

Participação brasileira no projeto LLAMA

Abraham Chian (INPE), Adriana Valio (Mackenzie), Alex Carcioffi (IAG-USP), Alexandre Wuenche (INPE), Anderson Caproni (UNICSUL), Diego Falceta Goncalves (UNICSUL), Elisabete de Gouveia Dal Pino (IAG-USP), Enio da Silveira (PUC-Rio), Gabriel Franco (UFMG), Guillermo Giménez de Castro (Mackenzie), Heloisa Boechat (UFRJ), Herman J Mosquera Cuesta (CBPF), Horacio Dottori (UFRGS), Jacques Lépine (IAG-USP), Jane Gregório-Hetem (IAG-USP), Joaquim Eduardo Rezende Costa (INPE), João Braga (INPE), José Williams Vilas-Boas (INPE), Newton de Figueiredo Filho (UNIFEI-MG), Pierre Kaufmann (Mackenzie), Ramiro de La Reza (ON), Ramacrishna Teixeira (IAG-USP), Roberto Ortiz (EACH-USP), Thaisa Storchi Bergman (UFRGS), Thyso Villela (AEB), Zulema Abraham (IAG-USP). Do lado argentino, os pesquisadores diretamente envolvidos no projeto são Felix Mirabel (IAFE e CEA-Saclay- França), Marcelo Arnal (IAR), Ricardo Morras (IAR), Gustavo Romero (IAR), Paula Benaglia (Universidad de La Plata), Elsa Giacanni (IAFE), Estela Reynoso (IAFE), Gloria Dubner (IAFE), Cristina Cappa (IAFE).

Introdução

LLAMA (Long Latin American Millimetric Array) é um projeto proposto por radioastrônomos argentinos e brasileiros, cujo estudo de viabilidade faz parte dos objetivos do INCT-A. Este projeto 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.

ALMA (Atacama Large Millimetric Array), o maior projeto da astronomia mundial atual, é uma colaboração entre EUA, Europa e Japão, que contará com 60 antenas de 12 m de diâmetro com uma superfície de alta precisão, espalhadas numa área de até 20 km de extensão, constituindo um interferômetro de altíssima resolução angular (0.02 segundos de arco- para $\lambda=1$ mm numa distância de 10 km) e alta sensibilidade (área coletora de mais de 6000 m²). O local, platô de Chajnantor, tem altitude próxima de 5000 m. APEX (Atacama Pathfinder Experiment), um radiotelescópio independente de ALMA, também instalado em Chajnantor, é operado pelo ESO, Onsala Space Observatory e Max Planck Institut für Radioastronomie.

LLAMA permitirá obter resolução espacial 10 vezes maior que a do ALMA e estudar fontes não resolvidas por esse interferômetro, colocando-nos, com relativamente pouco esforço, na vanguarda da radioastronomia mundial.

Como o objetivo principal é realizar medidas interferométricas com ALMA, optou-se pela seleção dos mesmos radiotelescópios e receptores que os de ALMA, o que simplifica enormemente a especificação do sistema. As antenas serão fornecidas por uma das companhias que estão construindo ALMA, o que resulta em redução considerável no preço comparado com um projeto isolado, assim como o aproveitamento das melhorias realizadas a partir de protótipos instalados no NRAO.

Os receptores de ALMA nos comprimentos de onda de 3mm, 1mm, 0,85 mm e 0.45 mm, por sua vez, estão sendo desenvolvidos em distintas partes do mundo por institutos de pesquisa e universidades. Os receptores de LLAMA serão montados com participação de técnicos argentinos e brasileiros a preço de custo, implicando em transferência de tecnologia de ponta.

O projeto prevê uma etapa inicial com a instalação de uma primeira antena, que será utilizada no modo "single dish" ou antena única. Enfatizamos na justificativa científica o interesse dos programas que podem ser realizados com antena única submilimétrica, mostrando que esta fase, em si, já trará grandes benefícios para a nossa ciência. Além dos aspectos científicos, a instalação de uma antena única nos permitirá conhecer mais a fundo os problemas logísticos de operação em altas altitudes, e colocar em funcionamento uma colaboração efetiva com os radioastrônomos argentinos.

