

WHITE PAPER:

PAU - BRASIL SUL

Um telescópio de campo grande para um levantamento espectrofotométrico do céu do hemisfério sul e construção de um catálogo espectrofotométrico de todo o céu (PAU = Physics of the Accelerating Universe)

Laerte Sodré Jr. (IAG/USP), Renato Dupke (ON), Abilio Mateus (UFSC), Eduardo S. Cypriano (IAG/USP), Francisco Jablonski (INPE), Gastão B. Lima Neto (IAG/USP), Hugo Capelato (INPE), Ioav Waga (IF/UFRJ), Paula R. T. Coelho (UNICSUL), Raul W. Abramo (IF/USP)

Resumo

Propomos instalar no hemisfério sul dois telescópios de campo grande, um de 2.5m (para o levantamento) e outro de 80 cm (para calibrações), equipados com um conjunto de cerca de 40 filtros estreitos, para iniciar, antes do final de 2012, um levantamento análogo ao J-PAS, *Javalambre Physics of the Accelerating Universe Survey*, a ser conduzido no hemisfério norte. O uso de um grande número de filtros estreitos-necessário para se obter redshifts fotométricos de galáxias com alta precisão, fornece, para cada fonte detectada, um espectro de baixa resolução ($R \sim 50$), tornando o levantamento efetivamente espectrofotométrico. O objetivo será construir um catálogo com espectros de baixa resolução de fontes mais brilhantes que $i_{AB} = 22.5$ para TODO O CÉU. Além de se poder colocar vínculos fortes sobre a natureza da energia escura, os resultados do levantamento possibilitarão um imenso conjunto de aplicações, que vão de estudos do Sistema Solar ao mundo das galáxias. Vale lembrar que o único levantamento de todo o céu feito a partir do solo até o momento é o 2 MASS. Acreditamos que a extensão do J-PAS para o hemisfério sul terá impactos científicos, acadêmicos e tecnológicos extraordinários para nossa comunidade e trará uma visibilidade inédita para nossa astronomia.

Introdução

Grandes levantamentos (*surveys*), cobrindo grandes áreas do céu, tornaram-se ferramentas essenciais para abordar de forma eficiente inúmeros problemas da Astrofísica e da Cosmologia, como exemplificado pelo extraordinário impacto do Sloan Digital Sky Survey (SDSS; e.g., York et al. 2000, AJ, 120, 1579), cujo telescópio é considerado o mais produtivo de todos os tempos, e pela variedade de interesses científicos associados a iniciativas como a do Large Synoptic Survey Telescope (LSST; e.g., Abell et al. 2009, *The LSST Science Book*, arXiv:0912.0201).

Dentre os novos levantamentos propostos, o PAU, ou melhor, o J-PAS (*Javalambre Physics of the Accelerating Universe Survey*), tem atraído o interesse de parcela de nossa comunidade que, inclusive, está se organizando num consórcio envolvendo pesquisadores de várias instituições - o PAU-BRASIL- conforme explicado em um *white paper* a respeito nesta chamada para a elaboração de um Plano Nacional de Astronomia (Dupke et al., 2009). Embora a motivação principal deste levantamento (que deverá ser conduzido a partir do *Javalambre Astrophysical Observatory*- JAO- em construção em Teruel, Espanha) seja colocar vínculos sobre a natureza da energia escura pela detecção das oscilações acústicas de bárions (BAOs) com precisão sem

precedentes na época de sua conclusão, ele terá, por suas características únicas, um alcance potencialmente superior ao do SDSS. A razão é que, para atingir a precisão requerida na medida de BAOs com redshifts fotométricos, o J-PAS deverá imagear o céu do hemisfério norte com cerca de 40 filtros estreitos, cada um com largura de $\sim 100 \text{ \AA}$, cobrindo toda a faixa óptica. Assim, tal imageamento corresponde efetivamente a uma espectroscopia de baixa resolução ($R = \lambda/\Delta\lambda \sim 50$).

