

A vida do homem foi sempre regida pelo sol.

O percurso aparente do sol no firmamento está na origem da divisão do tempo em dias, estações e anos.

A necessidade de subdivisão do dia em períodos de tempo menores, como as horas e os minutos, esteve na origem da invenção dos relógios de sol, das ampulhetas, das clepsidras e de outros dispositivos de medição do tempo mais ou menos fiáveis e engenhosos.

O relógio de sol (fig. 1) é constituído, fundamentalmente, por duas partes: o elemento que produz sombra e a superfície que a recebe. O primeiro é designado de **gnómon** ou **estilete** e a segunda é designada de **quadrante**.

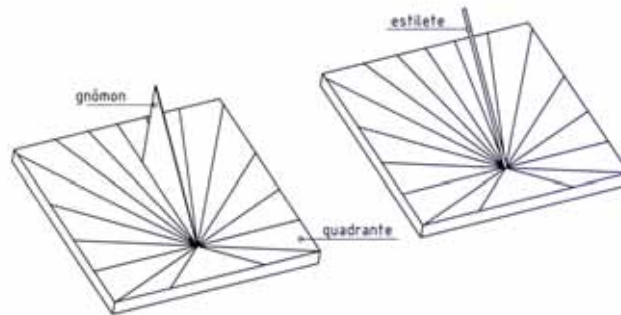


FIG.1 - Os componentes fundamentais do relógio de sol

Do vocábulo **gnómon** deriva a palavra **gnomónica** que é a ciência que estuda os relógios de sol e que se baseia na *projecção central da esfera celeste* numa determinada superfície. O facto da *projecção central* estar na base da *perspectiva*, levou a que vários autores de *tratados de perspectiva* incluíssem nos seus livros o traçado de *relógios de sol*. A **gnomónica** alicerça-se na *astronomia* e recorre à *geometria*, à *perspectiva* e às *trigonometrias plana e esférica*.

COORDENADAS GEOGRÁFICAS

Para determinação das **coordenadas geográficas**, a Terra é encarada como uma esfera perfeita (embora corresponda, aproximadamente, a um elipsóide – dado que é achatada nos pólos).

O **eixo polar PP'** (fig.2) é o *eixo de rotação da terra* e os extremos são os pólos norte e sul.

O plano perpendicular ao eixo polar que passa pelo ponto médio **C** (centro da esfera) intersecta o globo terrestre segundo um círculo máximo que dá origem ao **equador terrestre**. Os planos paralelos ao equador seccionam a terra segundo círculos menores, cujos contornos designamos de **paralelos**. A terra é dividida em dois hemisférios pelo equador – *hemisfério norte* e *hemisfério sul*.

Todos os planos que contêm o *eixo polar* seccionam a terra segundo círculos máximos, cujos contornos designamos de **meridianos**.

Por qualquer ponto **A** da superfície terrestre (fig. 3) passa sempre um *meridiano* e um *paralelo*. A intersecção do *meridiano* e do *paralelo* que passam em **A** permite-nos determinar a sua posição.

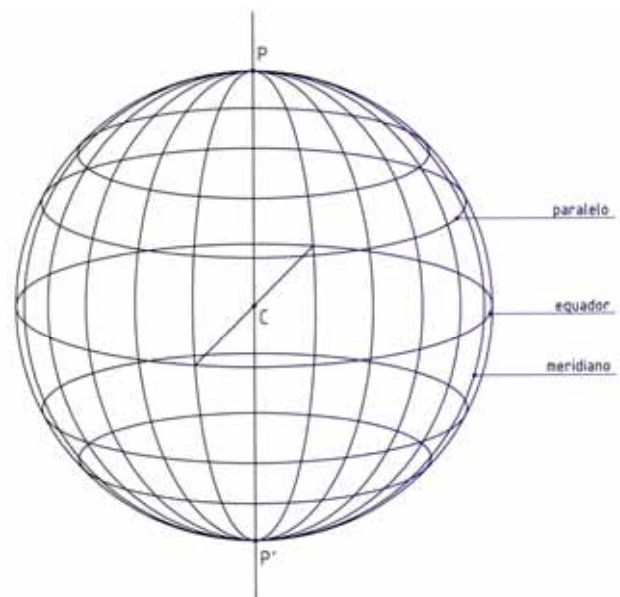


FIG. 2 - Equador, paralelos e meridianos terrestres

O *equador* é o plano de referência dos *paralelos*, enquanto que o *meridiano* que passa por Greenwich intersecta o *equador* em **O** e constitui a origem dos *meridianos*.

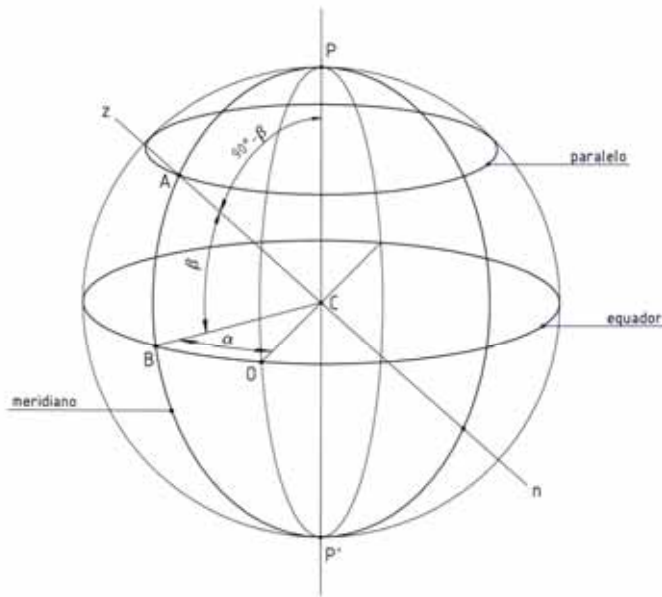


FIG. 3 - Longitude (α) e latitude (β) de um ponto (A) da superfície terrestre

Os *paralelos* e os *meridianos* compõem um sistema de *coordenadas esféricas*. As **coordenadas esféricas** ou **coordenadas geográficas** do ponto **A** são:

