

# Quanto tem custado a astronomia no Brasil?

Jacques R. D. Lépine (IAG/USP)

É apresentado um levantamento dos principais gastos relacionados com a pesquisa em astronomia no Brasil, desde 1965 até hoje. Aplicamos correções para atualizar os valores para dólares de hoje. Embora contenha incertezas e algumas aproximações toscas, este estudo pode ser visto como uma primeira aproximação válida para descrever a evolução dos gastos da astronomia brasileira ao longo das últimas décadas.

## Introdução

O exercício a que nos propomos neste Capítulo é avaliar quanto se gastou no Brasil com pesquisa em astronomia nos últimos 50 anos, e quanto se gasta hoje. Estamos focalizando a astronomia *stricto sensu*, sem incluir ciências afins, divulgação por planetários (ver “Planetários” no Capítulo “Divulgação e educação não formal na astronomia” neste Volume), nem serviços como o Serviço da Hora do Observatório Nacional (ON) (ver o Capítulo “Difusão da Hora Legal” no Volume I). Incluímos alguns casos em que a astronomia está na fronteira com outras áreas da física (**ondas gravitacionais**<sup>1</sup>, **raios cósmicos**<sup>2</sup>). Abordaremos nosso tema com uma perspectiva histórica de cinco décadas, apresentando, como veremos abaixo, duas formas de atualização dos valores gastos no passado. No máximo, podemos pensar em ordens de grandeza, pois seria tarefa muito árdua fazer um censo exato. Partindo deste levantamento, temos condições de tecer algumas considerações sobre os mecanismos de financiamento e perspectivas futuras.

## Atualização monetária

Qualquer que seja a moeda, 1 k denotará mil unidades monetárias, 1 M denotará um milhão e assim por diante. Para efeitos comparativos de custos em épocas diferentes, a unidade monetária aqui escolhida será o dólar americano (US\$). Afinal, muitos custos do passado eram avaliados em dólares, e as moedas brasileiras daquelas épocas não existem mais. No entanto, US\$ 5 M em 1972 — tomando o exemplo do radiotelescópio do Itapetinga — representavam muito mais do que US\$ 5 M hoje. Apresentamos todos os gastos em valores equivalentes de 2013, pois este Capítulo foi escrito em 2013, e revisado em meados de 2014, ano ainda não terminado. No fim, para apresentação na forma gráfica, fizemos uma extrapolação de gastos previstos até o fim de 2014 (mas expressos em US\$ de 2013) para completar a década. Estima-se que a inflação do dólar no período de 43 anos entre 1970 e 2013 corresponde a um fator 6 (utilizando o *US Inflation Calculator*, disponível na rede). Esta inflação corresponde a um fator médio de 1,042 por ano e de 1,51 por década.

Parece pertinente fazer também, no caso do exemplo acima, correção para a variação do PIB (Produto Interno Bruto) no mesmo período. Isso

---

<sup>1</sup> Ver o Capítulo “Ondas gravitacionais” neste Volume.

<sup>2</sup> Ver o Capítulo “Pesquisas em raios cósmicos” neste Volume.

representa uma medida do “esforço nacional” que um dado investimento representou, comparado com a riqueza do país. Essa correção seria equivalente a expressar os gastos em fração do PIB, só que o resultado é apresentado em dólares de 2013, pois a fração é multiplicada pelo PIB atual.

Utilizamos os dados do Banco Mundial disponíveis na *internet*, para os anos de 1970 e 2013. De acordo com o Banco Mundial, em 1970 o PIB do Brasil era de US\$ 42.3376<sup>3</sup> G, enquanto que o do conjunto de países do mundo era de US\$ 2.8966 T. Em 2013 o PIB brasileiro era de US\$ 2.246 T e o do mundo US\$ 74.90 T. O PIB brasileiro aumentou de um fator 53,0 enquanto o do mundo, de um fator 25,8. O Banco Mundial deixa claro que os PIBs fornecidos estão em dólares correntes, não corrigidos pela inflação. Como vimos anteriormente que o dólar teve uma inflação de aproximadamente um fator 6 em 43 anos, devemos corrigir por este fator. Na realidade, então, o PIB brasileiro aumentou de um fator 8,83 no período de 43 anos em termos “absolutos”, em vez de 53,0. A correção pelo PIB representa um fator 1,64 por década ou 1,052 por ano, aproximadamente. Tanto para esta correção, quanto para a anterior (inflação do dólar), estamos fazendo a aproximação de que os fatores de correção por ano não variaram ao longo do período. Por exemplo, em  $x$  anos, a correção pelo PIB é  $1,052^x$ .

Nosso procedimento é o seguinte: para todos os investimentos (só investimentos), damos os valores em dólares da época, sua correspondência em dólares de 2013, com a correção de inflação, e seu equivalente atual em dólares corrigidos em termos de proporção ao PIB.

## Salários

Como exemplo da dificuldade de se avaliar os gastos com a astronomia, grande parte dos mesmos se dá na forma de salários. Nos EUA hoje, é tradição explicitar em qualquer projeto o quanto de homens-hora de engenheiros, técnicos, gerentes e mesmo de astrônomos, estão embutidos nos custos. Mas esta não é nossa tradição. Como avaliar o quanto se gasta em salários?

A SAB (Sociedade Astronômica Brasileira) conta hoje com cerca de 720 astrônomos, incluindo profissionais contratados, bolsistas de mestrado, doutoramento e pós-doutoramento (ver o Capítulo “Organização da comunidade astronômica” no Volume II). Se a média salarial for da ordem de R\$ 5 k, isto representaria R\$ 36 M por ano. Para alcançar este valor, contribuem universidades federais e estaduais, universidades particulares, institutos de pesquisa

---

<sup>3</sup> Em US\$ o ponto separa a parte decimal, conforme a convenção americana.

do MCTI (Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação) e agências de fomento (CAPES — Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, CNPq — Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, e agências estaduais) por meio de bolsas. Uma parte dos salários é paga a professores que, além de realizar pesquisa em astronomia, têm atribuições de docência em física, matemática ou outras matérias. Ou seja, não se dedicam integralmente à astronomia. Em compensação, existem físicos que trabalham em **cosmologia** teórica, em vários institutos de física e não frequentam a SAB. Temos ainda que incluir engenheiros, técnicos e mesmo pessoal administrativo, que não são membros da SAB, mas trabalham para a astronomia. Vamos considerar aqui que estão na proporção de 20 % dos astrônomos. Numa estimativa um pouco grosseira, podemos falar então em R\$ 43,2 M ou US\$ 19.6 M por ano, em valores de 2013.

## Procedimento relativo a orçamento de instituições

Além da questão dos salários, devemos esclarecer o procedimento adotado com relação ao orçamento de instituições. A título de exemplo, o orçamento anual do LNA (Laboratório Nacional de Astrofísica, MCTI) foi da ordem de R\$ 8 M ou US\$ 4 M em 2013. Em dólares, os valores têm se mantido aproximadamente constantes nos últimos 6 anos. Este orçamento inclui salários, serviços, aquisição de material para construção de equipamento, a manutenção dos grandes telescópios do exterior (Gemini, SOAR — *SOUthern Astrophysical Research*, CFHT — *Canada-France-Hawaii Telescope*)<sup>4</sup> etc. Tudo no LNA, em rigor, se dá em razão da astronomia. Mas os salários já foram computados acima com base no número de associados da SAB, portanto não devem mais ser contados. Além disso, incluiremos os gastos anuais com os grandes telescópios em item à parte na Tabela 2, dos gastos correntes, apresentada neste Capítulo; estes representam mais da metade do orçamento do LNA. Uma parte dos gastos com o desenvolvimento de instrumentos pelo LNA<sup>5</sup> veio do próprio orçamento da instituição, no entanto, a parte extraorçamentária (recursos obtidos de agências financiadoras, através de colaborações com grupos externos ao LNA) também é considerável. Seria difícil separar no custo dos instrumentos as contribuições orçamentárias e extraorçamentárias. O custo dos instrumentos será

<sup>4</sup> Ver “Participação do Brasil em consórcios internacionais” no Capítulo “Empreendimentos internacionais” neste Volume.

<sup>5</sup> Ver o Capítulo “Desenvolvimento de instrumentação” neste Volume.

avaliado de forma global e, quando a informação é disponível, mencionaremos entre as fontes de financiamento o orçamento da instituição.

Para os outros institutos do MCTI que desenvolvem atividade importante em astronomia (ON — Observatório Nacional, INPE — Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), mas possuem também departamentos de outras áreas, não conseguimos a informação da fração do orçamento correspondente ao que nos interessa. Pelos motivos expostos, e para maior uniformidade, não incluiremos o orçamento de nenhuma instituição como item separado. Consideraremos que o grosso do orçamento já está computado através dos itens tais como salários, investimentos, etc. Agindo desta forma, estaremos talvez subestimando os gastos do MCTI e mesmo de universidades com astronomia, pois existem gastos administrativos e salários de funcionários não-astrônomos, além dos que já foram considerados. Estes custos podem alcançar da ordem de 20% dos orçamentos. Se o leitor assim desejar, poderá majorar os valores finais com esta porcentagem.

Esclarecemos ainda que não incluímos a construção de prédios como os que foram construídos no IAG (Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da USP), INPE e ON, por exemplo. No entanto, quando se trata de prédio especificamente destinado a abrigar um instrumento ou mesmo um laboratório (por exemplo, o laboratório de metrologia e de mecânica fina do LNA e cúpulas de telescópios), nossa opção foi de incluir o gasto com a construção.

