

RELÓGIO DE SOL

Pequeno Manual



Marcio Malacarne

INTRODUÇÃO

A história da medição do tempo é cheia de surpresas e de Soluções altamente criativas. relógios de Sol, relógios de água, cordões e incensos que queimam lentamente marcam o início da tentativa de se medir o tempo com precisão. Muito tempo depois aparecem os dispositivos mecânicos, os elétricos e os eletrônicos, até chegarmos aos relógios atômicos e os pulsares.

O relógio de Sol pode ser considerado um dos primeiros instrumentos científicos da humanidade. Acredita-se que os primeiros relógios de Sol foram construídos pelos chineses a mais de 4.500 anos.

Os relógios de Sol servem, como o próprio nome indica, para marcar as horas. Mas não é apenas essa a sua utilidade. Desde o século VI aC, os gregos o utilizavam para marcar os solstícios e equinócios, que marcam o início ou fim das estações do ano. Servem também para determinar os pontos cardeais com precisão. Prática muito simples e útil, caso não se tenha em mãos aparelhos sofisticados. Muito utilizada a milhares de anos pelas culturas pre-hispânicas, como na pirâmide de Chichén Itzá, no México, para localização dos pontos cardeais.

Além de se tratar de um objeto ornamental, histórico e artístico, tem sua utilidade prática.

Stonehenge (figura 01) é um monumento de pedra de pré-histórico construído a cerca de 2500 a.C no Sul da Inglaterra. Acredita-se que tenha sido usado para cultos ao Sol, pois a sombra do Sol penetra entre as pedras coincidindo com várias datas anuais e pontos cardeais. Sua origem até hoje é tão misteriosa quanto as pirâmides.



Figura 01: Stonehenge: misterioso como as pirâmides

É interessante que todos esses dispositivos, criados pelo homem, tentam medir uma abstração: o tempo. Depois da Teoria da Relatividade de Einstein é válido perguntar: medida de qual tempo? O tempo só existe enquanto existimos. Veja que passagem interessante:

“O que flui no tempo não é a mesma coisa que o tempo em si. O que flui são os fenômenos que ele contém. O verdadeiro Tempo, o tempo fundamental, esse é inatingível, imutável, permanente e eterno. É um ator que dissimula a sua verdadeira natureza, mostrando-se, na realidade escondendo-se, atrás dos seus duplos. É que, por mais que o tempo

esteja subjacente em todas as coisas, não se deixa ver realmente em nenhuma delas.

Mantém-se oculto por detrás de cada uma das suas aparências e sempre disfarçado, a verdade é que ainda ninguém conseguiu ver o Tempo!”¹

O fato é que, queiramos ou não, a humanidade acabou orientando suas atividades de acordo com o relógio. E o relógio tornou-se um dos dispositivos mais comum da humanidade. Até nas artes ele é retratado (figura 02).

Instrumentos chamados gnomons (haste ou vareta) produzem sombras que podem ser utilizadas para se repartir o dia em intervalos. Os gnomons foram então associados à escalas, ou relógios de Sol, que possibilitavam determinar as horas do dia através do comprimento ou da posição da sombra projetada pelo Sol. Existem vários tipos de Relógios de Sol como o horizontal, o vertical direto, o vertical declinado, o inclinado, o polar, o equatorial e o reclinado. O da Ufes é do tipo horizontal plano (figura 07).

