



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA

**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

**WORKSHOP DA PÓS-GRADUAÇÃO - DAS/INPE**  
**17 e 18 de Novembro de 2010**

**Caderno de resumos**

Organização: Tereza Satiko Nishida Pinto

# Novas perspectivas para o MIRAX

Bárbara Heliodora G. Rodrigues<sup>1</sup>, João Braga<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Divisão de Astrofísica, INPE

O MIRAX é uma missão de raios X que está sendo desenvolvida pelo grupo de Astrofísica de Altas Energias da Divisão de Astrofísica do INPE em colaboração com grupos internacionais, e que fará parte da carga útil do satélite Lattes. Em seu projeto inicial, o MIRAX seria composto por duas câmeras de raios X duros, de 10-200 keV, que utilizam máscaras codificadas e detectores CZT, desenvolvidas pelo nosso grupo em colaboração com a UCSD; e uma câmera de raios X moles, de 1-10 keV, idêntica às *Wide Field Cameras* do Beppo-SAX, fornecida por colaboradores holandeses. O principal objetivo da missão é o de monitorar fenômenos transientes na Galáxia, e para isso o amplo campo de visada do MIRAX seria mantido apontado constantemente para a região central do Plano Galáctico. No último ano houve modificações significativas no projeto, desde os objetivos da missão, concepção do telescópio, até a estratégia de observação. A câmera holandesa, que apresentou problemas insanáveis, não irá mais compor a carga útil do telescópio. Além disso, o MIRAX terá mais dois objetivos científicos: realizar um *all-sky survey* e uma espectroscopia de banda larga da emissão *prompt* de GRBs. Isso será obtido por dois novos instrumentos propostos por colaboradores do INAF/Itália: um *All Sky Monitor*, composto por *silicon-drift chambers* em combinação com máscaras codificadas, operando na faixa de 2-50 keV com resolução espectral de 250-500 eV (FWHM) e campo de visada de  $\sim 2.5$  sr; e um espectrômetro de raios gama, *Soft Gamma-ray Spectrometer*, na faixa de 20–5000 keV com resolução de 15% em 60 keV e um campo de  $\sim 2$  sr. A câmera de raios X duros INPE/UCSD continua no projeto, com atualizações importantes no sistema detector. O satélite Lattes terá órbita aproximadamente equatorial e manterá uma atitude de “observação da Terra”. Com isso, as duas missões poderão operar simultaneamente e o MIRAX irá escanear o céu a uma velocidade de 4°/min, permitindo a observação de GRBs e fontes transientes ao longo de toda a missão.

# Identificação de aglomerados de galáxias em mapas da RCFM utilizando o efeito Sunyaev-Zel'dovich

Camila Paiva Novaes<sup>1</sup>, Carlos Alexandre Wuensche<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Divisão de Astrofísica, INPE

A Radiação Cósmica de Fundo em Microondas (RCFM) é considerada um dos mais importantes observáveis astrofísicos. O estudo de suas propriedades (espectro, distribuição angular e polarização) é usado para entender os mecanismos de formação de estruturas no Universo. Processos secundários de produção de flutuações de temperatura, gerados após a recombinação, mascaram o sinal primário da RCFM, atrapalhando o estudo de suas propriedades intrínsecas. Um desses processos é conhecido como efeito *Sunyaev-Zel'dovich* (SZ), causado por espalhamento Compton inverso dos fótons da RCFM. Medidas do efeito SZ são usadas para estimar observáveis cosmológicos como a constante de Hubble, a relação diâmetro angular - distância e o parâmetro  $\omega$  da equação de estado da energia escura. O satélite Planck, lançado em 2009 pela Agência Espacial Européia, é dedicado ao estudo da RCFM e um dos resultados esperados da análise de seus dados é a separação dos sinais contaminantes da RCFM, entre eles o efeito SZ. Este trabalho apresenta a análise da distribuição de aglomerados SZ em mapas de RCFM que simulam as observações do satélite Planck. Os aglomerados foram produzidos a partir de perfis de temperatura do tipo " $\beta$  isotérmico" e, em seguida, combinados com mapas sintéticos da RCFM, emissão Galáctica e ruído instrumental, gerados em formato HEALPix (*Hierarchical Equal Area iso-Latitude Pixelization*) em cinco frequências entre 100 e 545 GHz (frequências do Planck), para testar um algoritmo de identificação do tipo "*Blind Source Separation*". O JADE (*Joint Approximate Diagonalization of Eigenmatrices*) é um algoritmo baseado na Análise de Componentes Independentes (ICA) e é efetivo na extração de componentes não-gaussianas. O procedimento adotado na separação das fontes resume-se em três passos básicos: o pré-processamento baseado na análise de *Wavelets*, que realiza uma limpeza inicial (*denoising*) dos dados de forma a minimizar o nível de ruído, a separação das componentes (emissões) pelo algoritmo JADE e a identificação das posições e intensidades dos aglomerados utilizando o software

*SExtractor*. O desenvolvimento deste processo de separação permitiu a recuperação de mapas compostos apenas pelo efeito SZ, sem a presença das outras emissões. Os resultados mostram que o procedimento adotado é eficiente na identificação da posição e intensidade do efeito SZ em cada aglomerado, recuperando acima de 90% deles para os casos testados, porcentagem esta que varia de acordo com o número de emissões incluídas nos mapas analisados.

# Uma aproximação a simulações em relatividade geral

Carlos Eduardo Cedeño<sup>1</sup>, José Carlos Neves de Araújo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Divisão de Astrofísica, INPE

A relatividade numérica nos permite trabalhar com as equações de campo de Einstein em diversos contextos, provendo todo um conjunto de ferramentas que nos permite prever quantidades que serão medidas no futuro próximo, tais como a amplitude, a frequência e a polarização das ondas gravitacionais produzidas por uma determinada fonte. Com as simulações numéricas se pretende prever o comportamento dos sistemas autogravitantes monitorando a evolução de variáveis como a densidade e pressão do sistema. Para fazer isso, existem principalmente dois diferentes formalismos na relatividade numérica, as quais correspondem à forma em que o espaço-tempo é dividido; ADM (em hipersuperfícies tipo espaço) e a formulação característica (em cones de luz). Cada uma destas conduz a sistemas de equações de diferente natureza. Na primeira, as equações podem ser parabólicas, o que é um problema devido a sua complexidade, enquanto que na segunda formulação as equações sempre são hiperbólicas. Ainda que o objetivo seja o mesmo, isto é, solucionar um problema de valor inicial com um conjunto de condições de contorno dadas, a natureza destas últimas muda de um formalismo a outro. Usualmente as condições de contorno ficam mais naturais no ADM, enquanto no característico estas adotam formas mais complexas. Além disso, é indispensável que o problema a resolver seja bem colocado, para que o sistema não fique sobre-determinado e os métodos numéricos falhem. Antes de tentar formular esquemas de integração para resolver um problema completamente dinâmico é preciso levar as equações à forma requerida, consistentemente com a foliação escolhida o que implica em um árduo trabalho analítico, isto com o fim de evitar singularidades coordenadas nos operadores diferenciais.

