



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

INPE-7177-PUD/38

CAPÍTULO 9

PESQUISAS EM ASTROFÍSICA NO INPE

Thyrso Villela Neto*

e-mail: villela@das.inpe.br

INPE
São José dos Campos
2003

Capítulo 9

PESQUISAS EM ASTROFÍSICA NO INPE

Thyrso Villela Neto*

* e-mail: villela@das.inpe.br

PESQUISAS EM ASTROFÍSICA NO INPE

9.1	INTRODUÇÃO	5
9.2	AS PESQUISAS EM ASTROFÍSICA NO INPE	9
9.2.1	MEIO INTERPLANETÁRIO E FÍSICA SOLAR	9
9.2.2	ESTRELAS	10
9.2.3	MEIO INTERESTELAR	11
9.2.4	PULSARES E BURACOS NEGROS	12
9.2.5	GALÁXIAS	13
9.2.6	RAIOS CÓSMICOS	14
9.2.7	COSMOLOGIA	15
9.3	INSTRUMENTAÇÃO UTILIZADA	15
9.3.1	INSTRUMENTOS NO SOLO	16
9.3.2	INSTRUMENTOS NO ESPAÇO	20
9.4	CONCLUSÃO	23

9.1 INTRODUÇÃO

A Astrofísica é uma das atividades científicas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) que podem representar de forma mais direta o nome do Instituto. Afinal, seu objeto de estudo é o espaço! Suas áreas de estudo abrangem as mais distantes fronteiras que podem ser vislumbradas pelo ser humano, tanto em tempo quanto em espaço. Historicamente, a origem da pesquisa em Astrofísica no INPE está ligada ao desenvolvimento da Ciência Espacial no Instituto. A Ciência Espacial foi a área da qual se originou todo o INPE. Inicialmente, o objetivo era estudar o espaço circunvizinho à Terra. Mais tarde, esse campo de estudo foi ampliado, passando a abranger o espaço exterior. Para tanto, houve a necessidade de desenvolver instrumentos que fizessem observações no espaço, a bordo de balões, foguetes e satélites, já que a atmosfera terrestre absorve grande parte dos sinais que vêm do espaço.

As pesquisas em Astrofísica no INPE começaram na década de sessenta e vêm se desenvolvendo desde então, com alguns ajustes sendo feitos nesse período. As primeiras pesquisas relacionavam-se com a Astrofísica de Altas Energias, que tem como objetivo de estudo entender os mecanismos físicos responsáveis pelas emissões de raios-X e gama oriundas de objetos cósmicos, como pulsares, estrelas binárias, galáxias, etc. Mais tarde, houve o desenvolvimento de estudos na área de radioastronomia, com a incorporação pelo INPE do Radiobservatório do Itapetinga, em Atibaia. Em meados da década de oitenta, iniciaram-se os estudos relacionados com as observações na faixa óptica do espectro eletromagnético, com a vinda de um grupo de pesquisadores que atuam nessa área.

A Astrofísica estuda os objetos e as estruturas que formam o Universo em que vivemos. Estamos acostumados a ouvir falar do meio ambiente que nos cerca e a Astrofísica nada mais faz do que estudar o meio ambiente em que a Terra está inserida. Portanto, assim como é importante conhecer os rios, as montanhas, os vales e o clima que nos cercam, também é muito importante conhecer as estrelas, planetas, galáxias e cometas. Por isso, realizar pesquisas em Astrofísica significa também conhecer o nosso

meio ambiente. É conveniente lembrar que o meio ambiente é o conjunto dos fatores externos que podem influir na vida biológica, social ou cultural de um indivíduo ou grupo; o espaço externo à Terra é um dos fatores que influenciam diretamente a vida na Terra. Portanto, devemos conhecê-lo da melhor forma possível.

O Sol, que é uma estrela, é o componente da natureza que mais diretamente afeta a vida na Terra. É ele quem define o regime de temperaturas no nosso planeta. O Sol também é o responsável pelos ciclos de vida das diversas espécies da Terra, definindo, por exemplo, a fotossíntese. Pode ter também efeitos indesejáveis, como a interferência nas telecomunicações e no aumento da incidência de câncer de pele no ser humano. Dessa forma, é mais do que evidente que devemos entender muito bem como o Sol se comporta para que possamos nos precaver de possíveis problemas.

A Astrofísica pode também contribuir para a preservação da vida na Terra, seja por meio de previsão de catástrofes, como possíveis choques de cometas ou asteróides de grandes proporções com a Terra, seja por meio de estudos que possibilitem a colonização de outros planetas por seres humanos no futuro. O nosso planeta corre o risco de ser bombardeado por algum corpo que esteja vagando pelo espaço, como aconteceu recentemente com Júpiter, e sofrer graves conseqüências, entre elas a extinção da espécie humana. Supõe-se que no passado algo semelhante tenha ocorrido aqui na Terra e tenha provocado o desaparecimento de várias espécies, entre elas a dos dinossauros. As pesquisas astronômicas podem ajudar na previsão de catástrofes como essas e permitir que medidas sejam tomadas com antecedência para evitá-las ou minimizá-las. Uma outra contribuição, e das mais importantes, da Astrofísica foi a de desmistificar crendices que, infelizmente, persistem até os dias de hoje, como a astrologia.

Os estudos em Astrofísica podem trazer benefícios diretos à sociedade e fornecer dados para que problemas de outras áreas possam vir a ser resolvidos. Hoje em dia, por exemplo, a Física de Partículas, que procura entender como a matéria é formada, precisa construir aceleradores de partículas de altíssimas energias. Infelizmente, isso não é tão simples assim, já que envolve sérios problemas tecnológicos e financeiros. No entanto, o Universo está repleto de regiões onde há energia suficiente

para acelerar partículas a velocidades altíssimas. Pela observação dessas regiões e dos fenômenos que lá ocorrem, pode-se aprender muito sobre as coisas que acontecem aqui na Terra.

