AULA

2

A culpa é da barreira!

PARA COMEÇAR

A torcida vibra. Daquela distância é gol na certa, é quase um pênalti. O árbitro conta os passos regulamentares. A regra diz: são 10 passos (9,15 metros) para a formação da barreira, mas ela nunca fica na posição correta. Os jogadores avançam, o árbitro ameaça, mostra o cartão amarelo para um ou outro jogador, eles se afastam, voltam a avançar e a falta acaba sendo batida assim mesmo. É gol?

Figura 1

Nem sempre e, muitas vezes, a culpa é da barreira. Todos concordam, torcida, comentaristas, árbitros, dirigentes, mas parece que nada se pode fazer. Afinal quem garante que a distância não estava certa? Será que os passos do juiz são um instrumento de medida confiável ? E se ele for baixinho ou muito alto ou estiver mal-intencionado, querendo prejudicar um dos times? Você compraria um terreno medido desse jeito?

Muitas sugestões já foram feitas – até proibir a formação da barreira –, mas ninguém pensaria em dar uma trena ao juiz para que ele, com o auxílio do bandeirinha, medisse a distância correta. Seria tão absurdo como levar um juiz de futebol para medir um terreno. São coisas diferentes que exigem formas diferentes de agir. No futebol, a precisão das medidas não é muito necessária e, de certa forma, toda aquela movimentação na cobrança de uma falta também faz parte do jogo. Muita gente até acha que se fosse tudo muito certinho o futebol perderia a graça, mas certamente medir um terreno desse jeito não teria graça nenhuma.

Entretanto, durante muito tempo, as medidas de comprimento foram feitas assim, utilizando partes do corpo humano como instrumentos de medida. O diâmetro de um dedo, o tamanho de um palmo, pé ou braço, o comprimento de um passo foram utilizados como medidas de comprimento durante séculos por todos os povos da Antigüidade. É comum, até nos dias de hoje ouvir dizer: "esta mesa tem 10 palmos" ou "esta sala tem 30 pés". E, assim, todos os objetos são medidos comparando-os com outros "objetos especiais" que hoje chamamos de **padrões**.

À medida que o comércio entre os povos foi se desenvolvendo, surgiu a necessidade de criar padrões utilizáveis por todos. Pense na dificuldade dos chineses em comercializar sua seda com os europeus se ambos não usassem um padrão comum de comprimento?

Porém, de nada adiantaria criar padrões se não fosse possível compará-los. Para isso foram criados **instrumentos de medida** que, com o tempo, foram sendo tão aperfeiçoados que exigiram que se adotassem padrões mais precisos.

A história das grandezas físicas é a história da necessidade de fazer medidas e de todo o progresso que daí resultou. Apesar de existir uma quantidade enorme de grandezas, unidades e instrumentos de medida, a Física procura operar com o menor número possível para simplificar sua tarefa e tornar mais fácil a troca de informações entre todos aqueles que com ela trabalham ou dela precisam. É o que vamos ver em seguida.

Grandezas, padrões e unidades

Nem tudo pode ser medido. Como medir a preguiça de uma pessoa ou o amor que ela sente por outra? Seria possível criar um "amorômetro"? Para os físicos isso é impossível, preguiça e amor não são **grandezas físicas**. Não dá para dizer que alguém tem 300 de preguiça e 689,5 de amor. Esses números não significam nada porque não existe um padrão para essas grandezas**. Grandeza física** é alguma coisa que pode ser medida, isto é, que pode ser representada por um número e uma unidade.

Veja alguns exemplos:

- A distância da bola à barreira deve ser de **10 jardas** ou **9,15 metros**.
- A bola deve ter entre **400 gramas** e **500 gramas**.
- O tempo de uma partida é de **90 minutos**.

No primeiro exemplo, a grandeza física é o **comprimento** e a unidade é a **jarda** ou o metro. No segundo, a grandeza física é a **massa**, a unidade é o **grama**, um **submúltiplo** da unidade quilograma**.** No terceiro exemplo, a grandeza física é o **tempo**, a unidade é o minuto, um múltiplo da unidade **segundo**.

