

Plano Nacional de Astronomia



Comissão Especial de Astronomia

Outubro de 2010

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA
MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Presidente da República

Luiz Inácio Lula da Silva

Vice-Presidente da República

José Alencar Gomes da Silva

Ministro da Ciência e Tecnologia

Sergio Machado Rezende

Secretário Executivo do Ministério da Ciência e Tecnologia

Luis Antonio Rodrigues Elias

Subsecretário de Coordenação das Unidades De Pesquisa

José Edil Benedito

Coordenador Geral das Unidades de Pesquisa

Carlos Oití Berbert

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

Imagem de capa: Nebulosidade “Cabeça de Cavalo”

Observatório do Pico dos Dias / Laboratório do Pico dos Dias

Rodrigo Prates Campos

Índice

1. Resumo Executivo	4
2. Preâmbulo	9
3. Situação atual da astronomia brasileira	10
3.1. A astronomia brasileira no contexto global	10
3.2. Focos temáticos da astronomia brasileira	11
3.3. A infra-estrutura para a astronomia brasileira	15
4. Vertentes para o futuro da astronomia brasileira	18
4.1. Astronomia óptica e infra-vermelha	18
4.2. Radioastronomia	22
4.3. Astronomia espacial	25
4.4. Cosmologia	28
4.5. Astronomia teórica e computacional	31
4.6. Bancos de dados e o Observatório Virtual	34
4.7. Astronomia não eletromagnética	40
5. O potencial da astronomia para o desenvolvimento tecnológico do Brasil ..	43
6. Ensino de astronomia e formação de Recursos Humanos	48
7. Divulgação: Astronomia e sociedade	53
8. O gerenciamento da astronomia brasileira e a gestão do PNA	57
9. Prioridades e financiamento	63
10. Conclusões	67
Glossário	68
Subcomissões	71
Anexo I: Vantagens para a indústria brasileira da entrada do Brasil no ESO .	73
Anexo II: Grandes projetos atuais e do futuro próximo em astronomia	77

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 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 importantes da astronomia moderna são estudados no Brasil. A infra-estrutura 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 infra-estrutura observacional de acesso de toda a comunidade é composta dos observatórios gerenciados pelo LNA na faixa óptica (OPD, participação brasileira no Observatório Gemini e nos telescópios SOAR e CFHT) 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 de 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 European Southern Observatory – ESO que garante a participação no E-ELT e ao mesmo tempo fornece acesso a toda infra-estrutura observacional do ESO, atendendo também necessidades da comunidade de radioastrônomos. O MCT já está avaliando a possibilidade da adesão do Brasil ao ESO. Levando em conta as demais recomendações do PNA, esse processo deverá continuar até que se chegue a uma conclusão sobre se há ou não condições financeiras econômica e socialmente aceitáveis para tal adesão, considerando também o grande retorno científico, tecnológico e econômico que dela adviriam. Outras oportunidades ainda merecem ser estudadas em mais detalhe, tanto para a astronomia óptica quanto para a radioastronomia e outros

comprimentos de onda, assim como na área da astronomia não-eletromagnética, 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 aeroespacial 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-se um patamar adequado para seu uso em meios e recursos humanos e computacionais, a CEA recomenda investimentos em recursos humanos para informática, *hardware* (incluindo alta capacidade de armazenamento de dados) e *software*, tanto quanto um empenho por parte da RNP para elevar a capacidade da conexão das instituições de pesquisa à rede da internet a um nível compatível com a demanda. Investimentos em hardware computacional também beneficiarão diretamente os grupos de pesquisa trabalhando em áreas teóricas através de simulações e modelagens.

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

Além da infra-estrutura física para conduzir pesquisa astronômica competitiva hoje e no futuro precisa-se de uma infra-estrutura organizacional capaz de coordenar atividades em áreas específicas, dotada com os recursos necessários, principalmente no que se refere a recursos humanos e preferencialmente direcionados para a prestação de serviços de importância estratégica para a comunidade astronômica.

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 infra-estrutura 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 à realidade profissional do pesquisador, amplie a capacidade de ensino superior na área em todo o país, e que valorize o profissional.

A astronomia, assim 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 levarem 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 e museus de ciência, para toda a população, tirando proveito do grande interesse que a área sempre despertou entre as pessoas.

A maioria das propostas para nova infra-estrutura para a astronomia brasileira ou para participações em projetos internacionais levantadas pela comunidade no decorrer da preparação do presente documento ainda não atingiram um grau de maturidade e detalhamento que permitam estabelecerem-se prioridades criteriosas entre eles. Da mesma forma, as estimativas referentes aos seus custos quase sempre ainda carecem de fundamentos sólidos. Portanto, a CEA propõe como forma de priorizar os projetos e para o dimensionamento financeiro da área um caminho que estimula a competição de idéias, dando mais chances de realização aos melhores projetos: a Comissão sugere que o MCT adote um esquema de abertura de editais para financiamento, pois com eles o julgamento dos projetos poderá ser feito com o devido cuidado e de forma competitiva.

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 a mesma, 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.

PRINCIPAIS RECOMENDAÇÕES

Recomendação 1: *Manter e ampliar o acesso da comunidade astronômica brasileira ao meios e a infra-estrutura para viabilizar a*

continuada e bem sucedida inserção na comunidade internacional, visando o aproveitamento das numerosas oportunidades abertas no momento e observando a diversidade da pesquisa no país, através:

- a) Da participação em um dos projetos de telescópio gigantes do futuro, preferencialmente por meio da adesão do Brasil ao ESO, considerando os numerosos outros benefícios provindos da associação do país a essa organização;*
- b) Da continuação de projetos em andamento (tais como, p.ex, OPD, Gemini, SOAR, ROI, Auger) ou em fase de implementação, inclusive através do fornecimento de meios para modernizá-los e mantê-los competitivos.*
- c) Do desenvolvimento em todas as áreas da astronomia de projetos competitivos e agregadores com forte inserção internacional, sendo que novos projetos de infra-estrutura, de instrumentação e de participações em empreendimentos internacionais necessitam inicialmente de fomento para levá-los até o ponto de maturidade para permitir decisões instruídas sobre sua realização.*
- d) Da implementação de um programa coordenado de astronomia espacial em colaboração entre as Unidades de Pesquisa do MCT (em particular, o INPE), as universidades e a AEB, visando a construção de satélites científicos de pequeno porte e a participação, inclusive tecnológica, em projetos espaciais internacionais. A escolha de projetos no contexto desse programa e o financiamento deverão dar-se-á através de editais específicos para a área.*
- e) Da manutenção da infra-estrutura organizacional existente nas Unidades de Pesquisa do MCT e universidades, e da ampliação da mesma em áreas que ainda carecem de tal infra-estrutura de coordenação, dotando-a dos recursos necessários, principalmente no que se refere a recursos humanos e preferencialmente direcionados para a prestação de serviços de importância estratégica para a comunidade*

Recomendação 2: *Ampliar as capacidades para a construção de instrumentação astronômica como forma de impulsionar o desenvolvimento tecnológico do Brasil, criando uma rede de laboratórios e oficinas para uso compartilhado, estimulando a capacitação de recursos humanos em inovação e desenvolvimento tecnológico de alto padrão, incentivando o empreendedorismo na iniciativa privada e afastando entraves burocráticos e legais.*

Recomendação 3: *Incentivar atividades de divulgação pública da astronomia tanto como forma de inclusão social quanto como meio eficiente de alfabetização científica, visando a atingir todas as regiões geográficas e classes sociais.*

Recomendação 4: *Intensificar, em articulação com o Ministério da Educação, a capacitação de professores do ensino médio e fundamental para ensinar disciplinas de astronomia através da*

inclusão da matéria nos currículos de licenciatura e de pedagogia, cursos de formação continuada e a distâncias, etc., e fortalecer o ensino extra-escolar de astronomia, p.ex., através de entidades tais como planetários.

Recomendação 5: *Flexibilizar os currículos no ensino de astronomia no sentido de permitir uma formação multidisciplinar, levando em conta os constantes avanços tecnológicos e de pesquisa, ampliar o ensino superior da astronomia através da sua implementação em universidades que ainda não tenham essa disciplina, e fomentar estágios de estudantes em institutos e laboratórios como o LNA, INPE, etc.*

Recomendação 6: *Estabelecer um esquema e priorização de novos projetos e do seu financiamento, lançando periodicamente Editais, através de órgãos como FINEP, FNDCT, e – para a área espacial – da AEB, e em colaboração com as Fundações de Amparo à Pesquisa estaduais, em diversas categorias financeiras, visando desde estudos e projetos de menor porte até projetos grandes com abrangência nacional e internacional.*

Recomendação 7: *Implementar mecanismos de gestão do PNA através da criação de um órgão colegiado permanente na estrutura organizacional do MCT que aja como Comitê Gestor para o PNA e que assessore o MCT quanto à coordenação da astronomia brasileira: a Comissão Nacional de Astronomia – CNA.*

2. Preâmbulo

O cenário da ciência no mundo de hoje se caracteriza por grandes e rápidos avanços no conhecimento científico nas mais diversas áreas, pela crescente necessidade de colaborações internacionais tendo em vista o escopo das perguntas científicas que se colocam, pelos custos elevados da busca por respostas e pelas numerosas oportunidades para participações em projetos internacionais promissores de grande envergadura. Essas condições tornam cada vez mais importante uma política de 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 em outros países.

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 dos atores políticos 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 país atingiu um patamar importante de estabilidade política e econômica, com perspectivas bastante favoráveis para o futuro, o 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, composta por membros do MCT, por suas Unidades de Pesquisa que atuam em astronomia, e por membros proeminentes da comunidade científica, indicados pela SAB, ABC, CNPq e CAPES, 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 para os próximos cinco anos, com a perspectiva de se tornar em política de Estado.

Fruto de uma intensa discussão na comunidade astronômica como um todo, o presente documento apresenta a proposta para o PNA solicitada pelo MCT. Delineia, de forma geral, o ambiente externo e interno da astronomia brasileira, os entraves e oportunidades que se apresentam e suas perspectivas de desenvolvimento como parte da comunidade astronômica mundial, incluindo recomendações estratégicas de cunho geral e específica e contemplando também suas ramificações para áreas estratégicas externas à astronomia.

3. Situação atual da astronomia brasileira

3.1. A astronomia brasileira no contexto global

Mais do que nunca a astronomia mundial se caracteriza hoje em dia 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 do progresso da ciência. Isso decorre do fato de que a busca de 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 valem ainda mais 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, sejam sendo conduzidos através de cooperações internacionais.

Conseqüentemente, a atuação bem sucedida de uma 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 de um lado, aos meios mais modernos para pesquisa astronômica, participando ativamente de grandes projetos de infraestrutura observacional, e do outro lado ao acervo mundial de conhecimento (a saber, mentes) através de colaborações científicas além de 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 de 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 se estabelece de forma continuada a partir de 1827 com a fundação 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 no país nessa área, 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 à infra-estrutura observacional óptica competitiva; (iv) a associação aos projetos Gemini, com participação de 2.5% em dois telescópios de 8m de abertura no Chile e Havaí, com observações a partir do ano 2000; (v) 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.

Decorrente 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 de Estado, o fortalecimento e ampliação da participação brasileira em organismos e protocolos internacionais, e o fortalecimento de programas de cooperação internacionais. 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, portanto, deverá ser visto 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

Os avanços impressionantes do conhecimento astronômico das últimas décadas, através de pesquisas bem direcionadas, de descobertas às vezes inusitadas e de um melhor entendimento teórico da física em questão, somente foram possíveis pelo aproveitamento das sinergias provenientes de vários fatores: observações a partir da Terra e do espaço nas mais diversas bandas eletromagnéticas e inclusive de partículas providas do espaço, as pesquisas teóricas e computacionais, e o desenvolvimento de novas tecnologias. Tudo isso levou à identificação de algumas grandes perguntas que estarão no centro da pesquisa astronômica na próxima década e mais além. Essas questões importantes, discutidos em detalhes em grandes levantamentos recentes sobre o futuro da astronomia desenvolvidos na Europa (Astronet; “Towards a Strategic Plan for European Astronomy”) e nos Estados Unidos (Decadal Survey: “New Worlds, New Horizons in Astronomy and Astrophysics”), podem ser classificadas em três grandes áreas que, portanto, deverão ser vistas como estratégicas pelo menos para os próximos dez anos:

1. A busca das primeiras estrelas, galáxias e buracos negros

O conhecimento da história do universo desde o Big Bang até hoje avançou muito recentemente. Mas uma grande incógnita ainda persiste: quando e como as primeiras galáxias se formaram de nuvens frias de hidrogênio e começaram a brilhar? Observações e cálculos teóricos sugerem que isso

aconteceu quando o universo tinha cerca de meio bilhão de anos; período conhecido como época da re-ionização. Os astrônomos desenvolveram cenários sobre a formação das primeiras estrelas e galáxias, mas detalhes deles permanecem nebulosos. As observações necessárias para confirmar ou desmentir esses cenários ocorrerão com as novas gerações de telescópios terrestres e espaciais.

2. A busca por planetas habitáveis e a origem de vida

Após a descoberta de planetas ao redor de outras estrelas, a astronomia engaja-se agora seriamente na tentativa de descobrir vida além da Terra e do sistema solar através da busca por planetas extrasolares com densidade e atmosferas semelhantes ao nosso, que possam ter condições para desenvolver e abrigar vida.