De uma forma geral, pode-se até questionar o porquê de se investir tempo e dinheiro em pesquisas relacionadas à Astrofísica num país como o Brasil. Afinal, o Brasil não é um país no qual os recursos financeiros sejam abundantes e ainda há muita coisa que precisa ser feita no campo social. No entanto, deve-se ter em mente que um país deve tentar dominar o maior número possível de temas ligados ao conhecimento humano, já que o bem-estar de seu povo está intimamente ligado ao grau de conhecimento que o país possui. O conhecimento é a arma mais poderosa para o desenvolvimento econômico e social.

Apenas como exemplos, podem ser citados os casos de alguns produtos que foram desenvolvidos ou aperfeiçoados graças aos investimentos feitos em pesquisas em Astrofísica e que hoje rendem dividendos para os detentores dessas tecnologias: as câmaras de vídeo com base no CCD (“charge coupled device”), como as de uso profissional ou doméstico, os aparelhos de tomografia computadorizada utilizados em medicina, os sistemas de inspeção de bagagens em aeroportos com “scanners” de raios-X, vários sistemas de microondas utilizados em telefonia celular, etc. Outro exemplo de aplicação prática dos conhecimentos proporcionados pela Astrofísica está na Meteorologia, que se valeu de estudos acerca da atmosfera de planetas para melhorar os modelos sobre o comportamento da atmosfera terrestre.

Além desses exemplos, pode ser citado ainda o enorme potencial que a Astrofísica tem de tentar responder a um dos maiores anseios do ser humano, que é o de entender o Universo em que vive e saber mais sobre esse meio ambiente que o cerca. Como vimos, o estudo da Astrofísica não se resume apenas à poesia que o tema suscita, mas induz e permite a solução de vários problemas cruciais para a sociedade.

As pesquisas em Astronomia e Astrofísica realizadas pelo INPE estão concentradas na Divisão de Astrofísica (DAS), que é uma das três divisões científicas da Coordenação Geral de Ciências Espaciais e Atmosféricas (CEA) do INPE. O

objetivo dessas pesquisas é entender os fenômenos que ocorrem no Universo de um modo geral. Busca-se conhecer as causas desses fenômenos e entender a Física que governa os objetos que são vistos no céu, como estrelas, galáxias, quasares, buracos negros, entre outros.

A DAS tem 29 funcionários, dos quais 16 são pesquisadores que se dedicam a alguns dos temas de domínio da Astrofísica, em cujos estudos são utilizadas observações em diversas faixas do espectro eletromagnético (da Radioastronomia à Astrofísica de Raios Gama) ou a detecção de partículas, como os raios cósmicos (prótons, elétrons e íons). Além disso, há estudos concentrados na detecção e análise de ondas gravitacionais, que deverão se tornar uma nova ferramenta para a observação do Universo. Desses 16 pesquisadores, 15 são doutores e um é mestre. A DAS conta ainda com 3 engenheiros eletrônicos, 1 especialista em óptica e 8 técnicos ligados diretamente ao trabalho de desenvolvimento de experimentos para a pesquisa em Astrofísica, e que atuam nas áreas de mecânica, eletrônica e computação, e uma secretária. A DAS tem laboratórios equipados para propiciar o desenvolvimento de instrumentação científica nas áreas de microondas, rádio, óptica, raios X, raios gama, raios cósmicos e ondas gravitacionais.

Tradicionalmente, a DAS tenta desenvolver pesquisas que necessitam de observações com instrumentos que ainda não estão disponíveis no País, de forma a estimular o desenvolvimento de instrumentação científica no Brasil e a formação de pessoal altamente qualificado. Isso se deve ao fato de o INPE possuir uma boa infraestrutura para esse tipo de atividade, que muitas vezes não é encontrada nas universidades ou em outros centros de pesquisa. Em particular, as atividades ligadas ao desenvolvimento de instrumentação espacial, com experimentos a bordo de balões, foguetes e satélites, têm o seu lugar natural no INPE, que é o maior órgão civil na área espacial no Brasil. Como consequência direta dessa iniciativa, há o engajamento de empresas brasileiras em projetos de alto teor tecnológico, o que contribui para a geração de empregos no País e para a melhoria da qualidade dos serviços e produtos dessas empresas.

Atrelado à sua atuação técnico-científica, o INPE mantém um curso de pós-

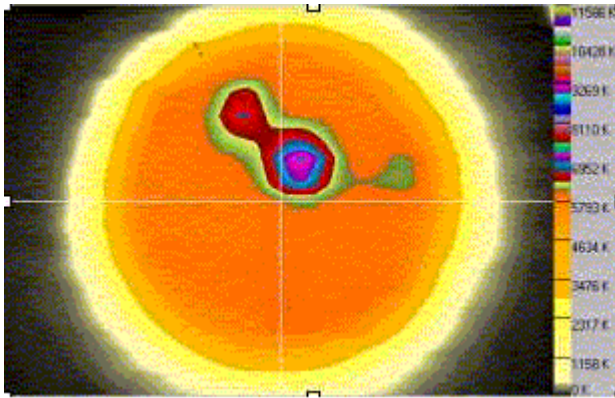
graduação com mestrado e doutorado em Astrofísica. Os temas das dissertações e teses são ligados às pesquisas desenvolvidas na Divisão. A Divisão de Astrofísica possui uma rede de estações de trabalho e de microcomputadores instalados com os principais títulos de “software” de uso da comunidade astronômica internacional para a redução e análise de dados e preparação de trabalhos na área. Esses computadores são utilizados pelos pesquisadores e estudantes (de iniciação científica, mestrado e doutorado) para pesquisa e atividades acadêmicas. O INPE possui um centro de computação, uma biblioteca especializada, com mais de 70.000 volumes e 1.500 assinaturas de revistas científicas, e mantém um Setor de Lançamento de Balões à disposição da comunidade científica nacional e internacional para a realização de experimentos que envolvam a necessidade de utilização de balões estratosféricos.

