

A radioastronomia na aurora da modernização da astronomia brasileira

Paulo Marques dos Santos
(Estação Meteorológica, IAG/USP)

Oscar Toshiaki Matsuura*
(MAST/MCTI e Programa HCTE/UFRJ)

Este Capítulo narra os períodos que antecederam a consolidação da radioastronomia no Brasil, bem como o apogeu atingido na década de 1970 quando o CRAAM estava incorporado ao ON, e o Rádio Observatório de Itapetinga (ROI) em Atibaia, SP, já operava seu radiotelescópio em 22 GHz. Realizando observações na raia de emissão do vapor de água, radioastrônomos do CRAAM competiam com colegas do exterior nessa linha de pesquisa considerada de ponta na época, tendo superado os australianos na detecção do primeiro *mega-maser*** extragaláctico na galáxia austral NGC-4945. Após a divisão do CRAAM entre o ON e o INPE, a radioastronomia jamais se consolidou como grupo independente, embora seus pesquisadores viessem a desempenhar papéis importantes nas instituições por onde passaram.

* Professor associado aposentado do Departamento de Astronomia do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG) da Universidade de São Paulo (USP).

** *Mega-maser*: fonte de H₂O muito intensa na emissão *maser*.

Os primórdios na AAA-SP

Em 1959, enquanto no IAG/USP (Instituto Astronômico e Geofísico da USP) procurava-se desenvolver projeto de **radioastronomia** iniciado em 1958 (ver o Capítulo “Chegada da astronomia oficial a São Paulo” no Volume I), levando em conta os registros bem-sucedidos da radioemissão solar em 108 MHz com o radiointerferômetro nessa frequência, destinado às observações do satélite artificial norte-americano Explorer I (Marques dos Santos, 2005: 139), um grupo de astrônomos amadores da antiga Associação de Astrônomos Amadores de Astronomia de São Paulo (AAA-SP), liderado por Pierre Kaufmann da Universidade Mackenzie, criou na mesma um Departamento de Rádio Astronomia. Por iniciativa desse grupo formado por técnicos, radiotécnicos e alunos da Universidade Mackenzie, foi elaborado projeto para a construção de radiotelescópio na frequência de 300 MHz (comprimento de onda de 1 m) com antena parabólica, cujo refletor era um paraboloide de revolução construído com tela de arame, de 30 m de diâmetro e distância focal de 21 m. O conjunto todo, com a abertura da antena voltada para o zênite, foi fixado no solo constituindo um instrumento de **passagem meridiana** dos astros, tirando proveito da rotação da Terra. A frequência escolhida para a operação desse instrumento foi a de 300 MHz por ser uma frequência que, na época, era pouco influenciada por interferências radioelétricas artificiais.

O programa observacional com esse instrumento objetivava levantamento da distribuição e da intensidade das radioemissões da região central da **Galáxia**, levando em conta que essa região tem suas **passagens meridianas** próximas do zênite local, o que facilitava esse tipo de observação. Em certas épocas do ano era possível também realizar observações da radioemissão do Sol nas suas passagens pelo meridiano local (**passagens meridianas**).

Esse radiotelescópio (Figura 1), o primeiro construído no Brasil, contou com auxílio financeiro da própria AAA-SP e com a colaboração da Prefeitura Municipal de São Paulo. Com efeito, ele foi instalado no Parque Ibirapuera, do município de São Paulo, onde funcionava a sede da AAA-SP que havia sido transferida da rua Mauá para as dependências da Escola Municipal de Astrofísica, junto ao Planetário municipal. O radiotelescópio foi inaugurado pelo prefeito da cidade, Adhemar Pereira de Barros, no aniversário da cidade em 1960. O Planetário tinha sido inaugurado em 1957 e a Escola Municipal de Astrofísica seria inaugurada em 1961.

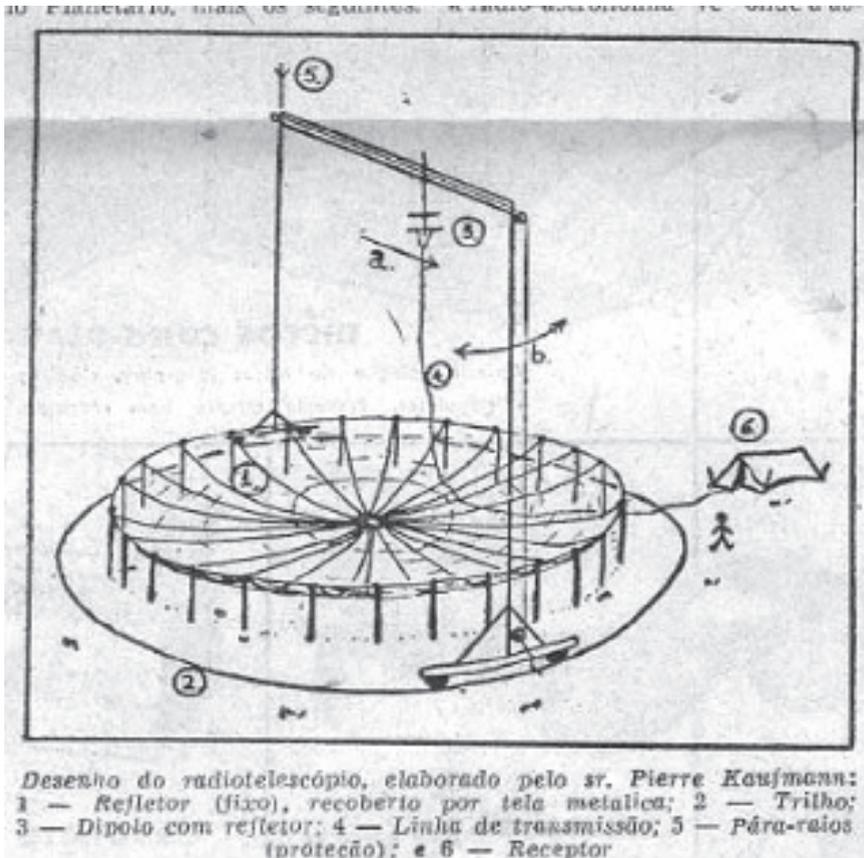


Figura 1. Desenho esquemático do radiotelescópio de 30 m de diâmetro que chegou a ser construído no Parque Ibirapuera, em São Paulo (Kaufmann, 2004)

Mas, devido à destruição do refletor parabólico da antena por vacas soltas no Parque menos de um mês após a sua inauguração, o radiotelescópio teve curta vida (Kaufmann, 2004).

