



Universidades Lusíada

Pinto, Luís Filipe Gasparinho Marques, 1957-

Relógios de sol : a geometria do tempo

<http://hdl.handle.net/11067/2981>

Metadados

Data de Publicação

2008

Resumo

No primeiro capítulo, reflectimos sobre a concepção e a medição do Tempo. Apesar dos múltiplos dispositivos empregues, tradicionalmente, na medição do tempo — como as ampulhetas, as velas e as lamparinas graduadas de azeite — durante mais de vinte séculos, o relógio de sol foi, na história da humanidade, o instrumento mais fiável da medição do tempo. O relógio mecânico e o relógio de sol foram contemporâneos e, de alguma forma, cúmplices, durante mais de cinco séculos da história europeia. O...

In the first chapter, the reader is invited to reflect upon the concept of Time as well upon the ways of measuring it. An increasingly effective organization of time presides to the scientific evolution of human societies. In spite of the numerous devices traditionally invented to measure time, such as sand clocks, candles and oil lamps — sundials have remained for over twenty centuries as the most reliable instrument in the history of mankind as far as time measuring is concerned. For more th...

Palavras Chave

Arquitectura, Medição do tempo, Relógios de sol, tipologias

Tipo

masterThesis

Revisão de Pares

Não

Coleções

[ULP-FAA] Dissertações

Esta página foi gerada automaticamente em 2024-12-26T07:43:14Z com informação proveniente do Repositório

Capítulo I – O TEMPO

1. A medição do tempo

1.1. A concepção do tempo

O conceito do Tempo ocupa um lugar central na consciência que o Homem tem do Universo e permanece um dos aspectos mais misteriosos do Mundo que nos rodeia. Ao longo da história, alguns filósofos defenderam que o Tempo é uma propriedade elementar do Universo, enquanto que outros argumentaram que o Tempo é ilusório e subjectivo e não uma propriedade do Mundo em si mesmo.

Terá sido a passagem inexorável do tempo que impeliu o homem a fraccioná-lo. Provavelmente, a repetição cíclica de fenómenos naturais – principalmente, o nascer e o pôr-do-sol e as fases da Lua – estiveram na origem da medição do tempo. A divisão mais óbvia do tempo é, desde sempre, a alternância do dia e da noite e, numa escala mais ampla, a sequência alternada das estações do ano. Outras subdivisões do dia não são tão óbvias como os períodos diurno e nocturno, associados à luz solar e à sua ausência, respectivamente.

1.2. O fraccionamento do tempo

A evolução civilizacional das sociedades humanas é acompanhada pela organização, cada vez mais eficaz, do tempo.

Todas as civilizações que proliferaram na Terra – incluindo as primitivas – demonstraram ter um conhecimento razoável do ciclo das estações e interessaram-se pela periodicidade do dia, do mês e do ano.

A compreensão plena da periodicidade das estações do ano era vital para o êxito das colheitas. A duração do ano passou a ser da maior importância para os povos primitivos, que dependiam da agricultura. Contudo, a partir do movimento dos corpos celestes, é menos evidente a periodicidade do ano do que a alternância do dia e da noite ou o ciclo do mês lunar. Tornou-se, então, necessário fazer cálculos... Contaram-se dias e meses e surgiram os primeiros calendários. Pensa-se que marcas gravadas em paus e em ossos, encontrados no continente europeu e que remontam a 20 000 anos, constituem a contagem de dias de um ciclo lunar.

Para os egípcios, por exemplo, era muito importante saberem, antecipadamente, em que altura do ano ocorriam as cheias do rio Nilo. Desde 4 236 a.C., o começo do ano egípcio era anunciado pelo nascimento helicoidal de Sírio, a estrela mais brilhante da constelação de Cão Maior. O surgimento da estrela no firmamento ocorre após um período em que ela se encontra muito próxima do Sol e a sua claridade é velada pelo brilho ofuscante do Sol. Isto verifica-se no mês de Julho. O nascimento de Sírio no firmamento assinalava o início do ano e, ao mesmo tempo, anunciava as cheias do Nilo que o povo egípcio devia começar a preparar. Nesta época longínqua, a maior parte dos calendários já previa um ano composto por 365 dias.

Existia um claro significado religioso na medição do tempo nas civilizações primitivas. Alguns eventos religiosos tinham lugar em datas especiais, apenas determináveis através de um conhecimento profundo do calendário e de fenómenos astronómicos¹.

Pode parecer-nos natural a divisão do ano em meses e os meses em dias, mas esta tarefa não era fácil, já que o número total de dias não é divisível por doze.

Sendo o dia um período de tempo relativamente longo – embora numa escala diferente da do ano – também era necessário dividi-lo em períodos menores. Por volta do ano 3 000 a.C., os Sumérios dividiam o dia em doze partes iguais e subdividiam estas em 30. Decorridos, aproximadamente, 1 000 anos, os Babilónicos dividiam o dia em 24 “horas”, cada hora em 60 “minutos” e cada minuto em 60 “segundos”. Embora estas fracções do tempo não correspondam às nossas actuais unidades de tempo, foi esta fragmentação do dia que esteve na sua origem². As *horas antigas* baseavam-se na divisão, em doze partes iguais, dos períodos diurno e nocturno. Como estes têm duração variável, em função da época do ano e em função da *latitude* geográfica, as “horas” eram desiguais (as horas diurnas do solstício de Verão – e as nocturnas do solstício de Inverno – eram as de maior duração, enquanto que as horas diurnas do solstício de Inverno – e as nocturnas do solstício de Verão – eram as de menor duração).

¹ Um exemplo ainda actual corresponde à Páscoa cristã (que se localiza no primeiro domingo após a primeira lua cheia, que ocorra após o equinócio da Primavera ou no próprio equinócio).

² Devemos tomar consciência de que as unidades modernas de tempo, embora derivem da versão babilónica, não são, hoje em dia, regidas directamente por fenómenos astronómicos – embora tenham estes como referência. Devemos igualmente notar que as unidades de tempo primitivas variavam ao longo do ano, em função das estações do ano e da *latitude* geográfica.

1.3. A medição do tempo diurno

Como as unidades de tempo adoptadas dependiam directamente do movimento cíclico do Sol na *esfera celeste*, eram necessários instrumentos através dos quais se determinasse a posição do Sol no firmamento. Por volta de 3 500 a.C., começou a ser utilizado o *gnómon*, que consistia numa estaca colocada na vertical – ou um obelisco – cuja sombra projectada no solo indicava a hora do dia. Os obeliscos começaram a ser erigidos há 5 500 anos, no Egipto. O movimento da sombra do obelisco projectada no solo correspondia a um relógio de sol primitivo, que permitia que os indivíduos da comunidade dividissem o dia em três períodos – manhã, tarde e noite – através dos três fenómenos a eles associados – nascer do sol, meio-dia e ocaso (o meio-dia corresponde ao apogeu do Sol no firmamento, quando este atinge a sua altura máxima – é o momento em que as sombras apresentam o comprimento mais reduzido). Os obeliscos também permitiam determinar os solstícios de Verão e de Inverno, a partir do comprimento mínimo e máximo, respectivamente, da sombra projectada ao meio-dia.

Terá sido no período do Neolítico final (3 000 a 2 500 anos a.C.) que surgiram, no território que constitui hoje Portugal, conjuntos de pedras enormes – antas, menires e cromeleques – em que as pedras monumentais são dispostas umas sobre as outras, ou umas ao lado das outras, com orientações especiais, que os astrónomos associam a marcadores do tempo, assinalando os equinócios e os solstícios³.

Um fragmento de pedra exposto num museu de Berlim, datado de 1500 anos a.C., é considerado o relógio de sol mais antigo que chegou aos nossos dias⁴.

O problema que existia com os *relógios de sol* e que persistiu durante muitos séculos era consequência do facto do Sol percorrer diferentes trajectos (*paralelos diurnos*) na *esfera celeste*, ao longo do ano.

Para assegurar o funcionamento rigoroso de um *relógio de sol*, ao longo do ano, seria necessário que o *gnómon* fosse colocado paralelamente ao eixo de rotação da Terra, de forma que definisse, conjuntamente com o Sol, planos paralelos aos *meridianos horários*. Na prática, isso é conseguido quando o *gnómon* é disposto segundo a direcção N-S e com a inclinação, relativamente ao solo (*plano do horizonte*), correspondente à *latitude*

³ Fernando Correia de Oliveira, *Cronologia do Tempo em Portugal*, p. 10.

⁴ Albert E. Waugh, *Sundials their theory and construction*, p. 4.

geográfica do local (Fig.1). Nestas circunstâncias, dado que o Sol descreve, todos os dias, um paralelo na *esfera celeste*, de plano perpendicular ao *eixo polar*, a hora assinalada no *quadrante* do relógio, através da sombra projectada do *gnómon*, depende apenas do *meridiano celeste* em que o Sol se encontra e não da *altura* ou da *declinação*, que são variáveis. Sendo o *estilo* (aresta superior do *gnómon*) paralelo ao *eixo polar*, define, conjuntamente com o Sol, um plano que é designado de *meridiano horário*. Não importa se a *altura* do Sol é maior (Primavera e Verão) ou menor (Outono e Inverno) – o Sol encontra-se sempre no mesmo *meridiano horário* à mesma *hora solar* e, conseqüentemente, a hora assinalada no *quadrante* é a mesma, independentemente da época do ano (Fig.2).

Os *relógios de sol* são, essencialmente, réplicas, mais ou menos abstractas, da *esfera celeste* e são tanto mais rigorosos quanto mais forem fiéis ao modelo que representam (Fig. 3).

O relógio de sol hemisférico, inventado por volta do ano 300 aC., constitui um instrumento preciso, na medida em que é uma réplica perfeita da *esfera celeste*, em que a extremidade do *gnómon*, que ocupa a posição central da semi-esfera, corresponde à Terra (Fig. 4).

Marcus Vitruvius, arquitecto e engenheiro militar romano, contemporâneo de Júlio César, no livro IX da sua obra *De architectura*, refere 13 tipos de relógios de sol e os nomes dos respectivos autores, lamentando o facto de não ter tido a oportunidade de inventar novos tipos, devido à circunstância de esse espaço estar esgotado⁵...

Os relógios de sol continuaram a ser utilizados muito depois da invenção do relógio

⁵ Albert E. Waugh, op. cit., p. 4.

Na versão portuguesa, pode ler-se: “*Com efeito, não posso agora descortinar novas tipologias nem recomendar as alheias, de modo a parecerem minhas.*”, in *Vitrúvio, Tratado de Arquitectura*, tradução do latim por M. Justino Maciel, Instituto Superior Técnico, 2006, p. 346.

mecânico. Os primeiros relógios mecânicos fabricados eram inconstantes e, por conseguinte, pouco fiáveis; por isso, revelava-se absolutamente necessário acertar-se sistematicamente os cronómetros pelos *relógios de sol* ou, mais usualmente, pela *meridiana* (Fig. 5).

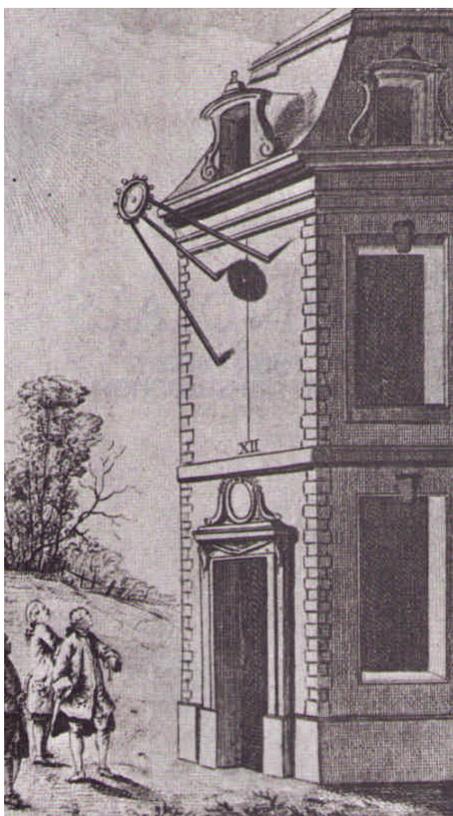


Fig. 5* - Transeuntes acertando o relógio de bolso pela meridiana traçada na fachada de um edifício. O meio-dia é anunciado pela incidência na meridiana de um feixe de raios luminosos que atravessa o orifício do centro do gnômon.

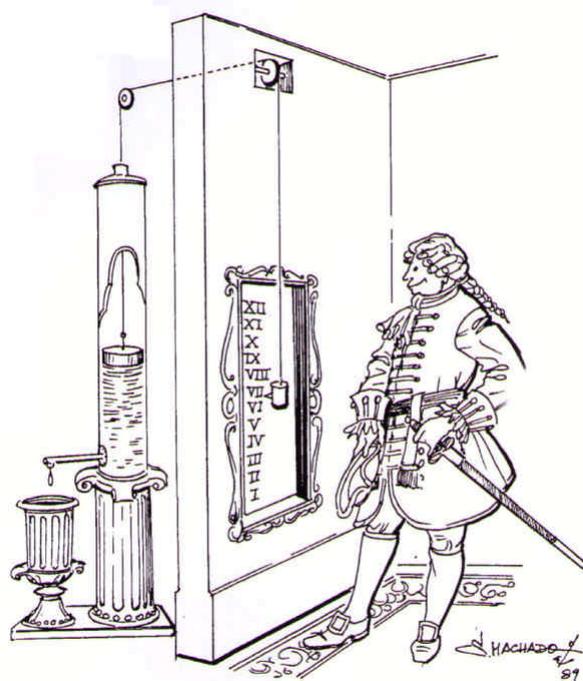


Fig. 6** - Clepsidra

Apesar dos vários dispositivos empregues na medição do tempo – como as ampulhetas, as clepsidras, as velas e as lamparinas graduadas de azeite – durante mais de vinte séculos, o relógio de sol foi o instrumento mais eficaz de medição do tempo. E continua a ser na medição da *hora solar* (que, no entanto, muito raramente coincide com a *hora legal*).

* Imagem extraída de: Bedos de Celles, “La Gnomique Pratique”, in Christopher St J. H. Daniel, *Sundials*, Buckinghamshire, U. K., Shire Publications, 2004, p. 23.

** Desenho da autoria do Comandante Sousa Machado, “Tesouros dos Prudentes”, in Fernando Correia de Oliveira, *op. cit.*, p. 18.

1.4. A medição do tempo nocturno

É evidente que a posição do Sol no firmamento não pode ser utilizada para medir a passagem do tempo durante o período nocturno, nem quando o céu se apresenta nublado. Para suprir essa lacuna, surgem os relógios de água (clepsidras) e os relógios de areia (ampulhetas). A clepsidra e a ampulheta são artefactos antigos de medição do tempo constituídos por dois reservatórios construídos em material transparente, frequentemente simétricos e graduados, com forma aproximadamente cónica, que se ligam pelo ápice. Enquanto que um dos reservatórios da clepsidra era cheio de água, um dos reservatórios da ampulheta era cheio de areia fina. A redução da secção dos reservatórios permite dosear a quantidade de areia ou de água que escoar, por gravidade, do reservatório superior para o inferior. O esvaziamento total da parte superior equivale a um período de tempo predeterminado⁶ (Fig. 6).

1.5. Contemporaneidade do relógio mecânico e do relógio de sol

O relógio mecânico com escape⁷, movido pela acção de um peso, foi utilizado na China antes de surgir na Europa, no séc. XIII. Neste tipo de relógio, a energia da queda do peso é transmitida a uma engrenagem de rodas dentadas que movimentam os ponteiros. A partir do séc. XIII, foi possível ler as horas nos campanários – indicadas apenas através de um ponteiro⁸ – nas principais cidades europeias.

O registo do primeiro relógio mecânico em Portugal data de 1377. Correspondia ao relógio da Sé de Lisboa e foi construído por um mestre francês⁹.

⁶ Na obra *Vitrúvio, Tratado de Arquitectura*, op. cit., pp. 347-51, são descritos vários tipos de relógios de água.

⁷ Dispositivo que actua como regulador dos movimentos das rodas dentadas de um relógio. Durante muito tempo, o problema que persistia na regulação dos relógios resultava do facto de uma força contínua aplicada a um objecto produzir um movimento acelerado. Logo, se nada se opusesse à descida do peso, a força imprimiria um movimento cada vez mais rápido à engrenagem. Na Idade Média foi inventado um dispositivo de retardamento (o escape) capaz de bloquear alternadamente o mecanismo, controlando o movimento das rodas dentadas e, conseqüentemente, dos ponteiros.

⁸ A falta de acerto dos relógios era muito significativa, revelando-se inadequada a introdução do ponteiro dos minutos.

⁹ Fernando Correia de Oliveira, *op. cit.*, p. 10.

Galileu Galilei¹⁰ formulou a lei do *Isocronismo*, após ter constatado, recorrendo ao seu “relógio” biológico – o ritmo cardíaco –, que pêndulos com o mesmo comprimento, independentemente do peso, despendiam o mesmo tempo em cada oscilação. Christiaan Huygens¹¹, associou o relógio mecânico de escape ao movimento regular do pêndulo e, desta forma, conseguiu reduzir a margem de erro dos relógios de cerca de 15 minutos para 15 segundos por dia. O relógio tornou-se, por fim, um instrumento fiável de medição do tempo¹².

Em 1658, em Lisboa, é publicado o *Orbe Afonsino, ou Horoscópio universal, manual de construção de relógios de sol*, da autoria do padre jesuíta alemão Valentim Estancel¹³.

Em 1704, D. Luiz Caetano de Lima escreve a *Gnomónica Universal, e método para toda a casta de relógios Regulares, e Irregulares, Astronómicos, Judaicos, Babilónicos, e Itálicos com grande número de figuras*. A obra é manuscrita e contém dezenas de modelos de relógios de sol¹⁴.

Em 1846, é instalada na torre dos Clérigos, no Porto, uma *meridiana*, da autoria de Veríssimo Alves Pereira. Com autonomia para oito dias, faz soar uma pequena peça de artilharia quando o Sol passa no *meridiano*. Em 1857, a Câmara Municipal de Lisboa adquire uma *meridiana* semelhante à da cidade do Porto¹⁵.

O Diário do Governo, em 1858, publica o seguinte texto: “*Achando-se actualmente colocado no plano meridiano do Observatório Astronómico da Marinha o seu instrumento de passagens, anuncia-se a bem do serviço de cronómetros da marinha de guerra e mercante, e dos relógios públicos e particulares desta capital, que da data do presente anúncio em diante se indicará todos os dias no referido Observatório, por meio da rápida queda de um balão, o rigoroso instante em que a pêndula do mesmo Observatório marcar exactamente uma hora média*”. Este artefacto, localizado em Lisboa, ficou conhecido como

¹⁰ 1564-1642, matemático e astrónomo italiano.

¹¹ 1629-1695, astrónomo e matemático holandês.

¹² Com a invenção do relógio de pêndulo, começou a medir-se segundos. Até esta altura, os relógios mecânicos nem sequer a medir minutos eram fiáveis.

¹³ Fernando Correia de Oliveira, *op. cit.*, p. 21.

¹⁴ Fernando Correia de Oliveira, *op. cit.*, p. 22.

¹⁵ Fernando Correia de Oliveira, *op. cit.*, p. 31.

o *Balão do Arsenal*¹⁶.

1.6. Do relógio de quartzo ao relógio atómico

Em 1880, os irmãos Pierre e Jacques Curie, cientistas franceses, descobriram que uma lâmina de cristal de quartzo colocada no vácuo, num circuito eléctrico e a baixa temperatura, vibra 32 758 vezes por segundo (como se se tratasse de um pêndulo ultra-rápido e extraordinariamente regular).

Em 24 de Maio de 1911, por decreto-lei, subordina-se a hora legal do território português ao meridiano principal de referência. A partir do dia 1 de Janeiro de 1912, todos os serviços públicos passariam a ser regidos pela mesma hora legal. Foi nesta data que os relógios nacionais foram adiantados 36 minutos 44 segundos e 68 centésimos, a diferença de tempo solar entre os meridianos de Greenwich e de Lisboa¹⁷.

Em 1969, no 9º. Congresso Internacional de Cronometria que se realizou em Paris, a empresa japonesa Seiko apresentou o seu primeiro modelo electrónico – nascia, assim, a indústria do relógio a quartzo.

Como se sabe, os átomos, bem como as partículas que os constituem, estão em permanente movimento oscilatório. O relógio atómico utiliza a oscilação regular de átomos para medir o tempo, sendo regulado pelo ritmo natural da vibração dos átomos de céσιο, rubídio ou hidrogénio.

O primeiro relógio atómico foi construído em 1949 pela *National Bureau of Standards*, Estados Unidos. O primeiro relógio atómico baseado na vibração do átomo de céσιο 133 foi fabricado por Louis Essen, em 1955, no Reino Unido. Este facto esteve na origem de uma revolução profunda do próprio conceito de segundo. Em 1967, o segundo deixou de ser uma fracção (1/86 400) do *dia solar médio* para passar a ser o período de tempo em que o átomo de céσιο 133 completa 9 192 631 770 oscilações¹⁸...

Há 350 anos, a forma mais fiável que o homem dispunha para medir um minuto era – como vimos relativamente a Galileu – contar a sua pulsação. Hoje, o homem dispõe de

¹⁶ Fernando Correia de Oliveira, *op. cit.*, p. 31.

¹⁷ Fernando Correia de Oliveira, *op. cit.*, p. 37.

¹⁸ «O segundo é a duração de 9 192 631 770 períodos de radiação correspondente à transição entre dois níveis hiperfinos do estado fundamental do átomo de céσιο 133», definição in “Segundo”, *Wikipédia* (<http://pt.wikipedia.org/wiki/Segundo>), acesso em 2007-04-17.

instrumentos de medição tão rigorosos que lhe permitem fraccionar o segundo em mil¹⁹, cem mil²⁰ ou, até, em 100 000 000 000 000 000 000 000 partes²¹.

A subdivisão do segundo é útil no estudo de reacções químicas e atómicas, no estudo de propriedades físicas da luz, nas telecomunicações e em outras áreas de electrónica.

Parece-nos óbvio que o ritmo natural mais indelével a que o homem está sujeito é a alternância do dia e da noite. No entanto, os períodos diurno e nocturno – e os próprios dias – ao longo do ano, têm durações diferentes e, por outro lado, o *dia solar* e o *dia sideral* não coincidem, sendo mais longo o primeiro. Por tudo isto, parece-nos razoável o conceito actual de segundo, baseado nas propriedades químicas regulares do átomo de césio. No entanto, o número estipulado de períodos de radiação atómica, que está na base da definição actual do segundo, não é arbitrário e teve como referência a duração de 1/86 400 do *dia solar médio*.

A ciência evolui a um ritmo acelerado. Daqui a alguns anos, é provável que o actual conceito de segundo pareça obsoleto aos cientistas e se elabore uma nova definição do segundo, mais rigorosa e subtil. Acreditamos, contudo, que novos conceitos do segundo que venham a ser eventualmente formulados terão sempre como pano de fundo a alternância do dia e da noite e, conseqüentemente, a duração do *dia solar médio*.

¹⁹ 0,001s (10^{-3}) – milissegundo (ms)

²⁰ 0,000 001s (10^{-6}) – micro-segundo (μ s)

²¹ (10^{-24})s – yoctossegundo (ys)

2 . A *esfera celeste* como réplica da Terra

2.1. A *esfera celeste*

2.1.1. Sistema de projecção radial

A *esfera celeste* é uma superfície esférica imaginária, de raio virtualmente infinito, concêntrica e co-axial com a Terra, animada de vários movimentos, dos quais o mais importante, no âmbito deste trabalho, é o de rotação. A *esfera celeste* foi concebida com o objectivo de facilitar o estudo do movimento e da posição relativa dos astros. Na representação habitual, esta superfície esférica tem raio arbitrário, ocupando a Terra o seu centro. Como as dimensões deste planeta são ínfimas, comparativamente com as dimensões da *esfera*, supõe-se a Terra reduzida a um ponto²².

Todos os corpos celestes que observamos, exceptuando os que fazem parte do sistema solar, encontram-se a distâncias imensamente grandes da Terra e como, a olho nu, são vistos como pontos luminosos, não temos a possibilidade de comparar as dimensões relativas e avaliar, dessa forma, a distância a que se encontram do nosso planeta. Por essa razão, para se estudar o movimento e a posição dos astros, é conveniente projectar-se nessa superfície esférica imaginária todos os corpos celestes. Inclusivamente, projectando-se nessa esfera imensa os seus equivalentes geográficos, obtêm-se o *equador celeste* e os *pólos celestes*. Embora tal não corresponda, como é evidente, à realidade, imagina-se que as estrelas, os planetas, etc., pertencem à *esfera celeste*²³.

²² Frequentemente, o rigor necessário às observações astronómicas impõe que se considere pontos distintos como centros da *esfera celeste*, surgindo as sub designações de *esfera celeste topocêntrica* (que tem como centro o local de observação); a *esfera celeste geocêntrica* (que tem como centro o centro da Terra); e a *esfera celeste heliocêntrica* (que tem como centro o centro do sistema solar, o Sol). Cada uma destas *esferas celestes* é útil em situações determinadas:

As observações são, evidentemente, feitas tendo como referência a *esfera celeste topocêntrica*.

As efemérides de planetas e de outros corpos do sistema solar são feitas tendo como referência a *esfera celeste geocêntrica*. Desta forma, as observações feitas a partir de locais distintos da superfície terrestre serão coincidentes, no que diz respeito às coordenadas.

Finalmente, na observação das estrelas e registo da sua posição, é conveniente ter-se como referência a *esfera celeste heliocêntrica*, dado que para se estudar o movimento das estrelas, é evidente que os movimentos da Terra deverão ser corrigidos.

²³ Nos modelos Aristotélico e Ptolemaico, a *esfera celeste* era encarada como uma realidade física e não como resultado conceptual de uma projecção geométrica.

Em tempos remotos, era corrente pensar-se que as estrelas correspondiam a orifícios na cúpula da *esfera celeste*, por onde a luz intensa do céu jorrava para o seu interior. A luz que, sabemos hoje, provém das estrelas, era encarada pelos nossos antepassados como o vislumbre da vigorosa luz celestial...

Ao dirigir-se uma visual (projectante) a qualquer astro, este será projectado na *esfera celeste*, a partir do centro. Os astros representam-se através das suas projecções radiais na *esfera celeste*. Ao referirmo-nos a um astro determinado, não é a sua distância ao centro (Terra) que interessa principalmente, mas a sua projecção radial na *esfera celeste*.

A *esfera celeste* é dividida nos correspondentes *hemisférios* norte e sul, a partir da projecção central do *equador terrestre*. Para um observador que se situe no *equador* (terrestre), o *equador celeste* será uma semi-circunferência que passará no *zénite*. À medida que o observador se desloca para Norte ou para Sul, o *equador* desviar-se-á para Sul ou para Norte, respectivamente. No entanto, devido ao facto do *equador celeste* ter, teoricamente, um diâmetro infinitamente grande (correspondente ao diâmetro da respectiva esfera), o observador, independentemente da sua posição, vê sempre os extremos da semi-circunferência do *equador celeste* a Este e a Oeste, no seu horizonte. De forma idêntica, através das respectivas projecções centrais, podemos definir o *trópico de Câncer* e o *trópico de Capricórnio celestes*, o *pólo norte* e o *pólo sul celestes*, etc. A posição dos astros no firmamento pode ser definida através da adopção de um sistema de *coordenadas esféricas*.

2.1.2. Movimentos da *esfera celeste*

À medida que a Terra roda, de ocidente para oriente, em torno do *eixo polar*, completando uma volta no período de 23 horas e 56 minutos, a *esfera* e todos os corpos celestes parecem rodar de oriente para ocidente, em torno dos *pólos celestes*, precisamente no mesmo período de tempo. É o *dia sideral*²⁴, marcado pelo movimento diurno da *esfera celeste*. As estrelas que se situam nas imediações do *equador celeste* são visíveis, pelo menos periodicamente, ao longo de toda a superfície terrestre, nascendo a oriente, culminando no *meridiano celeste do lugar* e pondo-se a ocidente²⁵. Na noite seguinte, cada estrela despontará de novo no horizonte, a oriente, 4 minutos antes de se completar um *dia solar médio*²⁶ e assim sucessivamente. O desfaseamento entre o movimento cíclico da *esfera celeste* e o *dia solar médio* deve-se ao facto do Sol se deslocar cerca de 1 grau por dia, para

²⁴ Ver o conceito de *dia sideral* descrito no glossário.

²⁵ Tal como sucede com o Sol.

²⁶ Ver o conceito de *dia solar médio*, descrito no glossário.

oriente, ao longo de um grande círculo da *esfera celeste*, denominado *eclíptica*. O movimento aparente do Sol ao longo da *eclíptica* é consequência do movimento de translação da Terra e é completado ao fim de um ano. Como a amplitude de 1 grau dos *paralelos* da *esfera celeste* corresponde a 4 minutos de tempo ($24^{\text{horas}}=1440^{\text{minutos}}$; $1440^{\text{min}}:360^{\circ}=4^{\text{min}}$), são necessários 4 minutos extra de rotação da Terra, relativamente ao *dia sideral*, para que o Sol surja projectado no mesmo *meridiano* da *esfera celeste* (Fig. 7). As estrelas circumpolares, que se situam nas imediações dos pólos, não nascem nem se põem no horizonte – são visíveis ou não a partir de um local específico da Terra.