9.2 AS PESQUISAS EM ASTROFÍSICA NO INPE

A pesquisa na DAS está dividida, formalmente, em 5 linhas de pesquisa, embora essa divisão seja permeada pela atuação e interação de pesquisadores em diferentes linhas. Quatro dessas linhas de pesquisa são compostas exclusivamente por pesquisadores da DAS, enquanto uma é composta por membros DAS e das outras duas divisões da CEA (Geofísica Espacial e Aeronomia). As cinco linhas de pesquisa estão assim distribuídas: Astrofísica de Altas Energias, com 3 pesquisadores, Astrofísica Óptica e do Infravermelho, com 6 pesquisadores; Cosmologia e Gravitação, com 3 pesquisadores; Radioastrofísica Molecular, com 2 pesquisadores; Física do Meio Interplanetário, com 2 pesquisadores. Essas linhas contam com a participação de estudantes de pós-graduação (mestrado e doutorado), de iniciação científica, bolsistas de pós-doutoramento e pesquisadores visitantes.

9.2.1 MEIO INTERPLANETÁRIO E FÍSICA SOLAR

Em Física do Meio Interplanetário e Solar são estudados os mecanismos físicos referentes às questões fundamentais ligadas às explosões solares, à propagação dos efeitos desses fenômenos pelo meio interplanetário e à sua influência na magnetosfera



terrestre. Em particular, no Sol são investigados os processos de armazenamento da energia que é posteriormente liberada nessas explosões, o mecanismo que desencadeia a liberação dessa energia e que dá início ao fenômeno e os meios para prever a ocorrência dessas

explosões. Essas investigações são feitas por meio de observações em várias regiões do espectro eletromagnético, utilizando sistemas receptores em rádio nas bandas decimétrica e milimétrica, em conjunto com outros observatórios internacionais, e com dados em raios X obtidos com experimentos a bordo de satélites. Desenvolve-se instrumentação na bandas rádio decimétrica e milimétrica. A figura acima mostra um mapa do Sol registrado na frequência de 22 GHz (22 bilhões de hertz). Os contornos no interior do disco solar indicam a posição de regiões ativas, os locais onde ocorrem as explosões solares.

9.2.2 ESTRELAS

O estudo de objetos como estrelas ou sistemas binários individuais, ou mesmo de configurações mais complexas como jatos ou anéis e cascas de gás ou poeira, propicia uma grande quantidade de informações a respeito da estrutura, evolução e processo de formação estelar. Naturalmente, há o interesse de coletar informações ao longo da faixa mais ampla possível do espectro eletromagnético. Dessa forma, na DAS são utilizadas observações que vão desde o infravermelho até os raios gama para obter as informações desejadas.

No infravermelho próximo, faixa do espectro na qual o meio interestelar e circumstelar é muito mais transparente, realizam-se estudos de regiões de formação estelar cercadas de poeira e também estudos de objetos relativamente frios, como é o caso das estrelas secundárias em binárias cataclísmicas. No óptico realiza-se uma gama de programas observacionais que vão desde o estudo polarimétrico de objetos

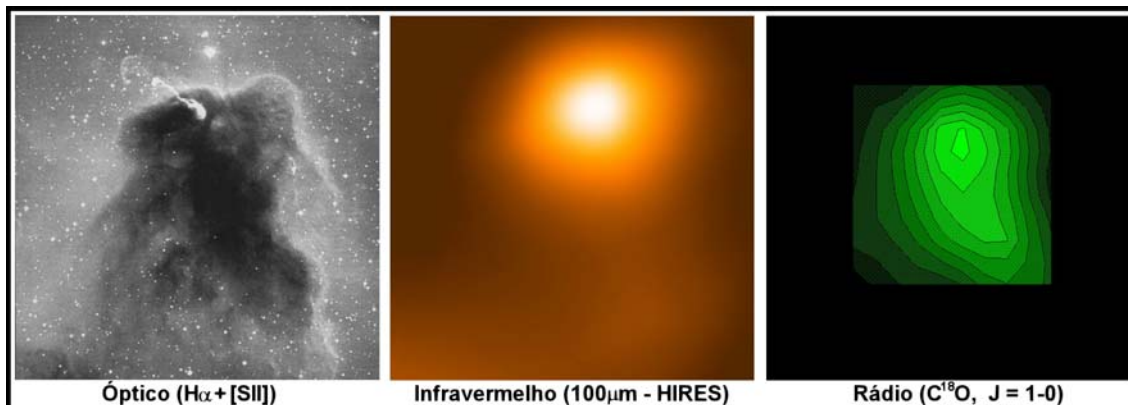
quentes ou objetos em estados evolutivos raros (por exemplo, PDS465), até às propriedades de classes de objetos, como variáveis irregulares. A fotometria CCD, e em particular a instrumentação e as técnicas de análise de fotometria diferencial rápida com CCDs, permite ainda o estudo de objetos que emitem radiação pulsada, como é o caso de V2116 Oph ou da parte óptica de certas fontes que apresentam transientes em raios-X. O estudo de estrelas e objetos isolados na DAS terá um grande impacto com a participação da Divisão na construção do imageador Spartan para o telescópio SOAR.