A criação do GRAM

Na Universidade Mackenzie, o então diretor da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, professor Willie A. Maurer, por meio de comunicado interno datado de 23 de setembro de 1960, determinou que fosse constituído junto a essa Faculdade, sob a supervisão de Pierre Kaufmann, o Grupo de Rádio Astronomia Mackenzie (GRAM), anexo ao Departamento de Física Geral

e Experimental. Por meio de convênio, as atividades que vinham sendo desenvolvidas desde março de 1960 no Departamento de Rádio Astronomia da AAA-SP por membros que, na maioria, eram alunos da Universidade Mackenzie, foram anexadas ao GRAM, conferindo assim cunho acadêmico a essas atividades. Nessa fase foi construído o segundo radiotelescópio brasileiro, um radiotelescópio experimental com antena helicoidal de treze espiras, em montagem **equatorial**, operando também na frequência de 300 MHz (Figura 2). Esse radiotelescópio ficou pronto em 1961 e foi destinado inicialmente para a observação de **passagens meridianas** do Sol. Instalado no terraço da Escola Municipal de Astrofísica produziu bons registros da radioemissão solar, ficando comprovado o seu desempenho para o monitoramento contínuo do Sol, desde que contasse com sistema de rastreamento automático, sendo assim encerrada a fase preliminar desses ensaios.

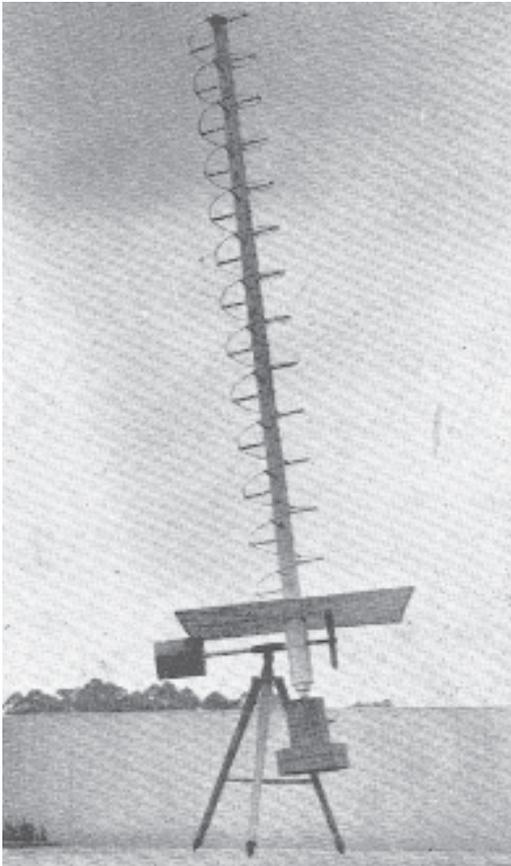


Figura 2. Antena helicoidal de 12 espiras para operar em 300 MHz (Kaufmann, 1963)

Em 1962, ainda instalado na Escola Municipal de Astrofísica do Parque Ibirapuera, mas já ligado à Universidade Mackenzie, o Departamento de Rádio Astronomia da AAA-SP recebeu da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) auxílio financeiro para ser aplicado em bolsas de estudos e em equipamentos necessários às suas atividades. Com parte desse auxílio foi possível construir no período de 1962 a 1963 outro radiotelescópio na frequência de 300 MHz. Esse novo radiotelescópio tinha antena parabólica de 5,2 m de diâmetro em montagem **altazimutal** com apontamento manual (ver Figura 3 adiante). A **largura do feixe a meia-potência (HPBW)** era de 15°.

Essa antena era a que o IAG/USP tinha recebido, por doação, do Instituto de Pesquisas da Marinha para o projeto de **radioastronomia** que pretendia desenvolver em 1958, que se encontrava abandonada na época nas dependências da oficina mecânica do Departamento de Física Geral e Experimental da USP, na Cidade Universitária, e foi doada à AAA-SP. Montada inicialmente no terraço da Escola Municipal de Astrofísica, aí foram realizadas observações do centro da **Galáxia** e do Sol durante as **passagens meridianas** dessas fontes por quatro meses em 1963. Mas, o aumento das interferências radioelétricas artificiais passaram a prejudicar as observações. Também a AAA-SP foi extinta nessa época e os membros do GRAM se dispersaram, cada um procurando seguir suas atividades profissionais.

Para superar essas dificuldades foi feito, por breve período de tempo entre 1963 e 1964, acordo de cooperação entre a AAA-SP/GRAM e a Comissão Nacional de Atividades Espaciais (CNAE), pelo qual os equipamentos radioastronômicos que se achavam instalados no Parque Ibirapuera seriam instalados nas dependências da CNAE em São José dos Campos, SP. Nessa época havia sido proposto também projeto para a construção de um radiointerferômetro na frequência de 40 MHz, em alinhamento L-O para observações da cintilação (ionosférica¹) de radioestrelas, mas esse projeto jamais foi realizado.

Rádio Observatório do Umuarama

Em virtude do surgimento de problemas relativos à manutenção dos equipamentos da AAA-SP/GRAM instalados na CNAE, que só poderia ser realizada nos fins de semana, chegou-se à conclusão de que seria necessário buscar novo local para a instalação definitiva dos equipamentos, ou seja, construir estação própria em local conveniente.

¹ Ver **Ionosfera**.

Coincidentemente, em 1964 o GRAM obteve da Universidade Mackenzie a aprovação de programação básica para a subsistência das suas pesquisas, como também a verba necessária para a instalação de estação própria. O novo local escolhido para a estação definitiva foi a área do Umuarama no município de Campos do Jordão, SP, na Serra da Mantiqueira, próximo ao antigo Hotel Umuarama. Para a instalação da estação foram aproveitadas as instalações já existentes no local pertencentes ao Instituto Mackenzie, entidade mantenedora da Universidade Mackenzie, que se encontravam desativadas (Figura 3).



Figura 3. O Rádio Observatório do Umuarama em Campos do Jordão, SP, vendo-se da esquerda para a direita a antena de 1,5 m do radiopolarímetro em 7 GHz e a antena de 5,2 m do receptor em 300 MHz (Kaufmann, 1968)

A escolha de Campos do Jordão foi feita não só pelo fato de existirem facilidades locais, mas também pelas condições meteorológicas satisfatórias e pela pouca ou nenhuma interferência de ruídos radioelétricos artificiais. A transferência dos equipamentos do GRAM para o novo local ocorreu em agosto de 1964. As atividades que ali passaram a ser desenvolvidas foram o rastreamento contínuo do Sol em 300 MHz com a antena helicoidal, determinação diária do fluxo da emissão solar, também em 300 MHz, durante alguns trânsitos do Sol pelo feixe da antena parabólica de 5,2 m, em diferentes distâncias zenitais com apontamentos executados manualmente e um outro programa com equi-

pamento em VLF (*Very Low Frequency*) para medir o ruído da **ionosfera** terrestre e suas variações no amanhecer e anoitecer e na ocorrência de erupções solares (ver **Fulguração solar**).

Ficou assim constituído o Rádio Observatório do Umuarama, o primeiro radiobservatório instalado no Brasil que tinha as seguintes coordenadas: $\varphi = 22^{\circ} 46' S$ e $\lambda = 45^{\circ} 35,5' O$ a 1.750 m de altitude, distando 190 km de São Paulo.

A área a ser ocupada pelo GRAM poderia ser também utilizada para projetos futuros de maior envergadura, mas havia restrição técnica que impedia a instalação de radiointerferômetros: o excesso de ondulações no terreno.