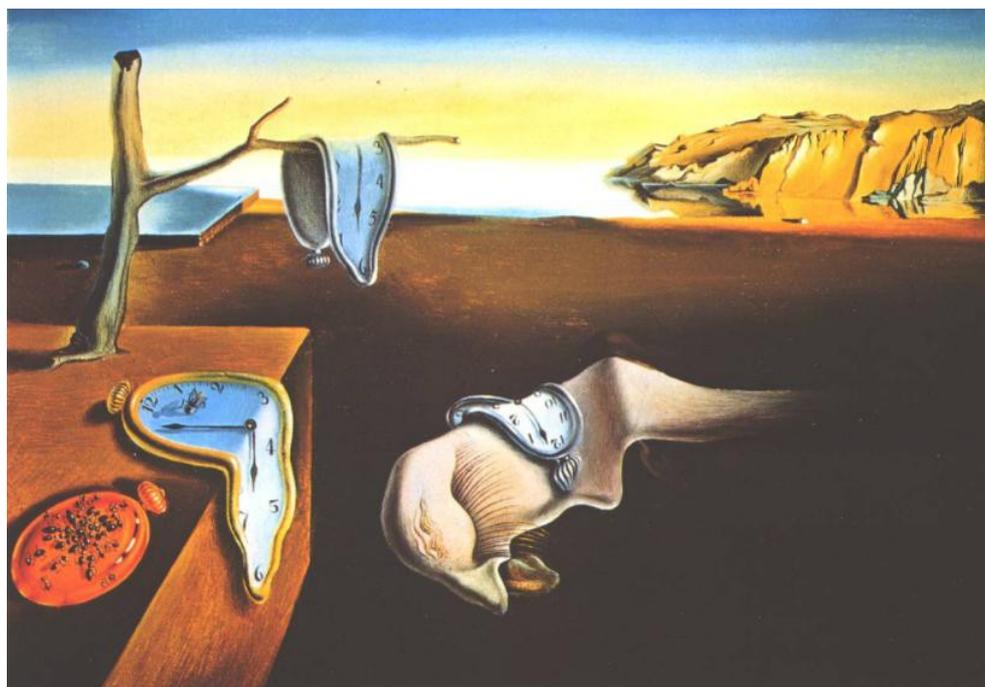


Figura 02. Uma forma de representar artisticamente o “tempo”, ou os relógios? por Salvador Dali.

COMO FUNCIONA ESTE RELÓGIO?

Diferente do que normalmente se pensa, o Sol não nasce todos os dias no ponto cardinal Leste. O mais correto é dizer que o Sol nasce do

1 A Viagem no Tempo, Cláudia Penélope Founier, pdf gratuito, <https://portugues.free-ebooks.net/ebook/Viagem-no-tempo-Versao-Cientifica>, acessado 15/082016.

lado Leste de onde estamos. O mesmo acontece para o poente. O Sol só nasce exatamente no ponto cardeal Leste, ou se põe no ponto Oeste, duas vezes ao ano, nos equinócios, normalmente no dia 21 de março e 22 de setembro. Esse “normalmente” é porque pode ser um dia antes ou depois, devido aos anos bissextos, ou seja, o movimento de translação (anual) não ser exatamente igual ao número de rotação (diário) da Terra.

Como se sabe, o Sol nasce no lado Leste e se põe no lado Oeste. E mais, a Terra leva, em média, 24 horas para dar uma volta em torno de si (dando a ilusão que é o Sol que se move). Por outro lado, uma volta completa tem 360 graus. Então, se 24 horas é uma volta, e se uma volta são 360 graus temos que cada hora são 15 graus ($360/24$). É isto aí, a cada hora o Sol "se move" 15 graus no céu (e isto vale também para as estrelas). Muito bem, se conseguirmos medir quantos graus o Sol "se move" estamos medindo também o tempo! E a sombra do Sol é perfeita para este fim.

Como a Terra é uma esfera, a luz solar incide em ângulos diferentes em cada latitude. Por isso, em cada latitude a sombra do Sol tem uma inclinação diferente. Nós podemos calcular esta inclinação para cada ponto da Terra, usando programas de computador. Para tanto, basta sabermos a latitude (o quanto estamos afastados do equador); e a longitude (o quanto estamos afastados do meridiano que determina o nosso fuso horário), que o computador nos dará a posição do Sol no céu em coordenadas que chamamos de altitude e azimute. O ponto da posição da sombra do Sol é calculado de acordo com a altura da vareta. Mas esse não é nosso objetivo. Mais sobre estes cálculos podem ser obtidos na página do “Astronomical Applications Dept - U.S. Naval Observatory”, <http://aa.usno.navy.mil/data/docs/AltAz.php>.

