

Plano Nacional de Astronomia

Proposta

versão preliminar e resumida

Comissão Especial de Astronomia

abril de 2010

Comissão Especial de Astronomia

Luiz Antonio Rodrigues Elias – Secretário Executivo do MCT (Presidente)

Carlos Oití Berbert – Coordenador Geral das UPs/MCT (Substituto do Presidente)

Eduardo Janot Pacheco – Sociedade Astronômica Brasileira – SAB (Relator)

Eduardo Luiz Damiani Bica – Academia Brasileira de Ciências - ABC

Kepler de Souza Oliveira Filho – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES

Beatriz Leonor Silveira Barbuy – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq

Mário Novello – Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas - CBPF

Oswaldo Duarte Miranda – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE

Albert Josef Rudolf Bruch – Laboratório Nacional de Astrofísica – LNA

Douglas Falcão Silva – Museu de Astronomia e Ciências Afins – MAST

Jorge Ramiro de La Reza – Observatório Nacional – ON

Lista de conteúdo

1. Resumo Executivo.....	4
2. Preâmbulo.....	6
3. Situação atual da astronomia brasileira.....	7
3.1. A astronomia brasileira no contexto global.....	7
3.2. Focos temáticos da astronomia brasileira.....	8
3.3. A infraestrutura para a astronomia brasileira.....	10
4. Vertentes para o futuro da astronomia brasileira.....	12
4.1. Astronomia óptica e infravermelha.....	12
4.2. Radioastronomia.....	14
4.3. Astronomia espacial	16
4.4. Cosmologia.....	17
4.5. Astronomia teórica e computacional.....	18
4.6. Bancos de Dados e o Observatório Virtual.....	19
4.7. Astronomia não eletromagnética.....	21
5. O potencial da astronomia para o desenvolvimento tecnológico do Brasil....	24
6. Ensino de astronomia e formação de Recursos Humanos.....	27
7. Divulgação: Astronomia e sociedade.....	30
8. Gestão do PNA e Modelos de gerenciamento da astronomia brasileira.....	33
9. Conclusões.....	35
Glossário.....	36

1. Resumo Executivo

A astronomia tem um apelo muito grande porque trata de questões fundamentais para situar o homem no universo. Dentre as disciplinas físicas ganhou importância porque estuda fenômenos que ocorrem em condições extremas, impossíveis de serem reproduzidas em laboratórios terrestres, levando a astronomia a contribuir de maneira decisiva para a compreensão de fenômenos físicos únicos, muitas vezes no limite do conhecimento.

Apesar de a astronomia profissional moderna ter começado no Brasil apenas nos anos 70, a comunidade cresceu rapidamente e hoje conta com mais de seiscentas pessoas. Ela já conseguiu certo destaque científico mundial na área e mais recentemente também em termos da tecnologia envolvida na instrumentação astronômica e já tem demonstrado um nível elevado de inserção internacional, com assento em colegiados importantes e colaborações com países mais desenvolvidos.

Praticamente todos os temas de destaque da astronomia moderna são estudados no Brasil. A infraestrutura material e de recursos humanos, disponível para a pesquisa na área, está concentrada em Unidades de Pesquisa do MCT e em Universidades Federais e Estaduais. A mais importante infraestrutura observacional de acesso de toda a comunidade é composta dos observatórios gerenciados pelo LNA (OPD, participação brasileira no Observatório Gemini e nos telescópios SOAR e CFHT) na faixa óptica e o Radiotelescópio de Itapetinga (ROI) na faixa de rádio.

Tendo em vista o rápido crescimento da comunidade astronômica brasileira e a importância em se manter e ampliar sua inserção na comunidade internacional, há necessidade de se criar uma política do Estado de longo prazo, alinhada aos objetivos estratégicos para o desenvolvimento do país, a fim de garantir a continuação do bem sucedido empenho das últimas décadas.

Novos investimentos de porte significativo são necessários e deverão ser bem planejados, buscando um equilíbrio entre as diversas áreas da astronomia, atendendo os segmentos maiores da comunidade sem negligenciar minorias. Os investimentos deverão promover acesso mais amplo e diversificado a facilidades, dando preferência àqueles que visam a fortalecer a comunidade nacional como parte integrante da comunidade internacional e que permitam a participação expressiva do Brasil na vanguarda da astronomia mundial.

No que se refere à astronomia óptica e infravermelha a comunidade astronômica julga fundamental a participação do Brasil em um dos projetos da nova geração de telescópios gigantes. Nesse contexto a CEA nota a preferência de grande parte da comunidade astronômica para o Brasil entrar como sócio no ESO que garante a participação no E-ELT e ao mesmo tempo fornece acesso a toda infraestrutura observacional do ESO, atendendo também necessidades da comunidade de radioastrônomos. Portanto, recomenda que o MCT avalie a viabilidade dessa opção e, se for o caso, entre em negociações com o ESO, levando em conta as demais recomendações do PNA. Outras oportunidades ainda merecem ser estudadas em mais detalhe, tanto para a astronomia óptica quanto para a radioastronomia e outros comprimentos de onda, sendo que a opção de entrada no ESO não deverá inviabilizar outras iniciativas.

A astronomia espacial, por seu interesse estratégico, necessita de um aumento de recursos expressivo e de uma política de desenvolvimento que integre as universidades ao programa espacial. A AEB deve promover ações para permitir à comunidade astronômica desenvolver projetos de desenvolvimento de satélites científicos e missões espaciais nacionais, bem como apoiar e estimular colaborações internacionais. Tal política levará à formação de recursos humanos, ao enfrentamento de desafios científicos e tecnológicos e, ao mesmo tempo, criará demandas para a indústria aerospacial brasileira.

A astronomia tornou-se, nas últimas décadas, uma ciência que gera um imenso fluxo de dados, disponibilizados em arquivos ao redor da Terra. O uso eficiente de toda a informação contida nos bancos de dados apresenta um novo paradigma para a ciência e levou a comunidade astronômica a considerar o conjunto de acervos de dados como um enorme "Observatório Virtual" (OV). Para atingir um patamar adequado para seu uso em termos e recursos humanos e computacionais, a CEA recomenda investimentos em recursos humanos para informática, hardware (incluindo alta capacidade de armazenamento de dados) e software.

Sub-disciplinas da astronomia brasileira com uma representação quantitativa menor do que as áreas principais têm necessidades específicas que deverão ser contempladas adequadamente.

Uma ciência experimental, como a astronomia observacional, sempre estimulou vigorosamente a inovação tecnológica, pois pesquisa de ponta só pode ser feita com tecnologia de última geração. Portanto, a tecnologia para a astronomia poderá contribuir bastante para o desenvolvimento e a inovação tecnológica, área estratégica para o país, mais ainda considerando seu potencial para aplicações em numerosas áreas alheias à astronomia. Para que o Brasil possa enfrentar, em nível de competitividade e participação internacional, os desafios da instrumentação astronômica da próxima década, necessita-se ampliar a infraestrutura para desenvolvimento instrumental nas instituições de astronomia, eliminar entraves legais e burocráticos, além de fomentar a formação e absorção de pessoal especializado, bem como a interação com a indústria, estimulando o empreendedorismo.

Pesquisa é feita por pesquisadores que deverão ser bem preparados para exercer sua profissão. Para resolver deficiências na formação de recursos humanos para a astronomia é preciso elaborar e implementar uma política que se norteie pela realidade profissional do pesquisador, amplie a capacidade de ensino superior na área em todo o país, e valorize o profissional.

A astronomia, como a maior parte da ciência produzida no Brasil, é financiada pela sociedade. Precisa do apoio da mesma e deve prestar contas a ela. Portanto, é dever dos astrônomos levar a população a participar do conhecimento gerado por eles como forma de retorno dos investimentos feitos. Colaborando com entidades responsáveis pela educação formal, os astrônomos deverão criar condições para que os jovens, já no ensino fundamental e médio nas escolas, adquiram conhecimentos básicos em astronomia. Tais medidas deverão ser complementadas por programas gerais de divulgação pública de astronomia, principalmente através de planetários de museus de ciência, para toda a população, tirando proveito do grande interesse que a área sempre despertou no público.

A CEA considera a criação de um Plano Nacional de Astronomia – PNA um grande avanço e uma oportunidade ímpar para o desenvolvimento sustentável da área. Entretanto, não se deve perder de vista que o desenvolvimento futuro não ocorrerá automaticamente. Torna-se cada vez mais importante um gerenciamento planejado da astronomia brasileira, que vise a acompanhar e coordenar estas atividades, com o intuito de maximizar o retorno dos investimentos necessários. O PNA deve ser considerado como o primeiro passo para a gestão abrangente e de longo prazo, em nível nacional, da astronomia brasileira. Propõe-se, portanto, a implementação de mecanismos de gestão do PNA através da criação de um órgão permanente que atue como comitê gestor do PNA: A CEA sugere que seja criado um órgão colegiado na estrutura organizacional do MCT, a **Comissão Nacional de Astronomia** com a atribuição básica de coordenar e acompanhar as ações previstas no PNA, de aperfeiçoar e atualizar o mesmo, e de zelar pelo desenvolvimento das áreas científicas e tecnológicas relevantes à astronomia. Deverá ainda assessorar o Ministro de C&T no que tange à definição da política do governo para pesquisa, ensino e divulgação da Astronomia, incluindo-se políticas para a tecnologia relacionada à área e para as relações com a comunidade astronômica internacional.

2. Preâmbulo

Os grandes e rápidos avanços no conhecimento científico nas mais diversas áreas, a crescente necessidade de colaborações internacionais tendo em vista o escopo das perguntas científicas atuais, os custos elevados da busca por respostas, e as numerosas oportunidades para participações em projetos internacionais de grande envergadura e promessa tornam cada vez mais importante uma política do Estado de médio e longo prazo para coordenar e focalizar os esforços dos pesquisadores, e para alinhá-los às políticas de desenvolvimento do país sem interferir na diversidade e na liberdade de pesquisa. Caso contrário, atividades descoordenadas tendem a prejudicar a eficiência e eficácia dos esforços empregados pela sociedade na ciência. Isso vale para a astronomia tanto quanto para qualquer outro ramo científico; no Brasil e no mundo afora.

Esse entendimento já levou à elaboração de planos estratégicos para diversas áreas da ciência em nível nacional ou até supranacional (União Europeia) no exterior. Apesar de uma crescente convicção, tanto por parte da política quanto da comunidade científica, da necessidade e utilidade de um planejamento conjunto, no Brasil os esforços para criar uma política nacional para ciência ou suas subáreas ainda são incipientes. Embora existam motivos históricos para a falta de uma tradição de planejamento de longo prazo, o Brasil atingiu um patamar de estabilidade política e econômica, com perspectivas favoráveis para o futuro, que exige, para seu continuado progresso, novas formas de gerenciamento de muitos setores da sociedade, dentre os quais a ciência.

Com esse raciocínio, e como parte de um esforço para promover um processo de planejamento estratégico em várias áreas da sua competência, o MCT instaurou a Comissão Especial de Astronomia, composto por membros do MCT, por suas Unidades de Pesquisa que atuam em astronomia, e por membros proeminentes da comunidade científica com a atribuição de elaborar a proposta para um Plano Nacional de Astronomia – PNA. Alinhado ao Plano de Ação de C, T & I do MCT, o PNA deverá definir a política do Governo para a astronomia e astrofísica brasileira, com a perspectiva de se tornar política do Estado.

A elaboração da proposta para o PNA ainda está em andamento e deverá ser concluída no último trimestre de 2010. O presente documento apresenta uma versão preliminar e resumida da mesma e tem o intuito de subsidiar as discussões da 4ª Conferência Nacional de Ciência Tecnologia e Inovação para o Desenvolvimento Sustentável. Enquanto o documento final deverá ficar mais detalhado e mais específico no que se refere às suas recomendações, o presente resumo delinea, de forma geral, o ambiente externo e interno da astronomia brasileira, os entraves e oportunidades, suas perspectivas de desenvolvimento como parte da astronomia mundial, incluindo recomendações estratégicas de cunho geral e contemplando também suas ramificações para áreas estratégicas externas à astronomia. É fruto de uma intensa e continuada discussão na comunidade astronômica como um todo.

3. Situação atual da astronomia brasileira

3.1. A astronomia brasileira no contexto global

Muito mais do que no passado a astronomia mundial se caracteriza hoje por colaborações internacionais. A complexidade da pesquisa moderna faz com que esforços pontuais de indivíduos ou pequenos grupos raramente tenham um impacto significativo e portanto não representam a forma mais eficaz para o progresso da ciência. Isso decorre do fato de que a busca por respostas para as importantes perguntas científicas, em geral, requer a colaboração de especialistas em áreas distintas da astronomia, muitas vezes também envolvendo outras disciplinas da ciência, inclusive da tecnologia, e até com crescente importância a estreita colaboração com áreas-meio como gerenciamento e financiamento. Tais considerações são ainda mais pertinentes considerando os altos investimentos para criar as instalações e equipamentos observacionais necessários para responder às perguntas, aos quais se somam ainda os elevados custos para operá-las. Isso faz com que todos os projetos de grande porte em astronomia, como em outras áreas tais como a física de altas energias, estejam sendo conduzidos através de cooperações internacionais.

Conseqüentemente, a atuação bem sucedida da comunidade astronômica nacional depende decisivamente da sua inserção na comunidade internacional. Por mais alto que seja seu patamar, a comunidade somente poderá crescer cientificamente se ela tiver acesso por um lado, aos meios mais modernos para pesquisa astronômica, participando ativamente de grandes projetos de infraestrutura observacional, e por outro ao acervo mundial de conhecimento (a saber, mentes) através de colaborações científicas além das fronteiras nacionais. Caso contrário, inevitavelmente e rapidamente vai perder espaço e não poderá exercer um papel significativo no futuro.

Atuando em conformidade com esse raciocínio, a astronomia brasileira atingiu maturidade e renome internacional. O Brasil é respeitado hoje na comunidade astronômica mundial como país altamente produtivo em termos de quantidade e qualidade e como parceiro confiável em colaborações internacionais como fica evidente, p.ex., pelo crescente número de ofertas para participar em grandes projetos. Outra evidência para o reconhecimento, pelos demais países, do Brasil como um importante ator na astronomia global foi a escolha do Rio de Janeiro como local da Assembléia Geral da IAU em 2009; evento que aumentou em muito a visibilidade da comunidade astronômica brasileira.

