

PROCURA POR OBJETOS ESTELARES JOVENS E SUBSTELARES EM TORNO DA NUVEM DE MUSCA

Deidimar Alves Brissi¹, Gabriel Rodrigues Hicel²

¹Univerdade do Vale do Paraíba, Av. Shishima Hifumi, 2911, Urbanova, São José dos Campos, SP, CEP 12244-000, profdeidimar@gmail.com

²Univerdade do Vale do Paraíba, Av. Shishima Hifumi, 2911, Urbanova, São José dos Campos, SP, CEP 12244-000, hickel@univap.br

Resumo- A nuvem escura de Musca possui a forma de um filamento de $3,8^\circ \times 0,2^\circ$, localizada 10° fora do plano galáctico, distante entre 120 a 150 pc do Sol, com massa estimada entre 140 e 550 massas solares. Neste trabalho nós selecionamos 153 campos de $20' \times 20'$ em torno da nuvem, que foram investigados através do catálogo fotométrico do 2MASS nas bandas J, H e K_s para extrair as magnitudes das fontes de cada campo, totalizando 481.129 fontes. Plotamos os gráficos cor-cor e cor magnitude e determinamos a magnitude limite para a completeza da amostra em cada banda, para cada campo. Com base nos gráficos, selecionamos 29 fontes posicionadas fora da região de ocupação da seqüência principal. Procuramos informações adicionais de cada candidato a objeto estelar jovem em outros catálogos da literatura, a fim de confirmar a natureza destas fontes, através da análise de imagens (somente fontes puntiformes foram consideradas) e da distribuição espectral de energia. Após estes processos, obtivemos 20 candidatos à objetos estelares jovens.

Palavras-chave: Astrofísica, Formação Estelar, Objetos Estelares Jovens, Meio Interestelar.

Área do Conhecimento: I – Ciências Exatas e da Terra

Introdução

A região da nuvem escura de Musca (Figura 1) é citada na literatura como uma região de baixa taxa de formação estelar, embora um estudo detalhado desta região ainda não tenha sido efetuado. Ela possui a forma de um filamento de $3,8^\circ \times 0,2^\circ$, localizada 10° fora do plano galáctico, distante entre 120 e 150 pc do Sol, com massa estimada entre 140 e 550 massas solares [1], [2], [3], [4], [5] e [6].

Nosso objetivo neste trabalho é realizar uma pesquisa ampla por objetos estelares jovens (OEJs), para determinarmos a real taxa de formação estelar na região da nuvem.

A pesquisa de formação estelar está intimamente ligada à análise da região do infravermelho ($1 < \lambda \text{ (}\mu\text{m)} < 100$), por dois motivos: i) a radiação infravermelha é menos sujeita à opacidade dos grãos interestelares do que a radiação no visível [7]; ii) os modelos de formação estelar indicam que OEJs apresentam emissão mais intensa nesta região do espectro, porque a poeira em torno da estrela absorve radiação no visível e re-emite no infravermelho [7].

Materiais e Métodos

Neste trabalho nós selecionamos uma área de $5^\circ 40' \times 3^\circ$ ($-12^\circ < b_{gal} < -6^\circ 20'$; $299^\circ < l_{gal} < 302^\circ$) totalizando 20 graus quadrados. Para facilitar o tratamento de dados nós dividimos a região em

153 campos de $20' \times 20'$ em torno da nuvem. Investigamos os campos através do catálogo fotométrico do 2MASS (*Two Micron All Sky Survey*) [8] no infravermelho próximo; nas bandas J ($1,25\mu\text{m}$), H ($1,65\mu\text{m}$) e K_s ($2,17\mu\text{m}$) para extrair as magnitudes das fontes de cada campo. O número de fontes em cada campo variou de 1846 à 5054, totalizando 481.129 fontes.