Fuso Horário

O relógio de Sol, sem a correção da longitude, mostra a Hora Verdadeira Local (Hora Solar), que é diferente da hora de nossos relógios (exceto para algumas raras coincidências), o qual indicam a Hora Média Local (Hora Legal). No nosso caso, a hora de Brasília. O deslocamento aparente diurno do Sol se dá no sentido leste/oeste (na realidade é a Terra quem gira em sentido contrário), numa velocidade de 1.668 km/hora (na altura do equador), ou seja, algo em torno de 2,16 segundos por quilômetro. Isto quer dizer que, no sentido leste/oeste, uma pessoa que esteja a 1 km de uma primeira, terá o seu meio dia 2,16 segundos depois daquela. Por isso temos os 24 fusos horários ou zonas de tempo, definidas por meridianos distantes entre si de uma largura equivalente a 1 hora. Isto resulta em 15° (graus) de longitude para cada fuso horário ou ainda, 1° de arco para cada 4 minutos de tempo (figura 03 e 04). Cada fuso é identificado pelo meridiano. A zona "zero" tem por meridiano padrão o 0° . Por uma convenção do século XVII, esse meridiano passa pelo observatório de Greenwich, em Londres, Inglaterra; a primeira zona é o meridiano a 15° (Oeste= $+1h$, Leste $-1h$), a segunda a 30° (Oeste= $+2h$, Leste $-2h$), e assim por diante.

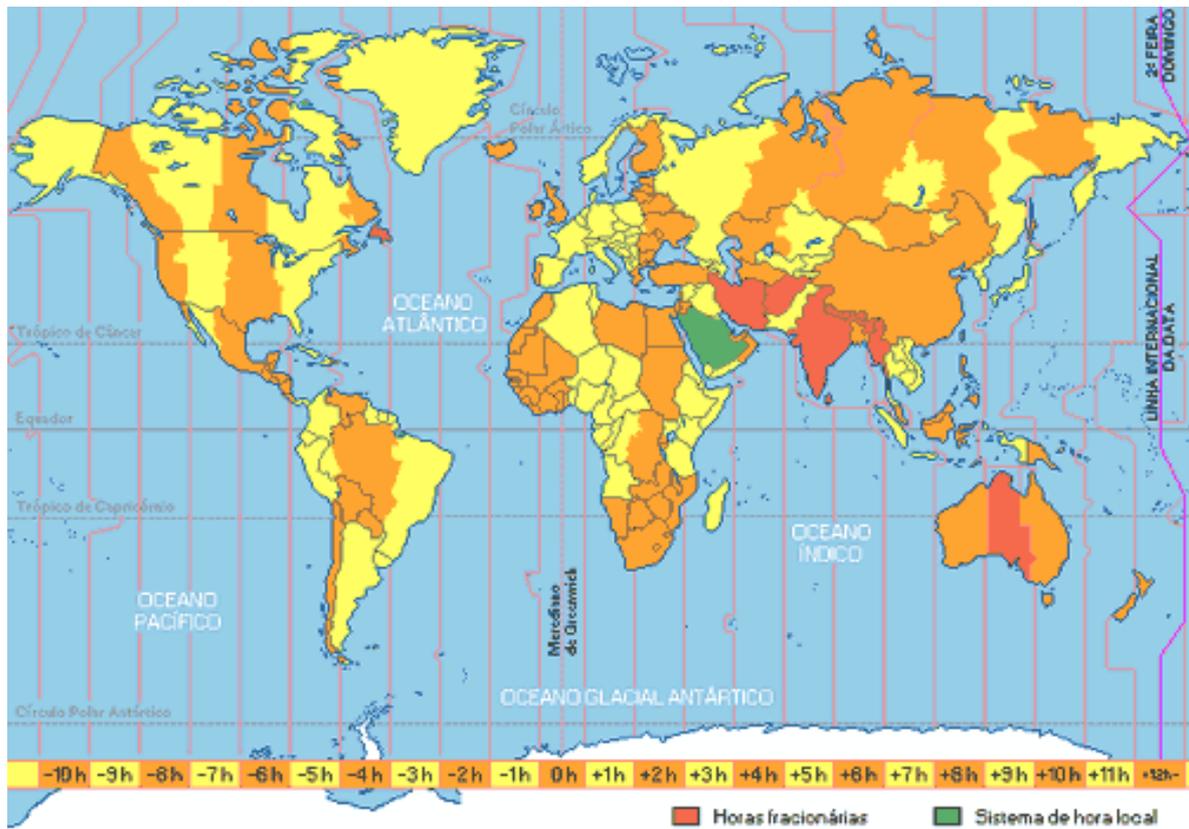


Figura 03. Mapa dos fusos horários



Figura 04. Visão do anoitecer na Terra, visto do espaço. Observe que enquanto numa parte da África já é noite, no oceano o Sol pode estar a pino, no meridiano. Ou seja, o ponto mais alto que atinge naquele dia.