## Investimentos

### Década de 1965 a 1974

Vamos inicialmente nos concentrar nos investimentos em projetos importantes. Na primeira metade do século 20, investimentos vultosos foram feitos. Temos por exemplo a construção do magnífico edifício sede do ON no Rio de Janeiro a partir de 1913 e a aquisição, para esse observatório, de equipamento como a luneta **equatorial**, **luneta meridiana** e equipamento fotográfico (ver “Patrimônio científico da astronomia brasileira” no Capítulo “Acervo instrumental e arquitetônico” no Volume I). Outros exemplos são a construção dos edifícios do Observatório de São Paulo, com suas colunas gregas, vitrôs e azulejos (ver o Capítulo “Chegada da astronomia oficial a São Paulo” no Volume I). O Observatório de Porto Alegre, cujo edifício é patrimônio nacional, já contava também desde 1908 com um **círculo meridiano** e uma luneta **equatorial** fabricados na França (ver “O Observatório Astronômico da UFRGS: patrimônio histórico nacional” no Capítulo “Acervo instrumental e arquitetônico” no Volume I).

Fixamos arbitrariamente a fronteira entre o passado e a história recente por volta de 1965. O motivo é que é difícil quantificar os gastos de épocas anteriores a essa data. Além disso, o período de 1965 a 1975 foi a década na qual foram instalados equipamentos que marcaram, com outros fatores, um salto em direção à modernidade. Os outros fatores foram a volta de pesquisadores com título de doutor obtido no exterior, a criação de cursos de pós-graduação (ver o Capítulo “Pós-graduação em astronomia” neste Volume) e a fundação da SAB em 1974 (ver o Capítulo “Organização da comunidade astronômica” neste Volume).

No fim da década de 1960 e no início da década de 1970, vários observatórios foram contemplados com telescópios de 50 ou 60 cm, fabricados pela *Zeiss/Jena* da República Democrática Alemã (RDA), conseguidos através do “acordo do café”. A RDA pagava o café importado do Brasil com instrumentos científicos. Segundo o Decreto-Lei 861 de 11/9/69 o montante para equipamentos da RDA era US\$ 20 M. No entanto, nem tudo foi na forma de equipamento para astronomia, e vários planetários foram incluídos (não conseguimos informações mais precisas). Assim os observatórios da Serra da Piedade, da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), de Porto Alegre, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e o Observatório do Valongo (OV) da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) foram equipados com esses telescópios. O observatório da Serra da Piedade também recebeu um telescópio refrator com abertura de 15 cm da Zeiss. Esses telescópios serão contabilizados com os outros da mesma década mencionados a seguir.

Os telescópios de 52 cm do ITA (Instituto Tecnológico de Aeronáutica) em São José dos Campos, SP, e de 60 cm do IAG/USP (Boller & Chivens, B&C), instalado em Valinhos, SP, tiveram origem diferente. O telescópio do ITA foi o único inteiramente construído no Brasil. O fato é que muitos telescópios da classe de 60 cm surgiram em poucos anos. Além destes, devemos mencionar um **círculo meridiano** e um **astrolábio**, também instalados em Valinhos pelo IAG em 1975. Os telescópios de 50 a 60 cm com seus fotômetros (ver **fotometria**), assim como os outros instrumentos, foram utilizados em pesquisa, sendo um prenúncio do que estava por vir. Podemos estimar o total desses investimentos feitos na década de 60 e 70 somados, incluindo os telescópios com seus instrumentos, cúpulas e prédios, em algo da ordem de US\$ 2.3 M em 1970. Essa estimativa pode estar errada por um fator 2. Em valores atuais seriam US\$ 13.8 M, e com a correção do PIB, US\$ 20.3 M.

Até o momento estávamos mencionando investimentos relativamente pequenos. Os maiores investimentos, na década de 1970, foram o Observatório do Pico dos Dias (OPD) com seu telescópio de 1,6 m (ver o Capítulo “O observatório de montanha” neste Volume), e o radiotelescópio de 13,7 m do Itapetinga, no município de Atibaia, SP (ver o Capítulo “Radioastronomia” neste Volume).

O OPD, construído em razão do telescópio de 1,6 m, fez parte do ON até 1989, e hoje é operado pelo LNA. O telescópio Perkin Elmer (P&E) de 1,6 m custou cerca de US\$ 900 K, seu **espectrógrafo *coudé***, aproximadamente US\$ 110 k, e a cúpula do telescópio US\$ 229.2 k num total de US\$ 1.24 M. A construção do Observatório (estrada, prédio), até sua inauguração, consumiu US\$ 1 M. Os recursos vieram basicamente da FINEP (Financiadora de Estudos e Projetos) e do orçamento do ON. O telescópio Zeiss instalado no mesmo pico já foi contabilizado e a transferência do telescópio do IAG para o local se deu mais tarde. Em resumo, a implantação do então OAB (Observatório Astrofísico Brasileiro) consumiu US\$ 2.3 M do início da década de 1970 (fixaremos o ano de 1972 para nossa contabilidade). Este valor corresponde a US\$ 14.0 M de hoje, e US\$ 18.4 M se normalizado pelo PIB.

O radiotelescópio de 13,7 m do Rádio Observatório do Itapetinga (ROI) teve investimento de US\$ 5 M em 1972, obtido da FINEP pelo CRAAM (Centro de Rádio Astronomia e Astrofísica Mackenzie). Antes da instalação do radiotelescópio de 13,7 m, o CRAAM possuía o radiopolarímetro de 7 GHz (US\$ 50 K), estações de rastreamento de VLF (*Very Low Frequency*) para detecção de efeitos solares da **ionosfera** e periféricos, incluindo relógio atômico, num valor de US\$ 30 k. No entanto as estações de VLF servem muito mais para geofísica do que para astronomia e não serão computadas. O investimento no ROI corresponde a US\$ 27.3 M de hoje ou US\$ 40.4 M se feita a correção pelo PIB.

Um **espectrógrafo *Cassegrain*** foi adquirido em 1974 para o telescópio de 60 cm de Valinhos, com auxílio da FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo). Além do **espectrógrafo *Cassegrain* B&C**, cujo valor da época foi US\$ 90 k, o projeto incluiu um detector SIT-Vidicon no valor de US\$ 3 k e um sistema de aquisição de dados OMA (*Optical Multichannel Analyzer*), no valor de US\$ 3.5 k. O total de US\$ 96.5 k corresponde a US\$ 0.48 M de hoje ou US\$ 0.70 M com a correção pelo PIB.

## Década de 1975 a 1984

A década entre 1975 e 1984, talvez mesmo até 1990, foi praticamente perdida, em termos de grandes investimentos. Qual seria a causa dessa lacuna? Ainda estávamos numa época em que só existia astronomia **óptica** e **radioastronomia**. Esta ficou dividida e enfraquecida devido ao triste episódio associado à transferência do radiotelescópio do Itapetinga para o INPE em 1979. Não estamos questionando aqui a transferência em si, mas a maneira como ela foi conduzida, que levou a metade do grupo a não aceitá-la (ver o Capítulo “Radioastronomia” neste Volume). Talvez, após os grandes investimentos da dé-

cada anterior, foi necessário um tempo para a digestão, ou seja, colocar em funcionamento o que existia. Além disso, o país estava em crise, enfrentando forte inflação, e qualquer recurso obtido derretia nas mãos dos contemplados num prazo de dois meses. As importações eram dificultadas.

Todavia, não deixaremos o período em branco, mencionando o início da computação. O movimento se iniciou com alguns computadores HP9810, lançados em 1971 nos EUA ao custo de US\$ 2.5 k. Foram seguidos de modelos HP9830, programáveis em linguagem *Basic*, lançados em 1972, com impressora de papel térmico e unidade de fita, e chegavam a custar US\$ 9 k. Embora as datas de lançamento nos EUA sejam anteriores, provavelmente só a partir de 1975 passaram a povoar nossos institutos em número razoável. Acreditamos que chegou a existir algo como 20 destas máquinas. A partir de 1978 apareceram os computadores *Apple*, em particular o *Apple II* ao custo de US\$ 3 k. De forma um pouco arbitrária, vamos supor que US\$ 300 k de 1975 foram gastos com os ancestrais dos microcomputadores nessa década. Correspondem a US\$ 1.4 M de hoje, ou US\$ 2.0 M se corrigidos pelo PIB.

O microdensitômetro PDS (*Photometric Data Systems*) 1010A do ON foi um instrumento bastante competitivo em nível internacional. Sua finalidade era fazer leitura eletrônica de placas fotográficas, por meio de um feixe de luz que atravessava a placa e era detectado por uma fotomultiplicadora. A varredura da placa era feita por meio do sistema de controle de posição  $x, y$ . O equipamento tinha computador associado para aquisição dos dados. Estimamos que o investimento foi de US\$ 300 k em valores de 1978, correspondentes a US\$ 1.3 M de hoje, ou US\$ 1.8 M com correção pelo PIB.

Mencionaremos ainda aqui a instalação do detector Reticon, um antecessor dos CCDs, no telescópio de 1,6 m do OAB, no valor de US\$ 300 k em 1983, com seu sistema de aquisição de dados, que dispensou o processo fotográfico para a obtenção de **espectros**. Na mesma época o FOTEX (Fotômetro Texas) para **fotometria** em três **bandas** (UBV) foi disponibilizado no OAB. Na falta de maiores informações estimamos seu custo em US\$ 20 k. Somaremos os valores destes dois instrumentos de uma mesma época, o que nos dá US\$ 320 K, ou US\$ 1.1 M hoje, ou ainda US\$ 1.5 M, se atualizado pelo PIB.