2.2. Coordenadas geográficas

2.2.1. *Latitude e longitude*

O *eixo polar* PN-PS (Fig. 8) é o eixo de rotação da Terra e os extremos são os *pólos norte* e *sul*. O plano perpendicular ao *eixo polar* que contém o ponto médio (centro da esfera) intersecta o globo terrestre segundo um círculo máximo, cujo contorno designamos de *equador*. A Terra é dividida, pelo *equador*, em dois hemisférios – o norte e o sul. Os planos paralelos ao *equador* seccionam a Terra segundo círculos menores, cujos contornos designamos de *paralelos*. Todos os planos que contém o *eixo polar* seccionam a Terra segundo círculos máximos, cujos contornos designamos de *meridianos* (Fig. 8).

Por qualquer ponto **A** (Fig. 9) da superfície terrestre passam sempre um *meridiano* e um *paralelo*, cuja intersecção permite determinar a posição rigorosa do ponto. O plano do *equador* é o plano de referência dos *paralelos*, enquanto que o plano do *meridiano de Greenwich* intersecta o *equador* em **O** e constitui a origem dos *meridianos*. Os *paralelos* e os *meridianos* compõem um sistema de *coordenadas esféricas*. As *coordenadas esféricas* – que relativamente à superfície terrestre designamos, usualmente, de *coordenadas geográficas* – do ponto **A** são:

- **Longitude** – ângulo formado pelo plano do *meridiano zero* e pelo plano do *meridiano* que passa por **A**. Determina-se através do ângulo λ do rectilíneo do diedro, medido no *equador*, ou pelo arco **OB** correspondente. A *longitude* também pode ser determinada no *paralelo* de **A**.

A *longitude* varia de zero a 180 graus, sendo positiva a ocidente de Greenwich e negativa a oriente do mesmo *meridiano*.

- **Latitude** – ângulo Φ que o raio **CA** forma com o plano do *equador*. O ângulo correspondente à *latitude* também pode ser medido na superfície terrestre, através do arco **BA** do *meridiano do lugar*. A *latitude* pode variar de zero a 90° e será positiva ou negativa, conforme se meça a Norte ou a Sul do *equador*. Por vezes, recorre-se ao ângulo complementar da *latitude* ($90^\circ - \Phi$), designado de *co-latitude*, que corresponde à amplitude do arco **PN-A**.

2.2.2. Os pontos cardeais

Para um indivíduo situado no ponto **A** da superfície terrestre (Fig. 10), a direcção vertical será definida pelo raio **AC** do globo²⁷. O *horizonte*, para este hipotético observador, será o plano ν , tangente à esfera terrestre em **A** e perpendicular à vertical **AC**²⁸. A intersecção do *plano do horizonte* com o *meridiano* de **A** é a *meridiana*, que define a direcção norte-sul do lugar. A perpendicular horizontal a esta direcção define a direcção este-oeste.

2.2.3. Influência da posição geográfica nos relógios de sol

Na perspectiva da *gnomónica*, interessa atender ao facto de a paralela **g** (Fig. 10) ao *eixo polar* formar com a vertical e a *meridiana* ângulos respectivamente iguais à *co-latitude* e à *latitude* do lugar e a sua projecção ortogonal no *horizonte* coincidir, precisamente, com a *meridiana*. Estas propriedades estão patentes na maioria dos relógios de sol, em que o *gnómon*, ou mais propriamente o *estilo*, é paralelo ao *eixo polar*.

²⁷ A direcção vertical pode ser definida pelo fio-de-prumo.

Note-se que a direcção vertical varia de lugar para lugar, ao longo da superfície terrestre. Se considerarmos – o que não é verdade – que a Terra é perfeitamente esférica, as verticais, em função de todos os pontos da sua superfície, definem todas as direcções do espaço.

²⁸ A orientação horizontal pode ser definida pela superfície da água em repouso.

Note-se que a orientação horizontal varia de lugar para lugar, ao longo da superfície terrestre. Se considerarmos que a Terra é perfeitamente esférica, os planos do horizonte, em função de todos os pontos da sua superfície, definem todas as orientações do espaço.

3. Princípios que regem os relógios de sol

3.1. Movimentos aparentes do Sol

3.1.1. Movimentos de rotação e de translação da Terra

A Terra, como se sabe, não está fixa no espaço, mas animada de vários movimentos cíclicos²⁹. 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 translação³⁰, em torno do Sol – que dá origem à sucessão dos anos.

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 solares ao longo do ano, dando origem às estações³¹ (Fig. 11). No solstício de Verão, o Sol alcança a altura máxima no céu e, conseqüentemente, a direcção dos raios solares aproxima-se da vertical e a quantidade de radiação solar tende para valores

²⁹ Actualmente, são conhecidos 14 movimentos da Terra, desde o movimento de rotação – o que tem efeito mais directo na concepção dos relógios de sol – até ao movimento de translação galáctica, em que todos os planetas do sistema solar acompanham a estrela dominante no seu movimento de translação, em torno do centro da galáxia – que não tem qualquer reflexo nos relógios de sol.

³⁰ O *movimento de translação* processa-se segundo uma trajectória elíptica (muito próxima da circunferência) na qual o Sol ocupa a posição correspondente a um dos focos.

³¹ A quantidade de radiação solar recebida em uma superfície é máxima quando os raios são perpendiculares à superfície. Na medida em que diminui a inclinação dos raios solares, diminui a radiação directa recebida (Fig. 13).

máximos (Fig. 12). Além disso, o Sol permanece durante mais tempo acima do horizonte, transmitindo mais calor à Terra. No solstício de Inverno, o Sol atinge uma altura menor no firmamento e, conseqüentemente, a direcção dos raios solares afasta-se da vertical e a quantidade de radiação solar tende para valores mínimos. Além disso, o Sol permanece mais tempo abaixo do horizonte (o período nocturno é mais longo do que o diurno) e a Terra tende a perder mais calor, por radiação, do que ganha, por absorção. A obliquidade do *eixo polar* relativamente à direcção perpendicular à *eclíptica* é, actualmente, de $23^{\circ}26'$.

Como vivemos na Terra, somos solidários com ela nos seus movimentos de rotação e de translação e, por isso, não tomamos consciência dos mesmos. Como, por outro lado, temos a tendência para avaliar a realidade que nos rodeia a partir da nossa consciência individual, do nosso “centro de consciência”, temos a ilusão de que estamos imóveis (e, conseqüentemente, de que a Terra está fixa no espaço) e que são os corpos celestes que gravitam no firmamento, em torno de nós (por extensão, em torno da Terra). Embora saibamos que a Terra gira em torno de si e em torno do Sol e que este, por sua vez, também gira em torno do centro da galáxia, é mais cómodo para nós e, até certo ponto mais lógico,

considerar a Terra imóvel, no centro do Universo. Desta forma, ao considerarmos a Terra imóvel, a trajetória aparente do Sol, representado por **S** (Fig. 14), ao longo de um dia, é uma circunferência menor da esfera celeste, designada de *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 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 período diurno tem a duração igual ao período nocturno em toda a superfície terrestre e o *paralelo diurno* – ou seja, a trajetória 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). De **B** desloca-se a **C** (*equinócio* de Setembro) e, em seguida, a **D** (*solstício* de Dezembro), completando a órbita ao regressar ao ponto **A**. O movimento de translação da Terra está na origem do aparente e lento percurso do Sol através das estrelas e a sua aparição sucessiva nos doze signos do zodíaco.

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, o Sol descreve anualmente a *eclíptica*, no sentido contrário ao anterior.

A Figura 15 ilustra o percurso do Sol relativamente ao *horizonte*. Podemos ver os *paralelos diurnos*, de máxima e de mínima *declinação*, correspondentes aos *solstícios* de Verão e de Inverno, respectivamente, 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 A_1 e põe-se em B_1 , depois de percorrer no firmamento o arco superior A_1B_1 , cuja amplitude é maior do que 180° – daí o período diurno ter duração maior do que o período nocturno.

Nos *equinócios* da Primavera e do Outono o Sol nasce e põe-se no *horizonte* segundo a direcção Este-Oeste. O *paralelo diurno* coincide com o *equador celeste* e o seu arco superior tem a amplitude de 180° . A duração do período diurno é igual à do período nocturno.

No *solstício* de Inverno o Sol nasce em A_2 e põe-se em B_2 , depois de percorrer no firmamento o arco superior A_2B_2 , cuja amplitude é menor do que 180° – daí o período diurno ter duração inferior ao nocturno.

3.1.2. A pressuposta regularidade do movimento aparente do Sol

A maioria dos relógios de sol assinala a *hora solar*, a partir do movimento diurno do Sol na *esfera celeste*, que é consequência do movimento de rotação da Terra.

No traçado da maioria dos relógios, considera-se que o Sol, a uma hora determinada, nos diferentes dias do ano, se situa sempre no mesmo *meridiano celeste*. Este pressuposto, no entanto, não é verdadeiro e é por isso que é necessário entrar em linha de

conta com a *equação do tempo*, quando pretendemos obter a *hora legal* a partir da *hora solar* e vice-versa.

3.2. Funcionamento dos relógios de sol

3.2.1. Componentes do relógio de sol

Os relógios de Sol são réplicas mais ou menos rigorosas e mais ou menos abstractas da *esfera celeste*, concebidas para determinar a posição do Sol no firmamento através da sombra projectada de um dos seus componentes e, desta forma, medir a hora (solar). Existe, aliás, um tipo de relógio de sol – a *esfera armilar* – que é, formalmente, uma réplica fiel da *esfera celeste*, em que o *eixo polar*, o *equador celeste*, a *eclíptica*, *meridianos celestes*, etc., são os componentes do relógio. A Terra, quando é representada neste tipo de relógio, corresponde a um nódulo no centro do *eixo polar*...

A captação do movimento do Sol no firmamento, através de um determinado modelo de relógio, é feita em função dos conhecimentos teóricos, da experiência e da criatividade do autor. As possibilidades são quase em número infinito.

Em seguida, iremos enumerar as propriedades e características fundamentais da maioria dos relógios de sol.

Os relógios de sol são constituídos, regra geral, por dois componentes fundamentais: o *quadrante* ou *mostrador* e o *gnómon* ou *estilo* (Fig. 16).

O *quadrante* ou *mostrador* é a superfície onde se assinalam as *linhas de hora* (e as *linhas de minutos*, se o relógio tiver suficiente *resolução*). O *quadrante* pode ser horizontal, vertical – orientado ou não para os pontos cardeais – ou inclinado – paralelo ou oblíquo relativamente ao *equador* ou ao *eixo polar* – etc., surgindo, desta forma, as tipologias de

relógios de sol mais comuns e que constituem o objecto de estudo e de sistematização deste trabalho.

O *gnómon* ou *estilo* é o componente, cuja sombra projectada no *quadrante* assinala a *hora solar*. Sendo o *gnómon* alinhado pelo eixo de rotação da Terra, este irá definir, conjuntamente com o Sol, um plano, cuja intersecção com o plano do *quadrante*, corresponderá à respectiva *linha horária*. Por outro lado, Se partirmos do princípio, como sucede na concepção da maioria dos relógios, que o Sol, a uma hora determinada do dia, se encontra sempre no mesmo *meridiano celeste*, a diferente *declinação* do Sol ao longo do ano, deixa de ter qualquer implicação na hora assinalada. Note-se que, sendo o *gnómon* paralelo ao *eixo polar*, é complanar com os *meridianos celestes*, não importando, por isso, se o Sol tem *declinação* positiva (Primavera e Verão) ou *declinação* negativa (Outono e Inverno). Desde que, por exemplo, o Sol se encontre no *meridiano horário* das 9H00, o relógio assinalará 9H00 (Fig. 17). Para o *estilo* ser paralelo ao eixo de rotação da Terra, será necessário que a sua projecção horizontal corresponda à direcção N-S e que a inclinação relativamente ao *plano do horizonte* corresponda à *latitude* geográfica do local. Se o *quadrante* for vertical, orientado a Sul ou a Norte, o *estilo* deverá formar com o *mostrador* o ângulo correspondente à *co-latitude* geográfica do local (Fig. 18).

3.2.2. Complementaridade dos vários tipos de relógios

A maioria dos relógios de sol assinala a *hora solar* a partir da sombra projectada do *gnómon*, que é paralelo ao *eixo polar*. Nestes modelos, como vimos, é irrelevante a época

do ano em que se faz a leitura da hora. No entanto, existem modelos em que a hora é assinalada a partir da *altura* do Sol no firmamento – que é variável, como se sabe, ao longo do dia e ao longo do ano. Estes tipos de relógios de sol, que excluimos do âmbito deste estudo, são, necessariamente, dotados de calendário.

Nos relógios de sol dotados de *linhas de declinação*, parte-se do princípio – não rigoroso – de que o Sol descreve todos os dias um *paralelo* completo na *esfera celeste*, cuja *declinação* varia ao longo do ano, desde a *declinação* máxima de $+23^{\circ}26'$ no solstício de Verão³², até à *declinação* mínima oposta ($-23^{\circ}26'$), no solstício de Inverno³³, sendo seis meses o tempo que separa os dois *solstícios*. Em princípio, cada *linha de declinação*, exceptuando as correspondentes aos *solstícios*, é considerada válida para dois dias do ano³³.

Na Figura 18, vemos três rectângulos com um lado comum que poderão corresponder aos *quadrantes* horizontal, vertical – virado a Sul – e equatorial de outros

³² No hemisfério norte.

³³ Note-se que a *declinação* do Sol, variando de dia para dia e sendo crescente na Primavera e decrescente no Verão é globalmente idêntica durante as duas estações. O mesmo ocorre relativamente ao Outono e ao Inverno.

Na Primavera, a *declinação* do Sol aumenta de $0^{\circ}00'$ a $+23^{\circ}26'$; no Verão, diminui de $+23^{\circ}26'$ a $0^{\circ}00'$; no Outono, diminui de $0^{\circ}00'$ a $-23^{\circ}26'$; e no Inverno, aumenta de $-23^{\circ}26'$ a $0^{\circ}00'$. As temperaturas médias são mais altas no Verão do que na Primavera e são mais baixas no Inverno do que no Outono, devido à grande quantidade de calor absorvida durante o Verão, que vai sendo lentamente perdida ao longo do Outono e devido à grande perda de calor verificada durante o Inverno, que vai sendo gradualmente recuperada ao longo da Primavera.

tantos relógios de sol, em que o *gnómon* é comum. O ângulo Φ corresponderá à *latitude*, e o complementar ($90^\circ - \Phi$) corresponderá à *co-latitude* do local onde, hipoteticamente, se pretenda instalar os relógios. A projecção ortogonal do *gnómon* em cada um dos *quadrantes* será a *meridiana*, que corresponderá à linha das 12 horas e, além disso, definirá a direcção N-S – no relógio horizontal – e a direcção vertical – no relógio vertical.

Como a amplitude angular entre os *meridianos 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 do *estilo* às horas inteiras: 11H00, 10H00, 9H00, etc. – para poente – e 13H00, 14H00, 15H00, 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.

Reparemos que a amplitude angular das *linhas de hora* é consequência da *latitude* do local (ângulo Φ), excepto no *relógio equatorial*, onde são equiangulares.

4. Correspondência do *tempo solar* e do *tempo legal*

4.1. A *equação do tempo*

4.1.1. Definição

A *equação do tempo* é a diferença entre o *tempo aparente local* e o *tempo solar médio* de uma determinada localidade, ao longo do ano. Os valores da *equação do tempo* variam entre os extremos aproximados de +14 minutos, em Fevereiro, e -16 minutos, em Novembro. A ocorrência desta discrepância deve-se à conjugação de dois factores: a forma elíptica da trajectória da órbita terrestre e a inclinação do *eixo polar*, relativamente ao plano da *eclíptica*.

A primeira tabela da *equação do tempo* é da autoria de Christiaan Huygens e data de 1665, mas o conhecimento da divergência cíclica entre o *tempo aparente local* e o *tempo solar médio* remonta a Cláudio Ptolemeu³⁴.

Para facilitar a explicação e a apreensão dos conceitos envolvidos, apresentaremos separadamente os dois factores que estão na origem da *equação do tempo*.

4.1.2. A excentricidade da órbita terrestre

Na sequência do movimento de translação da Terra, emerge o movimento aparente do Sol. Se o Sol se deslocasse a uma velocidade constante ao longo do *equador celeste*, culminaria todos os dias exactamente às 12 horas e o seu movimento processar-se-ia ao ritmo perfeito de um cronómetro. No entanto, a órbita da Terra é elíptica e o Sol move-se mais rapidamente no *periélio* (primeira semana de Janeiro) e mais lentamente no *afélio* (primeira semana de Julho)³⁵. A excentricidade da órbita terrestre contribui para que o *dia solar verdadeiro* veja a sua duração diminuída ou aumentada, respectivamente, sendo este valor acumulado ao longo de meses. No *periélio* e no *afélio* a *culminação* do Sol ocorre, exactamente, ao meio-dia. Por conseguinte, nestas datas, a *equação do tempo* não é afectada, devido à excentricidade da órbita terrestre. Entre o início de Janeiro e o início de Julho, o Sol atrasa-se, relativamente ao *tempo solar médio*, cerca de 7,9 segundos por dia,

³⁴ Matemático e astrónomo grego, séc. II d. C.

³⁵ Ver leis de Kepler, enunciadas no glossário.

atingindo o mínimo no início de Abril. Entre o início de Julho e o início de Janeiro, o Sol adianta-se relativamente ao *tempo solar médio*, atingindo o máximo no início de Outubro.

A excentricidade da órbita terrestre contribui para a *equação do tempo* com uma curva sinusoidal com a amplitude de 7,66 minutos e o período de 1 ano (ver Gráfico 1).

4.1.3. A obliquidade da eclíptica

A *obliquidade da eclíptica* é a inclinação entre o plano equatorial da Terra e o da *eclíptica* ($23^{\circ}26'21''$).

No decurso do ano, o Sol não se desloca ao longo do *equador celeste*, mas ao longo da *eclíptica*. Apenas nos *equinócios*, o *paralelo diurno* descrito pelo Sol coincide com o *equador celeste* (círculo máximo da *esfera celeste*). Nesta época do ano, o Sol abranda o seu ritmo e a duração do *dia solar verdadeiro* aumenta cerca de 20,3 segundos por dia, relativamente ao *dia solar médio*. Por outro lado, nos *solstícios*, os *paralelos diurnos* têm a *latitude* de $23,4^{\circ}$, os *meridianos* estão mais próximos entre si e, conseqüentemente, o movimento do Sol é virtualmente mais rápido. Tanto nos *solstícios* como nos *equinócios*, o Sol encontra-se no *meridiano* ao meio-dia e, por isso, nestas datas, a *equação do tempo* não será afectada devido à *obliquidade da eclíptica*.

Entre os *solstícios* e os *equinócios*, o Sol atrasa-se 20,3 segundos por dia, relativamente ao *tempo solar médio*, atingindo mínimos por volta dos dias 5 de Fevereiro e 5 de Agosto. Entre os *equinócios* e os *solstícios*, o Sol adianta-se relativamente ao *tempo solar médio*, atingindo máximos por volta de 5 de Maio e 5 de Novembro.

A *obliquidade da eclíptica* contribui para a *equação do tempo* com uma curva sinusoidal com a amplitude de 9,87 minutos e o período de meio ano (ver Gráfico 2).

4.1.4. Equação do tempo

A conjugação dos dois efeitos acima descritos corresponde à *equação do tempo*, que pode ser definida como a diferença, ao longo do ano, entre o *tempo aparente local* e o *tempo solar médio*.

No hemisfério norte, se o Sol se encontrar a nascente do *tempo solar médio*, a equação será negativa. Se o Sol se encontrar a Poente, a *equação do tempo* será positiva.

A *equação do tempo* pode constar de uma tabela, onde se assinalam as discrepâncias dos dois tipos de tempo ao longo do ano, ou pode ser traduzida graficamente através de uma curva, de zeros em meados de Abril e de Junho, princípio de Setembro e final de Dezembro e com máximos e mínimos em meados de Fevereiro e de Maio, fim de Julho e princípio de Novembro (ver Tabela 1 e Gráficos 3 e 4).

Tabela 1 – Equação do tempo*

Day	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
1	-3:12	-13:33	-12:34	-4:08	+2:51	+2:25	-3:33	-6:16	-0:12	+10:05	+16:20	+11:11
2	-3:40	-13:41	-12:23	-3:50	+2:59	+2:16	-3:45	-6:13	+0:07	+10:24	+16:22	+10:49
3	-4:08	-13:48	-12:11	-3:32	+3:06	+2:06	-3:57	-6:09	+0:26	+10:43	+16:23	+10:26
4	-4:36	-13:55	-11:58	-3:14	+3:12	+1:56	-4:08	-6:04	-0:45	+11:02	+16:23	+10:02

5	-5:03	-14:01	-11:45	-2:57	+3:18	+1:46	-4:19	-5:59	-1:05	+11:20	+16:22	+9:38
6	-5:30	-14:06	-11:31	-2:40	+3:23	+1:36	-4:29	-5:53	+1:25	+11:38	+16:20	+9:13
7	-5:57	-14:10	-11:17	-2:23	+3:27	+1:25	-4:39	-5:46	+1:45	+11:56	+16:18	+8:48
8	-6:23	-14:14	-11:03	-2:06	+3:31	+1:14	-4:49	-5:39	+2:05	+12:13	+16:15	+8:22
9	-6:49	-14:16	-10:48	-1:49	+3:35	+1:03	-4:58	-5:31	+2:26	+12:30	+16:11	+7:56
10	-7:14	-14:18	-10:33	-1:32	+3:38	+0:51	-5:07	-5:23	+2:47	+12:46	+16:06	+7:29
11	-7:38	-14:19	-10:18	-1:16	+3:40	+0:39	-5:16	-5:14	+3:08	+13:02	+16:00	+7:02
12	-8:02	-14:20	-10:02	-1:00	+3:42	+0:27	-5:24	-5:05	+3:29	+13:18	+15:53	+6:34
13	-8:25	-14:19	-9:46	-0:44	+3:44	+0:15	-5:32	-4:55	+3:50	+13:33	+15:46	+6:06
14	-8:48	-14:18	-9:30	-0:29	+3:44	+0:03	-5:39	-4:44	+4:11	+13:47	+15:37	+5:38
15	-9:10	-14:16	-9:13	-0:14	+3:44	-0:10	-5:46	-4:33	+4:32	+14:01	+15:28	+5:09
16	-9:32	-14:13	-8:56	+0:01	+3:44	-0:23	-5:52	-4:21	+4:53	+14:14	+15:18	+4:40
17	-9:52	-14:10	-8:39	+0:15	+3:43	-0:36	-5:58	-4:09	+5:14	14:27	+15:07	+4:11
18	-10:12	-14:06	-8:22	+0:29	+3:41	-0:49	-6:03	-3:57	+5:35	+14:39	+14:56	+3:42
19	-10:32	-14:01	-8:04	+0:43	+3:39	-1:02	-6:08	-3:44	+5:56	+14:51	+14:43	+3:13
20	-10:50	-13:55	-7:46	+0:56	+3:37	-1:15	-6:12	-3:30	+6:18	+15:02	+14:30	+2:43
21	-11:08	-13:49	-7:28	+1:00	+3:34	-1:28	-6:15	-3:16	+6:40	+15:12	+14:16	+2:13
22	-11:25	-13:42	-7:10	+1:21	+3:30	-1:41	-6:18	-3:01	+7:01	+15:22	+14:01	+1:43
23	-11:41	-13:35	-6:52	+1:33	+3:24	-1:54	-6:20	-2:46	+7:22	+15:31	+13:45	+1:13
24	-11:57	-13:27	-6:34	+1:45	+3:21	-2:07	-6:22	-2:30	+7:43	+15:40	+13:28	+0:43
25	-12:12	-13:18	-6:16	+1:56	+3:16	-2:20	-6:24	-2:14	+8:04	+15:47	+13:11	+0:13
26	-12:26	-13:09	-5:58	+2:06	+3:10	-2:33	-6:25	-1:58	+8:25	+15:54	+12:53	-0:17
27	-12:39	-12:59	-5:40	+2:16	+3:03	-2:45	-6:25	-1:41	+8:46	+16:01	+12:34	-0:47
28	-12:51	-12:48	-5:21	+2:26	+2:56	-2:57	-6:24	-1:24	+9:06	+16:06	+12:14	-1:16
29	-13:03	-12:42	-5:02	+2:35	+2:49	-3:09	-6:23	-1:07	+9:26	+16:11	+11:54	-1:45
30	-13:14		-4:44	+2:43	+2:41	-3:21	-6:21	-0:49	+9:46	+16:15	+11:33	-2:14
31	-13:24		-4:26		+2:33		-6:19	-0:31		+16:18		-2:43
Day	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC

* “The Equation of Time”, p. 1, (<http://home.netcom.com/~abraxas2/eot.htm>), consulta em 2007-03-13.

A *equação do tempo* varia ligeiramente ao longo do tempo, devido ao sistema adoptado de determinação dos anos bissextos, que é consequência da duração do ano³⁶. A *equação do tempo*, para um dia particular do ano, varia ligeira e ciclicamente, ao ritmo de 4, 100 e 400 anos.

4.2. *Analema*

4.2.1. Definição

Se fixarmos, através de fotografias tiradas no mesmo local, a posição do Sol no firmamento, à mesma hora, em dias sucessivos do ano, verificaremos que as diferentes posições do Sol definem uma linha peculiar em forma de ‘8’. Com efeito, ao longo ano, a posição do Sol não varia apenas em *altura*, com seria de esperar, devido à alternância das estações do ano, mas também oscila para nascente e poente (ver Fig. 19).

A figura em forma de “oito” que as distintas posições do Sol definem na *esfera celeste* é chamada de *analema*.

Se, num local exposto aos raios solares, fixarmos um dispositivo provido de um pequeno orifício e, durante um ano, ao meio-dia³⁷, por exemplo, formos assinalando, no pavimento, os pontos de incidência dos raios solares que atravessam o orifício, obteremos um *analema* horizontal.

Na sua forma mais rudimentar, a marca do meio-dia é uma linha recta – a *meridiana* – assinalada numa superfície plana, ao longo da qual a sombra de um objecto vertical é projectada ao *meio-dia solar* ou ao longo da qual incide um feixe de raios

³⁶ Os anos bissextos são aqueles em que se procede à introdução de um dia extra (29 de Fevereiro), com vista a que o Calendário (Gregoriano) se conserve sincronizado com a órbita da Terra. A regra para a determinação dos anos bissextos é a seguinte: o ano é bissexto se, e apenas se, o seu número for divisível por 4, excepto os anos que são divisíveis por 100 – que não são bissextos – a menos que também sejam divisíveis por 400. Isto deve-se ao facto do ano ter a duração de 365,2425 dias solares.

(Note-se que apenas ao cabo de um ciclo de 400 anos é que é possível fazer-se o acerto perfeito entre o movimento de translação e o movimento de rotação da Terra: 400 anos x 0,2425 = 97 dias. Se os anos múltiplos de 4 fossem todos bissextos, ao cabo de 400 anos, teriam sido introduzidos 100 dias suplementares. Como os anos múltiplos de 100 não são bissextos, ao cabo de 400 anos, passaríamos a ter 96 dias suplementares. O acerto final é feito convencionando-se que os anos múltiplos de 400, apesar de múltiplos de 100, são bissextos, obtendo-se, desta forma, os 97 dias suplementares que permitem a sincronização entre o movimento de translação e o movimento de rotação da Terra).

³⁷ A hora deverá ser definida de acordo com o *Tempo Universal Coordenado* (*tempo legal* que, no nosso país, coincide com a “hora de Inverno”). É óbvio que se, no último domingo de Março acrescentássemos 60 minutos à *hora legal*, o *analema* obtido ficaria partido em duas partes.

luminosos. Mas, em rigor, a marca anual do meio-dia, ou de qualquer outra hora solar, é um *analema*, devido à *equação do tempo*. (Há quem designe os *analemas* do meio-dia de *meridianas do tempo médio*³⁸).

4.2.2. Oscilação meridional e transversal do Sol na esfera celeste

Nas regiões temperadas, quando a *declinação do Sol* ronda os valores máximos, nas proximidades do *solstício* de Verão, o Sol descreve um *paralelo diurno* superior na *esfera celeste* e, conseqüentemente, a incidência dos raios solares, ao meio-dia, aproxima-se da

³⁸ Nuno Crato, Suzana Metello de Nápoles e Fernando Correia de Oliveira, *Relógios de Sol*, p.151.

vertical (*colatitude* + *declinação*), em direcção ao norte (Fig. 20). Quando a *declinação do Sol* ronda os valores mínimos, nas proximidades do Inverno, o Sol descreve um paralelo diurno inferior na *esfera celeste* e, conseqüentemente, a inclinação dos raios solares, ao meio-dia, afasta-se da vertical (*colatitude* - *declinação*), em direcção ao sul. A variação anual da *declinação do Sol* traduz-se, graficamente, no alongamento da figura do *analema* (Fig. 20).