Digamos que estamos no dia 21 de março (equinócio do outono no hemisfério Sul). Neste dia o Sol nasce exatamente no ponto Leste e se

põe exatamente no ponto Oeste. Esse é o dia em que a noite e o dia são iguais em todos pontos da terra. Você poderia pensar que ao meio-dia o Sol deveria estar exatamente sobre sua cabeça (**Zênite, ponto no céu que fica exatamente na vertical**) ou cruzando o meridiano que determina o Fuso Horário. Mas isso não é verdade. Quem estiver a Leste ou Oeste deste meridiano verá o Sol, antes ou depois. Lembre-se que cada 15 graus significam uma hora, então se você mora a 5 graus do meridiano do seu fuso horário isto significam 20 minutos. O Sol parece que está 20 minutos atrasado (ou adiantado se seu meridiano local for menor que o do fuso horário).



Em Vitória, ES, cuja latitude é de $20^{\circ}19' S$; no solstício de verão, ao meio dia local, o Sol estará com inclinação em relação ao plano horizontal norte de $92^{\circ}50'$ ($90^{\circ} - 20^{\circ}19' + 23^{\circ}27'$), ou $2^{\circ}50'$ distante do zênite para o Sul. No solstício de inverno, ao meio dia local, o Sol estará com inclinação em relação ao plano horizontal de $46^{\circ}20'$ ($90 - 20^{\circ}19' - 23^{\circ}27'$), ou $43^{\circ}40'$ para o Norte.

Para exemplificar melhor: o fuso horário de Brasília faz parte do fuso horário do meridiano 45° a Oeste de Greenwich. Porto Alegre está no meridiano 51. Então, esta diferença de 6 graus significa que quando for meio-dia no "horário de Brasília" (sol a pino), o Sol ainda não chegou no a pino em Porto Alegre. Somente depois de 24 minutos é que o Sol estará na sua posição mais alta do céu naquele mesmo dia. Os meridianos dos outros fusos do Brasil são: meridiano do fuso horário do Amazonas é o 60, e o do Acre é o 75 e Fernando de Noronha é 30 graus.

Voltando ao nosso relógio Solar, para compensar estas diferenças de posição do relógio Solar para cada ponto da Terra precisamos saber a Latitude, a Longitude e a direção Norte/Sul no local onde o relógio será instalado.

PONTOS CARDEAIS

Para encontrarmos os Pontos Cardeais por meio do Sol, usamos o Gnomon. Ele é nada a mais do que uma haste ou vareta vertical (figura 05), cuja sombra serve para marcar a passagem do Sol. Com ele podemos medir a passagem das horas, encontrarmos os Pontos Cardeais e até determinarmos as Estações do Ano.

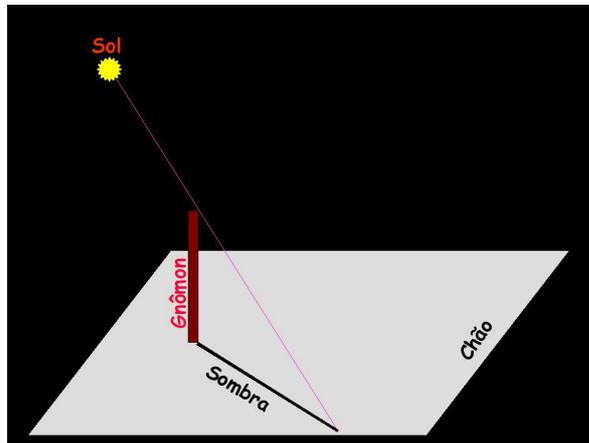


Figura 05. Sombra da vareta.

Como dissemos, a cada dia o Sol nasce e se põe num ponto diferente, por isso, se tomarmos o Sol como referência para nos orientarmos cada dia tomaremos uma direção diferente ou, por exemplo, apontaremos a antena parabólica para lugares diferentes do céu se a instalarmos em épocas diferentes do ano. É fácil perceber isso observando onde o Sol se põe nos meses de junho ou julho e onde ele se põe nos meses de dezembro ou janeiro. Faça essa observação em junho e dezembro, no pátio de sua escola e anote para mostrar aos estudantes. Peça também para observarem a sombra do Sol dentro de casa.