## Década de 1985 a 1994

Em 1988 o IAG adquiriu, com apoio da FAPESP, um computador VAX 8530 que funcionava em rede com três estações gráficas MicroVAX 3200, a um custo, com a instalação, da ordem de US\$ 0.8 M, equivalente a US\$ 2.2 M de hoje, ou US\$ 2.8 M com correção pelo PIB.



Em 1992 foi inaugurada a sede do LNA em Itajubá, MG, em prédio com valor da ordem de US\$ 200 k (ver o Capítulo “O observatório de montanha” neste Volume). Trata-se de um avanço importante para a astronomia brasileira e por isso, neste caso, a construção de um prédio será contabilizada. Em 1994 o LNA instalou o fotômetro FOTRAP, com valor da ordem de US\$ 20 k. Devido a seu baixo custo, não o incluímos como item separado; contaremos US\$ 220 k em 1992, US\$ 0.5 M em 2013 corrigindo pela inflação e US\$ 0.6 M corrigindo pelo PIB.

A redoma do radiotelescópio do Itapetinga foi trocada no ano de 1994, ao custo de US\$ 1 M, que corresponde a US\$ 2.2 M de hoje ou US\$ 2.6 M com a correção pelo PIB.

Na década de 1990, possivelmente até o ano 2000 (mas serão computadas apenas na década 1985-1994), vieram as “estações de trabalho”, máquinas de marcas como SUN ou DEC, muito mais poderosas do que os computadores anteriores, utilizadas para cálculos teóricos. Todo grupo que se respeitava tinha que possuir uma. Valiam da ordem de US\$ 20 k em 1995. Estimamos que foram adquiridas cerca de 20 pela astronomia brasileira. Um computador Cobra e um VAX foram instalados na UFRGS, e dois VAX no INPE/Sul em Santa Maria, RS. Surgiram também os computadores do tipo PC, como instrumento indispensável para qualquer pesquisador, incluindo alunos de iniciação científica, mestrado e doutoramento. Houve época em que cerca de 80% dos pedidos individuais de auxílio ao CNPq se referiam à aquisição destes computadores, vários num mesmo pedido, muitas vezes acompanhados de impressoras. Serviam também para sistemas de aquisição de dados. Estes computadores se tornavam rapidamente obsoletos e tinham que ser trocados depois de 2-3 anos. Nossa estimativa é que foram adquiridos cerca de 200 microcomputadores ao longo desses anos, por um valor de US\$ 3 k de 1995 por unidade. Somando com as estações de trabalho, temos como ordem de grandeza US\$ 2.5 M, ou US\$ 5.2 M de hoje, com a correção de inflação, ou US\$ 6.2 M, com a correção pelo PIB.

## Década de 1995 a 2004

A participação brasileira nos telescópios Gemini se deu através do LNA. O acordo internacional para a construção desses telescópios foi assinado em 1993. O Brasil, com direito a 2,3% do tempo de uso, se comprometeu com US\$ 4.6 M. A inauguração do Gemini Norte foi no fim de 1998, e a do Gemini Sul em 2002. Vamos usar 1997 como data de referência para as correções. Em 2013, o investimento corresponde a US\$ 8.9 M, e considerando o PIB, US\$ 10.4 M. Os gastos anuais de manutenção serão tratados em outra parte deste Capítulo.

O projeto SST (*Solar Sub-millimetric Telescope*), liderado pelo CRAAM, consistiu na instalação de um radiotelescópio solar em El Leoncito, Argentina, a um custo de cerca de US\$ 2 M em 1999 (US\$ 3.6 M hoje, US\$ 4.3 M com a correção do PIB). A fonte de recursos foi a FAPESP.

O LNA contou com muitos projetos pequenos ou médios, cujo financiamento teve origem em outras instituições nacionais ou em seu próprio orçamento, mas que serão contabilizados juntos aqui, para não entrar em detalhamento exagerado. O **espectrógrafo Cassegrain** mencionado anteriormente, adquirido pelo IAG em 1974, sofreu modificações no LNA para poder utilizar detectores CCD, ficando disponível a partir de 1996. Outros exemplos são o *upgrade* do fotômetro FOTEX em 2004, a aquisição de detectores CCD, a CAMIV (CÂMara InfraVermelha), gaveta polarimétrica (ver **polarimetria**), *Eucalyptus* (protótipo para o SIFS, *SOAR Integral Field Spectrograph*), a automação da cúpula e o banco de dados do LNA. Vamos avaliar o conjunto em US\$ 1.5 M, para uma época média de 2000, o que daria US\$ 2.6 M hoje, ou US\$ 2.9 M considerando o PIB.

O projeto “Telescópios na Escola” teve por objetivo montar 5 telescópios didáticos que poderiam ser acessados remotamente por alunos de escolas interessadas. Foi dito na introdução que não incluiríamos projetos destinados à divulgação da astronomia. No entanto, este projeto foi incluído aqui por estar muito próximo da pesquisa, já que os professores e alunos das escolas planejam e realizam observações. O projeto foi concebido e acompanhado por pesquisadores de nossas principais instituições de pesquisa, e os telescópios foram instalados nessas mesmas instituições (Colégio Militar de Porto Alegre, Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, IAG, INPE, Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN). A Fundação Vitae doou US\$ 180 k em 2001. Cada instituição recebeu um telescópio com sua montagem e um detector CCD. Outros auxílios de menor valor foram conseguidos da FAPESP, CNPq e USP em anos seguintes. Simplificando, podemos dizer que foi investido o equivalente de US\$ 250 k em valores de 2001, ou US\$ 0.4 M em 2013, ou US\$ 0.5 M com a correção pelo PIB.

O telescópio SOAR, administrado pelo LNA, foi inaugurado em 2004, mas os investimentos foram iniciados em 1999. A maior parte do custo foi bancada pelo MCTI, com contribuição da FAPESP. O SOAR custou para o Brasil US\$ 12 M, podemos dizer em valores de 2002, fazendo uma média do período de investimentos (seriam US\$ 18.9 M hoje, ou US\$ 21.0 M pelo PIB).

A participação do Brasil no Observatório de **Raios Cósmicos** Pierre Auger, situado na Argentina, tem base na Unicamp (ver o Capítulo “Pesquisas em Raios Cósmicos” neste Volume). O observatório contou com uma contribui-

ção brasileira de US\$ 2.5 M (FAPESP, FINEP, CNPq-PRONEX<sup>6</sup>), que situaremos em 2002. A incerteza no valor é grande devido à flutuação da taxa de câmbio no período. O projeto está numa fronteira entre a astronomia e a física, mas certamente deve ser contado aqui, como será feito com o detector de **ondas gravitacionais**. Seriam US\$ 3.9 M hoje, ou US\$ 4.4 M pelo PIB.

O CPADA (Computador de Alto Desempenho em Astronomia), foi um laboratório para desenvolvimento de *software* e processamento de dados do Departamento de Astronomia do IF/UFRGS, instalado com recursos do Instituto do Milênio a partir de 2002. O custo aproximado foi de US\$ 200 k (US\$ 0.3 M hoje, US\$ 0.35 M pelo PIB).

O projeto GEM de levantamento de radioemissão da **Galáxia** (apoio da FAPESP, CNPq e orçamento do INPE) custou cerca de R\$ 300 k, ou US\$ 100 k pela taxa de câmbio da época. Tomaremos como época média 2003. Seriam US\$ 150 k em 2013 ou US\$ 166 k corrigindo para o PIB.

O detector de **ondas gravitacionais** Mário Schenberg foi desenvolvido através de colaboração entre o INPE e o Instituto de Física (IF) da USP (ver o Capítulo “Ondas Gravitacionais” neste Volume). Foi financiado pela FAPESP, num total de US\$ 1 M. Tomaremos 2003 como data média dos investimentos. Os valores atualizados são US\$ 1.50 M e US\$ 1.7 M, pelo PIB.

Na área de pesquisa espacial (ver o Capítulo “Astronomia espacial” neste Volume) foi desenvolvido o projeto MASCO (MÁScara Codificada) para obtenção de imagens em raios-X. Na época do lançamento do balão com esse detector, no início de 2004, foram realizados investimentos da ordem de US\$ 1 M (apoio da FAPESP, CNPq e orçamento do INPE), equivalentes a US\$ 1.45 M em 2013 ou US\$ 1.6 M, atualizando pelo PIB.

O SIFS, **espectrógrafo** de campo integral (ver IFU) para o SOAR, foi construído pelo LNA e pelo IAG, onde foi projetado e onde foi efetuada a importação dos componentes básicos (lentes, **redes holográficas**, fibras ópticas). Foi financiado por FAPESP, Instituto do Milênio e orçamento do LNA, num total de US\$ 1.1 M, que podemos situar em média em 2004 (atualizados, US\$ 1.6 M e US\$ 1.7 M, pelo PIB).