Por outro lado, ao mesmo tempo que os raios solares se deslocam de sul para norte, à medida que a *declinação do Sol* aumenta, também se desviam para Este e para Oeste, de acordo com a *equação do tempo*. Por exemplo, o Sol encontra-se aproximadamente 16 minutos adiantado no início de Novembro. Atravessa o *meridiano* 16 minutos antes do meio-dia do *tempo solar médio*. Ao meio-dia do *tempo solar médio*, decorridos 16 minutos, o Sol já se encontra a Poente do *meridiano* e as sombras projectadas desviam-se para nascente. Nas épocas em que o Sol se encontra “adiantado”, as sombras projectadas ao meio-dia do *tempo solar médio* desviam-se para nascente da *meridiana*; quando o Sol está “atrasado”, as sombras projectadas ao meio-dia do *tempo solar médio* desviam-se para poente da *meridiana* (Fig. 21).

A linha curva do *analema* da Figura 22, as *linhas* (horizontais) *de declinação* e as *linhas* (verticais) da escala de tempo foram determinadas em conformidade com as

Fig. 22 – *Analema* obtido em superfície paralela ao *eixo polar*.

Tal como sucede com a *equação do tempo*, também existem tabelas onde consta a *declinação* do Sol – que é variável ao longo do ano.

Os pontos que, unidos entre si, constituem a linha do *analema* correspondem a dias específicos do ano, com *declinação* e *equação do tempo* pré-determinadas.

OBS.: Os valores da *declinação* do Sol (coluna da esquerda) foram seleccionados a partir de “**Table of Declination of the Sun**”, p. 1, (http://www.wsanford.com/~wsanford/exo/sundials/DEC_Sun.html).

Os valores da *equação do tempo* (coluna da direita) foram seleccionados a partir de “**The Equation of Time**”, p. 1, (<http://home.netcom.com/~abraxas2/eot.htm>).

A consulta foi realizada em 2007-03-13.

indicações de Andrée Chotkiewicz³⁹, a propósito do projecto de construção de um *heliocronómetro*. Consideramos que esta forma simplificada de determinação do *analema* e das *linhas de declinação* poderá ser empregue para obtenção de figuras de reduzidas dimensões. No entanto, carece de rigor, porquanto, as *linhas de declinação* – com excepção da linha de zero graus – são, em rigor, arcos hiperbólicos e não segmentos de recta (ver a Figura 23).

4.2.3. Analemas e linhas de hora

Ao longo dos *analemas* (desenhados no chão, nas paredes ou em *quadrantes de relógios de Sol*) podemos assinalar os meses, as semanas ou até os dias correspondentes.

³⁹ Chotkiewicz, Andrée, “An Educational Heliochronometer”, The British Sundial Society Bulletin, volume 12 (ii), 2000.Jun., pp. 101-3.

Desta forma, os *analemas*, para além de indicarem a hora, passam a indicar, também, a época do ano, funcionando como relógios e como calendários, simultaneamente (ver as Figuras 22 e 24).

Os *analemas* obtidos em superfícies paralelas ao *eixo polar* são universais, enquanto que os *analemas* obtidos em superfícies horizontais ou verticais variam de lugar para lugar, em função da *latitude*.

É possível dotar a grande maioria dos *relógios de sol* de *analemas*, em vez de *linhas* (rectas) *de hora*. Neste caso, o *gnómon* deverá ser dotado de *nodo*, porquanto a hora será determinada a partir da sombra projectada de um “ponto”. Nestes modelos, a leitura da hora já estará corrigida no que diz respeito à *equação do tempo*, faltando apenas fazer a correcção respeitante à *longitude geográfica*, para se obter a *hora legal*⁴⁰. No entanto, a leitura da hora é menos cómoda, porquanto, sendo o *analema* uma linha dupla, será necessário saber qual a linha do *analema* conta para efeitos de leitura da hora, se a desviada para nascente ou a desviada para poente – consoante o Sol esteja “adiantado” ou “atrasado” – (ver a Figura 25).

Exceptuando quatro dias por ano em que a *equação do tempo* é nula, o *tempo solar médio* não coincide com o *tempo aparente local*.

⁴⁰ Ver a secção seguinte: *Conversão do tempo aparente local em tempo legal e vice-versa*.

4.3. Conversão do *tempo aparente local* em *tempo legal* e vice-versa

4.3.1. Acerto da *longitude* e ajuste do *tempo aparente local*

Os *relógios de sol* assinalam, usualmente, a *hora aparente local*, enquanto que os cronómetros assinalam a *hora legal*. Estes tempos muito raramente coincidem.

A conversão do *tempo aparente local* em *tempo legal*, e vice-versa, envolve duas etapas: acerto da *longitude* do local ao *meridiano* central do respectivo *fuso* e ajuste do *tempo aparente local* ao *tempo solar médio*, através da *equação do tempo*.

Como vimos, o *tempo aparente local* reflecte a posição rigorosa do Sol na *esfera celeste*, relativamente ao nosso planeta, abrangendo apenas os (semi)meridianos terrestres e variando de lugar para lugar, em função da *longitude*. Um grau de *longitude* corresponde à diferença horária de 4 minutos ($60' \times 24^h = 1440'$; $1440' : 360^\circ = 4'$). Estando a hora subordinada ao *tempo aparente local* do *meridiano* central do respectivo *fuso*, quando pretendemos converter o tempo solar em *tempo legal*, é fundamental começarmos por ajustar a *longitude* do local à *longitude* do *meridiano* central, no qual se baseia a respectiva *hora legal*. Em seguida, dever-se-á entrar em consideração com a *equação do tempo*, devido ao facto do Sol poder estar “adiantado” ou “atrasado”, relativamente ao *tempo solar médio*. Por último, será necessário atender a que em Portugal continental, desde o último domingo de Março até ao último domingo de Outubro de cada ano, a *hora legal*⁴¹ coincide com o *tempo universal coordenado* acrescido de 60 minutos, pelo que se impõe que se proceda, durante este período, à adição de 60 minutos para obtermos a *hora legal* a partir da *hora solar* e à subtracção de 60 minutos, para obtermos a *hora solar* a partir da *hora legal*.

4.3.2. Exemplificação

Consideremos que no dia 2 de Julho, na cidade do Porto, um relógio de sol assinala 14:05:00. Qual será a hora indicada por um relógio de pulso nesse mesmo instante⁴²?

Consultando um Atlas, constatamos que a *longitude* do Porto é, aproximadamente,

⁴¹ Dec.-Lei n.º 17/96, de 8 Março.

⁴² Os cálculos serão efectuados partindo do princípio, evidentemente, que, tanto o *relógio de sol* como o cronómetro, são absolutamente rigorosos.

de 8,6°W (a Oeste de Greenwich – meridiano de referência de zero graus). Como o Sol gasta cerca de 24 horas para uma rotação completa (360°) à Terra, gasta 1 hora a percorrer 15° dessa rotação ($360^\circ:24^h=15^\circ$) e 34^m 24^s a percorrer os 8,6° de longitude que separam as localidades de Greenwich e do Porto ($8,6^\circ \times 60^m:15^\circ = 34,4^m$). Por isso, o *tempo legal* seria 00:34:24 mais tarde do que 14:05:00, ou seja, 14:39:24. Por outro lado, a *equação do tempo* indica que no dia 2 de Julho o Sol se encontra atrasado 3^m 45^s, por isso, o cronómetro deveria assinalar 14:39:24 mais 00:03:45, ou seja, 14:43:09. Finalmente, devido à “hora de Verão” adoptada no nosso país durante a Primavera e o Verão, teremos de adicionar 60^m a 14:43:09 para obtermos a *hora legal*, que passaria a ser de 15:43:09.

Consideremos que no dia 1 de Novembro um cronómetro, em Portugal, marca 15:37:00. Qual será a hora assinalada pela sombra do *gnómon* num *relógio de sol* situado na cidade do Porto?

Como vimos, no caso anterior, o Sol gasta 34^m 24^s a percorrer os 8,6° de *longitude* que separam as cidades de Greenwich e do Porto, situando-se esta última a poente. Por isso, o *tempo solar* na cidade portuguesa será 00:34:24 mais cedo do que 15:37:00, ou seja, 15:02:36. Por outro lado, a *equação do tempo* indica que, no dia 1 de Novembro, o Sol estará adiantado 16m 20s, por isso, o relógio assinalará 15:02:36 mais 00:16:20, o que perfaz 15:18:56.

4.3.3. Sistematização

Podemos sistematizar as regras de conversão do *tempo solar* em *tempo legal* e vice-versa através das fórmulas seguintes (válidas para as regiões situadas a poente do *meridiano* central do respectivo *fuso*):

Se o Sol estiver “adiantado”:

$$\begin{aligned} \text{Hora legal} &= \text{hora solar} + \text{longitude} - \text{equação do tempo} \\ \text{Hora solar} &= \text{hora legal} - \text{longitude} + \text{equação do tempo} \end{aligned}$$

Se o Sol estiver “atrasado”:

$$\begin{aligned} \text{Hora legal} &= \text{hora solar} + \text{longitude} + \text{equação do tempo} \\ \text{Hora solar} &= \text{hora legal} - \text{longitude} - \text{equação do tempo} \end{aligned}$$

Nas regiões situadas a nascente do *meridiano* central de referência, a conversão do *tempo solar* em *tempo legal* e vice-versa faz-se com o recurso às mesmas fórmulas, mas invertendo o sinal que precede a *longitude* – “menos” passa a “mais” e “mais” passa a “menos”:

Se o Sol estiver “adiantado”:

$$\mathbf{Hora\ legal = hora\ solar - longitude - equação\ do\ tempo}$$

$$\mathbf{Hora\ solar = hora\ legal + longitude + equação\ do\ tempo}$$

Se o Sol estiver “atrasado”:

$$\mathbf{Hora\ legal = hora\ solar - longitude + equação\ do\ tempo}$$

$$\mathbf{Hora\ solar = hora\ legal + longitude - equação\ do\ tempo}$$

Capítulo II – A GEOMETRIA DOS RELÓGIOS DE SOL

1. Descrição sumária e classificação geral dos principais tipos de relógios de sol

1.1. Classificação dos relógios de sol em função dos diferentes métodos de transposição da posição do Sol para o *quadrante*

É muito difícil classificar os relógios de sol, devido à imensa diversidade e extensão das tipologias pelas quais se distribuem. Na nossa opinião, será excesso de ousadia tentar, sequer, enumerar todos os tipos de relógios existentes, já que se trata de um domínio muito vasto e aberto, podendo, inclusivamente, a cada momento, ser inventado um novo tipo. Existem tipologias mistas e existem, como é previsível num universo amplo como este, casos especiais, dificilmente enquadráveis nas categorias organizativas propostas⁴³.

Assumindo, desde já, a existência de espécimes que não se enquadram nas categorias que proporemos de seguida, parece-nos que há, fundamentalmente, quatro categorias, ou famílias, de relógios de sol – do ponto de vista da transposição da posição do Sol, na *esfera celeste*, para a superfície do *quadrante*⁴⁴.

O Sol, a cada momento, ocupa uma posição específica no firmamento, a que corresponde uma hora determinada. A transposição da posição do Sol para o *quadrante* do relógio – através da sombra projectada de um dos seus componentes ou através da incidência de um feixe de raios luminosos – pode ser feita atendendo a quatro aspectos distintos da posição do Sol, surgindo, desta forma, as quatro categorias que propomos.

A posição do Sol no firmamento pode ser definida:

- a) Através de um “ponto” na *esfera celeste* (correspondente ao centro do disco solar) – ou seja, na prática, através da direcção espacial dos raios solares.
- b) Através do *azimute* do Sol – ou seja, através da projecção horizontal da direcção dos raios luminosos.

⁴³ A propósito das diferentes tipologias existentes de relógios de sol, consultar, por exemplo, René R. J. Rohr, *Sundials, History and Practice* e Albert E. Waugh, *Sundials: Their Theory and Construction*.

⁴⁴ É possível propor-se outros sistemas organizativos, atendendo, por exemplo, às características formais e dimensionais dos relógios de sol.

c) Através da *altura* do Sol – ou seja, através da inclinação dos raios luminosos relativamente ao *horizonte*.

d) Através do *meridiano horário* que o Sol atravessa num determinado momento (partindo-se, geralmente, do princípio, em *gnomónica*, que o Sol se desloca a velocidade constante na *esfera celeste*).

1.1.2. Relógios em que a hora é determinada a partir da direcção dos raios solares

Conceptualmente, o movimento aparente que o Sol descreve, sem interrupção, no firmamento corresponde a uma hélice esférica. Após o *equinócio* da Primavera, altura em que o Sol se encontra no *equador celeste* e a sua *declinação* é nula, o Sol descreve uma hélice esférica ascendente, em torno do *eixo polar*, até alcançar o *paralelo diurno* mais alto – o *trópico de Câncer* – no *solstício* de Verão. Em seguida, descreve uma hélice esférica descendente, até alcançar, de novo, o *equador celeste*, no *equinócio* de Outono. Durante os meses do Outono e do Inverno, o movimento do Sol é idêntico, mas processa-se abaixo do *equador celeste*, com *declinação* negativa.

Em *gnomónica*, considera-se que o Sol se situa na mesma posição da *esfera celeste* duas vezes por ano. Isto ocorre, exactamente, à mesma hora, nos dias em que a *declinação* solar é idêntica. Por essa razão, os *quadrantes* que registam a posição pontual do sol no firmamento, para além das *linhas de hora*, são dotados, frequentemente, de *linhas de declinação*, comuns a dois dias no ano.

1.1.2.1. Exemplos de tipologias

Relógio de tecto (horizontal invertido – Fig. 26)

Neste tipo de relógio, tradicionalmente, o *quadrante* é gravado no tecto de um compartimento, onde a hora e, eventualmente, a data são assinaladas através da incidência de um feixe de luz reflectido num pequeno espelho horizontal, colocado no peitoril, ou no caixilho fixo, de uma janela exposta a Sul.

Heliocronómetro (Fig. 27)

Relógio solar de precisão, em que a hora é lida através da incidência de um feixe

de raios solares num *analema*, depois de atravessar um pequeno orifício, diametralmente oposto.

Relógios greco-romanos

Relógios construídos em pedra, no período que ronda o início da era Cristã, em forma de semi-esfera ou sector cónico côncavo, em que o *gnómon* é a extremidade, ou *nodo*, de uma haste.

Meridianas

As linhas *meridianas* traçadas no pavimento, ou na parede, de igrejas, que são iluminadas fugazmente, ao meio-dia, por um feixe de raios luminosos que atravessa um óculo na parede ou no tecto assinalam a posição exacta que o Sol ocupa na *esfera celeste* na sua *culminação* superior.

1.1.3. Relógios em que a hora é determinada a partir do *azimute* do Sol

O *azimute* do Sol – a direcção dos raios solares, em projecção horizontal – varia ao longo do dia, evidentemente, e varia ao longo do ano. Como o *azimute* do Sol depende da época do ano, os relógios pertencentes a esta família são dotados de calendários complementares. Antes de lermos a hora anunciada pelo relógio, deveremos atender ao dia do ano, para aferir a posição do *gnómon* e, em seguida, faremos a leitura da hora.

Nos relógios *azimutais*, utiliza-se, normalmente, uma haste vertical como *gnómon*.

1.1.3.1 Exemplos de tipologias

Relógio analemático (Fig. 28)

O analemático é o protótipo do relógio *azimutal*. Consiste num *quadrante* horizontal, de perímetro elíptico, ao longo do qual são dispostos os pontos de hora. O eixo maior da elipse tem a direcção E-W. Uma escala de datas é disposta ao longo do eixo menor, segundo a direcção N-S. O *gnómon* corresponde a uma haste vertical que deverá ser colocada na data correspondente, de forma a ler-se a hora na intersecção da sombra projectada com o perímetro da elipse.

As dimensões do relógio poderão ser determinadas a partir da altura do *gnómon*, de forma que seja o próprio utilizador a cumprir essa função, devendo, neste caso, colocar-se de pé, sobre a data correspondente. Esta opção faz todo o sentido, dado que, se o relógio for de grandes dimensões, o *gnómon* deverá ser deslocado todos os dias, ao longo do eixo menor da elipse, de acordo com a escala de datas. O envolvimento activo e pessoal na determinação da hora solar poderá contribuir para que o indivíduo se sinta parte integrante do imenso relógio cósmico...

Relógio Foster-Lambert

O relógio Foster-Lambert deriva do relógio analemático. Samuel Foster e, mais tarde, Johann Lambert, aperceberam-se que a elipse do relógio analemático⁴⁵ pode converter-se numa circunferência, desde que se recorra a uma das duas direcções oblíquas de projecção, em que a inclinação das projectantes corresponde a $(90^\circ + \Phi)/2$ ou $(90^\circ - \Phi)/2$ ⁴⁶ (ver Fig. 29).

⁴⁵ Projecção horizontal de uma circunferência paralela ao plano do *equador*.

⁴⁶ Em que Φ corresponde à *latitude geográfica* do local de instalação do relógio.

A partir da verificação destas propriedades – evidentes, depois de descobertas, aos olhos de qualquer geómetra – é possível desenhar-se um relógio de *gnómon* inclinado e amovível, ao longo da escala de datas, cuja extremidade, durante o ano, produzirá sombras ao longo de uma circunferência. Em alternativa, poderá desenhar-se um relógio de *gnómon* inserido no centro da circunferência, de inclinação variável. Em vez de uma escala de datas linear, como sucede no primeiro caso, este tipo de relógio seria dotado de uma escala de datas angular. Em ambos os casos, a escala de datas é determinada em função da variação anual da *declinação solar*.

Sendo o *quadrante* circular, facilmente poderá girar em torno do centro, permitindo a introdução das correcções na hora assinalada, que resultam da *equação do tempo* e da diferença de *longitude*, relativamente ao *meridiano* de referência.

1.1.4. Relógios em que a hora é assinalada a partir da *altura* do Sol

Tal como sucede com o *azimute*, a *altura* do Sol no firmamento – ou, se preferirmos, a inclinação dos raios solares, relativamente ao *horizonte* – varia ao longo do dia e varia ao longo do ano. Como a *altura* do Sol depende da época do ano, os relógios pertencentes a esta família são dotados de calendários complementares. Antes de lermos a hora anunciada pelo relógio, deveremos atender ao dia do ano para aferir a posição do *gnómon*⁴⁷ e, em seguida, faremos a leitura da hora.

⁴⁷ Isto, se o relógio for provido de *gnómon*, evidentemente.

1.1.4.1. Exemplos de tipologias

Relógio do pastor (Fig. 30)

O relógio tem a forma cilíndrica e as *linhas de hora* são inscritas na superfície curva.

O *gnómon*, que, regra geral, é horizontal, deve ser virado para o Sol, de forma que a sombra se projecte verticalmente, ao longo de uma geratriz da superfície. A extremidade superior do relógio é móvel e devemos rodá-la de forma a colocar o *gnómon* sobre a data correspondente ao dia em que se faz a leitura.

Relógio anelar perfurado (Fig. 31)

Este tipo de relógio é constituído por uma superfície cilíndrica dotada de um pequeno orifício que será atravessado por um feixe de raios solares, que incidirá numa escala de horas e de dias, gravada na superfície interior, diametralmente oposta à abertura.

Quando está a ser utilizado, o relógio deve estar suspenso, na vertical, com o orifício virado para o Sol.

Relógio capuchinho (Fig. 32)

O relógio capuchinho é plano e pode ser executado em cartão. É provido de duas ranhuras. Uma superior, que deverá ser atravessada por um feixe de raios solares e outra na diagonal, ao centro, que corresponde a uma escala de datas, onde desliza um fio provido de uma conta. O relógio deverá ser posicionado de forma que os raios solares sejam paralelos ao bordo superior. Quando isto sucede, a conta assinalará a hora solar, sobre as respectivas *linhas de hora*, inscritas em baixo.

1.1.5. Relógios em que a hora é determinada a partir do respectivo *meridiano horário*

A grande maioria dos relógios em que a hora é determinada a partir do *meridiano horário* em que o Sol se encontra é provida de um *estilo* paralelo ao *eixo polar*. Sendo o *estilo* paralelo ao eixo de rotação da Terra, é complanar com os *meridianos horários*. O Sol, encarado como um ponto situado no infinito, define, conjuntamente com o *estilo*, a cada momento, um determinado *meridiano horário*, que intersectará a superfície do *quadrante* segundo a respectiva *linha de hora*. Os *meridianos* de 15 em 15 graus dão origem às *linhas de horas* inteiras.

1.1.5.1. Exemplos de tipologias

Se considerarmos os relógios de *quadrante plano* e *estilo polar*, surgem as nove tipologias mais comuns de relógios de sol, que constituem o tema central e serão objecto de análise aprofundada na próxima secção do presente estudo.

Existem, contudo, outras tipologias que se enquadram nesta categoria, tais como:

Relógio prismático, de arestas paralelas ao *eixo polar* (Fig. 33)

Este tipo de relógio pode ser dotado, ou não, de *estilo*. Se não tiver *estilo*, as próprias arestas funcionarão como *estilo*, alternadamente. É o caso dos relógios solares com a configuração da “Estrela de David” ou da “Cruz de Santo André”.

Relógio cilíndrico, de geratrizes paralelas ao *eixo polar* e directriz circunferencial (Fig. 34)

Este tipo de relógio pode ser dotado, ou não, de *estilo*. Se não tiver *estilo*, as próprias geratrizes que delimitam a superfície funcionarão como *estilo*, alternadamente, uma durante o período da manhã e a outra durante a tarde.

Relógio cilíndrico, de geratrizes paralelas ao *eixo polar* e directriz de curvatura variável (Fig. 35)

A curvatura da superfície cilíndrica pode ser variável, de forma que várias geratrizes funcionem, à vez, como *estilo*. As *linhas de hora* são, igualmente, geratrizes.

Relógio esférico, ou cilíndrico, de *gnómon* móvel e complanar com os *meridianos* (Fig. 36)

Nesta tipologia, a superfície receptora da sombra, tanto pode ser uma esfera como um cilindro. O *gnómon* é uma superfície plana, que roda em torno de um eixo, que deverá estar alinhado com o *eixo polar*. As *linhas de hora* são os *meridianos* de 15 em 15 graus, no caso da esfera, e as geratrizes, de 15 em 15 graus, no caso do cilindro. A hora é assinalada quando a sombra projectada apresenta a largura mínima, correspondente à espessura do *gnómon*, pois este facto indica que o *gnómon* é complanar com o respectivo *meridiano horário*.

Esfera armilar (Fig. 37)

A representação da abóbada celeste pode ser simplificada através de alguns dos seus elementos estruturantes, que correspondem aos principais círculos celestes; obtém-se, desta forma, a esfera armilar, constituída por um conjunto de anéis.

O *gnómon*, usualmente, é materializado através de um varão que atravessa dois orifícios apostos do anel meridional e deverá ser alinhado pelo *eixo polar*.

A sombra projectada do *gnómon*, ao incidir no anel equatorial, assinala as horas.

Relógio de múltiplos *estilos*

Um pequeno círculo assinalado numa superfície plana receptora corresponde ao “quadrante” deste tipo de relógio. Uma superfície inclinada, opaca, deverá ensombrar a superfície receptora. Ranhuras e dígitos deverão ser abertos na superfície opaca, correspondentes às *linhas de hora* e respectivo número indicador.

Os raios solares, ao atravessar as frestas e incidirem na superfície receptora, deixam marcas luminosas, que, à vez, vão intersectando o círculo e anunciando a hora, através do número que acompanha a respectiva linha.

1.2. Casos especiais

Os seguintes relógios não se enquadram nas tipologias atrás referidas:

Relógio bifilamentar (Fig. 38)

Tipo de relógio inventado por Hugo Michnik, em 1922. O relógio é, tradicionalmente, de *quadrante* horizontal, mas pode ter outra orientação qualquer.

A hora é indicada através da intersecção das sombras projectadas de dois filamentos paralelos ao *quadrante*. Os filamentos encontram-se a diferentes distâncias do *quadrante* e têm a direcção N-S e E-W, respectivamente. A sombra projectada do filamento E-W, indica o *paralelo diurno* que o Sol está a percorrer na *esfera celeste*, enquanto que a sombra do filamento N-S reflecte a *altura* e o *azimute*.

Relógio de *gnómon* cónico (Fig. 39)

O relógio de *gnómon* cónico não assinala a hora do dia, mas o tempo que resta para o pôr-do-sol (*horas itálicas*)⁴⁸ e/ou o tempo que decorreu desde o despontar do Sol no *horizonte* (*horas babilónicas*)⁴⁸.

Ao longo do ano, a posição do Sol 1, 2, 3... horas antes do seu ocaso e 1, 2, 3... horas após o seu nascimento, define uma série de planos que correspondem ao *horizonte* rodado 15°, 30°, 45°..., em torno do *eixo polar*. O conjunto dos *planos do horizonte* rodados define uma superfície cónica, cujo eixo é o *polar* e em que as geratrizes apresentam a inclinação, relativamente ao eixo, correspondente à *latitude* geográfica do local. É, então, possível construir relógios de sol de *gnómon* cónico, tangente ao *plano do horizonte* e de eixo paralelo ao *polar*. As *linhas de hora* corresponderão à intersecção dos planos tangentes à superfície cónica com o *quadrante* (horizonte).

Relógio de fibras ópticas

As fibras ópticas são filamentos, de vidro ou de materiais poliméricos, com capacidade de transmitir a luz. Quando um feixe de raios luminosos incide na extremidade de uma fibra óptica, esse feixe percorre a fibra, através de reflexões sucessivas, até alcançar a outra extremidade.

É possível conceber relógios de sol que funcionem a partir de fibras ópticas. Esses relógios serão constituídos por duas partes distintas: um volume receptor de luz, cuja forma poderá corresponder a um cilindro, em que as fibras serão agrupadas ao longo das respecti-

⁴⁸ As *horas babilónicas* e as *horas itálicas* fazem parte de dois dos mais antigos sistemas de medição do tempo. O sistema babilónico divide o dia em 24 horas, com início no nascimento do Sol e término no nascimento do dia seguinte. O sistema itálico também divide o dia em 24 horas, mas a partir do pôr-do-sol até ao ocaso do dia seguinte (de forma similar à tradição judaica que ainda vigora nos nossos dias).

vas geratrizes, e o mostrador do relógio. À medida que o Sol se desloca no firmamento, os vários conjuntos de fibras vão sendo iluminados, à vez, e transmitem a luz que recebem à outra extremidade, que deverá estar inserida no mostrador do respectivo relógio, indicando a hora correspondente.

Este é o único tipo de relógio de sol que conhecemos, que poderá ser instalado no compartimento interior de um edifício. As fibras ópticas podem ser colocadas no subsolo, ligando o volume receptor de luz, no exterior, ao mostrador do relógio, situado no interior.

Relógio de difracção solar

Embora seja desprovido de *estilo* e de sombra, um mero *compact disk* (cd) pode transformar-se num relógio de sol. Quando exposta aos raios solares, forma-se uma linha irisada na superfície do *cd*. Desde que o *cd* seja posicionado paralelamente ao *equador* e o observador se coloque numa posição frontal, no eixo perpendicular à superfície do *cd*, obteremos um relógio de sol equatorial, em que a linha irisada tem a direcção que teria a sombra projectada pelo *estilo* (que não existe, bem entendido, neste tipo de relógio).

1.3. Conclusão

Através da classificação e apresentação das diferentes tipologias, tentamos evidenciar a vastidão do tema em estudo. Embora saibamos que existem numerosos tipos de relógios de sol que não foram mencionados⁴⁹, confiamos que apresentámos os mais importantes e interessantes, do ponto de vista científico.

Para terminar esta breve exposição, talvez interesse referir que é possível incorporar um *nodo* em qualquer *estilo* ou *gnómon*, dotando o respectivo relógio da capacidade de fornecer múltiplas informações relativas à posição do Sol. Um relógio provido de *estilo* com *nodo* assinalará, por um lado, a hora, a partir da sombra projectada do *estilo* e assinalará, por outro lado, a posição pontual do Sol na *esfera celeste*, a partir da sombra projectada do *nodo*, sendo possível determinar-se, a cada momento, a equação *do tempo*, o *azimute* e a *altura* do Sol, o dia do ano, a hora do nascer e do pôr-do-sol do dia respectivo, etc.

⁴⁹ No glossário de relógios de sol (infra), editado pela *British Sundial Society*, por exemplo, estão referenciados 108 tipos de relógios de sol – John Davis, *The BSS Sundial Glossary*, Internet, Maio 2000.

2. Relógios de sol de *quadrante* plano e providos de *estilo polar*

Se considerarmos os relógios de *quadrante* plano, providos de *estilo* alinhado pelo *eixo polar*, concluiremos que existem apenas nove tipos, que poderão ser agrupados de acordo com a inclinação do *estilo*, e poderão ser designados de acordo com a orientação do *quadrante*, da seguinte forma:

Relógios de *estilo* perpendicular ao *quadrante*

- Relógio equatorial⁵⁰

Relógios de *estilo* paralelo ao *quadrante*

- Relógio polar⁵¹
- Relógio vertical orientado a Este ou a Oeste

Relógios de *estilo* inclinado relativamente ao *quadrante*

- Relógio horizontal⁵²
- Relógio vertical orientado a Sul⁵²
- Relógio vertical orientado a Norte
- Relógio vertical declinado
- Relógio inclinado orientado
- Relógio declinado e inclinado

2.1. Relógios de *estilo* perpendicular ao *quadrante*

2.1.1. Relógio equatorial

2.1.1.1. Considerações gerais

⁵⁰ O relógio equatorial é horizontal nos pólos ($\Phi=90^\circ$).