# Stochastic background of gravitational waves generated by compact binary systems

Edgard de Freitas Diniz Evangelista<sup>1</sup>, José Carlos Neves de Araújo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Divisão de Astrofísica, INPE

Binary Systems are the the most studied sources of gravitational radiation, both theoretically and observationally. Theoretically, the mechanisms of emission and the behavior of the orbital parameters are well known and can be written in analytic form in several cases, which is a great advantage in terms of computational work; observationally, even though gravitational waves have not been detected yet, the strongest indication of the its existence have arisen from the observation of binary systems, more specifically the Hulse-Taylor binary pulsar. When one begins to detect gravitational radiation, one of the observed pattern of the signals will probably be of stochastic background nature because there will be a superposition of the signals emitted by a plenty of sources around the Universe. So, our task here is to develop a method for summing the gravitational waves emitted by cosmological binary compact systems in order to find out the shape of the spectra, that is, we will develop a method for obtaining the stochastic background generated by these systems. We use here an analogy with a problem of statistical mechanics in order to perform this sum, besides taking into account the temporal variation of the orbital parameters of the systems.

# OGC\_lib, um *framework* para o desenvolvimento de aplicativos de cosmologia de ondas gravitacionais

Eduardo S. Pereira<sup>1</sup>, Oswaldo D. Miranda<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Divisão de Astrofísica, INPE

Na teoria geral da relatividade, ondas gravitacionais são perturbações do espaço-tempo que se propagam a velocidade da luz e que possuem fraca interação com a matéria. A detecção futura de tais ondas irá abrir um novo olhar para a compreensão dos processos astrofísicos e cosmológicos. Por outro lado, atualmente, os custos com hardwares mais potentes são cada vez menores, porém, o custos ligados ao desenvolvimento de aplicativos, ou seja, o custo humano, tem se tornado cada vez maior. Pensando nisso, nascem as chamadas linguagens de programação de altíssimo nível, como Python. O nível de uma linguagem de programação é determinado pelo quão próximo a sua estrutura e sintaxe é a da linguagem humana. Assim, quanto mais próxima a linguagem humana, mais eficiente será o ato de programar e maior será o nível da linguagem. Dentro desse contexto, nesse trabalho é apresentado um *framework*, chamado OGC\_lib, para o desenvolvimento de softwares de cosmologia de ondas gravitacionais. A partir do OGC\_lib é possível obter, para um dado *redshift*, a densidade numérica de halos de matéria escura, a fração de bárions em estruturas, a taxa cósmica de formação estelar. Também funções ligadas a cosmologia tal como a distância comóvel. A próxima etapa do projeto será o de incluir no *framework* classes para o cálculo da função de massa de buracos negros supermassivos (BNSM), taxa de fusão de halos, fundos estocásticos de ondas gravitacionais – formados por buracos negros pré-galácticos e por crescimento de BNSM (acresção de matéria e fusão entre BNSM). Além do cálculo da razão sinal ruído para detectores interferométricos (LIGO, LISA, Decigo, BBO).

# Determinação dos Parâmetros das Binárias Eclipsantes OGLE-II

Julio Tello<sup>1</sup>, Francisco Jablonski<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Divisão de Astrofísica, INPE

O projeto OGLE (*Optical Gravitational Lensing Experiment*) foi concebido para detectar matéria escura através da procura de eventos de lentes gravitacionais. Como sub-produto, na segunda fase de operação obteve-se um catálogo de ~ 220 mil candidatas a estrelas variáveis na direção do bojo galáctico. A base de dados OGLE-II está composta de imagens e curvas de luz na banda I. Outro levantamento, 2MASS (*Two Micron All Sky Survey*), produziu um catálogo de fontes puntiformes que cobre praticamente o céu inteiro em três bandas (J, H e KS). Nosso trabalho de mestrado consistiu em identificar as binárias eclipsantes de OGLE-II com contrapartidas no 2MASS. Os sistemas binários são objetos muito comuns em nossa Galáxia e são uma das principais fontes para a determinação de parâmetros estelares fundamentais como as massas e os raios. Como resultado dos avanços tecnológicos e produto dos atuais levantamentos, novas variáveis estão sendo descobertas. Isso levou a uma tendência a se acumular curvas de luz enquanto a análise não é realizada com a mesma rapidez. Frente à enorme quantidade de dados, é evidente a necessidade de se desenvolver algoritmos para selecionar as binárias eclipsantes e analisá-las automaticamente. O objetivo principal de nosso trabalho de doutorado consiste em estudar os sistemas binários do OGLE com contrapartidas no 2MASS através de um procedimento que aplique o modelo de síntese de Wilson-Devinney (W-D) aos dados de forma automática. Apresentamos resultados obtidos nas curvas de luz de objetos OGLE-2MASS aplicando dois procedimentos em sequência (o algoritmo genético *pikaia* e o algoritmo *downhill simplex amoeba*) para automatizar o ajuste com o código W-D. Alguns objetos de OGLE-II que não possuem contrapartida 2MASS e que apresentam características particularmente interessantes do ponto de vista astrofísico serão estudados usando fotometria e espectroscopia para determinar seus parâmetros. Medidas fotométricas foram realizadas no observatório Pico dos Dias usando os telescópios Perkin-Elmer (1,6m) e Zeiss (0,6m). Apresentamos os espectros de dois

sistemas eclipsantes obtidos com o espectrógrafo Goodman do telescópio SOAR (4,2m). A binária BUL- SC16 335 possui período orbital curto (0,125 d.) e forte aquecimento na face da estrela mais fria. Sua curva de luz indica que seria parte de um pequeno grupo de sistemas pré-cataclísmicos onde umas das componentes é um objeto compacto tipo sdB. A outra binária observada é BUL-SC42 2830, que apresenta uma grande diferença entre os máximos e cuja curva de luz parece indicar que existe transferência de massa entre as suas componentes. Mencionamos o *status* de nosso trabalho e os próximos passos para a determinação dos parâmetros das binárias.

