



Foto: Manuel Lagido

## Entrevista ao Director do Observatório Astronómico de Lisboa

No dia 2 de Junho de 2006, Luís Reis [LR] e Manuel Lagido [ML] entrevistaram o Professor Rui Agostinho [RA] no Observatório Astronómico de Lisboa [OAL]. Foi uma conversa longa e muito viva tendo por tema o tempo, a qual aqui se publica apenas parceladamente.

LR: Um dos objectivos do OAL é a determinação da hora legal. Como é que isso funciona?

RA: A ligação mais profunda e mais clara do Tempo é com a Astronomia. Nos dias de hoje é também possível fazer a ligação com outras Ciências, devido aos satélites e ao GPS.

A necessidade de marcar as horas decorre da sucessão do dia e da noite. A rotação da Terra constituiu o padrão de tempo ideal para regular a actividade humana. Como é que se mede essa rotação? Não se pode usar o Sol, o diâmetro tem meio grau. Uma hora são 15 graus, 1 minuto de arco são 4 segundos de tempo. Meio grau, 30 minutos de arco, são 120 segundos, é muito tempo a atravessar o meridiano. Daí as medições de precisão serem feitas com estrelas.

A observação sistemática do céu à noite é uma prática muito antiga. Conhecem-se registos escritos desde a antiga Babilónia.

A Astronomia dá um enorme salto de qualidade com a transição do geocentrismo para o heliocentrismo e as leis de

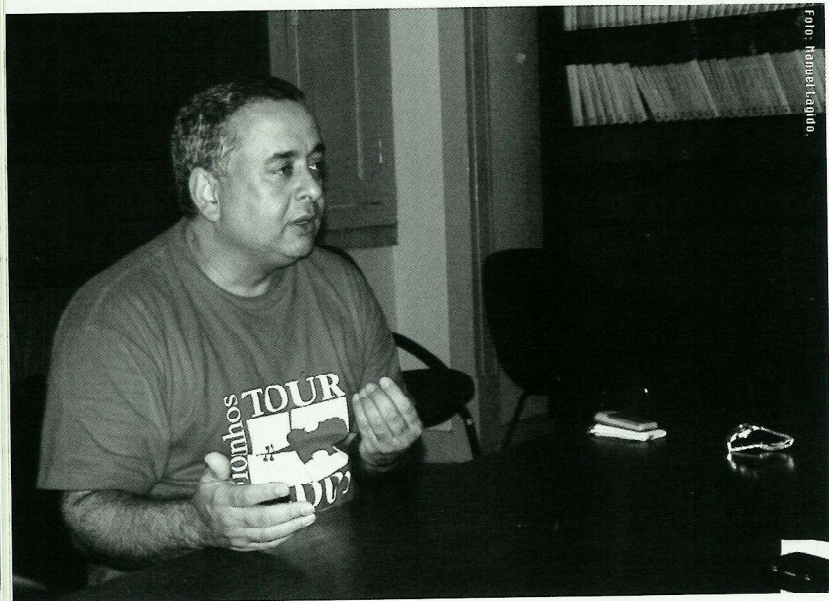
Kepler. Chegar à conclusão que as órbitas são elipses e não circunferências é um feito que exige grande precisão. Kepler não convence porque era o único de posse de instrumentos e tabelas que podiam fazer a previsão da posição dos planetas com precisão inferior ao minuto de arco.

ML: Tycho Brahe fez excelentes observações.

RA: Kepler também e herdou as tabelas de Brahe, que tinha uns quadrantes murais enormes e atingia uma precisão ao minuto de arco. Brahe é um dos utilizadores do nónio de Pedro Nunes.

O grande salto seguinte na precisão das máquinas é no séc. XIX, quando aparecem estes telescópios. O Observatório era tão bom com os instrumentos, que publicava valores ao décimo do segundo de arco.

