

## EVENTO

# I Encontro sobre ajustes de isócronas em diagramas cor–magnitude: Jornada de Diagrama Cor–Magnitude

IAG/USP, São Paulo – SP, 17 de março de 2009

J. Lépine<sup>1</sup> e Wilton S. Dias<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo  
e-mail: jacques@astro.iag.usp.br

<sup>2</sup> Universidade Federal de Itajubá, MG. e-mail: wilton@unifei.edu.br

## 1. Introdução

No dia 17 de março de 2009, foi realizado um encontro no IAG/USP voltado para discussões a respeito de estudos de ajustes de isócronas em diagramas cor–magnitude. O encontro (chamado de Jornada de Diagramas Cor–Magnitude) que teve um formato livre de apresentações contou com a presença de 19 pesquisadores de diferentes instituições (IAG/USP, INPE, UNIFEI, LNA, IF/USP).

Devido ao sucesso do Encontro optamos por apresentar à comunidade astronômica brasileira um relatório resumido das motivações para a sua realização, as discussões realizadas e as perspectivas futuras diante do atual cenário nacional.

Recentemente pode-se verificar o aumento do interesse da comunidade mundial e também brasileira em questões que de uma forma ou de outra estão ligadas às análises de diagramas cor–magnitude de aglomerados abertos e globulares e associações de estrelas.

Ao serem conjuntos de estrelas com uma origem comum, pode-se considerar que todos os membros têm a mesma idade, composição química, ocupam uma região confinada do espaço e têm um movimento comum que os distinguem do campo. Devido a essa configuração é possível determinar-se com grande precisão todas estas características para cada aglomerado a partir de amostras de estrelas estatisticamente significativas. No entanto, essa tarefa requer em geral a análise dos diagramas cor–cor e cor–magnitude para a determinação dos seus parâmetros físicos (avermelhamento, distância, idade e composição química) e cinemáticos.

Nota-se, porém, que um dos principais problemas encontrados na determinação dos parâmetros físicos está relacionado ao fato de serem derivados por diferentes autores, usando diferentes conjuntos de dados, instrumentos, técnicas, calibrações e critérios analíticos, o que resulta numa amostra heterogênea.

Para se ter uma idéia mais profunda sobre o tema apresentamos a seguir algumas motivações fundamentais que são questões ainda não estão respondidas de forma satisfatória atualmente. Vale mencionar que boa parte das perguntas foram formuladas por Leandro Kerber:

– Como a binaridade afeta exatamente a dispersão de estrelas no diagrama cor–magnitude?

- É possível determinar metalicidades com base em ajuste de isócronas?
- Se não, que tipo de erro sistemático se introduz nos outros parâmetros (idades, distância e avermelhamento) quando se assume simplificada uma metalicidade solar?
- Qual o melhor critério estatístico para determinar os melhores ajustes? Minimização de  $\chi^2$  ou maximização da verossimilhança via método Bayesiano?
- Qual o melhor método para buscar a melhor solução? *Downhill*, algoritmos genéticos, etc?
- Como determinamos as incertezas nos parâmetros físicos relacionados a um ajuste de isócrona?
- Qual é o efeito de ignorarmos as binárias não resolvidas para a determinação dos parâmetros físicos de um aglomerado?
- É possível conciliar os diferentes métodos (movimentos próprios, uso de diagrama cor–magnitude de campo de controle) de subtração de estrelas contaminantes em um aglomerado?
- Ajustes de isócronas baseados em diagramas cor–magnitude no ótico produzem os mesmos resultados que ajustes baseados no infravermelho próximo?
- Qual(is) é (são) o(s) modelo(s) de evolução estelar mais confiável(eis)?
- Nos modelos de evolução estelar, é possível testar a hipótese de *overshooting nuclear* usando aglomerados abertos? Ainda há espaço para modelos sem *overshooting nuclear*?
- Como fazer um ajuste para um aglomerado (ou associação) com poucas estrelas?
- Como testar, via ajuste de isócrona, a natureza física de uma suposta concentração de estrelas, como por exemplo candidatos a remanescentes de aglomerados abertos?
- Como conciliar as isócronas das estrelas de baixa massa que ainda não chegaram na sequência principal com aquelas de estrelas de alta massa que estão deixando a sequência principal?
- Quais são as perspectivas nas áreas abertas pelo GAIA, e surveys como PanSTARRS, LSST, UKIDSS, etc?