Aqui propomos estender o J-PAS para o hemisfério sul, o PAU-BRASIL SUL (PBS), “clonando” os telescópios, o hardware e o software que está sendo desenvolvido e implementado pela cooperação espanhola-brasileira do J-PAS. O J-PAS deve ter início no começo de 2012 e nosso objetivo é trabalhar para que o PBS comece antes do final de 2012, aproveitando a experiência a ser adquirida na condução do survey do hemisfério norte. Antecipamos que esta iniciativa terá grande impacto científico, tecnológico e acadêmico para nossa comunidade e que o legado de um levantamento espectrofotométrico de TODO O CÉU trará uma visibilidade sem paralelo para a astronomia brasileira.

Na seção 2 apresentamos um breve resumo do J-PAS e do consórcio PAU-BRASIL, que está sendo organizado para permitir a participação brasileira neste levantamento. Na seção 3 discutimos brevemente alguns projetos científicos que justificam nosso interesse no J-PAS e na sua extensão para o hemisfério sul. Nossa proposta é apresentada na seção 4. Na seção 5 apresentamos uma estimativa dos custos do projeto e, finalmente, na seção 6, comentamos os impactos que antevemos com a implementação desta proposta.

O levantamento J-PAS O J-PAS - *Javalambre Physics of the Accelerating Universe Survey* - é um levantamento que deve ser conduzido por uma colaboração espanhola/brasileira. O MoU (*Memorandum of Understanding*) que estabelece a cooperação é firmado, pelo lado espanhol, pelo *Centro de Estudios de Física del Cosmos de Aragón* (CEFCA), localizado em Teruel, e pelo *Instituto de Astrofísica de Andalucía* (IAA), de Granada, e, no lado brasileiro, pelo *Observatório Nacional* (ON) e pelo *Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da USP* (IAG). Um *white paper* encabeçado por R. Dupke descreve em detalhes o projeto. Aqui apresentamos apenas um breve resumo.

O objetivo do J-PAS é medir as BAOs com precisão sem paralelo por ocasião de sua conclusão (2016-2017). Espera-se medir posições e redshifts fotométricos para mais de 14 milhões de galáxias vermelhas luminosas ($L > L^*$) com $i_{AB} \lesssim 22.5$ (e redshifts $z \lesssim 0.9$) em 8000 graus quadrados do céu. O levantamento deve fornecer uma precisão de $\sim 5\%$ para o parâmetro da equação de estado da energia escura, w , se suposto constante, e pode determinar sua dependência temporal quando combinado com outras medidas, como CMB (ver Benitez et al. 2009, ApJ, 691, 241).

O J-PAS será conduzido no JAO, localizado em Teruel, Província de Aragón, Espanha, que é gerenciado pelo CEFCA. Este observatório deve começar a operar a partir de dezembro de 2011 e contará com 2 telescópios robóticos: um com um espelho de 2.5m (T250) e um outro, auxiliar, de 80cm (T80), que será dedicado a calibrações. Os telescópios terão um plano focal plano, transmissão uniforme, boa qualidade óptica e um campo de visão muito grande: diâmetros de 3 graus para o T250 e de 1.7 graus para o T80. O T250 será equipado com um mosaico de 14 CCDs de 10.5 x 10.5 pixels cada, suficientes para cobrir o plano focal com uma escala de 22.67 arcsec/mm com $9\mu\text{m}$ por pixel. A câmera será construída no Brasil como contrapartida brasileira no financiamento deste levantamento.

Para atingir a precisão necessária nos redshifts fotométricos ($\sigma_z \lesssim 0.0035(1+z)$), o J-PAS adotará uma estratégia absolutamente original: o imageamento com uma câmera de 6 graus quadrados será feito com cerca de 40 filtros estreitos (o número exato deve ser definido brevemente), cobrindo o intervalo de comprimento de onda entre 3500 e 9700 \AA . Assim, este

levantamento será, na verdade, espectrofotométrico, já que o imenso cubo de dados que será produzido para cada campo corresponderá a um espectro de baixa resolução ($R \sim 50$) para cada fonte.