3. O entendimento de princípios fundamentais da física

O universo pode ser visto como um imenso laboratório físico com condições que não podem ser reproduzidas em laboratórios terrestres. Isso abre a perspectiva que observações astronômicas possam desvendar conhecimentos além dos limites da física conhecida. Condições extremas tais como, por exemplo, os intensos campos gravitacionais de buracos negros permitem testar a validade das leis da física como nós as conhecemos; descobertas enigmáticas tais como a matéria e a energia escura mostram que nosso conhecimento da natureza é incompleto. Predições teóricas fundamentadas em observações como uma fase de inflação cósmica nos primeiros instantes do universo, ainda carecem de uma explicação física. Tudo isso atinge fundamentalmente nosso conhecimento científico.

Historicamente, a astronomia observacional foi baseada no solo, e por muitos séculos limitada na faixa óptica, tendo incluído a faixa de rádio desde meados do século passado. Mais tarde, a ciência astronômica a partir do espaço tem permitido estudar domínios espectrais fora de nossa janela atmosférica. No Brasil, a astronomia óptica observacional, inclusive a astronomia no infravermelho próximo, é sem dúvida a área astronômica onde a comunidade é mais numerosa e o volume de publicações predomina. Entretanto, outras áreas também se fazem presente na atuação dos pesquisadores brasileiros. Tomando por base igualmente o número de publicações, temos em seguida a astrofísica teórica (incluindo a cosmologia), a radioastronomia, a astrofísica de altas energias, a astrofísica não eletromagnética, a astrobiologia e a astroquímica experimental. A grande maioria das linhas de pesquisas seguidas pelos astrônomos brasileiros enquadra-se direta ou indiretamente nas grandes áreas enumeradas acima.

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-se manter ou criar condições para o florescimento das outras áreas, dotando-as também de meios para seu

crescimento, pois a compreensão do universo literalmente necessita de visão universal.

Segue uma lista de focos temáticos nos quais a comunidade astronômica brasileira atua e tem competência reconhecida internacionalmente, completando 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, exigem 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 precisam, para seu aprimoramento, ainda de investimentos 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 encontrados no espaço. 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 supernovae, entre outras. O acesso à instrumentação para estudos em distintos comprimentos de onda, e 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 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, por estudos de estrelas variáveis, cromosferas, atmosferas estelares, inclusive da composição química: Observações nas faixas óptico, rádio e infravermelho, ou 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 (embebidos), 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 juntos 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 pelo 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 cujo estudo poderá ser explorado no Brasil, mas 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 infra-estrutura 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 grupos pequenos, geralmente dentro de departamentos de física, poucas universidades, mais notadamente a USP, mantêm institutos astronômicos de maior porte. Algumas dessas instituições mantêm uma infra-estrutura 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 infra-estrutura 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 concentram em pesquisas cosmológicas. O INPE mantém o seu Departamento de Astronomia com pesquisadores interessados em diversas subáreas. A maior parte da infra-estrutura 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 primeira linha uma instituição prestadora de serviços, gerenciando a infra-estrutura 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 Observatory for Astrophysical Research – 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 SOAR. Entretanto, considerando o amplo acesso brasileiro, o telescópio está se tornando a infra-estrutura 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 a 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 o 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 da 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 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 pela Universidade Presbiteriana Mackenzie. 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 diversas instituições para preencher determinados nichos, toda a infra-estrutura para pesquisa observacional em astronomia óptica (entende-se aqui e a seguir que esse termo também inclui o infravermelho próximo), aos quais 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 infra-estrutura e seu futuro é intimamente atrelado aos investimentos futuros nessa área.

O conjunto dos telescópios juntamente com a instrumentação periférica oferecido pelo LNA, deverá ser visto 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 diferentes 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);

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 infra-estrutura observacional mais moderna diminuíram 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 uma 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 dos problemas, senão todos 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 tecnologistas contratados no Brasil. No sentido de preservar a amplitude de acesso à infra-estrutura 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 das 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 dedicados 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 (para cobrir o céu inteiro) o projeto espanhol J-PAS 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 tirar proveito 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 detectar planetas extrasolares de pequena massa.
- **PLANETS:** Pesquisadores brasileiros estão interessados em participar de uma iniciativa da universidade do Havaí, que está abrindo a possibilidade de uma parceria num telescópio da classe de 2m "off-axis" para a procura exoplanetas em torno de estrelas brilhantes através de técnicas coronográficas e polarimétricas (PLANETS) Um possível acordo poderá envolver também uso do tempo noturno de um telescópio

solar de 4,2 m e de outro telescópio convencional dedicado de 0,8 m no vulcão Haleakala, Havaí

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 a 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 infra-estrutura observacional previstas no PNA.

2. Telescópios de grande porte

A única infra-estrutura 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. Recentemente houve um aumento da participação brasileira de 2,5% para 5%. Considerando a alta demanda tanto quanto a iminente renovação do contrato sobre o Gemini (sendo que o contrato atual vence em 2012) está na hora de avaliar cuidadosamente a participação ideal do Brasil no consórcio, tendo em vista as demais recomendações deste PNA e os possíveis cenários referentes uma participação do Brasil no European Southern Observatory – ESO (vide abaixo).

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 futura

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 EAU, 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, Havaí.

- **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 2020. Os proponentes de todos os três projetos manifestaram um forte interesse para o Brasil se associar 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 infra-estrutura para a astronomia, entre outros, e considerando a favorável perspectiva econômica do país, pela primeira vez na história a comunidade astronômica sente a 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 muito em breve.

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 infra-estrutura observacional do ESO (Observatório de La Silla, VLT, VISTA, APEX, ALMA, E-ELT). Em reuniões locais e nacionais, uma grande maioria da comunidade astronômica brasileira manifestou sua preferência pelo Brasil entrar como sócio no ESO¹. 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. O MCT já está avaliando a possibilidade da adesão do Brasil ao ESO. Esse processo deverá continuar até que se chegue a uma conclusão sobre se há ou não condições financeiras econômica e socialmente aceitáveis para tal adesão, considerando também o os grandes retornos científico, tecnológico e econômico que dela adviriam.

4. Participação em grandes projetos de levantamentos

Existe mundialmente um número expressivo e crescente de projetos que visam a 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

¹ O reconhecimento internacional do ESO como a mais forte organização mundial na astronomia terrestre reflete-se no relatório do recente Decadal Survey realizado nos EUA: *“The 14-nation ESO consortium is on track to become the undisputed leader in ground-based OIR (optical-infrared) astronomy, with its planned construction of the 42m European Extremely Large Telescope (E-ELT) facility by 2018 and to play a more prominent role in RMS (radio/millimeter/ submillimeter) by investing significantly in the SKA. By concentrating most of its resources into a single international partnership, Europe has minimized duplication of capability between facilities, created a major international research center, and established monolithic, multi-national institution, ESO inevitably carries a larger overhead than a US private observatory, but it serves as a good example of a successful international partnership.”*

garantido, tornando necessário ficar 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., Eculid; veja seção 4.3). Entretanto, para o aproveitamento dos dados, há necessidade de preparar a infra-estrutura de armazenamento e transporte de dados, e de 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 do projeto e à capacitação da comunidade brasileira para o uso eficiente e otimizado da infra-estrutura. 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.

RECOMENDAÇÕES

Recomendação 1: *Manter a infra-estrutura observacional existente (OPD, SOAR, Gemini) e aumentando sua eficiência, dotando o LNA com os recursos necessários (em particular recursos humanos) para gerenciar essa infra-estrutura com alto nível de qualidade de forma sustentável.*

Recomendação 2: *Procurar acesso a um dos telescópios gigantes do futuro, preferencialmente através da associação do Brasil ao ESO sob condições financeiras economicamente viáveis e socialmente aceitáveis.*

Recomendação 3: *Aproveitar as oportunidades para as instituições de pesquisa conjuntamente com a indústria nacional participarem na construção de grandes telescópios e sua instrumentação periférica como forma para impulsionar o desenvolvimento tecnológico do país.*

Recomendação 4: *Elaborar e implementar um plano de suporte de longo prazo às atividades em astronomia, envolvendo recursos humanos (científico, técnico e de suporte) e financeiros para garantir o bom aproveitamento de investimentos feitos em infra-estrutura astronômica*

Recomendação 5: *Fornecer acesso para os astrônomos brasileiros aos dados provindos de grande projetos internacionais de levantamentos em andamento ou em fase de implementação.*

4.2. Radioastronomia

No século passado, a detecção de ondas de rádio oriundas do espaço extraterrestre abriu uma nova janela para a pesquisa astronômica que até

então era limitada à faixa óptica do espectro eletromagnético. Dessa forma, surgiu a radioastronomia que utiliza tecnologias distintas daquelas usadas na astronomia óptica. As importantes descobertas científicas feitas com os radiotelescópios nas décadas seguintes consolidaram a radioastronomia como um importante pilar da pesquisa astronômica.

A radioastronomia é uma área de ciência com fortes vínculos com a evolução tecnológica da sociedade moderna, por desenvolver instrumentação extremamente sofisticada normalmente utilizada em várias áreas do conhecimento, principalmente em telecomunicações e eletrônica em geral. Em função da necessidade de receptores cada vez mais sensíveis, antenas de grande porte com estrutura mecânica de alta estabilidade operando em frequências cada vez mais altas e da necessidade de sistemas confiáveis de transferência de dados, etc., essa atividade gera grande pressão sobre vários setores da indústria no sentido de se capacitarem para encarar esses desafios. Dessa forma ela gera benefícios para várias áreas de atividade do país.

No Brasil, dentre as diversas aplicações de radioastronomia, destacam-se as atividades de pesquisa em física solar, clima espacial e cosmologia. Com a instalação, em 1974, da antena de 14m do Rádio Observatório de Itapetinga (ROI) em Atibaia, SP, o país deu um importante passo nessa área de pesquisa, em escala mundial. Enquanto a maior parte do mundo trabalhava em comprimentos de ondas de 21 cm, o ROI foi o primeiro radiotelescópio no hemisfério sul capaz de observar em comprimentos de onda de alguns centímetros a milímetros. A partir dessa época, outros investimentos em infra-estrutura foram feitos, alguns deles enumerados na seção 3.3.

Apesar dos instrumentos desenvolvidos no Brasil pela comunidade radioastronômica demonstrarem claramente a sua competência, a falta de esforços bem coordenados fez com que parte dessas atividades não tivesse o suporte necessário para manter o nível de atualização e excelência da instrumentação instalada no país. A importância da radioastronomia como um dos mais produtivos ramos da ciência astronômica justifica esforços para estimular a reorganização dessa área no Brasil, de modo a motivar e atrair pesquisadores ampliando o número de usuários, tanto das Unidades de Pesquisa do Governo quanto das universidades.

Levando-se em conta o forte vínculo da radioastronomia com outras áreas da astronomia, geofísica espacial e aeronômica, no que se refere aos aspectos científicos, tecnológicos e de inovação, investimentos em radioastronomia trarão grande benefício para uma parte significativa da comunidade científica brasileira. As atividades de radioastronomia podem vir a exercer importante influência na indústria de alta tecnologia, considerada estratégica para o país, em função do potencial de retorno social que as tecnologias usadas na construção de instrumentos de pesquisa oferecem. No caso, p.ex., dos setores de telecomunicações e defesa, essa atividade pode dar impulso para inovação e gerar empregos. A implantação de radiotelescópios e a infra-estrutura associada nas regiões menos desenvolvidas do país, pode contribuir efetivamente para seu desenvolvimento.

Um dos maiores problemas da radioastronomia no Brasil é a carência de infra-estrutura e a falta de apoio institucional compatível com a importância dessa atividade para o país. Para que a competência existente se desenvolva mais e

se multiplique é imprescindível que seja apoiada por um órgão coordenador, preferencialmente subordinado ao MCT, que crie uma política e plano de desenvolvimento de médio e longo prazo bem definidos e promova o aporte financeiro e a renovação de recursos humanos qualificados para levar a cabo as metas estabelecidas. Por uma questão de infra-estrutura física, esse órgão poderia ser abrigado, inicialmente, em um dos Institutos do MCT que forneceria a estrutura de apoio adequada.