9.2.3 MEIO INTERESTELAR

A linha de pesquisa que trata da Radiofísica Molecular e do Meio Interestelar investiga tanto a emissão na faixa de rádio de linhas moleculares em nebulosas da Via Láctea, quanto a emissão de água em outras galáxias. Essas investigações estão voltadas basicamente para as regiões de formação de estrelas e têm como objetivo entender as condições físicas das nuvens de gás e poeira a partir das quais nascem as estrelas. Visando obter mais informações sobre as condições iniciais no processo de formação estelar, também é observada e analisada a emissão contínua dessas nebulosas na faixa do infravermelho.

A figura abaixo mostra três aspectos do glóbulo cometário S111, que se encontra na constelação de Vela. Glóbulos cometários são as menores e mais densas nuvens escuras do meio interestelar e são excelentes "laboratórios" para a análise da formação de estrelas de pequena massa, como o Sol. O quadro à esquerda mostra o aspecto aproximado desses objetos no óptico, sendo notórios os jatos estelares (prolongamentos brilhantes no alto da nuvem) decorrentes do processo de acréscimo de matéria da nuvem por parte da estrela em formação. O quadro do meio mostra o aspecto no infravermelho distante (100 micra), que indica basicamente a emissão de poeira a temperaturas moderadas (20 a 50 K). A estrela jovem, ainda embebida no glóbulo, aparece como fonte puntiforme. Por fim, o quadro à direita mostra a emissão do gás nas partes de maior densidade colunar do glóbulo, através de uma transição da molécula de $C^{18}O$.

Note que a estrela jovem está ligeiramente deslocada da região mais densa, que provavelmente foi seu lugar de nascimento.



Estudos das linhas espectrais de água e monóxido de silício também têm sido realizados em estrelas nos estágios finais de sua evolução, tendo como objetivo entender os processos dinâmicos das regiões onde essas emissões são geradas. As principais substâncias químicas estudadas nessas pesquisas são H₂O e SiO, que produzem emissão “maser” (*Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation*), e as moléculas NH₃, CS e CO, por meio de sua emissão térmica. Nessa linha de pesquisa também é desenvolvida instrumentação associada a espectrógrafos do tipo acústico-óptico e receptores criogênicos. Essas pesquisas têm sido efetuadas no Radiobservatório do Itapetinga e em cooperação com observatórios internacionais.

9.2.4 PULSARES E BURACOS NEGROS

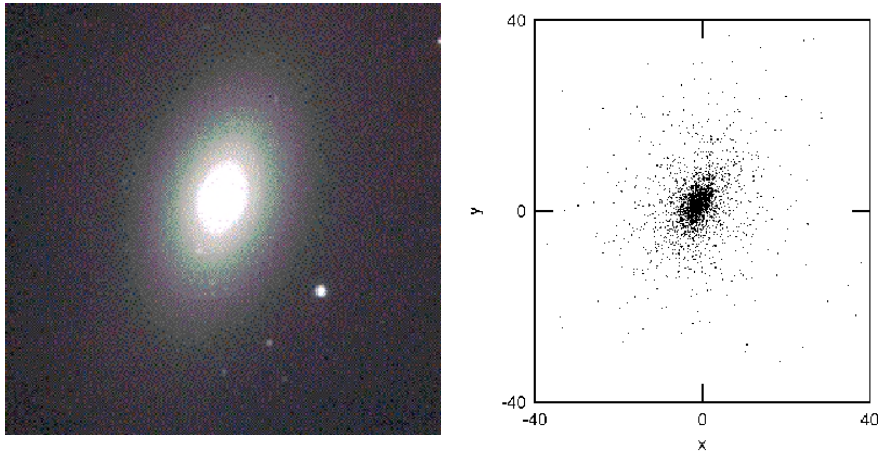
São realizados estudos sobre os mecanismos pelos quais algumas classes de objetos astrofísicos, tais como estrelas binárias de raios-X, pulsares, núcleos ativos de galáxias e buracos negros, constituem-se em fontes de emissão de radiação eletromagnética de altas energias (raios-X e gama). Essas fontes estão em geral associadas a objetos que sofreram colapso no final de suas vidas, tais como estrelas anãs brancas, estrelas de nêutrons e buracos negros. São temas correntes da pesquisa em altas energias no INPE os estudos de pulsares de raios X e de estrelas variáveis cataclísmicas.

As técnicas experimentais utilizadas envolvem observações dessas fontes por meio de detectores de radiação X e gama que são colocados a bordo de balões estratosféricos. O desenvolvimento de novos detectores, bem como de técnicas de detecção e de imageamento no domínio de raios X e gama, são esforços permanentes do INPE. São feitas também observações com telescópios ópticos de forma a complementar as informações obtidas em raios X e gama.

Pulsares e buracos negros são objetos cósmicos altamente intrigantes dadas as suas características singulares. Entender a Física responsável pela formação desses objetos pode ter desdobramentos enormes para outros ramos da ciência. Muito ainda precisa ser feito para que se possa entender em detalhes os mecanismos físicos responsáveis pela emissão eletromagnética de pulsares e buracos negros e a DAS tem contribuído bastante nesse sentido com a determinação de vários parâmetros que identificam esses objetos.

9.2.5 GALÁXIAS

Estudam-se as condições físicas reinantes nas galáxias e nas grandes estruturas por elas formadas, os aglomerados, e a sua origem e evolução em escalas de tempo cosmológicas. São realizados estudos, teóricos e observacionais, da dinâmica e evolução química de galáxias normais, assim como de galáxias que apresentam atividade peculiar (quasares e núcleos ativos de galáxias). Simulações numéricas de encontros e colapsos de galáxias também constituem tema de pesquisa nesta área.



Na figura acima são mostradas, à esquerda, uma imagem da galáxia elíptica M59, e, à direita, uma simulação computacional que reproduz as propriedades observadas neste tipo de galáxia (tamanho, brilho e velocidade das estrelas que a compõem).

A fotometria e a espectroscopia no visível, em telescópios brasileiros ou no exterior, constituem a principal fonte de dados nesses estudos. É desenvolvida instrumentação óptica eficiente e competitiva que é utilizada nos telescópios brasileiros.