Contexto do LLAMA na radioastronomia brasileira.

A radioastronomia no Brasil desenvolveu-se principalmente em torno do radiotelescópio de 13.7 m de diâmetro do Itapetinga, situado em Atibaia, SP, em operação desde o início da década de 70 nas frequências de 22 e 43 GHz. O instrumento foi pioneiro na descoberta e estudo de fontes maser de H₂O e SiO, assim como no estudo de núcleos ativos de galáxias, regiões HII galácticas e física solar de alta resolução temporal. O radiotelescópio participou também de observações de VLBI intercontinentais.

Entre os projetos brasileiros mais recentes estão uma antena submilimétrica para observações solares (SST) instalada em El Leoncito (Argentina), o BDA (Brazilian Decimetric Array), interferômetro em construção em Cachoeira Paulista (SP), e o projeto GEM que realizou mapeamentos da radiação da Galáxia em diversas frequências (baixas). Os projetos SST e BDA são orientados para a física solar e devido à baixa sensibilidade não podem ser utilizados para outras áreas de astronomia. Na faixa milimétrica, a absorção atmosférica impõe que as antenas sejam instaladas em locais de alta altitude e baixo conteúdo de vapor de água, não encontrados no Brasil. Neste contexto, a radioastronomia brasileira acumulou atraso, em termos de instrumentos disponíveis, com relação à astronomia óptica e infravermelha.

O Brasil chegou a apresentar sua candidatura para sediar o projeto SKA (Square Kilometer Array), o maior projeto em andamento para a radioastronomia de baixa frequência (200 MHz a 20 GHz), que inclui centenas de radiotelescópios espalhados em distâncias de milhares de km. O board do SKA sugeriu uma colaboração com a Argentina para sediar o SKA, a qual fortaleceu os laços existentes entre os pesquisadores argentinos e brasileiros. O local escolhido para o núcleo do SKA foi o CASLEO, um local acima de 2000 m e bastante seco. Entretanto, a candidatura argentino-brasileira não prevaleceu, devido principalmente à presença da Anomalia Magnética do Atlântico Sul, que se estende sobre grande parte do Brasil, e das bolhas ionosféricas próximas ao equador magnético, ambos fatores podem introduzir ruído de fase na interferometria. Por essa razão, o SKA será instalado na Austrália ou na África do Sul.

Apoio internacional ao projeto LLAMA

Com o LLAMA estaremos nos antecipando a um crescimento futuro natural de ALMA, que seria colocar antenas a distâncias maiores, num esquema semelhante ao do SKA. Tal iniciativa pressupõe um consenso internacional, pois o objetivo é a inserção numa ampla colaboração.

O projeto foi apresentado por Jacques R.D. Lépine (IAG-USP), como representante do Brasil, e Marcelo Arnal (Diretor do IAR) aos diretores do ALMA (Thijs de Graauw) e do ESO (Tim de Zeeuw), e ao representante na América Latina do NRAO (National Radio-Astronomy Observatory, responsável pela participação dos EUA no ALMA), numa reunião em Santiago do Chile em 14 /02/09. Note-se que naquela reunião estávamos solicitando ao ESO que cedesse uma antena construída como protótipo para o ALMA. O interesse científico de nossa proposta foi reconhecido pelos responsáveis do ALMA.

J. Lépine e Z. Abraham fizeram uma visita *in loco* ao ALMA e APEX de 15 a 19/06/2009, a convite de Dr. Thijs de Graauw. O objetivo da visita foi conhecer as antenas, os receptores e analisadores espectrais, assim como as dificuldades inerentes à operação em alta altitude. Além de novo encontro com Dr. Thijs de Graauw, conhecemos Richard Hills (Diretor das atividades científicas do ALMA na fase de instalação), Dr. Peter Napier que trabalhou nos testes da antena protótipo, Dr. Lars-Ake Nyman, "Head of Science Operation" do ALMA e ex-diretor do projeto APEX, entre outros. Em todas as ocasiões manifestaram a possibilidade de apoiar o projeto LLAMA para qualquer dificuldade técnica que encontrássemos.