# Modelagem simultânea no óptico e em raios X de variáveis cataclísmicas magnéticas

Karleyne M. G. Silva<sup>1</sup>, Cláudia V. Rodrigues<sup>1</sup>, Joaquim E. R. Costa<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Divisão de Astrofísica, INPE

Variáveis cataclísmicas (VCs) são sistemas binários de curto período orbital formados por uma estrela anã vermelha que, ao preencher seu lóbulo de Roche, transfere matéria via o ponto Lagrangiano  $L_1$  à outra componente do sistema, uma anã branca. A presença de um campo magnético superior a  $10^6$  Gauss forma uma coluna de acréscimo devido ao acoplamento do material às linhas do campo magnético. A formação de um choque próximo à superfície da anã branca aquece o material até temperaturas para emissão em raios X. A emissão desta mesma região no óptico é dominada por emissão ciclotrônica. A modelagem da emissão ciclotrônica é feita utilizando-se o código CYCLOPS, desenvolvido por nosso grupo. O código é baseado em uma região emissora 3D e permite o cálculo do transporte radiativo considerando os parâmetros físicos não homogêneos ao longo da região. A estrutura de densidades e temperaturas geradas pelo choque é considerada. Neste trabalho, foi incluída a emissão *bremsstrahlung* para a região pós-choque no código CYCLOPS. O objetivo é realizar a modelagem simultânea de curvas de luz e polarização no óptico e de curvas de luz e espectros em raios X. Estas alterações permitem uma modelagem de dados em raios X de VCs magnéticas de forma consistente e fortemente vinculada a geometria do campo magnético e da região emissora sem a inclusão de novos parâmetros ao modelo. Neste trabalho também incluímos a fotoabsorção da região pré-choque determinada a partir da geometria da região pré-choque, algo que na literatura é obtido a partir do ajuste arbitrário dos espectros em raios X. Resultados parciais da modelagem em raios X foram obtidos para a VC magnética CP Tuc. Este objeto teve a emissão ciclotrônica modelada com o CYCLOPS utilizando-se curvas de luz e de polarização no óptico obtidas por nosso grupo no Observatório do Pico dos Dias em Minas Gerais/Brasil. Foram obtidos dois bons ajustes com geometrias diferentes da região emissora. A partir dos parâmetros físicos e geométricos obtidos da modelagem da emissão ciclotrônica, foram produzidos modelos para emissão *bremsstrahlung* que

forneçeram curvas de luz em raios X em 3 bandas de energia. Estas curvas de luz não foram ajustadas a dados, apenas graficadas em conjunto com curvas de luz em raios X obtidas na literatura para comparação. A comparação demonstrou que existem dois cenários possíveis para explicar a modulação observada nas curvas de luz: um cenário de auto-eclipse e um cenário de absorção pela região pré-choque durante algumas fases. A partir do ajuste das curvas de luz em raios X será possível decidir entre os dois cenários, porém é necessária a modelagem simultânea dos dados no óptico e em raios X para o objeto. O próximo passo do projeto é implementar a modelagem simultânea no CYCLOPS. O código ampliado será aplicado a dados do grupo e da literatura de outras VCs magnéticas, o que permitirá o estudo da relação entre a geometria e as propriedades da emissão em raios X de regiões pós-choque.

# O efeito tempo-luz em binárias eclipsantes: o caso da variável cataclísmica QS Vir

Leonardo A. Almeida<sup>1</sup>, Francisco Jablonski<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Divisão de Astrofísica, INPE

O efeito tempo-luz é observado quando uma variável, que possui um período mensurável, interage gravitacionalmente com um outro corpo. Essa interação obriga a variável girar ao redor do centro de massa formado por ela mais o corpo. Esse movimento afasta e aproxima a variável de um observador externo em repouso. Como a velocidade da luz é constante, o observador verá o período da variável ficar mais longo ou mais curto quando ela estiver se afastando ou se aproximando dele. Esse efeito tem sido aplicado para buscar por componentes estelares e planetárias ao redor de sistemas binários eclipsantes. Neste contexto, a variável cataclísmica, QS Vir, é um interessante objeto para ser estudado, pois medidas do tempo do eclipse têm mostrado que seu período orbital é variável. Essas medidas vêm sendo feitas desde que esse sistema foi descoberto em 1992. A primeira análise da variação do período orbital de QS Vir foi realizada por O'Donoghue et al. (2003). Eles verificaram que os resíduos, obtidos a partir do ajuste de uma função linear aos tempos dos eclipses, apresentavam uma variação cíclica de aproximadamente 12 s de semi-amplitude. Qian et al. (2010) adicionaram 5 novas medidas e propuseram que a variação do período orbital de QS Vir era devido a existência de um planeta gigante mais a perda de momento angular via freamento magnético. Parsons et al. (2010) mostraram que a hipótese do planeta gigante não concordava com suas novas medidas e que o decréscimo do período orbital, associado à perda de momento angular por Qian et al. (2010), era na realidade parte de um ciclo de aproximadamente 16 anos. Neste trabalho, nós apresentamos 28 novas medidas do eclipse primário de QS Vir. Essas medidas foram feitas entre Maio e Agosto de 2010 com as facilidades do Laboratório Nacional de Astrofísica e do Miniobservatório do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Todas as medidas disponíveis na literatura foram reunidas e reanalisadas. Nós mostramos que a presença de dois corpos com alta excentricidade ao redor de QS Vir é a hipótese mais plausível para explicar a variação do período orbital deste sistema. Considerando

coplanaridade entre os dois corpos externos e a binária, nós obtemos que o primeiro corpo com período orbital de 14,4 anos é um planeta gigante e o segundo corpo com período de 17 anos é uma anã marrom.

# Modelo para detecção de Luas e anéis em órbita de planetas extrassolares

Luis Ricardo Moretto Tusnski<sup>1</sup>, Adriana Válio<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Divisão de Astrofísica, INPE, <sup>2</sup>CRAAM, Mackenzie

**Introdução:** Dentre os métodos de detecção de planetas extrassolares, o método dos trânsitos tem destaque atualmente, com duas missões espaciais importantes em andamento: o Telescópio Espacial CoRoT e a Missão Kepler, além de outras missões a partir do solo. Se o mesmo planeta for detectado por trânsitos e por velocidade radiais, podemos determinar seu conjunto completo de parâmetros físicos e orbitais, incluindo o ângulo de inclinação orbital. Mais recentemente, além da busca por exoplanetas, tem se buscado por luas em órbita de tais planetas. A existência de luas levanta várias questões acerca da habitabilidade e da evolução temporal de exoplanetas, incluindo o processo de migração planetária. Vários métodos foram propostos, porém nenhuma lua foi encontrada até o momento. Em nosso trabalho de Mestrado, queremos determinar se o método dos trânsitos planetários pode ser usado para procurar luas. Para isso, desenvolvemos um programa que simula o trânsito de um planeta com luas diante de sua estrela hospedeira conforme visto pelo CoRoT e pelo Kepler. Também temos a possibilidade de simular o trânsito de planetas com anéis. Além de determinar se tais eventos são detectáveis, queremos estabelecer limites de detecção em cada caso.