Convênios internacionais. Radiopolarímetro de 7 GHz

Nessa época, por indicação da FAPESP da qual já tinha recebido vários auxílios, o GRAM submeteu novos projetos aos “Anúncios de Oportunidade” do Escritório de Pesquisas para Defesa dos Estados Unidos (DROLA), do Escritório Científico Regional dos Estados Unidos para a América Latina (*U. S. Regional Science Office for Latin America*). Os projetos eram de propagação de ondas VLF e de **radioastronomia** solar. Ambos foram aprovados. O primeiro previa o desenvolvimento de dois programas de radiopropagação VLF que deveria durar 5,5 anos (meio ciclo solar) e o segundo, a aquisição de um radiopolarímetro na frequência de 7 GHz. Ambos os projetos foram devidamente endossados pelo diretor da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras e pelo reitor da Universidade Mackenzie.

O radiopolarímetro foi encomendado à firma *Shimada Physical and Chemical Industries Corporation Ltd.* em Tóquio. Ele era composto por antena parabólica com diâmetro efetivo de 1,52 m e distância focal de 58,7 cm (Figura 3), tendo no foco uma caixa contendo a unidade de radiofrequência (*front end*). Uma corneta cônica funcionava como alimentador, captando a radioemissão total do Sol na banda em torno da frequência de operação, que era decomposta em duas componentes, uma com polarização circular à direita (R) e outra à esquerda (L). A decomposição era feita por meio de **placa de um quarto de onda** localizada atrás da corneta, de onde saíam dois guias de onda — um para cada polarização circular —, conectados à unidade de RF (Rádio Frequência) com saída para o *back end*, um receptor **super-heteródino** instalado numa grande caixa presa à parte traseira da antena, daí saindo os cabos com os sinais para um sistema de aquisição de dados instalado numa sala do prédio do Observatório.

O conjunto todo estava instalado numa montagem **equatorial** para o rastreamento automático do Sol. Na frequência em que operava, a antena tinha um ganho de 3 dB (rendimento de 50% na captação da radiação incidente) na direção do eixo principal e uma **largura de feixe (HPBW)** de 1,8°. Só para termo de comparação, o diâmetro do disco solar tem aproximadamente 0,5°.

O eclipse solar de Bagé, RS

O radiopolarímetro foi recebido em 1966 e inicialmente instalado nas dependências da Universidade Mackenzie em São Paulo, para os devidos ajustes e testes, antes de ser transportado para Bagé, RS, para as observações do eclipse total do Sol de 12 de novembro de 1966. Sua instalação definitiva no Rádio Observatório do Umuarama foi adiada para depois desse eclipse. A faixa de totalidade do eclipse cruzava o Estado do Rio Grande do Sul e a cidade de Bagé, situada nessa faixa, oferecia condições astronômicas e logísticas bastante favoráveis para as observações.

Isso representava também excepcional oportunidade para a realização no Brasil da primeira observação radioastronômica de um eclipse solar, o que de fato aconteceu. Nessa ocasião foi registrada a “curva de luz” do eclipse em 7 GHz conforme o Sol foi eclipsado pela Lua, assim como a respectiva polarização circular em dois canais, R e L (Figura 4). A partir desses dados brutos foi deduzida a distribuição do brilho sobre o disco solar nessa frequência, analisada a intensidade e polarização da radioemissão de duas regiões ativas então presentes no disco solar, sendo uma magneticamente bipolar e a outra unipolar; determinada a intensidade e polarização da radioemissão residual quando o Sol se achava totalmente eclipsado (Kaufmann *et al.*, 1969). A obtenção de informações sobre a polarização circular conferiu a essa observação o caráter de ineditismo. Da análise dos dados obtidos nesse eclipse foram preparados trabalhos científicos que foram publicados em diversos periódicos internacionais. Além do êxito científico, esse eclipse teve também importante papel histórico na constituição da comunidade astronômica brasileira, pois o eclipse propiciou o encontro de astrônomos de diversas instituições que mal se conheciam. No vigésimo aniversário do eclipse foi publicado artigo (Marques dos Santos e Matsumura, 1987) não só para relembrar o sucesso do eclipse para a **radioastronomia** brasileira, mas também para registrar um dos primeiros encontros que esse eclipse propiciou, de astrônomos de diversas instituições brasileiras (ON, IAG/USP, ITA, GRAM e UFRGS) que vivenciaram então a sensação de que uma comunidade astronômica brasileira estava para nascer.

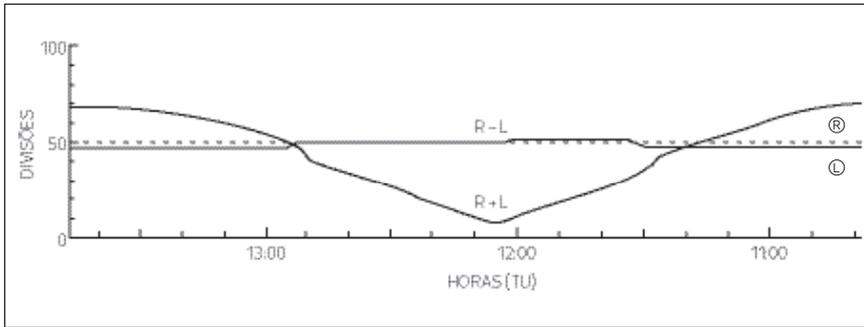


Figura 4. Registro das observações radioastronômicas do eclipse solar de Bagé com o radiopolarímetro em 7 GHz (Arquivo do autor PMS)

Retornando de Bagé, o radiopolarímetro foi instalado no Rádio Observatório do Umarama em março de 1967, realizando a partir daí observações diárias do fluxo total da radiação solar em 7 GHz e de sua polarização circular. No curso dessas observações foram flagradas explosões solares associadas às **fulgurações solares** (*flares*) cujos estudos proporcionaram inúmeros trabalhos inéditos de pesquisa na área de **radioastronomia** solar, sobretudo porque a polarização circular da emissão solar era então assunto pouco tratado no hemisfério ocidental, já que a maioria dos radiopolarímetros existentes estava instalada no Japão.

Em 1968, devido à sua expressiva produção científica, através de ato da reitora Esther de Figueiredo Ferraz, o GRAM passou a se chamar CRAAM (Centro de Rádio Astronomia e Astrofísica Mackenzie) e se tornou um órgão efetivo da Universidade Mackenzie.

A pós-graduação em astrofísica do CRAAM

Em 1969 foi criado no CRAAM o curso de pós-graduação na área de **astrofísica**, uma vez que o CRAAM já tinha sido aprovado como Centro de Excelência pelo CNPq (Processo 8354/68), o que permitiu o seu credenciamento para a pós-graduação pelo Conselho Federal de Educação (CFE) do Ministério de Educação e Cultura (MEC) pelo Processo 1314/69. O êxito obtido pelo CRAAM nas suas pesquisas foi decisivo para a sua consolidação como centro de pesquisa e de pós-graduação em **astrofísica**. No parecer do CFE sobre a criação da pós-graduação, o corpo docente das disciplinas especializadas, que foi considerado qualificado para as atividades em nível de mestrado, era constituído por Pierre Kaufmann, Sahadev Ananthakrishman, Dipak Basu, Mangalathayl Ali Abdu, Eugenio Scalise e PMS.