Para separarmos candidatos à OEJs seguimos o seguinte procedimento:

i) Plotamos os gráficos cor-cor (J–H) x (H– K_s) e cor magnitude H x (J–H) e K_s x (H– K_s). Com base nestes gráficos, selecionamos fontes posicionadas fora da região de ocupação da maioria das fontes do campo (Figura 2);

ii) Para cada campo plotamos os histogramas $\log(N) \times \text{magnitude}$ para as três bandas (J, H e K_s), com intervalos de 0,25 magnitude. Com estes gráficos determinamos a magnitude limite para a completeza da amostra em cada banda, para cada campo, que será importante em estudos futuros, na determinação da população estelar total associada à região de Musca;

iii) Verificamos a qualidade da fotometria fornecida pelo 2MASS [8]. O catálogo classifica a qualidade da fotometria de A até E. Somente utilizamos fontes com qualidade de fotometria A (excelente) e B (boa);

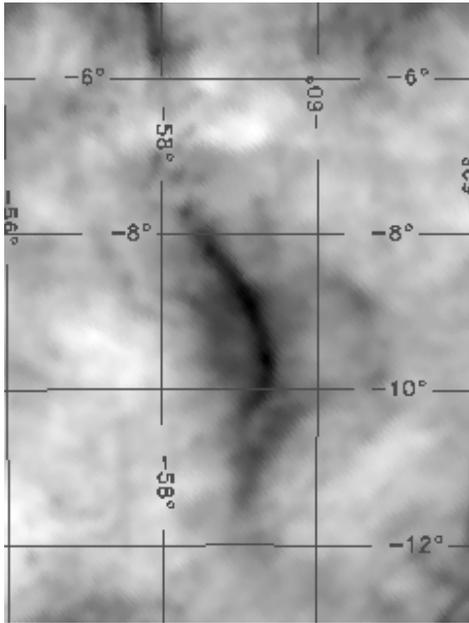


Figura 1: Região de Musca em 100 μ m (IRAS) [9]. A emissão da poeira associada à nuvem filamentar é vista em tons de preto. As coordenadas galácticas são indicadas na figura.

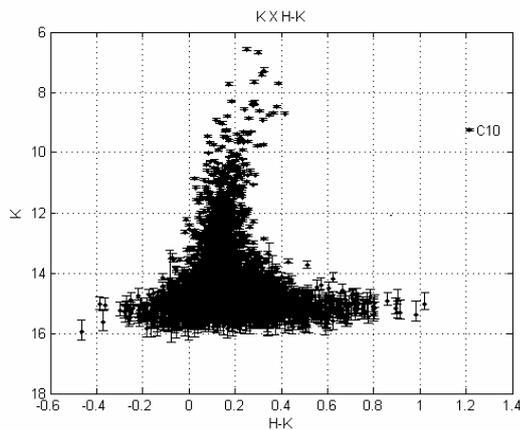


Figura 2: Gráfico cor-magnitude, K_s x $(H-K_s)$ mostrando um candidato em destaque (C10).

iv) Utilizamos o banco de dados do *Skyview Virtual Observatory* [9], para através de imagens no ótico (*Digital Sky Survey-2* – banda R) e no infravermelho próximo (2MASS - J, H e K_s); verificar se as fontes são objetos puntiformes (fonte única, sem extensão);

v) Procuramos informações adicionais de cada candidato a OEJ em outros catálogos da literatura (VizieR) [10], a fim de confirmar a natureza destas fontes;

vi) Com base nas informações adicionais que obtivemos nos outros catálogos, plotamos para cada candidato a OEJ, a distribuição espectral de energia (densidade de fluxo x frequência) e ajustamos uma curva de emissão de corpo negro,

a fim de determinar a temperatura de cada fonte (Figura 3);

vii) Os candidatos a OEJ para os quais não foi possível o ajuste de uma única função de corpo negro, tiveram suas temperaturas determinadas através da temperatura bolométrica [11];