**O Modelo:** O modelo é feito em IDL, e considera a estrela como um disco com escurecimento de limbo. Planeta e lua são modelados como discos opacos. Anéis são discos com transparência definida em cada simulação. A cada passo, o programa calcula a posição do planeta, da lua e dos anéis, e soma os pixels não cobertos para estimar a luminosidade observada da estrela. O resultado é a curva de luz.

**Detectabilidade:** Para determinar a detectabilidade, acrescentamos ruído gaussiano (que pode ser ajustado para simular o trânsito observado pelo CoRoT ou pelo Kepler) à curva de luz, e usamos os algoritmos Pikaia e Amoeba para recuperar os parâmetros da curva de luz original. Se os parâmetros obtidos forem iguais aos originais, então consideramos que o evento é detectável.

**Limites de Detecção:** Atualmente, estamos estabelecendo os limites mínimos de

detecção em cada caso. Já verificamos que o CoRoT pode detectar luas de no mínimo 1.3 RT. Para o Kepler, esse limite cai para 0.3 RT. Limites para anéis planetários também estão sendo determinados.

Desenvolvimento Futuro: Em um trabalho futuro, vamos aplicar esse modelo a curvas de luz dos telescópios espaciais CoRoT e Kepler, com objetivo de procurar por candidatos a planetas com luas e anéis planetários.

# Estudo computacional do projeto protoMIRAX

Manuel Antonio Castro Ávila<sup>1</sup>, João Braga<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Divisão de Astrofísica, INPE

O projeto protoMIRAX consiste no desenvolvimento de uma câmera de raios X para obter imagens de fontes astrofísicas na faixa de 30-200 keV. A câmera é constituída de 169 detectores num arranjo de 13 x 13 elementos junto com um colimador e utiliza uma máscara codificada para compor o sistema imageador. Atualmente estamos desenvolvendo simulações usando o pacote GEANT 4, uma ferramenta de simulação desenvolvida pelo CERN para o estudo da interação de partículas com energias maiores do que alguns eV com a matéria. Nosso estudo consiste- principalmente na simulação de diferentes fontes de ruído de fundo (fótons, nêutrons, elétrons e prótons) presentes em altitudes de balão. Usamos diferentes espectros que representam cada uma das fontes de ruído, montamos a configuração geométrica do protoMIRAX no GEANT 4 e calculamos as energias medidas no detector para cada espectro. Dependendo da fonte a ser simulada, a distribuição angular varia e isso deve ser levado em conta quando está-se rodando a simulação. Usamos um padrão de máscara MURA 37x37, onde o tamanho do elemento de máscara é menor que a resolução espacial do detector. Usando a correlação cruzada como forma de reconstrução, obtemos imagens que apresentam artefatos dificultando a identificação de fontes reais. Uma alternativa de reconstrução que estamos propondo é usar métodos iterativos, especificamente o método de *Richardson-Lucy*, onde a cada iteração é calculada uma nova solução para o campo. Este método tem mostrado grandes resultados, possibilitando reconstruir imagens sem artefatos. A ideia do trabalho é somar todas as contribuições de ruído à contagem obtida de uma simulação usando uma fonte conhecida, implementar o algoritmo iterativo e analisar os resultados obtidos, pois, usando esse padrão de máscara 37x37, está-se obtendo um grande ganho em resolução angular.

# Ejeções de massa coronal de baixa energia e “flares”

Márcia R. G. Guedes<sup>1</sup>, José Roberto Cecatto<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Divisão de Astrofísica, INPE

Ejeções de Massa Coronal (CMEs) são fenômenos energéticos (até  $> 10^{33}$  erg) produzidos no Sol, principalmente durante o período de máximo de um ciclo de atividade. De morfologia variada, os mais característicos são aqueles formados por uma gigantesca (até  $10^{17}$  g) nuvem de gás magnetizada em forma de arco - originada em regiões da atmosfera solar com campo magnético fechado e mais intenso, poucos G a  $\sim 100$  G, que o Sol calmo - que pode acelerar conforme se move em direção ao espaço exterior. A velocidade de propagação varia de dezenas a poucos milhares de km/s, com um valor médio em torno de 470 km/s, enquanto a massa varia por 7 ordens de grandeza a partir de  $10^{10}$  g. Os valores mínimos registrados tanto de velocidade quanto de energia dos CMEs informam sobre o limiar mínimo de ocorrência do fenômeno e condições físicas na região de onde se originam. Geralmente, os CMEs são observados pelo experimento LASCO do satélite SOHO. Por sua vez, “flares” são fenômenos energéticos (até  $10^{34}$  erg) que ocorrem em regiões quentes, densas e magnetizadas da atmosfera solar. Baseado em dados do LASCO, apresentamos resultados da análise de um conjunto de CMEs com  $v < 200$  km/s e energias  $10^{26}$  -  $10^{33}$  erg em termos da energia armazenada nas estruturas de origem e sua importância. Também discutimos a associação ou não destes CMEs com “flares” em termos da energia total, bem como suas principais características.

# Calibração do mapa de emissão síncrotron do radiotelescópio GEM utilizando os dados de temperatura absoluta do experimento ARCADE 2.