Nesses exemplos estão três **grandezas fundamentais**: comprimento, massa e tempo. A partir dessas grandezas fundamentais, pode-se definir outras grandezas que, por isso, chamam-se **grandezas derivadas.** São exemplos de grandezas derivadas a **área** de uma superfície, o **volume** e a **densidade** de um corpo, a **velocidade** e **aceleração** de um automóvel, a **força** exercida por um motor e muitas outras.

Veja alguns exemplos práticos onde aparecem grandezas (*) derivadas e suas unidades:

- Um terreno retangular tem 8 metros de frente por 25 metros de fundo. A sua área (A) é: $A = 8\ m \cdot 25\ m = 200\ m^2$ ou 200 **metros quadrados,** que é uma unidade de área.

(*) Essas grandezas foram colocadas aqui apenas para servir de exemplo. Elas serão estudadas mais adiante no curso.

- Uma lata de óleo de 900 cm^3 (centímetros cúbicos) contém 720 g (gramas) de óleo. A densidade (d)* desse óleo é: d = 720 g   900 cm^3 = 0,8 g/cm^3 ou 0,8 **gramas** por **centímetro cúbico**, que é uma unidade de densidade.
- Um carro percorre 120 km (quilômetros) em 2 h (horas). A sua velocidade média (v_m)* é: v_m = 120 km   2 h = 60 km/h ou 60 **quilômetros por hora**, que é uma unidade de velocidade.

Todas essas unidades são derivadas. O **metro quadrado** deriva do **metro**, o **grama por centímetro cúbico** deriva do **quilograma** e do **metro**, o **quilômetro por hora** deriva do **metro** e do **segundo**.

Até há algum tempo, não havia ainda um conjunto de unidades fundamentais que fosse reconhecido e adotado em todo mundo (é por isso que no futebol, inventado pelos ingleses, as distâncias costumam ser medidas em jardas). A partir de 1948, esse conjunto começou a ser estabelecido e, em 1960, recebeu o nome de **Sistema Internacional de Unidades (SI)**. Atualmente, só os Estados Unidos ainda não adotam o SI, mas passarão a utilizá-lo em breve.

O Sistema Internacional de Unidades (SI)

O SI estabelece 7 grandezas físicas fundamentais das quais são derivadas todas as outras. São elas:

COMPRIMENTO	MASSA	TEMPO	CORRENTE ELÉTRICA	TEMPERATURA	QUANTIDADE DE MATÉRIA	INTENSIDADE LUMINOSA

A Mecânica utiliza as três primeiras e suas derivadas.

Cada unidade fundamental tem um **padrão**, alguma coisa que pode ser reproduzida em qualquer lugar. Por exemplo, se alguém for verificar se uma régua tem suas divisões corretas deve utilizar o padrão adequado.

Os padrões de comprimento, o **metro** e, de tempo, o **segundo**, têm definições muito complicadas devido às exigências da Ciência e da Tecnologia modernas.

O padrão de **massa** é o mais antigo, criado em 1889, e também o mais simples (Quadro 1). Cada país deve ter laboratórios capazes de reproduzir os padrões ou cópias devidamente aferidas e cuidadosamente guardadas.

No Brasil essa tarefa é desempenhada pelo Inmetro, Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial, do Ministério da Indústria e do Comércio.

Não é necessário saber essas definições, entretanto é importante saber que existem os padrões, as unidades fundamentais e derivadas e formas corretas de expressá-las (Quadro 2 - ver página 19).

QUADRO 1 - TRÊS UNIDADES FUNDAMENTAIS DO SI

GRANDEZA	NOME	SÍMBOLO	DEFINIÇÃO
Comprimento	Metro	**m**	Distância percorrida pela luz, no vácuo, num intervalo de tempo de 1/299792458 s.
Massa	Quilograma	**kg**	Massa de um cilindro padrão de platina--irídio conservada no Bureau Internacional de Pesos e Medidas em Sèvres, na França.
Tempo	Segundo	**s**	Duração de 9.192.631.770 períodos da radiação de transição de dois níveis do estado fundamental do átomo do césio 133.

Observações
1. Note que os símbolos não são abreviaturas, por isso não têm ponto final.
2. As definições serão discutidas mais adiante no curso, por isso, não é necessário decorá-las.