## De 2005 até 2013

O projeto Impacton (ver “O evento do Curuçá: a queda de bólidos em 13 de agosto de 1930” no Capítulo “Meteorítica”, no Volume I) consiste na instalação de um telescópio robótico **óptico** de 1 m no interior do Estado de Pernambuco

<sup>6</sup> PRONEX: Projetos de Apoio a Núcleos de Excelência.

para o estudo de NEOs (*Near Earth Objects*). A maior parcela do financiamento proveio da FINEP em 2005, complementada por recursos de Editais Universais do CNPq, verba orçamentária do ON, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ) e outros. Consideraremos um orçamento de US\$ 800 k em 2005 (US\$ 1.1 M hoje ou US\$ 1.2 M, atualizado pelo PIB).

Varios projetos envolveram aquisição de pequenos telescópios (30 cm) instalados no Observatório Abraão de Moraes: telescópios Obelix, Asterix e Prometeu (o instrumento de “Telescópios na Escola” já foi contado). Estima-se o valor de cada um em US\$ 40 K, total 120 K em 2005. Em outros centros do país pequenos telescópios foram instalados, por exemplo na UFSC para desenvolvimento de automação. Por isso multiplicamos por dois a estimativa, indo para US\$ 0.24 M (US\$ 0.33 M em 2013 ou US\$ 0.36 M, se corrigido pelo PIB).

Em 2006 foi inaugurada a primeira estação de observação remota para os usuários do SOAR no IF/UFRGS. Foi seguida por outras no IAG/USP, LNA/MCT e UFSC, adquiridas com recursos da USP, do Instituto do Milênio e Edital Universal do CNPq. Os custos dessas instalações são muito baixos; consideramos US\$ 100 k para o total delas, US\$ 0.13 M em 2013, ou US\$ 0.14 M pelo PIB, arredondando.

O Laboratório de Instrumentação instalado no LNA foi equipado com recursos do Instituto do Milênio; possui equipamento para metrologia **óptica**, um centro de usinagem de precisão para produzir componentes mecânicos e um laboratório para polimento e tratamento de fibras ópticas (ver o Capítulo “Desenvolvimento de Instrumentação” neste Volume). O custo do prédio e do equipamento é de US\$ 1 M de 2006, aproximadamente, US\$ 1.3 M em 2013, US\$ 1.4 M pelo PIB.

A câmera de imageamento *Spartan*, desenvolvida em colaboração com a *Michigan State University*, destinada ao telescópio SOAR, foi financiada em 2007 por meio de um projeto PRONEX do IAG, e teve participação importante do INPE, em termos de pessoal. Seu custo (parte brasileira) foi da ordem de US\$ 200 k, ou US\$ 0.26 M em 2013 e US\$ 0.27 M com correção pelo PIB.

O BDA (*Brazilian Decimetric Array*), interferômetro com 26 antenas já instaladas em Cachoeira Paulista, SP, pelo INPE, teve início com um protótipo instalado em São José dos Campos, SP. A avaliação do custo é complexa, pois estes se distribuem ao longo de uma década. Estão ancorados em dois projetos temáticos da FAPESP com vigência entre 2002 a 2006 e 2007 a 2012. Os recursos do CNPq e do orçamento do INPE também estão distribuídos no tempo. Foram obtidos recursos da FINEP. Consideraremos uma época média de 2007 e valor de US\$ 4.2 M ou US\$ 5.4 M de hoje, US\$ 5.7 M com atualização pelo PIB.

A participação do Brasil no satélite internacional COROT (ver o Capítulo “Astronomia espacial” neste Volume), principalmente francês, ficou assegurada por meio do financiamento da estação de recepção de sinais do satélite de Alcântara, MA (US\$ 1 M, pago pelo INPE), da manutenção dessa estação, da ordem de US\$ 240 k em seis anos, e de bolsas para os engenheiros que participaram do desenvolvimento de partes do projeto e para participação nas reuniões (*COROT Weeks*, congressos) (US\$ 600 k da CAPES, CNPq e FAPESP). Vamos dizer que a participação brasileira custou da ordem de US\$ 1.8 M de 2009 (considerando uma época média) ou US\$ 2.1 M hoje ou US\$ 2.2 M, se atualizado pelo PIB.

O *LIneA Data Center* (Laboratório Interinstitucional de e-Astronomia), formado pelo ON, Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF) e Laboratório Nacional de Computação Científica (LNCC), investiu até o momento, em 8 anos, da ordem de US\$ 5 M em equipamento (ver “Desvendando o universo com grandes mapeamentos” no Capítulo “Empreendimentos internacionais” neste Volume). Vamos tomar 2009 como data de referência. Os projetos de **cosmologia** observacional incluem o SDSS (*Sloan Digital Sky Survey*) no qual se investiu US\$ 900 K em 6 anos, e o DES (*Dark Energy Survey*), US\$ 300 K em 12 anos. Estes são subprojetos associados ao *LIneA*, que já inclui em seu custo mencionado acima os gastos com pessoal. Para manter maior uniformidade com outros projetos, não foram arrolados os gastos com pessoal do DES. Simplificando bastante, todos os valores dados acima serão somados na rubrica *LIneA Data Center* no total de US\$ 6 M de 2009, US\$ 7.1 em valores de 2013 e US\$ 7.3 corrigindo pelo PIB.

O **espectrógrafo** de alta **resolução** STELES (*SOAR Telescope Echelle Spectrograph*) foi iniciativa do LNA. Obteve um total de recursos de US\$ 1.3 M entre FAPESP, Instituto do Milênio, LNA, CNPq, FAPEMIG, INCT-A (ver adiante). Podemos contar que a média das despesas ocorreu há cerca de 3 anos, o que hoje corresponde a US\$ 1.5 M e US\$ 1.5 M com a correção pelo PIB.

O BTFI (*Brazilian Tunable Filter Imager*) é um imageador **óptico** interferométrico construído para o telescópio SOAR, com novo conceito, que incorpora um filtro Bragg sintonizável baseado em **rede** de difração **holográfica** e um sistema **Fabry-Pérot**. Foi concluído em 2012. Seu custo foi de US\$ 1.5 M, para os quais colocaremos a data média de referência como sendo 2010. Atualizando, seriam US\$ 1.7 M em 2013 e US\$ 1.7 M pelo PIB.

O Telescópio Robótico Brasileiro, de 1,5 m, está sendo instalado no Observatório Interamericano de Cerro Tololo (CTIO), Chile, para realizar mapeamentos do céu em 12 **bandas** multiusuárias, e com capacidade polarimétrica (**polarimetria**). Trata-se de colaboração entre IAG, INPE, ON, LNA. Permitirá

estender para o hemisfério sul o projeto espanhol J-PAS que visa aplicações cosmológicas (ver adiante). Seu custo é de US\$ 1.6 M, financiado pela FAPESP e INCT-A (ver adiante). A aprovação do projeto foi em 2009, mas vamos considerar que a média das despesas ocorreu em 2010 (US\$ 1.8 M em 2013, US\$ 1.9 M com correção pelo PIB).

O POEMAS é um conjunto de receptores polarimétricos funcionando em 45 GHz e 90 GHz, instalados no CASLEO (*Complexo Astronômico de El Leoncito*), Argentina. O projeto foi financiado em 2011 pela FAPESP e fundo MackPesquisa, da Universidade Mackenzie, no valor de US\$ 325 k (US\$ 0.35 M em 2013, US\$ 0.36 M com a correção pelo PIB).

O Laboratório de **Astrobiologia**, instalado no Observatório Abraão de Moraes do IAG, em Valinhos, SP, foi financiado com recursos do INCT-Espaço (ver adiante), FAPESP e Núcleo de **Astrobiologia** da USP, num total equivalente a US\$ 1.2 M em 2011 (US\$ 1.3 M em 2013, US\$ 1.3 M com a correção pelo PIB).

Encontra-se em desenvolvimento no INPE o satélite Lattes, que será parcialmente dedicado à astronomia, com detector de raios-X e, parcialmente, ao monitoramento da atmosfera terrestre. A parte astronômica do satélite<sup>7</sup> incorporou o projeto MIRAX, que se encontrava em fase de desenvolvimento, e que ia ser apenas astronômico, no qual foram investidos poucos recursos (~US\$ 100 k), faltando ainda investir a maior parte (~US\$ 10 M). No satélite Lattes como um todo já foram investidos cerca de US\$ 20 M do orçamento total de US\$ 110 M, valor que inclui o lançamento e que consta oficialmente do Plano Nacional de Atividades Espaciais. Complementando este grande projeto espacial, existe ainda o projeto de balão denominado protoMIRAX, que pode ser considerado parte do MIRAX, no qual já foram investidos cerca de US\$ 1.5 M oriundos da FINEP (CT-Espacial<sup>8</sup>) e cerca de US\$ 250 k do INCT-Espaço (ver adiante). Vamos avaliar o que já foi investido nas atividades Lattes + MIRAX + protoMIRAX, considerando para o Lattes apenas a metade do satélite destinada à astronomia; temos um investimento de US\$ 12 M em valores de 2012. Esta conta é incerta porque os projetos têm sido alterados e são de difícil acompanhamento. A partir de 2012 consideramos que as atualizações em dólares passam a ser desprezíveis e não são mais aplicadas.

Um telescópio infravermelho encontra-se em construção em Macon, nos Andes argentinos, produto de colaboração entre o IAG, a Universidade

<sup>7</sup> Ver o Capítulo “Astronomia espacial” neste Volume.

<sup>8</sup> CT-Espacial denota o Programa da FINEP de Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Setor Espacial.

Católica do Chile e a Universidade de Córdoba (Argentina). A participação brasileira representa US\$ 350 k em 2012, financiados por um Núcleo de Pesquisa da USP.