Após a implementação pontual da astronomia em solo brasileiro em 1639 no Recife, com o primeiro observatório astronômico das Américas e do Hemisfério Sul, ela estabelece-se de forma continuada a partir de 1827 com a fundação, no Rio de Janeiro, do Observatório Nacional por Dom Pedro I, e mais tarde em outras cidades do país. A partir da década de 1970 ocorre um forte desenvolvimento da astrofísica no Brasil, expandindo-se principalmente em grupos nas universidades e institutos de pesquisa. Desde então a comunidade astronômica brasileira tem seguido com bastante sucesso a evolução mundial da ciência e mais recentemente também da tecnologia astronômica. Alguns dos passos importantes nessa direção foram: (i) a formação de doutores no exterior (ocorrido principalmente com bolsas do CNPq nas décadas de 1960 e 1970); (ii) a criação da pós-graduação nessa área no país, e orientação de novos doutores no Brasil; (iii) a instalação do Observatório no Pico dos Dias (OPD) em 1980, fornecendo pela primeira vez acesso garantido aos astrônomos brasileiros a infraestrutura observacional óptica competitiva; (iv) a associação aos projetos Gemini, com participação de 2.5% em 2 telescópios de 8m de abertura no Chile e Havaí, com observações a partir de 2000; (v) a associação ao consórcio SOAR, telescópio de 4m no Chile, com participação de 34% e observações a partir de 2004; e (vi) finalmente a criação de capacidades e competências para a construção de instrumentos astronômicos competitivos mundialmente. Outros passos importantes se referem à inserção em projetos internacionais da área da astronomia espacial (CoRoT), astronomia de altas energias (Auger) e projetos nacionais na radioastronomia, além de uma articulação internacional expressiva em cosmologia.

Em decorrência dessa evolução e com o apoio dos ministérios e agências ligados à educação e pesquisa, o Brasil conta hoje com uma comunidade de cerca de 300 astrônomos doutores, e um número mais ou menos igual de estudantes de pós-graduação. Em 2009, esta comunidade publicou cerca de 300 artigos em revistas indexadas

Faz parte da política do Governo Federal, formulada no Plano de Ação de C, T & I do MCT, e deve se tornar política do Estado, o fortalecimento de ampliação da participação brasileira em organismos e protocolos internacionais, e o fortalecimento de programas de cooperação

internacional. O PACTI/MCT também cita como objetivo estratégico a criação de programas de acesso a grandes equipamentos de pesquisa no exterior (o que inclui telescópios). O continuado fortalecimento da astronomia brasileira como parte de uma comunidade científica mundial deverá ser visto, portanto, como parte de uma política explícita do Governo. O desenvolvimento científico, tecnológico e humano do Brasil depende de uma ciência forte.

3.2. Focos temáticos da astronomia brasileira

A astronomia observacional foi historicamente baseada no solo, por muitos séculos limitada a faixa óptica e incluindo a faixa de rádio desde meados do século passado. Mais tarde, a ciência astronômica a partir do espaço tem permitido estudar domínios espectrais fora da nossa janela atmosférica. Sem dúvida, a astronomia óptica observacional, inclusive a astronomia no infravermelho próximo, é a área astronômica predominante no Brasil. Entretanto, outras áreas também se fazem presente na atuação dos pesquisadores brasileiros, vindo em primeira linha (tomando por base o número de publicações) a astrofísica teórica, inclusive a cosmologia, além da radioastronomia, astrofísica de altas energias, astrofísica não eletromagnética, tanto quanto a astrobiologia e a astroquímica experimental.

Essa gama de áreas de atuação sugere esforços integrados para contemplar grande parte das expectativas e interesses da comunidade científica. O modelo da astronomia para o Brasil deverá sustentar, dentro do possível, a diversidade das linhas de estudo e o crescimento de áreas com as melhores perspectivas para o futuro. A astronomia óptica, junto com a infravermelha, continuará tendo um papel fundamental em novos cenários para o desenvolvimento da astronomia nacional e internacional. Mas precisa manter ou criar condições para o florescimento das outras áreas, dotando-as também de meios para seu crescimento, pois a compreensão do universo necessita literalmente de visão universal.

Segue abaixo uma lista de focos temáticos nos quais a comunidade astronômica brasileira atua e tem competência reconhecida internacionalmente, completando-se cada item com a enumeração de investimentos ou outras medidas úteis ou necessárias para o desenvolvimento da área. A lista baseia-se em manifestações da comunidade e certamente não é completa nem totalmente representativa, tendo um viés claro em astrofísica óptica observacional.

- **Pequenos corpos do sistema solar:** o estudo físico de asteróides débeis, tais como objetos do distante cinturão de Kuiper, exige grandes aberturas, especialmente para espectroscopia. Para busca ou monitoramento de pequenos corpos, um telescópio robótico seria útil.
- **Busca de planetas extrasolares:** Atividades no Brasil atualmente são feitas com telescópio no espaço através da colaboração brasileira no CoRoT. Novas gerações de telescópios espaciais serão essenciais para a fotometria, e especialmente espectroscopia. A colaboração entre agências espaciais é considerada proveitosa. Instrumentação no solo poderá complementar observações a partir do espaço. Um ou mais telescópios robóticos nacionais ou associados internacionalmente seriam importantes.
- **Astrobiologia:** Estudos multidisciplinares (astronomia, biologia molecular, bioquímica, ecologia, ciência planetárias, entre outras) visam a esclarecer as origens, evolução, distribuição e futuro da vida no universo. Grande parte das pesquisas feitas no Brasil baseia-se em experimentos que ainda necessitam, para seu aprimoramento, de investimentos consideráveis em equipamentos e laboratórios.
- **Astroquímica:** Na interface entre astronomia, física e química, a astroquímica tem como foco o estudo da formação, destruição e abundância de moléculas em diversos ambientes espaciais. Atuando nas três subáreas (observacional, teórica e experimental) os grupos ativos em astroquímica necessitam de equipamentos que poderão ser utilizados por todos os pesquisadores envolvidos na astroquímica experimental.
- **Monitoramento de fontes astrofísicas variáveis:** Os alvos incluem anãs brancas, variáveis cataclísmicas, binárias de raios-X, sistemas simbióticos, fontes de surtos de raios gamma e supernovas, entre outras. O acesso à instrumentação para estudos em distintos comprimentos de onda, baseados no solo ou espaço são essenciais. Grandes telescópios ampliam o horizonte de detecção e aumentam as amostras que poderão ser estudadas em

detalhe. Observatórios no espaço são necessários para detecção de radiação em altas energias.

- **Meio interestelar:** O tema inclui estudos de regiões de hidrogênio ionizado (HII) e de nebulosas planetárias, polarimetria de nuvens interestelares, entre outros. Observações com telescópios de diferentes tamanhos, vários domínios espectrais e resoluções são importantes. Radiotelescópios potentes e interferômetros podem trazer grande progresso em relação a dados atualmente disponíveis.
- **Física de estrelas** de objetos individuais e populações estelares da Via Láctea, nas Nuvens de Magalhães e galáxias próximas, via estudos de estrelas variáveis, cromosferas, atmosferas estelares, inclusive da composição química: observações nas faixas óptico, rádio e infravermelho, isoladamente ou de forma multi-espectral são fundamentais. Grandes telescópios (essenciais para espectroscopia), telescópios robóticos e instrumento permitindo fotometria rápida são demandas da comunidade.
- **Aglomerados de estrelas** associados a nuvens moleculares, ao disco galáctico (abertos) e ao bojo galáctico (globulares): Estudos realizados principalmente através de imagens, diagramas cor-magnitude e modelos de populações estelares resolvidas. Estudos competitivos, incluindo galáxias vizinhas (Nuvens de Magalhães e além) requerem grandes aberturas e resolução. Observatórios Virtuais trarão também grande progresso nos estudos.
- **Núcleos ativos de galáxias:** Os estudos são extremamente dependentes de telescópios com grande abertura e de alta resolução angular. Observações na faixa de rádio em altíssima resolução são necessários para colocar vínculos nos modelos.
- **Populações estelares de galáxias** normais (elípticas, espirais), através de espectroscopia integrada. Observatórios Virtuais permitem a utilização de acervos de dados existentes para realizar levantamentos de espectroscopia de baixa resolução. Além disso, estudos específicos com telescópios de grande abertura são essenciais. A radioastronomia em alta resolução poderá fornecer informações sobre componentes interestelares associadas.
- **Estruturas de grande escala:** O estudo de grupos, aglomerados e superaglomerados de galáxias em diferentes distâncias e fases evolutivos requer tanto observações no óptico e no infravermelho próximo com telescópios de grande porte quanto observações de campo grande, bem como acesso a ambos os hemisférios.
- **Matéria e energia escura:** A natureza da energia escura e da matéria escura que juntas compõem 96% do conteúdo do universo, permanece enigmática. Vínculos à matéria e energia escuras podem ser obtidos pela busca de supernovas distantes e lentes gravitacionais fracas, entre outras técnicas. Grande bases de dados disponíveis através do observatório virtual, grandes telescópios e levantamentos de grandes áreas, conduzidos tanto do solo quanto do espaço são ferramentas importantes para nestes estudos.
- **Radiação cósmica do fundo:** Pesquisas visando sondar o universo primitivo em colaborações internacionais vem utilizando radiotelescópios e dispositivos tecnológicos (antenas, receptores, guias de onda) desenvolvidos no Brasil há quase duas décadas.
- **Astronomia Solar:** Há uma série de bandas espectrais não estudadas que poderiam ser exploradas no Brasil, mas isso requer instrumentação específica.
- **Raios cósmicos e ondas gravitacionais:** Existem grupos de pesquisa no país que realizam astrofísica de radiação não-eletromagnética. A instrumentação necessária para tais estudos difere muito da instrumentação para outras áreas da astronomia e não pode ser facilmente compartilhada.
- **Astronomia numérica e computacional:** Esse tema inclui a interpretação numérica de dados astronômicos, simulações numéricas e cálculos de modelos. Os estudos requerem grandes avanços em processamento e capacidade de armazenamento de dados para suas simulações.

3.3. A infraestrutura para a astronomia brasileira

Pesquisa astronômica está sendo desenvolvida atualmente em mais de 40 universidades e outras instituições de pesquisa externas ao sistema do MCT. Enquanto na maioria dos casos trata-se de pequenos grupos, geralmente dentro de departamentos de física, poucas universidades, mais notadamente a USP, contam com institutos astronômicos de maior porte. Algumas dessas instituições mantêm uma infraestrutura observacional ou laboratorial para astronomia, mas geralmente com escopo bastante limitado e muitas vezes mais voltado ao ensino e divulgação, sendo que o grande fornecedor de infraestrutura para pesquisa é o MCT através de algumas das suas Unidades de Pesquisa.

O MCT mantém cinco instituições com atividades em astronomia. O MAST atua exclusivamente na divulgação e na preservação do acervo histórico da astronomia. As atividades do CBPF em astronomia se limitam a pesquisas cosmológicas. O INPE mantém o seu Departamento de Astronomia com pesquisadores interessados em diversas subáreas. A maior parte da infraestrutura para radioastronomia e a participação em projetos espaciais é gerenciada pelo INPE. Apesar de atuar também em geofísica e metrologia de frequência e tempo, o ON tem um forte foco em astronomia, dando suporte a uma ampla gama de tópicos específicos. Dentro do sistema do MCT o LNA, como Laboratório Nacional, exerce um papel especial: diferente das outras Unidades de Pesquisa é em primeiro lugar uma instituição prestadora de serviços, gerenciando a infraestrutura para astronomia óptica e infravermelha observacional para o uso por toda a comunidade astronômica nacional.

Segue uma breve caracterização das instalações em operação com maior importância para astronomia observacional no Brasil (inclusive participações internacionais):

Astronomia óptica e infravermelha:

- a) **Observatório do Pico dos Dias – OPD:** Como primeiro e único observatório de porte em solo brasileiro, o OPD teve importância ímpar para o desenvolvimento da astronomia no Brasil. Com três telescópios em operação e aberto a todos os astrônomos, permite a realização dos mais diversos tipos de pesquisas astronômicas e exerce um papel de destaque na formação de recursos humanos em astronomia. Com abertura de 1,6m, o telescópio principal foi considerado de médio porte na implementação do observatório em 1980, mas hoje já é considerado pequeno em termos internacionais. Mesmo assim, ainda tem grande importância para a astronomia brasileira.
- b) **Gemini:** Trata-se de um consórcio de sete países para operar dois dos maiores (abertura: 8,2m) e mais modernos telescópios do mundo localizados no Chile e no Havaí. Apesar da participação do Brasil ser limitada até 2009 a apenas 2,5%, o uso pela comunidade brasileira foi muito bem sucedido, tendo o Brasil se destacado entre os parceiros na quantidade e na qualidade da produção científica com base em dados do Gemini. Esse sucesso e a demanda da comunidade justificam a recente aquisição de tempo adicional nos telescópios de um outro parceiro, dobrando o acesso dos astrônomos brasileiros ao observatório a partir de 2010. Isso viabilizará também o aproveitamento de acordos, pelos brasileiros, entre o Gemini e os observatórios Keck e Subaru para o desses telescópios, que tem características e instrumentação complementares.
- c) **Southern Astrophysical Research Telescope – SOAR:** Com uma parcela de 34% nesse telescópio de 4,1m de abertura, localizado nos Andes chilenos, o Brasil é o maior de quatro sócios do SOAR. Diversos problemas iniciais dificultaram o início das operações do telescópio. Entretanto, considerando o amplo acesso brasileiro, o instrumento está se tornando a infraestrutura mais importante para a astronomia óptica e infravermelha para o Brasil. Através de um acordo do LNA com o CTIO sobre a troca de tempo entre o SOAR e o telescópio Blanco, a comunidade astronômica também tem acesso a este telescópio que tem características e instrumentos complementares, permitindo ampliar a gama de pesquisas realizadas pelos pesquisadores brasileiros. A participação brasileira no SOAR também deu um forte impulso para criar capacidades e competências em desenvolvimento de instrumentos para a astronomia no Brasil, mais especificamente no LNA.
- d) **Canada-France-Hawaii Telescope – CFHT:** Complementando a oferta de acesso a telescópios internacionais para satisfazer o máximo possível a demanda de diversos segmentos da comunidade científica, o LNA forneceu desde 2009 também acesso ao CFHT, telescópio de 3,6m de abertura localizado no Havaí, e um dos mais produtivos e bem sucedidos instrumentos da sua classe, através de um acordo de colaboração.