Quanto às disciplinas básicas obrigatórias, foram feitos convênios com o Instituto de Física (IF) da USP e com o Instituto de Física Teórica (IFT) de São Paulo. O curso de pós-graduação foi iniciado com total de 16 disciplinas e com 7 alunos matriculados em tempo integral. As primeiras dissertações foram apresentadas em 26 de janeiro de 1973 pelo autor OTM deste texto, sobre a dissipação de energia magnética em explosões solares e em 2 de março daquele ano pelo outro autor deste texto, PMS, sobre alguns parâmetros da coroa solar conhecidos por radiobservações de eclipse solares, seguidas por várias outras ao longo do tempo.

Com a incorporação do CRAAM ao ON (Observatório Nacional), o curso de pós-graduação em **astrofísica** ficou também incorporado a este último, onde permanece até hoje.

O projeto “Milimack” e o ROI

Por outro lado, o desenvolvimento da **astrofísica** indicava que os recursos experimentais do CRAAM no Rádio Observatório do Umuarama eram insuficientes, sendo necessário pensar em projetos experimentais mais atualizados. Nessa época o Rádio Observatório do Umuarama já vinha apresentando problemas no fornecimento de energia elétrica e também se pensava em transferi-lo para mais perto de São Paulo, considerando o longo tempo que se perdia na viagem de São Paulo a Campos do Jordão e vice-versa. Mas a procura de um novo local estava obviamente condicionada às características de novo projeto que viesse a ser programado.

Primeiramente foi considerada a construção de um radiointerferômetro solar em micro-ondas com **linha de base** de cerca de 2,5 km, composto por algumas antenas igualmente espaçadas para se ter uma **largura de feixe** bastante estreita para observações solares. Mas, nas vizinhanças da cidade de São Paulo não foi possível encontrar terreno suficiente plano para essa finalidade. Pensou-se então na possibilidade de um projeto com instrumento mais compacto, por exemplo, um radiotelescópio com antena parabólica de dimensões médias, com eficiência suficiente para realizar observações em ondas milimétricas em diversos tipos de programas de pesquisa. Nesse contexto foi elaborado projeto denominado “Milimack” que envolvia a aquisição de um radiotelescópio de precisão para ondas milimétricas. Como já estava programada a transferência do Rádio Observatório do Umuarama para as proximidades de São Paulo, a escolha do local para essa transferência ficou vinculada às condições exigidas pelo projeto “Milimack”. Foram considerados essenciais, entre outros critérios,

a alta ocorrência de dias claros, baixo nível de interferências radioelétricas artificiais, condições climáticas favoráveis e proximidade de São Paulo. Em razão desses requisitos a procura desse local ficou limitada à região entre São Paulo e Atibaia, SP que, por ser considerada área de mananciais, foi sempre protegida contra a instalação de indústrias poluidoras do meio ambiente. Depois de terem sido analisados vários pontos quanto à viabilidade da instalação do novo radiobservatório, o local considerado como o mais apropriado foi uma área de aproximadamente três alqueires de terra que apresentava configuração ligeiramente côncava, o que constituía fator importante para a proteção do local contra radiointerferências espúrias.

A área em questão fazia parte de uma fazenda no município de Atibaia, SP, situada nas proximidades do pico do Itapetinga, não muito distante do pico da Pedra Grande, o mais alto da região. A área foi adquirida por Waldemar Clemente, membro do Conselho Deliberativo do Instituto Mackenzie, e doada ao CRAAM para a instalação do radiobservatório que veio a ser denominado Rádio Observatório do Itapetinga (ROI).

No início dos anos 70 foram para lá transportados todos os equipamentos que se encontravam em operação no Rádio Observatório do Umuarama, exceto o radiopolarímetro em 7 GHz que deveria ser transportado para os Estados Unidos para realizar observações radioastronômicas do eclipse solar de 7 de março de 1970 com o Radiobservatório de Sagamore Hill, do *Air Force Cambridge Research Laboratories* (AFCRL) em Hamilton, perto de Boston, MA, onde o eclipse seria parcial, com magnitude 0,96. Para as observações pretendidas isso não trazia nenhum problema, pois o radiodímetro do Sol em 7 GHz é maior que o diâmetro óptico. O interesse dos norte-americanos nessas observações com o radiopolarímetro era a obtenção das medidas de polarização circular, pois, nessa época, eles não contavam com nenhum radiopolarímetro na região do eclipse. Nas observações realizadas durante esse eclipse, as medidas do fluxo total da emissão solar foram excelentes (Kaufmann and Matsuura, 1968), mas as medidas de polarização não tiveram suficiente resolução instrumental. Retornando ao Brasil em outubro de 1970, após interrupção de dez meses, o radiopolarímetro em 7 GHz foi definitivamente instalado no ROI.

Dentro do projeto “Milimack” foi iniciada a procura de um radiotelescópio de precisão para ondas milimétricas e, entre outras opções, foi encontrada nos Estados Unidos a firma *Electronic Space System Corporation* (ESSCO) sediada em Concord, MA, especializada na fabricação de antenas para observações de satélites artificiais e que acabava de desenvolver um projeto para a fabricação de antenas destinadas a observações radioastro-

nômicas dentro de nova concepção denominada “Sistema Sinérgico Redoma-Antena-Pedestal” em que os três elementos só podiam ser utilizados conjuntamente, configuração essa que se adequava bastante bem ao projeto “Milimack”.

Encontrado o equipamento e depois de efetuadas as estimativas de custo, o projeto “Milimack” foi encaminhado às agências financiadoras. O projeto foi aprovado com parte do financiamento proveniente do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico (BNDE) e do Fundo Técnico Científico (FUNTEC), tendo recebido complementação do CNPq.

A redoma do sistema sinérgico do projeto “Milimack” tem 19,4 m de diâmetro (Figura 5). Com armação de alumínio extrudado e recoberta com uma membrana de plástico especial de material laminado desenvolvido pela fabricante, ela é transparente às ondas eletromagnéticas em que o radiotelescópio opera. Na superfície externa da membrana foi aplicada camada muito fina de uma tinta especial para evitar a corrosão e também para impedir a formação de qualquer película de água, que poderia prejudicar as radiobservações.



Figura 5.
A redoma de 19,4 m de diâmetro do radiotelescópio para ondas milimétricas do ROI em Atibaia, SP (Kaufmann *et al.*, 1976a)

A antena tem refletor primário parabólico com 13,7 m de diâmetro, composto por painéis de alumínio leve que formam uma superfície refletora com precisão de 0,3 mm, proporcionando ótimo desempenho na faixa de frequência

de 10 a 100 GHz (Figura 6). A antena tem também refletor secundário hiperbólico do tipo *Cassegrain* montado em um quadripé colocado na parte frontal do refletor primário, sendo que ambos bloqueiam 2,5% da abertura total em 22 GHz. Nessa frequência a antena tem uma **largura de feixe** de 4°.