⁵¹ O relógio polar é horizontal no equador ($\Phi=0^\circ$).

⁵² O relógio horizontal passa a vertical orientado a Sul, se for trasladado para a *latitude* complementar do outro hemisfério terrestre. Um relógio horizontal, na *latitude* Φ , e um relógio vertical orientado a Sul, na *latitude* complementar ($90^\circ-\Phi$), terão *linhas de hora* coincidentes.

O equatorial é o mais simples e é aquele que está na origem de todos os outros tipos de relógios de sol.

No *relógio equatorial*, o *quadrante* é paralelo ao *equador* – daí a denominação – e o *estilo* é paralelo ao *eixo polar* e, por conseguinte, perpendicular ao *quadrante*. O *estilo* deverá formar com o *horizonte* o ângulo correspondente à *latitude geográfica* do local, enquanto que o *quadrante* deverá formar com o mesmo plano o ângulo correspondente à *co-latitude* (Fig. 40).

O *relógio equatorial*, desde que seja orientado e instalado com correção, funciona adequadamente em qualquer *latitude*. Os *quadrantes* deverão estar orientados para Norte e para Sul, de acordo com a figura 41.

2.1.1.2. Traçado das *linhas de hora*

Uma vez que o Sol parece rodar na *esfera celeste*, em torno do *eixo polar*, à velocidade de 15° por hora, as *linhas de hora* no *relógio equatorial* deverão ter a amplitude angular de 15° entre si.

Sendo o *quadrante* paralelo ao *equador* e dado que o Sol se encontra acima do *equador* quando a sua *declinação* é positiva, durante metade do ano, e se encontra abaixo do *equador* quando a sua *declinação* é negativa, durante a outra metade, os raios solares apenas incidirão no *mostrador* (superior) entre 20/21 de Março e 22/23 de Setembro. Se quisermos utilizar o relógio nos meses do Outono e do Inverno, teremos de duplicar o *quadrante*, introduzindo uma nova face virada a Sul (Fig. 42). A numeração das *linhas de hora* da face inferior do *quadrante* será invertida, relativamente à face superior, com a linha do meio-dia para baixo (ver figura 43).

2.1.1.3. Período diurno útil

Devemos ter em atenção que o número de horas que decorrem entre o nascer e o pôr-do-sol varia ao longo do ano e varia, também, em função da *latitude*. Na Primavera e no Verão o *período diurno* é mais longo do que o *período nocturno*, sucedendo o inverso no Outono e no Inverno. Se encaramos o relógio de sol como um instrumento científico, deveremos assinalar no *mostrador* apenas as horas necessárias e suficientes para um perfeito funcionamento do relógio durante todo o ano, omitindo, deliberadamente, as horas nocturnas. Embora existam tabelas⁵³ e cálculos matemáticos alternativos, optámos por apresentar um método geométrico simples que permite determinar, a priori, as horas que deverão ser assinaladas. Trata-se de desenhar a *esfera celeste*, com os *meridianos horários*, os *paralelos diurnos* e o *horizonte do local*, em função da *latitude geográfica* (Fig. 44). Notemos que, para o efeito, interessa apenas considerar o *paralelo diurno* descrito pelo Sol no solstício de Verão – que coincide com o *trópico de Câncer* e que corresponde ao trajecto do Sol na *esfera celeste* no dia em que o *período diurno* anual é mais longo – no dia em que o Sol nasce mais cedo e se põe mais tarde. Através da figura 44, podemos constatar que, no solstício de Verão, na *latitude* 40°N, o Sol nasce por volta das 4H40 e

⁵³ A título de exemplo:

Table A.7, “Approximate Local Mean Time of Earliest Sunrise and Latest Sunset at Various Latitudes”, in Waugh, Albert E., *Sundials, Their Theory and Construction*, Dover Publications, Inc., New York, 1973, p. 214.

põe-se por volta das 19H20⁵⁴. Concluimos, então, que, a essa *latitude*⁵⁵, a face superior do *quadrante*, virada a Norte, deverá ter inscritas as *linhas de hora* desde as 4H00 às 20H00 (ou desde as 4H30 às 19H30, se o *mostrador* estiver dotado de meias-horas). Por outro lado, a face inferior do *relógio de sol* deverá registrar doze horas, desde as 6H00 às 18H00, uma vez que os raios luminosos incidirão na sua superfície desde o equinócio do Outono até ao equinócio da Primavera e, como sabemos, nos equinócios, a duração do *período diurno* é, precisamente, de 12 horas (Fig. 43).

Se pretendermos que a sombra do *gnómon* alcance o limite exterior do *quadrante* nos *solstícios*, será necessário dotá-lo de um comprimento correspondente, pelo menos, a metade do raio do *mostrador*⁵⁶ (Fig. 45).

⁵⁴ Os semi-meridianos das 5H00 e das 19H00, assim como os semi-meridianos das 4H00 e das 20H00 têm projecções coincidentes, sendo visíveis no desenho apenas os meridianos virados a nascente.

⁵⁵ A situação não é muito díspar em toda a extensão do território português. Mas em termos terrestres, nas zonas de menor *latitude*, próximas do *equador*, a diferença de duração do período diurno ao longo do ano é menor do que nas zonas de maior *latitude*, próximas dos *pólos* (ver figura 44).

⁵⁶ Em rigor, o comprimento mínimo do *estilo* deverá corresponder a 0,43 do raio do *quadrante* (tangente trigonométrica de 23°26' – valor da *declinação* máxima do Sol).

2.1.1.4. Considerações finais

Dotando o *mostrador do relógio equatorial* de movimento giratório, em torno do *estilo*, e de duas escalas suplementares – uma correspondente à *longitude* e a outra à *equação do tempo* – é possível obter, directamente, a partir da sombra projectada do estilo, a *hora legal* da zona onde o relógio está instalado. Decidimos não ilustrar este dispositivo acessório, tendo presente a vastidão do tema em análise e a necessária restrição do âmbito deste trabalho.

O relógio equatorial, aliás como quase todos os outros tipos de relógios de sol, pode assumir variadíssimas formas. Vejamos, a título de exemplo, o desenho da figura 46.

2.2. Relógios de *estilo* paralelo ao *quadrante*

2.2.1. Relógio polar

2.2.1.1. Considerações gerais

Os relógios polares, tal como os verticais orientados a nascente ou a poente, são universais, podendo ser utilizados em qualquer *latitude*, desde que sejam correctamente orientados.

No relógio polar, as *linhas de hora* e o *estilo* – cuja sombra projectada indica a hora solar – são paralelos entre si, sendo este tipo de relógio, por conseguinte, desprovido de *centro*.

O *quadrante* deverá ser disposto em rampa, paralelo ao *eixo polar*⁵⁷ e à direcção E-W. Usualmente, a linha das 12H00 – eixo de simetria transversal – separa as horas matutinas das horas vespertinas.

2.2.1.2. Traçado geométrico das *linhas de hora*

As etapas do traçado geométrico são idênticas às utilizadas nos relógios verticais orientados a nascente ou a poente e podem ser sistematizadas da seguinte forma (Fig. 47):

- a) Desenha-se o contorno do quadrante **[ABCD]**, com as dimensões pretendidas;
- b) Traça-se o eixo transversal **N-S** do *quadrante*, que corresponderá à *meridiana* e, conseqüentemente, à linha das 12H00;
- c) Com centro num ponto qualquer (**T**) da recta **NS**, desenha-se um círculo horário, que se divide em sectores de 15° ⁵⁸, a partir da recta **NS**;
- d) A partir da intersecção dos raios do círculo horário com a recta **i** – intersecção dos planos do *quadrante* e do *equador* e charneira de rebatimento – assinalam-se as *linhas de hora* paralelas à recta **NS**. As *linhas de hora* deverão ser numeradas em conformidade com a figura.

As linhas das 9H00, situada a poente, e das 15H00, situada a nascente, encontram-se à mesma distância da linha das 12H00, correspondente à altura do *estilo*. As linhas das 6H00 e das 18H00 não são assinaláveis⁵⁹.

⁵⁷ A designação de “relógio polar” resulta, provavelmente, do facto do *quadrante*, para além de ser paralelo ao *eixo polar* – como sucede, também, com o relógio vertical orientado a E ou a W – apresentar a mesma inclinação do *eixo polar*, relativamente ao horizonte.

⁵⁸ Se pretendermos assinalar períodos de 30 minutos, deveremos dividir o círculo horário em sectores de $7,5^{\circ}$ (360:24:2). Se pretendermos indicar períodos de 5 minutos, deveremos dividir o círculo horário em sectores de $1,25^{\circ}$ (360:24:12), etc.

⁵⁹ São rectas impróprias, situadas no infinito do plano do *quadrante*. Usualmente, as rectas limite

A propósito do relógio polar, convém sublinhar o seguinte, sintetizando:

- O *quadrante* deverá ser disposto paralelamente ao *eixo polar*, ao *estilo* e à direcção E-W;
- *i* – a recta de intersecção do *quadrante* com o plano do *equador* – é perpendicular às *linhas de hora* (Fig. 47);
- A distância do centro (**T**) do círculo horário à recta *i* deverá corresponder à altura do *gnómon* (figuras 47 e 48);
- A altura do *gnómon* deverá ser igual à distância que separa a linha das 12H00 da linha das 9H00, a Poente, e da linha das 15H00, a Nascente (fig. 48).

que se assinalam no *quadrante* são a das 7H00 e a das 17H00.

2.2.1.3. Período diurno útil

Na figura 49, através da projecção vertical dos *meridianos horários*, podemos ver que, apesar do período diurno ser superior a 12 horas durante a Primavera e o Outono, os raios solares nunca incidem no *quadrante* polar antes das 6H00 ou depois das 18H00, devido à sua orientação. O *quadrante* deverá, por isso, ter registadas apenas as *linhas de hora* compreendidas nesse período, usualmente das 7H00 às 17H00, já que, como vimos, as linhas das 6H00 e das 18H00 são rectas impróprias.

2.2.2. Relógio vertical orientado a Nascente ou a Poente

2.2.2.1. Considerações gerais

Os relógios verticais orientados a Este ou a Oeste podem corresponder à face de um poliedro ou podem ser adossados a fachadas de edifícios, desde que estas estejam dispostas segundo a direcção N-S.

Como é óbvio, o relógio virado para nascente apenas assinalará as horas da manhã, enquanto que o relógio virado para poente apenas assinalará as horas da tarde. Em ambos os casos, o plano do *quadrante* coincide com o *meridiano* do local e o *estilo*, cuja sombra projectada assinala a hora, deverá ser paralelo ao *quadrante*.

O *gnómon* poderá corresponder a uma chapa metálica, à extremidade de uma haste ou a um tubo alinhado pelo *eixo polar*. Se o *gnómon* for uma haste metálica, esta deverá ser perpendicular à linha das 6H00 – no *quadrante* virado a nascente – e deverá ser

perpendicular à linha das 18H00 – no *quadrante* virado a poente. A distância do *estilo* ao plano do *quadrante* deverá ser igual, no primeiro caso, à distância entre as linhas das 6H00 e das 9H00 e, no segundo caso, à distância entre as linhas das 18H00 e das 15H00. Neste tipo de relógio, as *linhas de hora* são paralelas entre si e, por isso, os *quadrantes* são desprovidos de *centro*.

2.2.2.2. Traçado geométrico das *linhas de hora*

Na figura 50, podemos ver que o *estilo* e o *quadrante* são paralelos entre si. A intersecção do plano do *quadrante* com o horizonte coincide com a *meridiana* e define a direcção N-S.

Prolonga-se a aresta do *gnómon* e, por qualquer ponto (**T**), consideramos o *plano equatorial* – perpendicular ao *gnómon* – onde se representa um círculo horário com centro em **T**. Cada *meridiano horário* intersecta o *equador* segundo um raio do círculo e o plano do *quadrante* segundo uma recta paralela ao *estilo*.

Note-se que, quanto maior for a distância do *estilo* ao *quadrante*, maior será o espaçamento entre as *linhas de hora*.

No plano *equatorial* (Fig. 50), as linhas das 12H00 e das 6H00 são as rectas **T-12** e **T-6**, respectivamente, paralela e perpendicular ao *quadrante*. No *quadrante*, a linha das

das 12H00 não é representável⁶⁰, enquanto que a linha das 6H00 coincidirá com o *subestilete*.

2.2.2.3. Período diurno útil

As *linhas de hora* a inscrever no *quadrante* deverão ser determinadas, em função da *latitude* geográfica do local onde o relógio será instalado. Na figura 51, podemos ver que, na *latitude* 40°, por exemplo, o Sol nasce por volta das 4H35, no *solstício* de Verão. Por conseguinte, nesta *latitude*, o relógio de sol virado a nascente deverá ter inscritas *linhas de hora*, desde as 4H30 às 11H30, aproximadamente, enquanto que a face exposta a poente deverá ter inscritas *linhas de hora*, desde as 12H30 às 19H30.

2.2.2.4. Considerações finais

Sublinhamos o facto da distância que separa a aresta do *gnómon* do *quadrante* dever ser a mesma que separa as linhas das 6H00 e das 9H00 (*quadrante* nascente) e as linhas das 18H00 e das 15H00 (*quadrante* poente).

⁶⁰ É uma recta imprópria, situada no infinito.

A linha do horizonte poderá ser gravada no *quadrante*, preferencialmente de forma ténue, já que se destina, unicamente, a controlar a inclinação do *quadrante* relativamente ao horizonte, no acto de instalação do relógio (Fig. 52). Se a espessura do *gnómon* for significativa, impõe-se a subdivisão do *quadrante* em duas partes, tal como será explicado a propósito do relógio horizontal, na secção seguinte.

Na figura 52, apresenta-se o traçado geométrico que permite determinar as *linhas de hora* num *quadrante* virado a poente. As linhas das meias-horas são determináveis através de raios horários formando entre si ângulos de $7,5^\circ$. Teoricamente, não há limites para a *precisão* de um relógio de sol. Por exemplo, se o *quadrante* tiver *resolução* compatível, poder-se-á determinar os minutos, recorrendo a raios horários no *equador*, formando entre si ângulos de $0,25^\circ$ ($15^\circ:60^{\text{min}}$).

Os relógios solares orientados a nascente ou a poente são universais, ou seja, podem ser usados em qualquer lugar da superfície terrestre⁶¹. Para isso, será necessário, evidentemente, orientar o *quadrante* pelos pontos cardeais e ajustar o relógio à *latitude* local.

⁶¹ Salva-guar-da-se as *linhas de hora* necessárias para o perfeito funcionamento do relógio, já que o período máximo de exposição solar pode variar desde as 12 horas, no *equador*, até às 24 horas, em *latitudes* superiores a 66° .

2.3. Relógios de *estilo inclinado relativamente ao quadrante*

2.3.1. Relógio horizontal

2.3.1.1. Considerações gerais

Os relógios de sol horizontais são, na actualidade, mais comuns do que qualquer outro tipo de relógio. A sua popularidade deve-se, provavelmente, a dois factores: a sua grande versatilidade como peças de adorno em áreas ajardinadas e ao facto de estes relógios indicarem a hora sempre que o céu está limpo e o Sol se encontra acima do *horizonte*, em contraponto a outros tipos de relógios que assinalam a hora apenas durante um período restrito do dia e/ou do ano⁶². Atendendo à grande disseminação do relógio horizontal, iremos aprofundar mais esta secção do que as referentes aos outros tipos de relógios e abordar alguns aspectos transversais, como a correcção da *longitude* e da *latitude*, a importância da espessura do *gnómon* na determinação das *linhas de hora*, etc., que são válidos para outros tipos de relógios de sol.

Para funcionar com rigor, o relógio de sol horizontal deverá ser desenhado expressamente para a *latitude* do local onde irá ser instalado e deverá ser correctamente orientado (Fig. 53).

⁶² A propósito do relógio equatorial, por exemplo, vimos que cada face do relógio é passível de receber os raios de Sol apenas durante 6 meses por ano.

2.3.1.2. Traçado geométrico das linhas de hora

Em projecção horizontal, começamos por fixar o *centro do quadrante* – ponto **C** – onde acharmos conveniente (Fig. 54). Em seguida, rebatemos o plano (projectante) do *gnómon* e obtemos **gr**. (Notemos que o ângulo Φ corresponde à *latitude* do local). Por (**A**), traçamos a perpendicular a **gr**, que corresponde ao plano do *equador*, e prolongamo-la até intersectar, em **B**, a recta **CA1**. Pelo ponto **B**, desenhamos a perpendicular a **CA1**, 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 que dividimos em sectores de 15° , começando pela *meridiana* – linha das 12H00 (Fig. 54). Estas rectas correspondem à direcção dos raios luminosos às horas inteiras, nos *equinócios*, quando o Sol percorre o *equador celeste*, à velocidade de 15° por hora. Prolongamos os raios até intersectar a charneira e procedemos ao contra-rebatimento das linhas de hora para o *quadrante* horizontal (Fig. 55). Para numerar as *linhas de hora*, bastará ter presente a direcção do *gnómon* e a orientação do *quadrante* (fig. 55).

Num *quadrante* horizontal vulgar, as *linhas de hora* matutinas, situadas a poente, são simétricas, relativamente às *linhas de hora* vespertinas, situadas a nascente, sendo a *meridiana* o eixo de simetria. O alinhamento das *linhas de hora*, duas a duas, é consequência de, no espaço, os semi-meridianos horários serem opostos. Por exemplo, o

semi-meridiano das 12H00 opõe-se ao das 0H00, o semi-meridiano das 18H00 opõe-se ao das 6H00, etc. As linhas das 6H00 e das 18H00 definem a direcção E-W e corresponde a um eixo de simetria transversal⁶³ do *quadrante*.

A partir da linha das 9H00, as rectas horárias tendem a intersectar a charneira fora dos limites da folha de desenho. Para ultrapassar esta dificuldade, podemos proceder do seguinte modo (Fig. 55):

Consideremos o quadrado [ArEDB] rebatido, com diagonais [ArD] e [EB] e que pertence ao *plano equatorial*.

Se projectarmos, obliquamente, esse quadrado no plano horizontal do *quadrante*, com a direcção (A)C, a projecção corresponderá ao rectângulo [CE'DB]. A diagonal [EB] rebatida dará lugar à diagonal BE' projectada. As rectas paralelas E1B1 e E2B2, rebatidas, darão lugar às rectas paralelas E'1B1 e E'2B2, projectadas. Determinados os pontos E'1 e E'2 resta apenas uni-los ao centro do *quadrante* – ponto C – para obtermos as respectivas *linhas de hora*.

Para determinar as *linhas de hora*, poderemos, se preferirmos, substituir o rebatimento do plano projectante do *gnómon* pelo recurso à dupla projecção ortogonal (Fig. 56).

⁶³ Enquanto que a *meridiana* define um eixo de simetria longitudinal.

2.3.1.3. Outro método geométrico

As linhas de hora de um *quadrante* solar resultam da intersecção dos *meridianos horários* da *esfera celeste* com a superfície do *quadrante*.

Poderíamos operar com os meridianos de uma esfera, desde que os pólos se encontrassem alinhados com o *estilo*, e determinar a intersecção dos meridianos com o *horizonte*. Embora válida, esta versão poderá ser considerada pouco operativa, devido à relativa dificuldade na representação dos meridianos em projecção horizontal (Fig. 57).

Podemos simplificar a operação substituindo a superfície esférica por uma superfície cilíndrica de revolução, em que o eixo é definido pelo *estilo* ou a aresta do *gnómon*. Para o efeito, bastará operar com geratrizes de 15° em 15°, que, conjuntamente com o eixo, definem os planos dos *meridianos horários* (Fig. 58).

Determinamos a intersecção de cada uma das geratrizes com o plano do *quadrante* e unimos os traços das geratrizes com o traço do *gnómon*, obtendo, desta forma, as *linhas de hora no mostrador*.

2.3.1.4. Correção da *longitude*

Usualmente, os relógios de sol assinalam o *tempo aparente local* que, como já vimos, difere do *tempo legal* devido a dois factores – a *equação do tempo* e a diferença de *longitude*, relativamente ao *meridiano* de referência. Enquanto que a *equação do tempo* varia de dia para dia, ao longo do ano, a diferença de *longitude* é constante para uma determinada localidade e poderemos ter este aspecto em conta quando desenhamos um relógio. Neste caso, desenharemos um relógio que, em vez de assinalar o *tempo aparente local*, indicará o *tempo aparente* do *meridiano* de referência. Ilustremos o que foi dito, recorrendo a um exemplo:

Suponhamos que pretendemos desenhar um relógio para a cidade do Porto, cuja *longitude* média é 8° 38'W.

Em Portugal, a hora legal coincide com o **UTC** – *Tempo Universal Coordenado* (*tempo solar médio* de Greenwich, de *longitude* zero).

A cidade do Porto situa-se $8,63^\circ$ a Oeste de Greenwich e, por esse facto, naquela cidade é, aproximadamente, 34,5 minutos ($8,63^\circ \times 4^{\text{min}} = 34,52^{\text{min}} = 34^{\text{min}} 31^{\text{seg}}$) mais cedo do que no *meridiano* de referência. Na pequena tabela introduzida ao centro da figura 59, relacionam-se as *horas solares* de Greenwich e do Porto.

Se quisermos desenhar um relógio de sol para a cidade do Porto que indique a hora do *meridiano* de referência, deveremos determinar as horas que constam na coluna da direita (Porto), mas inscrever as horas assinaladas na coluna da esquerda (Greenwich) da tabela (Fig. 59).

Nestas condições, a hora indicada pelo relógio corresponderia à *hora solar* de Greenwich, sendo apenas necessário proceder-se à correcção resultante da *equação do tempo*, para se obter a *hora legal* em vigor em Portugal Continental.

A correcção da *longitude* pode ser incorporada na maior parte dos relógios de sol, para qualquer localidade, pelo processo descrito. Determina-se a diferença de *longitude* relativamente ao meridiano de referência e convertemos esse valor angular em minutos e segundos ($15^\circ = 60^{\text{min}}$ ou $1^\circ = 4^{\text{min}}$). Esse valor deverá ser adicionado ou subtraído às horas do *quadrante*, conforme estejamos a poente ou a nascente do *meridiano* de referência.

Embora não seja impossível, é bastante mais difícil corrigir a hora assinalada no relógio de sol, em função da *equação do tempo* – dado que se trata de um factor variável, ao longo do ano. Teremos de recorrer a um *quadrante* giratório, em torno do centro, ou a uma escala de minutos móvel.

2.3.1.5. Adaptação a diferentes *latitudes*

Como já afirmámos, um relógio de sol horizontal apenas funciona com rigor na *latitude* para a qual foi desenhado. Tenhamos presente que o *estilo* deverá formar com o *quadrante* o ângulo correspondente à *latitude* do local. No entanto, se adquirirmos um relógio horizontal desenhado para uma *latitude* distinta daquela em que o pretendemos instalar, poderemos redireccionar o *estilete* colocando uma cunha na base do relógio.

Em primeiro lugar, será fundamental determinar a *latitude* para a qual o relógio terá sido desenhado. Nesse sentido, deveremos medir a inclinação do *gnómon* relativamente ao *quadrante* e confirmar se os ângulos entre as *linhas de hora* correspondem à respectiva *latitude*.

Vamos supor que nos oferecem um relógio de *quadrante* horizontal e, depois de o analisar cuidadosamente, chegamos à conclusão que o mesmo foi desenhado para a *latitude* 30°N, pretendendo nós instalá-lo na *latitude* 40°. Se colocarmos esse relógio numa plataforma horizontal, o *estilo* não ficará alinhado com o *eixo polar*. A inclinação do *gnómon* relativamente à base será menor do que a *latitude* do lugar e, por conseguinte, o relógio não funcionará convenientemente. Contudo, se sobrelevarmos o lado norte do *quadrante* (Fig. 60), assentando o relógio em uma cunha de 10° de inclinação, a aresta superior do *gnómon* ficará alinhada com o *eixo polar* e o relógio passará a funcionar correctamente, embora o *quadrante* deixe de ser horizontal e passe a ser inclinado... Procedimento idêntico poderá ser adoptado se o relógio tiver sido desenhado para *latitude* superior àquela em que o pretendemos instalar. Desta feita, deveremos sobrelevar o lado sul do *quadrante* (Fig. 60).

Este método de reajustamento dos relógios solares para diferentes *latitudes* é válido para outros tipos de relógios, mas não para todos.

2.3.1.6. Espessura do *gnómon*

Na determinação das *linhas de hora*, raramente se tem em conta a espessura do *gnómon*. No entanto, a espessura do *gnómon*, por menor que seja, interfere directamente na

sombra produzida e, conseqüentemente, na leitura da hora.

De manhã, será a sombra produzida da aresta “**a**” que permite ler a hora (Fig. 61), enquanto que à tarde, será a sombra projectada da aresta “**b**”. Como as arestas são distintas, o *quadrante* deveria ser dividido em duas partes, cada uma com a respectiva linha das 12 horas. (Os relógios deveriam ser providos de duas *meridianas*). Num relógio de formato usual, a espessura de 1 ou 2 mm do *gnómon* será desprezável no traçado do *quadrante*, mas se for de 5mm ou mais, a divisão do *quadrante* em duas partes é imperiosa para se garantir o funcionamento rigoroso do relógio.

O que foi dito a propósito da espessura do *gnómon* no relógio de sol horizontal é igualmente válido para os outros tipos afins.

Quando o *estilete* é materializado através de um varão ou de um tubo cilíndrico, o seu eixo é determinante na definição do centro do *quadrante*⁶⁴ e na leitura da hora⁶⁵.

Existem relógios horizontais munidos de *gnómon* duplo que, para além de assinalarem o *tempo aparente local* também indicam a data, a *declinação*, a *altura* e o *azimute* do Sol. Este tipo de relógio terá sido inventado, segundo Christopher St J. H. Daniel, por William Oughtred, por volta de 1636⁶⁶.

⁶⁴ O centro do *quadrante* corresponde à intersecção do eixo do varão com a superfície do *quadrante*, sendo o local onde as *linhas de hora* se intersectam.

⁶⁵ A leitura da hora deverá ser feita a partir do eixo da mancha da sombra projectada, que corresponde à projecção do eixo do cilindro.

⁶⁶ Daniel, Christopher St J. H., *Sundials*, Shire Publications Ltd, United Kingdom, 2004, p. 38.

2.3.2. Relógio vertical orientado a Sul

2.3.2.1. Considerações gerais

A evolução tecnológica possibilitou o aperfeiçoamento constante do relógio mecânico, posteriormente, a criação do relógio electrónico e, por fim, do relógio atómico. A medição do tempo é, actualmente, muito mais rigorosa do que a regularidade do movimento de rotação da Terra⁶⁷. Os meios de comunicação e de transporte que o homem contemporâneo dispõe exigem a perfeita coordenação internacional do tempo.

No entanto, a *hora legal* convencionada é relativamente recente na história da humanidade. Há cem ou duzentos anos atrás, fachadas de edifícios e postes em praças públicas exibiam relógios de sol verticais, anunciando a hora ao transeunte.

Embora, actualmente, os relógios horizontais sejam mais comuns, devido à sua faceta decorativa, houve uma época em que os relógios de *quadrante* vertical eram os mais usuais em locais públicos.

Os relógios justapostos às fachadas dos edifícios muito raramente se encontram orientados para os pontos cardeais, já que os edifícios também muito raramente estão orientados. No desenho da esquerda da figura 62, podemos ver que se as fachadas de um edifício estiverem orientadas para os pontos cardeais, os relógios adossados a essas fachadas serão verticais orientados. No desenho da direita da figura 62, podemos ver que se as fachadas de um edifício forem inclinadas, relativamente à *meridiana*, os relógios adossados a essas fachadas serão verticais declinados. Se desenhássemos um relógio vertical para o colocar num pedestal, o mais provável é que o imaginássemos orientado para um dos pontos cardeais N, S, E ou W – obteríamos, então, um relógio vertical orientado.

⁶⁷ Basta ter em consideração o actual e extraordinariamente preciso conceito de segundo, que se baseia em 9 192 631 770 ciclos de radiação do átomo de cézio...

Para funcionar com rigor, o relógio de sol vertical orientado a Sul deverá ser desenhado especificamente para a *latitude* do local onde será instalado (Fig. 63). Note-se que, para a aresta do *gnómon* ficar alinhada com o *eixo polar*, será necessário que a sua inclinação relativamente ao *quadrante* corresponda à *co-latitude* do lugar.

2.3.2.2. Traçado geométrico das *linhas de hora*

Em projecção vertical, começamos por fixar o centro do *quadrante* – ponto **C** – onde acharmos conveniente (Fig. 64). Em seguida, rebatemos o plano (projectante) do *gnómon* e obtemos **gr**. Notemos que o ângulo $90^\circ - \Phi$ corresponde à *co-latitude* do lugar. Por (**A**), traçamos a perpendicular a **gr**, que corresponde ao plano do *equador* e prolongamo-la até intersectar, em **B**, a recta **CA1**. Pelo ponto **B**, desenhamos a perpendicular a **CA1**, 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 que dividimos em sectores de 15° (Fig. 64). Prolongamos os raios até intersectar a charneira e procedemos ao contra-rebatimento das *linhas de hora*.