Radioastronomia:

- e) **Radio-observatório de Itapetinga – ROI:** Esta antena de 14m, instalada em 1974, pode operar na faixa de 18GHz a 90GHz. Operado pelo INPE mas aberto a toda a comunidade, tem um histórico de importantes descobertas em áreas tão diferentes, como astronomia galáctica, extragaláctica e física solar. Foi o berço de praticamente toda a competência em radioastronomia instalada no país. Ela ainda é competitiva em algumas áreas de pesquisa, frente aos instrumentos disponíveis para o céu do hemisfério Sul e tem potencial para ser usado para VLBI.
- f) **Brazilian Decimetric Array – BDA:** Trata-se de um interferômetro em fase de implantação, atualmente equipado com 26 antenas de 4m de diâmetro operando na banda de 1,2 -1,7GHz. Conta com a participação de várias instituições internacionais e nacionais. Quando concluída a última fase, o BDA deverá operar com 38 antenas na banda 1,2-5,6 GHz com resolução de até 5" x 9". Nesta fase também será possível estudar fontes galácticas e extra-galácticas, além de pesquisa solar com alta resolução espacial e sensibilidade. Será aberto à comunidade quando estiver completo.
- g) **Radio-observatório Espacial do Nordeste – ROEN:** Projeto de cooperação com a NASA (EUA), esse instrumento conta com uma antena de 14,2m de diâmetro, capaz de realizar observações até 20GHz. Faz parte da Rede de VLBI geodésico internacional, tem conexão a Internet de 1 Gbps, o que lhe permite trabalhar em modo e-VLBI e um staff técnico qualificado. Pode ser integrado a experimentos de VLBI radioastronômicos e não apenas geodésicos. O instrumento pertence ao Centro de Radioastronomia e Astrofísica Mackenzie – CRAAM, sendo utilizado apenas por pesquisadores desta instituição. Os dados obtidos estão à disposição da comunidade.
- h) **Solar Submillimeter Telescope – SST:** Projeto de colaboração entre Brasil e Argentina (IAR) e localizado naquele país. Conta com uma antena de 1,5m de diâmetro com receptores nas bandas de 212 e 405GHz projetados especificamente para a observação solar. Por parte do Brasil é administrado pelo CRAAM. O SST opera desde 1999 de forma rotineira em função dos desenvolvimentos realizados na área de controle que permitem operação via Internet. Também nesse caso, os dados obtidos estão à disposição da comunidade.

Com exceção do ROI, os demais instrumentos radioastronômicos atendem principalmente às necessidades científicas dos seus proponentes, tenho apenas interesse limitado para a comunidade como um todo.

Astronomia espacial:

- i) **CoRoT (Convection, Rotation and Planetary Transits):** O único projeto da astronomia espacial com participação direta do Brasil, o CoRoT é um satélite predominantemente francês, dedicado principalmente à procura de exoplanetas rochosos e à sismologia estelar (análise de pulsações não-radiais das estrelas). O Brasil participa no CoRoT através de: (a) a utilização da Estação do INPE de Alcântara, (b) a participação de engenheiros/cientistas brasileiros na elaboração de "software" de calibração, correção instrumental e redução de dados; e (c) a participação de cientistas brasileiros nos grupos de trabalho desde a definição, observação e análise preparatória das estrelas observadas, até a análise científica das medidas. Apesar de uma contribuição financeira pequena, o Brasil tem os mesmos direitos dos países europeus na exploração científica dos dados. Astrônomos de instituições brasileiras de várias partes do país têm participado cientificamente da missão CoRoT, sendo que essa participação deverá aumentar nos próximos anos.

4. Vertentes para o futuro da astronomia brasileira

4.1. Astronomia óptica e infravermelha

Com exceção de alguns instrumentos mantidos em certas instituições para preencher determinados nichos, toda a infraestrutura para pesquisa observacional em astronomia óptica (entende-se aqui e a seguir que esse termo também inclui o infravermelho próximo), a qual os astrônomos brasileiros têm acesso formalizado, é operado e/ou gerenciado pelo LNA. Considerando a preeminência da astronomia observacional óptica, as pesquisas do mais forte segmento da comunidade astronômica brasileira dependem da bem sucedida operação dessa infraestrutura e seu futuro é intimamente atrelado aos investimentos futuros nessa área.

O conjunto dos telescópios, juntamente com a instrumentação periférica oferecidos pelo LNA, deverão ser vistos como um sistema de recursos observacionais em que os diferentes componentes se complementam. Desta forma, é atendido o amplo escopo de pesquisas realizadas no país com demandas distintas no que se refere à abertura do telescópio, campo de visão, resolução espectral e temporal, etc. Entretanto, o continuado crescimento da comunidade e as mudanças no ambiente mundial para a astronomia causam alterações e principalmente aumentos da demanda que somente poderão ser atendidos através de uma constante adequação e ampliação do sistema.

Numerosas manifestações da comunidade astronômica demonstram claramente a necessidade de acesso a telescópios de varias aberturas para alcançar diferentes objetivos científicos:

- a) Telescópios de pequeno e médio porte (1 – 4 m), incluindo a manutenção de acesso a telescópios já existentes e eventualmente da construção de (ou participação em) outros;
- b) Telescópios de grande porte (6 – 8 m), ampliando o acesso a telescópios existentes;
- c) Telescópios gigantes da geração futura (20 – 40 m);

além da participação em grandes projetos de levantamentos, ou pelo menos a obtenção de acesso aos dados oriundos dos mesmos. Mais especificamente:

1. Telescópios de pequeno e médio porte

Enquadram-se aqui os **telescópios do OPD**. Ainda que as condições climáticas desfavoráveis encontradas no OPD, a deterioração ambiental (poluição luminosa) e principalmente o acesso à infraestrutura observacional mais moderna diminuam significativamente a suprema importância que o OPD teve como único observatório de porte para a astronomia brasileira no início das suas operações, ele ainda exerce um papel de destaque. Continua fornecendo condições para pesquisa em muitas áreas distintas e permanece a mais importante instalação do país para o treinamento de jovens astrônomos em técnicas observacionais. Estão em andamento projetos para aprimorar e modernizar o OPD através da implementação de um sistema de controle de telescópio mais eficiente que também permitirá observações remotas, diminuindo a necessidade de deslocamento do observador até o observatório (com vantagens óbvias, principalmente na época com preponderância de condições climáticas adversas). Além disso, precisa-se de uma modernização do instrumental periférico do OPD. Em diálogo com a comunidade dos usuários e com o apoio da mesma, o LNA iniciou uma série de medidas (algumas delas ainda sob discussão) para manter o OPD competitivo e definir o seu papel no futuro.

Na sua fase inicial de operações o **Telescópio SOAR** teve problemas com a óptica do espelho e devido a atrasos na entrega dos instrumentos periféricos. Grande parte, senão todos os problemas, foram resolvidos recentemente, de forma que se espera que o SOAR atinja em breve seu desempenho previsto no início. Entretanto, devido à falta de pessoal, o suporte técnico e científico do SOAR permanece deficiente e ameaça seriamente as medidas necessárias para melhorar a eficiência do telescópio e sua instrumentação. Nesse contexto, seria útil a abertura de caminhos para viabilizar a lotação permanente ou de longo prazo junto ao SOAR, no Chile, de pesquisadores e tecnólogos contratados no Brasil. No sentido de preservar a amplitude de acesso à infraestrutura observacional, o acordo com o CTIO referente à troca de tempo entre o SOAR e o telescópio Blanco deverá ser mantido.

O acordo sobre a utilização do **CFHT** abriu recentemente ainda mais o leque de instalações abertas à comunidade astronômica brasileira, embora por tempo limitado. Antes de tomar uma decisão sobre uma eventual prorrogação do contrato, os resultados

oriundos desse acordo deverão ser analisados a partir de uma visão global da situação da astronomia óptica e suas perspectivas futuras. Nesse contexto, também deverá ser contemplada a oferta do CFHT para admitir o Brasil como parceiro formal.

Ainda existem **várias propostas** na comunidade astronômica para a construção de novos telescópios que se enquadram nessa classe. Isso inclui telescópios robotizados para fins específicos (levantamentos), gerais ou dedicado a observações no infravermelho, e telescópios dedicados a projetos individuais, a saber:

- **O Projeto PAU-Brasil-Sul:** Telescópio robótico para estender para o hemisfério sul o programa espanhol J-PAS (para cobrir o céu inteiro) que visa a estudar a energia escura e também tem outras aplicações cosmológicas. O J-PAS já conta com uma participação brasileira. O PAU-Brasil-Sul poderá aproveitar da sinergia com o LSST.
- **Telescópio Robótico Brasileiro**, com características únicas no mundo para esse tipo de instrumento, inclusive capacidades polarimétricas, com aplicações em uma ampla gama de pesquisas astronômicas.
- **U-HARPS-Brasil:** O projeto visa a construir um telescópio e um espectrógrafo dedicado para medir velocidades de estrelas com altíssima precisão (alguns cm/seg) com a finalidade de detetar planetas extrasolares de pequena massa.

Convém mencionar que esses projetos (tais como os outros discutidos nesse documento e que ainda estão em fase de planejamento) ainda requerem estudos cuidadosos sobre sua viabilidade (financeira, tecnológica e gerencial), bem como avaliação de seu alcance na comunidade e impacto científico, tecnológico e acadêmico, tendo em vista as demais medidas para a melhoria da infraestrutura observacional previstas no PNA.

2. Telescópios de grande porte

A única infraestrutura do Brasil que se enquadra nessa categoria é o Observatório **Gemini**. Com a participação brasileira no consórcio Gemini, a comunidade brasileira amadureceu no uso de telescópios de grande porte, o que é demonstrado pela alta produtividade e impacto dos trabalhos brasileiros. O fato de o Gemini ter um telescópio no hemisfério sul e outro no norte, possibilitando escolha de alvos não limitada geograficamente, é visto como vantagem importante do observatório. Apesar do sucesso da participação do Gemini já ter levado recentemente a uma ampliação de acesso via aquisição de tempo de outro parceiro, existe uma demanda na comunidade para obter uma quota ainda maior do Gemini no futuro. Contratualmente isso é facilmente possível, visto a renovação do acordo em 2012 e a saída do Reino Unido do consórcio. Entretanto, essa questão ainda precisa de uma avaliação, tendo em vista as demais recomendações do PNA. No que se refere à instrumentação do Gemini, seu conjunto de instrumentos, ainda que amplo (e incluindo o único acesso para os astrônomos brasileiros ao infravermelho médio) não atende todas as áreas de demanda da comunidade nacional, principalmente pela falta de espectroscopia de alta resolução e imageamento no azul. No contexto da atual redefinição do programa instrumental do Gemini, existe a perspectiva do LNA se juntar a outros parceiros na construção de instrumentos que preencham as lacunas ainda existentes. Isso também seria um passo natural para elevar o patamar do desenvolvimento tecnológico no Brasil ao nível da instrumentação para a classe de telescópios de 8m, e preparar o caminho para participação em projetos instrumentais para a nova geração de telescópios gigantes.

3. Telescópios gigantes da geração futuro

A astronomia óptica mundial está entrando na fase de telescópios de uma nova geração com abertura na faixa de 20 – 40 metros. Há três projetos em andamento.

- **Giant Magellan Telescope – GMT:** Promovido por um consórcio de instituições dos EUA, com participação internacional, esse telescópio, com abertura efetiva de 24m, será localizado no Chile.
- **Thirty Meter Telescope – TMT:** Liderado pela Caltech, EAU e o Canadá, incluindo ainda outros parceiros internacionais, o projeto visa a construir um telescópio com 30m de abertura em Mauna Kea, Havai.

- **European Extremely Large Telescope – E-ELT:** Trata-se de um projeto do European Southern Observatory – ESO para a construção de um telescópio de 42m de abertura no Chile.

Os telescópios deverão estar operacionais em 2019. Os proponentes de todos os três projetos manifestaram um forte interesse de o Brasil associar-se a eles.

Relembrando a necessidade mandatária, expressa na Seção 3.1., para a continuada inserção do Brasil na comunidade internacional através da participação em grandes projetos de infraestrutura para a astronomia, entre outros, e considerando a favorável perspectiva econômica do país, pela primeira vez na história a comunidade astronômica sente segurança em contemplar a participação em projetos antes considerada impossíveis: Recomenda-se que o Brasil se associe a um dos projetos acima mencionados para garantir o futuro acesso aos maiores e mais competitivos telescópios do mundo. Considerando que a janela de oportunidades não ficará aberta por muito tempo, uma decisão precisa ser tomada ainda em 2010.

No que se refere ao E-ELT existem dois procedimentos possíveis: (i) uma participação direta no projeto, procurando acesso apenas a esse telescópio, ou (ii) uma associação do Brasil ao ESO, via contrato entre países, fornecendo acesso imediato a toda infraestrutura observacional do ESO (Observatório de La Silla, VLT, VISTA, APEX, ALMA, E-ELT)..Em reuniões locais e nacionais, a maior parte da comunidade astronômica manifestou sua preferência para o Brasil entrar como sócio no ESO. Isso abre a oportunidade para a comunidade brasileira amadurecer ainda mais, tanto competindo diretamente com uma fração importante da astronomia mundial por acesso a recursos observacionais e usufruindo dessa excelente emulação, quanto através da colaboração com a mesma. Portanto, o MCT deverá avaliar a viabilidade dessa opção e, se for o caso, entrar em negociações com o ESO, levando em conta as demais recomendações do PNA.

4. Participação em grandes projetos de levantamentos

Existe no mundo um número expressivo e crescente de projetos que visam grandes levantamentos que irão gerar uma quantidade enorme de dados. É do interesse da comunidade nacional ter acesso a esses dados. Ainda não é claro, em todos os casos, como esse acesso poderá ser garantido, tornando necessário que o Brasil fique atento e pronto para atuar no momento certo. O Brasil já está envolvido com alguns desses projetos, como o DES, e o J-PAS, e está negociando a participação ou tem manifestado interesse em outros grandes levantamentos, tanto no solo (p.ex., LSST) quanto no espaço (p.ex., Euclid; veja seção 4.3). Entretanto, para o aproveitamento dos dados, há necessidade de preparar a infraestrutura de armazenamento e transporte de dados, criar capacidades de processamento para a análise de volumes de informações sem precedentes na história da astronomia, além de treinar pessoal especializado (para mais detalhes, veja seção 4.6).

A implementação de novos projetos, a ampliação de participações em projetos em andamento ou a formação de novas parcerias sempre deverá ser complementada por medidas no próprio país, visando o melhor gerenciamento das atividades envolvidas e a capacitação da comunidade brasileira para o uso eficiente e otimizado da infraestrutura em questão. Isso implica no fornecimento dos recursos humanos necessários para dar apoio à comunidade e para tirar proveito das oportunidades tecnológicas oriundas dos investimentos feitos, e na disponibilização de recursos financeiros para capacitação e treinamento, etc.

4.2. Radioastronomia

A detecção de ondas de rádio oriundas do espaço extraterrestre em meados do século passado abriu, pela primeira vez, uma nova janela para a pesquisa astronômica que, outrora, era limitada à faixa óptica do espectro eletromagnético. Levou rapidamente à nova disciplina da radioastronomia, aplicando métodos e tecnologias distintas das usadas na astronomia óptica. As importantes descobertas científicas feitas com os radiotelescópios nas décadas seguintes estabeleceram a radioastronomia como importante pilar da pesquisa astronômica, ao lado da astronomia óptica.