O legado deste levantamento vai muito além da cosmologia, como discutimos na próxima seção. Nossa proposta de fazer um levantamento similar no hemisfério sul permitirá criar uma base de dados espectrofotométrica profunda e homogênea de todo o céu, com um alcance científico potencial incalculável.

Alguns casos científicos A principal aplicação do J-PAS será medir com excelente precisão as escalas dos BAOs impressas na distribuição de galáxias. A medida destas escalas (~ 150 Mpc) tem o potencial de impor vínculos fortes nas teorias de energia escura já que são essencialmente independente de modelos (e.g., Eisenstein & Hu 1998, ApJ, 496, 605). A importância dos BAOs para auxiliar em nossa compreensão da energia escura é discutida em outro *white paper* desta série (Abramo et al. 2009), para o qual remetemos o leitor interessado. Apenas mencionamos que um levantamento de todo o céu, como o que resultaria do J-PAS + PBS, permitiria abordar o problema da isotropia da equação de estado da energia escura com muito maior confiança estatística.

Mas um levantamento que produz espectros de baixa resolução tem um alcance científico com alto potencial de impacto em muitas áreas da astrofísica. Apresentamos agora alguns exemplos.

Os dados serão relevantes para melhorar nossa compreensão da Galáxia, principalmente através da investigação de suas regiões mais externas. Exemplos incluem: estudo das populações estelares no halo; identificação de subestruturas no halo, que são possíveis fósseis de eventos de acreção de galáxias satélites; estudo das populações estelares resolvidas de galáxias satélites, incluindo os restos produzidos por interações de maré que elas deixam para trás em suas órbitas.

As populações estelares de galáxias podem ser estudadas através da síntese espectral com os espectros de baixa resolução produzidos neste levantamento. Planejamos implementar uma adaptação do código Starlight (Cid Fernandes et al. 2005, MNRAS, 358, 363) na *pipeline* de redução dos dados, obtendo estimativas de idades, massa estelar, etc., a partir de cada espectro.

As populações estelares das galáxias próximas poderão ser estudadas pixel a pixel, o que permitirá investigar a evolução espacial e temporal da componente estelar. Como este estudo poderá ser feito para milhares de galáxias, a análise de uma amostra de galáxias espacialmente resolvidas pode produzir novos *insights* sobre como elas se formam e evoluem. Note que tal tipo de estudo será absolutamente inédito, já que investigações deste tipo só podem, por enquanto, ser feitas com IFUs, que, no caso de galáxias próximas, só amostram uma região minúscula da galáxia.

A amostra será suficientemente grande para permitir o estudo das populações estelares integradas de milhões de galáxias, e suficientemente profunda (galáxias vermelhas brilhantes serão observadas até $z \sim 0.9$) para investigar a evolução das galáxias e quasares.

A inédita precisão que será atingida na estimativa de redshifts fotométricos vai possibilitar um estudo sem paralelo até o momento da estrutura em grande escala, com a construção de catálogos de grupos e aglomerados de galáxias úteis para investigações cosmológicas (por exemplo, da função de massa) e astrofísicas (efeitos ambientais na evolução de galáxias).

Pretendemos determinar uma cadência para as observações que torne o levantamento útil também para estudos de variabilidade de fontes astrofísicas, já que cada campo deverá ser visitado diversas vezes (~ 40 a 50), permitindo descobrir objetos variáveis, como supernovas e estrelas variáveis, ou móveis, como asteróides.

De um modo geral, a estratégia observacional adotada- imageamento com um número muito grande de filtros estreitos- tornam o J-PAS um levantamento único, com potencial de impacto em diversas áreas da astrofísica.