a) **Longitude** – ângulo formado pelo plano do *meridiano zero* e pelo plano do meridiano que passa por **A**. Determina-se através do ângulo **a** do rectilíneo do diedro, medido no equador, ou pelo seu arco **OB**. Também se pode medir no paralelo de **A**. A *longitude* pode variar até 180° e pode ser ocidental ou oriental, conforme se meça para poente ou nascente.

b) **Latitude** – ângulo (**b**) que o raio **CA** forma com o *equador*. Também pode ser medido a partir do *equador* através do arco **BA** do *meridiano* do lugar. A *latitude* pode variar até 90° e será positiva ou negativa, conforme se meça a norte ou a sul do *equador*. Em algumas situações

utiliza-se o ângulo complementar ($90^\circ - b$) da *latitude*, designado de **colatitude** (correspondente à amplitude do arco **PA**).

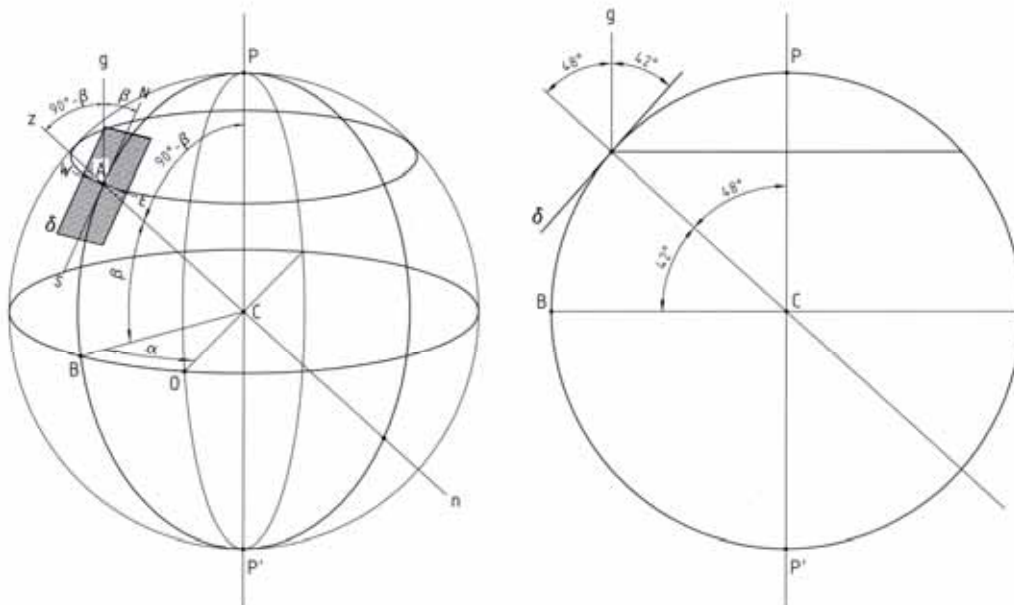


FIG. 4 - A vertical, os pontos cardeais e a direcção do gnomon, relativamente a um ponto da superfície terrestre

Para um indivíduo situado no ponto **A** da superfície terrestre (fig. 4), a direcção vertical será definida pelo raio **AC** do globo terrestre. O horizonte para este hipotético observador será o plano **d**, tangente ao globo terrestre em **A** e perpendicular à vertical **AC**. A intersecção deste plano com o *meridiano* de **A** é a **meridiana**, que define a direcção norte-sul do lugar. A perpendicular a esta por **A** corresponde à direcção este-oeste.

A direcção vertical pode ser definida pelo fio-de-prumo, e a orientação horizontal pode ser definida pela superfície da água em repouso.

Reparemos que: a paralela **g** ao *eixo polar* forma com a vertical e a meridiana ângulos respectivamente iguais à **colatitude** e à **latitude** do lugar e a sua projecção ortogonal no *horizonte* coincide precisamente com a **meridiana**. Estas propriedades são de uso frequente na construção dos relógios de sol, cujo **gnómon** é, na maior parte das vezes, paralelo ao *eixo polar*.