Mariana Chinaglia<sup>1</sup>, Carlos Alexandre Wuensche de Souza<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Divisão de Astrofísica, INPE

A motivação deste trabalho é produzir um mapa de emissão síncrotron em 2,3 GHz com relação sinal/ruído otimizada, utilizando os dados do experimento GEM, de modo a auxiliar o processo de separação de “foregrounds” na análise de dados da Radiação Cósmica de Fundo (RCF). Nosso objetivo é calibrar os mapas de emissão síncrotron produzidos com o radiotelescópio GEM (Galactic Emission Mapping) com medidas de temperatura (intensidade total) do experimento ARCADE 2 (Absolute Radiometer for Cosmology, Astronomy and Diffuse Emission). Serão utilizados os dados do GEM em 2,3 GHz e do ARCADE 2 nas frequências de 3 GHz, 8 GHz e 10 GHz. A frequência do ARCADE escolhida para calibrar o GEM foi de 3 GHz e foi necessário gerar um mapa médio de temperatura pois o ARCADE possui dois canais de observação para cada frequência. O mapa em 3 GHz do ARCADE foi extrapolado para 2.3 GHz através de um mapa de índice espectral feito com dados do HASLAM 408 MHz e do WMAP 23 GHz. Em seguida, degradamos e suavizamos o mapa do GEM (resolução de ~ 2 graus) para a resolução do ARCADE (resolução de ~ 11 graus) e estudamos as diferenças entre os dois mapas. Depois de suavizados, ambos os mapas tiveram a contribuição bremsstrahlung removida usando o template do Finkbeiner ET AL., também degradado e suavizado na resolução e largura do feixe do ARCADE. Foram gerados histogramas, mapas combinados (utilizando os templates de 408 MHz de Haslam e de 23 GHz do WMAP 7anos), mapas comparativos de índices espectrais nas frequências de interesse (2,3 GHz; 3 GHz; 8 GHz e 10 GHz) e histogramas das regiões comuns entre os dois mapas. Esses resultados serão utilizados para produzir um novo template de emissão síncrotron.

# Não-gaussianidade primária na Radiação Cósmica de Fundo em Microondas

Mariana Cunha Costa<sup>1</sup>, Carlos Alexandre Wuensche<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Divisão de Astrofísica, INPE

A Radiação Cósmica de Fundo em Microondas (RCFM), descoberta por Penzias e Wilson e explicada por Dicke e colaboradores, consiste em um sinal eletromagnético cuja intensidade máxima encontra-se na faixa de microondas do espectro eletromagnético e pode ser observada em todas as direções do céu. Sua importância se deve ao fato de ela conter informações a respeito dos processos físicos dominantes no início do universo em sua intensidade total, distribuição angular e polarização. O espectro da RCFM, medido pelo experimento FIRAS a bordo do satélite COBE, é muito bem descrito por um espectro de corpo negro a uma temperatura de  $T = 2,725 \pm 0,001$ . Tal estimativa dá respaldo à teoria, confirmando a história térmica do universo, descrito pela métrica homogênea e isotrópica de Friedman-Robertson-Walker. Corrigindo-se sinais de contaminações, constroem-se mapas das flutuações de temperatura da RCFM, cuja amplitude é da ordem de  $10^{-5}$  K. As observações nas frequências de 31, 53 e 90 GHz do COBE, lançado em 1989, possibilitaram a produção de mapas de flutuações com resolução angular de  $7^\circ$ , com quatro anos de observação. O satélite WMAP, lançado em 2001, ainda está realizando medidas nas frequências de 23, 33, 41, 61 e 94 GHz. Em 2010, foram liberados os mapas com resolução angular de  $0,5^\circ$ , a partir da análise de sete anos de dados. A Teoria Inflacionária prevê que deve haver, em média, o mesmo número de regiões quentes e regiões frias, ou seja, a curva de distribuição das flutuações de temperatura deveria ser gaussiana. No entanto, análises dos dados de sete anos do WMAP, publicadas em 2010, sugeriram que pode haver um desvio de gaussianidade nessa distribuição. As não-gaussianidades (ou os desvios) podem ser primárias, de origem inflacionária, ou secundárias, ocasionadas por alterações nas flutuações de temperatura causadas por efeitos do tipo Sunyaev-Zel'dovich e por lenteamento gravitacional. A proposta para este trabalho de mestrado é estudar os efeitos da não-gaussianidade primária na distribuição angular da RCFM. Isso será feito através de modificações das condições iniciais gaussianas no código

CAMB. O CAMB (Code for Anisotropies in the Microwave Background) é uma ferramenta computacional para simulação de modelos teóricos cosmológicos desenvolvida em FORTRAN 90 por Antony Lewis e Antony Challinor. Pretendemos comparar os resultados das simulações (mapas e espectros de potência angulares), usando condições iniciais não-gaussianas e gaussianas teóricas, com os dados reais da RCFM. Para tal, usaremos técnicas estatísticas, sendo, possivelmente, uma delas, a construção de semivariogramas a partir dos dados de flutuações de temperatura dos mapas. Calculando as semivariâncias, é possível obter as dimensões fractais dos mapas. A verificação dos testes será feita comparando-se semivariogramas e dimensões fractais obtidos para mapas gaussianos, com diferentes níveis de não-gaussianidade e com os dados reais do satélite Planck, caso os dados do primeiro ano sejam disponibilizados durante o programa de mestrado.

# Antena esférica Mário Schenberg

Natália do Carmo Carvalho<sup>1</sup>, Odylio Aguiar<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Divisão de Astrofísica, INPE

O detector Mário Schenberg é um detector de ondas gravitacionais de massa ressonante. É composto por uma antena esférica de cobre e alumínio (94% / 6%) com aproximadamente 1150 Kg e 65 cm de diâmetro. Deverá operar em temperaturas criogênicas, abaixo de 100 mK, atingindo uma sensibilidade  $h \sim 10^{-22} \text{ Hz}^{-1/2}$  em uma banda passante de 400 Hz, centrada em 3.2 KHz. Está localizado na cidade de São Paulo no Laboratório de Estado Sólido e Baixas Temperaturas do Instituto de Física da Universidade de São Paulo. O detector funcionou pela primeira vez em setembro de 2006 e desde 2007 vem sendo aperfeiçoado com o objetivo de aumentar sua sensibilidade. Nesse sentido, estamos na terceira geração de transdutores, que são os dispositivos responsáveis por converter a energia mecânica gerada na esfera pela onda gravitacional em energia elétrica mensurável. Atualmente os transdutores estão em fase de testes mecânicos. Estamos trabalhando na obtenção do fator de qualidade mecânico da membrana de silício, responsável por modular a frequência de vibração da antena na cavidade de microondas, e na otimização da cavidade de microondas, com o objetivo de elevar seu fator de qualidade elétrico e o acoplamento com as antenas de microfita. Uma vez definida a nova configuração do transdutor e concluída a construção de um conjunto completo de seis unidades, o Schenberg estará apto a funcionar novamente.