A radioastronomia é uma área de ciência muito próxima dos desenvolvimentos tecnológicos das sociedades modernas, por trabalhar com instrumentação que faz uso de receptores e

transmissores empregados em várias áreas do conhecimento, principalmente nas telecomunicações e na eletrônica em geral. Em função da necessidade de receptores cada vez mais sensíveis, de estruturas mecânicas com alta estabilidade, de antenas de grande porte operando em frequências cada vez mais altas, da necessidade de maiores resoluções espectrais e de sistemas confiáveis de transferência de dados, há um grande estímulo a vários setores da indústria tecnológica, gerando benefícios além da área da astronomia.

No Brasil, a radioastronomia, além da relevância para as áreas da pesquisa que poderão ser consideradas de “radioastronomia clássica”, destaca-se também nas áreas da física solar, do clima espacial, e em certos aspectos da cosmologia. O país deu um importante passo através da instalação, nos anos 70 do século passado, da antena de 14m do Rádio Observatório de Itapetinga – ROI em Atibaia, SP, no ano 1974. Enquanto a maior parte do mundo ainda trabalhava na faixa de 21cm, o ROI foi o primeiro radiotelescópio no hemisfério sul capaz de observar em comprimentos de onda centimétricos/milimétricos. Naquela época a radioastronomia tinha talvez mais importância no Brasil do que a astronomia óptica. Outros investimentos em infraestrutura foram feitos desde então, alguns deles já enumerados na seção 3.3. Porém, estes atendem basicamente aos interesses dos grupos proponentes e não à comunidade astronômica como um todo.

Portanto, apesar dos instrumentos desenvolvidos no Brasil demonstrarem claramente que a comunidade radioastronômica brasileira possui competência, a falta de um esforço coordenado fez com que a disciplina perdesse espaço para outras áreas de astronomia no país. A importância da radioastronomia como um dos mais produtivos ramos da astronomia mundial justifica esforços para revitalizar a área no Brasil e para reorganizá-la de modo a motivar e atrair pesquisadores, ampliando gradativamente a comunidade de usuários, tanto dentro das Unidades de Pesquisa quanto nas Universidades no país.

Levando em conta a interface da radioastronomia com muitas outras áreas da astronomia, inclusive geofísica espacial e aeronomia, não só no que se refere a aspectos científicos, mas também tecnológicos e de inovação, investimentos em radioastronomia poderão beneficiar uma parte significativa da comunidade astronômica (e de ciências afins) brasileira.

Considerando a ampla aplicação das tecnologias usadas na construção de instrumentos para pesquisa, a radioastronomia também tem reflexos importantes na indústria de alta tecnologia considerada estratégica, p.ex., nas áreas de telecomunicações e de defesa, dando impulsos para inovação e gerando empregos. A implantação de radiotelescópios em regiões menos desenvolvidas do país poderá contribuir para o desenvolvimento das mesmas.

Um dos maiores problemas neste setor é a infraestrutura deficitária dos grupos existentes e o nível de apoio que conseguem de suas instituições. Além disso, existe a necessidade de agregar os diversos subgrupos, estimulando o entrosamento e a sinergia no desenvolvimento dos diversos projetos radioastronômicos, bem como fomentar a interação com toda a comunidade astronômica. Para que a competência existente se desenvolva e se multiplique é imprescindível que seja apoiada por um órgão coordenador, preferencialmente subordinado ao MCT, que crie uma política e plano de desenvolvimento bem definido a médio e longo prazo, e promova o aporte de recursos humanos qualificados para levar a cabo as metas estabelecidas. Nesse contexto propõe-se especificamente:

1. Melhorar o apoio técnico existente para os dois maiores instrumentos para radioastronomia do país, ROI e BDA, garantindo o financiamento adequado para o funcionamento e desenvolvimento dos mesmos, visando maior participação da comunidade científica;
2. Desenvolver novos projetos competitivos e agregadores, com forte inserção internacional, que promovam a colaboração com os projetos tais como ALMA e SKA e sejam de interesse para a comunidade científica do País.

Existem duas propostas diretamente relacionadas ao segundo desses itens:

- **MeerKAT-Brasil:** A África do Sul está construindo um instrumento precursor para o SKA (o maior projeto internacional em radioastronomia). Consiste em um núcleo de várias antenas na África do Sul com mais outras antenas espalhadas por oito países africanos para ampliar a base do radiotelescópio. Propõe-se uma rede de antenas semelhantes no Brasil e América do Sul que podem ser interligadas à rede Africana, criando a maior rede de radiotelescópios do hemisfério sul com uma linha de base de 10.000 km.

- **Long Latin American Millimeter Array – LLAMA:** Trata-se de um projeto binacional entre Brasil e Argentina para dois radiotelescópios localizados no lado argentino do deserto de Atacama, a cerca de 100 km do interferômetro ALMA e do radiotelescópio APEX. Mesmo como antenas isoladas os telescópios já tem um alto potencial científico. Entretanto, o objetivo principal do projeto é a realização de observações conjuntas com o ALMA e/ou APEX na configuração de Very-Long-Baseline-Interferometry – VLBI o que permitirá uma resolução espacial 10 vezes maior do que a do ALMA.

Ambos os projetos ainda precisam de um detalhamento e uma avaliação cuidadosa antes de poder emitir uma recomendação. No que se refere ao LLAMA, a questão do Brasil se associar ou não ao ESO é de relevância, já que inclui acesso ao ALMA.

4.3. Astronomia espacial

Num contexto internacional, vários dos grandes projetos em astronomia têm sido concebidos para funcionar em plataformas espaciais. Nos países com programas espaciais consolidados, uma parcela importante dos investimentos é feita em missões científicas, o que demonstra a concepção vigente nesses países de que missões científicas espaciais não só trazem grande prestígio às nações que as desenvolvem, como também propiciam importantes oportunidades para desenvolvimentos tecnológicos de ponta.

Em países em situação comparável à do Brasil, o cenário também já está se delineando nessa direção, como mostram as iniciativas recentes da Índia (*ASTROSAT*) e da China (*Space Hard X-Ray Modulation Telescope*), além de projetos importantes da Rússia. Outro aspecto relevante a ser considerado é o fato de que os grandes projetos de observatórios espaciais da NASA, da ESA e do Japão tem procurado de forma crescente a participação de outros países em função dos altíssimos custos envolvidos. Nesse contexto, é estratégica a inserção do Brasil nesses projetos, sob pena de a astronomia do país privar-se de meios importantes de observação fora da atmosfera e passar a não ser competitiva a médio e longo prazos.

No Brasil as iniciativas atuais e do passado recente em astronomia espacial estiveram concentradas essencialmente no INPE:

- A participação na missão HETE-2 (High Energy Transient Explorer): Operado entre 2000 e 2006, o HETE-2 foi o primeiro satélite dedicado ao estudo de surtos em raios gama. A participação brasileira se deu através da inclusão na equipe de investigadores da missão e na montagem e operação de uma estação de recepção (Burst Alert Station) na unidade do INPE em Natal, RN.
- O Projeto MIRAX (Monitor e Imageador de Raios X): Será a primeira missão liderada pelo Brasil projetada para ser lançada em 2014 como parte da carga útil do satélite científico Lattes. Tem o objetivo científico de realizar um levantamento do comportamento espectral e temporal de um grande número de fontes transientes de raios X na região central da galáxia em escalas de tempo de horas a meses. Aberto para a participação de pesquisadores brasileiros, conta com a cooperação de várias instituições no exterior.
- Outra iniciativa, baseada na USP, foi a participação na missão CoRoT (veja Seção 3.3).

A participação de outras instituições brasileiras em projetos da astronomia espacial ainda está muito incipiente. Por iniciativa de alguns pesquisadores, o Brasil já está engajado formal ou informalmente em quatro projetos da ESA em andamento ou aprovados recentemente, a saber, os satélites GAIA, PLATO, EUCLID e SPICA. Outros pesquisadores atuam na análise de dados de sondas espaciais explorando o sistema solar. Cogitam para o futuro a participação brasileira em missões de pequeno porte para a exploração de corpos próximos à Terra. Tal iniciativa atenderia inclusive ao apelo por parte da Agência Espacial Brasileira – AEB em ligar aplicações e desenvolvimento tecnológico.

Considerando que o Programa Espacial é um dos 17 temas prioritários identificados no Plano de Ação de C, T & I do MCT para 2007-2010, é oportuno que a área de astronomia seja considerada de forma relevante no programa. Sendo que o Programa Espacial Brasileiro é gerenciado pela Agência Espacial Brasileira – AEB, a mesma tem uma posição chave no presente contexto. As instituições com atividades em astronomia devem atuar de forma articulada e integrada no sentido de levar à AEB não apenas projetos que aproveitem as oportunidades existentes, mas também idéias e iniciativas no sentido de induzir novos nichos de atuação da área de astronomia no setor espacial. Ainda neste contexto, existe um apelo por

parte da AEB, para que, ao pensar em astronomia espacial, a comunidade astronômica trabalhe no sentido de vincular o desenvolvimento tecnológico ao interesse científico, ponto muito importante em termos dos benefícios como um todo da pesquisa espacial.

Na medida em que a maioria dos grandes projetos internacionais em planejamento na área de astronomia espacial busca de forma intensa parcerias em virtude dos altos custos envolvidos com missões científicas competitivas, cabe discutir e elaborar uma estratégia comum que incentive a participação brasileira nesses projetos.

Como já foi dito, existem atualmente no Brasil alguns projetos e iniciativas na área de astronomia espacial. É propício que, a partir dessas experiências, o Brasil crie condições de expandir de forma significativa não só a concepção de missões brasileiras, mas também a participação nacional em grandes projetos espaciais internacionais. No cenário nacional, apenas o MCT/INPE conta atualmente com a infraestrutura e os recursos humanos capazes de desenvolver satélites e seus subsistemas, em parceria com a indústria aeroespacial.

É de interesse estratégico que as universidades e outros institutos insiram-se ativamente no setor espacial. Para isso, é imprescindível que seja aberto um diálogo com a AEB no sentido de induzir a abertura de novas oportunidades na área de astronomia espacial. A comunidade acadêmica deve se mobilizar para criar uma demanda de forma a estimular a AEB a investir em programas que propiciem as condições financeiras e de recursos humanos necessários para as universidades desenvolverem projetos de instrumentos astronômicos para missões espaciais, fomentando um aumento considerável de atividades na área e trazendo benefícios concretos para a cadeia projetos-fabricação-lançamentos do país.

Resumindo, recomenda-se que:

1. As instituições brasileiras com atividades em astronomia devem interagir com o INPE para desenvolver em conjunto um programa robusto de desenvolvimento de instrumentos para observações astronômicas a partir do espaço.
2. A AEB deve ser incentivada pela comunidade astronômica a definir uma estratégia de investimentos de recursos financeiros e humanos na área de astronomia espacial nas universidades e nos institutos de pesquisa, de modo a permitir o desenvolvimento de projetos, seleção, construção, lançamento e operação de plataformas espaciais de interesse científico.
3. O MCT deve criar mecanismos que permitam o aproveitamento otimizado, de forma articulada e participativa entre as instituições, das oportunidades de inserção do país em grandes projetos internacionais de satélites e/ou missões espaciais na área de astronomia, astrofísica e cosmologia.
4. O MCT deve recomendar ao Governo Federal que providencie recursos financeiros em quantidade suficiente para que o Brasil atinja em breve um patamar de investimentos em ciência espacial compatível com o esperado de uma nação de seu porte.
5. As universidades devem incentivar a introdução progressiva de temas de astronomia e tecnologia espacial nos cursos de graduação existentes no país.

4.4. Cosmologia

O arcabouço teórico da cosmologia está sendo desafiado por observações ligadas à totalidade da matéria-energia existente no Universo, um dos seus aspectos mais importantes. Isto tem repercussão imediata na física de partículas, que não consegue explicar de forma adequada a origem desta matéria-energia, tanto na teoria da gravitação e estrutura do espaço-tempo em larga escala, quanto na origem e evolução de objetos astronômicos. Entretanto, essa lacuna no modelo cosmológico padrão pode ser coberta devido ao forte aparato teórico e observacional disponível graças à maturidade conquistada em décadas de avanço científico e tecnológico.

A enorme evolução tecnológica, com a construção de grandes telescópios e de satélites científicos, câmeras, detectores e computadores de alto desempenho, também está permitindo a exploração observacional de uma área da cosmologia até então restrita ao escrutínio teórico: o universo primordial, buscando respostas a perguntas tais como: o universo teve um começo ou existiu uma fase anterior à atual fase de expansão? Existiu realmente uma fase inflacionária primordial? De onde vieram as estruturas que hoje compõem o universo?

Importantes programas propostos por diversas agências estrangeiras contemplam grandes estratégias de pesquisa em Cosmologia (NASA: “Strategic Roadmap on the Origin, Evolution, Structure and Destiny of the Universe”; ESA: “Cosmic Vision 2020”). Programas desse porte, além de tratarem de questões fundamentais da cosmologia e da astronomia, usam o universo como um laboratório para testar a grande variedade de teorias existentes, que vão além da teoria da relatividade geral e do modelo padrão de física de partículas, e que formam a base de todas as ciências exatas por tratarem do trinômio espaço-tempo-energia.

A natureza da aceleração cósmica e atualmente o maior mistério da cosmologia. Sua solução poderá levar a uma revisão radical não só da teoria da gravitação, mas até mesmo do modelo padrão da física das partículas elementares. Porém, para alcançar esse objetivo, será necessário um imenso esforço em termos de observações astronômicas. De particular importância são os projetos de grandes levantamentos de dados em profundidade, para detecção de oscilações acústicas de bárions, lentes fracas, contagem de aglomerados e supernovas. Cabe citar os levantamentos de maior porte, entre eles o DES e o SDSS-III (ambos com início iminente), o telescópio LSST, e as missões espaciais JDEM da NASA, e EUCLID da ESA. A comunidade de cosmologia observacional do país tem grande interesse em participar nestes projetos.

Portanto, as questões levantadas pela cosmologia contemporânea constituem problemas essenciais relacionados aos fundamentos da física e da astronomia. Já existe o embasamento teórico e observacional para atacá-las. Por isso a cosmologia deve ser considerada área estratégica.

A inserção da cosmologia num programa de astronomia para a próxima década trará consigo demandas grandes da parte instrumental e computacional que já são consideradas, em outros campos da ciência, como áreas estratégicas e implicam em desenvolvimento de tecnologias com aplicações muito além da ciência pura. O reconhecimento dessa importância pode conduzir o país à condição de parceiro importante nos grandes programas internacionais para o estudo da origem, composição e evolução do universo.

4.5. Astronomia teórica e computacional

No decorrer da história, a astronomia teve várias vezes o importante papel de quebrar paradigmas da humanidade. Para isso ela sempre desenvolveu, ou utilizou, as mais modernas técnicas numéricas e analíticas disponíveis em cada época, literalmente desbravando os limites do cálculo. Não por acaso, atualmente a pesquisa em astronomia tem se defrontado com problemas teóricos cada vez mais complexos e com um crescente volume de dados, que demandam recursos computacionais cada vez maiores e algoritmos cada vez mais inteligentes. O avanço da tecnologia de computação fez com que a capacidade e a velocidade do cálculo computacional aumentassem várias ordens de magnitude em relação às décadas anteriores, com perspectiva de um crescimento continuado. Logo, o investimento em processamento de alto desempenho, tanto através da capacitação para o uso de novas tecnologias e algoritmos numéricos, quanto através da aquisição de novos equipamentos, é essencial para o desenvolvimento e para a competitividade da astronomia brasileira durante a próxima década.