9.2.6 RAIOS CÓSMICOS

Na pesquisa relacionada aos raios cósmicos, o objetivo é estudar as diferentes partículas que atingem a Terra vindas do espaço exterior, como prótons, elétrons e íons. Em particular, estudam-se as partículas aprisionadas nos cinturões de radiação que envolvem a Terra. Essas partículas são aprisionadas ao redor da Terra devido à influência do campo magnético terrestre. Elas são provenientes de várias regiões e fontes do Universo, desde as mais próximas, como o Sol, até as mais longínquas, como os meios interestelar e intergaláctico. Conhecendo as características dessas partículas, como energia e densidade numérica, pode-se conseguir várias informações sobre as regiões de onde elas foram geradas.

9.2.7 COSMOLOGIA

Em Cosmologia, a ênfase é dada ao estudo da Radiação Cósmica de Fundo em microondas ($\sim -270^\circ \text{C}$), em microondas, originária do *Big Bang*, a grande explosão da qual o Universo se originou, principalmente nos aspectos relacionados à sua distribuição espacial, que fornecem informações a respeito do processo de formação das estruturas que observamos no céu, como galáxias e aglomerados de galáxias. São realizadas observações com detectores de microondas e infravermelho embarcados em balões estratosféricos e satélites. Está sendo desenvolvido atualmente um experimento, em conjunto com instituições no exterior, capaz de obter dados que complementem os obtidos pelo satélite COBE. Esse instrumento fará vôos a bordo de balões estratosféricos por mais de 100 dias ao redor da Terra. São feitas também observações da emissão rádio da nossa galáxia com o objetivo de conhecer o grau de contaminação desse sinal nas medidas da Radiação de Fundo.

9.3 INSTRUMENTAÇÃO UTILIZADA

A pesquisa em Astrofísica visa entender a origem, evolução e destino do Universo e de seus componentes. Para isso é necessário obter dados ao longo de todo o espectro eletromagnético e mesmo fora dele, quando consideramos as ondas gravitacionais e as partículas de origem cósmica. Dessa forma, são utilizados instrumentos que operam no solo, como telescópios ópticos e radiotelescópios, e instrumentos no espaço, tais como telescópios e experimentos embarcados em balões, foguetes e satélites. Os pesquisadores da DAS utilizam-se praticamente de todo o arsenal de instrumentação disponível hoje em dia para coletar os dados relevantes para suas pesquisas.

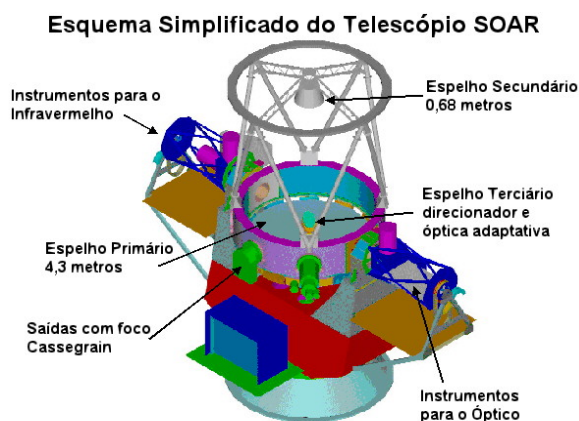
9.3.1 INSTRUMENTOS NO SOLO

9.3.1.1 TELESCÓPIOS ÓPTICOS:



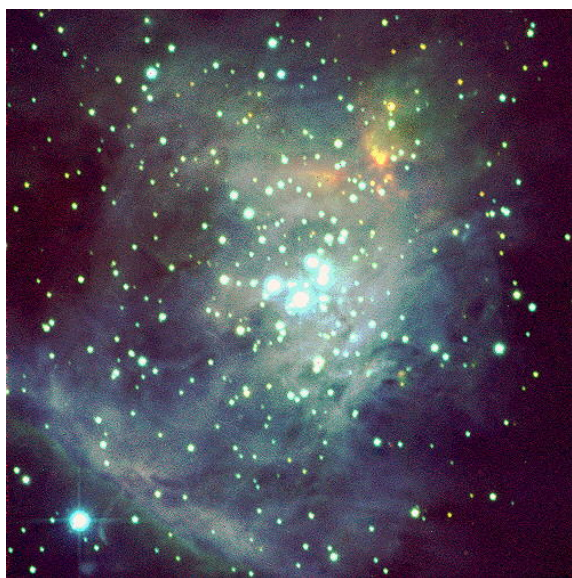
Os dados na região óptica e do infravermelho próximo são coletados pelos pesquisadores da DAS utilizando principalmente os telescópios do Laboratório Nacional de Astrofísica (LNA), do Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT). Esses telescópios estão instalados no sul de Minas Gerais, a 1864 m de altitude, no Pico dos Dias, município de Brazópolis. Diversas informações adicionais podem ser obtidas no “site” do LNA (www.lna.br). A figura ao lado mostra o principal telescópio do LNA. Trata-se de um refletor com espelho primário de 1,6 metros de diâmetro e configuração com focos Cassegrain e Coudé. O LNA possui ainda dois telescópios menores, de 60 cm de diâmetro, que são utilizados principalmente para fotometria.

Os pesquisadores da DAS utilizam também os telescópios de 8 metros do Projeto Gemini (ver www.gemini.edu), porém em condições restritas, uma vez que a comunidade brasileira dispõe de apenas 8 noites/ano nesses instrumentos. A partir de 2002 terá início a operação do telescópio SOAR (*Southern Observatory for Astrophysical Research*) de 4 metros de diâmetro (figura abaixo). Estima-se que os pesquisadores da DAS venham a utilizar o SOAR durante 15-20 noites/ano.