MOVIMENTOS APARENTES DO SOL

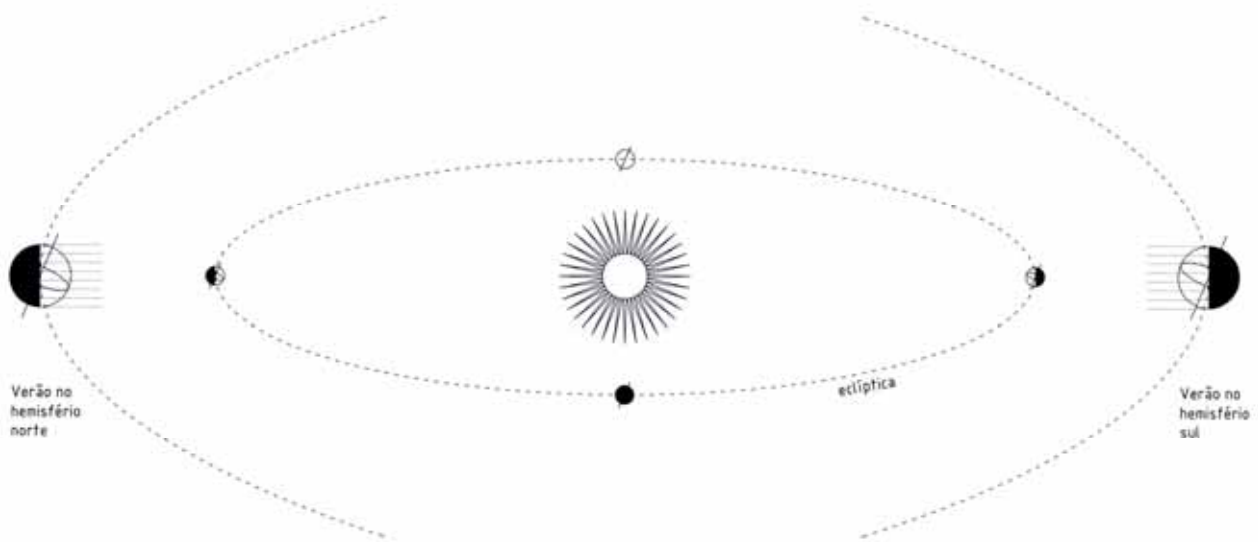


FIG. 5 - Movimentos aparentes do Sol, em torno da Terra

A terra (fig. 5), como se sabe, não está fixa no espaço, mas está animada de vários movimentos, Desses movimentos os mais importantes são: o **movimento de rotação**, em torno do *eixo polar* – que dá origem à sucessão dos dias e das noites; e o **movimento de translação** em torno do sol, segundo uma trajetória elíptica, na qual o sol ocupa um dos focos, que dá origem à sucessão dos anos.

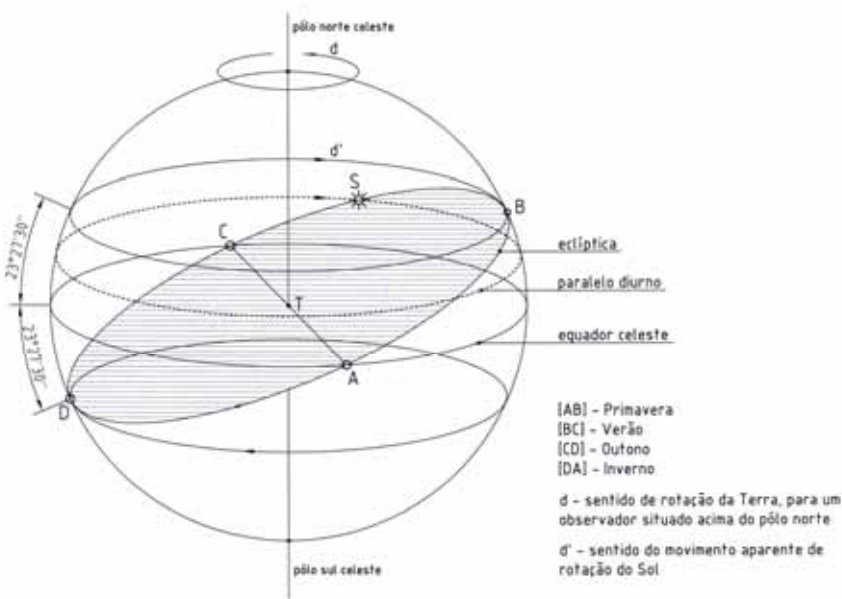


FIG. 6 - Percursos aparentes do Sol na esfera celeste (ao longo do ano e ao longo de um dia)

O *eixo polar* conserva-se paralelo a si mesmo durante todo este processo e, como é oblíquo relativamente à **eclíptica**, vai originar uma inclinação lenta e gradualmente variável, dos raios luminosos ao longo do ano, dando origem às estações. A obliquidade do *eixo polar* relativamente à direcção perpendicular à *eclíptica* é de $23^{\circ} 27' 30''$.

Como não tomamos consciência do *movimento de rotação* da terra (fig. 6), temos a ilusão de que esta está fixa e que são os corpos celestes que giram no firmamento, em torno do *eixo polar*. Desta forma, ao

considerarmos a Terra imóvel, a trajectória aparente do Sol, representado por **S**, ao longo de um dia, é uma circunferência menor da esfera celeste, chamada *paralelo diurno*, de plano perpendicular ao *eixo polar*.

Como o eixo Sol-Terra se move no espaço segundo um plano, devido ao *movimento de translação*, e a Terra ocupa o centro da esfera celeste, a curva aparente descrita pelo Sol é uma circunferência da esfera celeste de raio máximo. A intersecção do plano da *eclíptica* com o do *equador* é a *linha equinocial AC*, perpendicular ao *eixo polar*. Os seus extremos **A** e **C** correspondem aos equinócios da Primavera e do Outono e os pontos **B** e **D** correspondem aos solstícios de Verão e de Inverno, respectivamente. Nos *equinócios*, e apenas nos *equinócios*, o eixo Sol-Terra é perpendicular ao *eixo polar*. O dia tem uma duração exactamente igual à noite em toda a superfície terrestre e o *paralelo diurno* ou a *trajectória aparente do Sol* coincide com o *equador celeste*.

Ao longo do ano, o sol desloca-se do ponto **A** (equinócio de Março) a **B** (solstício de Junho). Deste ponto a **C** (equinócio de Setembro) e, em seguida, a **D** (solstício de Dezembro), completando-se a sua órbita ao voltar ao ponto **A**, o que explica o seu lento percurso através das estrelas e a sua aparição sucessiva nos doze signos do zodiaco. O sentido deste movimento é, como se indica na figura, contrário ao do *movimento diurno aparente d'*.