Nesse contexto, propõem-se as atividades abaixo para a área de radioastronomia:

- A melhoria da infra-estrutura existente para os dois maiores radiotelescópios do país: ROI (em operação) e BDA (em fase final de implantação), garantindo o financiamento adequado para o funcionamento e atualização dos mesmos, visando aumentar a produção científica e a participação da comunidade científica nacional e
- Contratação de pessoal qualificado, principalmente engenheiros e técnicos especializados, para ampliar os quadros de pessoal e repor aqueles que estão se aposentando.
- Desenvolvimento de projetos competitivos e agregadores, com forte inserção internacional, que promovam uma forte colaboração com projetos tais como ALMA e SKA e sejam de grande importância para a comunidade científica do País. A disponibilidade de um radiotelescópio de ótimo desempenho e a necessidade de explorar muitas janelas do espectro estimulará o desenvolvimento de instrumentação por parte comunidade científica. Alguns exemplos das tecnologias envolvidas são: holografia para ajuste otimizado dos painéis das antenas; possível projeto futuro de antena construída no país; receptores de ondas milimétricas; transmissão e armazenamento de grande volume de dados; padronização de protocolos de interface; tratamento de imagens; utilização de masers de hidrogênio como padrão de tempo; arranjos multi-cornetas no foco da antena, detectores bolométricos com filtros passa-banda, etc. Dois exemplos são mencionados a seguir
 - O projeto MeerKAT - Brasil (colaboração com SKA): A África do Sul está construindo um instrumento que é considerado um precursor para o SKA (o maior projeto da história da radioastronomia) e que consiste em um núcleo de várias antenas na África do Sul, além de outras espalhadas por oito países africanos, formando uma rede de radiotelescópios espalhados sobre uma grande área. Para expandir esse projeto, aumentado seu potencial para aplicações em pesquisas espaciais, é proposta uma rede de cinco antenas semelhantes, colocadas em diferentes regiões do Brasil e interligadas à rede africana. Dessa forma, será criada a maior rede de radiotelescópios do hemisfério sul, com uma linha de base da ordem de 10.000 km. Eventuais cooperações com outros países desse continente poderiam ampliar essa rede colocando novas antenas nesses países.
 - O projeto Long Latin American Millimeter Array - LLAMA (colaboração com o ALMA): Trata-se de um projeto proposto por radioastrônomos argentinos e brasileiros, cujo estudo de viabilidade faz parte dos

objetivos do INCT-A. Este projeto binacional consiste na instalação (em sua etapa final) de dois radiotelescópios no lado argentino do deserto de Atacama, a cerca de 100 km de Chajnantor, onde se situam o interferômetro ALMA e o radiotelescópio APEX, com o objetivo de realizar observações conjuntas de VLBI. LLAMA, em modo de operação VLBI, permitirá obter uma resolução espacial 10 vezes maior que a do ALMA e estudar fontes não resolvidas por esse interferômetro, colocando o Brasil na vanguarda da radioastronomia mundial

RECOMENDAÇÕES

Recomendação 1: *Criar um órgão coordenador, preferencialmente subordinado ao MCT, que crie uma política e plano de desenvolvimento de médio e longo prazo para a radioastronomia no Brasil e promova o aporte financeiro e a renovação de recursos humanos qualificados para levar a cabo esse desenvolvimento. Esse órgão poderia ser abrigado em um dos Institutos do MCT que forneceria a estrutura de apoio adequada.*

Recomendação 2: *Melhorar a infra-estrutura existente para os dois maiores radiotelescópios do país: ROI (em operação) e BDA (em fase final de implantação), garantindo o financiamento adequado para o funcionamento e atualização dos mesmos.*

Recomendação 3: *Apoiar o desenvolvimento de projetos competitivos e agregadores, com forte inserção internacional, que promovam uma forte colaboração com projetos mundiais de grande porte da radioastronomia.*

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 a do Brasil, o cenário também já começa a se desenhar 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 têm 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 da astronomia do país privar-se de meios importantes de observação fora da atmosfera e passar a não ser competitiva a médio e longo prazo.

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 participação 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 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 (para maiores detalhes, veja Seção 3.3).
- Recentemente, um grupo de cientistas e engenheiros engajou-se na missão ASTER: trata-se de construir no Brasil uma sonda espacial de pequeno porte, baseada em plataforma de espaço profundo. A sonda seria enviada ao asteroide 2001SN263, que é um sistema formado por três corpos. O projeto tem sua concepção baseada na oportunidade de desenvolvimento e qualificação em tecnologias espaciais, e abre uma janela de oportunidades de desenvolvimento de pesquisas de excelência no campo científico. Uma das principais diretrizes desta missão é tentar agregar o maior envolvimento brasileiro possível, seja na plataforma, em subsistemas, na integração, na carga útil, bem como, no rastreamento, na guiagem e controle da sonda. Pretende-se utilizar propulsores iônicos desenvolvidos por grupos brasileiros. Também encontra-se em estudos a possibilidade de desenvolvimento de equipamentos/instrumentos científicos utilizando pelo menos uma parte de tecnologia nacional. Tal iniciativa atenderia inclusive o apelo por parte da Agência Espacial Brasileira – AEB em ligar aplicações e desenvolvimento tecnológico.

A participação de outras instituições brasileiras, como as universidades, 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.

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. Considerando que o Programa Espacial Brasileiro é gerenciado pela 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 da astronomia espacial busca de forma intensa parcerias em virtude dos altos custos envolvidos com missões espaciais 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 infra-estrutura 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 se insiram 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, propõe-se que:

RECOMENDAÇÕES

Recomendação 1: *Incentivar a AEB 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. O financiamento e a escolha de projetos poderá ser feito por meio de editais.*

Recomendação 2: *Incentivar as instituições brasileiras com atividades em astronomia a interagir com o INPE para desenvolver conjuntamente um programa robusto de desenvolvimento de instrumentos para observações astronômicas a partir do espaço*

Recomendação 3: *Estimular a inserção do país em grandes projetos internacionais de satélites e/ou missões espaciais na área de astronomia, astrofísica e cosmologia, p.ex., por meio do estabelecimento de acordos com agências espaciais estrangeiras.*

Recomendação 4: *Promover junto ao Governo Federal a aplicação de recursos financeiros em projetos espaciais 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.

Recomendação 5: *Incentivar, em articulação com o MEC, a introdução progressiva de temas de astronomia e tecnologia espacial nos cursos de graduação existentes no país.*

4.4. Cosmologia

O desenvolvimento da cosmologia moderna tem sido conduzido pela alternância entre contribuições teóricas e observacionais desde o trabalho original de Albert Einstein em 1917. A situação atual encontra-se em uma fase em que as observações têm impulsionado os avanços da área. A descoberta da Radiação Cósmica de Fundo em Microondas (RCFM), das grandes estruturas cósmicas e da possível aceleração cósmica, proposta para explicar observações de supernovas distantes, trouxe novas questões ligadas à composição e quantidade da matéria-energia existente no Universo, um dos aspectos mais importantes da cosmologia do século XXI. Essas questões têm repercussão direta na física de partículas, cuja fundamentação teórica ainda não explica de forma adequada a origem desta matéria-energia, que aparece tanto na teoria da gravitação e estrutura do espaço-tempo em grande escala quanto na origem e evolução de objetos astronômicos.

Entretanto, existe hoje uma expectativa entre os especialistas de que essas questões sejam respondidas com base nas informações contidas na enorme quantidade de dados produzidos por levantamentos de estruturas em grande escala e por medidas da RCFM, disponíveis graças à qualidade dos avanços científicos e tecnológicos nas duas últimas décadas. A evolução tecnológica associada à construção de grandes telescópios, satélites científicos, câmeras, detectores e computadores de alto desempenho, vem ampliando as possibilidades da exploração observacional de uma área da cosmologia até então restrita ao escrutínio teórico: o universo primordial. A cosmologia moderna busca respostas a perguntas tais como: o universo teve um começo ou existiu uma fase de colapso anterior à atual fase de expansão? Existiu realmente uma fase inflacionária primordial? De onde vieram as estruturas que hoje compõem o universo?

Importantes memoriais sobre o futuro da astronomia, recentemente elaborados no exterior, contemplam grandes estratégias de pesquisa em cosmologia, tais como o “Decadal Survey” (NSF/EUA) e o ASTRONET (Europa). Programas desse porte, além de tratarem de questões fundamentais da cosmologia e da astronomia, tratam o universo como um laboratório para testar a grande variedade de teorias existentes, estendendo os limites 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. É importante ressaltar, em ambos os programas, a menção explícita a grandes projetos na área de radioastronomia (SKA, ALMA, Inflation Probe Technology Development Program) e astronomia óptica e infravermelha (E-ELT, GSMT, LSST, JWST).

A natureza da possível aceleração cósmica e da matéria escura é aceita por um grande número de astrônomos e físicos como sendo umas das maiores

questões da cosmologia padrão. Sua solução pode 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, é 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, supernovas e as medidas do modo B de polarização e de flutuações secundárias da RCFM.

Dentre os projetos em operação, pode-se citar o *Baryon Oscillation Spectroscopic Survey* (BOSS), um dos quatro levantamentos do *Sloan Digital Sky Survey* (SDSS III) (levantamento de estruturas em grande escala) e o satélite Planck (medidas de polarização da RCFM), todos já em operação. Por outro lado, o *Dark Energy Survey* (DES) entrará em operação ainda em 2010. Projetos para um futuro próximo são os telescópios E-ELT e LSST e as missões espaciais WFIRST (NASA) e EUCLID (ESA). A quarta geração de satélites para o estudo da RCFM será desenvolvida no Inflation Probe Technology Development Program (NASA). A comunidade de cosmologia observacional do país possui uma boa inserção internacional, refletida na participação efetiva em alguns desses projetos (em particular no DES e BOSS/SDSS-III), e os contatos já existentes oferecem uma excelente oportunidade para inserção nos projetos ainda em fase de concepção.

As questões levantadas pela cosmologia contemporânea constituem problemas essenciais relacionados aos fundamentos da física e da astronomia e dependem dramaticamente da qualidade dos dados coletados pelos grandes projetos observacionais, tanto em andamento quanto em fase de estudo ou desenvolvimento, conforme os documentos da NSF e da ASTRONET enfatizam claramente. Esses dois relatórios caracterizam a cosmologia como estratégica, tanto sob ponto de vista científico como pela demanda por novas tecnologias. De fato, o momento atual da cosmologia a singulariza como uma das áreas mais ativas da astronomia, o que pode ser ilustrado pelo grande número de projetos no solo e no espaço voltados para esse tema, a criação de institutos dedicados em praticamente todos os países com forte atividade de pesquisa científica, o número crescente de estudos teóricos na área e a demanda ascendente por pesquisadores, pós-doutorados e estudantes para esses projetos. No Brasil a situação não poderia ser diferente.

Dois aspectos importantes da astronomia contemporânea (e, por conseguinte, da cosmologia feita com dados astronômicos) devem ser destacados em qualquer plano de organização da astronomia brasileira: 1) a astronomia do século XXI é bastante colaborativa, envolvendo parcerias internacionais, entre agências de financiamento e entre estado e empresas privadas e 2) a astronomia permanece uma ciência orientada pelas descobertas/observações e a cosmologia depende dessas descobertas para testar as hipóteses que sustentam ou desafiam o modelo cosmológico padrão. Por essa razão, qualquer estratégia destinada a otimizar essa forma de fazer ciência deve deixar um espaço para o inesperado.

Finalmente, deve-se destacar a importância das visões culturais de mundo na definição do que é cosmologia. Temas como a origem do universo, a expansão do Universo e a formação das galáxias levam a questões mais fundamentais

que sempre motivaram a imaginação humana e que devem ser incluídas tanto no ensino de ciências quanto nas atividades de divulgação e educação informal da população brasileira. Particularmente, nas ações de divulgação da Comissão de Ensino e Divulgação e da antiga Comissão de Ensino da SAB, existe uma demanda imensa por informações sobre aspectos da cosmologia e que devem ser atendidas para aproveitar da motivação de professores para ensinar astronomia moderna, incluindo a discussão científica sobre a origem e a evolução do universo. É fundamental que nesta divulgação participam cientistas que tem desenvolvido trabalhos originais de cosmologia e astrofísica para que a atividade brasileira na área seja apresentada de modo correto e substancial.

Dado o necessário crescimento dessa área no país e seguindo o que tem ocorrido em outros países, propõe-se a criação de novos centros voltados para as pesquisas em cosmologia, preferencialmente fora dos centros Rio de Janeiro e São Paulo. Uma tendência internacional, reforçando a ideia de redes colaborativas em ciência, é a criação de institutos como o ICRA (International Center for Relativistic Astrophysics, Europa) e o CfPA (Center for Particle Astrophysics, EUA). Dentro de um Acordo de Cooperação com a Itália já tem sido desenvolvidas atividades de cosmologia e astrofísica relativística em colaboração com esses centros pelo Instituto de Cosmologia, Relatividade e Astrofísica (CBPF/MCT). Essa cooperação está sendo estendida a vários outros centros de pesquisa brasileiros. Como uma iniciativa para melhorar distribuição regional dessas atividades, o MCT poderia investir na criação e fortalecimento de centros virtuais de cosmologia que unissem os grupos do eixo Rio - São Paulo a outros grupos do país. O conjunto dos grupos de pesquisa colaborando em rede em questões da cosmologia poderá ser visto como um Laboratório Nacional Virtual de Cosmologia. A implementação dessa iniciativa não demanda muitos recursos adicionais, se a infra-estrutura existente nessas regiões for adequadamente utilizada. Isso poderia ser feito, por exemplo, através de programas, tais como os chamados Laboratórios Associados, recentemente lançado pelo MCT.

A inserção da cosmologia num Plano Nacional de Astronomia para o período 2010 - 2020 trará grandes demandas instrumentais e computacionais que já são consideradas, em outras partes do presente documento tais com em outros campos da ciência, como áreas estratégicas e implicará 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, carro-chefe da cosmologia do séc. XXI.

RECOMENDAÇÕES

Recomendação 1: *Incentivar a criação de novos centros voltados para as pesquisas em cosmologia, preferencialmente fora dos centros Rio de Janeiro e São Paulo. Como uma iniciativa no sentido de melhorar essa distribuição, investimentos deverão ser dirigidos à criação e fortalecimento de centros virtuais de cosmologia que unam os grupos do eixo Rio - São Paulo a outros grupos do país.*

Recomenda-se ainda a utilização do Programa de Laboratórios Associados do MCT para esse fim.

Recomendação 2: *Atender a imensa demanda na população por informações sobre a cosmologia, inclusive a origem e a evolução do universo, através de campanhas nacionais e de atividades contínuas de divulgação, aproveitando da motivação de professores para ensinar astronomia moderna e com participação de cientistas desenvolvendo pesquisa na área*

4.5. Astronomia teórica e computacional

A compreensão dos fenômenos astrofísicos é obtida através de modelos físicos (analíticos ou semi-analíticos), auxiliados por tratamentos numéricos e simulações computacionais adequados para diferentes escalas do Universo. Tal como ocorre em outras áreas da ciência, o potencial de realidade dos diferentes modelos deve ser testado pela comparação com os dados observacionais disponíveis.

A comunidade brasileira desenvolve aspectos teóricos principalmente nas áreas descritas a seguir:

1. **Cosmologia:** Atualmente, um grande número de observações astronômicas independentes sugerem que o conteúdo energético-material do Universo se distribui basicamente em 3 componentes principais: 74% é formado de energia escura, 22% de matéria escura e apenas 4% de matéria normal (bariônica). Esta é a chamada visão do “main-stream” ou corrente principal.