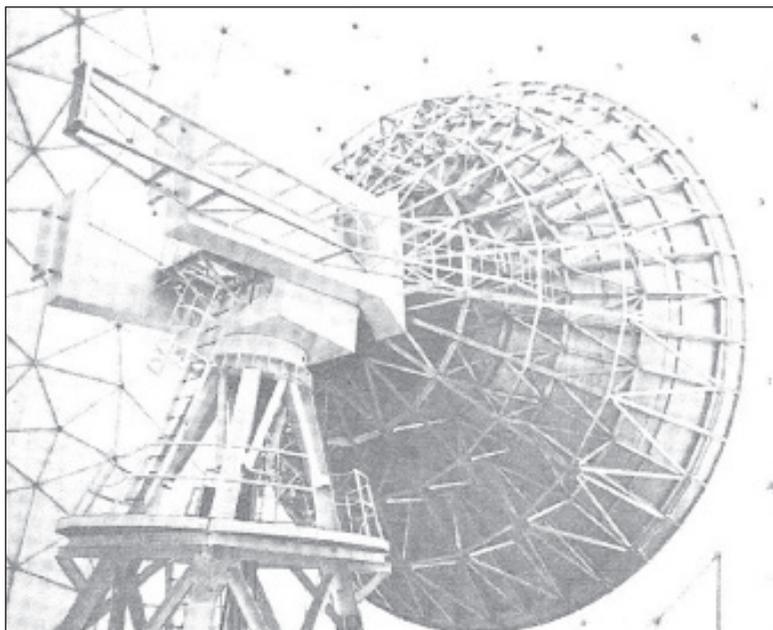


Figura 6. A antena de 13,7 m para ondas milimétricas no interior da redoma, vista por trás (Kaufmann et al., 1976a)

Todo esse conjunto está fixado a uma montagem **altazimutal** cujos movimentos são feitos por dois motores elétricos para cada eixo. Na configuração inicial a montagem **altazimutal** possuía servomecanismos comandados por computador de pequeno porte HP211B com 8 K de memória, que convertia as coordenadas celestes (ascensão reta e **declinação**) em coordenadas topocêntricas (**altura** e **azimute**) para o rastreamento das radiofontes. Codificadores de posição acoplados a cada eixo forneciam leituras com resolução de 1 milésimo do grau (3,6") e de 0,5 milésimo do grau no mostrador digital luminoso, podendo o sistema também ser operado manualmente, quando a antena podia ser movimentada com diferentes velocidades.

A escolha da frequência de operação do radiotelescópio exigiu estudo à parte. Na década de 60 foram descobertas no **meio interestelar** radioemissões em linhas moleculares. No fim da década foi descoberta a radioemissão da li-

na molecular da água na frequência de 22,235 GHz (comprimento de onda de 1,35 cm). A intensidade relativamente forte dessa linha despertou o interesse de vários radiobservatórios na época. Como no projeto “Milimack” ainda não estava definida qual frequência seria utilizada, pensou-se que seria oportuno colocar no foco da antena um receptor na frequência de 22 GHz.

Entretanto a utilização dessa frequência não era trivial devido a uma forte atenuação pela água presente na atmosfera terrestre. Essa atenuação é consequência da interação ressonante da onda eletromagnética com o dipolo elétrico da molécula de água (H_2O) em 22 GHz, donde resulta um acentuado pico de absorção das ondas eletromagnéticas pelo vapor de água. Assim, a recepção da radiação nessa frequência no contínuo, ao nível do solo, fica bastante comprometida e a atenuação será tanto maior, quanto maior for o conteúdo de vapor de água no local da observação podendo, em casos extremos, até mesmo inviabilizar a observação. Desse modo, para se ter segurança quanto à utilização dessa frequência, foi necessário avaliar previamente a viabilidade de utilizá-la nas condições observacionais reinantes no ROI e que resultados poderiam ser esperados. Para isso, estudo radiometeorológico local foi realizado por PMS para avaliar quantitativamente os valores máximos e mínimos de atenuação que poderiam ser esperados. Como essa atenuação depende fundamentalmente do teor de umidade no perfil vertical da atmosfera, foi necessário calcular esse teor em termos de água precipitável, um fator meteorológico que pode ser obtido diretamente a partir de radiossondagens meteorológicas ou calculado a partir de dados sobre a temperatura do ponto de orvalho na superfície. Os dois métodos foram utilizados: o primeiro para um único ano em que os dados de radiossondagem eram disponíveis e o segundo para comparar com os resultados obtidos com o primeiro método e determinar o coeficiente de correlação com o objetivo de se estabelecer uma extrapolação para um período mais longo.

Desse estudo foi possível concluir que as radiobservações no **espectro** contínuo na frequência de 22 GHz eram viáveis no ROI. No caso de observações nessa linha do vapor de água não havia restrições, pois, pelo efeito Doppler, a frequência resultante estaria deslocada em relação ao pico de absorção. Assim sendo, essa frequência foi escolhida para o receptor do radiotelescópio.

O radiômetro para 22 GHz é um receptor normal com sistema **super-heteródino** que, no projeto, opera com duas cornetas colocadas no foco do refletor. A disposição das cornetas é tal que no foco fica a corneta principal e, um pouco afastada do foco, fica a corneta de referência, sendo o afastamento o suficiente para produzir duas aberturas de feixe no espaço, separadas aproximadamente 9°. Com essa configuração pode-se aplicar um método que alterna os feixes na ob-

servação chamado método de comutação por duplo feixe. A comparação entre os sinais de ambos os feixes possibilita minimizar as influências atmosféricas.

A instalação do radiotelescópio ocorreu no período de outubro a dezembro de 1971. Nessa época o grupo de pesquisadores do CRAAM era constituído por Pierre Kaufmann, Eugenio Scalise Jr., Ricardo Ernesto Schaal, PMS, Jacques R. D Lépine, Dipak Basu, Sahadev Anantakrishna, Liliana Rizzo Piazza, Maria Helena Paes de Barros e M. A. Abdu.

Uma vez instalado o radiotelescópio e depois de realizados os testes básicos e ajustes finais ainda sem o receptor de 22 GHz, foram realizadas em março de 1972 algumas observações experimentais usando o *front-end* do radiopolarímetro em 7 GHz no foco da antena de 13,7 m. Em 1972, nos meses de junho a setembro foram realizados testes com o receptor de 22 GHz construído no próprio CRAAM com peças importadas, com a finalidade de determinar as características eletromagnéticas da antena quanto ao seu desempenho e otimização, tendo sido também realizadas observações dos planetas Vênus e Júpiter. Terminados os testes, ainda em 1972 foram iniciadas as observações regulares de algumas radiofontes conhecidas, como UV Ceti (**anã vermelha** sujeita a erupções), BL Lac, 3C 120 e OB287 (**galáxias com núcleo ativo**), identificando suas variabilidades.