Durante a reunião da Assembléia Geral da União Astronômica Internacional (IAU), em 08/2009 no Rio de Janeiro, foram realizadas duas apresentações públicas do projeto LLAMA, assistidas por pessoas com peso decisivo para apoio internacional. Entre elas, mencionamos Dra. Marta Rovira, presidente do CONICET (Argentina). Em nova conversa com Dr. Tim de Zeeuw, este reiterou o apoio do ESO ao projeto. No discurso de abertura da mesma Assembléia Geral, Dra. Catherine Cesarsky, presidente da IAU, mencionou o projeto entre as perspectivas futuras da astronomia brasileira; também mencionado pelo ministro Dr. Sérgio Resende.

Outro apoio importante nos veio do México. O Dr. Luis Felipe Rodrigues, conhecido radioastrônomo mexicano, emprestou ao projeto LLAMA um "tipper" pertencente a seu grupo, instrumento utilizado para medir a absorção atmosférica para frequências rádio, que já está sendo usado na escolha de sítio do LLAMA. Dr. Alfonso Serrano Pérez-Grovas, diretor do projeto GMT (radiotelescópio milimétrico mexicano de 45 m de diâmetro) manifestou interesse em intercâmbio científico e tecnológico, e em futura parceria de VLBI. Entre manifestações de interesse de outros países latino-americanos, Mirko Raljevic de Carrera de Física – UMSA (La Paz, Bolívia) ofereceu a possibilidade de se usar o sítio de Chalcataya, nas proximidades de La Paz, para a instalação de uma antena. Dr. Herman J Mosquera Cuesta, atualmente no CBPF, informou que existe um plano em fase inicial na Colômbia, prevendo a instalação de radiotelescópio naquele país, que poderia participar de rede com o LLAMA e o GMT, ou numa primeira fase ser participante do LLAMA.

Diversos outros pesquisadores de renome chegaram a manifestar interesse e apoio: Richard Schilizzi, diretor do SKA, Dr. Leo Blitz (da Universidade de Califórnia, ligado ao projeto CARMA, interferômetro de 15 antenas milimétricas), Jay S Gallagher (University of Wisconsin; editor chefe do *Astronomical Journal*), Laurent Vigroux, agora diretor do Institut d'Astrophysique de Paris, e diretor do Conselho do ESO, entre outros.

Motivação científica para o modo "single dish"

Astroquímica de regiões de formação estelar, moléculas "jovens" e tardias

Observações de transições moleculares de diversas espécies, incluindo isótopos, como moléculas com deutério, permitem determinar condições físicas, como profundidade óptica e temperatura. Além disso, modelos teóricos atuais predizem que algumas moléculas, tais como as que contêm carbono, foram formadas recentemente na evolução química das nuvens. Espera-se que tais moléculas sejam abundantes em núcleos quimicamente jovens ou de baixa densidade, e a maioria delas parece sofrer rapidamente efeitos de "depleção" (eg. Tafalla et al. 2006, *A&A*, 455, 577). Outras espécies, tais como as com nitrogênio e deuteradas, requerem maior tempo e a presença de moléculas precursoras para serem sintetizadas em quantidades significativas. Essas moléculas são "tardias" na evolução química das nuvens. São exemplos das primeiras, CO e CS por desaparecerem rapidamente da fase gasosa, enquanto N₂H⁺ e NH₃ sobrevivem mais longamente em altas densidades, e são exemplos das tardias. É necessário realizar mapas de nuvens moleculares inteiras, com resolução angular típica de single dish, para estabelecer um quadro evolutivo.