# O modelo cosmológico de Carmeli revisado e uma primeira análise do modelo gravitacional Carmeli-Kaluza-Klein

Pedro Henrique Ribeiro da Silva Moraes<sup>1</sup>, Oswaldo Duarte Miranda<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Divisão de Astrofísica, INPE

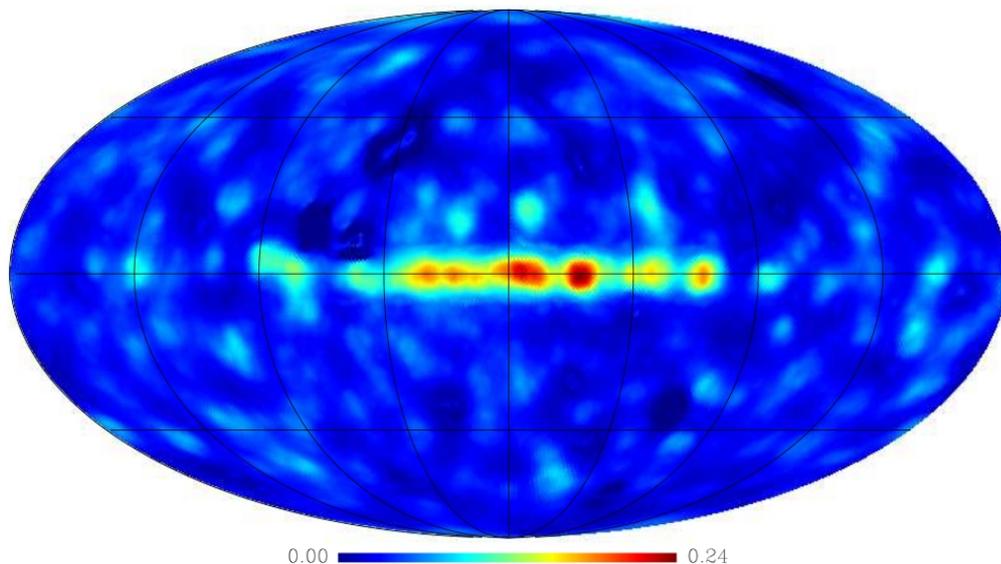
Quando comparamos os dados observacionais com a teoria da relatividade geral, somos forçados a admitir a existência de dois componentes exóticos: matéria e energia escuras. Esse resultado pode ser interpretado como uma falha ou limitação da teoria da relatividade geral em escalas cosmológicas, de forma que uma modificação da lei de gravitação nessas escalas talvez possa absorver de forma natural essas duas componentes escuras. Concentramos nossa atenção no modelo cosmológico criado por Moshe Carmeli no final dos anos 90 do século passado, que consiste no tratamento do universo como uma brana 5D, em que a quinta dimensão está associada à velocidade de expansão do universo. Nesse trabalho, nós fazemos uma revisão crítica do cenário cosmológico de Carmeli à luz dos dados observacionais recentes. Por exemplo, a análise  $\chi^2$  por nós aplicada para o conjunto de 307 supernovas da amostra de Kowalski et al. (2008) fornece para o modelo cosmológico de Carmeli  $\chi_{\min}^2 = 330.32$  com  $\Omega_m = 0.0730^{+0.0160}_{-0.0298}$ . Por outro lado, o modelo  $\Lambda$ CDM para a mesma amostra de supernovas, retorna  $\chi_{\min}^2 = 311.93$  com  $\Omega_m = 0.2870^{+0.0253}_{-0.0246}$ . Isso mostra que em princípio o modelo cosmológico de Carmeli pode ajustar bem os dados observacionais de supernovas sem a necessidade de matéria e energia escuras. As consequências desse modelo para a Cosmologia e a inclusão de outros testes como “shift parameter” e BAO (Baryon Acoustic Oscillations) também são discutidas neste trabalho. Além disso, apresentamos o modelo gravitacional Carmeli-Kaluza-Klein, que consiste na unificação do modelo estudado nesse trabalho de mestrado com o já renomado modelo gravitacional de Kaluza-Klein, assim como seus primeiros resultados e implicações.

# Modelo da Galáxia em raios $\gamma$

Priscilla Polido<sup>1</sup>, Francisco Jablonski<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Divisão de Astrofísica, INPE

Os dados do telescópio espacial Fermi, que têm resolução e sensibilidades sem precedentes, juntamente com o programa de previsão de contagens de fontes que desenvolvemos para explicar dados no infravermelho, permitem realizar uma investigação inédita a respeito da natureza e distribuição de fontes astrofísicas emisoras de raios  $\gamma$ . O objetivo do nosso projeto de doutorado é modelar a emissão de raios  $\gamma$  da Galáxia, considerando para isso tanto a contribuição de fontes pontiformes quanto a contribuição da emissão difusa. Neste trabalho descrevemos as premissas do modelo, as modificações necessárias para sua aplicação no regime de altas energias, e os procedimentos para a obtenção de mapas de distribuição de fontes, que posteriormente serão usados em comparações com os resultados do modelo. Apresentamos também mapas de densidade de fontes (um exemplo pode ser visto na figura 1), construídos usando o primeiro catálogo de fontes pontiformes do Fermi-LAT (*Abdo et al., 2010*) e empregando o método do *kernel* adaptativo (*Silverman, 1986*).



**Figura 1** - Mapa de densidade de fontes obtido a partir da aplicação da técnica de

*kernel* adaptativo sobre a distribuição de fontes Fermi (em projeção de Mollweide de coordenadas galácticas). A escala está em unidades de número de fontes por  $\text{deg}^2$ .

# Candidatos a variáveis cataclísmicas magnéticas com polarização baixa

Rafael R. Amorim<sup>1</sup>, Cláudia V. Rodrigues<sup>1</sup>, Deonísio Cieslinski<sup>1</sup>, Gabriel R. Hicel<sup>2</sup>, Dinalva A. de Sales<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Divisão de Astrofísica, INPE, <sup>2</sup>UNIFEI, <sup>3</sup>UFRGS

