

MEMÓRIAS
DA
ACADEMIA DAS CIÊNCIAS
DE
LISBOA

CLASSE DE CIÊNCIAS

TOMO XLV

**A missão GAIA da Agência
Espacial Europeia (ESA)**

JOSÉ JOAQUIM PEREIRA OSÓRIO



ACADEMIA DAS CIÊNCIAS
DE LISBOA

LISBOA • 2018

A missão GAIA da Agência Espacial Europeia (ESA)

JOSÉ JOAQUIM PEREIRA OSÓRIO
jposorio@fc.up.pt

1. INTRODUÇÃO

A observação de estrelas para fins astrométricos remonta à antiguidade. Primeiro, observações à vista desarmada, até ao final do século XVII. Depois, até à última década do século passado, recorrendo a telescópios, mas continuando as observações a serem feitas à superfície da Terra. Desde então, já foram concebidos dois projectos, HIPPARCOS [2,3] e GAIA, para tornar as observações astrométricas possíveis no Espaço. O objectivo principal em toda esta evolução é, naturalmente, a obtenção de posições de astros cada vez mais exactas. De salientar o notável desenvolvimento nas duas últimas décadas (Figura 1) [1].

Antes do aparecimento das técnicas espaciais, o Catálogo mais rigoroso era o FK5, com precisão da ordem de alguns centésimos de segundo de arco. Com o objectivo de procurar novos processos que permitissem chegar a melhores resultados, a União Astronómica Internacional (UAI) criou um Grupo de Trabalho, *Study Group on Horizontal Meridian Circles*, constituído por dez Membros de diferentes países, interessados neste problema, um dos quais o autor desta comunicação. Para além de outras ideias que vinham sendo discutidas, havia já dois Círculos Meridianos Horizontais em funcionamento, um no Observatório Astronómico de Pulkovo, Ex-URSS, e outro no Observatório Astronómico “Prof. Manuel de Barros”, na Faculdade de Ciências da Universidade do Porto (FCUP), Portugal (Figura 2), concebido por aquele Professor, saudoso Membro desta Academia, e totalmente construído no nosso País.

Durante os trabalhos da XVIII Assembleia Geral da União Astronómica Internacional (UAI), realizada em Patras, Grécia, em 1982, ao mesmo tempo que era apresentado o Relatório trianual do referido Grupo de Trabalho aparecia a notícia da aprovação, pela Agência Espacial Europeia (ESA), do Satélite HIPPARCOS: “The ESA astrometry satellite was

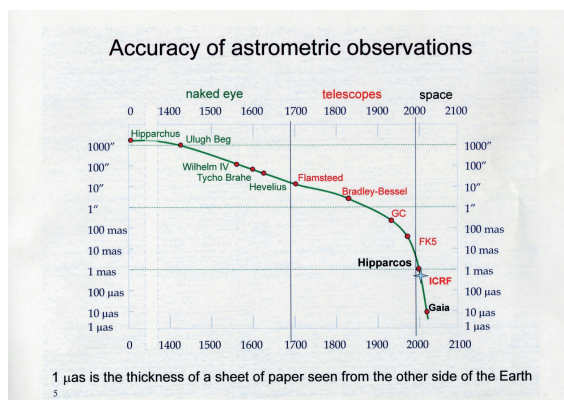


FIGURA 1
Exactidão das observações astrométricas.

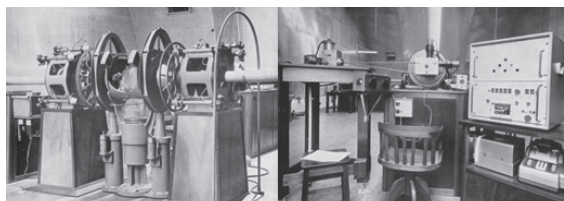


FIGURA 2
Círculo Meridiano de Espelho (FCUP).

approved in March 1980 and is scheduled for launch in late 1986". O Satélite HIPPARCOS (*H*igh *P*recision *P*ARallax *C*OLlecting *S*atellite) foi colocado em órbita em 8 de Agosto de 1989 e a recolha de dados decorreu no período de Novembro de 1989 a Março de 1993. A redução desses dados de observação permitiu a criação do Catálogo HIPPARCOS, envolvendo Posições de 118 218 Estrelas com precisão da ordem do milissegundo de arco (*mas*), conforme estava previsto [3].