A substância dominante (energia escura) totaliza cerca de 2/3 da matéria do Universo, sendo considerada a componente responsável pelo atual estado acelerado da expansão cósmica. Quando matéria escura e energia escura são consideradas conjuntamente, vemos que a natureza de 96% do conteúdo material do Universo é ainda desconhecida; tendo sua presença sido detectada apenas indiretamente, ou seja, através de seus efeitos gravitacionais. Nos restantes 4% da matéria visível (bariônica), estão contabilizadas as estrelas e respectivos planetas de todas as galáxias, além do gás existente no meio interestelar e no meio intergaláctico.

Teoricamente, o grande desafio no campo da Cosmologia é justamente explicar o que está provocando a aceleração atual do Universo. Sua solução norteará os rumos da disciplina no futuro próximo e certamente responderá inúmeras indagações que permeiam a Cosmologia moderna. Na verdade, é preciso saber qual é a fonte de aceleração do Universo que chamamos *energia escura*. Einstein havia introduzido um termo de aceleração negativa, cujo efeito é contrário ao da gravitação, hoje chamado *constante cosmológica* (Λ), que na sua visão servia essencialmente para manter o Universo estático, como se acreditava em sua época. No entanto, descobriu-se ao final da década dos anos 90 que o Universo está em expansão acelerada, e não desacelerada, como se esperaria se apenas a força gravitacional estivesse atuando desde o Big-Bang. Desde então, grande parte dos cosmólogos entendeu que era necessário buscar a essência da *constante cosmológica*. É Λ realmente uma constante, ou ela

varia com o tempo? Esta pergunta, bem como a origem de Λ são da maior importância na Cosmologia moderna, já que a razão pela qual Einstein a havia introduzido nas suas equações estava superada já em 1930, quando Hubble descobriu que o Universo está em expansão. Há hoje, neste sentido várias linhas de investigação tentando construir modelos para explicar o Universo acelerado, com ou sem energia escura. Entre esses, a idéia mais radical propõe a modificação da teoria da relatividade geral (TRG), adotando por exemplo, as chamadas teorias $f(R)$, onde o escalar de curvatura de Ricci, R , que aparece na determinação da Lagrangiana do sistema é substituído por uma função $f(R)$. Nesta linha de investigação, pelo menos 3 abordagens distintas são possíveis: (i) Modelos inhomogêneos do Universo, (ii) modelos unificados do tipo Quartessência e, finalmente (iii) modelos com criação de matéria escura fria. Os diferentes tipos de modelagem vêm sendo intensivamente investigados por cosmólogos brasileiros e seus resultados comparados com as observações mais recentes, envolvendo supernovas do Tipo Ia, as anisotropias da radiação cósmica de fundo, as oscilações acústicas dos bárions na última superfície de espalhamento, dados de raios-X de aglomerados de galáxias e o espectro de potência da matéria. Critérios estatísticos modernos e tratamentos numéricos de última geração são largamente utilizados nessas comparações entre as observações e os modelos cosmológicos.

- 2. Fontes compactas e meios difusos astrofísicos:** A maior parte da matéria bariônica visível do Universo é composta por gás total ou parcialmente ionizado e permeado por campos magnéticos, ou seja, no estado conhecido como plasma. Pesquisadores brasileiros de vários centros também estão se dedicando a estudos teóricos e numéricos de fenômenos astrofísicos utilizando como ferramentas básicas a física de plasmas e a magneto-hidrodinâmica. Tais estudos podem envolver desde a formação e evolução de estruturas em grande escala do Universo, até a formação de estrelas e de objetos compactos (buracos negros, pulsares, supernovas, e núcleos ativos de galáxias) e suas assinaturas diretas sobre os diferentes ambientes astrofísicos (jatos e ventos supersônicos, discos de acreção em torno de objetos compactos, raios-cósmicos, surtos de raios gama, ondas gravitacionais, microlentes etc). Nesses meios astrofísicos, a turbulência possui em geral papel preponderante e acarreta a transferência de energia desde as maiores escalas do fluido até as escalas dissipativas e viscosas as quais são várias ordens de magnitude menores, determinando uma estrutura hierárquica nesses meios. Esses cenários apresentam desafios teóricos extremamente complexos, exigindo naturalmente o emprego de simulações multidimensionais com enorme resolução numérica.
- 3. Orbitas planetárias no sistema solar e sistemas extrasolares:** Na dinâmica planetária, o foco principal da investigação está na interação gravitacional entre vários corpos celestes. Neste caso, os problemas de dinâmica envolvem um grande número de variáveis independentes. Os modelos analíticos são imprescindíveis para o conhecimento conceitual dos fenômenos dinâmicos, mas sua capacidade preditiva é limitada e a exploração da complexidade das soluções se torna possível apenas mediante longas simulações. Neste caso, a utilização de computação de

alto desempenho é o único caminho para a análise da estabilidade dos sistemas planetários e para o conhecimento dos fenômenos evolutivos que possam ter ocorrido desde e durante a sua formação.

Em diversas outras áreas foram desenvolvidos códigos e ferramentas numéricas para a modelagem de objetos astrofísicos, tais quais, dentre outros: cálculos de espectros sintéticos para comparação com espectros observados, e grades de espectros para serem combinados em espectros compostos de populações estelares; algoritmos para comparação de espectros de estrelas individuais e dedução de parâmetros atmosféricos, assim como para análise de populações estelares compostas e decomposição das populações de diferentes idades e metalicidades; modelagem de distribuição de poeira em torno de estrelas e partes centrais de galáxias ativas; cálculo de formação de linhas com desvio do equilíbrio termodinâmico em gás ionizado tal como em nebulosas planetárias, regiões HII e outros sítios com essas condições.

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 para os vários grupos com expressão internacional trabalhando em astronomia teórico-computacional 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:

- 1) 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 precípuo, 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 de 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.

- 2) 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.
- 3) 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 do uso destas instalações por astrônomos brasileiros e, no caso, tal uso deverá ser incentivado.

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

RECOMENDAÇÕES

Recomendação 1: *Garantir aos grupos de pesquisa teórica e de astrofísica computacional acesso a infra-estrutura de computação adequada através de investimentos em hard-ware de uso individual ou coletivo, conforme as necessidades das pesquisas conduzidas.*

Recomendação 2: *Coordenar e facilitar o acesso de todos os astrônomos a recursos computacionais operados ou gerenciados por institutos do MCT, em particular o SINAPAD.*

Recomendação 3: *Realizar escolas de computação científica avançada, voltadas tanto a estudantes quanto a pesquisadores, com o objetivo de treinamento e capacitação no uso de novas tecnologias computacionais como, p.ex., computação em grade e o uso de GPUs (Graphic Processing Units).*

4.6. Bancos de dados e o Observatório Virtual

A astronomia tornou-se, tornou-se, nas últimas décadas, uma ciência que gera um imenso fluxo de dados que estão dispo em acervos ao redor da Terra. Já existem petabytes de dados disponíveis e a taxa de geração continua crescendo exponencialmente. O eficiente uso dessa informação, inclusive através de estudos sinérgicos utilizando múltiplos acervos diferentes, 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 fomentou 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 infra-estrutura adequada e o enfoque dos pesquisadores em métodos de pesquisa mais tradicionais. Existem alguns grupos no país que se dedicam à criação de uma infra-estrutura 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:

- BraVO (Brazilian Virtual Observatory): Essa iniciativa é vinculada ao Instituto Nacional de C&T de Astrofísica (INCT-A) e reúne, num primeiro instante, grupos de trabalho do INPE, LNA, IAG/USP, UFSC e NAT/UNICSUL com o intuito de criar uma infra-estrutura compartilhada para o processamento e a mineração de dados arquivados, o desenvolvimento de novas ferramentas de OV e o treinamento de pesquisadores para o uso eficiente do potencial de OV. Além disso, o BraVO é o representante brasileiro no comitê executivo da IVOA. Em consonância com os objetivos estratégicos do INCT-A, as primeiras ações propostas pelo BraVO para o biênio 2011-2012 são: a) Realização de uma escola nacional de VO visando tanto pesquisadores e estudantes; b) Contratação de serviços profissionais de engenheiros de software para desenvolvimento de serviços do OV; c) Aquisição de uma servidora nacional para hospedagem de serviços do OV.
- LineA (Laboratório Interinstitucional de e–Astronomia): Trata-se de uma colaboração entre ON, CBPF e LNCC que tem como objetivo principal o desenvolvimento da infra-estrutura de hardware e software necessária para gerenciar e explorar dados provenientes de grandes levantamentos tais como o Sloan Digital Sky Survey – SDSS, o Dark Energy Survey – DES, e futuramente o Large Synoptic Survey Telescope – LSST. O LineA será um laboratório multiusuário de dados para a astronomia brasileira, utilizando redes de alta velocidade, processamento em grade e grandes capacidades de armazenamento, cuja infra-estrutura de equipamentos e de códigos desenvolvidos para o laboratório será disponibilizada para a comunidade. O Laboratório fornecerá acesso a dados e a serviços de publicação de dados seguindo os protocolos da IVOA. Também fornecerá um portal científico que beneficiará todas as áreas de astronomia observacional e criará uma biblioteca digital.

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 (tais como SDSS-III, DES, LSST, J-PAS e outros; alguns deles já com participação brasileira) é necessário atuar em três áreas principais. Em todas elas, os investimentos financeiros necessários para realizar uma melhoria decisiva da infra-estrutura de VO no

Brasil irão beneficiar também diretamente outras áreas estratégicas da ciência no país (p.ex., infra-estrutura 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 em áreas tais como ciências computacionais, tecnologia da informação, estatística e matemática aplicada. 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 e professores a uma nova forma de fazer pesquisa e torná-los aptos para preparar futuras gerações de astrônomos para aproveitar das oportunidades do OV através da incorporação do novo paradigma na profissionalização dos estudantes de astronomia. A organização, no Brasil, de simpósios e conferências internacionais com foco em pesquisa realizada com base no OV também fomentará a criação de uma cultura do uso do OV no país.
- 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 pro ativa dos astrônomos para se aproximar e interagir fortemente com tecnólogos da informática. Medidas como a promoção de eventos para congregar profissionais e estudantes de diversas áreas relevantes (astronomia, tecnologia da informação, ciências computacionais, matemática aplicada, etc.) para incentivar colaborações interdisciplinares poderão contribuir para atingir a finalidade. 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.

Contatos ou colaborações entre astrônomos e profissionais em outras áreas científicas com desafios semelhantes, no que concerne a crescente quantidade de dados (p.ex., biologia, geofísica, física de partículas) e iniciativas paralelas as do OV sobre o assunto em pauta ainda não existem, mas poderão se mostrar benéficos para o desenvolvimento conjunto de técnicas de exploração do potencial do OV, uma vez que muitos dos desafios tecnológicos são os mesmos.

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 poderão ser atingidas apenas através de um forte envolvimento de instituições externas da área da astronomia. Já existem colaborações nesse sentido entre o LineA 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.

3) Infra-estrutura

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 necessária 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. Embora já existem ligações de alta velocidade, p.ex., com as instituições responsáveis para a disseminação dos dados do DES e SDSS, utilizados pelo LineA (atualmente com capacidade de 500 Mbps), o mesmo ainda não é verdade referente as conexões entre a maioria das instituições brasileiras e outros centros de dados internacionais. É preciso, portanto, colaborar com a RNP para garantir celeridade na implementação de redes rápidas, com capacidade na faixa de 10 Gbps, principalmente entre aqueles centros de pesquisa onde hardware computacional e 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 longes 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:

- (a) 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 LineA quanto no BraVO por astrônomos em colaboração com profissionais da informática.
- (b) 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 de especialistas (via contratação, bolsas, etc.) em projetos.
- (c) Software de baixo nível, p.ex., para viabilizar a interoperabilidade de bancos de dados. Isso é um assunto tratado por diversos grupos da IVOA e no Brasil vem sendo feito no LineA.

O LineA já desenvolveu para os projetos DES e SDSS-III portais científicos através dos quais será possível realizar diversas análises nos dados, concatenando algoritmos científicos, permitindo selecionar amostras, e comparar métodos e conjuntos de dados, mantendo todo o histórico do processamento. Essa infra-estrutura poderá também ser aproveitada por outros projetos, e será tornada pública para uso da comunidade. O LineA desenvolverá também aplicativos para uso científico e técnico, desde simulações computacionais à análise de imagens. Como complemento ao desenvolvimento de novos pacotes de software para aplicações específicas, deverá ser contemplado o uso de grandes ambientes de software geral, já utilizados em outros centros de pesquisa no exterior, 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 de o 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 participação brasileira, no DES e SDSS-III já necessita de capacidades de armazenamento (além das capacidades para transferência e processamento) de um grande volume de dados. O LIneA participará em dezembro de 2010 da distribuição do *Data Release 8* do SDSS-III. Até 2014 serão feitos mais 3 *data releases*, para os quais o LIneA atuará como site terciário. Além disso, o DES entrará em operação em 2011, gerando mais de 200 TB/ano. Somando-se todos os dados observacionais e de simulações, serão necessários cerca de 2 PB até 2016 para armazenar e distribuir apenas referente os projetos já em andamento no LIneA. A estrutura de armazenamento necessária será atingida com a integração da estrutura existente no ON. CBPF e LNCC (inclusive com a aquisição de novos equipamentos) ao SINAPAD.

A infra-estrutura 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 infra-estrutura 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 infra-estrutura 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 fortalecer tais redes e parcerias entre instituições governamentais e iniciativa privada.