O Vice-Almirante Campos Rodrigues foi um dos directores. O seu trabalho é excepcional e foi reconhecido. A Academia de Paris deu-lhe o prémio Valz. Quem estava à



frente da comissão deste prémio era o Poincaré. Este homem melhorou o mecanismo dos relógios mecânicos daqui, deixando espantados os construtores originais. Inventou a íris da máquina fotográfica (patenteada anos mais tarde por um francês, creio) porque tinha um telescópio para fazer observações de um eclipse solar e queria fazer sequências rápidas de fotografia; como o brilho vai variando durante o eclipse, ele criou esse mecanismo de várias lâminas que fecham e abrem... Inventou ainda um método para testar a verticalidade dos telescópios usando um banho de mercúrio. Também inventou um mecanismo para assegurar o instante exacto da passagem do pêndulo do relógio na vertical. Era um interruptor, uma obra de relojoaria minuciosa, que permitiu a esta gente publicar dados sobre o instante de passagem da estrela com a precisão do centésimo de segundo. A qualidade do trabalho daqui chegou ao ponto do Observatório de Berlim, antes de publicar o seu anuário, pedir a Lisboa para confirmar tudo.

Houve dois grandes trabalhos que notabilizaram esta casa. Em 1900-01, há a passagem do asteroide Eros, em oposição. Pretendia-se obter a distância da Terra ao Sol. O Observatório contribuiu para a construção do catálogo de estrelas fundamentais para medir com exactidão a posição de Eros. A conclusão do Observatório coordenador foi que estas observações eram as melhores: Lisboa foi o único Observatório sem dados rejeitados e com o peso máximo atribuído a todas as suas observações! Apesar do seu equipamento ultrapassado.

Em 1892 é a passagem de Marte, em oposição. Também estão nessa campanha e medem o diâmetro de Marte. Eu converti o resultado que eles publicaram (um ângulo) para quilómetros, utilizando a distância que hoje sabemos ser a Unidade Astronómica. Com a barra de erro do Observatório,  $\pm 101$  km, obtive o valor actual do diâmetro de Marte, obtido pelas sondas espaciais! Tem-se descoberto cá imensa coisa...

LR: E quanto à importância actual desta casa e dos seus instrumentos? O relógio atómico...

RA: Deixe-me primeiro explicar um pouco a medição do Tempo. Ele é medido pela rotação da Terra. O Sol passa todos os dias pelo meridiano, marcando o meio-dia solar verdadeiro. Essa passagem corresponde a quase  $361^\circ$  da rotação do planeta, porque a Terra está muito próxima do Sol e durante este dia andou um bocadinho para a frente. Mas se eu medir a rotação em relação às estrelas, que estão muito longe, ao fim de  $360^\circ$  voltam a passar no meridiano.

ML: Por isso existe o tempo sideral.

RA: Exactamente. O dos  $360^\circ$  é o tempo sideral, medido pelos telescópios. Mas o que nos interessa para o dia-a-dia é o tempo solar. Portanto, os relógios fundamentais que aqui estão são relógios de tempo sideral, que depois é preciso corrigir com as observações de tempo solar, para dar à sociedade civil. Como é que isso é feito? À superfície da Terra temos coordenadas polares, latitude e longitude. As estrelas têm coordenadas equivalentes na esfera celeste, ascensão recta e declinação. A equação de ligação é a velocidade angular da Terra, é o Tempo, que me diz, em cada instante, onde é que o meridiano de Greenwich aponta para o céu. Para medir o ângulo de desfasamento era utilizado o telescópio da sala de lá. Eu sei exactamente a latitude e a longitude terrestre daquele telescópio. Todas as noites, desde que o tempo permita, vou observar 6 ou 7 estrelas para as quais conheço muito bem a ascensão recta e a declinação e vejo o momento em que elas passam pelo meridiano do lugar: isso vai-me dar o Tempo. Depois comparo o instante de passagem com a hora dada pelo meu relógio. As duas têm de estar sincronizadas.

Todas as noites se fazia isso para várias estrelas, por causa dos problemas de refração da luz na atmosfera terrestre e dos tempos de reacção das pessoas. Este problema era tão importante que havia uma máquina (máquina de Kaiser) para calibrar o tempo de reacção dos astrónomos. Há histórias de matemáticos portugueses chumbarem no acesso à carreira de astrónomo no OAI, por não serem pessoas de confiança. A quem não tivesse a capacidade de responder sempre com um atraso médio bastante regular, não lhe era dado o controle do telescópio para as mãos.

LR: Começou por dizer que a definição do tempo vem da Astronomia. Hoje isso parece desvirtuado com a definição de segundo.