2. A MISSÃO GAIA

A precisão do Catálogo HIPPARCOS tal como dos Catálogos anteriores (Figura 3) deteriora-se com o tempo.

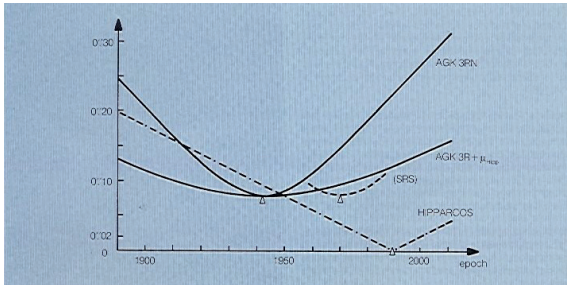


FIGURA 3
Precisão de diferentes Catálogos.

da elaboração de um novo Catálogo, o Catálogo GAIA, a Missão visa, ainda, um estudo mais aprofundado da nossa Galáxia, a Via Láctea [4].

Reconhecendo esta situação e com base no êxito da missão HIPPARCOS, cedo foi proposto à ESA a concepção e o planeamento de uma nova missão espacial astrométrica. Depois de vários estudos durante alguns anos, a ESA assinou o contrato para o desenvolvimento e a construção do Satélite GAIA – *Global Astrometric Interferometer for Astrophysics*, em Maio de 2006, com a empresa europeia especializada nesta área, EADS Astrium, que tinha já vasta experiência com o Satélite HIPPARCOS. Para além

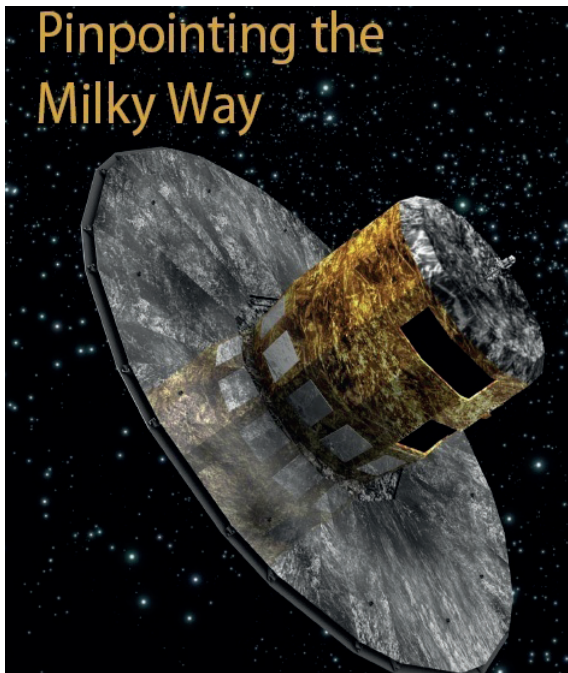


FIGURA 4
Satélite GAIA.

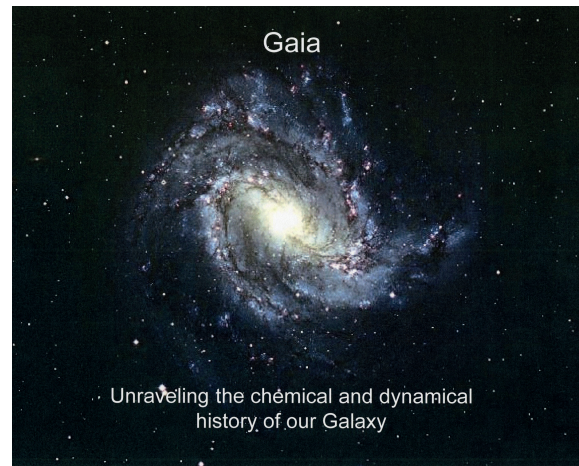


FIGURA 5
Galáxia.



FIGURA 6
Cronologia das principais fases (plano inicial).

2.1 Objectivos

2.1.1. Dados de observação

Para além da componente astrométrica, a Missão GAIA incluirá também a recolha de dados fotométricos e espectrométricos, muito mais rigorosos, de uma quantidade muito maior de objectos da nossa Galáxia. De uma maneira geral, relativamente aos dados de observação, pretende-se:

- Astrometria ($V < 20$)
 - Completo até à grandeza 20 (20 mag), para um número de estrelas da ordem 10^9
 - Varrimento, duas direcções diferentes
 - Princípio: redução astrométrica global (como para o Hipparcos)
- Fotometria ($V < 20$)
 - Análise astrofísica (fotometria de baixa dispersão)
- Velocidade radial ($V < 17$)
 - Terceira componente do movimento
 - Dinâmica, estudo da população, binários
 - Espectros para $V < 14$: química, rotação

V representa a *grandeza visual aparente*.