O supercomputador Alpha Crucis no IAG representa investimento de US\$ 870 k em 2012, financiados pela FAPESP, Centro de Informática da USP, CAPES e INCT-A (ver adiante).

A câmara SPARC4 (*Simultaneous Polarimeter and Rapid Camera in 4 bands*), destinada ao telescópio de 1,6 m do LNA (US\$ 0.1 M) é um projeto em andamento coordenado por pesquisadora do INPE.

O J-PAS é uma colaboração internacional Brasil-Espanha para levar a cabo o *Javalambre Physics of the Accelerating Universe Astrophysical*, que envolverá a construção de dois telescópios robóticos no Pico de Buitre, Sierra de Javalambre, Espanha. O telescópio principal (T250) com 2,6 m de diâmetro, completamente dedicado ao projeto, terá uma câmara (construída pelo Brasil) com um sistema de mais de 40 filtros de **banda** estreita. Esse sistema vai fornecer **espectroscopia** de baixa **resolução** de todos os objetos observados no levantamento. Existe um projeto de extensão para o hemisfério sul (projeto PAU-Brasil, onde PAU é a sigla de *Physics of the Accelerated Universe*). A FAPESP alocou cerca de US\$ 2.05 M, o ON US\$ 2.2 M e os recursos da FAPERJ e FINEP somam da ordem de US\$ 1.63 M. O total é de cerca de US\$ 5.9 M em valores de 2012.

O projeto de **espectrógrafo** para o foco primário do telescópio japonês Subaru de 8,2 m de diâmetro instalado no Havá (*Subaru Prime Focus Spectrograph*) e projeto científico associado *Subaru Measurements of Images and Redshifts* contam com participação brasileira, através do IAG e do LNA. A FAPESP concedeu US\$ 0.86 M através de projeto temático em 2012.

O projeto SPIRou (*SpectroPolarimètreInfraRouge*), liderado pela França, visa à construção de um espectropolarímetro no infravermelho para o telescópio CFHT. No Brasil, o LNA, a UFMG e a UFRN participarão no desenvolvimento das fibras ópticas no infravermelho e fornecerão os elementos dispersivos do **espectrógrafo**. Mencionaremos aqui também o ECHARPE (*ÉCHelle* de Alta Resolução para o P&E), um **espectrógrafo Échelle** de dois canais e alimentado por fibras, para o OPD. Os dois projetos (SPIRou e ECHARPE) foram contemplados com R\$ 1,2 M pela FINEP, equivalente a US\$ 0.5 M.

O LLAMA (*Large Latin American Millimeter Array*) é uma colaboração entre FAPESP, USP e Ministério de Ciência e Tecnologia da Argentina, visando à instalação de um radiotelescópio a 4.850 m de altitude, nos Andes argentinos. A antena funcionará entre 40 e 900 GHz, tanto no modo de antena individual como para interferometria com outros radiotelescópios, como ALMA (*Ataca-*

ma Large Millimeter/Submillimeter Array), APEX (*Atacama Pathfinder Experiment*) e outros radiotelescópios mais distantes. A FAPESP concedeu US\$ 11 M (incluindo a reserva técnica) por meio de projeto temático sediado no IAG/USP, cujo termo de outorga foi assinado em dezembro de 2013.

O projeto GMT (*Giant Magellan Telescope*) teve sua aprovação anunciada no momento da última revisão deste Capítulo, em julho de 2014. A participação brasileira no telescópio gigante (25 m de diâmetro) a ser instalado em Las Campanas, no Chile, de US\$ 40 M, financiada pela FAPESP, corresponde a 4% do total do projeto. Adotamos a hipótese de que este projeto será contemplado com 10% de reserva técnica, totalizando então US\$ 44 M, e que não deverá haver outros projetos importantes aprovados até o fim do ano de 2014.

O projeto CTA *Mini Array*, uma parceria com o *Istituto Nazionale di Astrofisica* (INAF) da Itália, que representa uma primeira fase do projeto CTA (*Cherenkov Telescope Array*) foi aprovado pela FAPESP em meados de agosto de 2014 e, por isso, não foi incluído na Tabela 1, nem nos gráficos. Representa um investimento de cerca de US\$ 3.5 M.

## Visão geral dos gastos com equipamentos e projetos

Recapitulamos na Tabela 1 a lista dos investimentos em equipamentos e projetos descritos acima, em ordem cronológica, mas também agrupados por décadas. Note-se que muitos projetos demoraram cerca de uma década para serem concluídos, portanto essa divisão do tempo faz sentido. O conteúdo desta Tabela não coincide com o que se chama normalmente de despesas de capital, pois em geral os projetos incluem também itens como serviços, gastos com viagens etc.

| Investimento                   | Ano  | Custo na época | Custo atualizado pela inflação do dólar | Custo atualizado pelo PIB |
|--------------------------------|------|----------------|---|---------------------------|
|                                |      | (US\$ M)       | (US\$ M)                                | (US\$ M)                  |
| Vários telescópios de 50–60 cm | 1970 | 2.3            | 13.8                                    | 20.3                      |



|                                     |      |      |             |             |
|-------------------------------------|------|------|-------------|-------------|
| OPD                                 | 1972 | 2.3  | 14.0        | 18.4        |
| Radiotelescópio 13,7 m              | 1972 | 5.05 | 27.3        | 40.4        |
| Espectrógrafo <i>Cassegrain</i>     | 1974 | 0.1  | 0.5         | 0.7         |
| <b>Total década 1965–1974</b>       |      |      | <b>55.6</b> | <b>79.8</b> |
|                                     |      |      |             |             |
| Computadores década 75–84           | 1975 | 0.3  | 1.4         | 2.0         |
| Microdensitômetro do ON             | 1978 | 0.3  | 1.3         | 1.8         |
| Reticon + Fotex                     | 1983 | 0.32 | 1.1         | 1.5         |
| <b>Total década 1975–1984</b>       |      |      | <b>3.8</b>  | <b>5.3</b>  |
|                                     |      |      |             |             |
| Computador VAX no IAG               | 1988 | 0.8  | 2.2         | 2.8         |
| Sede do LNA + FOTRAP                | 1992 | 0.22 | 0.5         | 0.6         |
| Nova redoma Itapetinga              | 1994 | 1    | 2.2         | 2.6         |
| Estações de trabalho + computadores | 1995 | 2.5  | 5.2         | 6.2         |
| <b>Total década 1985–1994</b>       |      |      | <b>10.1</b> | <b>12.2</b> |
|                                     |      |      |             |             |
| Gemini (capital)                    | 1997 | 4.6  | 8.9         | 10.4        |
| SST no CASLEO                       | 1999 | 2    | 3.6         | 4.3         |
| Detectores do LNA                   | 2000 | 1.5  | 2.6         | 2.9         |
| Telescópio na Escola                | 2001 | 0.25 | 0.4         | 0.5         |
| SOAR (capital)                      | 2002 | 12   | 18.9        | 21.0        |
| Observatório Pierre Auger           | 2002 | 2.5  | 3.9         | 4.4         |
| CPADA –cluster da UFRGS             | 2002 | 0.2  | 0.3         | 0.35        |
| GEM                                 | 2003 | 0.1  | 0.2         | 0.2         |
| Detector Mário Schenberg            | 2003 | 1    | 1.5         | 1.7         |
| SIFS                                | 2004 | 1.1  | 1.6         | 1.7         |
| MASCO                               | 2004 | 1    | 1.45        | 1.6         |

| <b>Total década 1995–2004</b>              |      |      | <b>43.3</b>  | <b>49.0</b>  |
|--|------|------|--------------|--------------|
| Impacton                                   | 2005 | 0.8  | 1.1          | 1.2          |
| Vários pequenos telescópios                | 2005 | 0.24 | 0.33         | 0.36         |
| Salas de observ. remota SOAR               | 2006 | 0.1  | 0.13         | 0.14         |
| Lab. Instrumentação LNA                    | 2006 | 1    | 1.3          | 1.4          |
| <i>Spartan</i> (câmara infravermelha)      | 2007 | 0.2  | 0.26         | 0.27         |
| BDA (radiointerferômetro)                  | 2007 | 4.2  | 5.4          | 5.7          |
| LineA                                      | 2009 | 6    | 7.1          | 7.3          |
| Satélite COROT                             | 2009 | 1.8  | 2.1          | 2.2          |
| STELAS – espectrógrafo para SOAR           | 2010 | 1.3  | 1.5          | 1.5          |
| BTFI (imageador filtro sintonizável)       | 2010 | 1.5  | 1.7          | 1.7          |
| Telescópio Robótico                        | 2010 | 1.6  | 1.8          | 1.9          |
| POEMAS – radiopolarímetro                  | 2011 | 0.3  | 0.35         | 0.36         |
| Laboratório de Astrobiologia               | 2011 | 1.2  | 1.25         | 1.3          |
| Câmara SPARC4                              | 2012 | 0.1  | 0.1          | 0.1          |
| Lattes+MIRAX                               | 2012 | 12   | 12           | 12           |
| Telescópio Infravermelho (Macon)           | 2012 | 0.35 | 0.35         | 0.35         |
| Cluster Alpha Crucis                       | 2012 | 0.9  | 0.9          | 0.9          |
| Projeto J-PAS ( <i>Javalambre Survey</i> ) | 2012 | 5.9  | 5.9          | 5.9          |
| <i>Subaru Prime Focus Spectrograph</i>     | 2012 | 0.86 | 0.86         | 0.9          |
| Projeto SPIRou e ECHARPE                   | 2013 | 0.5  | 0.5          | 0.5          |
| Radiotelescópio LLAMA                      | 2013 | 11.0 | 11.0         | 11.2         |
| Telescópio Gigante GMT                     | 2014 | 44.0 | 44.0         | 44.0         |
| <b>Total “década” 2005 – 2014</b>          |      |      | <b>100.1</b> | <b>101.2</b> |

Tabela 1. Lista dos principais investimentos

## Manutenção e aluguel de telescópios internacionais

Passamos a descrever a partir desta seção um tipo de despesa que chamaremos de “despesas correntes”. Nesta seção trataremos das despesas com manutenção de telescópios no exterior e, nas seguintes, de despesas com reuniões científicas no país e com viagens e estadas no exterior.