RA: É uma época nova... O tempo que aqui defini é o tempo solar real, quando o Sol está no meu meridiano. O meio-dia de Lisboa é diferente do de Santarém, pois os meridianos são diferentes. No séc. XIX as trocas comerciais e as viagens são muito frequentes: temos a Revolução Industrial, a máquina a vapor, os barcos, os comboios. A questão do tempo começa a levantar problemas. Não podemos mudar de hora quando nos deslocamos de Lisboa para Santarém. Por isso, a primeira grande mudança na estrutura do tempo civil é a introdução do fuso horário.

A segunda grande mudança ocorre com a tecnologia: o aparecimento da electrónica e dos osciladores de quartzo. A



Vice-almirante Campos Rodrigues.

precisão de um oscilador deste tipo arrasa com a precisão de um relógio de pêndulo. Os relógios de pêndulo que aqui temos já eram muito bons, mas o desfasamento que o relógio fundamental tinha era de meio segundo por dia!

ML: Publicavam resultados ao centésimo de segundo com um relógio com essa diferença?

RA: Como todos os dias faziam a observação da verdadeira hora, sabiam o desfasamento deste relógio. Mas faziam mais: anotavam a pressão atmosférica, a temperatura e a humidade, porque o andamento do relógio é sensível a essas variáveis. E podiam corrigir com uma equação de regressão.

LR: Sem computadores...

RA: À unha, folhas e folhas de ajustes de mínimos quadrados! Na altura já havia algumas réguas de cálculo, isto era trigonometria esférica, senos e co-senos, tábuas logarítmicas, várias casas decimais. Para acelerar o processo chegaram ao ponto de criar métodos gráficos de solução das equações da trigonometria esférica. Esses métodos foram publicados, sei que o Observatório de Coimbra também utilizava.

Portanto, esta casa compra o primeiro relógio de quartzo. Nessa altura já havia emissoras europeias de Hora e o Bureau Internacional de Pesos e Medidas (BIPM), em Paris, que detinha o padrão da Hora. Actualmente esse padrão está integrado no IERS<sup>1</sup> que mede a deformação da Terra usando sistemas de referência não só da Astronomia (as estrelas) mas também do sistema de satélites artificiais à volta da Terra.

No final dos anos 60, a União Astronómica Internacional, conjuntamente com o BIPM, decide fazer a definição de segundo dentro do Sistema Internacional de Unidades (SI)<sup>2</sup>. A partir daí já não tem nada a ver com a rotação da Terra, embora a tenha por base. A questão é que a rotação

da Terra está a diminuir, devido à presença da Lua e do Sol. Ou seja, a duração do dia tem vindo a aumentar.

LR: Qual a ordem de grandeza?

RA: A desaceleração média da rotação da Terra é de cerca de 1,4 milissegundos por dia e por século, provocando um atraso em relação ao tempo atómico. Estudos modernos indicaram que a altura em que a duração do dia solar médio era de exactamente 86400 segundos SI ( $24 \times 60 \times 60$ ) ocorreu por volta de 1820. Entretanto, o dia solar médio aumentou em cerca de 2,6 milissegundos ( $1,4 \times 1,85$  séculos — diferença de 185 anos desde 1820 até 2005). Ou seja, actualmente o dia solar médio dura 86400,0026 segundos. A diferença acumulada durante um ano é de quase um segundo.

De modo a manter a diferença acumulada entre o tempo civil e o tempo de rotação da Terra inferior a 0,9 segundos, acrescenta-se 1 segundo ao tempo atómico. Este segundo "bissexto" tanto pode ser positivo ou negativo, dependendo da rotação da Terra. Desde o primeiro segundo "bissexto", em 1972, já se intercalaram 23 segundos, todos positivos.

LR: Porque não usar a acumulação?

RA: Não foi essa a posição do IERS. Se 1 segundo hoje já começa a fazer diferença, daqui a algumas dezenas de anos maior diferença fará. Num segundo, quantas transacções entram nos bancos de todo o mundo?

LR: Se todos funcionarmos com o mesmo erro na Terra, as transacções comerciais não seriam um problema ...

RA: Pelo contrário, o problema é na vida civil. Suponha que tem de enviar um documento para um tribunal até às 24h00min00s de dia 31 de Dezembro. Envia um *scan* de casa para o tribunal, naquele segundo que foi acrescentado.

LR: E como o acrescentei? Só se o meu computador estiver alinhado...