Em comparação com a Missão anterior os avanços esperados são os seguintes:

	HIPPARCOS	GAIA
Grandeza limite	12 mag	20 mag
Integralidade	9 mag	20 mag
Número de objectos	120.000	26 milhões até $V=15$ 250 milhões até $V=18$ 1000 milhões até $V=20$
Distância efectiva	1 kpc	50 kpc
Quasares	1 (3C 273)	500.000
Galáxias	0	1 milhão
Exactidão	1 milisegundo	7 microseg até $V=10$ 25 microseg até $V=15$ 300 microseg até $V=20$
Fotometria	2 cores (B e V)	Baixa resolução até $V=20$
Velocidade radial	Não	15 km/seg até $V=17$
Observações	pré-selecção	Completa

2.1.2 Astrofísica Estelar

Os novos dados de observação irão permitir desenvolver diferentes aspectos da astrofísica estelar.

- Compreensiva calibração da luminosidade, por exemplo:
 - Distâncias, a 1%, para cerca de 10 milhões de estrelas até 2.5 kpc
 - Distâncias, a 10%, para cerca de 100 milhões de estrelas até 25 kpc
 - Tipos estelares raros e fases evolutivas rápidas
 - Calibração de paralaxe de todos os indicadores de distância, por exemplo, Cefeidas para as Nuvens de Magalhães
- Propriedades físicas, por exemplo:
 - Diagramas de Hertzsprung–Russell por toda a Galáxia
 - Massa e função de luminosidade nas proximidades do Sol, por exemplo, anãs brancas
 - Funções iniciais de massa e luminosidade em regiões de formação de estrelas
 - Função de luminosidade para estrelas da pré-sequência Principal
 - Detecção e datação de todos os tipos espectrais e populações Galácticas

2.1.3 Via Láctea e sua proximidade

Para estudos da nossa Galáxia também se esperam importantes avanços:

- Distribuições de distâncias e velocidades de populações estelares
- Estrutura espacial e dinâmica do disco e do halo
- História da formação da Galáxia
- Representação pormenorizada da distribuição Galáctica de matéria escura
- Base rigorosa para as teorias da estrutura e evolução estelar
- Prospecção alargada de planetas extra-solares (da ordem dos 7.000)
- Prospecção alargada de corpos do Sistema Solar (da ordem dos 250.000)

E mesmo para além da Galáxia se prevê:

- Padrões de distância definitivos tão longe como as Nuvens de Magalhães
- Alertas rápidos para fenómenos de supernova e erupções (da ordem dos 20.000)
- Detecção de quasares, desvios para o vermelho, etc. (da ordem dos 500.000)
- Exactidão nunca atingida em grandezas fundamentais

2.1.4 Exoplanetas

Neste domínio, esperam-se significativas descobertas:

- Prospecção Astrométrica
 - Monitorização de cerca de 150.000 estrelas, das classes FGK, até distâncias da ordem dos 200 pc
 - Limites de detecção: da ordem de $1 M_J$ (massa de Júpiter) e P (período) menor que 10 anos
 - Todos os tipos estelares e períodos entre 2 e 9 anos
 - Sistemas múltiplos mensuráveis, fornecendo inclinações relativas
- Resultados esperados
 - Aproximadamente 2.000 exoplanetas (sistemas simples)
 - Aproximadamente 300 sistemas múltiplos
 - Órbitas para cerca de 1.000 sistemas

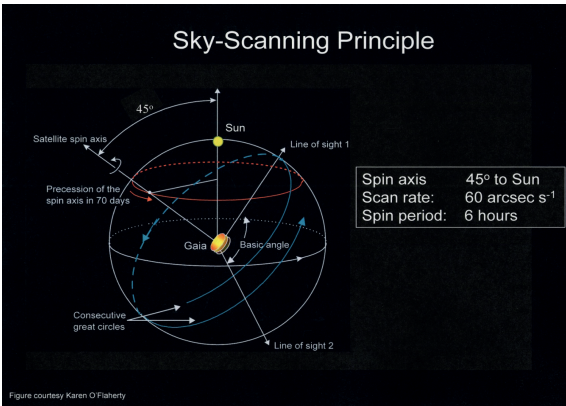


FIGURA 9
Esquema de observação.