## 2. Programa do Encontro

### 2.1. Análise de diagramas cor–cor e cor–magnitude com auxílio de um programa interativo, por Thiago C. Caetano — UNIFEI

Construímos um programa que permite a utilização simultânea e interativa de dados fotométricos e astrométricos (movimentos próprios) na análise de diagramas cor–cor e cor–magnitude. O procedimento para a análise consiste em 3 etapas:

1. Escolha do raio do aglomerado a ser analisado através de um gráfico do Perfil Radial de Densidade;
2. Seleção manual de estrelas que pertençam ao aglomerado segundo o diagrama cor–magnitude;
3. O programa marca as estrelas com movimento próprio semelhante aos das estrelas selecionadas.

Esse procedimento pode ser iterativo: as estrelas selecionadas são marcadas temporariamente com diferentes cores nos diagramas para que seja possível verificar as principais assinaturas do aglomerado (sequência principal, turn-off e o ramo das gigantes). Assim a análise de um dado aglomerado é realizada seguindo os passos:

- identificação da assinatura do aglomerado e ajuste da isócrona para determinar excesso de cor, distância e idade (com os respectivos erros!)
- uso das estrelas fotometricamente selecionadas como membros para estimar o movimento próprio médio e velocidade radial média do aglomerado

### 2.2. Otimizadores globais e o ajuste de isócronas, por Héktor Monteiro — UNIFEI

Foi apresentado um programa que implementa um algoritmo de otimização global para o ajuste de isócronas em dados fotométricos de aglomerados abertos. Discutimos brevemente a técnica e suas aplicações como a determinação de parâmetros básicos como distância, idade, extinção e ainda a metalicidade. Destacamos os principais problemas relativos aos dados disponíveis e suas implicações nas incertezas obtidas pelo método. Mostramos a aplicação do método a um aglomerado sintético gerado para validar a técnica.

### 2.3. Modelamento e comparações estatísticas de diagramas cor–magnitude: para além de um ajuste visual de isócronas, por Leandro Kerber — IAG/USP

A análise de diagramas cor–magnitude (CMDs) de aglomerados estelares tem sido tradicionalmente feita por meio de ajuste visual de isócronas, o que tem permitido estimar os valores de idade, distância e avermelhamento destes sistemas. Embora seja um método intuitivo e de aparente praticidade, o ajuste visual de isócronas sofre com a sua inerente subjetividade, o que impede a exploração de todo o potencial dos dados bem como uma correta determinação das incertezas associadas a cada parâmetro físico. Levando-se em conta os crescentes avanços observacionais e computacionais, há cerca de 8 anos venho, com o auxílio de vários colaboradores, desenvolvendo, implementando e aplicando métodos de análise de CMDs de aglomerados estelares. Tais métodos, que partem do pressuposto que um CMD é uma distribuição bidimensional de pontos, aliam ger-

ação de CMDs sintéticos a comparações estatísticas, identificando de forma objetiva os modelos que melhor reproduzem o CMD observado. Tem-se desta forma valores auto-consistentes e incertezas não apenas de idade, distância e avermelhamento, mas também de metalicidade. Os critérios de comparação entre modelo e observação podem ser divididos em duas categorias: os geométricos, que utilizam alguma característica geométrica do CMD, como por exemplo uma linha fiducial a Sequência Principal e a posição mediana do red clump; e os holísticos, que usam contagem de estrelas em todo o plano do CMD. O emprego de tais métodos a aglomerados da Grande Nuvem de Magalhães (LMC) observados pelo HST tem permitido, entre outras coisas, verificar que: havia uma subestimativa de idades nos aglomerados mais jovens que cerca de 1 Gyr; determinações de metalicidades puramente via análise de CMDs possuem incertezas de cerca de 0.2 dex em  $[Fe/H]$ ; a distribuição em 3D de aglomerados respeita a inclinação do disco da LMC, que é de cerca de  $35^\circ$  em relação ao plano do céu. Atualmente estamos estendendo a aplicação destes métodos para aglomerados abertos e seus remanescentes, utilizando dados 2MASS, e para aglomerados da Pequena Nuvem de Magalhães (SMC), observados pelo SOAR/SOI.