RA: Exactamente. O que é que o nosso sistema fez no final de 2005? Chegou às 23h59min59s de 31 de Dezembro e em vez de passar para 24h00min00s, obrigando a propagar a mudança do mês e do ano, manteve-se a contar 59 durante mais 1 segundo. Só fez o update na transição de segundo, mudando para 1 de Janeiro de 2006. Agora imagine que o PC que está no tribunal a receber o seu documento, não fez isso.

LR: Voltamos à primeira questão: a hora legal é medida a partir dos relógios atómicos? Se há instituições civis a receber o tempo atómico, então temos que estar todos...

RA: Ora aí está. Umas estão e outras não. Há muita gente que acha que não é importante e que não sabe que está a penalizar os seus clientes. Ter a hora certa é fundamental. O substrato em que a nossa vida civil e social funcionam hoje está na Internet. A transacção electrónica. Já não é o papel.

ML: Então os computadores dos bancos têm uma ligação ao OAL?

RA: Têm. O que interessa é que os servidores centrais, onde as transacções entram, estejam sincronizados. Espero que actualmente não haja um Banco a cobrar juros a um cliente que efectuou um pagamento, só porque o servidor não tem a hora certa.

LR: Já reparou se as emissoras de rádio e de televisão estão a fornecer a hora exacta?

RA: O Observatório tem competência legal para lhes pedir que acertem a hora. Existe uma entidade, chamada Comissão Permanente da Hora (CPH), que dá pareceres ao Governo, que é quem tem competência para decidir qual é a Hora do país.

Há uma história interessante, também no século XX. A Hora passou a ser uma coisa tão importante para a sociedade que o fuso horário, por si só, já não chegava. Era preciso difundir a hora certa para toda a gente. A tecnologia era cara, os relógios eram caros, o relógio de pêndulo não era de confiança.

ML: Portanto, foi a rádio...

RA: Não, era o telégrafo. Emitia-se daqui o sinal das 13h tal como lá em baixo, no porto, por balão. Daqui telegrafava-se para uma série de pontos no país, chamavam-se estações semaforicas. E o Observatório tinha competência para fiscalizar e obrigar a acertar os relógios públicos.

ML: E os comboios?

RA: A história dos comboios é uma delícia. Eram eles que faziam as viagens rápidas. Em Portugal havia uma hora em cada linha-férrea (não é caso único, nos Estados Unidos e na França também, pelo que sei). Ao longo da linha as horas tinham que estar sincronizadas, mas entre linhas isso não era exigido. Para que as pessoas não fossem prejudicadas, no exterior de cada estação era obrigatório ter um relógio público adiantado de 5 minutos em relação à hora daquela linha! Assim dava tempo para não se perder o comboio.

ML: As emissoras de rádio têm a obrigatoriedade de ter a hora legal?

RA: Quando o Observatório pôs a Hora Legal na Internet (2000 ou 2001), comecei a notar que os desfasamentos nas emissoras de rádio foram diminuindo. Neste momento está muito bom. A televisão e a rádio públicas partilham mesmo uma infra-estrutura de relógios atómicos de rubídio, posso garantir que dão as horas correctas.

ML: Eles têm relógios desses?

RA: Precisam, por causa da Rádio Digital. É uma emissão tão avançada tecnologicamente que exige um sincronismo perfeito entre as várias estações ao longo do país. E a única maneira de o fazer é manter relógios de qualidade em vários pontos, sincronizados com o GPS.

O país despertou para o problema da Hora. A transição 2005-2006 foi grande, por um lado porque as firmas tiveram

de começar a fazer a factura electrónica, que exige um sistema fidedigno de hora e data. Neste momento, há muitas firmas a contactar-nos, querendo acertar a hora. O erro de acerto é muito menor se for feito connosco, por estarmos todos na mesma rede interna. O applet na nossa página pergunta para aqui que horas são, a cada segundo. E há um *delay* de viagem de cá para lá.

ML: Microsegundos...

RA: Não, depende do tráfego que apanhar pelo caminho. Se estiver atrás de uma *firewall* que tem muito tráfego, imagino que o *delay* possa chegar ao segundo e tal. É diferente fazer o acerto com Portugal ou com outros países, tem que passar por servidores locais e cada um introduz atrasos. O protocolo que está por detrás disso chama-se NTP, Network Time Protocol. É um protocolo muito simples, aliás é atacável por piratas.