Procura de moléculas pré-bióticas no meio interestelar

Um das áreas do estudo de moléculas interestelares é a química orgânica prebiótica. Grupos sediados na UFRJ e na PUC-Rio estudam a interação de elétrons, íons e raios ultravioleta e raios-X de fótons com moléculas interestelares em fase gasosa e em fase sólida, simulando moléculas na superfície congelada de grãos interestelares em baixa temperatura. O tempo de voo e a técnica de espectrometria de massa são empregados para o estudo da ionização e

dissociação de moléculas da superfície do grão. Os experimentos realizados em laboratório já permitiram obter as taxas de destruição e as meias-vidas de moléculas orgânicas em ambiente circumstelar (Boechat-Roberty et al. 2005, 2009) e a formação de novos compostos a partir da foto-dissociação molecular (Pilling et al. 2006). Os resultados indicam que em nuvens moleculares densas a maioria das moléculas em fase gasosa são formadas na fase sólida, quando elétrons, fótons ou raios cósmicos interagem com mantos de grãos de gelo, e liberam as moléculas formadas através da dessorção desses mantos (Andrade et al. 2009). Assinaturas das espécies iônicas e neutras moleculares mais importantes são encontradas nos comprimentos de onda de milímetros/sub-mm. Uma antena como as do ALMA será capaz de detectar um grande número de novas moléculas no meio interestelar. Além disso, quando o VLBI estiver operando, será possível mapear em alta resolução a distribuição de moléculas pré-bióticas em proto-discos planetários, nos quais os planetas estão se formando.

Linhas de recombinação de H em regiões HII compactas e estrutura galáctica

As linhas de recombinação do hidrogênio são encontradas em todas as faixas do espectro rádio. No entanto as linhas nas frequências milimétricas/sub-mm apresentam a vantagem de exibir efeito maser e de terem, portanto, emissão intensa. São ideais para medir velocidades de regiões HII situadas na região “desconhecida” de nossa Galáxia, situada além do centro galáctico, para a qual a localização dos braços espirais não está estabelecida, e para a qual as observações no visível e no IV próximo são dificultadas pela extinção interestelar.

Distribuição de fluxo de energia de envelopes estelares

Muitos envelopes estelares possuem distribuição espectral de energia (SED) que se estende até a região mm/sub-mm do espectro; medidas nestas frequências são essenciais para os modelos que estimam taxas de perda de massa. Isto ocorre tanto para as estrelas tardias com alta perda de massa, ricas em oxigênio (OH/IR) ou ricas em carbono, (cujo protótipo é IRC10216), como em estrelas early-type. Recentemente um grupo com participação brasileira fez pedido de tempo junto ao APEX para observar estrelas Be com discos cujas características das regiões mais internas foram determinadas por meio de espectro-interferometria (AMBER/VLTI); nestes casos a SED na região sub-mm determinará o raio externo do disco.

Física solar

Uma antena de 12 m operando entre 100 e 900 GHz com receptores polarimétricos permite: 1) o estudo da dinâmica da cromosfera: anel de abrlhantamento, oscilações de temperatura, emissão de regiões ativas, filamentos e proeminências, colocando novas condições de contorno aos modelos atmosféricos, 2) Estudo do campo magnético cromosférico a diferentes alturas, 3) Diagnóstico de explosões solares na faixa submilimétrica, principalmente acima de 400 GHz para complementar as observações do SST (CASLEO). A superfície das antenas do ALMA difunde a luz visível permitindo a observação direta do Sol. Os receptores deverão contar com atenuadores e serem lineares mesmo para fluxos tão intensos quanto $1E+8/1E+9$ Jy durante as explosões. Redutores focais que aumentem o tamanho do feixe ou arranjos focais podem resolver o problema da localização prévia de fontes emisoras.

Cosmologia com o efeito Sunyaev-Zeldovich

O estudo das anisotropias da Radiação Cósmica de Fundo em Microondas (RCFM) em pequena escala angular é um dos desafios em cosmologia da próxima década. Essas anisotropias são os principais contaminantes das anisotropias primárias e das medidas de polarização da RCFM. Entre elas, o efeito Sunyaev-Zeldovich (SZ), causado por espalhamento Compton inverso dos fótons da RCFM por elétrons relativísticos presentes nos núcleos de aglomerados de galáxias, é

dominante em escalas angulares menores que aproximadamente 5 minutos de arco. Medidas de alta resolução e sensibilidade no intervalo de frequências do LLAMA permitirão uma identificação única da assinatura do efeito SZ, permitindo a realização de “blind surveys” ou o estudo mais aprofundado de alguns aglomerados, semelhante ao que já vem sendo feito, por exemplo, com o South Pole Telescope (Plagge et. al, astro-ph/0911.2444). O efeito SZ é uma das possibilidades de continuação do estudo da RCFM (junto com “weak lensing” e o modo B) após o mapeamento do modo E de polarização.