Em junho de 1973 foram iniciadas as primeiras observações de **masers galácticos** na raia de emissão molecular do vapor de água em 22 GHz, com o mero objetivo de reobservar fontes já detectadas pelo radiotelescópio de Parkes, na Austrália. Entretanto, durante essas observações foram identificadas duas novas fontes, uma na região compacta H2-3 e indícios de outra no complexo protoestelar ρ (rô) do Ofiúco.

O ROI foi oficialmente inaugurado em 20 de outubro de 1973 com a presença de autoridades. No início de 1974 foram realizadas várias observações **extragalácticas** no contínuo com algum sucesso, como o mapeamento da região central da radiofonte Centaurus A, associada à **galáxia** austral NGC 5128.

Programa VLBI

Em 1974, dentro de acordo bilateral Brasil-Estados Unidos assinado em 1972 pela *National Science Foundation* (NSF) por parte dos Estados Unidos, e pelo CNPq por parte do Brasil, foi firmado acordo de cooperação para desenvolver um programa de observações radioastronômicas de repercussão internacional usando nova técnica radiointerferométrica denominada VLBI (*Very Long Baseline Interferometry*) ou interferometria com **linha de base** muito longa, do qual participaria o ROI, do CRAAM, em Atibaia, SP, e o *Haystack Radio Obser-*

vatory da *Northeast Radio Observatory Corporation* (NEROC) de Boston, MA. Essa operação conjunta dos dois radiobservatórios separados 7.200 km um do outro, realizando observações simultâneas na mesma frequência, equivaleria a observações de um único radiotelescópio com essa **linha de base**. No último trimestre desse ano de 1974, veio ao Brasil o radioastrônomo norte-americano Stanley H. Zisk para estabelecer os detalhes relativos ao convênio, trazendo um amplificador a efeito *maser* em 22 GHz, inteiramente desenvolvido em Haystack, para ser instalado no receptor do ROI, pois para o desenvolvimento do projeto VLBI era necessário que os receptores dos dois radiobservatórios utilizassem esse tipo de amplificador.

O amplificador a efeito *maser*, sendo resfriado com hélio líquido, atinge uma temperatura de 150 K e possui baixo nível de ruído interno. É extremamente eficiente na amplificação das ondas eletromagnéticas e possibilita a detecção dos sinais muito fracos das emissões cósmicas em micro-ondas.

A técnica VLBI era bastante sofisticada e requeria recursos técnicos de fronteira na época, incluindo relógios atômicos especiais de alta estabilidade que ainda não eram utilizados no Brasil, os chamados padrões atômicos de tempo e frequência de hidrogênio, bem como terminais tipo Mark I ou Mark II para gravações de alta **resolução** temporal. Em 1976 o CRAAM recebeu por empréstimo temporário um oscilador atômico de hidrogênio e um terminal Mark II para a execução do programa VLBI, tendo também sido acertada nova visita ao Brasil de Zisk por período mais longo para realizar observações experimentais referentes ao projeto. Em 1978, finalmente, após tentativas efetuadas nos anos anteriores, utilizando o oscilador de hidrogênio e o terminal Mark II, foi possível obter as primeiras franjas de interferência entre o ROI e Haystack, observando a fonte padrão de emissão intensa de H₂O, W49 situada numa **região III**.

Em 1975, fora do programa VLBI o receptor em 22 GHz com o amplificador a efeito *maser* foi usado no ROI para radiobservações astrofísicas na linha da molécula de água. Foram observadas 157 diferentes posições no céu e foram detectados 13 novos **masers galácticos** de água e outros onze foram sugeridos. Esses resultados foram publicados em dois trabalhos científicos: Kaufmann *et al.*, 1976b e Marques dos Santos and Lépine, 1979.

No que diz respeito a novos equipamentos do ROI, foi concluída em 1974 a montagem, no próprio CRAAM, de receptor em 43-48 GHz (comprimento de onda de 7 mm). No ano de 1975 foi desenvolvido um programa especial para otimizar esse novo receptor para observações na linha espectral do monóxido de silício (SiO), com a cooperação técnica e científica de Masaki Morimoto (1932-2010) do Observatório de Tóquio. O receptor foi colocado para funcionar por algumas semanas em setembro de 1975, mas apenas um espectro de

SiO foi obtido após longos períodos de integração. Em todo caso, esse trabalho ajudou a resolver inúmeros problemas técnicos desse receptor, possibilitando realizar, mais tarde, outras observações durante o ano de 1976, mas desta vez com menor ruído interno.

Entretanto, em 1977 houve um acontecimento de extrema importância para o destino futuro do CRAAM, que foi a sua incorporação ao ON.

A incorporação do CRAAM ao ON

No ano de 1977 coube ao ON a participação direta num acontecimento de grande importância para a astronomia no Brasil, tendo sido ele responsável pela incorporação do CRAAM à sua estrutura administrativa, de modo a assegurar a continuidade dos trabalhos na área de **radioastronomia** que vinham sendo desenvolvidos com sucesso. O motivo dessa incorporação resultou de uma situação criada pelo Instituto Mackenzie, entidade mantenedora do CRAAM que, possivelmente por razões político-administrativo-financeiras notificou o mesmo em meados de 1976 que, a partir do ano seguinte não seria alocada nenhuma dotação orçamentária para o seu funcionamento, devendo portanto o CRAAM buscar apoio nas instituições públicas congêneres existentes na época, para ser incorporado por uma delas. No seio do CRAAM essa situação de instabilidade criou angustiante expectativa quanto ao seu destino fora da Universidade Mackenzie pois, esta, embora tivesse uma tradição de bom nível universitário era, no entanto, uma universidade particular.

Nessa época as instituições congêneres existentes eram o INPE e o Instituto de Atividades Espaciais (IAE) do Centro Técnico Aeroespacial (CTA), ambos em São José dos Campos, SP, e o ON no Rio de Janeiro. Mas naquela época, as duas primeiras quando consultadas acreditaram não ter condições necessárias para a incorporação do CRAAM a curto prazo. Restando apenas o ON, este teria possivelmente condições de receber o CRAAM, pois havia sido recentemente transferido do MEC para o CNPq e contava com um considerável número de cargos vacantes. Nessas circunstâncias, a solução mais promissora foi aquela apresentada pelo diretor do ON, que era a incorporação do CRAAM ao CNPq através de uma fusão com o ON. De certo modo isso nada mais era que tornar formal uma situação que praticamente já era realidade, pois, pela própria natureza do CRAAM dentro da Universidade Mackenzie, somente um reduzido número de funcionários tinha contratos estáveis, sendo que a maioria estava vinculada ao mesmo através de verbas do CNPq ou FAPESP, ou por contratos oriundos dos convênios com instituições estrangeiras. Na verdade o CRAAM já tinha encaminhado anterior-

mente à FINEP (Financiadora de Estudos e Projetos) um pedido de auxílio que poderia permitir a execução dos projetos em andamento por período máximo de três anos. Mas, mesmo que esse pedido fosse aprovado, não se podia saber o que ocorreria mais tarde. Por outro lado, se a fusão com o ON se concretizasse, haveria tempo suficiente para incorporar ao ON todos os auxílios mencionados, evitando-se assim aumento da despesa do ON com o pessoal, pois os pesquisadores oriundos do CRAAM seriam contratados pelo CNPq via ON. Os detalhes dos trâmites para efetuar a incorporação foram mencionados por Muniz Barreto (1987):

Era necessário preservar a vinculação tradicional do CRAAM com a Universidade Mackenzie e continuar a servi-la da melhor forma possível. Era imprescindível que fossem assegurados os meios para o desenvolvimento desejado do CRAAM sem que isso afetasse os programas próprios do ON. Também era necessário que a proposta fosse aceita pelo CNPq sob os pontos de vista administrativo e financeiro. No que se refere ao quadro de pessoal o ON tinha vagas suficientes para a contratação dos funcionários do CRAAM, pois o DASP² havia aprovado uma lotação de funcionários para o ON e que poderiam ser aproveitados no caso. Com auxílios já aprovados seria possível assegurar uma razoável execução de orçamento até o final do ano de 1977.