A partir de 1998 o ON passou a pagar aluguel do telescópio de 1,5 m do ESO em La Silla, ao custo de US\$ 300 k por ano. Esta operação se estendeu por 3 anos, pelo menos (não conseguimos informação precisa). Adotaremos 1999 como ano de referência; o valor acumulado do aluguel em 3 anos, em valor de 2013, seria aproximadamente US\$ 1.8 M, ou US\$ 2.0 M se a correção for pelo PIB. Esta despesa encontra-se contabilizada na Tabela 3.

Os custos de manutenção ou pagamento por uso dos grandes telescópios devem ser contados (Tabela 2). O orçamento anual para os telescópios SOAR, Gemini e CFHT representa atualmente US\$ 2.58 M desde 2009. Discriminando, temos:

| Telescópio | Gasto anual (US\$ M) |
|------------|----------------------|
| Gemini     | 1.652                |
| SOAR       | 0.509                |
| CFHT       | 0.424                |

**Tabela 2.** Gasto anual atual com os grandes telescópios

Não há necessidade de atualização desses números, pois estamos apresentando valores de 2012. Assim, se quisermos avaliar o total que foi gasto com a manutenção desses três telescópios desde que entraram em operação ou foi feita a negociação (no caso do CFHT), podemos multiplicar por 17 o gasto com Gemini, por 12 o do SOAR e por 6 o do CFHT o que dá US\$ 36.8 M (já fazendo a extrapolação para 2014, e supondo que o primeiro pagamento de manutenção se deu 1 ano após o início da operação para Gemini e SOAR). Na Tabela 3 os gastos desta modalidade serão apresentados por décadas, para poder incluí-los da mesma forma que os outros gastos da Figura 1.

## Reuniões científicas

A organização de simpósios, *workshops*, escolas avançadas etc., constitui uma das fontes de gastos em astronomia, assim como em outras áreas da ciência. Há três décadas, as Escolas Avançadas de Astronomia, organizadas

pelo IAG a cada 2 anos, eram reuniões científicas de grande relevância para o país. Talvez o primeiro *workshop* de porte razoável, com 50 participantes, incluindo estrangeiros, foi o “Colóquio sobre Fenômenos de Ejeção de Massa”, realizado em Cambuquira, MG, em 1979. As reuniões anuais da SAB vêm acontecendo anualmente desde 1978 (ver o Capítulo sobre “Organização da comunidade astronômica” neste Volume). A Escola Brasileira de Cosmologia e Gravitação, organizada pelo CBPF a cada 2 anos, teve início também em 1978. Ainda em 1979 foi realizado um Colóquio de Dinâmica Orbital, que também passou a ser repetido a cada 2 anos. Desde então as reuniões foram se multiplicando, muitas instituições organizando suas próprias escolas e próprios eventos.

Não caberia aqui listar as grandes reuniões que foram organizadas. Destaca-se a Assembleia Geral da IAU, realizada no Rio de Janeiro em 2009, que contou com mais de 2 mil participantes (ver o Capítulo “Assembleia Geral da IAU no Rio de Janeiro”, neste Volume). Embora uma taxa de inscrição fosse cobrada, um apoio das agências financiadoras e empresas privadas no valor de R\$ 1,5 M ou US\$ 750 k foi necessária. Contribuíram o CNPq, a FAPERJ, o MCT, o ON, o LNA, a FAPESP, a CAPES, a Embratur, a revista A&A (*Astronomy & Astrophysics*), a Fundação Gruber, a Sul América, a L’Oréal, além de anônimos.

Nos anos de 2012 e 2013 pudemos contar pelo menos 15 reuniões com mais de 50 participantes, realizadas no Brasil. Exemplos de reuniões recentes, além das tradicionais como a Reunião Anual da SAB, Escolas Avançadas do IAG e do ON, Colóquios de Dinâmica e a reunião Nova Física no Espaço, foram as do SDSS-III no ON, *26<sup>th</sup> Texas Symposium on Relativistic Astrophysics* (São Paulo, SP), *Circumstellar Dynamics at High Resolution Workshop* (Foz do Iguaçu, PR), *Compact Stars in the QCD Phase Diagram* (Guarujá, SP), *USP Conference on Cosmology* (~ 250 participantes), Reunião Regional Latino-Americana da IAU em Florianópolis, SC. Foram ainda realizadas (pequenas) reuniões em homenagem a pesquisadores que se aposentaram no ON, IAG e UFRGS.

A *grosso modo*, contando 10 reuniões por ano com mais de 50 participantes, algumas com mais de 100 participantes e com financiamento médio da ordem de R\$ 200 k cada, temos um gasto anual de US\$ 1 M, em valores atuais. Só a título de exercício, supondo que o número de reuniões multiplicado pelo de participantes tenha aumentado linearmente, partindo do zero em 1978, gastamos cerca de US\$ 17.5 M (em valor atualizado) em reuniões científicas desde que estas começaram a ocorrer de forma sistemática.

## Despesas no exterior

O Brasil fornece bolsas de doutoramento e de pós-doutoramento por meio de suas agências de fomento. Uma fração dos brasileiros que realizam pós-doutoramento consegue pagamento por instituições do exterior. Vamos supor que as agências de fomento financiem um total de 20 bolsas anuais ao custo de US\$ 5 k por mês; isso representaria US\$ 1.2 M por ano.

A participação de brasileiros em congressos internacionais tem aumentado significativamente. Na reunião da IAU em Beijing em 2012, por exemplo, foram pelo menos 30. Entre diárias e passagens, isso representa gasto de US\$ 120 k. Podemos considerar, além disso, mais 10 congressos com 2 participantes brasileiros em cada um, e chegamos a um total de US\$ 200 k para participação em congressos.

Existem outras despesas com bolsas sanduíches, viagens a serviço e missões observacionais, participação em comitês científicos dos grandes telescópios e em projetos de intercâmbio como CAPES/COFECUB (*Comité Français d'Évaluation de la Coopération Universitaire et Scientifique avec le Brésil*), USP/COFECUB e FAPESP/CNRS (*Centre National de la Recherche Scientifique*). Colocaremos aqui a mesma quantidade que adotamos para a participação em congressos.

Estimamos assim que o gasto total com viagens e estadas no exterior representa cerca de US\$ 1.6 M anuais (valores atuais).

## Visão geral dos gastos

Separamos dos investimentos em equipamento, aquilo que chamamos de despesas correntes, que são calculadas de outra forma. As despesas com salários, reuniões científicas e despesas no exterior são, em primeira aproximação, proporcionais ao número de sócios da SAB. Essas despesas são avaliadas com relativa facilidade nos últimos 1-2 anos (os valores foram fornecidos nas seções anteriores). Mas nosso objetivo é avaliar essas despesas por décadas. O procedimento foi o seguinte: avaliamos a despesa para o ano de 2013, somando despesas com salários (US\$ 19.6 M), organização de reuniões científicas (US\$ 1 M), e gastos no exterior (US\$ 1.6 M), o que nos dá US\$ 22.2 M para as “despesas correntes” anuais em 2013 (sem contar as despesas com manutenção de telescópios). A soma desses três itens para 2013 serviu de base para calcular o valor correspondente para cada um dos anos anteriores (período de 1965 a 2012), utilizando a razão entre o número de sócios da SAB no ano considerado e em 2013 (720). Finalmente, somamos os valores dos dez anos de cada década. De 1965 a 1973 a SAB não

existia; estimamos em 20 o número de astrônomos profissionais nesse período. Note-se que como as despesas correntes já se encontram em valores de 2013, não há necessidade de aplicar fatores de correção pela inflação. Depois deste processo somamos a manutenção dos telescópios do exterior às despesas correntes, sendo que neste caso também não há necessidade de correção monetária, como já foi explicado (Tabela 3). Fizemos, finalmente, pequena extrapolação das despesas correntes para cobrir até o fim de 2014, para não apresentar uma década com um ano a menos que as outras, expressando tudo em dólares de 2013.