Para numerar as *linhas de hora*, bastará ter em conta a orientação do *quadrante* e a *meridiana*, que corresponderá à linha das 12H00 (Fig. 65). As *linhas de hora* matutinas, situadas a poente, são simétricas – relativamente à *meridiana* – das *linhas de hora* vespertinas, situadas a nascente.

Na figura 66, determinámos as *linhas de hora* do relógio de sol vertical recorrendo à tripla projecção ortogonal. Notemos que as operações geométricas são essencialmente as mesmas.

2.3.2.3. Período diurno útil

O período de funcionamento mais longo do relógio de sol orientado a Sul ocorre nos *equinócios* – tal como é demonstrado através do desenho da figura 6, onde estão representados os *meridianos horários* e os *paralelos diurnos* dos *solstícios* e dos *equinócios* – quando o Sol nasce a Este, exactamente às 6H00 e se põe a Oeste, exactamente às 18H00, depois de ter percorrido um arco de 180° do *equador celeste*⁶⁸. Com o auxílio do desenho da figura 67, podemos constatar que os raios solares nunca incidem num *quadrante* vertical orientado a Sul mais cedo do que as 6H00 (*hora solar*) ou mais tarde do que as 18H00 e, por isso, achamos conveniente incluir apenas as *linhas de hora* situadas nesse sector horário.

Os métodos alternativos que permitem determinar as *linhas de hora* e que estudámos a propósito do relógio de *quadrante* horizontal⁶⁹ são igualmente válidos relativamente ao relógio de *quadrante* vertical orientado a Sul. Decidimos, contudo, apresentar apenas o método gráfico mais frequentemente utilizado.

⁶⁸ Embora na Primavera e no Verão o Sol desponte no horizonte antes da 6H00 e se ponha depois das 18H00, isso ocorre a NE e a NW, respectivamente, e, por conseguinte, a Norte do *quadrante*.

⁶⁹ Estamos a reportarmo-nos à intersecção dos *meridianos horários* da *esfera celeste* – ou à sua substituição por uma superfície cilíndrica de revolução – com a superfície do *quadrante*. Estes métodos “inventados” pelo candidato poderão ser interessantes do ponto de vista conceptual, mas não são tão operativos quanto o método gráfico apresentado.

2.3.2.4. Considerações finais

Os vários tipos de relógios, desenhados para a mesma *latitude*, são complementares e intermutáveis. Alguns tipos conjugam-se especialmente bem, dando origem a relógios mistos, formalmente coerentes. É o caso do relógio horizontal e do relógio vertical orientado a Sul que podem ser fundidos num único relógio duplo de *gnómon* comum (Fig.68).

A complementaridade entre estes dois tipos de relógios é tão grande que, como podemos antever através da figura 68, as *linhas de hora* de um relógio horizontal coincidirão com as *linhas de hora* de um relógio vertical desde que a *latitude* do lugar para onde é desenhado um deles corresponda à *co-latitude* do lugar para onde é desenhado o outro⁷⁰.

⁷⁰ Exemplificando: Num relógio de sol horizontal para a cidade do Porto ($\Phi=41^\circ$) e num relógio de sol vertical, orientado a Sul, para a cidade de Paris ($\Phi=49^\circ$) as *linhas de hora* formarão os mesmos ângulos entre si, dado que o *estilo*, em ambos os casos, apresentará a inclinação de 41° relativamente ao *quadrante*.

2.3.3. Relógio vertical orientado a Norte

2.3.3.1. Considerações gerais

Para funcionar com rigor, o relógio de sol vertical orientado a Norte deverá ser desenhado especificamente para a *latitude* do local onde for instalado (Fig. 69). Note-se que, para a aresta do *gnómon* ficar alinhada com o *eixo polar*, será necessário que a sua inclinação relativamente ao *quadrante* corresponda à *co-latitude* do lugar.

2.3.3.2. Período diurno útil

Os relógios solares raramente são colocados em fachadas expostas a Norte, devido ao facto de os raios luminosos incidirem nessas fachadas apenas durante um período reduzido do dia, ao longo de um período restrito do ano⁷¹. Interpretando a figura 70, concluímos que durante o Outono e o Inverno os raios solares nunca incidem numa parede virada a Norte. Com efeito, os *paralelos diurnos* que o Sol descreve na *esfera celeste*, a partir do fim de Setembro, desviam-se progressivamente para Sul, alcançando o maior afastamento do Norte no solstício de Inverno (21 ou 22 de Dezembro). Durante a Primavera e o Verão, o percurso do Sol torna-se mais amplo acima do horizonte, desviando-se para Norte. No entanto, mesmo durante este período, o Sol ilumina as fachadas orientadas a Norte apenas nas primeiras e nas últimas horas do dia, quando se encontra a NE e a NW (Fig. 70).

⁷¹ Seis meses, correspondentes ao período da Primavera e do Verão.

O período mais longo de incidência dos raios solares numa fachada orientada a Norte, verifica-se no solstício de Verão (20 ou 21 de Junho). Por esse motivo, num *quadrante* orientado a Norte, deverão estar gravadas apenas as *linhas de hora* úteis nessa data. Na figura 70, podemos ver, a título de exemplo, que, na latitude 40°, no *solstício* de Verão, os *quadrantes* virados a Norte receberão os raios solares nas primeiras horas da manhã, altura em que o Sol se encontra a NE. Em seguida, o Sol desloca-se de Este para Sul e para Oeste. Durante este período, os raios solares não incidem no *quadrante*. Por fim, à medida que o Sol se aproxima do horizonte, desvia-se para NW, voltando a iluminar o *quadrante* ao fim do dia.

Analisando a figura 70 em pormenor e convertendo as amplitudes dos arcos em tempo, concluímos que no *solstício* de Verão, na *latitude* de 40°, o Sol iluminará o *quadrante* desde as 4H35 até às 8H05, aproximadamente, no período da manhã, e das 15H55 às 19H25, no período da tarde. Por conseguinte, na latitude de 40°, nos relógios de sol orientados a Norte, deverão ser assinaladas as linhas das 4H00⁷² às 8H00 e das 16H00 às 20H00⁷².

⁷² Se o relógio de sol tiver *resolução* compatível, poder-se-á prescindir das linhas das 4H00 e das 20H00, assinalando-se, em seu lugar, as linhas das 4H30 e das 19H30.

2.3.3.3. Traçado geométrico das *linhas de hora*

O *quadrante* de um relógio vertical orientado a Norte corresponde ao reverso do *quadrante* de um relógio vertical orientado a Sul. As *linhas de hora* de um serão coincidentes com as *linhas de hora* do outro, desde que sejam desenhados para a mesma *latitude*, no entanto, a numeração é inversa.

Se imaginarmos a face posterior do relógio de sol virado a Sul e prolongarmos as *linhas de hora*, obteremos as *linhas de hora* do relógio virado a Norte⁷³ (Fig. 71).

É importante notar que as horas matutinas do *quadrante* sul sobrepõem-se às horas vespertinas correspondentes do *quadrante* norte e vice-versa (Fig. 71). Isto deve-se ao facto dos pontos cardeais Este e Oeste se encontrarem em posições opostas, relativamente aos dois *quadrantes*. A sequência das *linhas de hora* num relógio de *quadrante* vertical orientado a Norte corresponde ao sentido dos ponteiros de um relógio mecânico, enquanto que num relógio de *quadrante* orientado a Sul o sentido é inverso. No primeiro, a linha do meio-dia (*meridiana*) é a vertical superior, enquanto que no segundo a linha do meio-dia é a vertical inferior.

Para além de podermos recorrer à inversão de um *quadrante* vertical orientado a Sul, com o objectivo de obtermos um *quadrante* orientado a Norte (para a mesma *latitude*), poderemos também, se preferirmos, determinar as *linhas de hora* através de qualquer um dos métodos explicados a propósito do relógio de *quadrante* horizontal. Na figura 72, recorreremos à múltipla projecção ortogonal para determinar a direcção das *linhas de hora* do *quadrante*.

⁷³ Isto será válido, evidentemente, desde que os centros dos dois *quadrantes* coincidam.

2.3.4. Relógio vertical declinado

2.3.4.1. Considerações gerais

Os relógios declinados são aqueles cujos *quadrantes* se encontram desviados dos pontos cardeais N, S, E ou W.

Para tornar concisa e objectiva a explanação, optamos por exemplificar, através do recurso a um caso concreto. Partiremos do princípio que é nossa intenção desenhar um relógio para adossar a uma parede (vertical), declinada **30°** a **SW**, na *latitude* de **40°N**.

Se, como vimos no capítulo respectivo, no *quadrante* vertical orientado a Sul, devemos assinalar 12 horas, das 6H00 às 18H00, é fácil concluir que, num relógio vertical declinado a poente, as linhas correspondentes às horas matutinas deverão ser subtraídas, em número, enquanto que as vespertinas deverão ser acrescidas.

Antes, porém, de determinar a amplitude angular das *linhas de hora*, deveremos identificar quais as horas que deverão ser inscritas no *quadrante*.

2.3.4.2. Período diurno útil

Para identificar, com rigor, quais as *linhas de hora* a inscrever no *mostrador*, deveremos ter em consideração o trajecto do Sol nos *solstícios*, que corresponde aos *trópicos de Câncer* e de *Capricórnio* da *esfera celeste*, quando a *declinação solar* é máxima e mínima, respectivamente. Os desenhos da figura 73 ilustram a posição do Sol durante o dia e ao longo do ano, na *latitude* de 40°N. Neles, podemos ver o arco superior percorrido pelo Sol no *solstício* de Junho, o arco inferior, percorrido pelo Sol no *solstício* de Dezembro, e o arco central, correspondente aos *equinócios*. São ainda representados os arcos dos *meridianos horários*, compreendidos entre os *trópicos*, o *azimute* e a *altura* do Sol. Através destes elementos gráficos, podemos determinar a hora a que o Sol nasce e a hora a que se põe, nos dias representados. Introduzindo no desenho (diagrama da direita) o plano do *mostrador*, vemos, claramente, que, no *solstício* de Junho, o *quadrante* será iluminado até às 19H00 e tal e, no *solstício* de Dezembro, será iluminado desde as 8H00 menos tal. Concluimos, por conseguinte, que no *quadrante* deverão ser assinaladas as *linhas de hora*, desde as 7H00 às 20H00⁷⁴.

⁷⁴ Ou, mais precisamente, desde as 7H30 às 19H30, se o *quadrante* tiver assinalados períodos de 30 minutos.

2.3.4.3. Traçado geométrico das *linhas de hora*, a partir de um *quadrante* horizontal

As *linhas de hora* do relógio vertical declinado podem ser obtidas a partir de um *quadrante* horizontal desenhado para a mesma *latitude* (Fig. 74).

No *quadrante* horizontal, desenha-se o *estilo* rebatido **gr**, que deverá formar com **g₁** – o *sub-estilete* – o ângulo Φ (40°), correspondente à *latitude* do lugar. A direcção **E-W** é

perpendicular ao *sub-estilete* e poderá ser desenhada onde quisermos. O traço horizontal ($h\delta$) do plano do *quadrante* deverá formar um ângulo de 30° – *declinação* estipulada do relógio – com a direcção E-W.

Prolonga-se o *estilo* rebatido (gr), até intersectar, em G_r , a recta E-W (plano vertical declinado). O comprimento do segmento $[G_1G_r]$ corresponde à altura do ponto de fixação do *estilo* no *quadrante* vertical. Com centro em G_1 e raio $[G_1G_r]$, desenhamos um arco até intersectar, em G , a *meridiana* do relógio declinado (vertical que poderá ser determinada através de um fio-de-prumo). G é o centro do *quadrante* declinado. Em seguida, determinamos a projecção ortogonal g_2 do *estilo* no *quadrante* vertical, a partir da projecção T_2 de T . Assim como determinámos gr , a partir do rebatimento do plano vertical do *estilo*, em torno de g_1 (*sub-estilete* do *quadrante* horizontal), rebatemos o plano perpendicular ao *quadrante* declinado, em torno de g_2 (*sub-estilete* do relógio vertical), obtendo-se, novamente, gr . Note-se que o comprimento dos segmentos $[TG_r]$ e $[GTr]$ é o mesmo.

É importante perceber que o ângulo Φ corresponde, simultaneamente, à *latitude* do lugar e à inclinação do *estilo* relativamente ao *quadrante* horizontal, enquanto que o ângulo α corresponde à inclinação do *estilo* relativamente ao *quadrante* vertical.

As *linhas de hora* são determinadas unindo-se os pontos de $h\delta$, de intersecção das *linhas de hora* do relógio horizontal, com G .

2.3.4.4. Outro método geométrico para determinação das *linhas de hora*

É possível determinar as *linhas de hora* de um *quadrante* vertical declinado, a partir do contra-rebatimento do plano equatorial, não sendo necessário dispormos, previamente, de um *quadrante* horizontal. É este método que descreveremos em seguida. A explicação é ilustrada através da figura 75.

Assinalamos o centro G do *quadrante*, ponto de fixação do *estilo* e, por ele, traçamos uma vertical, que poderá ser definida pelo fio-de-prumo, que corresponderá, como já vimos, à *meridiana* e à linha das 12H00. Abaixo de G , em qualquer posição, (ponto A , no desenho) traçamos uma recta horizontal, perpendicular à primeira, que poderá ser definida por um nível.

Encarando a vertical como charneira, rebatemos o *estilo*, determinando a sua

extremidade rebatida **Br1**⁷⁵, através do ângulo Φ , correspondente à *latitude* do lugar, ou ao seu complementar ($90^\circ - \Phi$). O *estilo* rebatido define com a horizontal o ângulo correspondente à *latitude* e com a vertical o ângulo correspondente à *co-latitude*.

A partir de **A**, traçamos uma recta que deverá formar com a *meridiana* o ângulo δ , correspondente à declinação do relógio (30° no caso concreto). Com centro em **A** e raio [**ABr1**], desenhamos um arco que intersectará a recta anterior em **B1** que, unido a **A**, corresponde à projecção horizontal do *estilo*.

Projectamos o *estilo* no plano frontal, obtendo-se o *sub-estilete*. Em seguida, rebatemos o plano projectante frontal do *estilo*, em torno do *sub-estilete*, com o recurso a um arco de circunferência de centro em **B2** e raio [**B2Br1**], obtendo-se **Br2** e o *estilo* rebatido pela segunda vez. Note-se que o ângulo α ($41,56^\circ$) é o ângulo que o *estilo* deverá formar com o *quadrante*. Um dos aspectos mais importantes na construção de um relógio de Sol é, precisamente, a fixação do *estilo* e a sua inclinação, relativamente ao *quadrante*.

⁷⁵ O comprimento do *estilo*, correspondente ao segmento [**GBr1**] é arbitrário e provisório, podendo ser ajustado, no final, às dimensões do *quadrante*.

Em seguida, traçamos a perpendicular ao *estilo* rebatido (desenho da direita), a partir da sua extremidade (**Br2**), que representa o plano do equador, até intersectar, em **C**, o *sub-estilete*. Desenhamos a perpendicular ao *sub-estilete*, a *linha equatorial*, que funcionará como charneira de rebatimento do respectivo plano. Com centro em **C** e raio [**CBr2**], desenhamos um arco que intersectará o prolongamento do *sub-estilete* em **Br3** – extremidade rebatida do *estilo* e centro do *círculo horário equatorial*.

Unindo **Br3** com **D** – intersecção da *meridiana* com a *linha equatorial* – obtemos a linha das 12H00 do *quadrante equatorial* auxiliar. Com centro em **Br3**, desenhamos as *linhas de hora* equiangulares, separadas de 15°. Prolongamos as *linhas de hora* até à charneira e unimos esses pontos com o centro **G** do *quadrante*, obtendo as *linhas de hora* do relógio declinado.

Na zona inferior da figura 75, podemos ver que, se a intersecção das *linhas de hora* ocorrer fora dos limites da folha de desenho, podemos recorrer à semelhança que existe entre as rectas dos dois *quadrantes*, sendo a direcção de homologia definida pelo segmento [**GBr3**], que une os centros dos dois *quadrantes*.

2.3.5. Relógio inclinado orientado

2.3.5.1. Considerações gerais

Quando as superfícies dos *quadrantes* se encontram orientadas em função dos pontos cardeais, diz-se que os respectivos relógios são orientados. São orientadas a Poente as faces **B**, **C**, e **D** e a Sul as faces **H**, **I** e **J** do rombicuboctaedro da figura 76.

Quando as superfícies dos *quadrantes* não são horizontais nem verticais, diz-se que os respectivos relógios são *inclinados*. Seriam *inclinados* os relógios eventualmente

justapostos às faces **B**, **E**, **H**, **D**, **G** e **J**. A face **A** do rombicuboctaedro é horizontal, enquanto que as faces **C**, **F** e **I** são verticais (Fig. 76).

2.3.5.2. *Quadrante* inclinado e orientado a Sul ou a Norte

Se a superfície em que se pretende colocar o relógio solar estiver directamente orientada para Norte ou para Sul, o problema reduz-se a calcular a diferença entre a *latitude* do local e o ângulo da *inclinação* da superfície e desenhar um relógio horizontal para a *latitude* que resulta da soma ou da subtracção desses valores.

Na figura 77, estão representados dois relógios *inclinados*, um virado a Sul e o outro a Norte. A *inclinação* dos relógios, relativamente ao horizonte, é de 60° e a suposta *latitude* do local de instalação é 10° .

Rebatendo o plano do *equador*, que contém a extremidade do *gnómon* e é perpendicular ao *estilo*, obtemos o centro do *círculo horário* rebatido, a partir do qual desenhamos os *raios horários* de 15° em 15° que, ao serem contra-rebatidos, dão origem às *linhas de hora* do *quadrante* (Fig. 77).

Através da figura 78, podemos perceber que o relógio virado a Sul corresponde a um relógio horizontal para a *latitude* 50° ($60^\circ_{\text{inc.}} - 10^\circ_{\text{lat.}} = 50^\circ_{\text{rel. horizontal}}$). O relógio virado a Norte, por sua vez, corresponde a um relógio horizontal para a *latitude* 70° ($60^\circ_{\text{inc.}} + 10^\circ_{\text{lat.}} = 70^\circ_{\text{rel. horizontal}}$). Será, no entanto, necessário ter em consideração que os períodos diurnos têm duração muito diferente, em função da *latitude* e da orientação do *quadrante*, no sentido de inscrever apenas as *linhas de hora* necessárias ao perfeito funcionamento do relógio, ao longo do ano.

A respeito deste tipo de relógios, notemos ainda que, quando a inclinação do *quadrante* for numericamente igual à *latitude* ou à *co-latitude* geográfica, o relógio transforma-se, respectivamente, em *polar* ou *equatorial* (fig. 79). O relógio polar e o relógio equatorial são, como agora parecerá, por ventura, evidente, casos particulares de relógios inclinados orientados.

2.3.5.3. *Quadrante* inclinado orientado a Nascente ou a Poente

Se a superfície onde se pretende colocar o relógio solar estiver directamente orientada para Nascente ou para Poente, a determinação das *linhas de hora* poderá ser feita através do recurso a uma superfície cilíndrica de revolução, de eixo alinhado pelo *eixo polar*, em que se opera com as geratrizes contidas nos respectivos *meridianos horários*.

Na figura 80, podemos ver as vistas sul e nascente de um relógio inclinado e orientado a Nascente, assim como a vista frontal, em que a amplitude angular das *linhas de hora* surge em verdadeira grandeza. As *linhas de hora* são determinadas a partir da união dos traços do eixo e das geratrizes da superfície cilíndrica no plano do *quadrante*. Note-se que a *linha do meio-dia* é horizontal.

O *quadrante* apresenta a inclinação de 60° , relativamente ao *horizonte*, e a *latitude* corresponde a 40°N .

Na figura 81, ilustramos a determinação da verdadeira grandeza do *gnómon*, que inclui a inclinação do *estilo*, relativamente ao *quadrante*⁷⁶.

⁷⁶ A inclinação do *estilo* relativamente ao *quadrante* corresponde ao ângulo formado pelo *estilo* e pelo *sub-estilete* (projectão ortogonal do *estilo* no *quadrante*).

A selecção das *linhas de hora* que deverão ser inscritas no *quadrante* foi feita através do desenho da figura 82, que corresponde à vista sul da *esfera celeste*, com os *meridianos horários*, o *equador*, os *trópicos de Câncer* e de *Capricórnio* e onde o plano do *quadrante* é projectante.

2.3.6. Relógio declinado e inclinado

2.3.6.1. Considerações prévias

Os relógios declinados e, simultaneamente, inclinados, são muito raros, devido à complexidade dos respectivos cálculos matemáticos. Pensamos que a via gráfico-geométrica que descortinamos não é complexa, embora requeira conhecimentos consolidados – não avançados – de Geometria Descritiva.

2.3.6.2. Determinação das *linhas de hora*

Com o auxílio de um fio-de-prumo, assinala-se a projecção [A1B1C1D1], no pavimento – se for horizontal – ou num plano horizontal auxiliar, dos vértices do *quadrante* (fig. 83).

Rigorosamente ao meio-dia solar⁷⁷, através da sombra projectada, num plano horizontal, do fio-de-prumo, assinalamos a direcção N-S (*meridiana* do lugar). Em seguida, transpomos a projecção do *quadrante* e a direcção N-S para uma folha de desenho, em princípio, a uma escala reduzida.

Com linhas de chamada perpendiculares à *meridiana*, que passará a funcionar como eixo *x* ou linha de terra, determinamos a projecção vertical [A2B2C2D2] do contorno do *quadrante* (fig. 84), em que as distâncias das projecções à linha de terra correspondem às alturas (cotas) dos vértices, relativamente ao plano horizontal de referência (que, em princípio, será o pavimento).

Analisando as duas projecções e a *rosa-dos-ventos*, concluímos que o *quadrante* é inclinado e declinado a NW.

⁷⁷ A ocorrência do meio-dia solar pode ser facilmente determinada a partir da consulta da tabela “Tempo Universal ao Meio-Dia Solar Verdadeiro”, da autoria do Observatório Astronómico de Lisboa, no endereço: <http://www.oal.ul.pt/index.php?link=dados2007#>

Desenhamos a direcção (que é frontal) do *eixo polar*, através de uma recta, cuja projecção vertical forme com a linha de terra o ângulo correspondente à *latitude* geográfica do local. Define-se o local de inserção do *estilo* no *quadrante*, ponto **E**, e, por esse ponto, desenhamos um segmento paralelo ao *eixo polar*, que conterà o *estilo* do relógio.

Desenhamos uma superfície cilíndrica de revolução, com qualquer raio, cujo eixo deverá conter o *estilo* (Fig. 85). As geratrizes, de 15° em 15°, darão origem às *linhas de hora* do *quadrante*, correspondendo a inferior ao *meridiano horário* da meia-noite (que dará origem à *linha do meio-dia*). Sendo opostos os *semi-meridianos horários*, as respectivas *linhas de hora* também serão opostas e, conseqüentemente, poderemos omitir metade das geratrizes da superfície cilíndrica auxiliar.

O *centro do quadrante*, ponto **E**, corresponde à intersecção do eixo da superfície cilíndrica com o relógio. Determina-se a intersecção de cada geratriz com o *quadrante*.

Em seguida, através dos traços de duas rectas definidas pelos vértices do *quadrante* (na figura 86, foram determinados os traços frontais das rectas **AB** e **DC** e o traço horizontal da recta **DA**), representamos os traços homónimos do plano, que designamos por α .

Unindo o ponto **E** com os pontos de intersecção das geratrizes, obtêm-se as *linhas de hora* (as quais se representaram, apenas, em projecção horizontal).

Procedendo-se ao rebatimento do plano α sobre um dos planos de projecção (utilizámos o traço horizontal do plano como eixo de rotação), obtivemos o reverso do *quadrante*⁷⁸ rebatido, em que a amplitude angular das *linhas de hora* surge em verdadeira grandeza.

⁷⁸ Note-se que, se o rebatimento tivesse sido efectuado no outro sentido, obteríamos, directamente, a face do *quadrante* em verdadeira grandeza. O inconveniente desta opção é que se verificaria a sobreposição de traçados.

2.3.6.3. Determinação da inclinação do *estilo*

Para podermos, eventualmente, construir o relógio de sol declinado e inclinado, faltaria determinar o *sub-estilete* e a inclinação do *estilo*, relativamente ao *quadrante*. Dado que o *sub-estilete* corresponde à projecção ortogonal do *estilo* no *quadrante*, por um ponto **G**, qualquer, do *estilo* (fig. 87), traçamos a perpendicular ao *quadrante* (plano α) e determinamos o ponto **S**, de intersecção da recta com o plano. Unindo **S** a **E**, obtemos o *sub-estilete*.

Em seguida, rebatemos o plano definido pelo *estilo* e o *sub-estilete*, determinando-se, desta forma, a inclinação do *estilo* relativamente ao *quadrante*⁷⁹.

⁷⁹ Na figura 87, optámos por rebater o plano definido pelo *estilo* e o *sub-estilete* no plano frontal que contém o *estilo*, tendo a projecção respectiva do *estilo* funcionado como charneira de rebatimento.

2.3.6.4. Considerações finais

Na figura 88, podemos apreciar a vista frontal do *quadrante*. Para determinarmos as *linhas de hora* a inscrever, poderíamos determinar a direcção dos raios luminosos às horas inteiras, no solstício de Verão, e verificar se o sentido descendente dessas rectas incide, ou não, na face superior do *quadrante*⁸⁰.

⁸⁰ Pode ocorrer, também, que os raios luminosos não alcancem a face do *quadrante* devido, exclusivamente, a serem ascendentes – isto é, a provirem debaixo do *plano do horizonte* – e não devido à orientação do *quadrante*. Analisando, por exemplo, o desenho da figura 44, constatamos que, pelas 20H00 (hora solar), no solstício de Verão, à *latitude* de 40°, o Sol já se encontra abaixo do *plano do horizonte*. No entanto, os raios luminosos incidiriam na superfície do *quadrante* do relógio equatorial, não fosse aquele já se ter sumido no *horizonte*.

3. Reciprocidade entre os vários tipos de relógios de sol

Convencionalmente, podemos considerar que o grau de *inclinação* de um relógio é o ângulo que a sua face posterior forma com o *horizonte*. Podemos ainda admitir que, na eventualidade da *inclinação* ser superior a 90° , passaremos a denomina-la *reclinação* (ver figura 89).

Os relógios dos tipos equatorial, polar, horizontal, vertical orientado a Sul, vertical orientado a Norte e inclinado orientado são mutáveis entre si (Fig. 90).

Na figura 90, estão representados oito relógios de sol (A, B, C, D, E, F, G e H), com *inclinações* diversas, em 17 posições distintas:

Relógio A – (2 posições, no mesmo *paralelo*).

- Relógios horizontais; *inclinação* = 0° ; *latitude* = Φ .

No relógio horizontal, a *inclinação* do *estilete* em relação ao *quadrante* é igual à *latitude geográfica*. É a *inclinação* do *estilete* que determina a amplitude angular das *linhas de hora* e, por conseguinte, todos os relógios do mesmo tipo, situados à mesma *latitude*, são idênticos.

Relógio B – (3 posições distintas).

- Relógio equatorial de duas faces, a superior inclinada ($90^\circ - \Phi$) a Norte e a inferior reclinação ($90^\circ + \Phi$) a Sul;

- Relógio horizontal; *inclinação* = 0° ; *latitude* = $+90^\circ$;
- Relógio horizontal; *inclinação* = 0° ; *latitude* = -90° .

Nos pólos, o relógio equatorial passa a horizontal, dado que, aí, a *latitude* é de 90° (ângulo do *estilete* com o *quadrante*). Nos pólos, ao longo do ano, cada *quadrante* recebe luz solar durante 6 meses ininterruptamente, consoante o Sol se encontre acima ou abaixo do *equador celeste*.

Note-se que as faces superior e inferior do relógio equatorial têm as *linhas de hora* coincidentes, embora a numeração seja invertida.

Relógio C – (2 posições distintas).

- Relógio vertical S; *inclinação* = 90° ; *latitude* = Φ ;
- Relógio horizontal; *inclinação* = 0° ; *latitude* = $90^\circ - \Phi$.

Os relógios horizontais e verticais têm grande afinidade, ao ponto de poderem ser conjugados num único relógio duplo, de *gnómon* comum. No presente caso, constatamos que o relógio vertical orientado a Sul passa a horizontal se for deslocado para a *latitude*

complementar do outro hemisfério terrestre (e vice-versa). Podemos, por isso, concluir que desenhar um relógio vertical para uma determinada *latitude* (Φ) equivale a desenhar um relógio horizontal para a *latitude* complementar ($90^\circ - \Phi$) do outro hemisfério terrestre.

Relógio D – (2 posições distintas).

- Relógio polar; *inclinação* = Φ ; *latitude* = Φ ;
- Relógio horizontal; *inclinação* = 0° ; *latitude* = 0° .

No relógio polar, a *inclinação* iguala a *latitude*, daí o *estilete* ser paralelo ao *quadrante*. Qualquer relógio polar passa a horizontal, se for deslocado para o *equador*.

Relógios E e H – (2+2 posições distintas).