RECOMENDAÇÕES

Recomendação 1: *Organizar periodicamente, com financiamento pelos órgãos de fomento estaduais e federais, escolas específicas e outros eventos, tanto para estudantes quanto para multiplicadores (professores), para disseminar conhecimento e habilidades para o uso das capacidades de grandes bancos de dados e do Observatório Virtual para pesquisa e para incentivar colaborações interdisciplinares entre áreas relevantes para o OV.*

Recomendação 2: *Promover, em articulação com o MEC, a incorporação do ensino de conhecimento básico sobre o Observatório Virtual e seu uso como ferramenta de pesquisa no currículo profissionalizante obrigatório dos estudantes de astronomia.*

Recomendação 3: *Incentivar outras instituições do MCT com afinidade com o assunto, tais como CTI, LNCC e RNP, para colaborar com a área da astronomia no desenvolvimento da tecnologia e da infra-estrutura para o Observatório Virtual.*

Recomendação 4: *Identificar agentes externos da astronomia, principalmente da área da tecnologia da informação, com competência e interesse em técnicas relevantes, e criar incentivos para sua participação efetiva no desenvolvimento contínuo do OV.*

Recomendação 5: *Implementar, através da RNP, conexões rápidas de rede entre todas as instituições utilizando os recursos do OV, sendo que a capacidade de conexão entre os centros de pesquisa que oferecem hardware computacional e capacidade de armazenamento e processamento de dados para uso compartilhado da comunidade astronômica deverá atingir 10 Gbps*

Recomendação 6: *Fornecer aos astrônomos com projetos relacionados ao OV acesso a recursos das agências de fomento reservados para a área da informática.*

4.7. Astronomia não eletromagnética

Enquanto a esmagadora maioria da informação oriunda do espaço extraterrestre chega a 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 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, vetagem 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 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 grandes projetos no exterior (interferômetros terrestres ou espaciais) parece inoportuna, considerando os custos na faixa de bilhões de dólares, o acesso a dados de outros observatórios 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 a mesma tecnologia para detecção).

As atividades de pesquisadores brasileiros nos estudos experimentais de raios cósmicos de partículas de altas energias são concentradas na participação do observatório internacional. Pierre Auger, o instrumento com maior sensibilidade do mundo para observar raios cósmicos de alta energia. 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 for a decisão, a participação brasileira no observatório Auger deverá continuar.

Além do Observatório Auger existe interesse em uma 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 pelo 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 tem 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, p.ex., o Telescópio Tupi que mede múons gerados por raios gama de alta energia onde é possível determinar a direção de surtos de raios gama.

RECOMENDAÇÕES

Recomendação 1: *Apoiar o desenvolvimento e tornar operacional a antena de raios gravitacionais Schenberg e estimular o uso dos dados da mesma como contrapartida para ter acesso a dados de experimentos de ondas gravitacionais no exterior.*

Recomendação 2: *Manter a participação brasileira no Observatório Auger e garantir a participação numa futura versão ampliada do observatório.*

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

As ciências experimentais ou observacionais como a astronomia são reconhecidamente vetores extremamente importantes de inovação tecnológica, pois pesquisa competitiva de ponta exige sempre o estado da arte em tecnologia. Conseqüentemente, 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 na área 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 têm 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 iniciativas recentes por parte do Ministério da Ciência e Tecnologia – MCT

sinalizando 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. Esses 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 o 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 mas não exclusivamente no que se refere a colaboração (ou a concorrência) em projetos internacionais.

- **Problema: *Infra-estrutura para desenvolvimento tecnológico*** – Necessita-se de investimentos significativos para criar uma infra-estrutura 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 adequadas para o desenvolvimento tecnológico. Isso faz com que outras instituições tenham dificuldades em conduzir projetos instrumentais.

Proposta de solução: *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 infra-estrutura 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 com o intuito de criar uma rede de laboratórios e oficinas para uso compartilhado dos vários agentes institucionais atuando na instrumentação astronômica. 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, sendo que a proposta rede poderá fazer parte desse programa.

- **Problema: *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.

Proposta de solução: *Reforma Estrutural e Redução de Burocracia* – O problema mencionado 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 com o objetivo de facilitar desenvolvimento e inovação tecnológica na esfera pública. Novas Leis como a Lei da Inovação e a Lei do Bem são passos na direção certa, mas ainda existem muitas dúvidas e incertezas na sua aplicação. Precisam ser complementadas por outras reformas de Leis existentes que visam a considerar as necessidades específicas do desenvolvimento tecnológico inovador.

- **Problema: *Mão de obra qualificada*** – O desenvolvimento tecnológico na ciência não depende somente de uma excelente capacidade laboratorial e industrial instalada, mas igualmente de mão de obra qualificada em várias áreas de física, engenharia e TI tais como: projetos ópticos, projetos optomecânicos, sistemas de controle, eletrônica rápida, 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 crônica de manter profissionais qualificados (geralmente por questões salariais), de repatriar pesquisadores e tecnologistas que ganharam experiência relevante no exterior e de repor as vagas nas universidades e institutos sucateou muitos dos departamentos

envolvidos em desenvolvimento instrumental e quebrou o elo de transferência de conhecimento com os profissionais mais jovens.

Proposta de solução: *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.

- **Problema: *Falta de interesse da Indústria Nacional*** – De forma geral a indústria nacional ainda demonstra pouco interesse em participar efetivamente de projetos de novas tecnologias astronômicas. Muitas vezes as instituições públicas atuando na área fizeram a experiência de que a iniciativa privada, após demonstrar um interesse inicial em projetos de tecnologia astronômica perca esse interesse rapidamente conforme as empresas tomam conhecimento das especificidades dos projetos e realizam a baixa demanda, se comparados ao mercado ao qual já estão acostumados, assim como os entraves burocráticos envolvidos. Como resultados, elas desistem da participação nos projetos ou não conseguem atendê-los adequadamente.

Proposta de solução: *Incentivar a interação com a iniciativa privada e o empreendedorismo* – Um trabalho mais próximo entre empresas e institutos é necessário para que as mesmas se familiarizem com os processos de desenvolvimento tecnológico. Uma visão empreendedora dos empresários também é necessária de deverá ser incentivada 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 públicas, demonstrando que um trabalho de incubação (como já está sendo realizado em muitas universidades) pode ser um grande aliado se gerenciado de forma adequada.

RECOMENDAÇÕES

Recomendação 1: *Promover a criação de uma rede de laboratórios e oficinas para uso compartilhado dos vários agentes institucionais atuando na instrumentação astronômica como parte de um Programa de Instrumentação Científica e Inovação Tecnológica nas Unidades de Pesquisa do MCT.*

Recomendação 2: *Tornar mais eficazes novos marcos legais destinados a fomentar a inovação tecnológica e promover a reforma da legislação vigente no sentido de que ela seja adequada às*

necessidades do desenvolvimento e da inovação científico-tecnológica.

Recomendação 3: *Estimular a capacitação de recursos humanos para atuação em inovação e desenvolvimento tecnológico de alto padrão e implementar medidas para a fixação desses recursos humanos em instituições e empresas atuando na área.*

Recomendação 4: *Incentivar o empreendedorismo na iniciativa privada para criar empresas de alta tecnologia, p.ex, através de programas de incubação junto a universidades, parques tecnológicos, etc.*

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 têm um papel importante nessa tarefa, pois a astronomia, além de despertar 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 financia direta ou indiretamente. É imperativo levar os conhecimentos científicos à sociedade brasileira a fim de criar um pensamento científico por entre os estudantes de instituições de ensino básico e em especial os educadores, que tem efeito multiplicador, bem como diretamente ao público em geral, que são sedentos por informação.

O ensino de astronomia ainda é bastante precário 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 o conteúdo 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 curso à distância, que conta com milhares de participantes inscritos anualmente, e de outras medidas bem sucedidas. Nesse contexto o INCT-A está desenvolvendo um projeto que deverá atingir em breve milhares de professores escolares. (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 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 os planetários contem 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 no nível superior brasileiro, ao contrário do que ocorre em outros cursos, 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 inexistência de diretrizes curriculares para cursos de graduação em astronomia, do pequeno número de cursos de graduação que efetivamente formam astrônomos, da necessidade da pós-graduação como espaço de consolidação da formação de futuros astrônomos, apesar da importância da graduação como recrutador de jovens criativos e promotor das competências e habilidades necessárias à consecução de uma pós-graduação bem-sucedida.

Confrontamo-nos também com uma distorção paradoxal entre as habilidades necessárias à atuação profissional e aquelas aprendidas pelos estudantes que vem 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 no país (na UFRJ e na USP), além de três cursos de Física com Habilitação em Astronomia (USP, UNIFEI e UFS), 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 regularmente 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 as disciplinas de astronomia são oferecidas a 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) a cursos de licenciatura em ciências, com o objetivo de qualificar professores do ensino médio e fundamental.

A pós-graduação tende a ser a etapa final do processo de formação profissional. Atualmente discute-se sobre a entrada do Brasil em grandes projetos da Astronomia internacional como os telescópios ópticos gigantes, o SKA, a parceria do Brasil no ESO, lançamento de satélites científicos, participação em grandes surveys. Desta forma, são necessárias pessoas para que essa participação torne-se de fato efetiva. Esses recursos humanos dependem em grande parte de novos pesquisadores. Pois, serão justamente esses novos pesquisadores, hoje estudantes de pós-graduação, que formados nos próximos 5 anos ou mais que estarão produtivos e atuantes daqui a uma década. Esses futuros astrônomos serão os responsáveis por grande parte da

produção científica do país. Há pouco mais de uma dezena de cursos de pós-graduação no país nos quais a astronomia figura como área de concentração majoritária ou como linha de pesquisa. Embora haja uma crescente oferta de vagas nesses cursos, alunos formados por esses cursos encontram ainda dificuldades de sua absorção pela Academia e instituições de pesquisa após a formação. Por muitos anos as ações governamentais tiveram o efeito oposto ao desejado, estimulando uma fuga de cérebros, devido às dificuldades para absorver os jovens formados nas instituições de pesquisa e ensino brasileiras.

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 norteia à realidade profissional do pesquisador, amplia a capacidade de ensino superior na área em todo o país, e que valorize o profissional.

RECOMENDAÇÕES

Recomendação 1: *Em articulação com o MEC, continuar e intensificar a capacitação de professores do ensino médio e fundamental para ensinar disciplinas de astronomia através da inclusão da matéria nos currículos de licenciatura e de pedagogia, assim como através de cursos presenciais e/ou a distância de formação continuada, em nível de extensão, evitando a criação ou consolidação de desigualdades regionais.*

Recomendação 2: *Fortalecer o ensino extraescolar de astronomia através de entidades tais como planetários, apoiando as mesmas na busca de meios e recursos, inclusive humanos, para exercer essas atividades de forma sustentável.*

Recomendação 3: *Estimular as instituições de ensino em astronomia a flexibilizar seus currículos no sentido de permitir uma formação multidisciplinar, levando em conta os constantes avanços tecnológicos e de pesquisa.*

Recomendação 4: *Estimular que universidades federais onde ainda não haja um núcleo de Astronomia contratem astrônomos com vistas a permitir a oferta de disciplinas de Astronomia como facilitadoras do aprendizado em cursos de Física, absorvendo, desta forma, jovens doutores recém-formados que, doutra forma, migrariam para fora do país.*

Recomendação 5: *Em articulação com o MEC fortalecer os programas de pós-graduação existentes, fomentando o crescimento continuado dos respectivos corpos docentes através da abertura frequente de novas vagas para professores.*

Recomendação 6: *Prover uma verba específica para permitir que bacharelados em astronomia ou de áreas afins realizem estágios em laboratórios dos institutos do MCT (LNA, INPE etc.), como parte de sua formação na área experimental, instrumental e*

computacional, visando complementar a disponibilidade em infraestrutura de laboratórios já oferecida pelas instituições responsáveis pelos cursos.

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 de 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 em uma 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 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 têm 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, pode-se 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 constatarem: 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 segunda pode se beneficiar da primeira: o ensino forma uma base para o melhor entendimento do progresso na área levado à população através da divulgação. Para maiores detalhes referente à problemática do ensino em astronomia, veja Seção 6.