Variáveis cataclísmicas magnéticas são sistemas binários cerrados, compostos por uma anã branca e uma anã vermelha, que apresentam um campo magnético na superfície da anã branca superior a 0,5 MG. Sistemas onde o campo magnético é muito intenso,  $B \geq 10$  MG, são classificados como polares ou sistemas do tipo AM Her, enquanto os demais sistemas magnéticos são classificados como polares intermediárias ou sistemas DQ Her. Em ambos os sistemas, observamos a presença de uma estrutura, chamada coluna de acréscimo, que conduz o material que chega na superfície da anã branca. Polares são fontes de raios X moles e duros, além de apresentarem uma taxa de emissão ciclotrônica dominante no óptico. A radiação ciclotrônica apresenta um elevado grau de polarização linear e circular, assim sistemas do tipo AM Her devem apresentar polarização elevada. Neste trabalho apresentamos um estudo polarimétrico de 6 candidatos a variáveis cataclísmicas magnéticas: 1RXS J035410.4165244, 1RXS J042555.8194534, 1RXS J050146.2035927, 1RXS J100734.4201731, FIRST J0102347.6+003841 e 1RXS J155412.7+272143. Atualmente o sistema FIRST J0102347.6+003841 não é considerado como um candidato a VC magnética, Archibald et al. (2009, Science, v. 324) descobriram que esse sistema na verdade é um pulsar. Mesmo assim resolvemos manter esse sistema em nossa amostra. Nossas observações foram realizadas com o telescópio PerkinElmer, de 1,6m, do Observatório do Pico dos Dias, onde utilizamos a gaveta polarimétrica, composta por uma lâmina retardadora de quarto de onda, um analisador (prisma de calcita) e uma roda de filtros. A redução de dados foi efetuada utilizando o pacote de redução de imagens polarimétricas PCCDPACK (Pereyra, 2000), no ambiente IRAF. No primeiro período de 2010 fizemos a redução preliminar polarimétrica destes sistemas e apresentamos os resultados preliminares em nossa proposta de dissertação. Nenhum destes objetos tem polarização medida até então. Nossos resultados mostram um valor

baixo para a polarização circular destes sistemas. Em alguns deles a polarização é aproximadamente nula, dentro das barras de erro. Os resultados para a polarização são consistentes para diferentes filtros,  $R_c$  e  $I_c$ , para os sistemas que foram observados em ambos os filtros. Apresentamos também as curvas de luz de cada sistema.

# Calibração de detectores e desenvolvimento de software de análise de dados do protoMIRAX

Taís Maiolino<sup>1</sup>, João Braga<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Divisão de Astrofísica, INPE

O protoMIRAX é um experimento de raios X montado numa plataforma suspensa por um balão estratosférico, que voará a ~42 km de altitude. Os objetivos da missão são: testar em ambiente quase espacial subsistemas da missão MIRAX (que fará parte do satélite Lattes do INPE); estudar características e ruído de fundo instrumental de detectores CdZnTe (CZT) comparando com resultados de simulações; e observar fontes cósmicas de raios X para demonstração de técnicas inovadoras de reconstrução de imagens em raios X utilizando a técnica de máscaras codificadas (que permite codificar espacialmente o fluxo incidente de raios X nos detectores de forma a recuperar de forma unívoca a direção e a intensidade do campo de radiação incidente). O experimento utilizará uma câmara de raios X duros (CRX) operando na faixa de 30 a 200 keV; o limite inferior é determinado pela absorção fotoelétrica da atmosfera em altitudes de balão estratosférico e o limite superior é determinado pelo tipo e pela espessura dos detectores utilizados. O sistema detector consiste de um conjunto de 169 (13x13) detectores de CZT com 1 cm<sup>2</sup> de área e 2 mm de espessura cada um, que proporcionam uma resolução em energia < 10% em 60 keV. A CRX terá a capacidade de produzir imagens do céu com uma resolução angular de aproximadamente ½ grau (a ser confirmado) em um campo de visada de 20° x 20°. A resolução angular e a precisão na determinação de posição de fontes serão determinadas a partir dos resultados de simulações e medidas no laboratório de novas técnicas de reconstrução de imagens por métodos iterativos envolvendo máxima verossimilhança. A plataforma do experimento possuirá ainda um sistema de apontamento para que CRX aponte para um alvo na esfera celeste e o acompanhe de modo inercial enquanto a Terra gira, um sistema de controle para a estabilidade da plataforma, um sistema de telemetria e telecomando que permitirá o envio de dados (científicos e técnicos) para o solo e o envio de comandos de diversos tipos para a operação do experimento e seus subsistemas, mais um sistema de suprimento de energia atuando durante a duração do

voo que será de ~20h. O plano de trabalho consiste no desenvolvimento de software de análise de dados do protoMIRAX em ambiente IDL (para a análise espectral, temporal e para extração de informação das imagens obtidas); na calibração dos detectores, onde será estudado a linearidade e os espectros dos detectores com fontes radioativas, uniformizado os ganhos e limites inferiores da faixa de energia dos detectores e produzido imagens teste de laboratório; na procura de alvos para os voos, fazendo mapas de posição do céu ao longo do voo, e em simulações de imagens e espectros dos objetos a serem observados.

# Campos magnéticos livres de força em regiões ativas e atividade solar

Tereza S. N. Pinto<sup>1</sup>, Joaquim E. R. Costa<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Divisão de Astrofísica, INPE

O campo magnético coronal é responsável por diversos fenômenos da atividade solar, como as explosões solares e as ejeções de massa coronal. Portanto, para compreender esses fenômenos desejamos conhecer a topologia e as condições que permitem que esses eventos ocorram. Na coroa o campo magnético satisfaz à condição de um campo livre de forças:  $\text{rot}(\mathbf{B}) = \alpha \mathbf{B}$  e soluções a essa equação em sua forma linearizada são utilizadas para modelar o campo magnético em regiões ativas. As condições de contorno são fornecidas pelos magnetogramas, mapas da intensidade magnética na fotosfera. Esses mapas são produzidos através de métodos de calibração ou de inversão, e no processo de produção efeitos instrumentais e observacionais intrínsecos devem ser considerados, além de suposições nos métodos de inversão. Para lidar com as diferentes fontes de dados, durante o primeiro período de 2010 adaptamos nossos códigos de extrapolação de campo para receber esses novos dados. Comparamos as extrapolações e verificamos que nos dados do Hinode/SOT/SP os arcos magnéticos produzidos são mais compactos (mais baixos) mas com um número maior de linhas de campo magnético resolvidas. Aplicamos esse método de extrapolação na região ativa NOAA 10486 e concluímos que a direção do campo magnético, indicada pelas observações em rádio, é justificada apenas quando introduzimos um grande stress (torção) às linhas de campo. Atualmente trabalhamos no problema matemático da solução não linear para a equação de um campo livre de forças.