### 2.4. As associações do SACY e as isócronas teóricas, por Carlos Alberto Torres — LNA

As associações encontradas/definidas no projeto SACY mostram diagramas cor–luminosidade muito bem definidos o que permite a comparação com as isócronas teóricas da literatura. O resultado é desalentador, pois nenhuma isócrona teórica parece corresponder à distribuição encontrada em nenhuma associação. Mostrei os gráficos de  $M_V \times (V - I)$  para três excelentes exemplos com idades distintas: as associações de  $\epsilon$  Cha ( $\sim 6$  Myr), de  $\beta$  Pic ( $\sim 10$  Myr) e de AB Dor ( $\sim 75$  Myr). No contexto do SACY preferimos adotar isócronas observacionais por meio de polinômios de terceira ordem que se ajustam aos dados observacionais. Mas a idade fica assim indeterminada por isócronas. Nos casos apresentados o avermelhamento interestelar é desprezível, se existente. Uma razão possível, mas pouco provável seria a calibração de magnitudes e cores usadas pelos autores dos modelos teóricos.

### 2.5. Descontaminação de diagramas cor–magnitude via campo de controle, por Francisco Ferreira Maia — ICEx/UFMG

Atualmente a Via-Láctea possui mais de 1800 aglomerados de estrelas abertos conhecidos. Alguns autores (Piskunov et al. 2006) estimam que o número total de aglomerados abertos no disco da Galáxia seja da ordem de  $10^5$ . Apesar do grande número desses objetos presentes na Galáxia, muitos deles foram descobertos recentemente não possuindo um estudo fotométrico detalhado. O catálogo de Dias et al. (2002), versão 2.10<sup>1</sup> fornece as seguintes estatísticas: dos 1787 aglomerados abertos listados, apenas 10% possuem valores de abundância conhecidos, 27% possuem valores de movimento próprio e velocidade radial determinados e 54% possuem valores calculados de distância, idade e avermelhamento. No contexto de análise e caracterização dos aglomerados abertos para determinação de seus parâmet-

<sup>1</sup> DAML02 — disponível eletronicamente em <http://www.astro.iag.usp.br/~wilton>

ros físicos, uma das grandes dificuldades reside na identificação da população estelar que constitui o aglomerado e exclusão dos objetos no campo que contaminam a amostra. Neste sentido, desenvolvemos um método para exclusão de estrelas de campo em diagramas cor–magnitude (CMD) de aglomerados abertos, baseado em uma comparação estatística com um CMD representativo do campo estelar nos arredores do aglomerado.

### 3. Algumas considerações finais

O Encontro foi um sucesso considerando o número de participantes, a qualidade das discussões e também as possibilidades abertas para futuras colaborações. Novos tópicos além dos propostos surgiram e alguns pontos lembrados nas discussões merecem destaque, como a qualidade dos dados fotométricos utilizados nas análises de diagramas cor–magnitude e a importância de realizar observações na banda  $U$ , por exemplo. Não há dúvidas que entramos numa era de avanços no que diz respeito à quantidade de dados disponíveis. Com os levantamentos a surgir, seja de observações de solo (UCAC3, PanSTARRS, SDSS, LSST, etc) ou de observações do espaço (SIM, DIVA, GAIA) é fundamental pensarmos em questões também relacionadas à tecnologia, tais como a necessidade de melhoramentos na área computacional, ferramentas estatísticas para análises e implementação de ferramentas para VO (*Virtual Observatory*).

Do ponto de vista científico novas (velhas) questões deverão ser atacadas e, para isso, ferramentas novas, mais eficientes e inteligentes deverão ser criadas, pois transporemos a análise em duas dimensões (mesmo que em vários gráficos “simultaneamente”) para uma análise em espaços de fase em 5 ou 6 dimensões.

### Referências

- Dias, W. S., et al., 2002, A&A 389, 871  
Piskunov, A. E., et al., 2006, A&A 445, 545