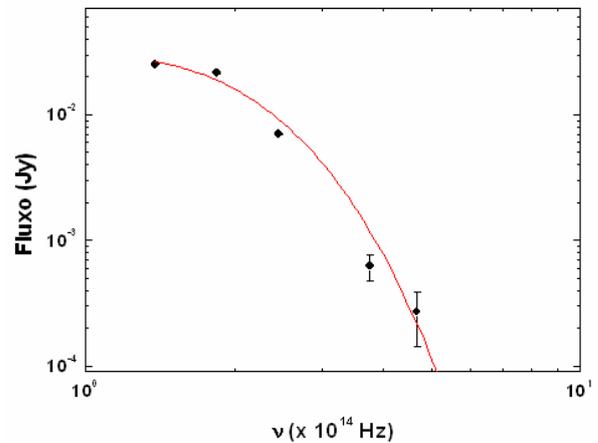


Figura 3: Distribuição espectral para o candidato 25 [$T_{ef} = (1932 \pm 72)$ K].

viii) Determinamos a classificação para cada fonte, de acordo com a temperatura de corpo negro ajustada (ou da temperatura bolométrica), sua luminosidade; bem como trajetórias evolutivas de OEJs [12], no diagrama Luminosidade x Temperatura (Figura 4).

Resultados

Com base nos gráficos citados no primeiro procedimento, selecionamos 29 candidatos a OEJs. Após submetermos cada fonte aos demais critérios de seleção, 20 fontes permaneceram como candidatos a OEJs.

Destas 20 fontes, duas não puderam ser classificadas por só terem informações nas 3 bandas do 2MASS. As demais 18 fontes tinham fluxos medidos em outros comprimentos de onda [10] e puderam ter suas temperaturas e luminosidades determinadas; e por fim, plotadas no diagrama *luminosidade x temperatura*.

Com o diagrama *Luminosidade x Temperatura* verificamos que dos 18 candidatos efetivamente classificados como OEJs, 4 aparecem junto à S.P.I.Z., sendo portanto, estrelas de pequena massa já evoluídas. Doze candidatos pertencem à Classe Evolutiva II, sendo prováveis estrelas T-Tauri. Outros 2 candidatos pertencem à Classe Evolutiva I, sendo estrelas ainda embebidas, em fase de acréscimo de massa. Portanto, dos 29 candidatos separados no primeiro critério, 14 deles são reais candidatos a OEJs.

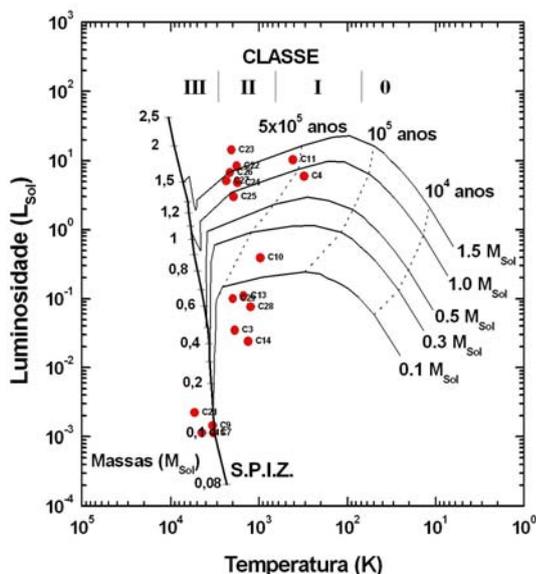


Figura 4: Diagrama Luminosidade x Temperatura para os candidatos a OEJs. A Luminosidade é dada em luminosidades solares. O gráfico mostra a Sequência Principal de Idade Zero (S.P.I.Z.) [13], com a posição de diversas massas estelares (em massas solares). Trajetórias evolutivas de OEJs [12] para 5 massas diferentes e 3 isócronas (linhas tracejadas) também são plotadas. As classes evolutivas, conforme suas temperaturas, têm os limites indicados no alto do gráfico.

As trajetórias evolutivas e a S.P.I.Z. que aparecem na Figura 4 permitem a estimativa de massa para os candidatos a OEJs plotados. Cinco deles têm massas inferiores à 0,1 massas solares; outros cinco candidatos (incluindo os quatro na S.P.I.Z.) entre 0,1 à 0,3 massas solares; seis candidatos com massas entre 0,8 e 1,5 massas solares; e 2 candidatos com massas maiores que 1,5 massas solares. Isto evidencia que os nossos candidatos são objetos estelares de pequena massa ($M < 2$ massas solares).