QUADRO 2 – ALGUMAS UNIDADES DERIVADAS DO SI		
GRANDEZA	NOME	SÍMBOLO
Área	Metro quadrado	m^2
Volume	Metro cúbico	m^3
Velocidade	Metro por segundo	m/s
Aceleração	Metro por segundo ao quadrado	m/s^2
Densidade	Quilograma por metro cúbico	kg/m^3

Existem inúmeras unidades práticas ainda em uso devido ao costume ou às suas aplicações tecnológicas. Muitas dessas unidades, principalmente as de origem inglesa, tendem a desaparecer com o tempo e serem substituídas por unidades do SI. Por enquanto elas ainda são muito usadas e é interessante conhecê-las (algumas delas se encontram no Quadro 3).

QUADRO 3 - ALGUMAS UNIDADES PRÁTICAS MAIS USADAS			
GRANDEZA	NOME(S)	SÍMBOLO(S)	RELAÇÃO COM A UNIDADE CORRESPONDENTE DO SI
Comprimento	Milímetro ❖	mm	0,001 m
	Centímetro ❖	cm	0,01 m
	Quilômetro ☼	km	1.000 m
	Polegada ✡	in	0,0254 m ou 2,54 cm
	Pé ✡	ft	0,3048 m ou 30,48 cm
	Jarda ✡	yd	0,9144 m ou 91,44 cm
	Milha ✡	mi	1.609 m ou 1,609 km
Massa	Grama ❖	g	0,001 kg
	Tonelada ☼	t	1.000 kg
	Quilate ✡	-	0,0002 kg ou 0,2g
	Libra ✡	lb	0,454 kg ou 454g
	Arroba ✡	-	14,688 kg
Tempo	Minuto ☼	min	60 s
	Hora ☼	h	60 min ou 3.600 s
	Dia ☼	d	24 h ou 86.400 s
Área	Hectare ☼	ha	10.000 m^2
	Alqueire (SP) ✡	-	2,42 ha
	Alqueire (MG, RJ e GO) ✡	-	4,84 ha
Volume	Litro ☼	l	0,001 m^3 ou 1.000 cm^3
Velocidade	Quilômetro por hora ☼	km/h	(1/3,6) m/s
	Milha por hora ✡	mi/h	1,609 km/h
	Nó ✡	-	1,852 km/h

❖ Submútiplos do SI ☼ Múltiplos do SI ✡ Unidades não-pertencentes ao SI

você deve ter notado que algumas unidades têm símbolos diferentes, como a polegada o pé e a jarda.

Essas unidades foram adaptadas do inglês: polegada é **inches**, daí o símbolo **in**; pé é **feet**, por isso seu símbolo **ft** e a jarda é **yard**, por isso seu símbolo **yd**. Atualmente é comum utilizar o símbolo **pol**. para indicar a unidade polegada.

Algarismos significativos

Quando se trabalha com medidas quase sempre aparece uma dúvida: com quantos algarismos se escreve uma medida?

Tente medir o diâmetro do seu lápis. Que resultado você obteve?

7 mm?   7,1 mm?   7,15 mm?

Essa pergunta tem **inúmeras respostas**, e **todas podem estar certas**!

Se você mediu com uma régua comum, provavelmente achou 7 mm, ou talvez 7,5 mm ou ainda 0,7 cm. Se você dispõe de um instrumento mais preciso, como um micrômetro ou um paquímetro, pode ter achado 7,34 mm ou 7,4082 mm. Se você repetir a medida várias vezes pode ser que em cada uma ache um valor diferente! Como saber qual é o valor correto? Como escrever esse valor?

Na verdade, nem sempre existe um valor correto nem uma só forma de escrevê-lo. O valor de uma medida depende do instrumento utilizado, da escala em que ele está graduado e, às vezes, do próprio objeto a ser medido e da pessoa que faz a medida.

Por exemplo, a medida do diâmetro do lápis com uma régua comum será feita na escala em que ela é graduada (centímetros ou milímetros) e dificilmente alguém conseguirá expressá-la com mais de dois algarismos. Nesse caso, certamente o segundo algarismo é avaliado ou **duvidoso.**

Se for utilizado um instrumento mais preciso, é possível fazer uma medida com um número maior de algarismos e, ainda, acrescentar mais um, o duvidoso.