Concluindo: devido ao movimento de *rotação da terra*, o sol descreve todos os dias um paralelo na *esfera celeste* no sentido nascente-sul-poente e, devido ao *movimento de translação da terra*, o sol descreve anualmente a *eclíptica*, no sentido contrário ao anterior. No traçado dos relógios de sol, parte-se do princípio que o sol descreve todos os dias um *paralelo* completo na *esfera celeste*, cuja distância ao *equador*, ou *declinação*, varia ao longo do ano, desde a *declinação* máxima de $23^{\circ}27'30''$ no solstício de verão, até à *declinação* negativa oposta, no solstício de inverno, sendo 6 meses o tempo que separa os dois solstícios.

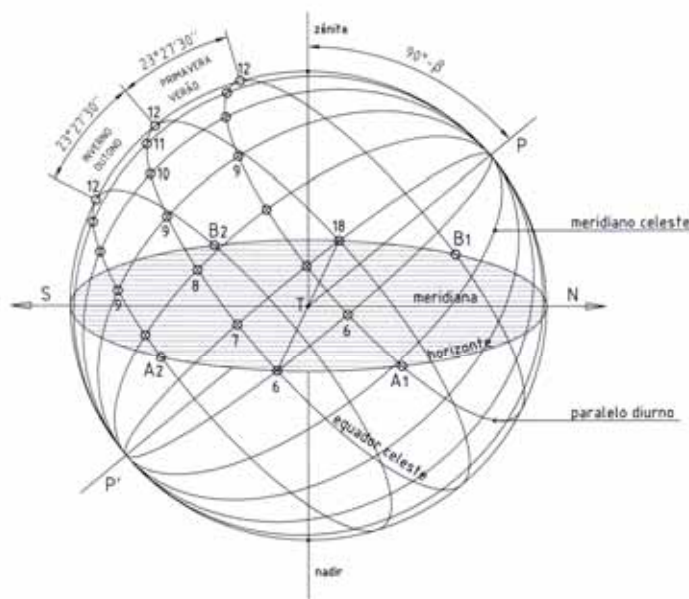


FIG. 7 - O percurso do Sol, relativamente ao horizonte, ao longo do ano

A figura 7 ilustra o percurso do sol relativamente ao horizonte. Podemos ver os *paralelos diurnos*, de *máxima* e *mínima declinação*, correspondentes aos solstícios de Verão e de Inverno e a circunferência intermédia correspondente aos equinócios da Primavera e do Outono, que coincide com o *equador celeste*.

No solstício de verão o sol nasce em **A1** e põe-se em **B1**, depois de percorrer no firmamento o arco superior **A1B1**, cuja amplitude é maior do que 180° - daí o dia ter duração maior do que a noite.

Nos equinócios da Primavera e do Outono o sol nasce e põe-se no horizonte segundo a direcção Nascente/Poente. A duração do dia é exactamente igual à da noite.

No solstício de Inverno o sol nasce em **A2** e põe-se em **B2**, depois de percorrer no firmamento o arco superior **A2B2**, cuja amplitude é menor do que 180° - daí o dia ter duração inferior à noite.

Na construção da esmagadora maioria dos relógios, considera-se que o sol, a uma determinada hora e nos diferentes dias do ano, se situa sempre no mesmo meridiano celeste (embora este pressuposto não seja rigoroso).

RELÓGIO EQUATORIAL

O *equatorial* (fig. 8) é, provavelmente, o mais simples de todos os relógios de sol. Neste tipo de relógio, o *gnómon* é paralelo ao eixo polar e o *quadrante* é perpendicular e, por conseguinte, paralelo ao *equador* - daí a designação de *relógio equatorial*.

Na imagem, vemos três rectângulos com um lado comum que poderão corresponder aos *quadrantes* horizontal, vertical – virado a sul – e *equatorial* de três relógios de sol de *gnómon* comum. O ângulo **b** corresponderá à *latitude* e o complementar ($90^\circ - b$) corresponderá à *colatitude* do local onde se pretenda instalar os relógios. A projecção ortogonal do *gnómon* em cada um dos *quadrantes* será a *meridiana* que corresponderá à linha das doze horas e, além disso, definirá a direcção norte-sul – no relógio horizontal – e a direcção vertical – no relógio vertical.

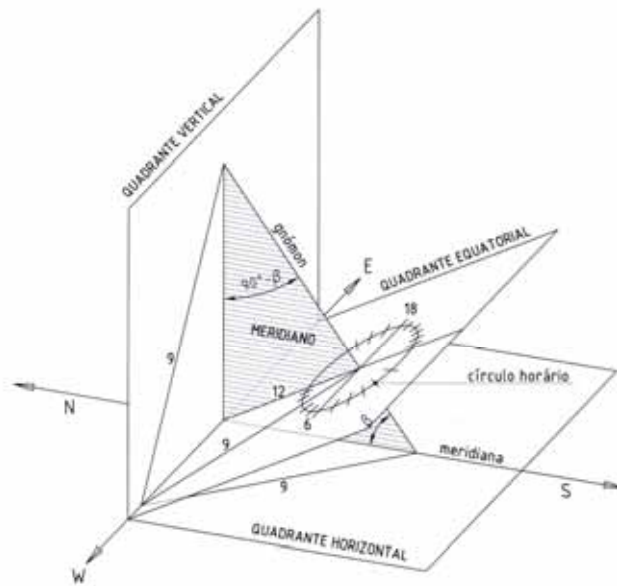


FIG. 8 - Quadrantes horizontal, vertical e equatorial de gnómon comum

Como a amplitude angular entre os *planos horários* é de 15° (ou seja, $360^\circ : 24 = 15^\circ$), basta traçar no plano equatorial um círculo qualquer e dividi-lo em 24 partes iguais. Cada um dos raios desse círculo será a sombra projectada pelo estilete em cada uma das horas: 11, 10, 9, etc. – para poente – e 1, 2, 3, etc. – para nascente. Se prolongarmos cada um dos raios até à recta de intersecção dos *quadrantes*, obteremos as linhas de sombra das horas respectivas nos relógios de *quadrante vertical e horizontal*.