Houve progresso significativo na divulgação da ciência no Brasil nos últimos anos. A criação do Departamento de Difusão e Popularização da C&T, vinculada à Secretaria de Inclusão Social do MCT, levou a formulação de diretrizes para uma política de popularização da C&TI. 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, especificamente, precisa-se 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 notícia sensacionalista que será esquecida no dia seguinte, precisa-se de uma estratégia de divulgação que capacite o público-alvo a compreender e classificar notícias e novidades na área em um 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 nos 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 geral. No sentido de minimizar perdas no que se refere à exatidão e relevância da informação no caminho do gerador de conhecimento até o público alvo, idealmente o pesquisador também deverá atuar como popularizador. Entretanto, muitas vezes as habilidades dos pesquisadores para traduzir as pesquisas científicas em uma linguagem que o leigo entende são limitadas, sendo que uma capacitação específica do mesmo para esse fim vem em detrimento da sua atuação na pesquisa. Consequentemente precisa-se de interlocutores treinados para esse objetivo, para intermediar entre o pesquisador e o público alvo. Além dos professores escolares já mencionados na seção 6, os intermediários poderão ser oriundos da própria área da 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 da área de jornalismo e publicidade com formação ou treinamento específica na área da sua atuação), 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 da 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 para a área;

- 6) A questão do acesso à infra-estrutura e aos equipamentos para divulgação e popularização da ciência também é relevante. Atualmente existe uma grande assimetria na distribuição da infra-estrutura, seja entre as regiões geográficas do país ou ainda em cada região, ou 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 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 a sua distribuição é extremamente capilarizada e a divulgação da Astronomia pode em muito se beneficiar 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 deles seja o quadro de pessoal insuficiente na área. A fim de promover um salto qualitativo e quantitativo na área 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;

RECOMENDAÇÕES

Recomendação 1: *Estimular a criação de uma massa crítica de divulgadores por meio de um programa de incentivo para pesquisadores, professores do ensino fundamental e médio, jornalistas, astrônomos amadores, etc., para agir como multiplicadores.*

Recomendação 2: *Criar no MCT um sistema nacional de divulgação científica (para todas as áreas de ciência o que inclui naturalmente a astronomia) que cuidará da divulgação pública visando maximizar o entendimento do contexto de notícias publicadas na mídia sobre a astronomia e ciência em geral, e do papel de pesquisadores e instituições brasileiras, tanto quanto de projetos nacionais e internacionais do Brasil como parte da astronomia mundial.*

Recomendação 3: *O sistema nacional de divulgação científica deve ser utilizado para levar o conhecimento básico sobre a astronomia a todos os segmentos da população, incluindo todas as classes sociais, faixas etárias e localidades geográficas para que a divulgação astronômica atenda à inclusão social.*

8. O gerenciamento da astronomia brasileira e a gestão do PNA

A astronomia brasileira encontra-se atualmente frente a uma situação bastante favorável para um desenvolvimento promissor. Diversas iniciativas nas últimas décadas levaram a comunidade astronômica a um crescimento expressivo, tanto em quantidade quanto em qualidade. Esse cenário forma a base e está parcialmente na origem das novas oportunidades que se abrem com a melhor situação econômica do país; situação que também cria uma perspectiva para investimentos financeiros significativos em ciência e tecnologia. Não é, pois, de surpreender que a atenção da comunidade mundial se volte de forma crescente para o Brasil, reagindo com maior receptividade a propostas de astrônomos brasileiros para incluir o país em projetos astronômicos dos mais diferentes escopos e naturezas.

Entretanto, na euforia pelas oportunidades do momento, não se deve imaginar 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 científico e tecnológico 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 (vide abaixo), é imprescindível não desvincular esse mecanismo dos aspectos estruturais da astronomia brasileira no presente. Portanto, é importante avaliar a forma como são atualmente geridos os recursos materiais e humanos associados à astronomia, para que sejam tomadas medidas integradoras e corretivas, caso sejam necessárias. Seguem algumas considerações pertinentes a esse 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, prestação de serviços ou 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 têm como função básica a formação de recursos humanos e, muitas vezes,

prestam serviços através de divulgação da astronomia. Por outro lado, a participação das universidades em projetos de infra-estrutura 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 infra-estrutura 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 e do apoio efetivo a projetos dos pesquisadores integrantes desses grupos.

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 de 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, pela coordenação 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:

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

Deverá tratar-se, portanto, de uma comissão de caráter assessor e consultivo ao MCT, cabendo ao Ministério as ações executivas através das suas secretarias, unidades de pesquisa e agências de fomento e em articulação com órgãos externos.

Tendo presente de que cabe ao órgão assessorado concretizar as atribuições genéricas do PNA, mencionadas acima, sugere-se como atribuições específicas da CNA:

- Zelar pela implementação, realização e atualização do Plano Nacional de Astronomia;
- Agir proativamente para promover o desenvolvimento contínuo da astronomia brasileira;
- Manter atualizado o quadro da situação atual da astronomia brasileira;

- Recomendar prioridades para o desenvolvimento da astronomia brasileira em consonância com o PNA;
- Promover estudos e acompanhar a implementação de medidas concretas que visam ao desenvolvimento da astronomia brasileira, tais como, p.ex.:
 - Novas participações em projetos internacionais de grande porte;
 - Desenvolvimento de novos projetos nacionais de grande porte;
 - Implementação de medidas estratégicas para melhorar as condições para o desenvolvimento da astronomia brasileira (novas linhas de fomento; fixação de pessoal; etc.);
- Emitir laudos sobre propostas para implementação de projetos de grande porte que tem implicações para toda a comunidade (em razão da envergadura financeira ou por outros motivos);
- Assessorar o MCT e as agências de fomento na tomada de decisões sobre grandes projetos e sobre o dimensionamento da astronomia brasileira;
- Acompanhar a execução de projetos de grande porte e emitir opiniões sobre a mesma;
- Promover a articulação entre a comunidade astronômica, o MCT e as agências de fomento para financiar medidas visando o desenvolvimento da astronomia brasileira.

Outras atribuições podem ser delegadas à CNA mediante demanda do MCT ou como resultado do seu constante diálogo com a comunidade astronômica, já que as ações da CNA deverão estar sintonizadas com a evolução da comunidade astronômica nacional e da astronomia mundial.

Quanto à composição e atuação da CNA, sugere-se que seja regida por alguns princípios fundamentais:

- Representatividade: As três categorias de agentes na astronomia, identificadas acima, deverão ser representadas na CNA. No que se refere ao grupo de profissionais que atuam na área, esse princípio também deverá induzir, na medida do possível, uma composição da CNA que contemple as diversas sub-áreas da astronomia, as atividades de ensino e divulgação de astronomia, as Unidades de Pesquisa do MCT, as diferentes regiões geográficas do país e os grupos emergentes.
- Transparência: Como pré-requisito básico para a colaboração da CNA com a comunidade astronômica e para sua aceitação pela mesma, recomenda-se transparência no processo de composição da CNA, principalmente no que se refere aos astrônomos dentre seus membros, bem como de sua atuação, que deverá ser conduzida em constante interação com a comunidade científica.
- Impessoalidade: Os membros da CNA deverão zelar pelos interesses da astronomia brasileira como um todo, não dando preferência a interesses particulares, de grupos específicos ou de determinadas sub-áreas da astronomia.

- **Competência profissional:** A CNA deverá ser composta por pessoas de notório saber e com experiência profissional na sua área de atuação, seja na pesquisa, no ensino, na divulgação ou na gestão.
- **Rotatividade:** A CNA não deverá tornar-se em domínio de poucos. Rotatividade entre seus membros garante a participação de maiores segmentos entre os agentes da astronomia e, portanto, contribui também para a observância do princípio da representatividade.
- **Capacidade de ação:** Para que a CNA possa agir de forma eficaz e para preservar sua agilidade, o número dos seus integrantes deverá ficar limitado. Sugere-se um limite superior de cerca de 15 membros para a Comissão.
- **Objetividade:** Para sublinhar a natureza da CNA como um órgão assessor e para facilitar sua atuação objetiva, a Comissão deverá distinguir-se claramente de órgãos executivos. Portanto, ela não deve conflitar nem se confundir com a estrutura organizacional do MCT. Com isso em mente, sugere-se que a constituição majoritária da CNA seja do terceiro grupo de agentes identificado anteriormente, qual seja, de profissionais que atuam na área.

Assim, sugere-se que a CNA seja composta de:

1. Representantes de agentes políticos e de órgãos de fomento, podendo os mesmos, a critério do MCT, incluir, além de integrantes do próprio MCT, [também] representantes de outros ministérios e de órgãos estaduais. Entende-se que sejam técnicos dos órgãos representados, e não astrônomos indicados por eles. Cabe ao MCT escolher as entidades a serem representadas e a forma da indicação dos representantes.
2. Representantes dos cientistas, pesquisadores, professores e divulgadores de astronomia, observando os diversos aspectos do princípio da representatividade mencionados acima. Sugere-se que o MCT escolha os membros a partir de uma lista de candidatos, elaborada pela Sociedade Astronômica Brasileira, com base em uma ampla consulta entre os profissionais em astronomia.

Dadas as atribuições da CNA, conforme sugeridas acima, é evidente que na execução de muitas delas a CNA precisará de assistência, de sub-comissões ou grupos de trabalho, permanentes ou temporárias. Deve ser prerrogativa da própria Comissão instaurá-las e definir sua composição, tanto quanto buscar auxílio através de convites a especialistas para colaborar em assuntos específicos de forma *ad hoc*. Detalhes do funcionamento da CNA deverão ser definidos pela própria Comissão através da elaboração de um Regimento Interno. Recomenda-se ainda que o MCT garanta o apoio técnico-administrativo indispensável à CNA, disponibilizando sua estrutura existente para esse fim.

RECOMENDAÇÕES

Recomendação 1: *Manter e ampliar as condições para que todas as Unidades de Pesquisa do MCT atuando na área da astronomia*

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.

Recomendação 2: *Promover um amplo debate na comunidade astronômica brasileira sobre o papel das UPs na astronomia como forma de evitar duplicação de esforços e pulverização e desperdício de recursos, além de se buscar uma maior articulação entre elas.*

Recomendação 3: *Criar mecanismos de coordenação permanente entre os órgãos de fomento federais e estaduais, de forma a evitar aplicação desordenada de recursos financeiros para projetos em astronomia.*

Recomendação 4: *Em parceria com o MEC, estimular a criação e o 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.*

Recomendação 5: *Implementar mecanismos de gestão do PNA através da criação de um órgão colegiado permanente na estrutura organizacional do MCT que aja como Comitê Gestor para o PNA e que assessoro o MCT quanto à coordenação da astronomia brasileira: a Comissão Nacional de Astronomia – CNA.*

9. Prioridades e financiamento

A astronomia brasileira demonstra uma grande e desejável diversidade que deverá ser mantida. Em uma disciplina de ciência básica não convém adotar medidas direcionadas para determinar o rumo da pesquisa. Ao contrário, como as forças de mercado auto-regularizam uma economia livre, o mesmo acontece com pesquisa em uma área como a astronomia: Os pesquisadores seguem linhas de pesquisa mais promissoras cientificamente, dando preferência a busca de resposta para questões importantes, de forma que áreas obsoletas recebam cada vez menos atenção, existindo ainda assim espaço para o imprevisto e inesperado. O fato de que a maior parte dos focos temáticos da astronomia brasileira (secção 3.2) está relacionada às grandes questões atuais da astronomia, identificadas pela comunidade astronômica internacional, demonstra que as “forças do mercado” funcionam. Portanto, impor prioridades artificialmente não é o caminho correto.

Por outro lado, os recursos financeiros necessários para criar as condições para a pesquisa são limitados e geralmente insuficientes para atender toda a demanda. Desta forma se abre um dilema óbvio: Como distribuir os recursos observando a situação descrita acima? Quais são os critérios para a aplicação dos mesmos? Deverá ser procurada uma forma para maximizar o retorno científico e para minimizar o impacto negativo em áreas com menor representação na comunidade, mas não necessariamente menor importância.

O estabelecimento de prioridades para os projetos da comunidade astronômica brasileira, sejam de natureza teórica, manipulação de dados ou observacional, terá de ser feito mediante um exame detalhado dos projetos e o cotejo entre eles nas diversas áreas. Nos Estados Unidos, por exemplo, o *Decadal Survey* define prioridades, apenas após um exame detalhado de cerca de dois anos dos diversos projetos e das perspectivas mundiais existentes.

Ademais, a maior parte das propostas de infra-estrutura astronômica mencionada neste documento, necessitando de uma quantidade elevada de recursos para sua realização, ainda não se encontram numa fase de planejamento e detalhamento suficiente para uma avaliação consistente e isenta.

Pelo mesmo motivo, na maior parte dos casos ainda não se pode associar um custo aos projetos. Portanto, é impossível estimar neste momento a quantidade de recursos financeiros necessários para o adequado desenvolvimento da astronomia brasileira nos próximos anos através de uma simples priorização de projetos e adição dos seus custos.

Portanto, a CEA propõe outra forma para o dimensionamento financeiro da área nos próximos dez anos; um caminho que estimula a competição de idéias, dando mais chances de realização aos melhores projetos: a Comissão sugere que o MCT adote um esquema de abertura de editais para financiamento, pois com eles o julgamento dos projetos poderá ser feito com o devido cuidado.

Eis então o esquema de prioridades geral proposto pela CEA:

- 1) Verificar a possibilidade de entrada do Brasil como sócio do European Southern Observatory (ESO), que representaria um avanço extraordinário para a astronomia brasileira.

- 2) Em segunda opção, caso a adesão ao ESO não seja viável, propõe-se a participação em um dos três projetos de telescópios gigantes: E-ELT (Chile) do ESO, GMT (Chile), e TMT (Havai). Entre eles, há clara preferência na comunidade para que seja um telescópio sediado no Chile.
- 3) Em paralelo aos itens anteriores, e para cobrir uma grande gama de projetos de médio porte, solicita-se que sejam instituídos Editais. Dependendo do porte, eles seriam abertos p.ex., pela FINEP, pelo FNDCT para editais de maior porte financeiro, e pelo CNPq e as Fundações de Amparo à Pesquisa estaduais (através de convênios com o MCT) para editais menores.

Propõe-se, portanto, a implementação de um esquema de editais periódicos em quatro categorias:

A. Editais para projetos com valores entre R\$ 100.000 e R\$ 1.000.000.

Elegíveis para financiamento nessa categoria estão projetos de infraestrutura de menor porte, tanto quanto estudos conceituais visando projetos maiores. Recomenda-se a publicação de editais desse tipo uma vez por ano com uma dotação total de cerca de R\$ 3.000.000.

B. Editais para projetos com valores entre R\$ 1.000.000 e R\$ 4.000.000

Enquadram-se nessa categoria, p.ex., projetos de instrumentação astronômica de médio porte, investimentos maiores em infraestrutura computacional, projetos de grande reforma e modernização de instalações observacionais, participação em projetos internacionais com necessidades financeiras limitadas, entre outros. Editais desse tipo poderão ser lançados uma vez a cada dois anos com uma dotação total de cerca de R\$ 12.000.000.