Todos os algarismos que se obtêm ao fazer uma medida, incluindo o duvidoso, são **algarismos significativos.** Se outra pessoa fizer a mesma medida, talvez encontre um valor um pouco diferente mas, ao escrevê-lo, deverá utilizar o número correto de algarismos significativos.

Paquímetro e micrômetro – instrumentos de precisão

Figura 2 - **Paquímetro**

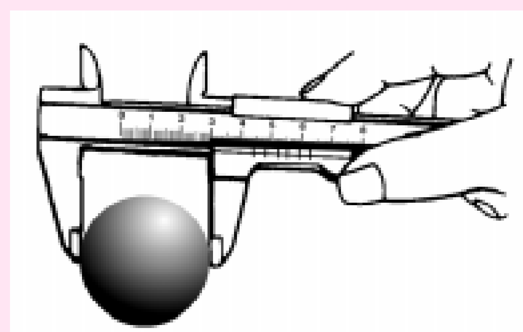

Figura 3 - **Micrômetro**

Uma régua comum não permite medidas muito precisas porque não há como subdividir o espaço de 1 mm: a distância entre os traços é muito pequena. O paquímetro e o micrômetro são instrumentos que utilizam duas escalas, uma fixa, semelhante à escala de uma régua comum e uma escala móvel que, de maneira muito engenhosa, permite dividir a menor divisão da escala fixa. No paquímetro, essa escala corre junto à escala fixa, enquanto que no micrômetro ela está gravada numa espécie de cilindro móvel que gira à medida que se ajusta ao instrumento para efetuar a medida (veja as Figuras 2 e 3).

Passo a passo

Suponha que, ao medir o diâmetro desse lápis com um paquímetro, Maristela encontre o valor 7,34 mm e Rosinha 7,37 mm. Pelo resultado, percebe-se que elas têm certeza do 7 e do 3, mas o último algarismo é incerto.

Imagine agora que elas resolvam entrar num acordo e considerar, como melhor medida, um valor que seja igual à média aritmética dos seus resultados.

Qual será esse valor?

Para achar a média aritmética **m** basta somar as medidas de cada um e dividir por 2 (que é o número total de medidas). Assim teremos:

$$m = \frac{7{,}34\,mm + 7{,}37\,mm}{2}$$

$$\mathbf{m = \frac{14{,}71\,mm}{2} = 7{,}355\ mm}$$

Será correto expressar o diâmetro do lápis com tantos algarismos?

É claro que não! Se cada uma só teve certeza de **dois** algarismos e avaliaram, discordando, mais **um**, não tem sentido dar uma resposta com **quatro** algarismos!

Nesse caso, para manter a coerência e expressar a medida com o número correto de algarismos significativos, deve-se desprezar o último algarismo obtido no cálculo da média aritmética.

É comum utilizar a seguinte regra: quando esse algarismo (o que deve ser desprezado) for maior ou igual a 5 acrescenta-se 1 ao último algarismo que restou.

Teremos então 7,355 mm = **7,36 mm**, que é a melhor forma de expressar a média aritmética das medidas de Maristela e Rosinha: mantêm-se os mesmos dois algarismos dos quais têm certeza, o 7 e o 3, mas o algarismo duvidoso passa a ser o 6. É provável que esse valor seja, provisoriamente, o melhor valor dessa medida. Se outras pessoas participarem e fizerem outras medidas, a média aritmética terá um número muito maior de parcelas e o seu valor representará melhor o diâmetro do lápis.