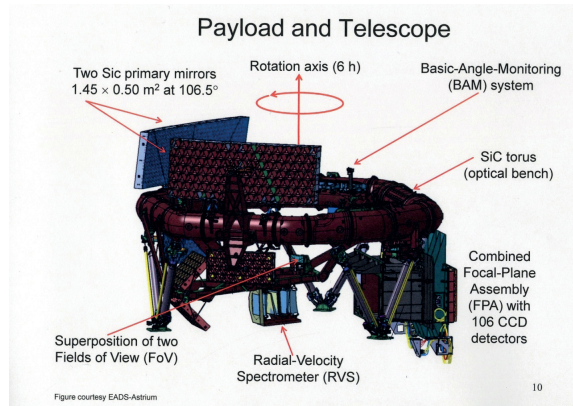


FIGURA 10
Localização dos instrumentos.

Como exemplo, apresenta-se uma representação [4] do conjunto dos instrumentos (Figura 10) e uma outra da componente astrométrica da missão (Figura 11).

O objectivo principal da missão consiste na criação de um Referencial Celeste, Referencial GAIA (Catálogo GAIA), com uma precisão muito superior à do Catálogo HIPPARCOS, isto é, procurando passar da ordem dos milisegundos de arco (Hipparcos) para alguns microsegundos (Gaia), na época de referência.

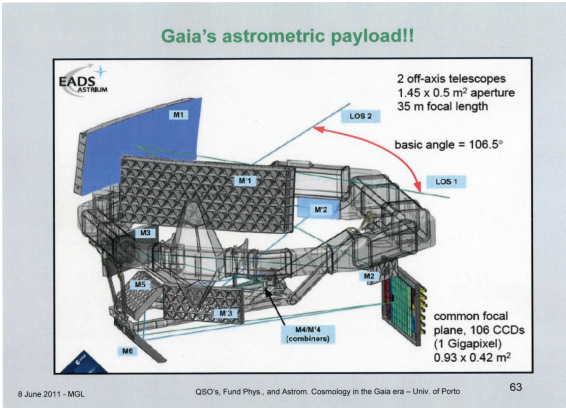


FIGURA 11
Componente astrométrica.



FIGURA 12
Montagem de componentes.

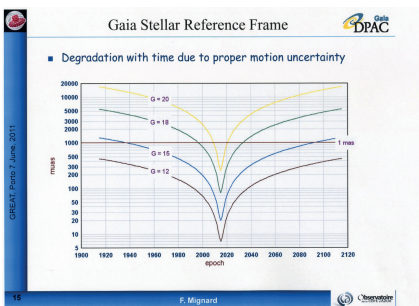


FIGURA 13
Degradação com o tempo, para diferentes valores da grandeza.

Como se assinalou para o HIPPARCOS (Figura 3), também no GAIA (Figura 13) se prevê uma degradação com o tempo, motivada por incertezas nos movimentos próprios.

2.3 Consórcio para processamento e análise de dados

O *Data Processing and Analysis Consortium (DPAC)* é um consórcio europeu que inclui cerca de 400 cientistas e engenheiros informáticos, de 23 países, e 6 grandes Centros de Processamento. Aprovado em Maio de 2007, é responsável pelo processamento e análise dos complexos dados do Satélite GAIA. Está dividido em 9 Unidades especializadas de Coordenação, cada uma responsável por um aspecto específico do processamento dos dados:

- CU1 *System architecture*
- CU2 *Data simulations*
- CU3 *Core processing*
- CU4 *Object processing*
- CU5 *Photometric processing*
- CU6 *Spectroscopic reduction*
- CU7 *Variability processing*
- CU8 *Astrophysical parameters*
- CU9 *Catalogue access and scientific exploration*

As Unidades de Coordenação são apoiadas pelos Centros de Processamento de Dados, que dispõem do necessário hardware computacional. Estão estruturadas para o desenvolvimento do software, cada uma associada com, pelo menos, um Centro de Processamento. A coordenação desta complexa organização é função do DPAC (Figura 14), mais propriamente, do seu Executivo.

A localização dos Centros de Processamento de Dados e das instituições participantes no DPAC está indicada na representação que segue (Figura 15).