Muitos dos objetivos estratégicos da nossa comunidade astronômica dependem, direta ou indiretamente, da expansão da capacidade de processamento instalada no Brasil (veja também Secção 4.6). Além disso, o Brasil possui vários grupos trabalhando em astronomia teórico-computacional com expressão internacional; para tais grupos o acesso a recursos computacionais competitivos é uma questão de sobrevivência.

No que tange à expansão da capacidade de processamento, as ações da comunidade brasileira podem dar-se em três níveis:

- (a) Investimentos isolados, com abrangência limitada, partindo de pesquisadores e/ou instituições: esse princípio corresponde à esmagadora maioria das ações levadas a cabo até o momento. Consequentemente, boa parte da capacidade de processamento instalada no Brasil é de uso precípua, seja dos pesquisadores responsáveis pelo projeto no qual o equipamento está sendo usado, seja das instituições onde está instalado. Esse caminho é perfeitamente legítimo mas não pode substituir ações nacionais, de maior escopo e abrangência, porque (i) astrônomos que trabalham em pequenas instituições tem muito mais dificuldade em conseguir o financiamento necessário para suprir suas necessidades e (ii) aplicações numéricas muito avançadas demandam centenas ou milhares de núcleos de

processamento, requerendo investimentos expressivos e fora do alcance de iniciativas individuais.

- (b) Investimentos em instalações nacionais voltadas a astrônomos, coordenados por algum órgão que represente total ou parcialmente a astronomia brasileira: embora eles sejam possíveis e existem esforços pontuais para seguir esse caminho, há que se considerar sérios entraves para sua realização, tais como logística, instalação, manutenção e expansão contínua do equipamento.
- (c) Investimento coordenado por órgãos centrais de fomento à pesquisa, tal como o Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), em laboratórios nacionais, abertos a quaisquer cientistas brasileiros: O Brasil já conta com expressiva capacidade de processamento instalada e em funcionamento (SINAPAD, vinculados ao LNCC/MCT). Deverá ser estudado o potencial de uso destas instalações por astrônomos brasileiros e, no caso, tal uso deverá ser incentivado.

Outros aspectos relevantes à área da astronomia e computacional serão abordados e mais recomendações feitas na Secção 4.6,

4.6. Bancos de Dados e o Observatório Virtual

A astronomia tornou-se, nas últimas décadas, uma ciência que gera um imenso fluxo de dados que estão disponíveis em bancos ao redor da Terra. Já existem petabytes de dados disponíveis e a taxa de geração de dados continua crescendo exponencialmente. O eficiente uso dessa informação, inclusive através de estudos sinérgicos utilizando múltiplos acervos com dados, exige novas formas para realizar pesquisas astronômicas. O potencial do uso dos numerosos bancos de dados astronômicos complementa e ultrapassa a forma tradicional da pesquisa, a saber, o estudo individual de conjuntos relativamente pequenos de dados. Ele implica em uma nova forma de se fazer astronomia, que apresenta nada menos do que um novo paradigma para a astronomia mundial.

Esse conceito diferente e inovador levou a comunidade astronômica a considerar o conjunto de acervos de dados como um enorme “Observatório Virtual” (OV) e levou a esforços para criar tecnologias e ferramentas para permitir e facilitar o uso integrado dos mesmos para pesquisa, aplicando o novo paradigma mencionado acima; esses esforços são coordenados mundialmente pela Internacional Virtual Observatory Alliance – IVOA.

No Brasil, o uso do Observatório Virtual ainda está incipiente. Os motivos incluem a ausência de uma infraestrutura adequada e o enfoque dos pesquisadores em métodos de pesquisa mais tradicionais. Existem alguns grupos no país focados na criação de uma infraestrutura de banco de dados, desenvolvimento de ferramentas para o uso de dados arquivados no contexto de OV, e geração de uma cultura para o aproveitamento do potencial científico oferecido pelo OV na comunidade nacional:

- O projeto Astrosoft, radicado no ON e com a participação do CBPF visa desenvolver uma plataforma para o armazenamento e o processamento de grandes quantidades de dados e sua disponibilização para os usuários.
- O BraVO (Brazilian Virtual Observatory), criado no Instituto Nacional de C&T de Astrofísica e que reúne, num primeiro instante, grupos de trabalho do INPE, LNA, IAG/USP e da UFSC, tem como intuito a criação de uma infraestrutura compartilhada para o processamento e a mineração de dados arquivados, o desenvolvimento de ferramentas para o OV e o treinamento de pesquisadores para o uso eficiente do potencial de OV. O BraVO colabora, para esses fins, com a IVOA.

Para tornar eficaz e eficiente o aproveitamento do potencial científico inerente aos grandes bancos de dados existentes e para preparar a comunidade astronômica para extrair o conteúdo científico do fluxo de dados provindos de projetos em implementação ou projetados é necessário atuar em três áreas principais. Em todas elas, os investimentos financeiros necessários para realizar uma melhoria decisiva da infraestrutura de VO no Brasil são relativamente modestos e irão beneficiar também diretamente outras áreas estratégicas da ciência no país (infraestrutura da internet). São essas as áreas identificadas:

1) Recursos Humanos

A demanda para a criação e o uso do OV provém da astronomia, mas sua implementação

requer conhecimentos específicos principalmente da área da informática. Cabe aos astrônomos definir as características das ferramentas de análise e aplicar as mesmas na interpretação dos dados disponíveis no OV. Mas a estruturação e a realização de grandes bancos de dados, a definição de protocolos e a implementação de uma estrutura para o uso compartilhado dos arquivos são tarefas inerentes à informática. Isso gera a necessidade de uma estreita colaboração entre a astronomia e a tecnologia da informação e atuação, no que se refere aos recursos humanos, em duas frentes:

- a) Os astrônomos em geral já estão conscientes do potencial científico do OV. Entretanto, internalizar um novo paradigma e torná-lo uma forma normal no pensamento de um pesquisador é um processo lento. Para que isso realmente aconteça, deverá ser parte da formação do profissional desde o início. Portanto, há necessidade de capacitar e habituar os pesquisadores a uma nova forma de fazer pesquisa, incorporando o novo paradigma na profissionalização dos estudantes de astronomia.
- b) É necessário chamar a atenção dos profissionais da tecnologia de informação para o desafio de criar uma estrutura seguindo plenamente as ideias do Observatório Virtual como rede interligando os múltiplos arquivos de dados. Isso exige uma atitude proativa dos astrônomos para se aproximar e interagir fortemente com tecnologistas da informática. Mas é preciso também criar incentivos para atrair profissionais (que vão além de simplesmente apontar o desafio interessante) para poder concorrer com os atrativos (p.ex., financeiros) oferecidos pela iniciativa privada, principalmente para os mais capacitados na tecnologia da informação.

2) Envolvimento de instituições externas da área da astronomia

A necessidade de uma forte interação entre a astronomia e a informática e disciplinas afins torna evidente que as finalidades aqui mencionadas só poderão ser atingidas apenas através de um forte envolvimento de instituições externas da área da astronomia. Já existem colaborações nesse sentido entre o Projeto Astrosoft e o LNCC e por meio da participação do LAC/INPE no BraVO. Há também contatos iniciais entre o BraVO e o LNCC. Certamente ainda existe um grande potencial de crescimento para essas colaborações interdisciplinares.

A necessidade de ampliar capacidades da rede de internet (veja próximo item) torna indispensável um forte empenho da Rede Nacional de Ensino e Pesquisa – RNP. Outras instituições, no âmbito da estrutura do MCT, com competência para contribuir para o desenvolvimento de tecnologia para bancos de dados e OV incluem o Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer – CTI. Além disso, o potencial, no presente contexto, de instituições, laboratórios e grupos de pesquisa em universidades brasileiras merece ser investigado.

Apesar das colaborações entre a área acadêmica – principalmente atuando em pesquisa básica como a astronomia – e a indústria privada não terem muita tradição no Brasil, não deverá ser descartada a colaboração de empresas do ramo da informática, considerando que as tecnologias desenvolvidas no contexto do OV têm aplicações nas mais diversas áreas, muitas delas de interesse comercial. Incentivos para as empresas colaborarem mais fortemente com a área acadêmica no que se refere ao OV, mas também em um contexto mais geral, merecem ser criados (p.ex., no âmbito do SIBRATEC).

3) Infraestrutura

Para o bom aproveitamento das oportunidades científicas oferecidas pela disponibilidade de grandes acervos de dados, precisa-se de uma infraestrutura que ou ainda não existe no Brasil ou ainda carece da configuração e organização necessárias para seu uso eficiente e eficaz:

a) Capacidade de rede

A alta e crescente taxa de geração de dados exige também altas capacidades de rede da internet para seu transporte. Da mesma forma, sistemas de processamento de dados em rede (veja abaixo), usando processadores distribuídos em locais geograficamente diferentes, somente são eficientes se houver um bom e rápido intercâmbio de informações entre os processadores. É atribuição da RNP fornecer e gerenciar as redes da internet utilizadas pelas instituições de pesquisa e ensino do Brasil. É preciso colaborar com a RNP para garantir celeridade na implementação de

redes rápidas, principalmente entre aqueles centros de pesquisa onde hardware computacional de capacidade de armazenamento e processamento de dados para uso compartilhado da comunidade astronômica já existe ou será instalado. Evidentemente isso irá beneficiar também outras áreas da pesquisa, fator que deverá facilitar a criação das capacidades necessárias.

b) Hardware computacional

Um levantamento preliminar feito pelo BraVO mostra que as capacidades em hardware computacional disponíveis nas instituições astronômicas estão longe de satisfazer as demandas impostas pelo novo paradigma de OV. Investimentos significativos são necessários, mas ainda há que se proceder a estudos cuidadosos das reais necessidades para evitar investimentos equivocados. Isso inclui a eventual elaboração de modelos para uso compartilhado de hardware, computação em rede e aplicação de novas tecnologias e arquiteturas computacionais. Além disso, é preciso investigar o potencial de uso de hardware e estruturas computacionais existentes em instituições externas à área de astronomia (p.ex., o SINAPAD).

Para facilitar a implementação de novo hardware computacional, os astrônomos deverão ter acesso a recursos das agências de fomento reservados para a área da informática.

c) Software

A disponibilidade de software nos mais diversos níveis é essencial para o aproveitamento de grandes acervos de dados no âmbito do VO. Isso inclui:

- Software de alto nível (ferramentas) para a aplicação de tarefas específicas nos dados (análise de imagens, de espectros, etc.). O desenvolvimento nessa área está sendo realizado tanto no Astrosoft quanto no BraVO por astrônomos em colaboração com profissionais da informática.
- Desenvolvimento de algoritmos eficientes para computação em rede. Isso transcende a competência de astrônomos e necessita da colaboração de instituições externas com capacitação na área ou a participação direta em projetos (via contratação, bolsas, etc) de especialistas.
- Software de baixo nível, p.ex., para viabilizar a interoperabilidade de bancos de dados. Enquanto isso é um assunto tratado por diversos grupos da IVOA, ainda não existem atividades no Brasil nesse sentido

Como complemento ao desenvolvimento de novos pacotes de software para aplicações específicas, deverá ser contemplado o uso de grandes ambientes de software geral, tais como o sistema Astrowise, com ampla aplicação e utilização no gerenciamento de bancos de dados e no contexto do OV.

d) Capacidade de armazenamento de dados

Para disponibilizar a enorme e crescente quantidade de informação para a comunidade científica, são necessárias obviamente capacidades de armazenagem que crescem com a mesma taxa. Considerando a impossibilidade do Brasil abrigar ou espelhar os dados de todos os grandes geradores de dados do futuro, os investimentos necessários dependerão dos projetos nos quais a astronomia brasileira terá um envolvimento direto. Portanto, é preciso um levantamento cuidadoso das reais demandas em armazenamento de dados.

A infraestrutura acima mencionada será, em grande parte, destinada ao uso compartilhado da comunidade astronômica. Portanto, necessita-se de uma política que garanta a todos os interessados o acesso a essa infraestrutura e que deverá também incluir uma avaliação do uso e um planejamento para sua implementação, atualização e planos de ampliação, ou seja, um modelo de gerenciamento da infraestrutura compartilhada. A melhor forma para efetuar isso ainda precisa ser discutida.

O Observatório Virtual, reunindo pesquisadores e tecnólogos de diversas áreas com múltiplos interesses específicos e envolvendo instituições distintas, deverá ser visto como uma rede temática. Portanto, seu apoio pela política governamental atende a uma demanda formulada no PACTI/MCT, que visa a fortalecer tais redes e parcerias entre instituições governamentais e iniciativa privada.

4.7. Astronomia não eletromagnética

Enquanto a esmagadora maioria da informação oriunda do espaço extraterrestre chega à Terra em forma de radiação eletromagnética, existem alguns nichos da astronomia que utilizam outras fontes de informação: (i) matéria meteórica com origem no nosso sistema planetário e com grande potencial para esclarecer questões sobre formação, história e estrutura do sistema solar; (ii) raios cósmicos oriundos das profundezas do espaço, (iii) neutrinos, sendo que as observações até hoje se limitam a neutrinos provindos do sol ou da supernova 1987A, e (iv) ondas gravitacionais teoricamente previstas mas ainda não diretamente observadas. Considerando que a matéria meteórica e os neutrinos não estão sendo estudados na comunidade astronômica brasileira, essas áreas não serão consideradas aqui.

Ondas gravitacionais: Previstas pela teoria da relatividade geral e detectadas indiretamente mediante observações da taxa de diminuição do período orbital de pulsares binários, existe atualmente um número expressivo de experimentos no mundo, empregando diferentes técnicas (interferométricas ou de ressonância com barras ou esferas), visando a observar ondas gravitacionais diretamente.

O Brasil participa desses esforços através da colaboração GRAVITON que reúne pesquisadores brasileiros e do exterior e que desenvolve o detector Schenberg. Esse instrumento, que utiliza o princípio de ressonância de esferas, quando plenamente operacional será um componente importante de uma rede de detectores de ondas gravitacionais e poderá determinar a direção, polarização e amplitude de ondas em frequências de cerca de 3,2 kHz.

Ainda que a construção e operação do detector SCHENBERG seja um dos objetivos primários da colaboração, não é o único. As atividades em astrofísica de ondas gravitacionais no Brasil podem ser divididas nos seguintes temas: (a) estudo da geração de ondas gravitacionais por fontes astrofísicas ou cosmológicas, (b) análise de dados de diversos detectores/observatórios, (c) operação, aquisição e processamento de dados de detectores, (d) desenvolvimento de detectores e sua instrumentação.