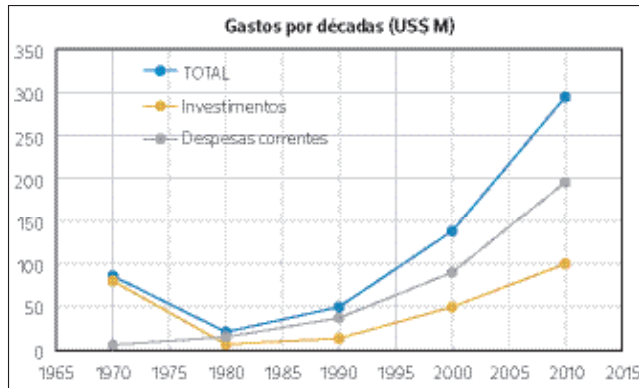
Numa breve discussão dos erros sobre os valores apresentados, tanto para os investimentos quanto para as despesas correntes, podemos dizer que para vários itens de menor valor a incerteza pode alcançar um fator dois para mais ou para menos, principalmente quando se trata das duas primeiras décadas. Em casos mais recentes, os valores declarados pelos responsáveis de projetos podem não ser muito realistas. No entanto, estes erros não estão sempre na mesma direção e se encontram somados com valores maiores para os quais a incerteza é bem menor. Por este motivo, e com base em alguns exercícios, acreditamos que os erros sobre os valores globais por décadas não devem ser maiores do que 20%. As épocas atribuídas a determinados projetos certamente contêm incertezas, mas estas também não afetam os resultados de forma dramática.

| <b>Década</b>  | <b>1965–<br/>1974</b> | <b>1975–<br/>1984</b> | <b>1985–<br/>1994</b> | <b>1995–<br/>2004</b> | <b>2005–<br/>2014</b> | <b>Total de<br/>5 décadas</b> |
|--|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------------|
| Salários + reuniões científicas+despesas no exterior | 7.7                   | 18.3                  | 43.8                  | 90.6                  | 170.6                 | 331.0                         |
| Manutenção de telescópios no exterior                | 0                     | 0                     | 0                     | 12.6                  | 24.2                  | 36.8                          |
| Aluguel telescópio                                   | 0                     | 0                     | 0                     | 2.0                   | 0                     | 2.0                           |
| <b>Total</b>   | <b>7.7</b>            | <b>18.3</b>           | <b>43.8</b>           | <b>105.2</b>          | <b>194.8</b>          | <b>369.8</b>                  |

**Tabela 3.** Despesas correntes, por década, em US\$ M de 2013, com extrapolação de despesas para incluir 2014

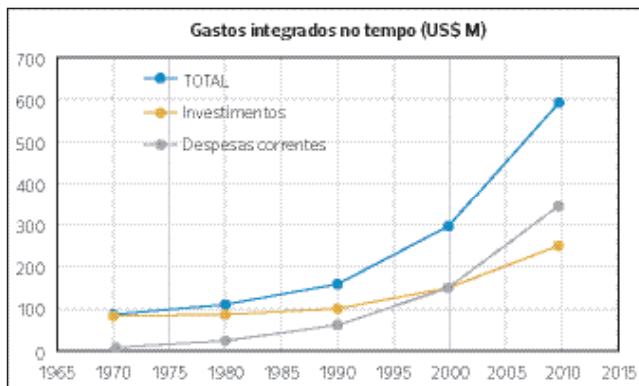
Na Figura 1 apresentamos a evolução dos gastos por década, separadamente para os investimentos (dados da Tabela 1) e para os gastos correntes (dados da Tabela 3), assim como esses valores somados. Vê-se que a ordem de gran-

deza do gasto total em astronomia no Brasil, dentro das hipóteses adotadas, alcança atualmente por volta de US\$ 300 M por década.



**Figura 1.** Gasto por década. Em laranja escuro os investimentos em instrumentos (telescópios e novos equipamentos); em cinza os gastos correntes (salários, reuniões científicas, manutenção de telescópios no exterior, participação em reuniões e bolsas no exterior) e, em azul, o total de gastos. Cada ponto representa as despesas feitas na década, desde 5 anos antes até 4 depois do ano indicado. O último ponto (2010) de cada curva fez uso de uma pequena extrapolação dos gastos até o fim de 2014, para evitar que ele ficasse com menos anos.

Na Figura 2 apresentamos os gastos decadais correntes e em investimentos, e gastos totais, acumulados a partir de 1965.



**Figura 2.** Gastos acumulados desde 1965

## Mecanismos de financiamento

No passado o financiamento de projetos de pesquisa se dava através de projetos individuais submetidos ao CNPq ou à FAPESP, e existiam projetos de caráter mais institucional, por meio da FINEP. Os “projetos temáticos” da FAPESP são mais amplos que os individuais, contando geralmente com vários pesquisadores. É impressionante a contribuição da FAPESP no cômputo geral dos investimentos feitos em astronomia. Não nos atrevemos a calcular a fração que ela representa, pois muitos projetos foram financiados por várias fontes, e não temos acesso a todas as contas. A FAPESP beneficia os astrônomos de todo o país, pois em geral os equipamentos desenvolvidos têm sido colocados à disposição da comunidade. A FAPESP desenvolveu um processo de avaliação de grandes projetos, com organização de *workshops* e consultas a especialistas do exterior, como aconteceu no caso do SOAR e do LLAMA, que não possui equivalente no MCTI. Outras agências estaduais, como FAPERJ (principalmente), FAPEMIG e FAPERGS estão passando a ter papel relevante.

Nos anos recentes a astronomia foi beneficiada por formas de financiamento coletivos mais amplos, oferecidas pelas mesmas agências de fomento já mencionadas: PRONEX, Instituto do Milênio, INCT-A (ver adiante), INCT-Espaço (ver adiante). Estes planos coletivos representam mudança de paradigma. Por envolverem um número maior de cientistas do que os projetos individuais, tendem a canalizar os recursos para projetos cuja prioridade é consensual e fomentar o desenvolvimento de forma mais eficiente. Não se deve somar os valores advindos destes financiamentos coletivos, com outros mencionados anteriormente, para se chegar aos gastos totais em astronomia. Esses financiamentos coletivos são utilizados para desenvolver instrumentação, organizar reuniões científicas, pagar bolsas etc., itens que já foram contabilizados. Criado em 1996 pelo CNPq, o PRONEX é um instrumento de estímulo a “Núcleos de Excelência”, que são grupos organizados de pesquisadores e técnicos de alto nível. A partir de 2003, o PRONEX passou a ser executado em parceria com agências estaduais de fomento à pesquisa.

Um projeto PRONEX liderado pelo IAG (Galáxias: Formação, Evolução e Atividade), com início no fim de 1996, teve participação do INPE, ON, OV/UFRJ e UFRN, com dotação de R\$ 1,4 M, na época equivalente ao mesmo valor em dólar. Financiou equipamentos como CAMIV, CCD + redutor focal, e a câmara de imageamento *Spartan*, desenvolvida em colaboração com a *Michigan State University*, além de infraestrutura computacional e apoio a grupos emergentes.

Um outro projeto PRONEX foi liderado pela UFRGS (Sistemas Estelares e sua Conexão com a Evolução das Galáxias na Era dos Grandes Telescópios -



CNPq/FAPERGS), com orçamento de R\$ 0,5 M, com início em 2005. Foi utilizado, entre outras finalidades, para renovar o *cluster* CPADA de computadores para a astronomia, adquirido com verbas do Instituto do Milênio (próximo parágrafo), aquisição de computadores, assinaturas de revistas, passagens e diárias.

O Instituto do Milênio, cujo nome completo prossegue: para Evolução de Estrelas e Galáxias na era dos Grandes Telescópios: Implementação de Instrumentação para o SOAR e Gemini, foi de certa forma semelhante. Teve vigência entre janeiro de 2002 e outubro de 2006, e envolveu 21 instituições: IAG/USP, LNA/MCT, ON/MCT, INPE/MCT, UFRGS, UFRJ, UFMG, UFRN, UFSC, UFES (Universidade Federal do Espírito Santo), UNIFEI (Universidade Federal de Itajubá, MG), UEFS (Universidade Estadual de Feira de Santana, BA), UESC (Universidade Estadual de Santa Cruz, BA), UEL (Universidade Estadual de Londrina, PR), UERJ (Universidade do Estado do Rio de Janeiro), UERGS (Universidade Estadual do Rio Grande do Sul), UEPG (Universidade Estadual de Ponta Grossa, PR), UNICAP (Universidade Católica de Pernambuco), UCS (Universidade de Caxias do Sul, RS), UNIP (Universidade Paulista) e UNICSUL (Universidade Cruzeiro do Sul). Os objetivos foram: 1) desenvolvimento tecnológico na área de instrumentação de ponta no país; 2) fortalecer a pesquisa em astronomia de forma a impactar o sistema educacional em todos os níveis; 3) promover o fortalecimento de centros emergentes e criação de novos grupos, aumentando assim o número de usuários dos telescópios de grande porte. O Instituto do Milênio foi contemplado com R\$ 3,1 M numa época média situada em 2004, o valor correspondente em dólares na época era aproximadamente US\$ 1 M.

O INCT-A é o Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia (INCT) para Astronomia, que inclui cerca de 150 pesquisadores e obteve recursos de aproximadamente US\$ 2.7 M repartidos entre CNPq e FAPESP. Praticamente as mesmas instituições do projeto do Milênio acima participaram. O objetivo desse instituto é preparar a entrada do país em grandes projetos internacionais, ou seja, tem um caráter prospectivo. Além disso, desenvolve outras ações como apoio a grupos emergentes, desenvolvimento de ensino a distância etc.

O INCT-Espaço (INCT para Estudos do Espaço) é outro dos institutos nacionais implantados recentemente, cuja direção é compartilhada entre a UFRN e o ITA, já que é o resultado da fusão das propostas de INCT de Tecnologias Espaciais (ITA) e INCT de Ciências do Espaço (UFRN). O INCT-Espaço tem financiado diversos projetos já mencionados neste Capítulo: protoMirax, Laboratório de **Astrobiologia**, mas também projetos de desenvolvimento tecnológico para a área espacial que não estão diretamente relacionados com a astronomia.