2.4 GREAT

O GREAT (*Gaia Research for European Astronomy Training*) é uma infra-estrutura em Rede, presente-mente financiada pela ESF e pelo Programa FP7, que visa fomentar a participação da comunidade científica na criação de condições para a exploração futura dos dados fornecidos pela missão GAIA. Para esse fim, o GREAT apoia a promoção de colaborações, workshops, conferências e intercâmbio, visando uma ampla cooperação internacional na exploração científica da missão. Está organizado em Grupos de Trabalho – WGs (Figura 16):

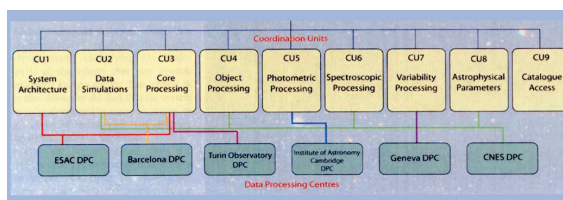


FIGURA 14
Estrutura do DPAC.

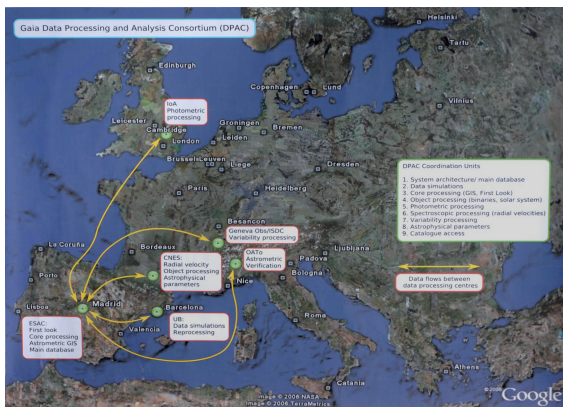


FIGURA 15
DPAC.

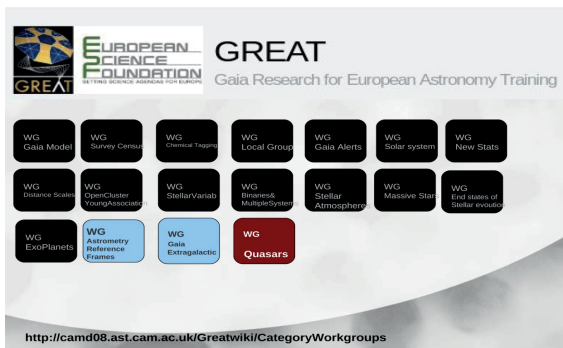


FIGURA 16
Organização do GREAT.

4. PARTICIPAÇÃO PORTUGUESA NO DPAC E NO GREAT

Em Março de 2006, foram estabelecidos os primeiros contactos informais visando a participação de investigadores e instituições nacionais no Projecto GAIA. Formado um Consórcio, foi apresentado à Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) um Projecto que viria a ser aprovado em Junho de 2007. Anteriormente, em reunião organizada pelo GRICES, em Maio de 2006, já o Director Científico da ESA tinha manifestado o seu apreço pelo envolvimento de Portugal nas actividades do GAIA.

O Projecto, designado “GAIA – Participação Nacional no Consórcio para a Análise e Processamento de Dados (DPAC)”, envolvia 15 membros de 9 unidades de investigação, tanto de universidades como de empresas.

Integração das instituições nacionais nas Unidades de Coordenação:

CU1 – SIM, Critical e Holos

CU2 – INETI e CAAUL

CU3 – CICGE

CU7 – SIM e UNINOVA

CU8 – CAUP e GAUC

Em novo Projecto, recentemente aprovado, a participação nacional passou a ser a seguinte:

CU2 – CAAUL

CU3 – CICGE

CU4 – SIM

CU5 – SIM

CU7 – SIM e UNINOVA

Relativamente ao GREAT, a participação portuguesa rapidamente se integrou em alguns dos seus Grupos de Trabalho:

Milky Way – SIM

Quasars – CICGE

Astrometry Reference Frames – CICGE

Solar System – CFC-UC

Data Mining – UNINOVA, SIM

4. PARTICIPAÇÃO DO CICGE NO DPAC E NO GREAT

4.1 Participação do CICGE no DPAC

As actividades do Centro de Investigação em Ciências Geo-Espaciais (CICGE) no âmbito do DPAC decorrem na Unidade de Coordenação 3 (CU3), no Grupo de Trabalho – “*Initial Quasi Stellar Objects Catalogue*”. O objectivo principal deste Grupo consiste na produção de uma lista de *Quasi Stellar Objects* (QSOs) confirmados e bem estudados, em termos das suas propriedades intrínsecas (características da respectiva galáxia, variabilidade, desvio para o vermelho, cor) em relação com a exactidão e a estabilidade das coordenadas. Este Catálogo será fundamental para estabelecer o alinhamento entre o Referencial