Para encontrar os pontos cardeais através do Sol vamos fazer uma atividade simples e interessante. Essa é a maneira mais segura de determinar os pontos cardeais, com precisão menor que um grau.

CONTRUÇÃO DO RELÓGIO COM UMA VARETA VERTICAL

Escolha um local que receba diretamente a luz do Sol, pelo menos das 10 horas às 15horas - o local pode ser um pequeno pátio ou uma área livre que tenha o chão liso (que não seja muito irregular) e **nivelado**. No período da manhã - entre 10h e 10:30h - finque firmemente no chão uma vareta reta, (figura 6a), certifique-se que ela não esteja tombada usando um nível ou prumo que pode ser feito com um linha e pedra.

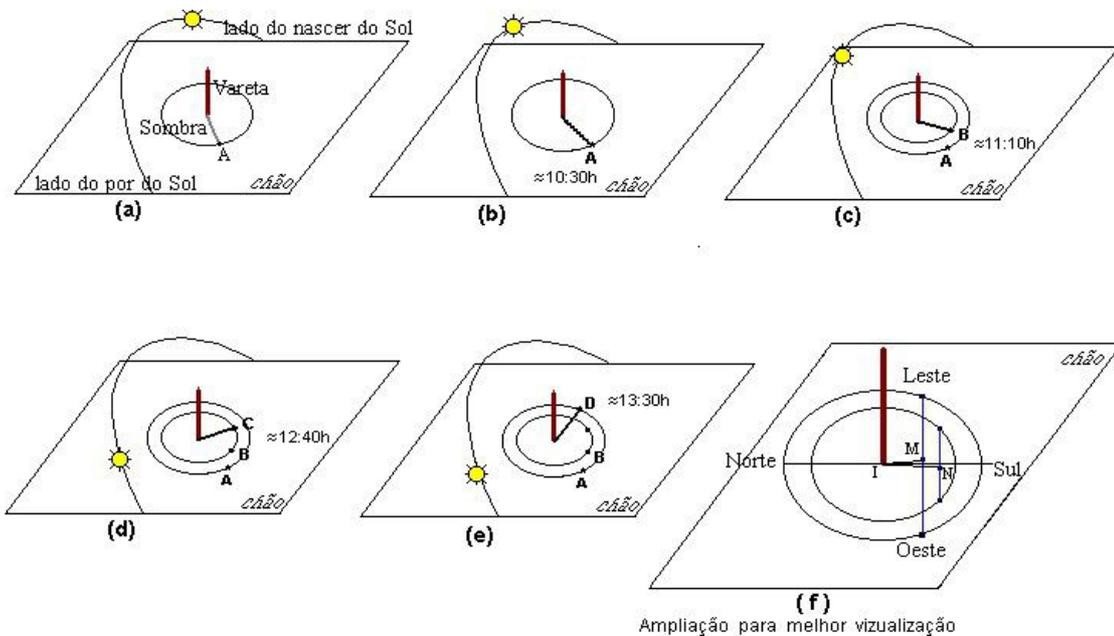


Figura 06 - Os vários passos para encontrar os pontos cardeais através do Sol.

A vareta irá produzir uma sombra se o Sol estiver iluminando-a. Faça uma marca na ponta da sombra (marca A) e depois trace uma circunferência partindo da marca e tomando como centro o ponto onde a vareta estiver fincada (ponto I), utilize giz. É possível fazer isso laçando a vareta com um barbante e prendendo um giz na outra ponta (figura 6b). CUIDADO para não mexer a vareta do lugar e nem incliná-la, pois se isso acontecer a experiência ficará prejudicada.

Espera 40 a 50 minutos, a sombra estará em outra posição, repita a marcação e a circunferência (figura 6c).



Se quando for realizar a atividade estiver no horário de verão, ficar atento para correção de uma hora a menos, pois nesse período os relógios são adiantados uma hora, mas o Sol e a Terra não sabem disso e continuam seus caminhos normalmente.

Depois que passar do meio dia a ponta da sombra irá tocar as circunferências novamente. Fique atento a este momento. Os horários mostrados na figura 6 são apenas uma aproximação, podem variar em até 20 minutos dependendo da época do ano. Assim que a ponta da sombra tocar cada circunferência faça novas marcas como mostram as figura 6d e 4e. Não tente adivinhar o caminho da sombra, marque somente quando a sombra chegar no lugar correto - a circunferência.