Note-se que as linhas de hora são equiangulares apenas no *relógio equatorial*. Nos relógios horizontal e vertical é variável o espaçamento das linhas de hora e o traçado depende da *latitude* do local (ângulo **b**).

Se quisermos que o **relógio de sol equatorial** esteja sempre operacional, deveremos gravar o círculo horário nas faces superior e inferior do *quadrante* e prolongar o *gnómon* em relação à face inferior, visto que o sol, durante o ano, encontrar-se-á 6 meses acima e 6 meses abaixo do *quadrante* (nos *equinócios*, o sol deslocar-se-á no plano do próprio *quadrante*).

RELÓGIO HORIZONTAL

Vamos agora ver como poderemos desenhar o *quadrante* de um **relógio de sol horizontal** (fig. 9). Em primeiro lugar situamos o traço T do *gnómon* onde acharmos conveniente.

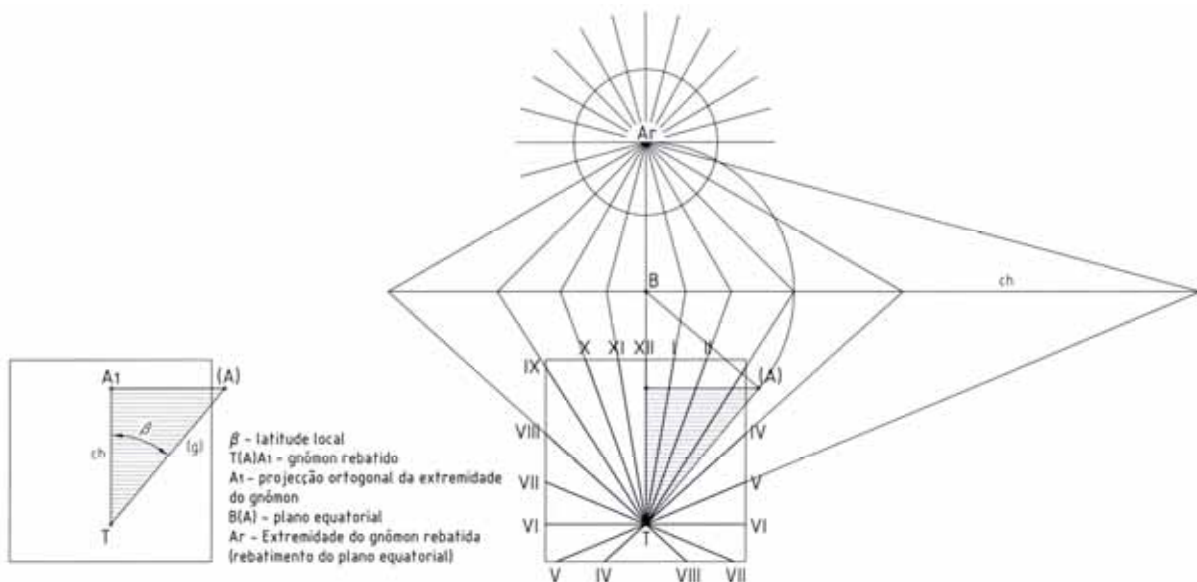


FIG. 9 - Determinação das linhas de hora em um relógio de quadrante horizontal

Em seguida, rebatemos o respectivo plano projectante e obtemos o *gnómon* rebatido (**g**). Note-se que **b** corresponderá à *latitude* do local. Traçamos a perpendicular a (**g**) que representa o *equador* e prolongamo-la até intersectar em **B** a recta **TA1**. Por **B**, desenhamos uma perpendicular a **TA1**, que funcionará como charneira de rebatimento. Com centro em **B** e raio **B(A)**, desenhamos um arco de circunferência até intersectar a perpendicular à charneira em **Ar**. Com centro em **Ar**, desenhamos um círculo horário com raios de 15 em 15°. Prolongamos os raios até intersectar a charneira e procedemos ao contra-rebatimento das linhas-de-hora.

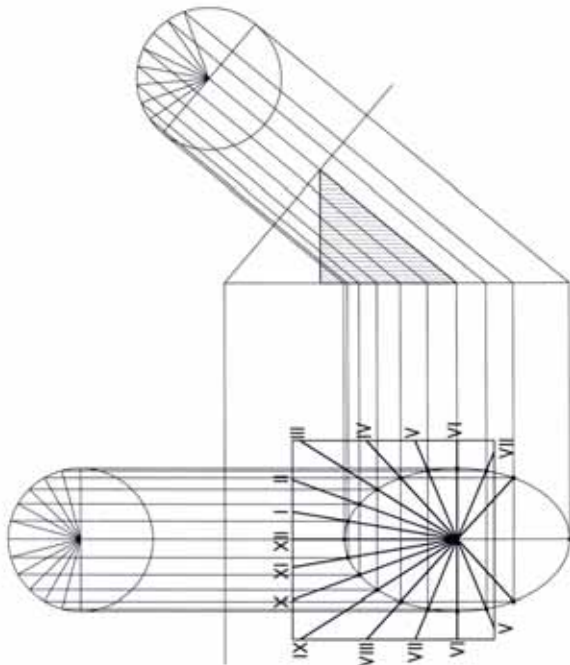


FIG. 10 - A partir da intersecção das geratrizes da superfície cilíndrica com a superfície do quadrante obtêm-se as linhas de hora

Para numerar as linhas-de-hora bastará ter presente a direcção do *gnómon* e da meridiana (direcção norte-sul, coincidente com a recta **TA1**).