A DAS tem tido uma participação importante no desenvolvimento e/ou introdução de novos instrumentos para uso com os telescópios do LNA. Tal foi o caso da primeira câmara CCD criogênica, em 1987, no desenvolvimento do fotômetro rápido FOTRAP (em funcionamento há mais de 12 anos), no desenvolvimento do fotômetro rápido CCD e no projeto da Câmara Infravermelho (CamIV).

A CamIV está operando no LNA desde março de 1999 e foi construída com recursos do Pronex/IAG-USP gerenciados por pessoal da DAS. Trata-se de um imageador baseado no detetor HAWAII de 1024×1024 pixels, sensível na faixa 0,8 a 2,5 micra e refrigerado a nitrogênio líquido. O detetor pode ser utilizado no espectrógrafo Coudé fornecendo resoluções espectrais da ordem de 10000. No modo imageamento direto a CamIV produz um dos maiores campos de visada disponíveis para instrumentos dessa classe no Hemisfério Sul (8×8 minutos de arco).



A imagem ao lado mostra a grande Nebulosa de Órion, a partir de uma composição de imagens tomadas nas bandas J, H e K do infravermelho próximo. Como o Universo é muito mais transparente nesses comprimentos de onda, o instrumento é particularmente adequado para estudos de regiões de formação de estrelas (como em Órion) ou de regiões altamente obscurecidas pela poeira existente no plano galáctico.

Vários detalhes técnicos e resultados científicos da utilização da CamIV podem ser vistos na internet acessando <http://www.das.inpe.br/~chico/NIR/chnir.htm>

9.3.1.2 RADIOTELESCÓPIOS

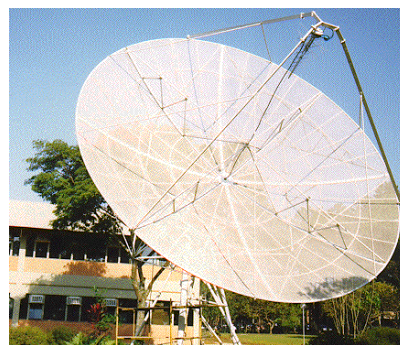
- *ROI*



O Rádio Observatório do Itapetinga (ROI), situado numa área de 3 alqueires dentro do município de Atibaia, SP, é o local onde se encontra a maior instalação destinada à radioastronomia no Brasil. Em funcionamento desde o início da década de setenta, é operado hoje pelo INPE e está à disposição de toda a comunidade científica nacional. Possui uma antena de 13,7 m de diâmetro capaz de receber sinais de frequência entre 1 e 150 GHz. São realizadas várias pesquisas astronômicas, incluindo as relacionadas a Física Solar, formação de estrelas, astronomia galáctica e extragaláctica. Na figura acima, é mostrada uma fotografia da redoma que envolve esse instrumento, protegendo-o de chuvas, ventos e outras variações climáticas.

- *ESPECTRÓGRAFO SOLAR BRASILEIRO*

O instrumento opera com uma antena de 9m de diâmetro (figura abaixo), que se encontra instalada na unidade do INPE de São José dos Campos, e é dedicado à observação da atividade solar em ondas de rádio decimétricas. Encontram-se instalados um espectrógrafo decimétrico de banda larga (200-2500 MHz), de alta sensibilidade e resolução, que fornece dados aos pesquisadores sobre as explosões solares. Encontra-se também em operação um receptor de frequência variável (18-23 GHz), um espectrômetro decimétrico de banda estreita com alta resolução temporal e espectral e um espectrômetro digital decimétrico de alta resolução e banda larga. Encontra-se em fase de desenvolvimento um espectrômetro milimétrico de frequência variável. Esta antena está em operação há alguns anos.



- *GEM*

O radiotelescópio GEM (do inglês *Galactic Emission Mapping* – Mapeamento da Emissão Galáctica) é fruto um projeto desenvolvido dentro de uma colaboração



internacional envolvendo pesquisadores da DAS e instituições dos Estados Unidos da América, Itália e Colômbia. Trata-se de uma antena de 5,5 m de diâmetro (mostrada na figura ao lado) capaz de operar com receptores rádio entre 400 MHz e 10 GHz. O objetivo é fazer um levantamento em forma de mapas de todo o céu em algumas frequências de rádio. É um instrumento dedicado a essa pesquisa e que opera 24 horas por dia durante todos os dias do ano obtendo dados. Naturalmente, são realizadas manutenções periódicas no instrumento e também realizadas viagens para instalá-lo em diversas localidades ao redor do globo terrestre. Esse instrumento já realizou observações nos Estados Unidos, na Colômbia, nas Ilhas Canárias, Espanha, no Pólo Sul, e está agora no Brasil, instalada no campus do INPE em Cachoeira Paulista, SP, onde deve operar por alguns anos.

9.3.1.3 OBSERVATÓRIO DE ONDAS GRAVITACIONAIS

O Projeto Gráviton é um esforço de cientistas brasileiros de diversas instituições (INPE, USP, UNICAMP, CBPF/LAFEX) para construir uma antena gravitacional ressonante capaz de observar sinais gravitacionais oriundos de fontes astrofísicas. A primeira detecção de ondas gravitacionais terá um impacto extraordinário na pesquisa em Física, não só porque confirmará uma previsão fundamental da Teoria da Relatividade Geral e testará várias teorias de gravitação, mas também porque representará a abertura de uma nova "janela" para estudar o Universo, permitindo observar fenômenos que seriam impossíveis de ser observados no espectro eletromagnético. A Antena Schenberg consistirá em uma esfera maciça, com 65 centímetros de diâmetro, feita de uma liga cobre-alumínio pesando 1150 kg. O telessensor será capaz de converter a energia das ondas gravitacionais em impulsos elétricos que serão amplificados por dispositivos supercondutores, digitalizados e,