Motivação científica para VLBI milimétrico

É ampla a variedade de projetos, sendo que qualquer observação realizada pelo ALMA para a qual for importante alcançar uma resolução espacial cerca de 10 vezes maior, poderá ser realizada com o LLAMA. Seguem abaixo alguns exemplos.

Atmosferas planetárias

A resolução espacial, sensibilidade e frequência do LLAMA em modo VLBI serão cruciais para se estudar a atmosfera dos planetas extra-solares. Será possível procurar por moléculas na atmosfera desses planetas, visando determinar a composição atmosférica e quiçá sugerir a presença de vida.

Formação de estrelas e planetas

Observações sub-mm com ALMA serão o próximo passo na nossa compreensão de como as estrelas e os planetas se formam. Imagens detalhadas do colapso de proto-núcleos estelares e medição da taxa de acréscimo de matéria em proto-estrelas embebidas em nuvens moleculares permitirão desvendar a química e a dinâmica da formação de estrelas de alta massa, e resolver estruturas de discos proto-planetários em escala de 1 UA.

Buracos negros supermassivos.

A uma distância de 8kpc, a fonte compacta Sgr A emissora de rádio, infravermelho e raios X, situada no Centro Galáctico, marca a posição de um buraco negro supermassivo de 4 milhões de massas solares. Devido à sua proximidade, essa fonte é a melhor oportunidade que temos de estudar um buraco negro supermassivo com VLBI em escalas do raio de Schwarzschild. O meio interestelar ionizado dispersa e amplia a imagem de Sgr A com uma dependência quadrática do comprimento de onda, e por isso o VLBI em frequências altas é a única maneira disponível para estabelecer limites para as estruturas intrínsecas perto do horizonte de eventos. Observações VLBI em 1,3 milímetros confirmaram estrutura compacta em escalas de micro-segundos de arco (Doeleman et al 2008, Nature, 455, 178). Observações com uma ampla rede de VLBI na qual o LLAMA estará inserido aumentarão a resolução. Outros buracos negros supermassivos como Cen A, situado no hemisfério Sul, poderão ser observados.

Jatos proto-estelares a extragalácticos

Os jatos astrofísicos cobrem uma imensa faixa de dimensões, de cerca de 7 ordens de grandeza em extensão e 9 ordens de grandeza em massa das fontes progenitoras. Os jatos de proto-estrelas são constituídos de gases ionizados acelerados até velocidades de centenas de km/s. Uma das grandes descobertas dos estudos de formação de estrelas é que estes jatos são necessários e onipresentes, pois removem o excesso de momento angular do gás que colapsa para formar a estrela. Acredita-se que o material de um disco de acreção em torno da proto-estrela ejeta o momento angular em excesso ao longo das linhas do campo magnético, na direção do pólo do disco. Embora a estrutura geral desses jatos seja bem definida pelas

observações em grande escala, a estrutura e a excitação na parte interna do disco próxima à base do jato é difícil de estudar. Interferometria sub-mm de moléculas de alta excitação (por ex. SiO 2-3, SiO 5-4, etc, Hirano et al. 2006) permitirá sondar as regiões onde ocorre a acreção com resolução da ordem de 1 UA, bem como a base de lançamento desses jatos examinando-se possíveis evidências de rotação do material ejetado. No outro extremo, os jatos extragalácticos são relativísticos e podem carregar energia acima de 10^{46} ergs por segundo. Imagina-se que o mecanismo básico de aceleração seja parecido com o das proto-estrelas. Embora mais distantes, suas escalas de dimensões são maiores, e as observações poderão restringir os modelos da fonte central do núcleo ativo ou quasar que lhe dá origem.