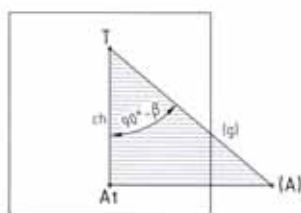
OUTRO MÉTODO GEOMÉTRICO (fig. 10)

Imaginemos uma superfície cilíndrica de revolução, em que o eixo corresponda à aresta do *gnómon*. Basta operar com geratrizes de 15° em 15°, que darão origem às linhas de hora. Determinamos a intersecção de cada uma das geratrizes com o plano do quadrante. Unimos os traços das geratrizes com o traço do *gnómon*, obtendo, desta forma, as linhas de hora no quadrante horizontal.

RELÓGIO VERTICAL

Vamos agora ver como poderemos desenhar o *quadrante* de um **relógio de sol vertical** orientado a sul (fig. 11). Em primeiro lugar situamos o traço **T** do *gnómon* onde achamos conveniente.

Em seguida, rebatemos o respectivo plano projectante e obtemos o *gnómon* rebatido (**g**). Note-se que **90°-b** corresponderá à *colatitude* do local. Traçamos a perpendicular a (**g**) que representa o *equador* e prolongamo-la até intersectar em **B** a recta **TA1**. Por **B**, desenhamos uma perpendicular a **TA1**, que funcionará como charneira de rebatimento. Com centro em **B** e raio



- 90°-β - colatitude local
- T(A)A1 - *gnómon* rebatido
- A1 - projecção ortogonal da extremidade do *gnómon*
- B(A) - plano equatorial
- Ar - Extremidade do *gnómon* rebatida (rebatimento do plano equatorial)

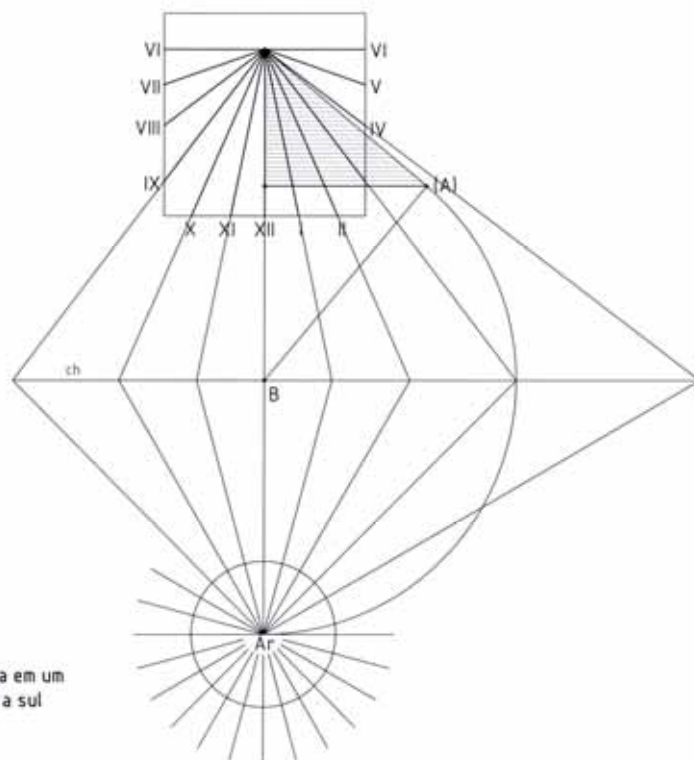


FIG. 11 - Determinação das linhas de hora em um relógio de quadrante vertical orientado a sul

B(A), desenhamos um arco de circunferência até intersectar a perpendicular à charneira em **Ar**. Com centro em **Ar**, desenhamos um círculo horário com raios de 15 em 15°. Prolongamos os raios até intersectar a charneira e procedemos ao contra-rebatimento das linhas-de-hora.

Para numerar as linhas-de-hora bastará ter presente a orientação do quadrante.

No Outono e no Inverno, a duração do período diurno é inferior a 12 horas. Nos equinócios, a duração do dia é, precisamente, de 12 horas. O Sol nasce, rigorosamente, a Este e põe-se a Oeste e este tipo de relógio funcionará desde as primeiras horas de alvorada até ao cair da noite. Durante o Verão e a Primavera, embora o período diurno tenha duração superior a 12 horas, os raios solares não incidem no quadrante ao amanhecer e ao anoitecer, dado que o Sol nasce a nordeste e põe-se a noroeste. O quadrante de um relógio vertical orientado a sul deverá, por conseguinte, contar apenas com 12 horas, das 6H00 às 18H00.