Entretanto, pelas normas do CNPq o CRAAM não poderia de imediato ser um instituto independente, devendo ter a denominação de Coordenadoria de Rádio Astronomia. Contando com a boa vontade e compreensão, tanto do CNPq quanto do presidente do Instituto Mackenzie, foram assinados o Convênio CNPq–Universidade Mackenzie e o Termo de Comodato entre as instituições. Pelo Convênio o CNPq se comprometia a contratar todas as pessoas ligadas às atividades do CRAAM, ou seja, pesquisadores, técnicos, pessoal administrativo e de apoio e lotá-las no ON. O curso de pós-graduação do CRAAM deveria ser transferido para o ON e, desse modo, este asseguraria as matrículas de todos os alunos que a Universidade Mackenzie apresentasse. Havia também o compromisso formal de que todos os trabalhos e publicações teriam referências explícitas ao convênio celebrado. Pelo Termo de Comodato o Instituto Mackenzie cedia ao CNPq pelo prazo de 30 anos prorrogáveis, todos os bens móveis e imóveis de seu patrimônio que eram utilizados pelo CRAAM para uso do ON. A transferência incluía também todos os equipamentos e materiais permanentes que haviam sido obtidos com auxílios das entidades financiadoras. Uma vez integrado no ON o CRAAM passou a constituir o Departamento de Rádio Astronomia (DRA) do ON, com sede na cidade de São Paulo.

² DASP: Departamento Administrativo do Serviço Público.

Avanços nas radiobservações

Em 1978 pesquisadores do DRA/ON em São Paulo realizaram no ROI observações com o receptor multicanal³ por dois períodos de cerca de três semanas cada um, utilizando um receptor com amplificador a efeito *maser* em 22 GHz, desta vez refrigerado com hélio líquido, cujo resultado foi a identificação de novas radiofontes de água em **estrelas tardias** e em **regiões H II** e a notável detecção do primeiro **mega-maser extragalático** na **galáxia** NGC 4945 por PMS e Jacques R. D. Lépine. Também foram realizadas observações nas linhas da água de alta velocidade, observações das principais **regiões H II** do hemisfério sul celeste na linha de **recombinação** H66 α , variações periódicas no fluxo da radiofonte Centaurus A em 22 e 43 GHz com período de oito dias e nebulosas de reflexão, também na linha espectral da água.

A ida do CRAAM para o INPE e outros desdobramentos

O CRAAM permaneceu no ON de 1977 a 1979 mas, no início desse último ano, Luiz Muniz Barreto que havia desempenhado um papel importante no processo de integração das duas instituições, afastou-se da direção do ON e foi substituído por José Antonio de Freitas Pacheco. Em fins de 1979, outra vez por problemas político-administrativos o CRAAM se desligou do ON e foi transferido para o INPE.

Entretanto, mais da metade dos pesquisadores e técnicos preferiram continuar no ON. Em face dessa decisão o ON manteve o DRA/ON no mesmo local em São Paulo com Jacques R. D. Lépine, PMS, Reuven Opher, Maria Alcina Braz, Nelson Schuch, Marcio G. Maia e Jorge Rafaelli. Os outros pesquisadores e técnicos que preferiram passar para o INPE, continuaram também em São Paulo com sede próxima à do DRA/ON sob a denominação de Coordenaria Adjunta de São Paulo/Itapetinga–CRAAM. Assim ambos os grupos passaram a coexistir quase no mesmo espaço físico, utilizando o mesmo instrumental do ROI em Atibaia, SP.

O DRA/ON enquanto permaneceu no ON procurou desenvolver dois projetos de **radioastronomia**. O primeiro tratava da construção de um radiote-

³ Num receptor multicanal a banda de frequências em que a radiação eletromagnética é recebida, é subdividida em vários canais de banda mais estreita, de acordo com a **resolução** espectral desejada. O receptor em 22 GHz do ROI tinha 46 canais, cada um com resolução de 100 kHz.

lescópio na frequência de 115 GHz para observações na linha molecular do monóxido de carbono (CO) e, possivelmente, realizar também observações na linha molecular do ozônio (O_3) em 110 GHz, para a determinação da espessura da camada estratosférica de ozônio com base na variação do alargamento da referida linha espectral. O segundo projeto denominado Telescópio de Síntese Brasileiro (TSB) tratava da construção de um radiointerferômetro em 151 MHz, com **linha de base** de 5 km para o mapeamento de radiofontes do hemisfério sul celeste aproveitando o movimento de rotação da Terra.

Em 1981 o diretor do ON, José Antonio de Freitas Pacheco, foi substituído por Lício da Silva que permaneceu no cargo até 6 de agosto de 1982, tendo sido substituído por Luiz Muniz Barreto para um segundo mandato. Antes disso, porém, por razões político-administrativas o DRA/ON já havia sido extinto em abril de 1982. Alguns técnicos e pesquisadores do DRA/ON foram para a sede do ON no Rio de Janeiro; entre eles, Nelson Schuch e Marcio G. Maia continuaram por algum tempo trabalhando em **radioastronomia**. Outros foram para o OAB (Observatório Astrofísica Brasileiro) em Itajubá, MG, e os que escolheram permanecer em São Paulo foram absorvidos pelo IAG/USP (Marques dos Santos, 1989). Essa transferência para o IAG/USP é mencionada no texto de Walter J. Maciel sobre a pós-graduação do IAG/USP no Capítulo “Pós-graduação em astronomia” neste Volume.

Com a extinção do DRA/ON o projeto do radiotelescópio em 115 GHz passou a ser desenvolvido no IAG/USP chegando a ser instalado nas suas dependências na Água Funda. O projeto do TSB em 151 MHz teve prosseguimento com o pessoal do Rio de Janeiro e teve até um programa de escolha de sítio para sua instalação que se restringiu ao Estado do Rio Grande do Sul, nas regiões do Taim e de Santa Maria. Infelizmente nenhum desses projetos foi jamais completado.