- Relógio reclinado a Sul; *reclinação* = i_1 ; *latitude* = Φ ;
- Relógio horizontal; *inclinação* = 0° ; *latitude* = Φ_3 .
- Relógio reclinado a Norte; *reclinação* = i_4 ; *latitude* = Φ ;
- Relógio horizontal; *inclinação* = 0° ; *latitude* = Φ_2 .

Um relógio reclinado passa a horizontal, se for deslocado para a *latitude* correspondente à *inclinação* do *estilete*, no outro hemisfério. Desenhar um relógio reclinado equivale, por isso, a desenhar um relógio horizontal para o outro hemisfério terrestre, para a *latitude* correspondente à *inclinação* do *estilete* relativamente ao *quadrante*.

Relógios F e G – (2+2 posições distintas).

- Relógio inclinado a Sul; *inclinação* = i_2 ; *latitude* = Φ ;
- Relógio horizontal; *inclinação* = 0° ; *latitude* = Φ_2 .
- Relógio inclinado a Norte; *inclinação* = i_3 ; *latitude* = Φ ;
- Relógio horizontal; *inclinação* = 0° ; *latitude* = Φ_3 .

Um relógio inclinado passa a horizontal, se for deslocado para a *latitude* correspondente à *inclinação* do *estilete* relativamente ao *quadrante*.

Os relógios horizontais **F** e **H**, por um lado, e os relógios horizontais **G** e **E**, por outro, estão situados à mesma *latitude*, embora as *latitudes* de **F** e de **G** sejam positivas, enquanto que as *latitudes* de **E** e de **H** são negativas. Deste facto, resulta que as *linhas de*

hora dos respectivos *quadrantes* são coincidentes, mas a numeração é invertida. Notemos que, enquanto que os *estiletas* dos relógios **F** e **G** apontam para o *pólo Norte celeste*, com Nascente à direita, os *estiletas* de **E** e de **H** apontam para o *pólo Sul*, com Nascente à esquerda.

Antes de darmos este capítulo por concluído, frisaremos, pela última vez, que, embora se verifique – como se tentou provar – a correspondência entre relógios equatoriais, polares, horizontais, verticais orientados a Sul ou a Norte e inclinados orientados, estes vários tipos de relógios têm períodos de exposição solar muito variáveis, em função da sua orientação e da *latitude* do lugar, sendo por isso conveniente determinar-se, à partida, em cada caso, o período anual mais longo de exposição aos raios solares, de forma que, no respectivo *quadrante*, se assinalem as *linhas de hora* necessárias e suficientes a um perfeito funcionamento.

Capítulo III – OS RELÓGIOS DE SOL NA ACTUALIDADE

1. Função e utilidade dos relógios de sol

Os relógios de sol são ainda, hoje em dia, muito úteis, do ponto de vista simbólico, histórico e, acima de tudo, científico.

1.1. Simbologia

Actualmente, dispomos de instrumentos de medição do tempo ultra sofisticados que assinalam a hora com uma precisão espantosa. No entanto, esses instrumentos não marcam a *hora solar* – o tempo verdadeiro – aquele em que o meio-dia corresponde à *culminação superior* do Sol no firmamento.

É a *hora solar* que rege o ritmo da vida à superfície da Terra.

Se, por exemplo, um rebento for mantido numa caixa fechada, com uma única fresta por onde penetre a luz do Sol, este “rastejará” em direcção a ela. Ao pôr-do-sol, os girassóis encontram-se virados a Oeste, mas viram-se para Este durante a noite, para poderem captar os primeiros raios solares da alvorada. A luz do Sol utilizada na fotossíntese constitui um dos factores ambientais mais influentes do metabolismo de muitas espécies vegetais, interferindo, directamente, nos processos da queda de folhas, floração e frutificação.

Todos os animais dependem, directa ou indirectamente, da flora, para sobreviverem. A esmagadora maioria da fauna terrestre vive, também, subordinada ao percurso do Sol no firmamento, ao ritmo alternado de actividade e de repouso, induzido pela sucessão cíclica do dia e da noite. A posição relativa da Terra, da Lua e do Sol determina o regime de marés, que, por sua vez, influencia o comportamento de muitos organismos sub-aquáticos.

O homem moderno é o único ser a viver à margem dos ritmos da Natureza, emparedado num tempo meticulosamente constante, artificial e convencionado, com um desfaseamento, em relação ao *tempo solar*, que chega a alcançar as duas horas⁸¹. Os relógios que regulam a actividade humana nas sociedades ditas desenvolvidas são cada vez mais

⁸¹ Este desacerto deve-se à conjugação de três factores – diferença de *longitude*, relativamente ao *meridiano* de referência, adopção da hora de Verão e *equação do tempo*.

precisos. Os relógios mecânicos, de quartzo, ou atômicos anunciam de um modo frio, um tempo progressivamente mais digital e menos biológico, dissecado em fracções cada vez menores, em total ruptura com a *hora solar* e o ritmo natural terrestre.

Os relógios de sol, pela sua relação directa com o astro que rege a vida no nosso planeta, conferem ao tempo uma dimensão cósmica.

Afinal, quando afirmamos que a *hora solar* não é regular, quando explicitamos que a *equação do tempo* resulta da irregularidade do movimento do Sol, relativamente ao *tempo solar médio*, estamos a conformar o tempo real a um tempo ficcional que existe, apenas, na mente racional e estreita do homem. Quando afirmamos que o atraso máximo anual do Sol se verifica no início de Fevereiro e que o adiantamento máximo anual do Sol se verifica no início de Novembro, deveríamos dizer, inversamente, que o tempo uniforme e convencional dos nossos relógios digitais atinge o máximo de desfasamento nesses períodos do ano, relativamente ao tempo solar verdadeiro.

Se quisermos saber a hora verdadeira, a hora que marca o ritmo biológico dos nossos corpos e dos corpos das espécies que nos acompanham nesta jornada espacial – em que sulcamos o espaço anichados no nosso planeta – consultemos um relógio feito de luz e de sombra, e inebriemo-nos com a sincronização do movimento dos astros e a dimensão cósmica do tempo.

Correndo o risco de sermos líricos, gostaríamos de colocar a hipótese de, em última instância, o exaltamento que um relógio de sol produz em alguém que, através dele, vislumbra a sincronização dos movimentos planetários, poder contribuir para despertar a consciência individual de que fazemos parte integrante do cosmos e, a partir dessa perspectiva, contribuir activamente para a preservação do nosso planeta e de todas as formas de vida que nele proliferam. Eis o relógio de sol, um singelo instrumento de medição do tempo, elevado à categoria de símbolo cósmico, funcionando como contraponto ao desenvolvimento económico e industrial, que se revela selvagem e desenfreado na maioria das nossas sociedades contemporâneas...

1.2. Contributo histórico

Do ponto de vista histórico, os relógios de sol antigos que chegam até nós permitem-nos descortinar o modelo dos sistemas vigentes de medição do tempo, nas respectivas civilizações, e também nos fornecem pistas consistentes acerca da compreensão e interpretação que os povos primitivos tinham do universo que os rodeava. Analisando,

critérios, os instrumentos de medição do tempo a partir do movimento do Sol no firmamento, poderemos avaliar o desenvolvimento científico dos respectivos povos, principalmente no que diz respeito à astronomia e à matemática – duas áreas estruturantes do conhecimento, sobretudo no passado.

1.3. Contributo científico

Do ponto de vista científico, o funcionamento, a concepção e a construção de relógios de sol permite-nos adquirir e consolidar conhecimentos, entre outras áreas, de astronomia, matemática (especialmente de trigonometria), geometria, perspectiva e design.

O capítulo II do presente trabalho ilustra bem – pelo menos é essa a nossa convicção – como a geometria pode ser a ferramenta operativa na determinação do traçado dos relógios de sol. É evidente que distintas abordagens teriam sido possíveis, por exemplo a partir da trigonometria, alcançando-se os mesmos resultados.

Iremos, em seguida, mencionar alguns conhecimentos de astronomia que poderão ser transmitidos, encarando o relógio de sol como uma réplica didáctica da *esfera celeste*.

O *relógio equatorial* e a *esfera armilar* são, na nossa opinião, os tipos de relógio de sol mais indicados para transmitir conceitos de astronomia. Dissequemos, a título de exemplo, o *relógio equatorial*.

1.3.1. O relógio equatorial como réplica da *esfera celeste*

Como sabemos, o *mostrador* de um *relógio equatorial* representa o plano do *equador* terrestre e o *gnómon* representa o eixo de rotação da Terra. O *quadrante* superior corresponde ao hemisfério norte, enquanto que o *quadrante* inferior corresponde ao hemisfério sul⁸². O *gnómon* deverá ser disposto paralelamente ao *eixo polar*, com a inclinação, relativamente ao *horizonte*, correspondente à *latitude* geográfica do local. O *quadrante* deverá ser disposto paralelamente ao *equador*, com a inclinação, relativamente ao *horizonte*, correspondente à *co-latitude*. A extremidade superior do *estilo* deverá apontar para o *pólo norte celeste* (ou seja, para a Estrela Polar). Ao traçar a recta de maior declive do *quadrante* pelo seu centro, obtemos a linha das 12H00 ou *meridiana* (que corresponde à

⁸² Esta concepção é relativa ao hemisfério norte; no hemisfério sul o *quadrante* superior corresponderá ao hemisfério sul, evidentemente.

intersecção do meridiano local com o *quadrante*). As restantes *linhas de hora* são equiangulares e formam entre si ângulos de 15° , que corresponde à amplitude do arco da *esfera celeste* que o Sol percorre, em média, durante 60 minutos.

1.3.2. Conceitos astronómicos deduzidos a partir do relógio equatorial

Os pressupostos relativos ao *relógio de sol equatorial*, permitirão apresentar e desenvolver, entre outros, os seguintes conceitos astronómicos:

- a) O movimento de rotação da Terra, em torno do *eixo polar*, está na origem do movimento aparente de translação do Sol em torno da Terra;
- b) Esse movimento processa-se no sentido inverso ao aparente;
- c) A projecção horizontal do *estilo* deverá corresponder à direcção N-S, que pode ser determinada através da sombra projectada, numa superfície horizontal, de um fio-de-prumo, ao meio-dia solar (ou seja, na *culminação superior* do Sol);
- d) Ao meio-dia, o Sol está sempre a Sul;
- e) O *eixo polar* e o *equador* são perpendiculares entre si;
- f) Sendo o *equador celeste* o percurso que o Sol descreve no firmamento, nos dias de *equinócio*, a duração do dia e da noite é a mesma em toda a extensão da Terra, dado que os raios solares que alcançam a Terra são perpendiculares ao eixo polar;
- g) Quando a *declinação* do Sol é positiva, o *período diurno* é mais longo do que o nocturno, no hemisfério norte; e sucede o inverso, quando a *declinação* do Sol é negativa;
- h) Os *pólos celestes* situam-se no prolongamento do *estilo*, podendo-se explicar, eventualmente, a relação entre a *latitude* do lugar e o *paralelo celeste* de delimitação das estrelas circumpolares;
- i) O *meridiano celeste do lugar*, cuja intersecção com o *quadrante* dá origem à linha das 12H00;
- j) Os *meridianos* de 15° em 15° , que dão origem às *linhas de hora* do relógio e estão na origem dos *fusos horários*.

Colocando-se o relógio equatorial em posições diversas, poderemos explicar qual a relação do Sol com a Terra em zonas de diferentes *latitudes*.

Por exemplo, colocando o *quadrante* na horizontal, o relógio passa a ser uma réplica da *esfera celeste* para quem se situe nos pólos N e S, onde a *latitude* é de 90° .

Poderemos, então, exemplificar que, nessa *latitude*, os *períodos diurno e nocturno* têm a duração de 6 meses e que apenas são avistáveis as estrelas do respectivo *hemisfério*, sendo todas circumpolares.

Outro exemplo: colocando o *quadrante* na vertical, o relógio passa a ser uma réplica da *esfera celeste* para quem se situe no *equador*, onde a *latitude* é de 0° . Poderemos, então, exemplificar que, nessa *latitude*, os *períodos diurno e nocturno* têm a duração constante de 12 horas e que o *equador* é o único local terrestre a partir do qual é possível avistar toda a superfície da *esfera celeste* (ao longo de um período de 24 horas), situando-se os *pólos celestes* no *horizonte*...

O *relógio equatorial* não permite, apenas, estudar o movimento diário do Sol. Através de uma observação atenta e dilatada no tempo do *relógio equatorial*, poderemos, igualmente, estudar o ciclo anual do movimento do Sol no firmamento, decorrente da inclinação do *eixo polar*, relativamente à *eclíptica*. Nos *equinócios*, quando a *declinação* é nula, o Sol encontra-se no *equador celeste* e, por conseguinte, no plano do *quadrante* do relógio. Os raios luminosos serão rasantes ao *quadrante* e o *estilo* não projectará sombra sobre a sua superfície. A partir do equinócio de Março até ao equinócio de Setembro, época do ano em que a *declinação* do Sol é positiva, a sombra do *gnómon* incidirá na face superior do *quadrante*, indicando que é Primavera ou Verão no hemisfério norte; a partir do equinócio de Setembro até ao equinócio de Março, quando a *declinação* do Sol é negativa, a sombra do *gnómon* incidirá na face inferior do *quadrante*, indicando que é Primavera ou Verão no hemisfério sul.

Ao *meio-dia solar*, nos dias de *solstício*, confrontando o comprimento da sombra projectada com o comprimento do *gnómon*, poderemos concluir que a *declinação máxima* do Sol corresponde a $23,5^\circ$. Teremos, então, o caminho aberto para referir os *trópicos* e os *círculos polares* e relacionar a *obliquidade da eclíptica* com as regiões climáticas da Terra.

1.4. Actualidade dos relógios de sol

Os relógios de sol deixaram, há muito, de ser úteis no cumprimento restrito da sua função, ao homem contemporâneo, que dispõe de tecnologia cada vez mais sofisticada para medir o tempo, de acordo com regras que ele mesmo convencionou. Actualmente, não é tanto – ou apenas – o objecto, enquanto instrumento de medição do tempo, que nos interessa, mas sobretudo o objecto, enquanto lugar de confluência de saberes, como a astronomia, a trigonometria e a geometria.

Segundo a nossa perspectiva, antes de tudo e do ponto de vista formal, o relógio de sol deve de ser encarado como uma peça de arte. Mas, ao mesmo tempo, do ponto de vista funcional, o relógio de sol constitui uma réplica viva e pronta a funcionar⁸³ da *esfera celeste*, da máxima utilidade para os astrónomos, podendo ainda ser encarado como um pequeno laboratório de matemática, trigonometria e geometria.

⁸³ Dependendo das condições atmosféricas.

2. Modelos por inventar

2.1. Relógios prismáticos de arestas paralelas ao *eixo polar*

Existe uma gama infundável de variantes de relógios de sol prismáticos e cilíndricos, em que as arestas ou geratrizes são paralelas ao *eixo polar*. O *gnómon* pode ser um filamento, paralelo ao *eixo polar*, ou, até, uma aresta ou uma geratriz do próprio relógio. Neste caso, as próprias arestas ou geratrizes da superfície do relógio funcionam, alternadamente, ao longo do dia, como múltiplos *gnómons*.

Formalmente, estes modelos podem ser muito variados e ter diferente complexidade, embora derivem todos do *relógio equatorial*.

Em gnomónica, geralmente, considera-se que o Sol, todos os dias, percorre um paralelo da *esfera celeste*, a um ritmo constante, que corresponde, no plano do *equador*, a um arco de 15° por hora, ocorrendo a sua *culminação superior* ao meio-dia (Fig. 91).

Um prisma recto, cujas bases correspondam a uma cruz, pode ser utilizado como relógio de sol (Fig. 92). Para funcionar, bastará orientar a base superior para o *pólo celeste* e assinalar as *linhas de hora* nas faces laterais.

Neste tipo de relógio, não existe apenas um *gnómon*, como sucede na generalidade dos relógios de sol, verificando-se, durante o seu funcionamento, a alternância de *gnómons*, que são as próprias arestas do poliedro. À medida que o Sol percorre o firmamento, a sombra auto projectada do prisma incide, alternadamente, nas suas faces laterais (Fig. 92).

Devido ao formato e proporções da secção recta do sólido, cada face lateral do poliedro receberá a sombra da aresta vizinha durante o período de 3 horas (180 minutos). Quando a sombra tiver varrido completamente uma face, outra mancha de sombra

começará a formar-se em outra face, de forma que, enquanto o Sol estiver a brilhar no firmamento, haverá sempre uma face parcialmente ensombrada, cujo contorno assinalará a *hora solar*.

As *linhas de hora* a inscrever nas faces laterais do prisma são determinadas a partir de tangentes à base do prisma (plano equatorial), com a direcção correspondente aos raios solares. As rectas que passam pelos vértices da base, de 15 em 15 graus, representam os raios solares rasantes à respectiva aresta, de 60 em 60 minutos, e permitem-nos determinar os pontos da base por onde passam as *linhas de hora* das faces laterais do sólido.

Para integral compreensão, na região inferior da figura 92, incluímos a planificação das faces laterais do prisma, com as respectivas *linhas de hora*. Se observarmos atentamente a figura 92, compreendemos que a sombra auto projectada do sólido percorrerá, sequencialmente, as seguintes faces, desde o nascer até ao pôr-do-sol: **m** (das 3H00 às 6H00), **h** (6H00-9H00), **c** (9H00-12H00), **l** (12H00-15H00), **f** (15H00-18H00) e **b** (18H00-21H00). Como já referimos, nas latitudes do território português, o Sol nunca nasce antes das 4H00 e nunca se põe após as 20H00 (*hora solar*), pelo que talvez se deva omitir as linhas correspondentes às horas nocturnas, que seriam inscritas nas faces **e** e **i**. As restantes faces **a**, **d**, **g** e **j** nunca recebem sombra auto projectada e, por conseguinte, não são susceptíveis de funcionar como relógio de sol.

Nas figuras 93, 94 e 95 estão representados vários polígonos estrelados que podem ser encarados como bases de eventuais relógios prismáticos.

Cada face lateral do prisma em que a base corresponde a um hexagrama é percorrida pela sombra auto projectada durante o período exacto de 2 horas (Fig. 93). No prisma em que a base corresponde a uma variante do hexagrama, cada face está exposta aos raios solares durante o período exacto de 1 hora (Fig. 93).

Cada face lateral do prisma, em que a base corresponde a um octógono, assinala 3 horas (Fig. 94). No caso do eneágono, as faces estão expostas aos raios solares durante o período de 2H40 (Fig. 94).

No caso do dodecágono, as faces laterais poderão receber a luz do Sol durante períodos de 2 ou 3 horas, em função da configuração do polígono estrelado (Fig. 95).

Na figura 96, estão representadas as bases de duas superfícies prismáticas côncavas, em que o *gnómon* corresponde a um filamento alinhado pelo *eixo polar*.

Podemos concluir que um número indeterminado de prismas pode estar na origem de outros tantos relógios de sol, cujos princípios de funcionamento são, essencialmente, os que foram explicados a propósito dos relógios prismáticos em que as bases são cruciformes.

2.2. Relógios cilíndricos e relógios de múltiplos *estilos*

Na figura 97, estão representadas as secções rectas de três superfícies cilíndricas côncavas em que o *gnómon* é, respectivamente, um filamento, um semi-cilindro e os bordos do relógio, que correspondem a geratrizes da respectiva superfície cilíndrica. Neste caso, os bordos laterais funcionam como *gnómons*, alternadamente, durante a manhã e durante a tarde, sendo dupla cada *linha de hora*, já que corresponde, simultaneamente, a uma hora matutina e a uma hora vespertina.

Na figura 98, estão representadas as bases de três relógios distintos. No primeiro, o *quadrante* é um cilindro e os *gnómons*, múltiplos, poderão ser meros filamentos. No segundo, o *quadrante* é uma superfície plana, com uma única *linha de hora* inscrita, sendo múltiplos os *gnómons*. No terceiro, o *quadrante* é uma superfície plana, com várias *linhas de hora*, sendo o *gnómon* um cilindro.

Na figura 99, está representada a base de um relógio que corresponde à associação de quatro sectores cilíndricos, com a amplitude de 90° . Um virado a Este (que funciona das 3H00 às 9H00), outro virado a Oeste (que funciona das 15H00 às 21H00), outro virado a Sul (que funciona das 9H00 às 15H00) e um inferior, virado a Norte (que funciona das 21H00 às 3H00). Os *gnómons* são paralelepípedos rectângulos, que também poderão funcionar, simultaneamente, como *quadrantes* (desenho inferior).

Na figura 100, estão representadas as bases de dois relógios cilíndricos, um ondulado e outro chanfrado. A leitura da hora será feita a partir da incidência dos raios solares na respectiva concavidade. Se o relógio tiver grandes dimensões e se a execução for rigorosa, será possível medir fracções da hora (30, 15, 10 ou, até, 5 minutos, que correspondem, respectivamente, a $7,5^\circ$, $3,75^\circ$, $2,5^\circ$ e a $1,25^\circ$ da superfície curva do cilindro).

2.3. Relógios de *gnómons* paralelos aos *meridianos horários*

Para concluir, iremos fazer uma breve incursão a uma família distinta de relógios, em que os *gnómons* múltiplos são complanares com os *meridianos horários*. Desde que os *gnómons* sejam planos, podem ser colocados de forma que estejam contidos nos *meridianos horários* (Fig. 101). As *linhas de hora*, tal como sucede nos relógios convencionais, são as rectas de intersecção dos *meridianos* com o plano do *quadrante*.

Na figura 101, podemos ver três *gnómons*, no (semi)*meridiano* das 6H00, das 12H00 e das 18H00. Quando o Sol se situa num *meridiano horário*, os raios luminosos serão rasantes ao *gnómon* e a sombra projectada coincidirá com a *linha de hora* respectiva.

Na figura 102, está representado um relógio em que os *gnómons* são polígonos contidos nos *meridianos horários*, em que o número de vértices corresponde à hora respectiva. Por exemplo, o quadrado corresponde às 4H00, o octógono corresponde às 8H00, etc. Como não existem polígonos com menos de três lados, decidimos fazer

corresponder à 1H00 e às 2H00 (na realidade às 13H00 e às 14H00) 1 e 2 *estilos*, respectivamente.

Quando o Sol se encontra no *meridiano* das 10 horas, por exemplo, os raios serão rasantes ao decágono, que projectará sombra segundo um segmento contido na respectiva *linha de hora*. Para saber a hora, bastará contar o número de vértices do *gnómon*...

Se tivermos a intenção de materializar um relógio de sol deste tipo, talvez seja prudente optar-se por subdividir o *quadrante*, de forma a evitar que as manchas de sombra projectada pelos vários *gnómons* prejudiquem a leitura da hora (Fig. 103). Poderá convir proceder-se a um estudo geométrico mais aprofundado ou até fazer uma maquete do relógio, antes de o construir...

Em termos formais, o limite destes relógios/esculturas é cerceado, unicamente, pela capacidade de imaginação de cada um.

Capítulo IV - CONCLUSÕES

1. O tempo

O homem moderno vive, tendencialmente, na cidade, cada vez mais divorciado dos ritmos naturais terrestres induzidos, fundamentalmente, pelo movimento aparente do Sol na *esfera celeste*. A duração do dia solar não é constante, variando alguns segundos a cada ciclo de 24 horas. O grau de desenvolvimento científico e tecnológico alcançado nas sociedades modernas conduz o homem a sistemas de contagem de tempo cada vez mais rigorosos e sofisticados, em que o segundo é dividido em fracções de tempo cada vez menores, até valores infinitamente pequenos.

A definição actual de “segundo” (*período de tempo em que o átomo de cézio 133 completa 9 192 631 770 oscilações*) é, à primeira vista, a mais clara expressão da ruptura com a contagem tradicional do tempo, que se baseia no ciclo solar. No entanto, esta ruptura é aparente, já que o período de tempo em que decorrem as 9 192 631 770 oscilações do átomo de cézio corresponde, rigorosamente, a $1/86\,400$ ($24^{\text{h}} \times 60^{\text{min}} \times 60^{\text{seg}} = 86\,400$) do *dia solar médio*. O movimento do Sol continua a marcar, indirectamente, a cadência do nosso tempo actual, simplesmente – por imperativos científicos – passamos a empregar os próprios recursos tecnológicos disponíveis na medição regular e constante do tempo e na sua subdivisão em segmentos progressivamente menores.

2. A geometria dos relógios de sol

Os relógios de sol são réplicas mais ou menos abstractas da *esfera celeste*, concebidas para determinar a posição do Sol no firmamento, através da sombra projectada de um dos seus componentes numa escala graduada de tempo e, desta forma, medir a hora (solar). A inter-mutabilidade dos variadíssimos tipos de relógios de sol advém, precisamente, da unidade do modelo que reproduzem – a *esfera celeste*.

Sendo o *estilo* do relógio de sol paralelo ao *eixo polar*, pode ser concebido como a recta de intersecção dos *meridianos horários*, formando entre si ângulos de 15° ($360^\circ:24^{\text{h}} = 15^\circ$), que, ao intersectarem o *quadrante*, dão origem às respectivas *linhas de horas*.

Em nosso entender, os métodos gráfico-geométricos revelaram-se muito eficazes no traçado das *linhas de hora* dos diferentes tipos de relógios de sol. Embora válidos,

reconhecemos menos eficácia nos traçados geométricos que nos permitem determinar o período máximo anual de exposição aos raios solares, relativamente aos seguintes tipos de relógios: vertical declinado, inclinado orientado a Nascente ou a Poente e declinado e inclinado.

3. Os relógios de sol na actualidade

O relógio de sol é o único artefacto que conhecemos que confere ao tempo uma dimensão cósmica, devido à sua relação directa com o astro que rege a vida e o ciclo alternado do dia e da noite no nosso planeta.

O contributo do relógio de sol para a ciência é imenso, sobretudo nas áreas da Astronomia, da Matemática e da Geometria. Os movimentos de rotação e de translação da Terra podem ser estudados em pormenor, a partir da observação sistemática da sombra projectada do gnómon num *quadrante* de dimensões apropriadas.

Sendo a Trigonometria um ramo da Matemática que tem como objectivo definir triângulos a partir de alguns dos seus componentes, encontra na *Gnomónica* um terreno muito fértil, porquanto, os raios luminosos rasantes ao estilo definem, fugazmente, a cada momento do dia, cada dia do ano, um triângulo específico. Estes triângulos virtuais apenas se repetem duas vezes ao longo do ano.

No final do terceiro capítulo, abrimos algumas frestas, a partir das quais pudemos ter perspectivas parciais da *Gnomónica*. Tentámos, então, demonstrar que, teoricamente, é possível inventar e recriar uma gama infindável de relógios de sol, pertencentes às tipologias apresentadas. Apesar de os primeiros *gnómons* (obeliscos) terem sido erigidos em 3 500 anos a.C., no Egipto, concluímos a dissertação esboçando o princípio de funcionamento de alguns modelos de relógios de sol inéditos, que, decorridos 5 500 anos, estarão ainda por explorar...

A conclusão principal a que chegamos é que os relógios de sol deixaram, há muito, de ser úteis, no cumprimento restrito da sua função, ao homem contemporâneo, que dispõe de tecnologia cada vez mais sofisticada para medir o tempo, de acordo com regras que ele mesmo convencionou. Actualmente, não é o objecto, enquanto instrumento de medição do tempo que nos fascina, mas sobretudo o objecto, enquanto lugar de confluência de saberes. Acima de tudo, interessa-nos o relógio de sol como símbolo cósmico e, a outro nível, como laboratório de matemática, trigonometria e geometria.

Acreditamos que o conhecimento, cada vez mais apurado, associado a novas técnicas e materiais, fazem da *Gnomónica* uma ciência viva, actual e em pleno desenvolvimento, embora em meios científicos restritos. Esta convicção é coadjuvada pelo facto de haver, espalhadas pelo Mundo, cada vez mais associações que se dedicam ao estudo, preservação e divulgação dos relógios de sol...

Apêndice

GLOSSÁRIO DE TERMOS ASSOCIADOS À GNOMÓNICA

A

acuidade (de um relógio de sol): aproximação da hora indicada no relógio à *hora solar*. Os conceitos de *resolução* e de *precisão* estão relacionados com o de *acuidade*.

adereços (de um relógio): todo o tipo de inscrições no *quadrante*, para além das *linhas de hora* e do número correspondente. Os *adereços* podem dizer respeito a *linhas de declinação*, *pontos cardeais*, *equação do tempo*, *divisas*, etc.

afélio (terrestre): o ponto da órbita em que a Terra se encontra mais distante do Sol. O *afélio* ocorre durante a primeira semana de Julho. (Ver *leis de Kepler*).

almanaque: calendário com os dias e os meses do ano, os feriados, as fases da lua, as festas, etc.; **a. astronómico**: livro ou tabela com dados astronómicos para um determinado período do ano; anuário astronómico que, usualmente, inclui *efemérides* do Sol e de outros corpos celestes, a *equação do tempo*, a *declinação solar*, etc.

almucântara: círculo da *esfera celeste*, de *altura* constante. Trata-se de um círculo menor, paralelo ao *horizonte*.

altura (do Sol): distância angular do centro do disco solar, relativamente ao *plano do horizonte* (os valores negativos indicam que o Sol se encontra abaixo do *horizonte*). A altura do Sol corresponde ao ângulo complementar da *distância zenital* e é medida ao longo do *plano principal* que contém o centro do disco solar. Conjuntamente com o *azimute*, constituem o *sistema de coordenadas horizontais*.

analema: curva sinuosa em forma de “oito”, onde se inscreve, frequentemente, a data de alguns pontos que a constituem. Tradução gráfica da *equação do tempo* (frequentemente no eixo horizontal) e da *declinação solar* (frequentemente no eixo vertical). A sombra projectada de um ponto à mesma *hora legal* todos dias, ao longo de um ano, descreverá um *analema*. Usualmente, o *analema* é assinalado ao meio-dia, mas pode ser assinalado a qualquer outra hora. (Ver *equação do tempo*).