Galáxias submilimétricas e hyper-starbursts

Uma população numerosa de galáxias de alta luminosidade e de alto redshift foi descoberta recentemente nos comprimentos de onda submilimétricos. As galáxias sub-mm geram uma fração importante da produção de energia de todas as galáxias no Universo primordial, e são importantes para a cosmologia. Apresentam redshift $z \sim 2$ e distribuição de energia semelhante a um corpo negro de ~ 32 K (Swinbank et al., 2008, MNRAS 391, 420). Semelhantes com as ULIRGs (Galáxias infravermelhas ultra-luminosas) mais próximas, imagina-se que estas galáxias podem conter AGNs envoltos com densidade colunar de gás e poeira tão alta que são opticamente espessos mesmo no infravermelho próximo. Alternativamente, podem ser a sede de “bursts” de formação estelar estimulados por colisões de galáxias (Falceta-Goncalves et al. 2010, ApJ lett. 708, L57). Observações de alta resolução no sub-mm podem diferenciar entre estes modelos. Já em redshifts mais altos foi detectado um caso de “hyper-starburst” (Walter et al., 2009, Nature 457, 699). Especula-se que estamos diante do correspondente à formação do bojo de nossa Galáxia, o que é uma perspectiva excitante.

Masers e megamasers submilimétricos

Masers sub-mm fornecem a possibilidade de investigar as condições físicas, dinâmica e de origem de campos magnéticos em pequenas escalas angulares em uma ampla gama de ambientes astronômicos. Ocorrem em diversas espécies moleculares e atômicas, incluindo H₂O, SiO, linhas de recombinação de H, CH₃OH, HCN, e SiS, e podem ser muito intensos (por exemplo, 8000 Jy para o maser H₂O de 325 GHz da região HII W49N, Menten et al. 1990, ApJ, 363, L27). Até recentemente, a falta de resolução angular no sub-mm, foi um sério obstáculo à utilização do potencial destes masers. A combinação de ALMA e LLAMA permitirá aprofundar o estudo de envelopes estelares, e de regiões de formação estelar. O termo megamaser foi criado para designar os masers ultraluminosos que são detectados até redshifts $z \sim 0.3$, tendo sido o primeiro deles descoberto por brasileiros. Os megamasers de H₂O são associados a núcleos ativos de galáxias e são localizados no disco de acreção em torno do buraco negro. Estudos detalhados da geometria e da dinâmica destes objetos serão possíveis.

Geodésia

Com uma linha de base como o LLAMA é possível medir variações de posição da ordem de milímetros inclusive na direção vertical. As medidas via VLBI e via GPS são complementares e podem ser confrontadas para se obter alta precisão em Geodésia e Astrometria, e diminuir os erros sobre a orientação da Terra e nutação (2005, J. Geodesy, 79(1-3), 24). Os parâmetros de orientação da Terra criam uma conexão entre os sistemas internacionais de referência celestes (ICRF) e da Terra (IRTF). Tais experimentos permitirão acompanhar o soerguimento dos Andes, e podem ter aplicação na predição de terremotos. Após os terremotos foram observados

longos períodos de deslocamento continental de relaxamento, que devem ser estudados.

Escolha de sítio

As observações de VLBI (segunda etapa do projeto), requerem um mínimo de três antenas para a síntese de abertura, as posições relativas determinando a forma do feixe sintético. Duas serão de nossa responsabilidade, as outras podendo ser APEX, NANTEN (antena japonesa de 10m que será dedicada a VLBI) e/ou uma do ALMA. A escolha de sítio leva em conta a transparência da atmosfera nas altas frequências e as condições meteorológicas, incluindo a velocidade do vento. Outro fator desejável é a proximidade a linhas de alta tensão e estradas.

Vários sítios foram propostos, todos eles na Província de Salta, Argentina. Um deles, Macón, situado a 181 km (N-S) e 42 km (L-O) de Chajnantor, foi monitorado durante vários anos, tendo se comprovado sua boa transmissão atmosférica, mas com ventos de elevada intensidade. Outro sítio promissor é Santo Antonio de los Cobres, que está sendo monitorado no presente, a 132 km (N-S) e 126 (L-O) de Chajnantor, que tem a vantagem de estar próximo a uma linha de transmissão de energia e ferrovia. Um terceiro sítio poderia ser Aguilar, a 20 km (N-S) e 207 km (L-O) de Chajnantor, que juntamente com outros, deverá ser pesquisado no futuro.