Existe uma perspectiva otimista do crescimento e desenvolvimento da astrofísica de ondas gravitacionais no Brasil, tanto do ponto de vista teórico quanto observacional. Para que a área prospere no país é preciso (i) continuar a atuar na construção de detectores, (ii) garantir o acesso a dados de detectores nacionais e internacionais, e (iii) apoiar grupos emergentes na áreas, tanto teóricos quanto experimentais.

Como em todas as áreas da astronomia, a inserção na comunidade internacional através de colaborações é essencial. Enquanto uma participação direta do Brasil na construção ou no financiamento de grande projetos no exterior (interferômetros terrestres ou espaciais) parece inoportuna, considerando os custos na faixa de bilhões de dólares, o acesso a dados de outros observatório de ondas gravitacionais poderá ser viável através de colaborações, oferecendo dados de um detector brasileiro em contrapartida.

Astronomia com partículas de altas energias: Como consequência dos avanços instrumentais e da entrada em operação de observatórios de largas dimensões, o estudo do universo usando partículas com altas energias está passando por um desenvolvimento vigoroso. A observação das mesmas a partir da superfície a Terra geralmente dar-se-á através da detecção de partículas secundárias, criadas em interações das partículas primárias com os constituintes da atmosfera terrestre. Identifica-se como partículas primárias, partículas elementares com carga elétrica, aceleradas por campos magnéticos no espaço interestelar até altas energias, ou raios gama (estritamente, estes últimos não qualificam como radiação “não-eletromagnética”; entretanto, são incluídos na presente discussão porque utiliza-se para seu estudo a mesma tecnologia para detecção).

As atividades de pesquisadores brasileiros nos estudos experimentais de raios cósmicos de altas energias são concentradas na participação do observatório internacional. Pierre Auger, o instrumento com maior sensibilidade do mundo para observar raios cósmicos desse tipo. Concebido originalmente para cobrir todo o céu, a implementação da primeira etapa foi realizada no hemisfério sul, na Argentina. Uma parte dos componentes do instrumento, inclusive dos detectores, foi construída no Brasil.

O Observatório Auger está diante de duas alternativas: (a) manter o plano original de construir um observatório no hemisfério norte (EUA), com dimensões muito maiores (e com custos elevados) do que as instalações na Argentina, ou (b) expandir significativamente o sítio austral,

concentrando o trabalho em desenhar o espectro das fontes de raios cósmicos de altíssima energia existentes no céu sul. Qualquer que seja a decisão, a participação brasileira no observatório Auger deverá continuar.

Além do Observatório Auger existe interesse numa nova geração de experimentos de raios gama, a saber o CTA e AGIS, que justificam a avaliação de uma participação brasileira. Trata-se de observatórios que medem a radiação Cherenkov produzida pela cascata de partículas iniciada por um raio gama ao penetrar na atmosfera terrestre. Considerados experimentos prioritários nos Estados Unidos e na Europa, o escopo científico dos instrumentos abrange questões cruciais, tais como a origem de raios cósmicos, a física de objetos compactos, estrelas binárias, supernovas, nuvens moleculares gigantes e até matéria escura. Uma participação brasileira certamente terá um impacto em vários segmentos da indústria nacional. Considerando a provável implementação dos projetos na Argentina, também existe interesse do ponto de vista a colaboração científica e tecnológica nos países do Mercosul.

Ainda existem iniciativas de menor porte na área no Brasil que merecem atenção, como por exemplo o telescópio Tupi que mede múons gerados por raios gama de alta energia sendo possível determinar a direção dos surtos de raios gama.

5. O potencial da astronomia para o desenvolvimento tecnológico do Brasil

As ciências experimentais ou observacionais como a astronomia, sempre deu impulsos fortíssimos para a inovação tecnológica, pois pesquisa de ponta não pode ser feita com tecnologia obsoleta. Consequentemente, investimentos feitos para criar capacidades e uma cultura para o desenvolvimento tecnológico aplicado em ciência, p.ex., na construção de instrumentação científica, geram retorno para o país muito além da área originalmente beneficiada.

Considerando o Brasil e as disciplinas de astronomia presentes no país, existe um potencial da astronomia para contribuir para o desenvolvimento tecnológico do país, tanto nas mais diversas áreas específicas, como na astronomia óptica e infravermelha, radioastronomia, astronomia espacial, astronomia de altas energias ou astronomia não eletromagnética, quanto em áreas transversais como sistemas de controle ou processamento de dados. Muitas das tecnologias desenvolvidas e aplicadas nessas áreas tem aplicações muito além da astronomia.

Apesar de certas limitações ainda existentes, a indústria brasileira se desenvolveu ultimamente de forma a ter potencial para implementar, junto com as instituições de pesquisa em astronomia, tecnologia de ponta para a área. Portanto, a demanda deverá partir por parte dos interessados, a saber, os astrônomos. Até pouco tempo atrás essa demanda permaneceu limitada, de forma que o desenvolvimento tecnológico para a astronomia restringiu-se a poucas instituições e em projetos com escopo pequeno, sem envolvimento significativo da indústria nacional.

Devido à participação brasileira em colaborações internacionais (Gemini, SOAR, CoRoT), em projetos nacionais de maior envergadura (MIRAX, BDA, Gráviton), e em iniciativas estratégicas tais como o Instituto do Milênio para a Evolução de Estrelas e Galáxias e os Institutos Nacionais de C&T de Astrofísica e do Espaço, esse quadro está mudando: foram construídos recentemente ou encontram-se em construção vários instrumentos de alta tecnologia, entre eles (i) o espectrógrafo de fibras ópticas SIFS, (ii) o espectrógrafo de alta resolução STELES, (iii) o imageador de filtros ajustáveis BTFI (todos para o telescópio SOAR), (iv) o imageador de raios X MIRAX, (v) o radiointerferômetro BDA, (vi) a antena Schenberg para detecção de ondas gravitacionais e (vii) softwares robustos para o tratamento de dados do satélite CoRoT. Além disso, com sua participação no time vencedor do estudo para o espectrógrafo WFMOS, o Brasil tem demonstrado sua capacidade para construção de instrumentos para os maiores telescópios ópticos existentes.

Para a realização destes projetos foi necessário um grande esforço na criação de estruturas laboratoriais e até mesmo de produção especializada em vários dos institutos nacionais. As áreas de tecnologia compreendem mecânica de precisão, eletrônica de alto desempenho, óptica, lasers, fibras ópticas, criogenia, metrologia, software de controle e de análise e armazenamento de dados e redes de dados, entre outras.

Essas novas atividades instrumentais concentram-se em poucas instituições, mas já com uma participação expressiva por parte da indústria nacional. Com sinais por parte do Ministério da Ciência e Tecnologia – MCT avisando investimentos significativos em astronomia no futuro, novos projetos poderão ser apoiados. Espera-se que mais instituições se juntem aos esforços para a construção de instrumentos científicos e que mais empresas se interessem em colaborar.

Objetivos do desenvolvimento em Instrumentação

O objetivo primário do desenvolvimento de instrumentos astronômicos é obviamente atingir novos graus de eficiência, qualidade e quantidade na obtenção de dados observacionais para responder a questões científicas. Porém, o desenvolvimento de tecnologia para a ciência geralmente leva a inovações que beneficiam muitas outras áreas, inclusive de interesse comercial muito maior do que a da aplicação inicial. Enquanto os investimentos em instrumentação astronômica nunca terão um impacto expressivo no PIB, o desenvolvimento tecnológico na área tem um alto potencial inovador e um elevado valor agregado, contribuindo para o desenvolvimento tecnológico e de software do país em um nível muito acima do seu valor monetário.

Além do desenvolvimento tecnológico e possível abertura de novos mercados para a indústria nacional, é importante mencionar a formação de pessoal especializado em áreas estratégicas como eletrônica, mecânica de precisão e óptica, software, entre outras. Estes profissionais formados e treinados em instrumentação científica podem ser absorvidos pelas empresas nacionais em projetos de desenvolvimento, e também criar novas indústrias de tecnologia, agindo, desta forma, como catalisadores para a progresso tecnológico do país.

Problemas encontrados e soluções propostas

O desenvolvimento eficaz e eficiente de projetos tecnológicos na astronomia (e em outras áreas científicas) encontra alguns obstáculos que apresentam sérias ameaças ao continuado progresso na área, principalmente no que se refere a colaboração (ou a concorrência) em projetos internacionais.

1. **Infraestrutura para desenvolvimento tecnológico** – Necessita-se de investimentos significativos para criar uma infraestrutura que permita o desenvolvimento de instrumentação de ponta para a astronomia existente atualmente apenas em poucas instituições. Das Unidades de Pesquisa do MCT atuando na área, somente o LNA e o INPE dispõem de laboratórios específicos para esses fins, enquanto o CBPF mantém instalações para uso mais geral, mas bem adequados para o desenvolvimento tecnológico. Isso faz com que outras instituições tenham dificuldades em conduzir projetos instrumentais.
2. **Entraves legais e burocráticos** – O desenvolvimento de instrumentação científica e particularmente astronômica ainda está muito centrado em instituições federais ou estaduais e financiado com recursos públicos e, portanto, sujeito a legislação específica para o uso dos mesmos. A estrutura burocrática para gerir e controlar o setor público tem-se demonstrado incompatível com as necessidades para inovação em tecnologia e gerenciamento de projetos tecnológicos, especialmente nos quais se propõe a competir ou colaborar em nível internacional. Estes problemas aparecem mais evidentemente nas áreas de compras, importações e contratação de pessoal, o que se reflete diretamente na qualidade e cronograma dos projetos.
3. **Mão de obra qualificada** - O desenvolvimento tecnológico na ciência não depende somente de uma excelente capacidade laboratorial e industrial instalada, mas principalmente de mão de obra qualificada em várias áreas de física, engenharia e TI tais como: projetos óptico, projetos opto-mecânicos, sistemas de controle, mecatrônica, desenvolvimento de software, criogenia, entre outras. No Brasil, a formação de técnicos e pesquisadores em várias destas áreas ainda é incipiente e na maioria das vezes voltada ao mercado de trabalho na indústria de base. Não há um caminho de formação bem estruturado visando a formação de recursos humanos para desenvolvimento e inovação em tecnologia para ciência. A dificuldade de manter profissionais qualificados (geralmente por questões salariais), de repatriar pesquisadores e tecnólogos que ganharam experiência relevante no exterior e de repor as vagas nas universidades e institutos como ocorreu nas últimas décadas sucateou muitos dos departamentos envolvidos em desenvolvimento instrumental e quebrou o elo de transferência de conhecimento com os profissionais mais jovens.
4. **Suporte da Indústria Nacional** - De forma geral a indústria nacional se interessa inicialmente por participar em projetos de novas tecnologias astronômicas, mas devido às especificidades dos projetos e à baixa demanda, se comparados ao mercado a qual já estão acostumadas, assim como os entraves burocráticos envolvidos, muitas empresas desistem dos projetos ou não conseguem atendê-los adequadamente.

Para solucionar os problemas identificados acima é necessário atuar em várias frentes:

- (a) **Articulação interinstitucional:** Como a maioria das instituições de astronomia não tem tradição nem investimentos na área de desenvolvimento instrumental, é fundamental para o crescimento desta área no Brasil que haja uma integração maior entre os institutos, buscando uma articulação tanto no que se refere à infraestrutura laboratorial, através de seu compartilhamento, quanto à disponibilidade e variedade de pessoal qualificado. Além de uma melhor utilização de capacidades específicas, uma maior colaboração entre os institutos trará transferência de tecnologias e competências entre os mesmos, preservando, desta forma, o conhecimento. Esta colaboração deve ser procurada não somente com instituições de astronomia, mas das áreas afins e de engenharia, incluindo a AEB que vem demonstrando interesse em projetos de astronomia espacial. Propõe-se inicialmente um levantamento das capacidades instaladas e das competências, e posteriormente a identificação de projetos de interesse comum. Nesse contexto é importante a Diretriz do PACTI/MCT que visa a criação de um Programa de Instrumentação Científica e Inovação Tecnológica nas Unidades de Pesquisa do MCT.
- (b) **Reforma Estrutural e Redução de Burocracia:** Esse problema não é específico do desenvolvimento tecnológico em astronomia, mas atinge todas as instituições de pesquisa no

país. Portanto, uma solução definitiva deverá ser procurada em altíssimo nível através de uma reforma do marco legal para toda a área.

- (c) **Treinamento e absorção de pessoal especializado:** Um direcionamento e estímulo ao treinamento de pessoal qualificado em desenvolvimento de projetos de instrumentação também na graduação, mas principalmente na pós-graduação, é essencial para que se obtenha a massa crítica necessária para preencher adequadamente os nichos existentes. Isso implica em uma interação com instituições de ensino fora da área da astronomia como, p.ex., escolas técnicas e faculdades de engenharia. Além disso, há necessidade de se criar boas perspectivas para uma efetiva absorção do pessoal treinado, ou nas instituições científicas com desenvolvimento tecnológico, ou em empresas atuando na área. A isso deverão se juntar estímulos para a formação (e posterior repatriação) de mão de obra em instituições especializadas no exterior.
- (d) **Interação com indústria e empreendedorismo:** Um trabalho mais próximo entre empresas e institutos é necessário para que as mesmas se familiarizem com os processos de desenvolvimento. Uma visão empreendedora dos empresários também é necessária para que eles visualizem novos mercados que podem se abrir a partir de trabalhos específicos em instrumentação científica. Várias empresas do ramo tecnológico já foram criadas por profissionais inicialmente atuando dentro de instituições de pesquisa e desenvolvimento, demonstrando que um trabalho de incubação (como já está sendo realizado em muitas universidades) pode ser um grande aliado se gerenciado de forma adequada.

6. Ensino de astronomia e formação de Recursos Humanos

Como o título dessa seção sugere, a questão em pauta tem duas vertentes: o ensino de astronomia para a população em geral, e a formação de profissionais em astronomia (e áreas afins e de suporte). As duas vertentes serão tratadas separadamente aqui.

Ensino de astronomia para a população em geral

A comunidade científica nunca esteve tão consciente de sua responsabilidade com a educação, como pode ser atestado pelo movimento “SBPC: um pacto pela Educação”, lançado em novembro de 2009 pela Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência, com o objetivo de estabelecer metas para melhorar a educação básica em todo o país. A educação básica de qualidade precisa do compromisso não só das escolas, mas também das instituições de ensino superior e de pesquisa e de vários setores da sociedade, além da vontade política.

É amplamente reconhecido, mas talvez ainda não internalizado o suficiente por muitos atores da política brasileira, de que uma educação de qualidade vai além da inclusão social, sendo um investimento de longo prazo com fortes reflexos futuros na economia do país.