Celeste Internacional (ICRF) [3] e o Referencial Celeste Extragaláctico Gaia (GCRF). A selecção da Lista principal do *Initial QSOs Catalogue* foi já concluída.

A última Reunião Geral da Unidade de Coordenação 3 (CU3), antes da colocação em órbita do Satélite GAIA (prevista para Agosto 2013), está agendada para 2012 em Vila Nova de GAIA, Portugal, de 13 a 15 de Junho.

4.2 Participação do CICGE no GREAT

A participação do CICGE no GREAT desenvolve-se em dois Grupos de Trabalho, “*Quasars*” e “*Astrometric Reference Frame*”, com a responsabilidade da coordenação do primeiro.

O primeiro Workshop teve lugar no Porto, de 6 a 9 de Junho de 2011. A Reunião contou com 54 Participantes, de 11 Países – Alemanha, Bélgica, Canadá, Espanha, França, Holanda, Hungria, Itália, Portugal, República da Coreia e U.S.A., incluindo 5 alunos de doutoramento e os investigadores de maior renome internacional nesta área.

As apresentações, cobrindo essencialmente dois temas, “*QSO astrometry in the context of observational astrophysics*” e “*QSO, Reference Frame and fabric of Space-Time Astrometric Cosmology*”, distribuíram-se por 15 apresentações de revisão e 21 comunicações.

5. CONCLUSÃO

O sucesso da missão HIPPARCOS, permitindo atingir exactidão astrométrica da ordem do milisegundo, levou a ESA a aprovar uma nova missão espacial, GAIA, destinada ao estudo da nossa Galáxia, com exactidão muito superior à da primeira missão, isto é, da ordem de alguns microsegundos de arco. O futuro Catálogo GAIA virá trazer, pois, considerável avanço relativamente ao Catálogo HIPPARCOS.

Esta é uma característica fundamental da Astrometria (Figura 1), isto é, o seu permanente desenvolvimento com base nos avanços de cada uma das três componentes: Observação, Processamento e Modelo. O aperfeiçoamento de qualquer uma delas provoca uma atenção especial visando o acompanhamento por parte das restantes. Por isso, atingido o microsegundo com o GAIA, será possível pensar já no nanosegundo (Figura 17) [1]?

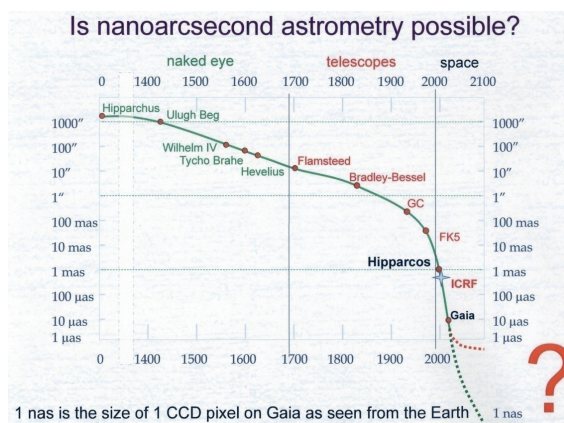


FIGURA 17
Possível evolução.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Klioner, S. A., *Astronomical relativistic reference systems and their application for astrometry*, GREAT-ESF Workshop, Porto, Portugal, June 2011.
- [2] Osório, J. Pereira, *Posicionamento e Navegação por Satélite: Dos Satélites Balão ao Sistema Galileo*, Memórias da Academia das Ciências de Lisboa, Classe de Ciências, T. XLIII, Vol. I, pp. 275-300, 2006.
- [3] Osório, J. Pereira, *Sistemas de Referência Internacionais*, Academia das Ciências de Lisboa, 2008, para publicação.
- [4] <http://www.rssd.esa.int/Gaia>

(COMUNICAÇÃO APRESENTADA À CLASSE DE CIÊNCIAS
NA SESSÃO DE 2 DE FEVEREIRO DE 2012)