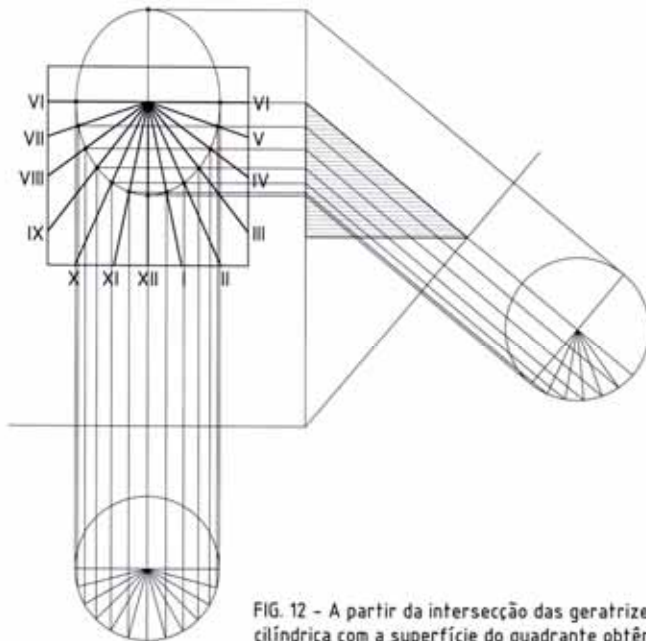


FIG. 12 - A partir da intersecção das geratrizes da superfície cilíndrica com a superfície do quadrante obtêm-se as linhas de hora

OUTRO MÉTODO GEOMÉTRICO (fig. 12)

Imaginemos uma superfície cilíndrica de revolução, em que o eixo corresponda à aresta do gnómon. Basta operar com geratrizes de 15 em 15°, que darão origem às linhas de hora. Determinamos a intersecção de cada uma das geratrizes com o plano do quadrante. Unimos os traços das geratrizes com o traço do gnómon, obtendo, desta forma, as linhas de hora no quadrante vertical.

RELÓGIO DE GNÓMON CÓNICO

Os relógios de sol, normalmente, assinalam a hora solar local.

O relógio de sol de gnómon cónico é uma excepção a esta regra, não assinalando a hora solar, mas o número de horas que restam para o pôr-do-sol (*horas itálicas*) e/ou o número de horas que decorreram desde o nascer-do-sol (*horas babilónicas*).

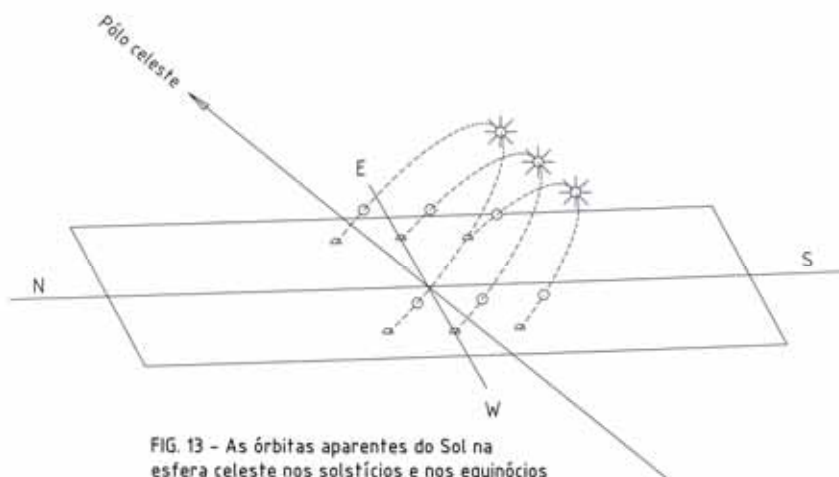
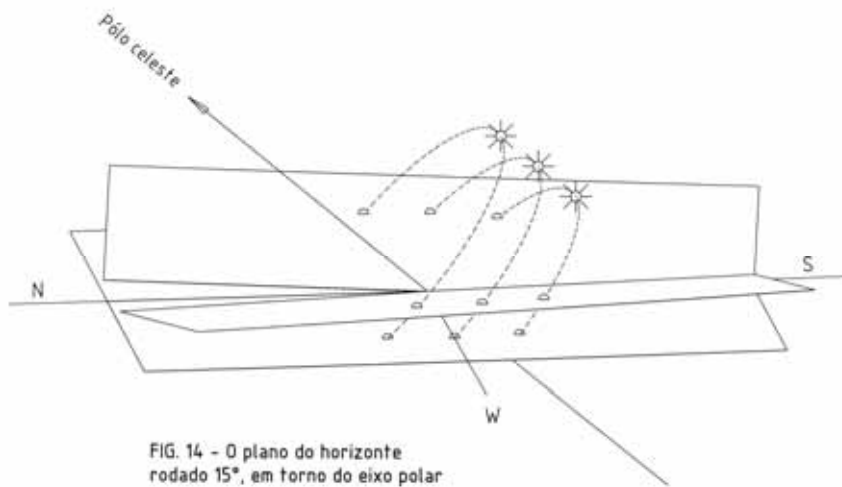


FIG. 13 - As órbitas aparentes do Sol na esfera celeste nos solstícios e nos equinócios