C. Editais para projetos grandes com valores entre R\$ 4.000.000 e R\$ 30.000.000

Essa categoria visa a financiar novos projetos de infraestrutura observacional nacional de médio porte (p.ex., telescópios), ou participação em projetos internacionais com maior necessidade financeiras, etc. Sugere-se o lançamento de editais desse tipo uma vez a cada cinco anos (a primeira vez pelo menos dois anos após a publicação do primeiro edital da categoria A para viabilizar estudos conceituais de projetos candidatos) com uma dotação total de cerca de R\$ 45.000.000.

D. Editais para projetos grandes com valores acima de R\$ 30.000.000

Essa categoria deverá ficar reservada para projetos de infraestrutura de maior porte e com alto impacto. Considera-se ideal o lançamento de editais uma vez a cada dez anos com uma dotação total de cerca de R\$ 60.000.000.

E. Sugere-se que a Agência Espacial Brasileira, atendendo às suas especificidades, apresente em separado editais para desenvolvimento de pré-projetos que objetivem o desenvolvimento de projetos visados a explorar nichos científicos através de missões espaciais. Este tipo de ação incentivará as oportunidades para que as universidades brasileiras se

envolvam com projetos associados às atividades espaciais. Para esta iniciativa, sugere-se 5 editais para projetos de até R\$ 2.000.000 ao longo dos próximos 10 anos (um Edital a cada dois anos), cada um deles com uma dotação total de R\$ 5.000.000. Essa quantia é bem modesta, em se tratando de pesquisa espacial. A realização dos projetos de satélites em parceria com outros países deverá ser alvo de financiamento à parte (cf. Seção 4.3). Para uma participação expressiva em dois projetos internacionais de maior porte em 10 anos necessita-se de pelo menos R\$ 100.000.000

No caso de projetos de infra-estrutura observacional e de participações em projetos internacionais de longo prazo, poderão incidir, além dos custos iniciais para a construção e implementação, também custos operacionais que não poderão ser financiados com recursos dos editais. Portanto, deverão ser previstos no orçamento do MCT recursos para a manutenção desses empreendimentos, inclusive para a mão de obra necessária. Entretanto, considerando o tempo necessário para implementar uma nova infra-estrutura observacional, esse tipo de custo somente incidirá na segunda metade do horizonte temporal de dez anos considerado aqui.

Recursos adicionais ainda são necessários para o financiamento das operações da infra-estrutura existente, tais como o Gemini, SOAR, ROI, etc.

Além do financiamento de projetos como os referidos acima, propõe-se também o financiamento de um programa de capacitação para preparar a comunidade astronômica para aproveitar das oportunidades futuras não apenas através da participação formal, mas também fazer melhor uso científico dos mesmos, maximizando, portanto, o retorno dos investimentos financeiros. Uma dotação financeira anual para isso em torno de R\$ 1.000.000 parece razoável.

Conforme atribuições propostas para a Comissão Nacional de Astronomia (seção 8), esse órgão deverá ter um papel importante nas recomendações sobre o uso dos recursos mencionados nesta Seção, inclusive na preparação dos Editais.

Com relação a todos os itens de financiamento enumerados acima não foram incluídos custos de mão de obra permanente, lembrando que a adequada dotação de projetos de longo prazo com pessoal é fundamental e deverá ser condição necessária para sua aprovação.

Desta forma, a estimativa da demanda financeira para o desenvolvimento da área de astronomia nos próximos dez anos se apresenta, a grosso modo, da seguinte forma:

Item de despesa	Valor médio anual (em milhões de R\$)	Valor total em 10 anos (em milhões de R\$)
Telescópio gigante*	20	200
Edital Categoria A	3	30
Edital Categoria B	6	60
Edital Categoria C	9	90
Edital Categoria D	6	60
Prj. Espacial Grande Porte	10	100
Operações**	7	70
Capacitação	1	10
TOTAL:	62	620

* No caso da associação do Brasil ao ESO isso inclui a chamada “contribuição especial”; custos operacionais não irão onerar o orçamento do MCT. No caso de uma participação no GMT ou TMT o valor representa a contribuição em capital. Custos operacionais somente incidirão após o horizonte temporal de 10 anos contemplado aqui.

** Isso inclui os custos operacionais da infra-estrutura observacional atual e uma componente pequena para a manutenção de nova infra-estrutura na segunda metade do horizonte temporal de 10 anos.

RECOMENDAÇÕES

Recomendação 1: Lançar periodicamente Editais, através de órgãos como FINEP, FNDCT, CNPq e em colaboração com as Fundações de Amparo a Pesquisa estaduais, em diversas categorias financeiras como meio de priorização e financiamento de projetos em astronomia, desde estudos e projetos de menor porte até projetos grandes com abrangência nacional e internacional.

Recomendação 2: Financiar iniciativas da astronomia espacial em articulação com a AEB através de editais específicos para a área.

Recomendação 3: Suprir pessoal e recursos financeiros em quantidade suficiente para operar e manter a infra-estrutura para pesquisa astronômica gerenciada direta ou indiretamente pelo Governo Federal.

10. 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 por isso menos importantes. Partindo de um quadro geral da astronomia brasileira no contexto mundial, essa proposta para um Plano Nacional de Astronomia tem o propósito de delinear as linhas gerais para um bem sucedido e ótimo desenvolvimento futuro.

Este trabalho foi feito com base num 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. Ele foi realizado com a ajuda de numerosas subcomissões e com a participação de um grande número de especialistas das 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 ideal futuro, rumo a uma comunidade que tenha 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 de 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 prazos. Também formula recomendações específicas referentes a medidas e ações concretas visando atingir essa finalidade.

A CEA encaminha então ao MCT através deste documento, sua proposta de Plano Nacional de Astronomia para os próximos cinco anos.

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
BOSS	Baryon Oscillation Spectroscopic Survey
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
CfPA	Center for Particle Astrophysics
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
EUA	Estados Unidos da América
FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos
GMT	Giant Magellan Telescope
GSMT	Giant Segmented Mirror Telescope
HETE	High Energy Transient Explorer
IAR	Instituto Argentino de Radioastronomia
ICRA	Internacional Center for Relativistic Astrophysics
INCT-A	Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Astrofísica
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
JWST	James Webb Space Telescope
LAC	Laboratório Associado de Computação e Matemática Aplicada
LineA	Laboratório Interinstitucional de e-Astronomia
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
MEC	Ministério da Educação
MIRAX	Monitor e Imageador de Raios X
NASA	National Aviation and Space Agency
NSF	National Science Foundation
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
RCFM	Radiação Cósmica de Fundo em Microondas
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
SDSS	Sloan Digital Sky Survey
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

STELLES	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
WFIRST	Wide Field Infrared Survey Telescope
WFOS	Wide Field Multi-Object Spectrograph

Subcomissões

Posição da Astronomia Brasileira no Contexto Mundial

Beatriz L. Barbuy (Coord.)
Adriana Válio Roque da Silva
Basílio X. Santiago
Eduardo Janot Pacheco
José Renan de Medeiros
Luiz Nicolaci da Costa
Othon Winter

Astronomia Ótica

Beatriz L. Barbuy (Coord.)
Bruno Castilho de Souza
Cláudia Vilega Rodrigues
José Renan de Medeiros
Kepler de Souza Oliveira
Marcio G. Maia
Renato Dupke

Astronomia Infra-Vermelha

Ramiro de la Reza (Coord.)
Antônio Mário Magalhães
Cássio Dal Ri Barbosa
Francisco Jablonski
Gabriel A. Franco

Radioastronomia

Oswaldo Miranda (Coord.)
Carlos Alexandre Wuensche
Carlos G. Giménez de Castro
Jacques Lepine
José Roberto Ceatto
José Williams dos S. Vilas Boas
Joaquim Rezende Costa
Pierre Kaufmann

Astronomia Teórica e Computacional

Beatriz L. Barbuy (Coord.)
Alex Carciofi
Diego Falceta-Gonçalves
Elisabete M.G. Dalpino
Horácio Dottori
José Ademir de Lima
Sylvio Ferraz-Mello

Astrofísica Observacional Não-Eletromagnética

Mário Novello (Coord.)
José Ademir Sales de Lima
Odylio D. Aguiar
Oswaldo Mirando
Ronald Cintra Shellard

Astronomia Espacial

Eduardo Janot Pacheco (Coord.)
Flávio D'Amico
João Braga
José Renan de Medeiros
Laerte Sodré Jr.
Othon Winter

Bancos de Dados e Observatório Virtual

Albert Bruch (Coord.)
Claudio Bastos Pereira
Haroldo Campos Velho
Luiz Nicolaci da Costa
Paula R.T. Coelho
Reinaldo de Carvalho

Cosmologia Teórica e Observacional

Mário Novello (Coord.)
Carlos A. Wuensche (Coord.)
Jaison Souza de Alcaniz
Luis Raul W. Abramo
Luiz Nicolaci da Costa
Marcelo Byhrro Ribeiro
Martin Makler
Miguel Quartin
Nelson Pinto Neto
Reinaldo Roberto Rosa
Ribamar Reis
Saulo Carneiro de Souza Silva

Formação de Recursos Humanos e Ensino de Astronomia

Kepler de Souza Oliveira (Coord.)
Basílio X. Santiago
Elisabete M.G. Dalpino
Helio Jacques Rocha-Pinto
Jane Gregório-Hetem
Sílvia Lorenz Martins

Divulgação – Astronomia e Sociedade

Douglas Falcão Silva (Coord.)
Augusto Damineli Neto
Maria Helena Steffani
Luíciana Pompéia
Paulo Henrique Sobreira
Roberto D.D. Costa

Potencial da Astronomia para o Desenvolvimento Tecnológico do Brasil

Albert Bruch (Coord.)
Bruno Vaz Castilho de Souza
João Braga
Othon Winter
Vanderlei Parra

Gestão do PNA e Modelos de Gerenciamento da Astronomia Brasileira

Albert Bruch (Coord.)
Adriano Hoth Cerqueira
Basílio X. Santiago
Eduardo Janot Pacheco
João Braga
Thyrso Villela Neto

Focos Temáticos da Astronomia Brasileira

Eduardo Bica (Coord.)
Alex Carciofi
André de Castro Milone
João Francisco D. Santos Jr.
Leandro de Oliveira Kerber
Sílvia H.P. Alencar
Thaísa Storchi Bergmann

Astrobiologia – Astroquímica – Exoplanetas

Eduardo Janot Pacheco (Coord.)
Cláudia de Alencar Santos Lage
Heloisa Boechat
José Renan de Medeiros
Sílvio Ferraz-Mello

ANEXO I

VANTAGENS PARA A INDÚSTRIA BRASILEIRA DA ENTRADA DO BRASIL NO ESO

1. Introdução

Uma das principais conclusões da Comissão Especial de Astronomia - CEA, encarregada pelo MCT para elaborar a proposta para um Plano Nacional de Astronomia - PNA, diz respeito à continuada inserção da comunidade astronômica brasileira na comunidade internacional. O país só poderá de fato crescer cientificamente na área e se manter ao nível das nações europeias e norte-americanas, se tiver, entre outros, acesso aos meios mais modernos para pesquisa astronômica, participando ativamente de grandes projetos de infraestrutura observacional. Caso contrário, inevitável e rapidamente perderá o espaço já alcançado e não poderá exercer um papel significativo no cenário mundial do futuro.

Essas reflexões levaram à recomendação da CEA de que o Brasil deveria participar em um dos projetos de telescópio gigantes do futuro. Mais especificamente, e considerando a preferência expressa por cerca de três quartos da comunidade astronômica brasileira, a CEA recomenda que o MCT continue o processo já iniciado de avaliar a possibilidade da adesão do Brasil ao European Southern Observatory – ESO até que se chegue a uma conclusão sobre se há ou não condições financeiras econômica e socialmente aceitáveis para tal adesão, considerando também o os grandes retornos científico, tecnológico e econômico que dela adviriam.

2. O European Southern Observatory

2.1 Apresentação

O ESO é uma associação de 14 membros de países europeus, regida por uma Convenção Internacional. É uma das mais bem sucedidas organizações intergovernamentais da Europa e opera as instalações astronômicas mais produtivas do mundo, fornecendo infraestrutura observacional de ponta para os astrônomos dos seus países membros. Atualmente, o ESO tem um orçamento anual de cerca de 135 milhões de Euros e emprega aproximadamente 700 pessoas. Através da construção e operação do conjunto de telescópios terrestres mais poderosos da Terra, o ESO oferece à indústria dos seus países membros numerosas oportunidades para participação em desenvolvimento de alta tecnologia diversas áreas tais como ótica fina, automação e controle e mecânica de precisão, entre outros, todas técnicas de alto valor agregado.

O ESO tem como seu órgão de governança superior o Conselho (ESO Council) que determina a política científica, técnica, financeira e administrativa da organização. Cada país membro tem dois representantes no Conselho. O Conselho nomeia o Diretor Geral do ESO, que conduz os assuntos operacionais da organização.

2.2 Infra-estrutura observacional do ESO no Atacama

O Cerro La Silla, é um dos principais observatórios astronômicos do mundo, tendo já contado com um total de 17 telescópios ópticos com abertura entre 40 cm e 3,6 m, mais um telescópio submilimétrico de 15 m. Hoje ainda mantém em operação seis telescópios, produzindo ciência de ponta.

O Cerro Paranal é atualmente a infraestrutura observacional principal do ESO. Seu conjunto de quatro telescópios com abertura de 8,2m conhecido como VLT (Very Large Telescope), junto com 4 telescópios auxiliares de menor porte (1,8m), é considerada a maior máquina produtora de conhecimento científico da astronomia terrestre no mundo. Os quatro grandes telescópios podem ser operados individualmente ou conjuntamente em modo interferométrico, que permite uma resolução de imagem muito maior, formando o Very Large Telescope Interferometer. O sitio tem também dois telescópios de grande campo para surveys no visível e infravermelho: o VST (2,5m) e o VISTA (4,1m).