O pessoal que ficou alocado no INPE (Pierre Kaufmann, Eugenio Scalise Jr., Ricardo E. Schaal, Zulema Abraham, Federico Strauss e Liliana Rizzo Piazza) continuou na Coordenaria Adjunta de São Paulo/Itapetinga-CRAAM em São Paulo fazendo as pesquisas que vinha fazendo anteriormente, e também com a responsabilidade administrativa do ROI em Atibaia, SP. Entretanto, para as interações científicas foi constituída a Direção de Rádio Astronomia do Departamento de Astrofísica do INPE, em São José dos Campos, SP.

Em fins dos anos 80 a Coordenaria Adjunta de São Paulo/Itapetinga-CRAAM foi transferida para São José dos Campos, passando a ser o Departamento de Rádio Astronomia e Física Solar do INPE, chefiado por Pierre Kaufmann. Em 1987, na gestão do diretor-geral do INPE, Marco Antonio

Raupp, ocorreu uma crise interna nessa instituição em que um de seus desdobramentos atingiu o chefe do Departamento de Rádio Astronomia e Física Solar, Pierre Kaufmann, por problemas administrativos relativos à demissão de alguns funcionários desse Departamento. Diante desse desentendimento Pierre Kaufmann pediu demissão em caráter irrevogável, no que foi acompanhado por outros pesquisadores.

Depois desse episódio e várias discussões a seu respeito, alguns pesquisadores do referido Departamento decidiram permanecer no INPE. Mas Pierre Kaufmann foi contratado pelo reitor da USP, José Goldemberg, para ficar alocado na Escola Politécnica (EP/USP) onde procurou formar o Centro de Rádio Astronomia e Aplicações Espaciais (CRAAE) em 1989, do qual faziam parte, além da USP, o INPE, a Unicamp e a Universidade Mackenzie, tendo inicialmente Pierre Kaufmann como coordenador. O CRAAE deveria realizar pesquisas aplicadas nas áreas de geodésia e geodinâmica espaciais junto ao Laboratório de Aplicações Espaciais do Departamento de Engenharia de Transporte da EP, no lugar das pesquisas básicas na **radioastronomia**.

Mais recentemente ocorreram iniciativas radioastronômicas, como o projeto GEM (*Galactic Emission Mapping*) do Grupo de Cosmologia Observacional do Departamento de Astrofísica do INPE, para medir a emissão galáctica em micro-ondas (0,408; 1,465; 2,3 e 5 GHz) e a sua polarização, com o objetivo de subsidiar observações da **Radiação Cósmica de Fundo** e de sua polarização. Uma antena portátil de 5 m, que também havia sido utilizada em outros pontos do globo, tem operado no campus do INPE em Cachoeira Paulista, SP, desde 1997 (Boaventura, 2013; ver menção a este projeto em “Gravitação e cosmologia” no Capítulo “Cosmologia teórica” neste Volume).

Mais ou menos na mesma época foi construído pelo CRAAM numa colaboração internacional, o Telescópio Submilimétrico Solar com antena de 1,5 m operando em 212 e 405 GHz a uma altitude de 2.550 m em El Leoncito, San Juan, Argentina.

Em 2001 teve início no *campus* do INPE em Cachoeira Paulista, SP, a construção do Arranjo Interferométrico Brasileiro para 1,2-1,7, 2,7 e 5,0 GHz que, na configuração a ser completada em três fases, deverá ter 38 antenas de 5 m de diâmetro dispostas em “T”. Na primeira fase, concluída em 2006, 5 antenas foram dispostas numa **linha de base** de 216 m na direção L-O. Embora estejam previstas várias aplicações, a principal é em física solar. Mas este Capítulo termina aqui limitando-se a descrever as fases de formação, consolidação e apogeu da **radioastronomia** brasileira na década de 1970 seguida pela divisão do CRAAM entre o ON e o INPE, após o que a **radioastronomia** jamais se consolidou como um grupo de pesquisa independente.

Referências

- Boaventura, André Luis (2013), “O radiotelescópio GEM: uma nova configuração para medir a potência total e a polarização da emissão do contínuo em 5 GHz”, *Dissertação de Mestrado*, São José dos Campos, SP: INPE/MCTI, disponível em <http://mtc-m19.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m19/2013/02.17.20.42/doc/publicacao.pdf>, acesso em 10/9/13.
- Kaufmann, Pierre (1963), “Ensaio com o radiotelescópio experimental. Resultados Gerais”, *Revista Orientador IBRAPE*, 1, abril de 1963 (separata).
- Kaufmann, Pierre (1968), Solar Physics at Mackenzie University, São Paulo, Brazil, *Solar Physics*, 3, 360-363.
- Kaufmann, Pierre (2004), “Primórdios da Radioastronomia no Planetário do Parque do Ibirapuera (1958-1963) e sua consolidação no Brasil” in Oscar T. Matsuura (Org.), *Astronomia na Cidade de São Paulo*, CD-ROM comemorativo dos 450 anos de São Paulo, São Paulo: Planetário e Escola Municipal de Astrofísica Prof. Aristóteles Orsini.
- Kaufmann, Pierre; Fogarty, W. G.; Marques dos Santos, Paulo; Scalise Jr., Eugenio; Schaal; Ricardo E. and Tiba, T. (1976), Performance of the Brazilian 45 ft Itapetinga radiotelescope at C-Band, *Revista Brasileira de Tecnologia*, 7, 81-88.
- Kaufmann, Pierre; Gammon, R. H.; Ibañez, Angel L.; Lépine, J. R. D.; Marques dos Santos, Paulo; Paes de Barros, M. H.; Scalise Jr., Eugenio; Schaal, Ricardo E.; Zisk, Stanley H.; Carter, J. C.; Meeks, M. L. and Sobolenski, J. M. (1976b), New H₂O celestial sources associated with H II regions in the Southern Hemisphere, *Nature*, 260, 5549, 306-307.
- Kaufmann, Pierre and Matsuura, Oscar T. (1968), Solar corona at centimetre wavelengths, *Nature*, 219, 5157, 921-922.
- Kaufmann, Pierre; Matsuura, Oscar T. and Marques dos Santos, Paulo (1969), On the possible emission of polarized microwave radiation from the solar hemispheres, *The Astrophysical Journal*, 156, April, 43-47.
- Marques dos Santos, Paulo (1989), “O retorno da radioastronomia ao IAG/USP”, *Boletim da SAB*, 11, 2, 17-24.
- Marques dos Santos, Paulo (2005), *Instituto Astronômico e Geofísico da USP. Memória sobre sua formação e evolução*, São Paulo: Edusp.
- Marques dos Santos, Paulo and Lépine, J. R. D. (1979), Detection of strong H₂O emissions from galaxy NGC4945, *Nature*, 278, 5699, 34-35.
- Marques dos Santos, Paulo e Matsuura, Oscar T. (1987), “O Eclipse de Bagé”, *Boletim da SAB*, 9, 2, 35-39.
- Muniz Barreto, Luiz (1987), *Observatório Nacional — 160 anos de história 1827-1987*, Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, Secretaria da Cultura e Tecnologia do Estado do Rio de Janeiro, MCT/CNPq, Observatório Nacional.