# Campos magnéticos em regiões formadoras de estrelas

Victor S. Magalhães<sup>1</sup>, Cláudia V. Rodrigues<sup>1</sup>, Antonio Pereyra<sup>2</sup>, German A. Racca<sup>1</sup>, José W. S. Vilas-Boas<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Divisão de Astrofísica, INPE, <sup>2</sup>Observatório Nacional

A taxa de formação estelar observada é menor que a esperada para um colapso puramente gravitacional das nuvens moleculares interestelares. Tanto o campo magnético quanto a turbulência podem ajudar a nuvem molecular a suportar o colapso gravitacional, diminuindo assim a taxa de formação estelar. Porém qual dos dois é mais importante para impedir o colapso ainda é uma questão em aberto. Nosso objetivo é verificar se a dispersão do campo magnético é diferente entre regiões com e sem formação estelar. Neste estudo usamos a polarimetria para estudar o campo magnético nas regiões de formação estelar, pois com a polarimetria podemos obter informações a respeito da direção e dispersão das linhas de campo magnético. A polarimetria é utilizada para estudar o campo magnético pois os grãos interestelares se alinham ao campo magnético interestelar. Quando a radiação oriunda de estrelas de fundo incide nos grãos alinhados, parte da radiação é absorvida em uma direção preferencial, portanto o feixe que sai é ligeiramente polarizado. A direção de polarização é a direção do campo magnético no meio. Como a direção de polarização é paralela às linhas de campo magnético, a dispersão na direção de polarização é proporcional à dispersão na direção das linhas de campo magnético. Se houver equipartição de energia entre a energia cinética e magnética, a dispersão na direção das linhas de campo magnético é diretamente relacionada à velocidade da turbulência no meio. Isso ocorre devido às linhas de campo magnético estarem congeladas na matéria. A amostra completa deste trabalho consiste em vinte Glóbulos de Bok e foi selecionada de Racca et al. (2009, ApJ, 703, 1444). Uma parte possui formação estelar e a outra não apresenta evidências de formação estelar. Os Glóbulos de Bok foram escolhidos por serem as regiões mais simples onde ocorre a formação estelar e portanto tornam mais fácil a interpretação dos resultados. Da amostra total, foi obtida a polarimetria de 11 glóbulos no óptico e/ou no infravermelho. Apresentamos resultados preliminares da redução da polarimetria óptica do glóbulo BHR 059 obtida no

Observatório do Picos dos Dias (Brasil).

# Procedimento de análise de dados para os detectores de ondas gravitacionais MiniGRAIL e Mário Schenberg.

Carlos Filipe Da Silva Costa<sup>1</sup> (Supervisor Odylio D. Aguiar<sup>1</sup>)

<sup>1</sup>Divisão de Astrofísica, INPE

INPE/USP (FAPESP #2010/09101-6)

O progresso nas sensibilidades dos detectores LIGO e Virgo nos deixa a expectativa de uma detecção dentro de um futuro breve. O próximo passo será o uso de detectores de ondas gravitacionais (OGs) para a astronomia, no sentido de identificação e estudo de fontes. Nesse campo os detectores esféricos possuem características interessantes. As esferas tem cinco canais intrínsecos que são os modos quadrupolares da esfera, com os quais acoplam as OGs. Com estes canais temos toda a informação sobre as OGs: a direção e a polarização. A esfera também tem a vantagem de ser um detector isotrópico (onidirecional). Os dois detectores Mario Schenberg (do Grupo Gráviton no Brasil) e MiniGRAIL (Holanda) compartilham os mesmos princípios de detecção e quase as mesmas características técnicas: frequências de ressonância  $\sim 3\text{kHz}$ , uma banda de  $\sim 400\text{Hz}$  e uma sensibilidade de  $10^{-21}\text{Hz}^{-1/2}$ . O objetivo do meu trabalho de tese foi de implementar e testar um “Matched Filter” como complemento num procedimento de análise de dados. Os testes foram efetuados com uma simulação do detector. Sinais do tipo “burst” foram injetados nos canais dos modos quadrupolares. O procedimento começa com uma adaptação do método Waveburst usado no projeto LIGO, o “Coherente Waveburst for the sphere” (CWS). Junto com este método usamos duas técnicas independentes (“likelihood” e geométrica) para a reconstrução das direções de chegada da OGs. Para finalizar, aplicamos o “multichannel Matched Filter” nos possíveis eventos detectados pelo o CWS, chamados “triggers”. O CWS permite uma detecção rápida e independente da direção das OGs. Ele já fornece o tempo de chegada, frequência central das OGs. Aplicamos um veto nos “triggers”, comparando as direções da duas reconstruções independentes. A taxa de falsos triggers é de  $10^{-2}$  -  $10^{-3}\text{Hz}$  em função da amplitude do sinal. O método do “matched filter” consiste em multiplicar os dados pela forma esperada das OGs. Para este método usamos os “triggers” e parâmetros encontrados com o CWS. O uso de Matched Filter

depois do CWS permite melhorar a resolução do tempo por um fator 10, a frequência também ganha um fator 10 e a amplitude é calibrada com 2-5%. Com o “Matched filter”, uma terceira técnica para determinar a direção das OGs foi desenvolvida, permitindo uma pequena melhora da resolução da direção. Usando esta informação de direção no veto conseguimos uma redução da taxa de falso alarmes em  $\sim 2/3$ . O uso dos dois métodos na seqüência indicada nos permite uma rápida e boa caracterização dos parâmetros das OGs. Tiramos todo proveito da análise multicanal para reconstruir a direção e aplicar vetos. Todo procedimento testado é feito offline. Agora com Mario Schenberg pretende-se desenvolver uma análise em tempo real dos sinais tipo “burst”. O objetivo é poder confrontar os trigger de alto SNR com outras fontes de informações como, por exemplo, neutrinos ou raios gamas que acompanham um explosão de supernova. Também será feito um estudo do método para a análise dos sinais periódicos. Esse estudo completará o nosso procedimento.

# Estudo de Glóbulos de Bok com 2MASS

Germán A. Racca<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Divisão de Astrofísica, INPE

Utilizamos dados do catálogo 2MASS no infravermelho próximo para construir mapas de extinção visual de uma amostra de glóbulos de Bok do hemisfério Sul usando o método NICE. Derivamos perfis de extinção radial de núcleos densos identificados nos glóbulos e analisamos sua estabilidade frente ao colapso gravitacional com esferas isotérmicas de Bonnor-Ebert. A distribuição de frequências do parâmetro de estabilidade ( $\xi_{\max}$ ) desses núcleos mostra que um grande número deles se encontra em estados estáveis, seguido por uma queda abrupta de núcleos em estados instáveis. Esta diminuição é mais acentuada para glóbulos com fontes pontuais IRAS associadas que para glóbulos *starless*. Além disso, glóbulos em estados estáveis têm uma temperatura de Bonnor-Ebert de  $T = 15 \pm 6$  K, enquanto o grupo de críticos mais instáveis têm um valor diferente, sendo sua temperatura de  $T = 10 \pm 3$  K.