No planalto de Chajnantor, a 5.100 m de altitude, o ESO opera o radiotelescópio milimétrico-submilimétrico de 12 m APEX (Alma Pathfinder Experiment) e instala atualmente (em colaboração com parceiros da América do Norte e da Ásia oriental) o ALMA, rádiointerferômetro que terá 66 antenas distribuídas por 16km. Ele será capaz de investigar o universo em ondas milimétricas e submilimétricas com uma sensibilidade e resolução sem precedentes, tendo aplicações num grande número de campos da astronomia.

2..3 European Extremely Large Telescope - E-ELT

O European Extremely Large Telescope – E-ELT, promovido pelo ESO, vai ser instalado no Chile. Ele é o maior e mais ambiciosos dos três projetos de telescópios gigantes que existem no momento. Com um espelho de 42m, tem o dobro da capacidade de observação de astros fracos do que seu competidor mais próximo, o americano Thirty Meter Telescope (TMT, a ser instalado no Havaí). Uma série de instrumentos periféricos, tais como espectrógrafos, que ficarão operacionais todo o tempo vão fazer com que os astrônomos possam explorar ao máximo as capacidades do telescópio por meio de observações desde a região óptica até o infravermelho médio.

O espelho primário segmentado do E-ELT terá pois, 42 m de diâmetro e será abrigado num prédio resistente a terremotos de uma centena de metros de diâmetro e 80m de altura. Seu conceito óptico inteiramente novo baseia-se num esquema original de 5 conjuntos de espelhos que confere uma qualidade de imagem excepcional em todo o campo. O espelho primário consiste de quase 1000 segmentos de 1,45m cada, e de apenas 50mm de espessura. O espelho secundários do telescópio terá 6m de diâmetro.

A turbulência atmosférica será corrigida por óptica adaptativa, usando um espelho especial para a correção de imagens que terá mais de 5.000 atuadores, capazes de distorcer sua forma numa frequência de mil vezes por segundo.

O telescópio será equipado por um grande número de instrumentos científicos e a troca entre eles deverá levar apenas alguns minutos. O

telescópio e a cúpula poderão também mudar rapidamente sua orientação no céu e recomeçar novas observações sem perda de tempo.

Suas dimensões, características de alta tecnologia e de conceito avançado, observando do visível ao infravermelho médio, farão do E-ELT o telescópio óptico de melhor performance jamais construído. Vale citar a apreciação sobre ele emitida no último “Decadal Survey” americano (http://sites.nationalacademies.org/bpa/BPA_049810): *“The 14-nation ESO consortium is on track to become the undisputed leader in ground-based OIR (optical-infrared) astronomy, with its planned construction of the 42m European Extremely Large Telescope (E-ELT) facility by 2018...”*

3) Vantagens para a indústria brasileira de ingresso no ESO

Um novo país membro do ESO ao ingressar, deverá pagar uma contribuição especial – “Accession Fee” - correspondente à sua participação nos investimentos em capital e nas despesas de equipamento já efetuados pelos demais membros. O montante desta contribuição especial é determinado pelo Conselho da instituição. No caso do Brasil, esse valor foi preliminarmente estipulado em 130 M€.

Existem também as contribuições financeiras ao ESO para seu funcionamento, que em princípio, são compartilhados entre os países membros em proporção do seu PIB médio durante um período de três anos. Atualmente, o ESO tem um orçamento anual de cerca de € 131,2M.

No caso do Brasil, do montante de 130 M€. da contribuição especial, foi estipulado extraordinariamente que cerca de 50% poderão ser pagos sob a forma de construções e serviços afins (“In-kind”) relativos sobretudo a atividades no sítio onde será erigido e desenvolvido o E-ELT, no Cerro Armazones, Chile (normalmente, apenas 25% da contribuição especial de um novo membro são dispendidos sob a forma de “in-kind”). Esses 65 M€ serão pagos a empresas brasileiras no país, não constituindo, portanto, saída de divisas.

Além do envolvimento de empresas brasileiras nas obras de terraplenagem, construção civil e da estrutura metálica do prédio do telescópio, poderá haver também a participação de empresas brasileiras em partes de alta tecnologia do conjunto, como, p.ex., nos atuadores do espelho corretor de imagens. Durante as negociações que vem se desenrolando, o ESO acenou explicitamente com uma participação importante no projeto de empresas brasileiras em setores que envolvam alta tecnologia, visando inclusive um desenvolvimento rápido delas nessas áreas de ponta.

Além dos cerca de 65 M€ relativos à parcela de “in-kind” brasileira, as normas que regem o funcionamento do ESO estipulam que empresas de seus países membros participem das concorrências públicas da instituição e recebam encomendas proporcionalmente às contribuições anuais de cada um. A projeção atual de orçamento do ESO para os próximos dez anos sugere que o Brasil pode conseguir contratos industriais num montante total de até 130 M€. Nesse contexto, vale lembrar que as companhias brasileiras (algumas delas estão já solidamente implantadas no país vizinho), estarão em posição bastante favorável em relação às europeias em termos de obter contratos para

atividades no Chile. Da ordem de 75% dos investimentos feitos poderá retornar ao país de origem, através de contratos com indústrias e verbas para instrumentação.

A participação de empresas brasileiras nas atividades industriais do ESO deverá criar um impacto econômico positivo nas cadeias econômicas produtivas primárias e secundárias de alta tecnologia, agregando valores, inovação e conhecimento ao setor produtivo nacional.

ANEXO II

GRANDES PROJETOS ATUAIS E DO FUTURO PRÓXIMO EM ASTRONOMIA

Existe um grande número de oportunidades para ampliar a inserção brasileira em projetos internacionais existentes e futuros. As numerosas atividades da astronomia no Brasil relatadas no presente documento demonstram que a comunidade está preparada para aproveitar dessas oportunidades.

Para fornecer uma ideia da infra-estrutura observacional que existe no mundo ou que se encontra em diversos estádios de planejamento e construção seguem listas com uma seleção de instrumentos importantes e/ou com relevância especial para a astronomia brasileira. As listas limitam-se em astronomia óptica/infravermelha, radioastronomia e astronomia espacial, sem pretender completeza.

A) Telescópios ópticos, infravermelhos e rádio no solo:

Em astronomia óptica/infravermelha, considera-se aqui apenas os telescópios da classe de 6-10m, e da classe de 3-5m. Há ainda um grande número de telescópios menores do porte de 2.5m, em geral mais antigos.

A-1) Telescópios com abertura de 8m ou mais:

Telescópio	Países participantes
Gemini Observatory (2 x 8m)	EUA (50%), Canadá (15%), UK (25% saindo), Brasil (2,5%), Argentina (2.5%), Austrália (10%)
GRANTECAN – (11m)	Espanha, México(5%)
HET (10m)	EUA
Keck Observatory – (2 x 10m)	EUA
LBT – (2 x 8m)	EUA, Alemanha (25%), Italia (25%)
LSST – (8m)	EUA
Magellan Observatory – (2 x 6m)	EUA
MMT – (6m)	EUA
SALT (10m)	África do Sul, EUA
SUBARU – (8m)	Japão
VLT – (4 x 8m)	ESO (Alemanha, Áustria, Bélgica, Dinamarca, Espanha, Finlândia, França, Itália, Países Baixos, Portugal, Reino Unido, República Checa, Suécia, Suíça)

A-2) Telescópios cm abertura de 3m a 5m:

Telescópio	Países participantes
AAT (4m)	Australia
Apache Pointe Observatory (3,5m)	EUA
Calar Alto (3.5m)	Alemanha, Espanha

Telescópio	Países participantes
CFHT (3.6m)	Canadá, França, EUA
CTIO – Blanco Telescope (4m)	EUA
Galileo (3.5m)	Itália
IRTF (3m)	EUA
Isaac Newton (4m)	Espanha, UK
KPNO – Mayall Telescope (4m)	EUA
KPNO – WIYN Telescope (3,5m)	EUA
La Silla – NTT (3.5m)	ESO
La Silla (3,6m)	ESO
LAMOST (4m)	China
Mount Palomar – Hale Telescope (5m)	EUA
SOAR	EUA (2/3), Brasil (1/3)
UKIRT (3.5m)	UK
VISTA (4m)	ESO

A-3) Telescópios gigantes em planejamento:

Telescópio	Países participantes
European Extremely Large Telescope (42m)	ESO
Giant Magellan Telescope (24m)	EUA, Austrália, Taiwan
Thirty Meter Telescope (30m)	EUA, Japão, China, Índia

B-1) Radioastronomia:

B-1-1) Radiotelescópios existentes, com abertura de 25m ou mais:

Radiotelescópio	País
Algonquin (46m)	Canadá
Arecibo (305m)	EUA
Ceduna (30m)	Austrália
Dwingeloo (25m)	Países Baixos
Effelsberg (100m)	Alemanha
Galenki (70m)	Rússia
Green Bank (3 x 26m)	EUA
GTM (100m)	México
HartRAO (26m)	África do Sul
Herouni (54m)	Armênia
IRAM (30m)	França, Alemanha, Espanha
Jodrell Bank (76m)	UK
Merlin (32m)	UK
Mount Pleasant (26m)	Austrália
Nobeyama (45m)	Japão
Onsala (25m)	Suécia
Ooty (530m x 30m)	Índia
Parkes (64m)	Austrália
Pune (45m)	Índia
Ratan (600m)	Rússia

Radiotelescópio	País
Sheshan (25m)	China
SRI (45m)	EUA
TNA 1500 (2 x 64m)	Rússia
Torun (32m)	Polônia
Ventspils (32m)	Latvia
VLA (26 antenas)	EUA
VLBA (10 antenas em diferentes locais)	EUA
VLBI (2 x 32m)	Itália
Westerbork (14 x 25m)	Países Baixos
Yebes (40m)	Espanha
Yevpatoria (70m)	Ukraine

B-1-2) Radiotelescópios gigantes em construção ou planejamento:

Radiotelescópio	Países participantes
ALMA (66 antenas) (em construção)	ESO, EUA, Japão
SKA (em planejamento)	Europa, Austrália, África do Sul

C) Astrofísica Espacial:

Em recente congresso sobre os 20 anos do Telescópio Espacial Hubble, o diretor do Space Telescope Science Institute informou que o gasto na área espacial, a nível mundial, é de US\$ 262 bilhões, enquanto que as despesas da NASA + ESA, as 2 maiores agências espaciais do mundo, para missões espaciais científicas somam apenas 2.5% disso, ou seja de US\$ 6.5 bilhões/ano. Esse fato ilustra como o dispêndio de recursos mundiais com a pesquisa espacial e astronômica em particular é pequeno. Os outros países do mundo com atividade importante em astronomia espacial são: Rússia, Japão, Índia e China. Note-se que existem entre eles a Índia, país emergente, com características semelhantes ao Brasil em muitos aspectos, mas que está muito mais avançada em seu programa espacial, por uma razão bastante simples: o financiamento público do programa espacial indiano é da ordem de dez vezes o do programa brasileiro.

Segue a lista dos projetos espaciais mais importantes existentes no momento ou planejados para os próximos anos. Nota-se que muitos dos projetos futuros ainda se encontram na fase de estudos e sua eventual realização depende da sua priorização e da disponibilidade de recursos financeiros.

Nome	Agência	Descrição
CHANDRA	NASA	Observatório de raios-X
CoRoT	ESA	Busca de planetas extrasolares e observações de oscilações estelares
EUCLID	ESA	Mapeamento de matéria escura e caracterização de energia escura
GAIA	ESA	Satélite astrométrico
HERSCHEL	ESA/NASA	Telescópio para o infra-vermelho distante
Hubble	NASA/ESA	Telescópio espacial óptico/ultravioleta/infra-vermelho próximo
IXO	NASA/ESA/JAXA	Observatório de raios-X

Nome	Agência	Descrição
JWSP	NASA/ESA	Telescópio espacial ótica/infra-vermelho da próxima geração
Laplace	ESA	Missão para o Júpiter e Europa
LISA	NASA/ESA	Observações de ondas gravitacionais
PLANCK	ESA	Medidas de radiação de fundo
PLATO	ESA	Busca de planetas extrasolares e observações de oscilações estelares
SPICA	JAXA/NASA	Telescópio para o Infravermelho
WFIRST	NASA	Telescópio para um levantamento de campo grande no infra-vermelho
XMM	ESA	Observatório de raios-X

Conclusão

A inserção brasileira em infra-estrutura internacional para a astronomia observacional ainda é incipiente. Contratos formais que abrem empreendimentos bi- ou multinacionais para toda a comunidade científica existem apenas em pequeno número. Na área óptica e infravermelha, se limitam ao Observatório Gemini (2,5% + 2,5% adquirido do UK)) e aos Telescópios SOAR (34%) e CFHT (~3%, variável; contrato válido até 2012; prorrogável). Através do Gemini e SOAR é possível ter-se também acesso aos telescópios Keck, SUBARU e Blanco mediante convênios de troca de tempo. Na astronomia espacial o Brasil participa atualmente do satélite franco-europeu-brasileiro CoRoT e já se engajou formalmente no projeto PLATO e através de iniciativas individuais em três outros (GAIA, EUCLID, SPICA). Na astrofísica de altas energias tem uma participação no projeto AUGER. Já no que se refere a radioastronomia, o país não tem acesso coletiva e formalmente a nenhum equipamento internacional.

Essa situação demonstra que, aproveitando do preparo da comunidade astronômica e as oportunidades existentes para colaborações internacionais, um melhor aproveitamento das mesmas, com uma ampliação do leque das possibilidades de participações permitirá à comunidade astronômica brasileira dar um salto qualitativo do ponto de vista observacional.