ângulo da linha de hora: ângulo que, no *quadrante*, a *linha de hora* forma com a linha do meio-dia. O ângulo aumenta à medida que o dia vai decorrendo, tendo-se convencionado que o valor é positivo para as horas vespertinas. No hemisfério norte, num *relógio horizontal*, o ângulo aumenta no sentido indirecto, enquanto que num *relógio vertical* virado a Sul, o ângulo aumenta no sentido directo.

ângulo horário (do Sol): ângulo correspondente à posição do Sol, ao longo da sua órbita (aparente) diária. O *ângulo horário* é medido para poente, a partir do *meridiano celeste do local* e evolui 15° por hora. Às 15H00 (*tempo aparente local*), o ângulo horário é +45° e às 9H00, é -45°.

ano: período de tempo que a Terra gasta a completar uma órbita, em torno do Sol. O **ano trópico** é o intervalo de tempo que o Sol despende a percorrer 360° de longitude da *eclíptica* e tem a duração de 365,24219 dias.

azimute (do Sol): o ângulo da posição do Sol, medido em projecção horizontal, a partir do Sul. Os ângulos medidos a Poente são positivos, enquanto que os medidos a Nascente são negativos. O *azimute* do ponto cardinal Oeste é 90°, do Norte é ±180°, do Este é -90°. O *azimute* faz parte do *sistema de coordenadas horizontais*.

base do gnómon: área de fixação do *gnómon* no prato do relógio de sol.

C

centro do quadrante: centro do *relógio solar*. Ponto onde as *linhas de hora* e o *estilete* se intersectam. Este ponto nem sempre se situa dentro dos limites do *quadrante*, p. e. no *relógio polar* e nos *relógios verticais orientados* a E ou W, as *linhas de hora* e o *estilete* são paralelas entre si – o que significa que o centro dos *quadrantes* respectivos é transferido para o infinito. Nos relógios mais comuns, o centro do *quadrante* coincide com a base do *gnómon*. No caso do *gnómon* ter espessura apreciável, devemos considerar que o *quadrante* tem dois centros.

meridiano horário: *meridiano celeste* que contém o Sol, às horas inteiras. Na maioria dos *relógios de sol*, não se tem em consideração a *equação do tempo*, pelo que eles nos indicam a *hora solar* e não a *hora legal*. Ao representar as *linhas de hora* através de segmentos rectilíneos, estamos a partir do princípio (não verdadeiro) de que o movimento aparente do Sol é regular e que todos os dias do ano, à mesma hora, o Sol se situa no mesmo *círculo horário* (independentemente da *declinação* variar).

co-latitude: ângulo complementar da *latitude* geográfica de um local.

correção da longitude: esta operação visa determinar a correspondência do *tempo aparente local* e do *tempo legal*, sendo um dos dois passos requeridos¹. A *correção de longitude* é feita em relação ao *meridiano* central do respectivo *fuso horário*, acrescentando

¹ O outro passo corresponde ao ajustamento da *equação do tempo*.

4 minutos por cada grau de longitude a Oeste e subtraindo 4 minutos por cada grau de longitude a Este. A *correção de longitude* pode ser incorporada no relógio de sol.

culminação (do Sol): passagem do Sol pelo *meridiano celeste do lugar*. O Sol tem duas *culminações* diárias: a *culminação superior* (acima do *pólo celeste*) e a *culminação inferior* (abaixo do *pólo celeste*).

D

declinação (de uma parede ou de um muro verticais): o ângulo, medido na horizontal, que a normal à parede ou ao muro faz com a direcção Sul. Uma parede orientada a Sul tem *declinação* nula, virada a Poente tem *declinação* positiva e virada a Nascente tem *declinação* negativa. (Não confundir com *declinação* de um astro – ver *declinação do Sol*).

declinação (do Sol): distância angular do Sol, acima ou abaixo do *equador celeste*. O valor da *declinação do Sol* varia ao longo do ano entre 0° , nos equinócios, e $\pm 23,4^\circ$ (aproximadamente) nos solstícios. A *declinação* é positiva quando o Sol se situa acima do *equador celeste* e é negativa quando se situa abaixo.

declinação magnética: ângulo entre o *pólo N* verdadeiro e o *pólo N* magnético. O emprego de bússolas para alinhar um relógio de sol não é aconselhável, mesmo que se proceda à devida correção, dado que o aço, e mesmo algumas pedras, podem interferir com a agulha.

dia sideral: período de tempo marcado pela passagem sucessiva de qualquer estrela “fixa” no *meridiano local*. Um *dia sideral* tem a duração de $23^{\text{h}}56^{\text{m}}4,1^{\text{s}}$ de *tempo solar médio*. O *dia sideral* tem menor duração do que o *dia solar verdadeiro* devido à Terra rodar em torno do Sol no mesmo sentido em que roda sobre si mesma e, avançando na sua órbita, ter de rodar cerca de 4 minutos adicionais para o Sol surgir no mesmo *meridiano celeste do lugar*.

dia solar médio: período de tempo marcado pela passagem sucessiva do *Sol médio* (fictício) no *meridiano local*. Corresponde a um ciclo de 24 horas. É o significado usual do vocábulo “dia”.

dia solar verdadeiro: período de tempo marcado pela passagem sucessiva do Sol no *meridiano local*. A duração do *dia solar verdadeiro* oscila entre $23^{\text{h}}59^{\text{m}}30^{\text{s}}$ e $24^{\text{h}}00^{\text{m}}30^{\text{s}}$.

distância (ou ângulo) zenital: ângulo complementar da *altura* de um corpo celeste.

divisa: frase, lema ou verso inscrito no relógio, que, normalmente, expressa um sentimento relacionado com a passagem do tempo. As divisas foram especialmente populares no séc. XIX.

E

eclíptica: é um grande círculo da *esfera celeste*, definido pelo plano da órbita terrestre em torno do Sol. As órbitas da Lua e da grande maioria dos outros planetas não se afastam muito deste plano. É o plano onde ocorrem os *eclipses*, dado que o Sol se encontra sempre na *eclíptica*.

efemérides: tabela astronómica que regista, em intervalos de tempo regulares, a posição relativa dos corpos celestes. Os *almanaques astronómicos* incluem sempre as *efemérides* do Sol.

eixo polar: a recta definida pelos pólos Norte e Sul, em torno do qual a Terra roda; eixo de rotação da Terra.

equador celeste: intersecção do plano definido pelo equador terrestre e a *esfera celeste*.

equação do tempo: a diferença entre *tempo aparente local* e o *tempo solar médio*. Os valores oscilam entre os extremos de, aproximadamente, +14 minutos, em Fevereiro, e -16 minutos, em Outubro. A *equação do tempo* é consequência da órbita da Terra ser elíptica e do *eixo polar* ser oblíquo relativamente ao plano da *eclíptica*. É um dos dois parâmetros a ter em conta quando se pretende determinar a correspondência do *tempo aparente local* e do *tempo legal* (o outro parâmetro é a *correção da longitude*). A *equação do tempo* pode ser incorporada num *relógio de sol*, substituindo as *linhas de hora* por *analemas*, ou

substituindo o *estilete* por uma superfície de revolução (espécie de “*analema*” tridimensional). (Ver *analema*).

equador terrestre: o grande círculo do globo, equidistante dos *pólos*. No *equador*, a *latitude* é nula.

equinócios (vernal e outonal): astronomicamente, são os pontos de intersecção do plano da *eclíptica* e do *equador celeste*. O *equinócio vernal* ocorre em 20 ou 21 de Março, enquanto que o *equinócio outonal* ocorre em 22 ou 23 de Setembro. A *declinação do Sol* nos equinócios é nula.

esfera armilar: réplica da *esfera celeste*, constituída por anéis que representam o *equador*, os *trópicos*, o *meridiano de Greenwich* e, também, o *eixo polar*, etc. A *esfera armilar* constitui a estrutura de um tipo de relógio solar.

esfera celeste: superfície esférica imensamente grande e imaginária – concêntrica com a Terra – na qual, aparentemente, as estrelas se situam.

estações do ano: na sequência do movimento de translação da Terra, as estações do ano podem ser definidas astronomicamente, a partir da posição do Sol na *esfera celeste*, da seguinte forma (hemisfério norte):

Primavera: do *equinócio vernal* ao *solstício* de Verão; Verão: do *solstício* de Verão ao *equinócio outonal*; Outono: do *equinócio outonal* ao *solstício* de Inverno; Inverno: do *solstício* de Inverno ao *equinócio vernal*.

Este (E): um dos *pontos cardeais*, situado no horizonte, a 90° do Norte (medidos no sentido indirecto). Nos *equinócios*, o Sol nasce exactamente a *Este*.

estilo/estilete: a linha (ou aresta) espacial, cuja sombra projectada permite fazer a leitura da hora no *quadrante*. Um *gnómon* materializado em chapa metálica, por exemplo, terá uma determinada espessura e, conseqüentemente, contará com dois *estiletas*, um em cada face lateral, que funcionarão, alternadamente, nos períodos da manhã e da tarde. Se o *gnómon* for tubular, o *estilo* será a linha virtual definida pelo eixo do tubo e a leitura da hora deverá ser feita a partir do centro da sombra projectada. (Ver *gnómon*).

Estrela Polar: estrela da Ursa Menor que, actualmente, se encontra nas imediações de um dos *pólos celestes*.

excentricidade (da órbita terrestre): diferença de comprimento dos eixos maior e menor da órbita elíptica da Terra, que tem o valor actual aproximado de 0,0167 e que está a diminuir, lentamente. A *excentricidade* nula corresponderia a uma órbita circular. A *excentricidade* da órbita terrestre é um dos factores que está na origem da *equação do tempo*. (Ver *leis de Kepler*).

F

fio-de-prumo: fio no qual é suspenso um peso (frequentemente em chumbo), usado para definir a direcção vertical. O *plano do horizonte* é perpendicular ao *fio-de-prumo*.

fuso horário: cada uma das regiões geográficas onde é adoptado o mesmo *tempo legal*. São 24 regiões terrestres delimitadas por semi-meridianos separados 15° entre si. Idealmente, o *tempo legal* adoptado em cada zona corresponde ao *tempo solar médio* no *meridiano* central do respectivo *fuso* e difere 1 hora entre duas zonas adjacentes.

Por razões de integridade geográfica, política e administrativa, algumas áreas de território não são delimitadas rigidamente pelos *meridianos* que definem os *fusos horários*, sendo associadas a áreas territoriais adjacentes ou adoptam diferenças horárias menores de 60 minutos, relativamente ao *fuso horário* adjacente.

G

globo: representação esférica da Terra. Embora a forma da Terra corresponda, aproximadamente, a um elipsóide com raios de 6378Km no *equador* e de 6357Km nos *pólos*, a representação da Terra através de uma esfera é usualmente empregue em *gnomónica*.

gnómon ou **gnomon:** componente do relógio solar, a partir de cuja sombra projectada se faz a leitura da hora. Originalmente, *gnómon* correspondia a um pilar ou uma vara vertical, cuja sombra projectada indicava a hora. Neste trabalho, optamos por fazer a distinção entre *gnómon* e *estilo*, embora alguns autores empreguem os dois vocábulos indistintamente. (Ver *estilo/estilete*).

gnómon filamentar: *gnómon* em forma de fio, que, no *relógio díptico*, fica esticado quando este é aberto e fica apto a funcionar.

gnomónica: a ciência relativa aos relógios de sol, que envolve, além de outros, conhecimentos de astronomia, matemática, geometria, perspectiva e design.

H

hemisfério (h. norte e h. sul): metade do globo terrestre, a Norte ou a Sul do *equador*. Note-se que a numeração das *linhas de hora* de um relógio solar desenhado para um local específico da superfície terrestre deverá ser invertida para que o relógio funcione na *latitude* recíproca do outro hemisfério.

hora: genericamente, designa 1/24 de um *dia solar médio*.

hora legal: *tempo legal*.

horas babilónicas: horas contadas a partir do nascer-do-sol (hora zero).

horas itálicas: horas contadas a partir do pôr-do-sol (hora zero).

hora solar: *tempo aparente local*.

horas sazonais: horas antigas, de desigual duração, que resultam da divisão do *período diurno* em 12 partes (“horas”) iguais. A duração da *hora sazonal* varia ao longo do ano e,

por outro lado, a hora diurna tem duração diferente da hora nocturna (excepto nos *equinócios*).

horizonte: linha aparente de intersecção do céu e da Terra. O *horizonte* do observador é o grande círculo da *esfera celeste* formado pelos pontos que distam 90° do *zénite*.

I

inclinação: a *inclinação* de um relógio de sol é, por convenção, o ângulo que a face posterior do mesmo apresenta, relativamente ao *horizonte*, ou – o que é o mesmo – o ângulo que a normal ao *quadrante* forma com o *zénite* do lugar. Um relógio horizontal tem *inclinação* nula. Um relógio inclinado é aquele cuja face posterior do *quadrante* apresenta *inclinação* inferior a 90° , enquanto que um relógio reclinado é aquele que apresenta *inclinação* superior a 90° . Os relógios inclinados podem ser *orientados*, ou seja, virados para um dos quatro pontos cardeais N, S, E e W, ou podem ser *declinados*, ou seja, com orientação casuística.

Nota: estes princípios orientadores não são seguidos por todos os autores.

interstício do meio-dia: hiato ou intervalo na escala de horas de um relógio, devido à espessura do *gnómon*. O *interstício do meio-dia* ocorre quando os raios solares são rasantes às faces laterais do *gnómon*, ou seja, ao meio-dia, nos relógios horizontais ou nos relógios verticais orientados a Sul.

J

K

L

latitude (geográfica de um local): posição angular de um lugar, relativamente ao *equador*. Os valores variam de -90° a $+90^\circ$, sendo positivos no *hemisfério norte* e negativos no *hemisfério sul*.

leis de Kepler (relativas ao movimento dos planetas): três leis, descobertas por Johannes Kepler (1571-1630), relativas às órbitas dos planetas, que são as seguintes:

1. Os planetas descrevem órbitas elípticas, em que o Sol ocupa a posição de um foco.
2. Cada planeta varre áreas iguais em intervalos de tempo iguais (de forma que o movimento é mais acelerado quando o planeta se encontra mais próximo do Sol).
3. Os quadrados dos períodos de revolução dos planetas são proporcionais aos cubos dos semi-eixos maiores das correspondentes órbitas.

linhas de declinação: linhas assinaladas no *quadrante* que traduzem a *declinação solar* num dia determinado. As *linhas de declinação* são, usualmente, hiperbólicas, fazendo-se a sua leitura a partir da sombra projectada de um *nodo*. Através das *linhas de declinação*, que são determinadas em função da variabilidade anual da *altura do Sol*, os *relógios solares* passam a funcionar, simultaneamente, como calendários.

linha de hora: linha inscrita no *quadrante solar* que indica a hora a partir da sombra projectada do *gnómon* ou do *estilete*.

linha do meio-dia: a *linha de hora* que corresponde ao *meio-dia solar*. É a *linha de hora* mais importante, a partir da qual as outras são, normalmente, determinadas. É a *linha de hora* que, mais frequentemente, assume a forma de *analema*.

linha equinocial (de um relógio de sol): é a linha definida pela sombra projectada de um *nodo* nos dias de *equinócio*. Num *quadrante* plano e orientado, a *linha equinocial* corresponde a uma linha perpendicular ao *sub-estilete*.

longitude geográfica: localização angular de um local da superfície terrestre, relativamente ao *meridiano de Greenwich*, de *longitude* nula. A ocidente de Greenwich, as *longitudes* são consideradas positivas e, a oriente, negativas. (Ver *latitude*).

M

meia-noite solar: momento em que o Sol atinge a *altura* mínima (ou, quando o seu *azimute* é 180°). O momento que se situa, aproximadamente, 12 horas após o *meio-dia solar*.

meio-dia solar: o momento diário do *trânsito do Sol*. O momento em que o Sol atravessa o *meridiano local* e alcança a *altura* máxima. O *meio-dia solar* é específico para cada local terrestre (apenas as localidades situadas no mesmo *meridiano* têm a mesma *hora solar*).

meridiana: linha de intersecção do *quadrante* com o *meridiano celeste do lugar*. Linha do meio-dia. Algumas catedrais construídas no Renascimento são dotadas de uma linha *meridiana* no pavimento.

meridiano terrestre: um dos grandes círculos (ou, mais frequentemente, metade desse círculo) que contem os pólos N e S. Todos os pontos de um determinado *meridiano* têm a mesma *longitude* e a mesma *hora solar*.

meridiano celeste do lugar: o mesmo que *meridiano local*.

meridiano de Greenwich: *meridiano* que passa pelo *Royal Greenwich Observatory*, em Londres, que define a origem das *longitudes*.

meridiano local: o mesmo que *meridiano celeste do lugar*. A linha imaginária que une o *zénite* e o *pólo celeste* (norte ou sul). A intersecção do *meridiano local* e do *horizonte* define os pontos cardeais N e S.

N

nadir: ponto da *esfera celeste* diametralmente oposto ao *zénite* do observador.

nascer e pôr-do-sol: a primeira (ou última) aparição diária do Sol acima do horizonte. O nascimento e o ocaso dos corpos celestes ocorrem à *altura* de 0° . No caso do Sol é ligeiramente diferente, devido ao raio do disco solar e à refacção atmosférica.

nodo: idealmente, um ponto, cuja sombra projectada indica o tempo e/ou a data no *quadrante*. Na prática, o *nodo* assume, frequentemente, a forma esférica, podendo ainda corresponder a uma pequena fenda ou à extremidade do *gnómon*.

Norte (N): a intersecção do *meridiano* local e do *horizonte*, na direcção do pólo norte celeste.

nutação: oscilação do eixo de rotação da Terra, descoberta por James Bradley, em 1748, devido à acção gravitacional que a Lua e outros planetas do sistema solar exerce sobre o nosso planeta.

O

obelisco: pedra, frequentemente de grandes dimensões e de secção quadrangular, rematada superiormente por uma pirâmide. No Antigo Egipto, o *obelisco* era usado como símbolo solar.

obliquidade da eclíptica: inclinação entre o plano equatorial da Terra e o da *eclíptica*. O valor médio da *obliquidade* – desprezando a *nutação* da Terra – é de $23^\circ 26' 21''$. O valor da *obliquidade* determina a *latitude* dos *trópicos*.

Oeste (W): um dos pontos cardeais, situado no horizonte, a 90° do Norte (medidos no sentido directo). Nos *equinócios*, o Sol nasce a *Este* e põe-se a *Oeste*.

órbita da Terra: o trajecto elíptico da Terra em torno do Sol.

orientado: diz-se a propósito de um *relógio vertical* virado, rigorosamente, para um dos pontos cardeais N, S, E ou W.

P

paralelo diurno: trajectória aparente do Sol, ao longo de um período de 24 horas. Exceptuando os dias de *equinócio*, trata-se de um círculo menor da *esfera celeste*, de plano perpendicular ao *eixo polar*.

pedestal: *plinto*. Estrutura de suporte de um *relógio de sol*, frequentemente horizontal. O *pedestal*, muitas vezes em pedra, deve conferir ao relógio uma posição mais favorável à leitura da hora.

penumbra: área periférica da mancha de sombra. A formação da *penumbra* na periferia da sombra projectada do *gnómon* deve-se ao facto do Sol não se situar no infinito e se apresentar, a partir da Terra, como um círculo, com o diâmetro aproximado de $0,5^\circ$. Este facto dá origem à indefinição de 2 minutos, na maioria dos relógios de sol.

periélio (terrestre): o ponto da órbita em que a Terra se encontra mais próxima do Sol. O *periélio* ocorre durante a primeira semana de Janeiro. (Ver *leis de Kepler*).

período diurno: período de tempo que decorre entre o nascer e o pôr-do-sol.

período nocturno: período de tempo que decorre entre o pôr e o nascer do Sol.

plano do horizonte: plano definido pelo grande círculo da *esfera celeste*, cujos pontos distam 90° do *zénite*. É o plano tangente à superfície terrestre no local do observador.

plano principal (*ou vertical do astro*): plano obtido através da variação da *altura* do Sol, conservando-se constante o *azimute*. O *plano principal* é perpendicular à *almucântara*.

plinto: *pedestal*.

pólos celestes: pontos de intersecção da *esfera celeste* e do eixo de rotação da Terra. As estrelas rodam, aparentemente, em torno dos *pólos celestes*.

pólos N e S terrestres: os pontos da superfície terrestre com a *latitude* de +90° e -90°, respectivamente.

pontos cardeais (de uma bússola): cada uma das quatro direcções da *rosa-dos-ventos* correspondentes ao Norte (**N**), ao Sul (**S**), ao Este (**E**) e ao Oeste (**W**).

precisão (de um relógio de sol): combinação da *resolução* e da *acuidade* de um relógio. A *precisão* deverá constituir, em nosso entender, uma das características mais importantes de qualquer relógio de sol.

Q

quadrante: mostrador ou prato do *relógio de sol*. Superfície – usualmente plana – do *relógio de sol*, onde estão inscritas as *linhas de hora*. Geralmente, o *quadrante* é o suporte físico do *gnómon* ou do *estilo*.

R

raios solares: raios de luz que alcançam o observador e são provenientes do Sol. Note-se que em *gnomónica* se considera que os raios solares são paralelos, embora este pressuposto não corresponda à realidade. (Ver o conceito de *penumbra*).

relógio de sol: instrumento que permite ler a hora e/ou a data, a partir da posição do Sol na *esfera celeste*, recorrendo-se, para o efeito, à sombra projectada do *estilo* no *quadrante*.

resolução (de um relógio de sol): a menor fracção de tempo assinalada no *quadrante*. Os conceitos de *acuidade* e de *precisão* estão relacionados com o de *resolução*.

rosa-dos-ventos: representação dos quatro *pontos cardeais* e, eventualmente, de outros intermédios. Geralmente, a *rosa-dos-ventos* é constituída por oito, dezasseis ou trinta e dois pontos.

S

sistema de coordenadas equatorias (loais): sistema de coordenadas frequentemente empregue em astronomia, que é definido pelo *equador celeste* e os *pólos*. A *declinação* e o *ângulo horário* são análogos, respectivamente, à *latitude* e à *longitude* terrestre.

sistema de coordenadas horizontais: sistema de coordenadas que se baseia no *azimute* e na *altura* dos corpos celestes.

solstícios (de Verão e de Inverno): datas em que o Sol alcança a *declinação* máxima (+23,4°) e a *declinação* mínima (-23,4°), respectivamente, e que correspondem, usualmente, ao dia mais longo e ao dia mais curto do ano. No hemisfério Norte, os *solstícios* correspondem ao começo do Verão (por volta de 21 de Junho) e ao começo do Inverno (por volta de 21 de Dezembro).

sub-estilete: linha, no plano do *quadrante*, que corresponde à projecção ortogonal do *estilete* no prato do relógio de sol.

Sul (S): um dos pontos cardeais. É a direcção oposta ao *Norte*, marcada pelo *pólo Sul* celeste. É a direcção do Sol ao *meio-dia solar* (no hemisfério Norte).

T

tempo aparente local: tempo solar. Tempo determinado a partir do movimento do Sol, na *esfera celeste*.

tempo legal: tempo legalmente adoptado num determinado território, que tem como base o *tempo universal coordenado (UTC)* e tem em conta os *fusos horários*. É a *hora legal* que os nossos relógios assinalam. Em Portugal Continental, a *hora legal* coincide com o *tempo universal coordenado (UTC)*, durante o período de “hora de Inverno”. Durante o período de “hora de Verão”, a *hora legal* portuguesa corresponde ao *UTC* acrescido de 60 minutos. (Ver *fuso horário* e *tempo universal coordenado*).

tempo médio local: tempo solar corrigido pela *equação do tempo*, mas que não entra em linha de conta com a *longitude* do local. Trata-se de um tempo regular, mas que abrange apenas as localidades situadas no mesmo *meridiano*.

tempo solar médio: medida de tempo baseado, conceptualmente, no movimento diário do *Sol médio*, partindo do princípio de que a velocidade de rotação da Terra é constante.

tempo universal coordenado (UTC): tempo médio de Greenwich, onde a *longitude* é de zero graus. O *meridiano* de referência é o primeiro e a sua zona de influência estende-se de 7,5°W a 7,5°E. (Ver *fuso horário*).

trânsito do Sol: passagem da estrela pelo *meridiano celeste*. Corresponde ao *meio-dia solar*.

trópicos: os dois paralelos da esfera terrestre que delimitam as regiões do globo em que o Sol, duas vezes por ano, quando atinge a *declinação* máxima, passa pelo *zénite*. O t. de Câncer tem 23°26'N de *latitude*, enquanto que o t. de Capricórnio tem 23°26'S.

U

V

vertical do astro (ou *plano principal*): plano obtido através da variação da *altura* do Sol, conservando-se constante o *azimute*. O *plano principal* é perpendicular à *almucântara*.

X

Y

Z

zénite: o ponto da *esfera celeste* que se situa na vertical, acima do observador. Em relação a cada local situado na região tropical, o Sol passa no *zénite* duas vezes por ano. Relativamente ao observador situado nas zonas temperadas e nas regiões polares, o Sol nunca alcança o *zénite*.

Zodíaco: banda da *esfera celeste* que se desenvolve entre -8° e $+8^\circ$, em relação à *eclíptica*. Os babilónios dividiram essa banda em 12 casas ou partes iguais, correspondendo cada uma à posição do Sol durante, aproximadamente, um mês. Os agrupamentos de estrelas, em cada uma dessas partes, receberam o nome de signos – daí a expressão *signos do Zodíaco*.



UNIVERSIDADES LUSÍADA PORTO

FUNDAÇÃO MINERVA Cultura . Ensino . Investigação Científica

RELÓGIOS DE SOL

A geometria do tempo

Luís Filipe Gasparinho Marques Pinto

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre

Porto, 31 de Outubro de 2007



UNIVERSIDADES LUSÍADA PORTO

FUNDAÇÃO MINERVA Cultura . Ensino . Investigação Científica

RELÓGIOS DE SOL

A geometria do tempo

Luís Filipe Gasparinho Marques Pinto

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre

Orientador: Prof. Doutor Arq. Manuel Jorge Rodrigues Couceiro da Costa

Co-orientador: Prof. Doutor João José de Faria Graça Afonso Lima

Porto, 31 de Outubro de 2007

DEDICATÓRIA

À memória dos génios do passado, que se destacaram, ao longo do tempo, nos domínios da Geometria e da Astronomia. Contribuo humildemente, desta forma, para saldar a dívida eterna que temos para com esses gigantes do génio humano.

Seguramente, pouco valor tem este trabalho, produzido nos dias de hoje. Esse facto, no entanto, não impede a emersão da ideia secreta e deliciosa de que, se tivesse sido realizado há 2 394 anos, teria proporcionado ao seu autor o livre acesso à *Academia* de Platão(*)).

(*) A *Academia* – considerada a primeira Universidade do Mundo – foi fundada por Platão, em 387 a.C. Por cima da porta de entrada, tinha a seguinte inscrição: «**Acesso interdito a quem não for versado em Geometria**» [“*Let no one unversed in geometry enter here*” é a versão consagrada da inscrição na língua inglesa.].

AGRADECIMENTOS

Exprimo o meu profundo reconhecimento ao Professor Doutor Arquitecto Manuel Jorge Rodrigues Couceiro da Costa e ao Professor Doutor João José de Faria Graça Afonso Lima. Sem os seus preciosos contributos, este trabalho seria, seguramente, pobre, do ponto de vista científico.

Agradeço, ainda, à minha mulher. Paradoxalmente, é a sua prisão no trabalho árduo do dia-a-dia que me dá a liberdade (económica) para me consagrar, apenas, aquilo que me arrebatava.

RESUMO

O presente trabalho versa sobre Gnomónica. A determinação das linhas de hora dos relógios de sol, através do recurso a métodos exclusivamente gráfico-geométricos, constitui a principal componente inovadora da dissertação. Este estudo está estruturado em três capítulos. Devido ao facto de alguns conceitos científicos envolvidos pertencerem ao domínio restrito da Gnomónica e de outros se inscreverem na vasta área de conhecimento da Astronomia – áreas adjacentes à Arquitectura, mas distintas desta – decidimos incluir, em apêndice, um glossário de termos associados à Gnomónica, para facilitar a leitura a quem não está familiarizado com a respectiva terminologia.