Nossa proposta Nosso objetivo é “clonar” os telescópios e as câmeras CCD que estão sendo construídas ou planejadas para o J-PAS e instalá-los num sítio de grande qualidade fotométrica no hemisfério sul e conduzir um levantamento análogo ao J-PAS em nosso hemisfério: o PAU-BRASIL SUL (PBS).

Quais as vantagens disso? Um ganho importante para o J-PAS em si é que com a ampliação do volume amostrado, seus objetivos poderão ser atingidos mais rapidamente, aumentando seu impacto científico. Mas os ganhos maiores que antevemos são de outra natureza. De um lado será possível estudar parte do disco galáctico e outras regiões do hemisfério sul inacessíveis de Teruel. Mas, principalmente, poderemos com esta estratégia produzir um inédito levantamento espectrofotométrico de **todo o céu!** Convém lembrar que o único levantamento homogêneo de todo o céu produzido a partir do solo até agora é o 2MASS, nas bandas do infravermelho próximo.

Embora vários levantamentos estarão em operação no curto prazo- exemplos incluem os do ESO como os do VST (que inclui o KIDS, VST Atlas, VPHAS+) e o VISTA (UltraVISTA, VIKING, VMC, VHS, VVV, VIDEO), ou o DES, em Cerro Tololo, todos eles incluem poucas bandas (tipicamente as 5 bandas largas do SDSS ou as do infravermelho próximo) e nenhum deles terá as características principais do PBS: características espectrofotométricas e cobertura de todo o céu. A combinação J-PAS + PBS não tem nenhum competidor!

O PBS servirá, também, como fonte de alvos para os grandes telescópios a que o Brasil tem acesso, como o Gemini e o SOAR. Além disso, convém assinalar o caráter sinérgico que o PBS pode ter com um levantamento como o do LSST, que interessa a uma parcela significativa de nossa comunidade. De fato, o PBS poderá ter um papel relevante na identificação e caracterização de fontes complementando, ao menos para fontes mais brilhantes que $i_{AB} \lesssim 22.5$, a fotometria a ser provida pelo LSST. Após o final do levantamento, os telescópios do J-PAS e do PBS poderão ter outra destinação e uma possibilidade será tornar os telescópios do PBS auxiliares do LSST para caracterização espectrofotométrica e follow-up de fontes variáveis-inclusive SN Ia.

A estratégia de acesso aos dados que propomos compreende 3 fases (os períodos a seguir são ainda provisórios). Na primeira fase (1 ano), os dados serão acessados apenas pelos pesquisadores envolvidos no projeto. Nos 6 a 9 meses seguintes os dados serão acessíveis às comunidades astronômicas dos países envolvidos no projeto (ver abaixo). A partir daí os dados serão públicos. Pretendemos utilizar a infraestrutura de observatórios virtuais que está sendo implementada em nosso país para prover o acesso aos dados.

Custos A base de cálculo para nossa estimativa de custos são os orçamentos preparados por nossos colegas espanhóis. Acreditamos que esses valores correspondem a um limite superior, já que não precisaremos pagar por estudos. Acreditamos, também, que poderemos adquirir os telescópios no mercado americano a preços inferiores aos praticados no mercado europeu. Finalmente, também para a câmera CCD, a ser construída no Brasil, teremos redução dos custos pois todos os estudos já terão sido feitos para a câmera que será instalada em Teruel.

O custo estimado pelo CEFCA para aquisição dos telescópios, cúpulas e instalação de toda a infraestrutura é de 17 milhões de euros. A estimativa do custo da câmera mosaico de 14 CCDs é de 5 milhões de dólares, onde metade é para adquirir os CCDs e metade para eletrônica, hardware e pagamento de pessoal (este é o orçamento da primeira câmera a ser construída no Brasil).