Finalmente, mais um mecanismo de financiamento surgiu recentemente. A USP criou seu próprio sistema de fomento, através dos Núcleos de Pesquisa, que até onde sabemos, ainda não têm seu equivalente em outras universidades, nesse grau. Os “Núcleos” já existiam há mais de uma década, mas só recentemente passaram a contar com recursos apreciáveis, da ordem de R\$ 1 M ou mais. Esses núcleos, para serem aprovados, devem ter caráter abrangente, envolvendo mais de um instituto da universidade. Vários núcleos da área de astronomia tiveram sucesso em obter recursos, como foi o caso do NARA (Núcleo de Pesquisa em Radioastronomia) e do NAP/Astrobio (Núcleo de Apoio à Pesquisa em **Astrobiologia**) e o Núcleo de **Cosmologia**.

## Conclusão

Nosso país vem investindo de forma séria e cada vez mais sistemática em astronomia há mais de um século. Em cada época, os investimentos se deram de forma diferente, sendo o acordo do café um exemplo intrigante. No geral, ficamos impressionados com o que foi feito, quando os valores são atualizados. Os resultados estão aí; estamos participando em muitos projetos internacionais, organizando reuniões científicas também internacionais. O desenvolvimento se espalhou pelo país; temos uma dezena de centros emergentes, além dos centros consolidados, e muitos mestres e doutores. Somos capazes de produzir instrumentos para serem instalados nos melhores telescópios do mundo.

Para contar esta história, inclusive em seus aspectos financeiros, um trabalho mais profundo do que o presente mereceria ser feito. Poderia ser um trabalho coordenado pela SAB, por exemplo. Se for estabelecido um cadastro dos projetos em andamento, nos quais os próprios responsáveis declarem os recursos obtidos, os historiadores do futuro poderão produzir relatos muito mais precisos. E nós mesmos ficaríamos sabendo de muitos projetos cuja existência ignoraríamos.

Em resumo, na década de 1965-1975, foram feitos investimentos equivalentes a cerca de US\$ 80 M, em termos de “esforço nacional” em dólares de hoje. Na década seguinte houve um forte recuo e, na de 1985 a 1995, uma recuperação gradual. Depois de 1995, voltamos a um nível adequado de investimentos com a participação brasileira nos telescópios Gemini e SOAR, e com o desabrochar do desenvolvimento no Brasil de instrumentos sofisticados e competitivos em nível internacional. Além disso, houve diversificação dos investimentos, com projetos como o Auger (**raios cósmicos**), Mário Schenberg (**ondas gravitacionais**), BDA (radiointerferometria) e projetos

espaciais. No último ano houve aceleração dos investimentos, com a aprovação de grandes projetos como LLAMA e GMT pela FAPESP. Chegamos a um nível de investimento da ordem de US\$ 100 M por década.

As novas formas de financiamento por meio de “Institutos” têm se revelado bastante benéficas, por permitir projetos ambiciosos e de consenso entre muitos pesquisadores. No entanto, existe um risco quando o número de participantes cresce demais, de novamente os dirigentes perderem o contato estreito com as bases, e de o instituto deixar de ter foco definido. Falta ao país um foro adequado para analisar os grandes projetos e discutir os rumos da astronomia. O MCTI anunciou, há cerca de dois anos, que iria criar um conselho de especialistas, mas ainda não efetivou essa decisão.

Com as reuniões científicas se gasta cerca de US\$ 1-2 M por ano. Podemos até considerar que o número de reuniões no país atingiu seu máximo razoável, tendo em vista que é praticamente impossível para um astrônomo participar de todas que são de seu interesse, lembrando que é desejável a participação em reuniões no exterior, além das nacionais. Em 2012 as datas das Escolas Avançadas do IAG e do ON coincidiram, e várias reuniões foram tão próximas umas das outras, que era impossível estar presente em todas. Assim, cada reunião no país perde seu alcance; os pesquisadores de uma instituição frequentam pouco os eventos das outras e a interação tem diminuído. Caberia, talvez, algum ordenamento pela SAB.

E a entrada do Brasil no ESO (*European Southern Observatory*), o que representaria, frente ao quadro acima? Ver “Participação do Brasil em consórcios internacionais” no Capítulo “Empreendimentos internacionais” neste Volume. Embora o presidente da República e o ministro de Ciência e Tecnologia tenham assinado em dezembro de 2010 o termo de adesão ao ESO, até a presente data o acordo não foi ratificado pelo Congresso Nacional. O Brasil teria que pagar, segundo informações constantes no *site* da SAB, uma taxa de entrada de €\$ 130 M ou US\$ 170 M (para permanecermos na unidade utilizada até agora), parcelada em 11 anos. Além disso, teria que pagar as anuidades estimadas em cerca de €\$ 18 M (US\$ 24 M) por ano, com desconto decrescente de 90% para 0% em 10 anos. Ou seja, no primeiro ano teria que pagar um total de cerca de US\$ 17.7 M. Com essa quantia, teríamos acesso à totalidade dos telescópios pertencentes ao ESO, inclusive ao ALMA, o maior projeto da **radioastronomia** mundial, e seríamos participantes do E-ELT (*European Extremely Large Telescope*), telescópio **óptico** de 39 m de diâmetro, também o maior do planeta. Uma parte importante dos recursos voltariam ao país, na forma de encomendas a indústrias brasileiras. Parece ótima oportunidade, que não destoa da ordem de grandeza de financiamen-

to conseguida no passado, dentro de uma progressão natural. Como vimos, na década 1965-1975 foram adquiridos o radiotelescópio do Itapetinga, o telescópio de 1,6 m e vários telescópios de 0,6 m, correspondentes a um valor corrigido pelo PIB da ordem de US\$ 80 M, hoje.

Estamos nos tornando perigosos, abocanhando uma parte cada vez maior dos recursos destinados à ciência, como pensam alguns colegas de outras áreas que se declaram contrários a nossos projetos? Não, porque nosso crescimento é apenas igual ao crescimento da nação. Com base em nossa história científica e financeira, parece justo almejar sermos parceiros do E-ELT. Para efeitos comparativos, a reforma do Laboratório de Luz Síncrotrônica, prevista para ser concluída em 2016, vai consumir US\$ 325 M. Esse projeto merece todo nosso apoio. Ainda para nos situar, o orçamento do MCT foi de US\$ 3.6 G em 2013, excluindo os créditos da FINEP (O Estado de São Paulo, 10/4/2013).

A entrada no ESO é um grande passo, mas não contempla toda a astronomia e nem esgota nossas necessidades. Assim, a astronomia espacial necessita de recursos para o lançamento do Lattes e outros satélites futuros. Outra área, a de astronomia de **raios  $\gamma$**  (gama) a partir do solo, já conta com uma iniciativa para a participação brasileira no CTA (*Cherenkov Telescope Array*). Mesmo na área de **radioastronomia**, apesar da provável entrada no ESO nos dar acesso ao ALMA, este interferômetro cobre apenas uma parte do **espectro** rádio e das possibilidades, mesmo na região milimétrica. O projeto LLAMA, de construção nos Andes argentinos de um radiotelescópio semelhante aos do ALMA, permitirá operação no modo *single dish* e também em interferometria de longa distância (VLBI), complementando o ALMA, e estabelecendo parcerias com outros telescópios mais distantes. Para as baixas frequências, devemos considerar no futuro próximo a participação em outro consórcio internacional, o SKA (*Square Kilometer Array*) e, em particular, com sua vertente situada na África do Sul, o *Meerkat* que está em construção. Seria perfeitamente razoável colocar algumas antenas no Brasil para complementar o *Meerkat*. Além disso, deveríamos aproveitar as várias antenas de 32 m de Morungaba (SP) e de Tanguá (RJ), usadas no passado pela Embratel para telecomunicações, para integrar uma rede nacional e internacional de VLBI. Porque não se investe na antena do Itapetinga? Parece que convém a alguns acharem que ela está obsoleta. Não é verdade. Com um investimento pequeno, ela poderia fazer parte de rede de VLBI e, além disso, realizar levantamentos automatizados na **Galáxia** da molécula  $\text{NH}_3$ , entre outras. Existem nichos para a **radioastronomia** centimétrica, a faixa de operação do ROI. Para fazer perante os projetos radioastronômicos citados, deveríamos

construir uma estrutura adequada; por exemplo, um Instituto de Radioastronomia, funcionando nos moldes do LNA, e que seria uma semente de nosso NRAO (*National Radio Astronomy Observatory*). O leitor deve perdoar o viés radioastronômico da discussão acima, pois não caberia ao autor se manifestar aqui sobre os projetos futuros das diversas áreas da astronomia.

## Agradecimentos

Agradecemos a Oscar Matsuura pela firme condução e aconselhamento sobre a organização do Capítulo, e Adriana Valio, Beatriz Barbuy, Bruno Castilho, Carlos Escobar, Cláudia Mendes de Oliveira, Claudia Villegas, Daniela Lazzaro, Eduardo Janot-Pacheco, Gabriel Franco, Hanumar Sawant, Heloisa Boechat, João Braga, João Steiner, Jorge Horvath, José Pacheco, José Williams Vilas Boas, Kepler de Oliveira, Luis Nicolaci da Costa, Odylio Aguiar, Pierre Kaufmann, Renato Dupke, Ruth Gruenwald, Sueli Viegas, Thyrso Villela e Vera Jatenco por informações, correções ou sugestões.