PARA TERMINAR

Talvez não haja um só dia em nossas vidas em que não se conviva com alguma forma de medida. Ao nascer ganham-se os primeiros números: altura e peso (seria melhor, comprimento e massa). A partir de então, as grandezas e as medidas povoam nosso dia-a-dia, tornando-se cada vez mais variadas e complexas. Temos que nos familiarizar com novos instrumentos de medida, relógios, balanças, termômetros, medidores de combustível, de pressão, de consumo de água ou energia elétrica e o que mais o progresso exigir. No entanto, mais importante que tudo isso, é entender que toda medida resulta de um esforço do homem para compreender e interpretar a natureza. Fomos nós, seres humanos, que criamos as grandezas, os padrões, as unidades e os instrumentos de medida. Portanto, nenhuma medida é a expressão da verdade, independentemente do número de algarismos significativos que possua. Há, certamente, medidas e instrumentos mais confiáveis, processos de medição mais adequados a determinados fins. E é importante distinguir uns dos outros. A vida tem mais barreiras do que parece e é preciso ser capaz de perceber se elas estão à distância correta, se o juiz mediu corretamente os passos regulamentares, se os jogadores não avançaram. Caso contrário, como dizem os jogadores, fazer um gol fica muito difícil!

Exercício 1

Nas palavras a seguir, procure distinguir quais são, ou não, grandezas físicas: **cansaço, calor, energia, rapidez, curiosidade, trabalho, honestidade, pontualidade, temperatura, força, aceleração** e **coragem.**

Exercício2

Siga os exemplos e faça as transformações de unidades pedidas ao lado:

Exemplos		Transforme
5 cm = 5 · 0,01 m = 0,05 m 0,75 km = 0,75 · 1.000 m = 750 m 5,8 in = 5,8 · 0,0254 m = 0,14732 m	I	a) 3 cm em m b) 2,5 mm em m c) 0,8 km em m d) 1,2 ft em m e) 4,5 in em m f) 20 yd em m g) 500 mi em m
1 m = 1 000 mm 1 m = 100 cm 1 m = 0,00 1km	II	a) 5 m em mm b) 0,4 m em mm c) 3 m em cm d) 1,2 m em cm e) 150 m em km f) 180.000 m em km
3,5 g = 3,5 · 0,001 kg = 0,0035 kg	III	a) 12 g em kg b) 20 t em kg c) 50 lb em kg
1 kg = 1.000 g 1 kg = 0,001 t	IV	a) 0,7 kg em g b) 8,2 kg em g c) 300 kg em t d) 630.000 kg em t
5 min = 5 · 60 s = 300 s 1 h 20 min = 1h + 20 min = = (1 · 3.600 s) + (20 · 60 s) = = 3.600 + 1.200 = 4.800 s	V	a) 1,5 min em s b) 2 h 15 min em s c) 5 h 22 min13 s em s
2,8 l = 2,8 · 0,001 m^3 4,5 l = 4,5 · 1.000 cm^3 = 4.500cm^3	VI	a) 500ℓ em m^3 b) 69ℓ em cm^3

Exercício 3

O diâmetro de muitas peças cilíndricas (canos, roscas, parafusos etc.) costuma ser dado em polegadas ou frações de polegadas. Seguindo o exemplo ao lado, faça as tranformações pedidas.

Exemplos	Transforme em mm
I) Transformar 4,5 in em mm: 4,5in=4,5 · 25,4 mm = 114,3 mm	a) 3,0 in b) 6,8 in
II) Transformar 3/4 in em mm: 3/4 in = 0,75 in = 0,75 · 25,4 mm = 19,05 mm	c) 1/4 in d) 5/16 in

Exercício 4

É comum encontrar em nossas estradas uma placa onde está escrito: **Velocidade máxima 80 km**. Você acha que essa placa está certa?

Exercício 5

Três pessoas, utilizando um paquímetro, medem o diâmetro de um cilindro e obtêm as seguintes medidas: 38,45 mm, 38,41 mm e 38,42 mm. Qual é o valor médio dessa medida, expresso com o número correto de algarismos significativos?

Exercício 6

Uma estrela está a 400 anos-luz da Terra. Isso significa que a luz dessa estrela demora 400 anos para chegar à Terra. Qual é a distância entre essa estrela e a Terra?
(Dado: velocidade da luz no vácuo = $3 \cdot 10^8$ m/s ou 300.000.000 m/s).

Sugestões

- A distância da estrela à Terra é a distância percorrida pela luz. Como vamos ver na próxima aula, essa distância pode ser calculada multiplicando-se a velocidade da luz pelo tempo que ela gasta para vir da estrela à Terra.

- O tempo deve ser dado em segundos, logo você deve transformar anos em segundos. Admita que 1 ano = 365 dias.