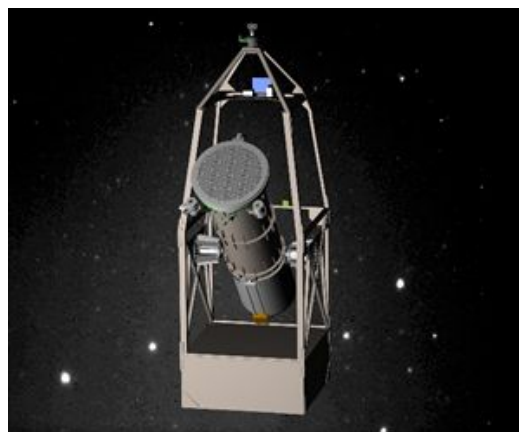
então, processados e analisados computacionalmente. Para minimizar ruídos externos o detector terá que ser mantido sob alto vácuo e refrigerado a temperaturas ultrabaixas, de ordem de 0,02 kelvin (ou - 273,14° C). A sensibilidade com que essa antena operará vai permitir detectar uma explosão de supernova ou o choque de duas estrelas compactas, que originalmente orbitassem entre si, se estes eventos ocorrerem até uma distância de 2 Mpc (7 milhões de anos luz). Isto inclui o Grupo Local de galáxias.

9.3.2 INSTRUMENTOS NO ESPAÇO

9.3.2.1 BALÕES

- *MASCO*

O Projeto MASCO tem como objetivo construir um telescópio que seja capaz de produzir imagens em raios X e gama de várias regiões do Universo. As emissões cósmicas nessas faixas de frequências só podem ser observadas a grandes altitudes, por causa da absorção da atmosfera terrestre. Para realizar essas observações, o telescópio será colocado a bordo de uma plataforma que será suspensa por um balão plástico cheio de hidrogênio. As observações serão realizadas a aproximadamente 42 km de altitude. O diâmetro do balão quando estiver totalmente inflado será superior a 100 m, o que equivale ao comprimento de um campo de futebol. Muitas vezes esses balões voam a mais de 120 km/h, o que exige que o sistema de controle de apontamento e estabilização em vôo seja altamente eficiente para manter o telescópio apontando para um alvo no céu independentemente do movimento do balão. A técnica utilizada para obter as imagens em raios-X e gama é conhecida como “**máscara codificada**”, daí o nome do projeto, que se originou das duas primeiras sílabas das palavras que formam o nome da técnica de imageamento empregada neste instrumento. O experimento, mostrado na figura acima, tem aproximadamente 7 m de



altura e pesa aproximadamente 2000 kg.

- *ACE*



O projeto ACE (*Advanced Cosmic Explorer*), uma cooperação científica entre a DAS, a Universidade da Califórnia, Santa Bárbara (EUA), a Escola de Engenharia de Itajubá, e o Jet Propulsion Lab (EUA), é um experimento concebido para estudar a distribuição angular da Radiação Cósmica de Fundo em microondas em escalas angulares entre $0,15^\circ$ e

10° . Ele será capaz de gerar um conjunto de mapas do céu na faixa de comprimentos de onda milimétricos (entre 25 e 100 GHz) com uma resolução melhor que 1° . O ACE é um projeto a ser lançado em balão estratosférico em vôos de longa duração ($t > 100$ dias). Ele será montado sobre uma plataforma estabilizada, sendo o conjunto gôndola-sistema óptico construído utilizando-se materiais compostos, o que tornará toda a estrutura extremamente leve. Versões antigas utilizaram espelhos comuns, do mesmo tipo empregado para medidas em microondas. Entretanto, no caso do ACE (mostrado em posição de lançamento a bordo de balão estratosférico na figura ao lado), o peso a ser carregado pelo balão estratosférico é um fator crítico. O projeto consistirá em quatro vôos de diferentes latitudes (sendo um do Brasil), cobrindo cerca de 75% do céu com a melhor combinação de resolução angular e sensibilidade já conseguida.

9.3.2.2 SATÉLITES

- *SAC-B*

O *Satélite de Aplicaciones Científicas* (SAC-B) foi um experimento de colaboração entre instituições científicas da Argentina, da Itália, dos EUA e o INPE, com a finalidade de estudar a emissão de raios-X do Sol. Foi o primeiro satélite construído pela Argentina e foi totalmente testado no INPE, tendo a participação de pesquisadores da DAS. Infelizmente, devido a uma falha do foguete Pegasus dos EUA, o satélite foi

perdido depois do lançamento, no final de 1996. De qualquer forma, os testes realizados pelo INPE mostraram que há domínio tecnológico no Brasil para testar com sucesso experimentos científicos espaciais.

- *SACI – 1*

O primeiro microssatélite brasileiro, SACI –1 (**Satélite Científico**) levou a bordo vários pequenos experimentos, dentre eles um experimento que contava com a participação de pesquisadores da DAS. Tratava-se do experimento ORCAS (**O**bservações de **R**aios **C**ósmicos **A**nômalos e **S**olares na **M**agnetosfera) que tinha a missão de monitorar a concentração e o fluxo de partículas como elétrons, Hélio, Neônio e Lítio na magnetosfera terrestre. O experimento ORCAS era dotado de dois telescópios, um secundário, denominado PRE, e um principal, denominado MAIN, capazes de observar o fluxo e o espectro dessas partículas, além da variação temporal de ambos durante as diferentes atividades solares. O experimento ORCAS foi o resultado de uma colaboração científica entre o INPE e instituições de pesquisa dos EUA e Japão. Infelizmente, o satélite apresentou falhas e os experimentos a bordo ficaram comprometidos.