Desenvolvimento tecnológico

Nossa opção é inicialmente adquirir o equipamento necessário para entrar em operação rapidamente, aproveitando-se do fato de estes equipamentos estarem sendo fabricados em série para o ALMA, o que reduz os custos. A disponibilidade de um radiotelescópio competitivo deve servir de estímulo para que a comunidade científica desenvolva a instrumentação.

Seguem exemplos de tecnologias envolvidas: holografia para ajustar com grande precisão os painéis das antenas; possível projeto futuro de antena construída parcialmente no país; receptores de ondas milimétricas, transmissão e armazenamento de grande volume de dados; padronização de protocolos de interface; tratamento de imagens; maser de hidrogênio como relógio atômico; arranjos multi-cornetas no foco da antena. Serão projetadas cornetas (horns) para os receptores, e existe a possibilidade de se experimentar cornetas revestidas de material supercondutor para diminuir o ruído de sistema.

Organização do LLAMA

O LLAMA será operado em parceria entre Brasil e Argentina, eventualmente no futuro com mais países. Deverá contar com uma base operacional e administrativa numa cidade situada preferencialmente a menos de 100 km do sítio de alta altitude, que ofereça condições para que técnicos e engenheiros possam se instalar com suas famílias. Cidades que oferecem estas características são Salta e Jujuy. O modelo de operação do telescópio SOAR no Chile, com o Diretor, a equipe técnica e a base administrativa instalados em La Serena, se aplicaria bem.

No Brasil, há necessidade de uma equipe administrativa e de uma Comissão de Alocação de Tempo, visando a parcela brasileira do tempo. A administração da parte brasileira pode ser sediada num instituto do CNPq como o INPE ou o LNA, ou mesmo por um instituto virtual. A comissão recém formada pelo MCT, a CEA, poderá se pronunciar sobre este aspecto. O projeto de construção poderia até ser iniciado sem que esta questão tenha uma resposta definitiva. Nesse caso uma equipe científica administraria o projeto numa fase transitória, até que uma estrutura definitiva seja decidida e instalada, com apoio do governo federal. O desenvolvimento futuro de instrumentos (receptores em diversas frequências, analisadores espectrais) se daria de forma natural por iniciativa de pesquisadores de universidades ou de institutos do MCT, por meio de colaborações inter-institucionais e internacionais.

Custos da primeira fase:

- Aquisição de antena de 12m igual a do ALMA (Vertex) US\$ 8.7 milhões
- transporte na Argentina, instalação US\$ 0.5 milhões
- Infraestrutura local (energia, comunicações, construção civil na cidade-base e no local, estrada) US\$ 3.0 milhões
- Receptores, analisador espectral para uso no *single dish* US\$ 2.0 milhões

Total (custo primeira fase: com compra de uma antena tipo ALMA, a ser dividido entre Brasil e Argentina- aprox.7.1 milhão de dólares cada) US\$ 14.2 milhões

Custos da segunda fase: com a instalação de uma nova antena em um segundo sítio, os custos praticamente dobram. Parte da infraestrutura já existirá, mas será necessário adquirir maser de hidrogênio e equipamento de VLBI, somando 1 milhão de dólares. O custo **total para a duas antenas** seria de 14 milhões de dólares **para cada país** em cinco anos.

Custos de operação. A estimativa é de 0.8 milhão de dólares por ano para uma antena, o dobro para duas antenas. A estimativa é baseada no custo de operação de APEX, projeto similar, debitando-se o elevado fator de despesas daquele projeto devido ao grande número de viagens Santiago-São Pedro de Atacama. A estimativa final dependerá do sítio escolhido.

Prazos: espera-se para o início de 2010 a submissão do projeto a agências financiadoras, para o final do ano a esperada aprovação do mesmo, e para o final de 2011 a instalação da antena 1. A antena 2 seria instalada até 2014.