A esses valores deve-se acrescentar os custos de operação, que vão depender de onde o telescópio será instalado. Como os dois telescópios poderão e deverão ser operados roboticamente, estes custos serão minimizados. Estamos cogitando de duas hipóteses. Uma seria instalar os telescópios no Chile, em Cerro Tololo, por exemplo, pagando um “aluguel” anual por volta

de US\$250.000,00. Outra possibilidade seria instalar os equipamentos na Argentina, num centro binacional a ser construído em Cerro Macon. Nesse caso, a contrapartida argentina poderia ser arcar com os custos de operação. A isso tudo podemos adicionar uma eventual colaboração dos colegas espanhóis que poderiam contribuir com recursos para ter acesso aos dados produzidos no sul. A questão do sítio, custos operacionais e parcerias será equacionada após a aprovação deste projeto pela CEA e no momento em que formos atrás dos recursos para sua efetivação.

Assim, o custo (preliminar!) do projeto, incluindo 7 anos de operação do telescópio é de US\$32 milhões. Este valor, como mencionamos, é um limite superior e assume que todos os custos, incluindo operações, serão arcados pelo Brasil.

Impacto esperado

Os resultados do PBS (junto com o J-PAS) permitirão o desenvolvimento de diversos projetos de interesse de nossa comunidade astronômica. Antecipamos impactos em pelo menos 3 grandes áreas. A primeira é a científica. Os levantamentos J-PAS e PBS permitirão afirmar, com precisão sem igual, se a energia escura é compatível ou não com uma constante cosmológica. Vale a pena acrescentar que estes levantamentos serão competitivos para endereçar o problema da energia escura não só via BAOs mas também via contagem de aglomerados de galáxias (e.g., Albrecht et al. 2006, *Report of the Dark Energy Task Force*, astro-ph/0609591). O legado do PBS, espectros de baixa resolução para milhões de estrelas e galáxias, também será útil para muitos outros estudos abrangendo uma vasta área de interesses em astronomia, do Sistema Solar ao mundo das galáxias. Note que o J-PAS e o PBS estudarão uma região inédita no espaço de parâmetros, o que tende a permitir descobertas imprevisíveis. A época em que os levantamentos aqui discutidos estarão produzindo dados vai se sobrepor ao início das operações do LSST, uma iniciativa que atrai grande parcela da comunidade brasileira, e a exploração da sinergia entre nosso levantamento com o do LSST pode ser um trunfo valioso para nossa participação neste projeto. Finalmente, a disponibilização para a comunidade astronômica internacional de um levantamento espectrofotométrico de todo o céu, como o proposto aqui, dará à astronomia uma brasileira uma visibilidade que ela nunca teve!

O segundo impacto que esperamos é de natureza acadêmica. A preparação do levantamento, sua condução e análise dos resultados vai ser útil para as dissertações e teses de muitos alunos em várias instituições de nosso país. Como o levantamento envolve uma colaboração com pesquisadores de várias partes, esperamos, também, que ele contribua para aumentar significativamente a colaboração acadêmica e científica internacional e dentro do Brasil.

Finalmente, a oportunidade de construir os telescópios, as câmeras e de planejar e gerenciar a condução de um levantamento como o proposto trará ganhos tecnológicos para o país já que, em particular, vai fortalecer a vocação de instituições como o IAG, LNA, INPE e ON, entre outras, no competitivo campo de desenvolvimento de instrumentação astronômica de alto desempenho. Pretendemos aproveitar a experiência acumulada no desenho, construção e gerenciamento de projetos como os do BTFL, SIFS e STELES. Outro ganho de natureza tecnológica refere-se ao desenvolvimento de software, tanto os associados à *pipeline* de redução, quanto aos necessários para a análise e gerenciamento dos dados. Cada imagem, com um espectro de baixa resolução associado a cada pixel, será um enorme cubo de dados, cujo tratamento vai se beneficiar das iniciativas em curso no Brasil para análise ótima dos cubos de dados produzidos por IFUs.

Concluimos este documento afirmando que esta é uma oportunidade de ouro para nossa comunidade, pois permitirá à nossa astronomia fazer *big science*, construir e gerenciar equipamentos e um grande levantamento e produzir um legado que lhe dará uma visibilidade extraordinária.