ML: Temos que ir à página do OAL?

RA: Sim, há dois endereços abertos ao mundo: [ntp02oal.ul.pt](http://ntp02oal.ul.pt) e [ntp04oal.ul.pt](http://ntp04oal.ul.pt).

O público começa a preocupar-se. Surgem casos de pessoas zangadas porque lhes foi negado o acesso a um concurso que era para submeter via Internet, ou porque o fornecedor afiança uma data de envio anterior à real. Toda a gente sabe que no PC de casa se pode dizer que é 3 de Abril de 2006 e enviar um e-mail com essa data.

ML: As transacções na Bolsa...

RA: Exactamente, em que os câmbios variam de hora a hora e às vezes há grandes oscilações.

LR: A sociedade vive cada vez mais com a necessidade de precisão.

RA: Por causa disso a Hora tem de ser dada por uma entidade independente. O facto do OAL estar à frente da CPH foi para garantir duas coisas: a qualidade científica da Hora e a independência de interesses em relação à manutenção da Hora.

LR: Isto é comum aos Observatórios dos outros países?

RA: Há uma variedade de situações. Há países que têm estruturas como o nosso.

O mundo inteiro reconhece o IERS, a entidade mundial que diz, por exemplo, quando deve ser atrasada ou adiantada a Hora. Quanto aos relógios atómicos, eles estão espalhados pelo mundo inteiro. Há uma série de instituições que os têm e que contribuem para o valor médio da hora. Porque o próprio relógio atómico se pode atrasar ou adiantar. Claro, à escala diminuta. Há que fazer a média.

LR: O relógio atómico do OAL faz parte dessa rede?

RA: Ainda não, por uma razão: os relógios que estão ligados e a contribuir para essa média, são relógios que se deixam andar livremente. Neste momento, como temos só um, mantemo-lo sincronizado pela hora correcta.



Foto: Manuel Lagido.

ML: Como se faz o acerto?

RA: Antigamente, décadas de 60 e 70, além da difusão via rádio, havia um relógio atómico, de Paris, que ia de instituição em instituição para aferir a diferença entre o relógio-padrão e os outros. Actualmente não é preciso, com a Internet, as telecomunicações e o GPS. Este relógio tem um receptor de GPS, recebe até 12 satélites em simultâneo (cada um tem 2 ou 3 relógios atómicos) e faz a média de todos esses sinais. Mas mesmo a recepção do GPS tem problemas. Um bom receptor de GPS para a hora, como o que temos, dá maior peso aos satélites que estão mais directamente por cima. A diferença de desvio máximo na frequência é da ordem de  $10^{-11}$ . Quer dizer, se eu perdesse neste momento o sincronismo, no final de um ano inteiro ainda estava sincronizado na casa do milissegundo.

LR: Qual é o próximo método?

RA: O protocolo NTP já está obsoleto para as actuais necessidades. Vai ser substituído por uma versão com encriptação e segurança. E que vai permitir a sincronização de relógios fundamentais na casa do microssegundo. Portanto, aquilo que se está a fazer com o GPS vai ser possível fazer através da rede. Essa tecnologia vai aparecer nos próximos 5 a 10 anos.

Por outro lado, há nova tecnologia dos relógios atómicos de céσιο em fase experimental. Os novos relógios têm uma precisão 1000 vezes superior à dos actuais relógios de céσιο.

LR: E vamos abandonar a Astronomia no Tempo?

RA: Não, não vamos. A perda da rotação da Terra não é constante. A Terra não é um bloco sólido, é um bloco plástico, há alteração da sua forma, de modo que estes acertos têm de ser continuamente estudados. Isso envolverá sempre a Astronomia.

### Notas

- 1 Serviço Internacional de Sistemas de Referência e Rotação da Terra - iniciou a sua actividade em 1 de Janeiro de 1988, substituindo o International Polar Motion Service e a secção de rotação da Terra do Bureau International da Hora (BIH). As actividades do BIH sobre o tempo continuam no Bureau Internacional de Pesos e Medidas.
- 2 O segundo é a duração de 9192631770 períodos da radiação correspondente à transição entre dois níveis hiperfinos do estado fundamental do átomo de céσιο 133.

Luís Reis, Centro de Competência CRIE da UCP-ESB  
Manuel Teles Lagido, ES/3 José Régio, Vila do Conde