Para encontrar os pontos cardeais siga o procedimento:

- Ligue os pontos **A** ao **D** e **B** ao **C**, formando duas retas;
- Ache o meio dessas retas e marque, são os pontos **M** e **N**;

- Trace uma reta que liga o ponto **I** ao ponto **M** e outra que liga o ponto **I** ao ponto **N**;
- Se essas retas (**IM** e **IN**) coincidirem você não cometeu erros e essa é a direção Norte-Sul.
- Se elas não coincidirem basta traçar uma reta que saia do ponto **I** e passe entre as retas **IM** e **IN**. Essa nova reta será a direção Norte-Sul (figura 6f).
- A reta **AD** é a direção Leste-Oeste. O Leste está do lado do nascer do Sol, mas dificilmente estará onde o Sol nasceu.

Assim os outros pontos ficam fáceis de serem encontrados. Do lado oposto ao Leste está o Oeste. Apontando o seu braço direito para o Leste e o esquerdo para o Oeste você terá a sua frente o norte e atrás o Sul. Então basta marcar os pontos cardeais sobre as retas que você traçou, (figura 6f). Faça as marcas dos pontos cardeais e de suas retas usando uma tinta durável (tinta esmalte por exemplo) e apague as circunferências e marcas auxiliares.



Figura 07: Relógio de Sol da UFES durante o solstício de inverno. Observe a posição da sombra da vareta (gnomon) atingindo “linha da declinação”.

ESTAÇÕES DO ANO

Com o Gnomon também podemos verificar a mudança das estações do ano. As Estações do Ano acontecem porque, a Terra gira em torno do Sol, com seu Eixo de Rotação inclinado. Dessa forma, em diferentes momentos no ano, a luz do Sol incide de forma diferente no Hemisfério Sul e no Hemisfério Norte. Em Janeiro, aqui no Brasil, os raios de luz do Sol incidem de forma menos inclinada em relação à vertical. É o Verão. Já no mês de Julho os raios de luz do Sol estão mais inclinados em relação à vertical. É o Inverno. Pela sombra do Gnomon dá para ver isso (figura 08).

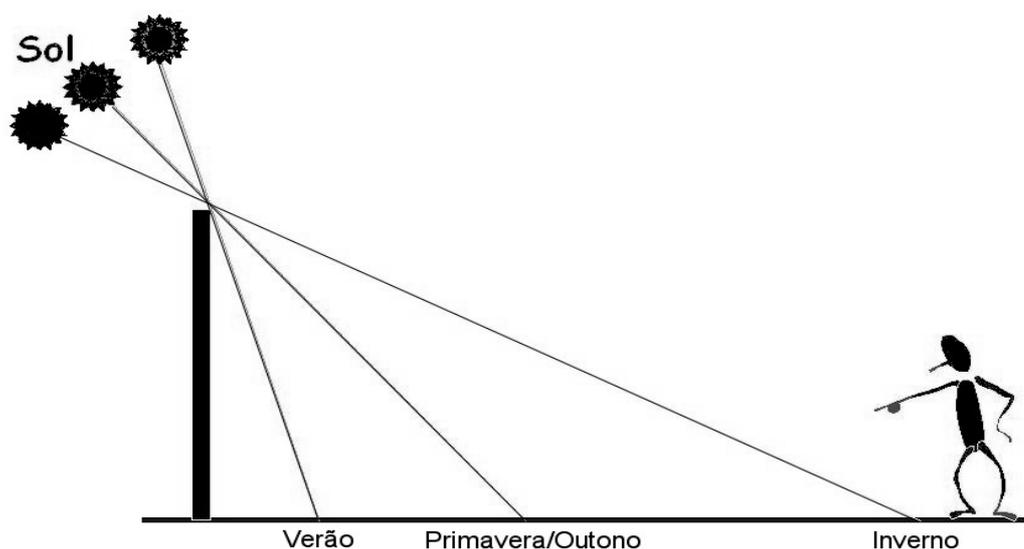
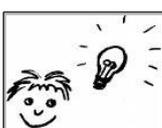


Figura 08: variação da sombra de uma vareta vertical durante o ano.