Com as isócronas traçadas na mesma figura verificamos que a idade dos objetos que estão fora da S.P.I.Z. varia entre 10^5 à 10^6 anos, típicas de OEJs. Sete objetos parecem ser mais antigos (idades em torno de 8×10^5 anos), enquanto outros sete têm idades em torno de 3×10^5 anos.

Discussão

A determinação da massa dos candidatos a OEJs possibilitou-nos associar uma classe espectral a cada um destes objetos (Tabela 1). Classes espectrais são normalmente determinadas por temperaturas efetivas calculadas, mas no caso de OEJs ainda não totalmente evoluídos, isto não é possível através de distribuições espectrais de energia. Estrelas anãs de pequena massa e anãs marrons caracterizam-se por temperaturas efetivas abaixo

de 3800 K, mas é comum a presença de discos proto-planetários e envoltórias de acréscimo em torno destes objetos, quando eles são jovens. Com isto, a distribuição espectral de energia é formada por múltiplas componentes, fugindo da distribuição de um corpo negro ou desviando a temperatura efetiva para valores menores do que a fotosfera da estrela jovem. Este parece ser o caso da maioria de nossos candidatos a OEJs.

A idade dos candidatos a OEJs, evidenciada na Figura 4 apresenta valores entre 2×10^5 e 10^6 anos, um pouco mais jovens que as regiões vizinhas à nuvem de Musca (as nuvens do Chamaleon apresentam formação estelar com idade média de 2×10^6 anos [13]). A luminosidade estimada na Figura 4 é calculada com a premissa de que todos os nossos candidatos estão a uma distância de 150 pc. Como a luminosidade depende do quadrado da distância, esta pode ser uma importante fonte de erro nas estimativas de massa e idade dos OEJs; além da forte dependência nos modelos evolutivos adotados.

É importante ressaltar a possibilidade de que os candidatos também possam ser estrelas gigantes vermelhas ou estrelas de sequência principal, que estão com o espectro avermelhado devido à extinção da nuvem ou do meio interestelar. Neste caso, estes objetos estariam a distâncias maiores que a região de estudo.

Conclusão

A análise dos candidatos a OEJs selecionados forneceu indícios de que existe formação estelar recente (idade menor que 10^6 anos) associada à nuvem de Musca, com os primeiros resultados indicando a possível presença de T-Tauris. A eficiência de formação estelar (massa de estrelas / massa da nuvem) é de pelo menos 2%.

Para verificar a natureza dos objetos encontrados, a continuação deste projeto, incluirá a realização de estudos espectroscópicos destas fontes. Este trabalho é parte de uma dissertação de mestrado mais ampla que está em andamento e que cobrirá uma área 48 graus quadrados em trono da nuvem de Musca. Os campos investigados até o momento ainda serão alvos de outros estudos e por isso, as perspectivas são de que o número de candidatos a OEJs possa aumentar.

Agradecimentos

Agradecemos à Secretaria da Educação do estado de São Paulo pelo apoio através do programa *Bolsa Mestrado*.

Tabela 1: Propriedades dos candidatos a OEJs

Candidato	T (K)	L (L_{\odot})	R (R_{\odot})	Idade (em 10^5 anos)	Massa (M_{\odot})	Classificação Espectral
3	1879	0,035	1,8	3	0,07	L5.5V a T2.5V
4	308	5,9	864	4	0,8	K0V a K4V
7	3277	0,0011	0,11	S.P.I.Z. (> 1000)	0,10	L3.5V a L5V
9	3327	0,0014	0,12	S.P.I.Z. (> 1000)	0,12	L2V a L4V
10	963	0,39	23	3	0,18	M7.5V a L1.5V
11	412	0,1	637	6	1,2	F5V a G2V
13	1492	0,11	4,9	3	0,08	L4.5V a L7V
14	1323	0,024	3,0	2	0,06	L6.5V a T4.5V
15	4402	0,0011	0,06	S.P.I.Z. (> 1000)	0,10	L3.5V a L5V
21	5355	0,0022	0,06	S.P.I.Z. (> 1000)	0,15	L0.5V a L2.5V
22	1781	8,4	31	9	1,6	A8V a F2V
23	2050	14,0	30	8	2,0	A2V a F0V
24	1750	4,8	24	9	1,2	F5V a G2V
25	1932	3,0	15,5	10	0,9	G4V a K2V
26	2133	6,7	19,0	10	1,5	A8V a F5V
27	2337	5,1	14,0	10	1,4	F0V a F7V
28	1246	0,076	18,8	2	0,07	L5.5V a T2.5V
29	1981	0,1	2,7	4	0,08	L4.5V a L7V