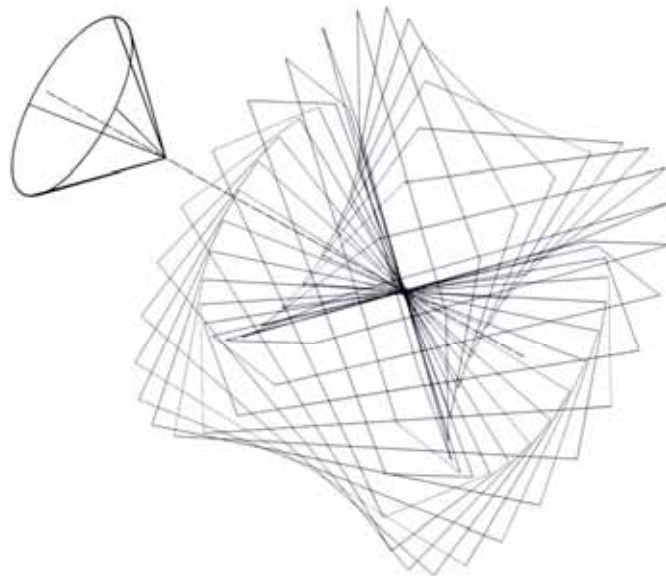
Como vimos, todos os dias o sol descreve uma circunferência na *esfera celeste*. Na figura 13 estão representadas as órbitas aparentes do sol nos solstícios e nos equinócios. Consideremos nas três órbitas o momento em que o sol se põe – ou seja, o momento em que o centro do sol intersecta o *plano do horizonte*.

Todos os dias, o sol intersecta o plano do horizonte duas vezes: ao nascer e ao pôr-se. Se

medirmos 15° ($360^\circ : 24h = 15^\circ$), no sentido ascendente, em cada órbita, a partir do pôr do sol, determinaremos a posição do sol 1 hora antes do seu ocaso. De forma idêntica, se medirmos 15° em cada órbita, no sentido ascendente, a partir do nascer-do-sol, determinaremos a posição do sol 1 hora após ter despontado no horizonte.



O plano do horizonte rodado 15° (fig. 14), sucessivamente, em torno do eixo polar, intersectará as órbitas nos pontos correspondentes à posição do sol de hora a hora, a partir do seu nascimento ou a partir do seu ocaso.



O conjunto dos planos do horizonte rodados (fig. 15) define uma *superfície cônica*, cujo eixo é o *polar* e em que as geratrizes apresentam uma obliquidade em relação ao eixo correspondente à *latitude* do local.

Podemos então recorrer a um cone (fig. 16), com eixo paralelo ao *eixo polar*, tangente ao *plano do horizonte*, em relação ao qual os 24 planos rodados 15° e tangentes correspondem aos planos *itálicos* e *abilónicos*. As **horas itálicas** são assinaladas a poente, a partir da geratriz do cone apoiada no solo (hora zero). As **horas abilónicas** são assinaladas a nascente. O contorno da sombra projectada do cone no plano horizontal onde está apoiado assinala o *tempo itálico*, *abilónico* ou ambos, através de *linhas de hora* que correspondem à intersecção entre o *plano do horizonte* e os planos tangentes à superfície.

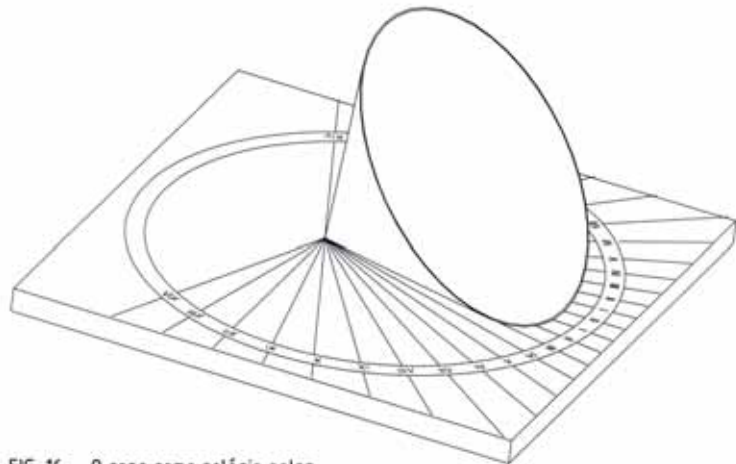


FIG. 16 - O cone como relógio solar

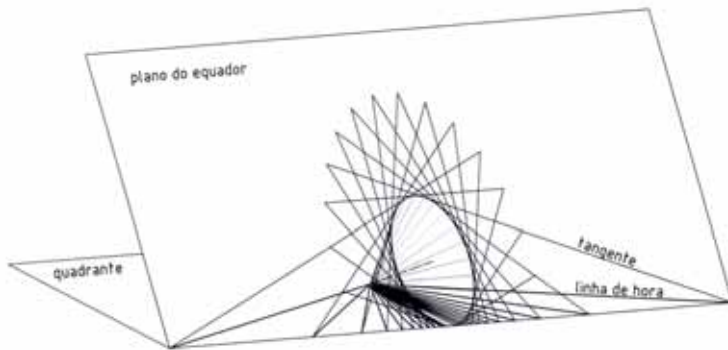


FIG. 17 - As tangentes à base do cone, sucessivamente rodadas 15° , dão origem às linhas de hora no quadrante

Na figura 17, vemos as tangentes à directriz da superfície cónica, sucessivamente rodadas 15° , correspondendo às horas inteiras. O traço das tangentes no plano do horizonte e o vértice do cone definem as respectivas linhas de hora. Com efeito, a direcção dos raios luminosos e as tangentes à base definem planos de luz rasantes ao cone, cuja intersecção com o *plano do quadrante* dá origem às linhas de hora.

Note-se que o *gnómon cónico* (fig. 18) teria uma abertura de zero graus se fosse adaptado ao equador, dado que aí a latitude é zero – corresponderia a um cilindro – e teria uma abertura de 180° se fosse adaptado aos pólos, dado que aí a latitude é de 90° – degeneraria, por conseguinte, num plano.



FIG. 18 - Gnómons cónicos ajustados às seguintes latitudes: 0° , 10° , 20° , 30° , 40° , 50° , 60° , 70° , 80° e 90°