A educação científica da sociedade é feita através do ensino formal e não formal, sendo uma missão conjunta de instituições de ensino, de pesquisa e de difusão cultural. Os astrônomos tem um papel importante nessa tarefa, pois a astronomia, além de despertar fortemente a curiosidade da maioria das pessoas, tem um caráter multidisciplinar que lhe permite servir de interface entre as demais ciências naturais.

A difusão científica exercida por instituições de ensino e pesquisa é reconhecida mundialmente como tendo um papel importante para com a sociedade civil que porventura as financie direta ou indiretamente. É imperativo levar os conhecimentos científicos à sociedade brasileira a fim de criar um pensamento científico entre os estudantes de instituições de ensino básico e em especial os educadores que tem efeito multiplicador. Esses conhecimentos tem de ser também levados diretamente ao público em geral, que são sedentos por informação.

O ensino de astronomia ainda é bastante incipiente no Brasil, após ter sido negligenciado por anos a fio nos currículos escolares. Com a reforma educacional iniciada nos últimos anos do século passado, as novas diretrizes curriculares nacionais passaram a incluir conteúdos de astronomia, mesmo que dispersos em diferentes disciplinas ao longo da grade curricular. Porém, se sempre houve e continua existindo uma grande distância entre o conteúdo proposto e aquele ensinado nos currículos escolares em geral, essa distância fica maior ainda quando se trata dos conteúdos de astronomia, pois à deficiência de carga horária que dificulta totalizar o currículo, se soma a deficiência de conhecimento dos professores sobre o conteúdo a ser ensinado. É evidente que os cursos que formam esses professores falham no preparo de seus estudantes para o ensino de astronomia.

Essa situação só será revertida com investimento na formação dos professores. No caso dos professores em preparação, é necessário que disciplinas de astronomia façam parte do currículo dos cursos de licenciatura assim como dos cursos de pedagogia. Para os professores já em exercício, a solução passa pelos cursos de formação continuada, em nível de extensão, e pelos mestrados profissionais.

Existem iniciativas no Brasil para reverter a situação insatisfatória do ensino de astronomia: (a) vários institutos de pesquisa e universidades públicas do Brasil possuem anos de tradição em realizar difusão científica em astronomia e astrofísica, inclusive através de cursos à distância, que contam com milhares de participantes inscritos anualmente, e de outras medidas bem sucedidas; (b) o projeto multi-institucional “Telescópios na Escola” agrega uma rede de observatórios astronômicos de cunho didático-científico de acesso remoto para instituições de ensino; (c) outros exemplos de medidas realizadas em colaboração são os diversos projetos ligados às atividades diversas realizadas junto ao público em geral ao longo da comemoração em 2009 do Ano Internacional da Astronomia; (d) um dos melhores exemplos de atividade cooperativa na área de ensino e divulgação de astronomia, e talvez aquela com a maior envergadura, é a Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica que em sua XII edição em 2009 envolveu alunos e professores de mais de 26.000 escolas.

No entanto, para aumentar a eficiência de tais ações há necessidade de uma articulação mais forte com o Ministério da Educação, garantindo o acesso e a participação de mais professores em projetos de formação continuada na área de Astronomia.

Tais iniciativas, grande parte das quais atinge apenas uma pequena fração do enorme público alvo, precisam ser ampliadas e coordenadas, para atingir uma cobertura realmente nacional uniforme, evitando a criação ou consolidação de dicotomias regionais. É necessário aumentar significativamente a verba destinada à difusão, de forma a poder contratar pessoal especializado e manter um corpo técnico de suporte, bem como promover parcerias com instituições como museus e planetários, que, em geral, tem mais experiência com atividades de divulgação.

No que se refere ao ensino de astronomia extraescolar, os planetários desenvolvem atividades constantes de grande importância. Porém, tanto quanto as instituições de ensino superior e pesquisa, os planetários não são igualmente distribuídos no território nacional e frequentemente sofrem com falta de recursos humanos ou materiais. É importante que eles possam contar com um corpo de astrônomos qualificados para participar da elaboração dos programas de ensino e divulgação, bem como com um corpo técnico qualificado para a execução de todas as suas atividades, tudo isto dentro de uma estrutura administrativa estável e duradoura que garanta a continuidade de seu trabalho educacional e cultural.

Formação de profissionais para a astronomia

Idealmente, os cursos de graduação em Ciências Exatas devem pautar-se pelas demandas que asseguram a base necessária ao exercício das atribuições conferidas ao profissional neles formados.

O ensino da astronomia em nível superior no Brasil, ao contrário do que ocorre com cursos em outras áreas, possui pouca tradição e experimentação curricular. As iniciativas e soluções existentes são, notadamente, locais, faltando-lhes coordenação e cooperação em escala nacional. Essa situação decorre – embora, por vezes, também seja o reflexo –, da não-regulamentação da profissão de astrônomo/astrofísico, da inexistência de diretrizes curriculares para cursos de graduação em astronomia, do pequeno número de cursos de graduação que efetivamente formam astrônomos (independentemente do título legal que possa constar no diploma destes), da preferência à pós-graduação como espaço de consolidação da formação de futuros astrônomos, em detrimento do uso da graduação como recrutadora de jovens criativos e promotora das competências e habilidades necessárias à consecução de uma pós-graduação bem-sucedida.

Confrontamo-nos, assim, com uma distorção paradoxal entre as habilidades necessárias à atuação profissional e aquelas aprendidas pelos estudantes que virão a ser candidatos naturais aos programas de pós-graduação: o meio acadêmico requer astrônomos cada vez mais multidisciplinares, capazes de abordar diferentes frentes de atuação em astronomia, mas os cursos de graduação em física, que contribuem com a maioria dos estudantes que ingressam nas pós-graduações em astronomia, não são ajustados de modo a formar futuros astrônomos multidisciplinares, uma vez que eles se pautam pelas diretrizes curriculares do bacharelado em física, o qual possui suas próprias demandas em termos de habilidades e competências. Paralelamente, o engajamento dos programas de pós-graduação em astronomia no apoio e/ou na colaboração com os cursos de graduação em astronomia/astrofísica é imprescindível para a atualização curricular desses últimos, de modo a preparar o mais eficientemente possível os futuros estudantes de pós-graduação.

Atualmente, existem dois cursos de graduação em astronomia propriamente ditos no país (na UFRJ e na USP), além de um curso de Física com Habilitação em Astronomia (USP), um curso de física com ênfase em astronomia (UNIBEM) e um curso de física com ênfase em astrofísica (UFRGS). Também há cerca de duas dezenas de cursos de física que oferecem disciplinas optativas em astronomia & astrofísica. Além dessas duas categorias mais diretamente ligadas à formação de profissionais que ingressarão em programas de pós-graduação de Astronomia/Astrofísica, temos uma gama maior de situações em que disciplinas de astronomia são oferecidas em cursos de natureza tal que não formarão astrônomos, mas sim profissionais de outras áreas. Incluímos neste grupo a oferta de disciplinas optativas de astronomia a cursos de graduação fora da área de física (por exemplo, cursos multidisciplinares), bem como a oferta de disciplinas introdutórias de astronomia (sejam obrigatórias, sejam optativas) em cursos de licenciatura em ciências, com o objetivo de qualificar professores dos ensinos médio e fundamental.

Considerando o panorama atual do ensino profissionalizante da astronomia no Brasil, bem como as perspectivas de crescimento, multidisciplinariedade e avanços tecnológicos, é preciso elaborar e implementar, conjuntamente por todos os agentes contribuindo à formação de

recursos humanos em astronomia, uma política que se norteie pela realidade profissional do pesquisador, amplia a capacidade de ensino superior na área em todo o país, e que valorize o profissional.

7. Divulgação: Astronomia e sociedade

A divulgação da ciência é indispensável para gerar uma mentalidade científica entre os cidadãos, essencial numa sociedade civil laica e moderna, dependendo em grande parte de uma compreensão científica e tecnológica. Além disso, a divulgação satisfaz a curiosidade e a sede da população pelo saber e ao mesmo tempo desperta vocações para uma carreira científica e, portanto, para a formação numa área estratégica para o país. Não por último a divulgação deverá ser vista como uma “prestação de contas”, por parte da ciência, sobre os investimentos feitos pela sociedade na área.

Nesse contexto, a astronomia tem um papel de destaque, pois ocupa um local privilegiado no imaginário social, independentemente da classe sócio-cultural e do nível de escolaridade das pessoas. As descobertas astronômicas tem um forte impacto na sociedade, na medida em que buscam respostas para perguntas fundamentais da humanidade, tais como “Qual é a origem e o destino do Universo?”, “Como a vida se iniciou na Terra?”, “Estamos sós ou existem outras civilizações?”, e abordam questões práticas e até vitais para nós, como “Como o Sol funciona e como ele evoluiu?”, “Há perigo de a Terra sofrer um impacto de um corpo celeste?” e “Vamos colonizar Marte?”. Reportagens sobre recentes descobertas na astronomia ocupam com facilidade uma posição de destaque nos meios de comunicação.

Com condições de contorno aparentemente tão favoráveis, poder-se-ia esperar que tal interesse acabasse por gerar de fato, uma maior compreensão da astronomia quando comparada a outras áreas do conhecimento. No entanto, não é isso que pesquisas sobre concepções na área de astronomia constata: se por um lado a Astronomia possui o poder de atrair o interesse do grande público e de articular saberes, por outro há deficiências preocupantes quanto ao conteúdo a ser tratado nos ensinamentos fundamental e médio. Embora a divulgação e o ensino formal sejam ações de natureza distintas, é sabido o quanto a primeira pode se beneficiar da segunda: o ensino forma uma base para o melhor entendimento do progresso na área levado à população através da divulgação. Para maiores detalhes referentes à problemática do ensino em astronomia, veja a Seção 6.

Houve progresso significativo na divulgação da ciência no Brasil no últimos anos. A criação do Departamento de Difusão e Popularização da C&T, vinculado à Secretaria de Inclusão Social do MCT, levou à formulação de diretrizes para uma política de popularização da C&T. A partir desta realização, ações foram contempladas nos Planos Plurianuais, no PACTI/MCT e editais de seleção pública de apoio a projetos de difusão e popularização da ciência e da tecnologia, entre outros. Vale lembrar que esse impulso foi precedido por inúmeros empreendimentos promovidos pela Fundação Vitae, que alocou recursos significativos na área de divulgação das ciências, como a criação de museus e centros de ciência. Essas primeiras ações foram seguidas por outras, de grande relevância para a área, como a criação do Comitê Temático de Divulgação Científica no âmbito do CNPq em 2004 e a apresentação de um esboço de Política Pública para Popularização da C&T em 2005. No que se refere especificamente à astronomia, as numerosas atividades de divulgação durante o Ano Internacional de Astronomia 2009 merecem destaque e as estruturas criadas nesse contexto deverão ser aproveitadas (e ampliadas) para ações continuadas de divulgação no futuro.

Para elaborar um conjunto de medidas que visem elevar a eficácia da divulgação da ciência em geral e da astronomia, em particular é preciso agir em várias frentes:

- 1) Já foi mencionada a importância do ensino fundamental e médio para criar a base para um conhecimento e um entendimento científico.
- 2) Ciente de que a ausência de uma boa base de dados e o caráter disperso das atividades em divulgação dificultam significativamente a tarefa, qualquer plano integrado, com abrangência nacional para a divulgação da astronomia, deverá partir de um levantamento da situação atual.
- 3) Se por um lado é notável o interesse do público pela astronomia, a motivação é quase sempre pelo conhecimento contemporâneo, uma astronomia “fantástica” sem história e sem contexto. Para evitar que notícias, p.ex., na mídia, sobre novas descobertas e desenvolvimentos científicos não passem de algo sensacionalista que será esquecido no dia seguinte, é necessária uma estratégia de divulgação que capacite o público-alvo a compreender e classificar notícias e novidades na área num contexto amplo. Também deverá ser feito um esforço para corrigir a impressão geral de que os avanços na astronomia acontecem no mundo afora, sem participação do Brasil: Precisa-se divulgar,

como elemento da “prestação de contas” à sociedade, o papel ativo de pesquisadores e das instituições brasileiras como parte da astronomia mundial. Acrescenta-se ainda neste ponto a necessidade de destacar o caráter de rede que a astronomia contemporânea impõe e os projetos internacionais dos quais o Brasil faz parte.

- 4) A divulgação da astronomia depende decisivamente do empenho dos multiplicadores e de seus conhecimentos e entendimento da área. Portanto, deverá haver uma transferência eficaz de conhecimento dos pesquisadores que o geram para os popularizadores que o levam para o público em geral. No sentido de minimizar perdas no que se refere à exatidão e relevância da informação no caminho entre o gerador de conhecimento e o público alvo, idealmente o pesquisador também deverá atuar como popularizador. Entretanto, muitas vezes as habilidades dos pesquisadores para traduzir as pesquisas científicas numa linguagem que o leigo entende são limitadas, sendo que uma capacitação específica do mesmo para esse fim ocorre em detrimento da sua atuação na pesquisa. Consequentemente necessita-se de interlocutores treinados para esse objetivo, para fazer a intermediação entre o pesquisador e o público alvo. Além dos professores escolares já mencionados na seção 6, os intermediários poderão ser oriundos da própria área de astronomia (p.ex., astrônomos formados com ênfase em divulgação, atuando em instituições especializadas em divulgação científica tais como museus, planetários e observatórios voltados à popularização da astronomia), da mídia (profissionais das áreas de jornalismo e publicidade com formação ou treinamento específico), ou do vasto acervo de astrônomos amadores. De qualquer forma, os astrônomos pesquisadores (e formadores de recursos humanos na área) deverão ficar envolvidos através do treinamento e da capacitação dos popularizadores em astronomia.
- 5) A divulgação em ciência, embora ligada visceralmente à pesquisa científica, é uma área fortemente ligada à educação em ciências. Esta por sua vez é a área do conhecimento que deve sustentar as pesquisas de impacto das atividades de divulgação junto ao público. Daí a importância da formação de pesquisadores voltados a realizar pesquisas a fim de orientar e qualificar as ações de divulgação, aumentando a sua eficácia e eficiência. Outro aspecto positivo das pesquisas é a geração de índices para a mensuração do impacto destas atividades realizadas e para orientação de políticas públicas na área;
- 6) A questão do acesso à infraestrutura e aos equipamentos para divulgação e popularização da ciência também é relevante. Atualmente, existe uma grande assimetria na distribuição da infraestrutura, seja entre as regiões geográficas do país ou em cada região, seja até mesmo nas cidades. O contraste é ainda maior quando são consideradas as instituições de divulgação e/ou popularização da cultura científica, e nesse universo já particular, apenas uma pequena parcela das instituições de ciência contempla a astronomia. Além do número absoluto de planetários fixos e de observatórios astronômicos ser pequeno, sua distribuição pelas regiões geográficas demonstra um total desequilíbrio com cerca de 70% das instalações concentradas nas regiões Sudeste e Sul. O fato de muitas das instalações não serem abertas permanentemente agrava ainda mais o quadro. O uso de planetários e telescópios móveis como componentes de um plano bem definido para a interiorização da divulgação de astronomia poderá ser um elemento para melhorar a situação.
- 7) Outra questão importante é a caracterização do perfil do público alvo das ações. Atualmente, existe uma demasiada ênfase na escolha de estudantes, em detrimento do público em geral nas atividades de divulgação de ciência. Tal assimetria tem causado um processo de escolarização das atividades de divulgação em geral e a divulgação da astronomia tem seguido tal tendência. Vale, então, destacar a necessidade da ampliação do público alvo das ações de divulgação em astronomia.
- 8) A divulgação da astronomia não pode prescindir do envolvimento dos astrônomos amadores. Embora seja virtualmente impossível precisar o número de Clubes de Astronomia existentes no país, é possível afirmar que sua distribuição é extremamente capilarizada e a divulgação da astronomia pode se beneficiar muito dessa capilaridade. Editais que induzam a parceria entre clubes de astronomia amadora e instituições como observatórios, planetários e museus e centros de ciência, podem ser um mecanismo para envolver concretamente estes verdadeiros agentes de divulgação de astronomia em projetos estruturados de divulgação.