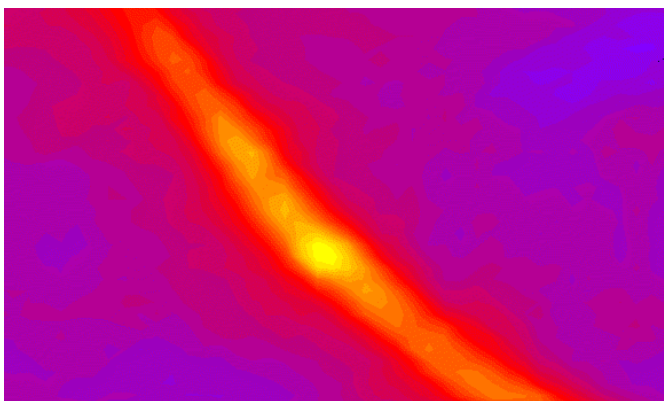
- *MIRAX*

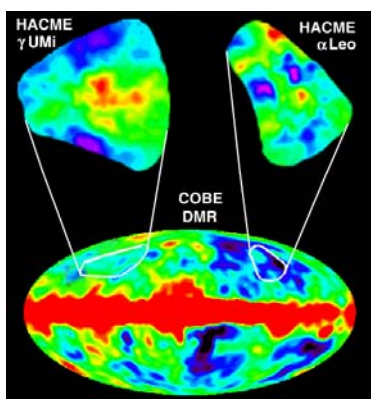
O novo programa de satélites científicos do INPE prevê o desenvolvimento de 3 satélites científicos, dedicados às áreas de Geomagnetismo, Aeronomia e Astrofísica. O conceito de uma câmera imageadora de raios-X foi selecionado para ser o principal experimento do satélite astrofísico desse programa. O experimento é um Monitor e Imageador de Raios-X Duros (MIRAX), constituído basicamente de um detector de última geração composto por uma liga de uma telureto de Cádmio e telureto de Zinco (CZT) com resolução espacial de 0,5 mm, 164 cm² de área e alta eficiência fotoelétrica até 200 keV, separado de 78 cm de uma máscara codificada de tungstênio de 0,5 mm de espessura, composta por uma repetição 2x2 de um padrão MURA (“Modified Uniformly Redundant Array” -- Arranjo Uniformemente Redundante Modificado) com elementos de 1,3 mm de lado. Essa configuração permite a obtenção de imagens

astrofísicas com resolução angular de ~ 6 minutos de arco num campo de visada de 38 x 38 graus. A massa do instrumento será de aproximadamente 50 kg e o consumo será de ~ 50 W. O instrumento será acomodado numa plataforma de satélite de 120 kg e terá dimensões compatíveis com o invólucro do Veículo Lançador de Satélites (VLS) desenvolvido no CTA. A órbita será equatorial circular a ~ 750 km de altitude. O principal objetivo científico da missão é realizar um monitoramento contínuo de uma ampla região contendo o Centro Galáctico e suas vizinhanças. Isso proporcionará pela primeira vez um estudo detalhado de fontes transientes de raios-X em todas as suas fases, além de estudos de microquasares, pulsares de acréscimo, buracos negros estelares, estrelas de nêutrons, restos de supernovas, núcleos ativos de galáxias e "bursts" de raios-gama. O instrumento possibilitará um estudo aprofundado da física relacionada aos processos de acréscimo, uma área extremamente importante em astrofísica moderna. O satélite deverá ser lançado entre 2005 e 2007 na base de Alcântara.

9.4 CONCLUSÃO

Os pesquisadores da DAS têm contribuído bastante para o avanço da Astrofísica em termos mundiais. Várias descobertas foram feitas graças às pesquisas realizadas no INPE. Essas contribuições incluem todas as áreas de pesquisa citadas acima. Por exemplo, em rádio e microondas foram descobertas estruturas peculiares presentes na emissão rádio do Sol, foram obtidos mapas da emissão da nossa galáxia que mostram características novas (na figura ao lado é mostrado um mapa em 1,465 GHz do centro da nossa galáxia feito a partir de dados coletados com o telescópio GEM em Cachoeira





Paulista, SP); foram realizadas observações da distribuição angular da Radiação Cósmica de Fundo em microondas (figura ao lado), revelando novas características que são fundamentais para a Cosmologia, e foram desenvolvidos vários sistemas que possibilitarão a obtenção de dados de melhor qualidade.

Em óptica e no infravermelho próximo foram adquiridas novas informações sobre sistemas binários com discos de acréscimo e contribuições significativas foram realizadas no campo de formação de galáxias. Estão também em andamento programas de estudo de objetos jovens nas regiões de formação de estrelas.

Em termos de avanços na área de instrumentação, vários sistemas foram desenvolvidos em todas os campos de atuação dos pesquisadores do INPE: conquistou-se o domínio da produção de componentes para receptores de rádio e microondas, foram realizados projetos ópticos de precisão, desenvolvidas técnicas de imageamento em óptica, raios X e gama, projetados e construídos sistemas automáticos de controle de plataformas espaciais, com o desenvolvimento de um sensor estelar, entre outros. As pesquisas em instrumentação astronômica realizadas pelo INPE são responsáveis pela quase totalidade da produção nacional na área.

As pesquisas desenvolvidas pelos pesquisadores da DAS são publicadas nos melhores periódicos técnicos e científicos do mundo, que possuem os mais rigorosos sistemas de avaliação da qualidade, importância e originalidade dos trabalhos a eles submetidos. Esses trabalhos também são apresentados nas principais reuniões técnico-científicas realizadas no Brasil e no exterior. As pesquisas realizadas pela DAS contribuem também para a formação de pessoas altamente qualificadas que são incorporadas aos vários segmentos produtivos brasileiros, seja da área técnico-científica ou de áreas correlatas, o que garante um retorno altamente importante para a sociedade brasileira.