No primeiro capítulo, reflectimos sobre a concepção e a medição do Tempo. A evolução civilizacional das sociedades humanas é acompanhada pela organização, cada vez mais eficaz, do Tempo. Apesar dos múltiplos dispositivos empregues, tradicionalmente, na medição do tempo – como as ampulhetas, as velas e as lamparinas graduadas de azeite – durante mais de vinte séculos, o relógio de sol foi o instrumento mais fiável da medição do tempo, na história da humanidade.

O relógio mecânico e o relógio de sol foram contemporâneos e, de alguma forma cúmplices, durante mais de cinco séculos da história europeia. Os cronómetros eram pouco fiáveis e, por isso, revelava-se absolutamente necessário acertar-se, sistematicamente, os relógios mecânicos pelos relógios de sol. Na segunda metade do século XVII, Christiaan Huygens associou o relógio mecânico de escape ao movimento regular do pêndulo e, desta forma, conseguiu reduzir a margem de erro dos relógios de cerca de 15 minutos para 15 segundos por dia.

Em 1880, os irmãos Pierre e Jacques Curie descobriram que uma lâmina de quartzo, colocada no vácuo, vibra 32 758 vezes por segundo. Esta descoberta esteve na origem da indústria do relógio a quartzo, decorridos 90 anos. O relógio atómico serve-se da oscilação regular de átomos para medir o tempo, sendo regulado pelo ritmo natural dos átomos de cézio, rubídio ou hidrogénio. Em 1967, o conceito do “segundo” sofreu uma alteração profunda – deixou de ser uma fracção (1/86 400) do *dia solar médio* para passar a ser o período de tempo em que o átomo de cézio 133 completa 9 192 631 770 oscilações.

O segundo capítulo, que constitui o corpo central da dissertação, é iniciado com a enumeração dos principais tipos de relógio de sol. Face à imensa disparidade de tipologias e à necessidade absoluta de delimitar o tema em foco, decidimos restringir o âmbito do

estudo aos nove tipos de relógios mais usuais, que têm em comum o facto de serem providos de *quadrante* plano e de *estilo polar*. Em cada subcapítulo, é feita a apresentação de um tipo específico de relógio de sol, descrevendo-se as suas características gerais, o seu funcionamento ao longo do dia e ao longo do ano e exemplifica-se como se determina as *linhas de hora*, por processos exclusivamente geométricos.

No capítulo três, discorremos sobre a importância actual dos relógios de sol, do ponto de vista simbólico, histórico e científico. É a *hora solar* que rege o ritmo da vida à superfície da Terra. O homem moderno é o único ser a viver à margem dos ritmos da Natureza, emparedado num tempo meticulosamente constante, artificial e convencional. Os relógios mecânicos, de quartzo ou atómicos anunciam de um modo frio, um tempo progressivamente mais digital e menos biológico, dissecado em fracções cada vez menores, em total ruptura com a hora solar e o ritmo natural terrestre. Pelo contrário, os relógios de sol, pela sua relação directa com o astro que rege a vida no nosso planeta, conferem ao tempo uma dimensão cósmica.

Do ponto de vista histórico, os relógios de sol antigos que chegam até nós permitem-nos descortinar os modelos dos sistemas vigentes de medição do tempo, nas respectivas civilizações. Analisando, criteriosamente, os instrumentos de medição do tempo a partir do movimento do Sol no firmamento, poderemos avaliar o nível de desenvolvimento científico dos respectivos povos, principalmente no que diz respeito à Astronomia e à Matemática – duas áreas estruturantes do conhecimento, sobretudo no passado.

Do ponto de vista científico, o funcionamento, a concepção e a construção de relógios de sol permite-nos adquirir e consolidar conhecimentos, entre outras áreas, de astronomia, matemática, geometria, perspectiva e design.

A conclusão principal a que chegámos é que os relógios de sol deixaram de ser úteis, no cumprimento restrito da sua função, ao homem contemporâneo, que dispõe de tecnologia cada vez mais sofisticada para medir o tempo, de acordo com regras que ele mesmo convencionou. Actualmente, não é o objecto, enquanto instrumento de medição do tempo que nos fascina, mas sobretudo o objecto, enquanto lugar de confluência de saberes. Acima de tudo, interessa-nos o relógio de sol como símbolo cósmico e, a outro nível, como laboratório de matemática, trigonometria e geometria.

Apesar de os primeiros *gnómons* (obeliscos) terem sido erigidos em 3 500 a.C., no Egipto, concluímos a dissertação esboçando o princípio de funcionamento de alguns modelos de relógios de sol inéditos, que, decorridos 5 500 anos, estarão ainda por explorar.

PREÂMBULO

O presente trabalho versa sobre *Gnomónica*. O objectivo principal da dissertação é descortinar e apresentar métodos puramente geométricos para determinação das *linhas de hora* a inscrever nos vários tipos de relógios de sol. Embora seja possível determinarem-se as *linhas de hora* por processos matemáticos recorrendo à trigonometria, parece-nos que a abordagem gráfico-geométrica está mais de acordo com a formação do Arquitecto e, nessa medida, deverá ser privilegiada numa Faculdade de Arquitectura.

Os livros que conhecemos, embora grande parte apresente, paralelamente, métodos gráficos, prestam mais atenção aos métodos matemáticos. Em algumas obras, verifica-se falta de clareza expositiva, devido ao facto de os autores apresentarem um método gráfico para determinado modelo de relógio e, imediatamente a seguir, um método matemático para outro modelo, omitindo as razões que estiveram na base dessa opção¹. Grande parte dos traçados geométricos apresentados ao longo desta dissertação foram descortinados pelo autor, não sendo elevado o seu grau de dificuldade.

Devido ao facto de alguns conceitos científicos envolvidos pertencerem ao domínio restrito da *Gnomónica* e de outros se inscreverem na vasta área de conhecimento da Astronomia – áreas adjacentes à Arquitectura mas distintas desta – decidimos incluir, em apêndice, um glossário de termos associados à *Gnomónica*.

Ao longo do trabalho, começamos por reflectir sobre o paralelismo entre a evolução civilizacional das sociedades humanas e a organização, cada vez mais rigorosa, do tempo. Durante mais de vinte séculos de história da humanidade, o relógio de sol, meritoriamente, alcançou o estatuto de instrumento mais fiável de medição do tempo.

Face à imensa disparidade de tipologias e à necessidade incontornável de delimitar o tema em foco², decidimos restringir o âmbito do estudo aos nove tipos de relógios de sol mais usuais, que têm em comum o facto de serem providos de *quadrante* plano e de *estilo* alinhado pelo *eixo polar*.

Na parte final do trabalho, tentaremos demonstrar que os relógios de sol –

¹ Consideramos a obra idónea da autoria de Albert E. Waugh, **Sundials Their Theory and Construction**, um bom exemplo do que foi afirmado acima. Embora nos pareça que, neste caso concreto, o autor terá enveredado pela via que, em seu entender, é mais fácil.

² De outra forma, acabaríamos, seguramente, por elaborar uma dissertação, com mais de 200 páginas.

precisamente por já não regularem as nossas actividades quotidianas – deixaram de ser obsoletos para ser eternamente actuais, na medida em que estão aptos a registar, com precisão, o movimento eterno³ do Sol no firmamento.

De mero instrumento de medição do tempo e tendo sobrevivido às eras do relógio a quartzo e do relógio atómico, o relógio de sol alcançou, paradoxalmente, o estatuto de intemporal. Corroborando esta afirmação, sublinha-se o facto de existirem dezenas, ou mesmo centenas, de associações em plena actividade, espalhadas pelo Mundo, que se dedicam a estudar, preservar e divulgar os relógios de sol⁴.

³ A eternidade aludida é relativa à escala de tempo da espécie humana. Em rigor, num futuro mais longínquo do que o nosso, o Sol extinguir-se-á e a Terra irá desmaterializar-se; isso ocorrerá dentro de, estimadamente, cinco mil milhões de anos.

⁴ <http://www.sundials.co.uk/natsocs.htm> é o site da Internet onde são anunciadas algumas das associações mais importantes do Mundo. Nesse sítio, são referenciadas 12 instituições de relógios de sol localizadas em 11 países. Consulta realizada em 2007-10-16.

ÍNDICE DO TEXTO

Capítulo I – O Tempo

1. A medição do tempo	1
1.1. A concepção do Tempo	1
1.2. O fraccionamento do tempo	1
1.3. A medição do tempo diurno	3
1.4. A medição do tempo nocturno	7
1.5. A contemporaneidade do relógio mecânico e do relógio de sol	7
1.6. Do relógio de quartzo ao relógio atómico	9
2. A <i>esfera celeste</i> como réplica da Terra	11
2.1. A <i>esfera celeste</i>	11
2.1.1. Sistema de projecção radial	11
2.1.2. Movimentos da <i>esfera celeste</i>	12
2.2. Coordenadas geográficas	13
2.2.1. <i>Latitude</i> e <i>longitude</i>	13
2.2.2. Os pontos cardeais	15
2.2.3. Influência da posição geográfica nos relógios de sol	15
3. Princípios que regem os relógios de sol	16
3.1. Movimentos aparentes do Sol	16
3.1.1. Movimentos de rotação e de translação da Terra	16
3.1.2. A pressuposta regularidade dos movimentos aparente do Sol	19
3.2. Funcionamento dos relógios de sol	20
3.2.1. Componentes do relógio de sol	20
3.2.2. Complementaridade dos vários tipos de relógios	21
4. Correspondência do <i>tempo solar</i> e do <i>tempo legal</i>	24
4.1. A <i>equação do tempo</i>	24
4.1.1. Definição	24
4.1.2. A excentricidade da órbita terrestre	24
4.1.3. A <i>obliquidade da eclíptica</i>	25
4.1.4. <i>Equação do tempo</i>	26
4.2. <i>Analema</i>	28
4.2.1. Definição	28

4.2.2. Oscilação meridional e transversal do Sol na <i>esfera celeste</i>	29
4.2.3. <i>Analemas e linhas de hora</i>	32
4.3. Conversão do <i>tempo aparente local</i> em <i>tempo legal</i> e vice-versa	35
4.3.1. Acerto da <i>longitude</i> e ajuste do <i>tempo aparente local</i>	35
4.3.2. Exemplificação	35
4.3.3. Sistematização	36

Capítulo II – A geometria dos relógios de sol

1. Descrição sumária e classificação geral dos principais tipos de relógios de sol	38
1.1. Classificação dos relógios em função dos diferentes métodos de transposição da posição do Sol para o <i>quadrante</i>	38
1.1.2. Relógios em que a hora é determinada a partir da direcção dos raios solares	39
1.1.2.1. Exemplos de tipologias	39
1.1.3. Relógios em que a hora é determinada a partir do <i>azimute</i> do Sol	40
1.1.3.1. Exemplos de tipologias	40
1.1.4. Relógios em que a hora é assinalada a partir da <i>altura</i> do Sol	42
1.1.4.1. Exemplos de tipologias	43
1.1.5. Relógios em que a hora é determinada a partir do respectivo <i>meridiano horário</i> ...	44
1.1.5.1. Exemplos de tipologias	44
1.2. Casos especiais	46
1.3. Conclusão	48
2. Relógios de sol de <i>quadrante</i> plano e providos de <i>estilo</i> polar	49
2.1. Relógios de <i>estilo</i> perpendicular ao <i>quadrante</i>	49
2.1.1. Relógio equatorial	49
2.1.1.1. Considerações gerais	49
2.1.1.2. Traçado das <i>linhas de hora</i>	50
2.1.1.3. Período diurno útil	51
2.1.1.4. Considerações finais	53
2.2. Relógios de <i>estilo</i> paralelo ao <i>quadrante</i>	53
2.2.1. Relógio polar	53
2.2.1.1. Considerações gerais	53
2.2.1.2. Traçado geométrico das <i>linhas de hora</i>	54
2.2.1.3. Período diurno útil	56
2.2.2. Relógio vertical orientado a Nascente ou a Poente	56

2.2.2.1. Considerações gerais	56
2.2.2.2. Traçado geométrico das <i>linhas de hora</i>	57
2.2.2.3. Período diurno útil	58
2.2.2.4. Considerações finais	58
2.3. Relógios de <i>estilo</i> inclinado relativamente ao <i>quadrante</i>	60
2.3.1. Relógio horizontal	60
2.3.1.1. Considerações gerais	60
2.3.1.2. Traçado geométrico das <i>linhas de hora</i>	61
2.3.1.3. Outro método geométrico	63
2.3.1.4. Correção da <i>longitude</i>	64
2.3.1.5. Adaptação a diferentes <i>latitudes</i>	65
2.3.1.6. Espessura do <i>gnómon</i>	66
2.3.2. Relógio vertical orientado a Sul	68
2.3.2.1. Considerações gerais	68
2.3.2.2. Traçado geométrico das <i>linhas de hora</i>	69
2.3.2.3. Período diurno útil	71
2.3.2.4. Considerações finais	72
2.3.3. Relógio vertical orientado a Norte	73
2.3.3.1. Considerações gerais	73
2.3.3.2. Período diurno útil	73
2.3.3.3. Traçado geométrico das <i>linhas de hora</i>	75
2.3.4. Relógio vertical declinado	76
2.3.4.1. Considerações gerais	76
2.3.4.2. Período diurno útil	77
2.3.4.3. Traçado geométrico das <i>linhas de hora</i> , a partir de um <i>quadrante</i> horizontal	78
2.3.4.4. Outro método geométrico para determinação das <i>linhas de hora</i>	79
2.3.5. Relógio inclinado orientado	81
2.3.5.1. Considerações gerais	81
2.3.5.2. <i>Quadrante</i> inclinado e orientado a Sul ou a Norte	82
2.3.5.3. <i>Quadrante</i> inclinado orientado a Nascente ou a Poente	84
2.3.6. Relógio declinado e inclinado	85
2.3.6.1. Considerações prévias	85
2.3.6.2. Determinação das <i>linhas de hora</i>	86
2.3.6.3. Determinação da inclinação do <i>estilo</i>	89

2.3.6.4. Considerações finais	90
3. Reciprocidade entre os vários tipos de relógios de sol	91

Capítulo III – Os relógios de sol na actualidade

1. Função e utilidade dos relógios de sol	95
1.1. Simbologia	95
1.2. Contributo histórico	96
1.3. Contributo científico	97
1.3.1. O relógio equatorial como réplica da <i>esfera celeste</i>	97
1.3.2. Conceitos astronómicos deduzidos a partir do relógio equatorial	98
1.4. Actualidade dos relógios de sol	99
2. Modelos por inventar	101
2.1. Relógios prismáticos de arestas paralelas ao <i>eixo polar</i>	101
2.2. Relógios cilíndricos e relógios de múltiplos <i>estilos</i>	104
2.3. Relógios de <i>gnómons</i> paralelos aos <i>meridianos horários</i>	106

Capítulo IV – Conclusões

1. O Tempo	109
2. A geometria dos relógios de sol	109
3. Os relógios de sol na actualidade	110

ÍNDICE DE FIGURAS

Capítulo I – O Tempo

Fig. 1 – A correspondência da inclinação do <i>gnómon</i> e da <i>latitude</i> geográfica	4
Fig. 2 – Independentemente da altura do Sol, a direcção da sombra projectada será constante ao longo do ano, à mesma hora, se o <i>gnómon</i> for paralelo ao <i>eixo polar</i>	4
Fig. 3 – Os relógios de sol são réplicas da <i>esfera celeste</i> , em que o <i>gnómon</i> corresponde ao <i>eixo polar</i>	5
Fig. 4 – O relógio de sol hemisférico como réplica perfeita da <i>esfera celeste</i>	5
Fig. 5 – Transeuntes acertando o relógio de bolso pela <i>meridiana</i> traçada na fachada de um edifício	6
Fig. 6 – Clepsidra	6
Fig. 7 – A duração do <i>dia solar</i> é maior do que a do <i>dia sideral</i>	13
Fig. 8 – <i>Equador</i> , <i>paralelos</i> e <i>meridianos</i> terrestres	14
Fig. 9 – <i>Longitude</i> e <i>latitude</i> de um ponto da superfície terrestre	14
Fig. 10 – O horizonte, a direcção vertical, os pontos cardeais e a direcção do <i>gnómon</i> , num local da superfície terrestre	15
Fig. 11 – Movimentos de rotação e de translação da Terra	16
Fig. 12 – Vistas da Terra, a partir do Sol, nos solstícios e nos equinócios	17
Fig. 13 – Confronto da concentração de calor, no solstício de Verão e no solstício de Inverno	17
Fig. 14 – Percursos aparentes do Sol na <i>esfera celeste</i>	18
Fig. 15 – O percurso do Sol, relativamente ao horizonte	19
Fig. 16 – Os dois componentes fundamentais do relógio de sol	20
Fig. 17 – Os <i>meridianos horários</i> são definidos através dos raios solares rasantes ao <i>gnómon</i>	21
Fig. 18 – <i>Quadrantes</i> horizontal, vertical e equatorial de <i>gnómon</i> comum	22
Fig. 19 – Ao longo do ano, as distintas posições do Sol no firmamento, à mesma hora, definem um <i>analema</i>	29
Fig. 20 – A variação anual da <i>declinação</i> do Sol traduz-se no alongamento da figura do <i>analema</i>	30
Fig. 21 – A <i>equação do tempo</i> traduz-se na oscilação lateral do <i>analema</i>	30
Fig. 22 – <i>Analema</i> obtido em superfície paralela ao <i>eixo polar</i>	31

Fig. 23 – As <i>linhas de declinação</i> são hiperbólicas	32
Fig. 24 – <i>Analema</i> obtido em superfície horizontal para a <i>latitude</i> 41°N	33
Fig. 25 – A substituição das <i>linhas (rectas) de horas</i> por <i>analemas</i>	34

Capítulo II – A geometria dos relógios de sol

Fig. 26 – Relógio de tecto	40
Fig. 27 - Heliocronómetro	40
Fig. 28 – Relógio analemático	41
Fig. 29 – Projecção oblíqua de uma circunferência inclinada	42
Fig. 30 – Relógio do pastor	43
Fig. 31 – Relógio anelar perfurado	43
Fig. 32 – Relógio capuchinho	44
Fig. 33 – Relógio prismático de arestas paralelas ao <i>eixo polar</i>	44
Fig. 34 – Relógio cilíndrico, de geratrizes paralelas ao <i>eixo polar</i> e directriz circunferencial	45
Fig. 35 – Relógio cilíndrico, de geratrizes paralelas ao <i>eixo polar</i> e directriz de curvatura variável	45
Fig. 36 – Relógio esférico de <i>gnómon</i> móvel e complanar com os <i>meridianos</i>	46
Fig. 37 – Esfera armilar	46
Fig. 38 – Relógio bifilamentar	47
Fig. 39 – Relógio de <i>gnómon</i> cónico	47
Fig. 40 – Vista nascente do relógio equatorial	50
Fig. 41 – Vista superior do relógio equatorial	50
Fig. 42 – A necessidade de duplicação dos <i>quadrantes</i> no relógio equatorial	51
Fig. 43 – O duplo <i>quadrante</i> de um relógio equatorial	51
Fig. 44 – Vista nascente da <i>esfera celeste</i>	52
Fig. 45 – Determinação do comprimento mínimo do <i>estilo</i>	53
Fig. 46 – Versão em que os <i>quadrantes</i> estão virados para o interior	53
Fig. 47 – Determinação das <i>linhas de hora</i> num <i>quadrante</i> polar	55
Fig. 48 – No relógio polar, a distância das linhas das 9H00 e das 15H00 à <i>meridiana</i> é igual à altura do <i>gnómon</i>	55
Fig. 49 – Determinação do período diurno útil do <i>quadrante</i> polar	56
Fig. 50 – Determinação das <i>linhas de hora</i> num <i>quadrante</i> orientado a nascente	57
Fig. 51 – Determinação do período diurno útil do <i>quadrante</i> orientado a nascente	58

Fig. 52 – Determinação das <i>linhas de hora</i> do <i>quadrante</i> virado a Poente	59
Fig. 53 – No relógio horizontal, a <i>meridiana</i> corresponde à linha das 12H00	60
Fig. 54 – Determinação das <i>linhas de hora</i> de um relógio horizontal	61
Fig. 55 – Numeração das <i>linhas de hora</i> do relógio horizontal	62
Fig. 56 – Rebatimento do plano do <i>equador</i> , no sistema diédrico	63
Fig. 57 – As <i>linhas de hora</i> resultam da intersecção dos <i>meridianos</i> com o <i>quadrante</i>	63
Fig. 58 – Determinação das <i>linhas de hora</i> do relógio horizontal, a partir de uma superfície cilíndrica	64
Fig. 59 – Correção da <i>longitude</i> num relógio horizontal	65
Fig. 60 – Adaptação do relógio horizontal a diferentes <i>latitudes</i>	66
Fig. 61 – A espessura do <i>gnómon</i> poderá levar à divisão do <i>quadrante</i>	67
Fig. 62 – Relógios verticais orientados e relógios declinados	68
Fig. 63 – Relógio vertical orientado a Sul	69
Fig. 64 – Determinação das <i>linhas de hora</i> de um relógio vertical orientado a Sul	69
Fig. 65 – Numeração das <i>linhas de hora</i> do relógio orientado a Sul	70
Fig. 66 – Rebatimento do plano do <i>equador</i> , em tripla projecção ortogonal	70
Fig. 67 – Determinação do período diurno útil do relógio orientado a Sul	71
Fig. 68 – Relógio duplo (horizontal e vertical/Sul) de <i>gnómon</i> comum	72
Fig. 69 – Relógio vertical orientado a Norte	73
Fig. 70 – Determinação do período diurno útil do relógio orientado a Norte	74
Fig. 71 – Correspondência das <i>linhas de hora</i> dos <i>quadrantes</i> verticais norte e sul	75
Fig. 72 – Determinação das <i>linhas de hora</i> do <i>quadrante</i> orientado a Norte.....	76
Fig. 73 – Determinação do período diurno útil do relógio vertical declinado	77
Fig. 74 – Determinação das <i>linhas de hora</i> de um relógio vertical declinado, recorrendo a um relógio horizontal	78
Fig. 75 – Determinação das <i>linhas de hora</i> de um relógio vertical declinado, recorrendo ao rebatimento do plano equatorial	80
Fig. 76 – Relógios horizontal, verticais e inclinados, orientados e declinados	81
Fig. 77 – Determinação das <i>linhas de hora</i> de relógios inclinados orientados a Sul ou a Norte	82
Fig. 78 – Correspondência dos relógios inclinados com os respectivos relógios horizontais de diferentes <i>latitudes</i>	83
Fig. 79 – Correspondência de um relógio inclinado e orientado e o relógio polar ou o relógio equatorial	83

Fig. 80 – Determinação das <i>linhas de hora</i> de um relógio inclinado e orientado a Nascente	84
Fig. 81 – Determinação das dimensões e da inserção do <i>gnómon</i> no relógio inclinado e orientado	85
Fig. 82 – Vista sul dos <i>meridianos horários</i> , do <i>equador celeste</i> e dos <i>trópicos</i>	85
Fig. 83 – Projecção horizontal dos vértices do <i>quadrante</i> declinado e inclinado	86
Fig. 84 – Determinação do contorno da projecção vertical do <i>quadrante</i>	86
Fig. 85 – Determinação das <i>linhas de hora</i> , através da intersecção das geratrizes de uma superfície cilíndrica com o <i>quadrante</i>	87
Fig. 86 – Determinação dos traços do plano do <i>quadrante</i> e respectivo rebatimento	88
Fig. 87 – Determinação do <i>sub-estilete</i> e da inclinação do <i>estilo</i> relativamente ao <i>quadrante</i>	89
Fig. 88 – Vista frontal do <i>quadrante</i> inclinado e declinado	90
Fig. 89 – Relógios inclinados e reclinados	91
Fig. 90 – Correspondência entre os vários tipos de relógios de sol	92

Capítulo III – Os relógios de sol na actualidade

Fig. 91 – No <i>equador celeste</i> , o Sol desloca-se à velocidade de 15° por hora	101
Fig. 92 – Relógio prismático, em que as bases são cruciformes	102
Fig. 93 – Bases de relógios prismáticos, em forma de hexagramas	103
Fig. 94 – Bases de relógios prismáticos, em forma de polígonos estrelados (octógono e eneágono)	103
Fig. 95 – Bases de relógios prismáticos, em forma de polígonos estrelados (dodecágono)	103
Fig. 96 – Relógios prismáticos côncavos	104
Fig. 97 – Relógios cilíndricos côncavos	104
Fig. 98 – Bases de três relógios distintos e axonometria	105
Fig. 99 – Relógio constituído por quatro sectores cilíndricos côncavos	105
Fig. 100 – Relógios cilíndricos de superfície recortada	106
Fig. 101 – Princípio de funcionamento dos relógios de sol providos de <i>gnómons</i> com planares com os <i>meridianos horários</i>	107
Fig. 102 – Relógio de sol em que os <i>gnómons</i> são polígonos contidos nos <i>meridianos horários</i>	107

Fig. 103 – Subdivisão do *quadrante*, de forma a evitar-se a sobreposição das manchas de sombra produzida pelos múltiplos *gnómons* 108

ÍNDICE DE TABELAS E GRÁFICOS

Capítulo I – O Tempo

Gráfico 1 – Curva sinusoidal da duração do dia solar, resultante da excentricidade da órbita terrestre	25
Gráfico 2 – Curva sinusoidal da duração do dia solar, resultante da <i>obliquidade da eclíptica</i>	26
Gráfico 3 – Tradução gráfica da <i>equação do tempo</i> (conjugação da excentricidade da órbita terrestre e da <i>obliquidade da eclíptica</i>)	26
Tabela 1 – <i>Equação do tempo</i>	26
Gráfico 4 – <i>Equação do tempo</i> – tradução gráfica da tabela	27

BIBLIOGRAFIA

- ASENSI, F. Izquierdo. 1988. *Geometria Descriptiva*. 18ª ed. Madrid, Editorial Dossat.
- BARTOLINI, Simone. 2006. *I Fori Gnomonici di Egnazio Danti in Santa Maria Novella*. Firenze, Edizioni Polistampa.
- BASANTA, José Luís, *Relojes de Piedra en Galicia*. 2ª ed. Fundación Pedro Barrié de la Maza.
- Bulletin*, The British Sundial Society. [Publicação trimestral com 19 anos de existência].
- Cadran-info*. Commission des Cadrans Solaires de la Société Astronomique de France. [Publicação semestral, criada em 1972].
- CRATO, Nuno, NÁPOLES, Suzana Metello de, OLIVEIRA, Fernando Correia de. 2006. *Relógios de sol*. CTT Correios de Portugal.
- DANIEL, Christopher St J. H. 2004. *Sundials*. Shire Publications Ltd, Buckinghamshire, UK.
- DAVIS, John. 2000. *The BSS (British Sundial Society) Sundial Glossary*. Internet.
- DUCROT, Gaëlle, PUTELAT, Pierre. 2003. *Cadrans Solaires traditionnels en Queyras – Briançonnais*. Saint Véran, Editions du Queyras.
- FERREIRA, Máximo, ALMEIDA, Guilherme de. 2004. *Introdução à Astronomia e às Observações Astronómicas*. Lisboa, Plátano Editora.
- FRADA, João. 2005. *Novo Guia Prático para Pesquisa, Elaboração e Apresentação de Trabalhos Científicos e Organização de Currículos*. Lisboa, Produções Editoriais, Lda.
- GREEN, Robin M., *Spherical astronomy*. 1999. United Kingdom, Cambridge University Press.
- HOMET, Jean-Marie. *Les cadrans solaires*. Paris, Editions Ch. Massin.

ISTITUTO e Museo di Storia della Scienza. 2007. *The Line of the Sun: Great Sundials in Florence*. Florence, Edizione della Meridiana.

JONES, Lawrence E. 2005. *The Sundial and Geometry: An Introduction for the Classroom*. North American Sundial Society.

La Busca de Paper. Societat Catalana de Gnomònica. [Publicação quadrimestral, com 58 números editados]

Le Gnomoniste. La Commission des Cadrans solaires du Québec. [Publicação trimestral, de formato electrónico, com 15 anos de existência].

OLIVEIRA, Fernando Correia de. 2004. *Cronologia do Tempo em Portugal*. Lisboa, Lagonda, Edição e Marketing.

ROHR, René R. J. 1996. *Sundials: History, Theory, and Practice*. N. Y. Dover Publications, Inc. [Tradução de Gabriel Godin da obra original: *Les Cadrans solaires*. 1965. France, Gauthier-Villars.]

SILVA, Armando Cavaleiro e, MALATO, João José. 1969. *Geometria da Insolação de Edifícios*. Lisboa, MOP, Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

SINGH, Daulat. 1981. *Astronomical Observatory of Jaipur, India*. Jaipur, Delta Publications.

The Compendium, North American Sundial Society. [Publicação trimestral com 14 anos de existência.]

TURNER, Anthony J. 2007. *Catalogue of Sun-dials, Nocturnals and Related Instruments*. Firenze, Istituto e Museo di Storia della Scienza. Giunti Editore S.p.A.

VITRÚVIO. 2006. *Tratado de Arquitectura*. Tradução do Latim de M. Justino Maciel. Lisboa, Instituto Superior Técnico.

WAUGH, Albert E. Copyright 1973. *Sundials: their Theory and Construction*. New York, Dover Publications, Inc.

RELÓGIOS DE SOL
A geometria do tempo

APÊNDICE

Glossário de termos associados à Gnomónica