Dicas: Estações e latitude

Falar das estações do ano e mostrar como seria o caminho da sombra da vareta (linha de declinação) nos solstícios e nos equinócios. Nos equinócios o dia e a noite são iguais (linha reta marcada no chão, entre o azul e rosa figura 07), diferentemente do verão, quando os dias são mais longos, e inverno, dias curtos.

Se der tempo, estimular eles a pensarem como seria as sombras da vareta nas diversas estações do ano caso estivéssemos em outras latitudes, como Porto Alegre, latitude= 30°S , São Paulo, latitude= 23°S , e sobre o equador terrestre. No solstício de verão ao meio-dia local, por exemplo, em Porto Alegre a sombra da vareta estará para o Sul, em SP passarão exatamente sobre a vareta, e no equador vão estar exatamente a 23° ao Sul.

EQUAÇÃO DO TEMPO

Devido à inclinação do eixo de rotação (obliquidade na figura 09) e ao formato elíptico da órbita da Terra (elipsidade na figura 09) o dia

pode ter um pouco mais do que 24h, ou um pouca a menos. 24 horas é o tempo médio da rotação da Terra. A soma desses dois efeitos durante o ano se chama a Equação do Tempo. Ela nos auxilia na correção das horas do relógio.



O dia nem sempre tem 24h. Esse é o dia médio. Seu maior valor positivo é cerca de 16 minutos e seu maior valor negativo é cerca de 14 minutos.

Como qualquer outra função matemática bidimensional, a "Equação do tempo" pode ser representada graficamente, facilitando o seu uso. É recomendável sua apresentação, ou uma tabela dela, em algum local próximo ao relógio de Sol, para que a leitura da hora possa ser corrigida por quem o consulte.

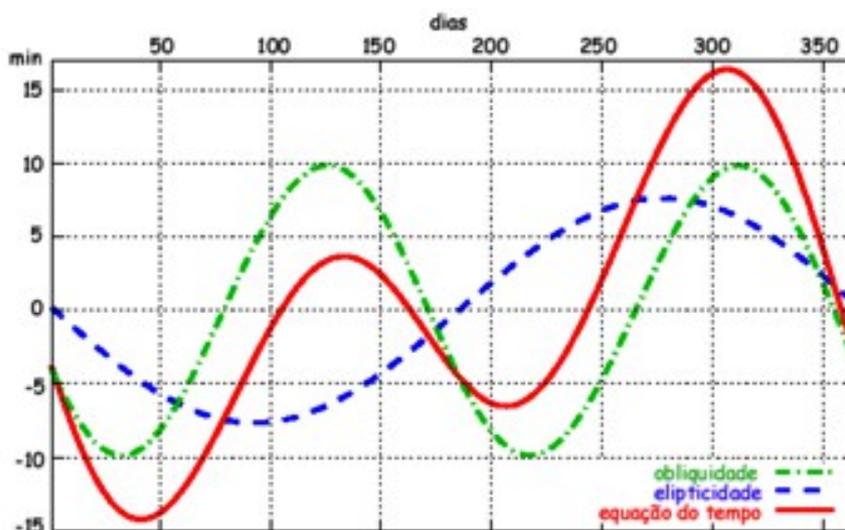


Figura 09. Equação do tempo. A linha vermelha é a soma dos efeitos da obliquidade (verde) e elipsidade (azul).

