidade metro, significando que esta unidade equivale a 1000 vezes o valor unitário do metro. Já quando utilizamos milímetro mm, adicionamos o prefixo mili à unidade de metro, dizendo que esta unidade se refere à milésima parte do metro. Na Tabela 1.1, podem ser vistos os prefixos mais usuáis para esse propósito.

1.2.2 Unidades e Grandezas

Uma das principais tarefas da Ciência Física é propor modelos explicativos, e as vezes preditivos, para um determinado fenômeno natural. Como dito anteriormente, a Física, e todas as ciências legítimas, utilizam um conjuto de regras e protocolos para coletarem informações sobre um fenômeno ou objeto estudado de forma mais consistente e segura. As ciências naturais e exatas, geralmente, valem-se de medidas quantitativas para completar tal tarefa.

Uma medida, nada mais é que a quantificação de uma grandeza, que por sua vez deve ser entendida como uma característica bem definida e delimitada do objeto ou fenômeno estudado. A Física, como ciência fundamental, se ocupa, na grande maioria das vezes, de grandezas físicas igualmente fundamentais, ou seja, capazes de descrever bem, pelo menos do ponto de vista clássico [2], o tempo, o espaço e a matéria.

Essas grandezas fundamentais, tal como foram historicamente definidas e/ou padronizadas, não podem ser expressas a partir de outras grandezas, também por isso são chamadas **grandezas fundamentais**. São elas o *i)* **comprimento**, cuja unidade padrão no Sistema Internacional de Unidades (SI) é o metro; *ii)* o **tempo**, cuja unidade padrão no SI é o segundo; *iii)* a **massa**, cuja a unidade padrão é o quilograma e a *iv)* **carga elétrica**, cuja a unidade padrão para a medida é Coulomb (C). Todas as unidade mecânicas clássicas podem ser, de alguma forma, obtidas a partir das três primeiras unidades fundamentais.

Considerando, a existência das grandezas fundamentais, comprimento, tempo e massa, pode-se introduzir o conceito de dimensão. Na Física, a palavra dimensão, significa a natureza física de uma determinada quantidade. As grandezas fundamentais, estabelecem as dimensões físicas mais simples, o comprimento, possui dimensão L, a massa M, o tempo T e a carga elétrica Q. Note que os símbolos L, M, T e Q, não denotam nenhuma unidade de medida específica, mas sim uma grandeza fundamental. Daí podemos derivar outras grandezas. A área, por exemplo, tem dimensão ($L \times L = L^2$) independente de sua unidade ser o

[2] Pesquise sobre as diferenças entre a Física Clássica e Moderna.

m^2 ou o ft^2 [3]. A velocidade, por sua vez é uma grandeza cuja a dimensão é $\frac{L}{T}$, independentemente de sua unidade de medida.

Para a determinação da dimensão de uma grandeza derivada, como a velocidade ou área por exemplo, se utiliza o recurso da análise dimensional.

Análise Dimensional

Quando se trabalha com grandezas cujas as dimensões são desconhecidas, é necessário se proceder uma análise dimensional para determiná-las. Este tipo de análise, permite, dentre outras coisas, a determinação e verificação da correção de unidades de medida e equacionamento utilizado.

Nestes casos, nos referimos a dimensão de uma grandeza a por meio do símbolo $[a]$. Suponha que um experimento determinou que a posição de um corpo é diretamente proporcional à metade do quadrado do tempo de medida conforme a Equação 1.4.

$$x \propto \frac{1}{2}t^2 \tag{1.4}$$

Para converter essa proporcionalidade precisamos multiplicar essa proporcionalidade por uma constante k de tal forma que a Equação 1.4 fica na forma dada pela Equação 1.5.

$$x = k \cdot \frac{1}{2}t^2 \tag{1.5}$$

No entanto, qual o significado físico de k? A melhor forma de responder tal pergunta é por meio de uma análise dimensional. Conforme mostrado no exemplo abaixo.

[3]Um pé ft (do inglês *foot*) equivale a $0,3048\,m$.

EXEMPLO - Determinando o significado de uma constante desconhecida.
Determine a dimensão de k na equação $x = k \cdot \frac{1}{2}t^2$, onde $[x] = L$ e $[t] = T$
SOLUÇÃO:
Substituindo os símbolos das grandezas por suas respectivas dimensões tem-se

$$L = [k] \cdot T^2$$

Note que a fração $\frac{1}{2}$ foi omitida pois números são adimensionais.
Então:

$$[k] = \frac{L}{T^2}$$

Logo k é uma grandeza dimensional, então deve ter significado físico, neste caso, a dimensão L/T^2 correspondente a grandeza cinemática aceleração. Logo as observações do exemplo, conduzem a equação:

$$x(t) = \frac{1}{2}at^2$$

EXEMPLO - Determinando a unidade de Força em termos de unidades fundamentais.
Sabendo que a Segunda Lei de Newton, dentre outras formas, pode ser enunciada como $F = m\,a$, então determine a unidade de força (N) em termos de unidades de grandezas fundamentais no SI.
SOLUÇÃO:

$$[F] = [m]\,[a] \rightarrow [F] = kg \cdot \frac{m}{s^2}$$

Logo $1\,N = 1\,kg \cdot \frac{m}{s^2}$.

MEDIDAS E UNIDADES

Grandezas escalares e vetoriais

Além da complexidade dimensional de uma grandeza física, elas podem ser classificadas também segundo seu caráter escalar ou vetorial. Uma grandeza escalar é completamente expressa por sua magnitude (parte numérica) e unidade de medida, já as grandezas vetoriais só podem ser completamente descritas quando expressas por magnitude, unidade de medida, direção e sentido.

As grandezas escalares são operadas matematicamente como qualquer escalar matemático, porém as vetorias estão sujeitas ao mesmo rigorismo matemático dos vetores estudados na Geometria Analítica e Álgebra Linear.

O terceiro capítulo destas notas de aula, apresentará uma revisão bastante contextualizada e rigorosa dos métodos de operação com grandezas físicas vetoriais.

asdasdasd

CINEMÁTICA RETILINEAR