Várias das ações propostas acima evidentemente esbarram em alguns obstáculos. Talvez o mais grave seja o quadro de pessoal insuficiente na área. A fim de promover um salto

qualitativo e quantitativo da divulgação da astronomia existe a necessidade da dedicação exclusiva de astrônomos nessa atividade. Neste sentido, a ampliação dos quadros de astrônomos vinculados à divulgação e à valorização da divulgação científica na formação acadêmica dos astrônomos são pontos cruciais, pois sem o aumento dessa massa crítica não haverá condições de sustentar as demandas inerentes ao processo de melhoria e ampliação da divulgação no país.

8. Gestão do PNA e Modelos de gerenciamento da astronomia brasileira

A astronomia brasileira encontra-se atualmente frente a uma situação favorável para seu desenvolvimento futuro; talvez a situação mais favorável em toda sua história. Diversos desenvolvimentos das últimas décadas levaram a comunidade astronômica a um crescimento expressivo, tanto em quantidade quanto em qualidade. Esse cenário forma a base e parcialmente é a origem das novas oportunidades que se abrem com a melhor situação econômica do país. Com efeito, o Brasil hoje é visto internacionalmente como uma potência emergente. A situação econômica favorável abre uma perspectiva para investimentos financeiros significativos em ciência e tecnologia. Não é, pois, de surpreender que a atenção da comunidade global se volte de forma crescente para o Brasil, reagindo com maior receptividade a propostas de astrônomos brasileiros para incorporar o país em projetos astronômicos dos mais diferentes escopos e naturezas.

Entretanto, na euforia pelas oportunidades do momento, não se deve cometer o erro de pensar que o desenvolvimento futuro ocorrerá automaticamente. Ao contrário, com o crescimento do número de agentes e de atividades em astronomia através do desenvolvimento de múltiplos projetos, nacionais e internacionais, todos concorrendo por recursos financeiros e humanos, torna-se cada vez mais importante um gerenciamento planejado da astronomia brasileira que vise a acompanhar e coordenar estas atividades, com o intuito de maximizar o retorno dos investimentos necessários. Somente assim será possível evitar uma dispersão de recursos e esforços e a consequente perda de eficiência das medidas estratégicas implementadas através do Plano Nacional de Astronomia – PNA e outras eventuais.

Enquanto um modelo de gerenciamento futuro deverá ter como elemento central um mecanismo para a gestão do PNA (veja abaixo), é imprescindível não desvincular esse mecanismo dos aspectos estruturais da astronomia brasileira no presente. Dessa forma, é importante avaliar a forma como são atualmente geridos os recursos materiais e humanos associados à astronomia, para encaminhar medidas integradoras e corretivas, se for preciso. Seguem algumas considerações pertinentes a essa assunto:

1. O MCT mantém várias UPs que desenvolvem exclusiva ou parcialmente, atividades em astronomia, de forma ampla ou em nichos específicos, através da pesquisa, da prestação de serviços ou da divulgação. Há necessidade de se criar e manter as condições para que todas as Unidades de Pesquisa possam exercer, com excelência, suas funções consagradas em seus respectivos Regimentos Internos, especialmente aquelas funções voltadas à prestação de serviços para a comunidade da área, inclusive e em prioridade máxima com uma adequada dotação de recursos humanos. É oportuno que haja um debate amplo para refletir sobre o papel de cada UP nas atividades associadas à astronomia dentro do MCT para evitar duplicação de esforços, pulverização de recursos e manutenção de estruturas e instalações que por ventura não sejam mais adequadas à realização de pesquisas, desenvolvimentos tecnológicos e prestação de serviços. Além disso, deverá ser procurada uma maior articulação entre as UPs na prestação de serviços.
2. A maior parte da pesquisa astronômica no país está sendo realizada em um número elevado e crescente de instituições universitárias, as quais também tem como função básica a formação de recursos humanos e, muitas vezes, prestam serviços através da divulgação da astronomia. Por outro lado, a participação das universidades em projetos de infraestrutura para a área é esporádica. Reconhecendo as dificuldades devidas às atribuições já mencionadas e à grande diversidade de instituições universitárias, é importante que seja estimulada a criação de mecanismos que possibilitem uma melhor articulação entre as universidades que atuam na área.
3. Descontando os recursos para os salários dos professores e a manutenção básica das instituições universitárias, a grande maioria dos recursos financeiros para projetos e pesquisas em astronomia provém do MCT (inclusive de suas agências, CNPq e FINEP) e das fundações de amparo à pesquisa estaduais. Assim, um aspecto importante do gerenciamento da astronomia brasileira é a coordenação entre os órgãos de fomento, de forma a evitar aplicação desordenada de recursos financeiros.
4. Reconhecendo que a astronomia brasileira ainda está concentrada no Sudeste do Brasil, recomenda-se investir na criação e fortalecimento de institutos de pesquisa atuando na área nas regiões norte, sul, nordeste e centro-oeste do país, aproveitando a infraestrutura já existente dos institutos de pesquisa nessas regiões. O desenvolvimento de novos grupos

poderá ser fomentado através da implementação de programas visando colaborações entre instituições estabelecidas e os grupos emergentes.

A elaboração do PNA só poderá ser o primeiro passo para a gestão abrangente e de longo prazo, em nível nacional, da astronomia brasileira. Sem acompanhamento e supervisão da execução do PNA, o mesmo correrá o risco de não atingir a desejada eficácia. Portanto, é necessário criar mecanismos para assegurar que

- A existência do PNA seja conhecida e sua importância e legitimidade sejam reconhecidas por todos os agentes com atuação direta ou indireta na astronomia brasileira.
- O PNA seja observado como instrumento principal para nortear o desenvolvimento da astronomia brasileira, independente dos atuais ou futuros órgãos deliberativos de natureza política, seja dentro da comunidade astronômica, nos governos federais ou estaduais, ou nas agências financiadoras;
- O PNA não permaneça um plano estático, mas que ele seja constantemente atualizado conforme as mudanças no ambiente interno e externo da astronomia brasileira e adaptado a novas realidades. Para isso é necessário que o processo de sua gestão mantenha mecanismos continuados e transparentes de comunicação com toda a comunidade astronômica.

Os mecanismos de gestão do PNA deverão envolver os agentes principais que, de um lado, determinam as condições de contorno para o desenvolvimento da astronomia no país, e do outro, atuam diretamente na astronomia, seja nas diferentes áreas de pesquisa, no ensino ou na divulgação pública. Nesse sentido foram identificadas três categorias de agentes:

- 1) Os agentes políticos propriamente ditos; ou seja, aqueles em posições para tomar decisões políticas de alto nível, seja, p.ex., na decisão sobre a implementação e financiamento de projetos de grande envergadura, seja na definição de condições de contorno gerais para a pesquisa e o ensino no âmbito nacional;
- 2) Os financiadores da pesquisa, ensino e divulgação científica no país, tanto no âmbito estadual quanto no âmbito federal;
- 3) Os cientistas, pesquisadores e professores, da comunidade astronômica que são os principais produtores de conhecimento nas diferentes áreas da astronomia, e os profissionais atuando na divulgação e popularização da astronomia.

Propõe-se a implementação de mecanismos de gestão do PNA através da criação de um órgão permanente que aja como Comitê Gestor para o PNA e que seja responsável, de forma global, pelo gerenciamento da astronomia brasileira. Sugere-se, portanto, que seja criado um órgão colegiado na estrutura organizacional do MCT, a Comissão Nacional de Astronomia. Esse órgão deverá:

- (a) levar em conta os interesses de todas as áreas de pesquisa, de ensino e de divulgação da astronomia presentes na comunidade nacional;
- (b) dialogar com todos os agentes e instituições da astronomia profissional brasileira buscando promover maior coordenação de ações e atribuições;
- (c) permanecer independente de interesses individuais, priorizar os objetivos estratégicos especificados no PNA e suas atualizações, e implementar as medidas cabíveis para alcançá-los, sempre partindo de uma visão global da astronomia brasileira;
- (d) ter agilidade para permitir eficácia e eficiência.

A Comissão Nacional de Astronomia deverá ter como atribuição básica subsidiar o Ministério da Ciência e Tecnologia no acompanhamento de ações previstas no PNA, no aperfeiçoamento e atualização do mesmo, e no desenvolvimento das áreas científicas e tecnológicas relevantes à astronomia. Deverá ainda assessorá-lo no que tange à definição da política do governo para pesquisa, ensino e divulgação da astronomia, incluindo-se políticas para a tecnologia relacionada à astronomia e para as relações com a comunidade astronômica internacional. Detalhes a respeito das atribuições desse órgão, de sua composição e de seu funcionamento necessitam de mais reflexão e aprofundamento para serem elaborados. Entretanto, é fundamental que sua composição e funcionamento sejam transparentes e reflitam de forma equilibrada as diferentes áreas e demandas de pesquisa, ensino e divulgação da astronomia, bem como os diferentes agentes institucionais envolvidos.

9. Conclusões

O Brasil atua em numerosas subáreas da astronomia, participando das linhas de pesquisa mais exploradas no mundo e também ocupando nichos específicos com menor expressão internacional, mas não menos importantes. Partindo de um quadro geral da astronomia brasileira no contexto mundial, esta versão preliminar e resumida da proposta para um Plano Nacional de Astronomia tem o propósito de delinear as linhas gerais para seu bem sucedido desenvolvimento futuro.

Na base de um levantamento das necessidades de todas as áreas, não apenas científicas, mas considerando também aspectos correlacionados como formação de recursos humanos, ensino de astronomia nas escolas, divulgação pública, ramificações da astronomia para o setor tecnológico, etc., realizado com a ajuda de numerosas subcomissões com a participação de um grande número de especialistas nas diversas subáreas da astronomia brasileira e de disciplinas afins, a CEA apresenta, neste documento, um mapeamento conciso da situação da astronomia no Brasil, dos sucessos conquistados no passado, dos problemas ainda existentes, e das necessidades e oportunidades para seu desenvolvimento futuro rumo a uma comunidade com cada vez mais peso e influência na astronomia mundial do século XXI.

Com o intuito de nortear a política futura referente à astronomia como área específica da ciência no contexto de uma política governamental e do Estado para o desenvolvimento científico e tecnológico do país, a CEA propõe estratégias e medidas de cunho geral e, em grande parte consensuais na comunidade astronômica nacional, para consolidar a pesquisa, o ensino, a divulgação e o desenvolvimento tecnológico para a astronomia em médio e longo prazo.

A CEA irá continuar seu trabalho para, conjuntamente com a comunidade, concretizar e especificar suas propostas. Prevê-se a apresentação da proposta definitiva e completa para o Plano Nacional de Astronomia para o terceiro trimestre de 2010.

Glossário

ABC	Academia Brasileira de Ciências
AEB	Agência Espacial Brasileira
AGIS	Advanced Gamma Ray Imaging System
ALMA	Atacama Large Millimeter/submillimeter Array
APEX	Atacama Pathfinder Experiment
BDA	Brazilian Decimetric Array
BraVO	Brazilian Virtual Observatory
BTFI	Brazilian Tunable Filter Imager
CAPES	Coodenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CBPF	Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas
CFHT	Canada-France-Hawaii Telescope
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CoRoT	Convection, Rotation and Planetary Transits
CRAAM	Centro de Rádio Astronomia e Astrofísica Mackenzie
CTA	Cherenkov Telescope Array
CTI	Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer
CTIO	Cerro Tololo Interamerican Observatory
DES	Dark Energy Survey
E-ELT	European Extremely Large Telescope
ESA	European Space Agency
ESO	European Southern Observatory
FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos
GMT	Giant Magellan Telescope
HETE	High Energy Transient Explorer
IAR	Instituto Argentino de Radioastronomia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IVOA	Internacional Virtual Observatory Alliance
JDEM	Joint Dark Energy Mission
J-PAS	Javalambre Physics of the Accelerating Universe Survey
LAC	Laboratório Associado de Computação e Matemática Aplicada
LLAMA	Long Latin American Millimeter Array
LNA	Laboratório Nacional de Astrofísica
LNCC	Laboratório Nacional de Computação Científica
LSST	Large Synoptic Survey Telescope
MAST	Museu de Astronomia e Ciências Afins
MCT	Ministério da Ciência e Tecnologia
MIRAX	Monitor e Imageador de Raios X
NASA	National Aviation and Space Agency
ON	Observatório Nacional

OPD	Observatório do Pico dos Dias
OV	Observatório Virtual
PACTI	Plano de Ação de Ciência, Tecnologia e Inovação
PAU	Physics of the Accelerating Universe
PIB	Produto Interno Bruto
PLATO	Planetary Transits and Oscillations of stars
PNA	Plano Nacional de Astronomia
RNP	Rede Nacional de Ensino e Pesquisa
ROEN	Radio-observatório Espacial do Nordeste
ROI	Radio-observatório de Itapetinga
SAB	Sociedade Astronômica Brasileira
SBPC	Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência
SIBRATEC	Sistema Brasileiro de Tecnologia
SIFS	SOAR Integral Field Spectrograph
SINAPAD	Sistema Nacional de Processo de Alto Desempenho
SKA	Square Kilometer Array
SOAR	Southern Astrophysical Research Telescope
SST	Solar Submillimeter Telescope
STELES	SOAR Telescope Echelle Spectrograph
USP	Universidade de São Paulo
TI	Tecnologia da Informação
TMT	Thirty Meter Telescope
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
U-HARPS	Ultra High Accuracy Radial velocity Planet Searcher
UP	Unidade de Pesquisa
VISTA	Visible and Infrared Survey Telescope for Astronomy
VLBI	Very Long Baseline Interferometry
VLT	Very Large Telescope
WFMOs	Wide Field Multi-Object Spectrograph