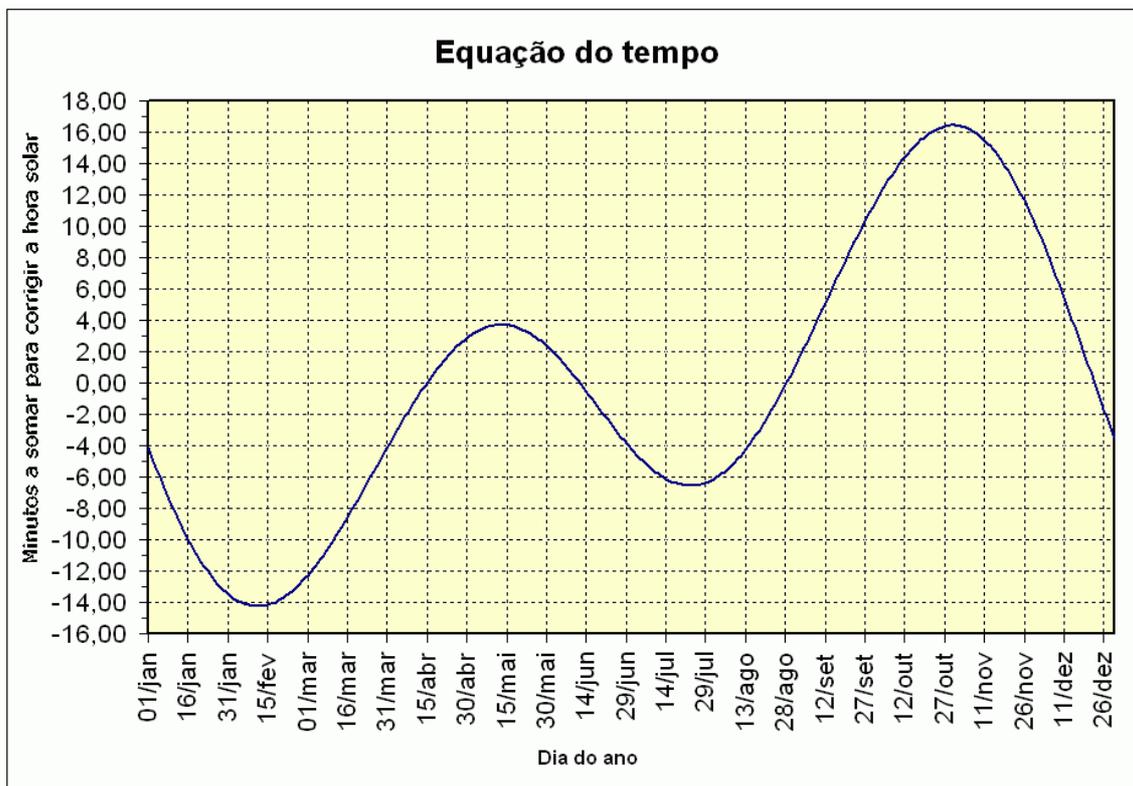


Figura 10: Equação do Tempo.

Para usar a equação do tempo basta que você some ou diminua a quantidade de minutos relativa ao dia que você está vendo a hora. Por exemplo, no dia 15 de maio você deverá somar aproximadamente 4 minutos. Já no dia 15 de fevereiro você deverá subtrair aproximadamente 14 minutos (figura 10).

Além disso você não pode esquecer de considerar a correção de longitude, para comparar com a Hora Legal, ou seja, a hora do seu relógio. Basta fazer:



$$\text{Hora Legal} = \text{Hora do Relógio de Sol} + \text{ou} - \text{Equação do Tempo} + \text{ou} - \text{Correção de Longitude.}$$

Lembre-se que a correção de longitude é fixa para cada local. No caso de Vitória temos:

$$45^\circ \text{ (Longitude do nosso fuso horário)} - 40^\circ 20' \text{ (longitude de Vitória)} = 4^\circ 40'$$

Agora temos que fazer a conversão para sabermos quantos minutos de diferença nossa cidade está do fuso horário, ou do meridiano. Como cada grau de longitude equivale a 4 minutos, temos uma diferença de aproximadamente 19min que devem ser subtraídos da Hora Local. Experimente fazer esta conta para outros locais.

Agradecimentos

Fico muito grato por ter copiado uma grande parte de figuras e textos da apostila “Relógio de Sol”, iniciada por Juliana C. R. Abboud e Sandro R. de Souza, quando trabalhavam para o CeFoCo, na UFES. Além da cópia, foram muitas sugestões e troca de idéias, no final de tardes quentes e em sextas-feiras a noite em que poderíamos estar em casa, vendo um filme, num bar, ou, se fosse outras pessoas, até numa igreja. Errgggghh. Muito obrigado! Agradeço também a todas instituições públicas que poderiam ser exemplos de trabalho coletivo, e que direta ou indiretamente possibilitaram realizar este pequeno trabalho.

REFERÊNCIAS

http://152.92.4.67/downloads/atividade_pratica_xoba.pdf

www.relogiodeSol.com

<http://www.numaboa.com.br/relogios/Sol/index.php>

Algumas figuras foram pegadas no Google, outras criamos e outras são do Sandro R. dos Reis.