Referências

- [1] ARNAL, E. M.; MORRAS, R.; RIZZO, J. R. Multicolour polarization and CO observations towards a dark filament in Musca. **Mon. Not. R. Astron. Soc.** 265, p.1-11, 1993.
- [2] CORRADI, W. J. B.; FRANCO, G. A. P.; KNUDE, J. Local interstellar medium kinematics towards the southern Coalsack and Chamaeleon-Musca dark clouds. **Mon. Not. Roy. Astron. Soc.** 347, 2004.
- [3] NEUHAUSER, R. et al. Search for young stars among ROSAT All-Sky Survey X-ray sources in and around the R CrA dark cloud. **Astron. Astrophys. Suppl. Ser.** 146, p.323-347, 2000.
- [4] GREGORIO HETEM, J. C.; SANZOVO, G. C.; LÉPNE, J. R. D. Star counts and IRAS sources in southern dark clouds. **Astron. Astrophys. Suppl. Ser.** 76, p.347-363, 1988.
- [5] MIZUNO, A. et al. CO (J 5 1–0) search for small molecular clouds toward the Chamaeleon-Musca dark cloud complex. **The Astrophys. Journal.** 507:L83–L87, 1998.
- [6] VILAS-BOAS, J. W. S.; P. C. MYERS, P. C.; FULLER, G. A. Dense cores in dark clouds IX observations of ^{13}CO and C^{18}O in Vela, Chamaeleon, Musca, and the Coalsack. **The Astrophys. Journal.** 433: p. 96-116, 1994.
- [7] LOW, M. M.; Klessen, R. S. Control of star formation by supersonic turbulence *Mordecia-Rev. of Mod. Physics*, 76, 2004.
- [8] CUTRI, R.M. et al. 2MASS All-Sky Catalog of Point Sources. VizieR On-line Data Catalog: II/246. Originally published in: University of Massachusetts and Infrared Processing and Analysis Center, (IPAC/California Institute of Technology), 2003. Disponível em: <http://vizier.u-strasbg.fr/viz-bin/VizieR>. Acessos entre: Agosto/2004 e Maio/2005
- [9] MCGLYNN, T., SCOLLICK, K., WHITE, N., SkyView: The Multi-Wavelength Sky on the Internet, McLean, B.J. et al., New Horizons from Multi-Wavelength Sky Surveys, Kluwer Academic Publishers, 1996, IAU Symposium No. 179, p465.
- [10] CHSENBEIN F., BAUER P., MARCOUT J. The VizieR database of astronomical catalogues. **Astron. Astrophys. Suppl. Ser.**, 143, p.23-32, 2000.
- [11] MYERS, P.C.; LADD, E.F. Bolometric temperatures of young stellar objects. **The Astrophys. Journal.** V.413, n.1, p.L47-L50, 1993.
- [12] MYERS, P.C.; ADAMS, F.C.; CHEN, H.; SCHAFF, E. Evolution of the Bolometric Temperature and Luminosity of Young Stellar Objects. **The Astrophys. Journal.** V.492, p.703-726, 1998.
- [12] D'ANTONNA, F.; MAZZITELLI, I. New pre-main-sequence tracks for M less than or equal to 2.5 solar mass as tests of opacities and convection model. **The Astrophys. Journal Supp. Series**, vol. 90, no. 1, p. 467-500.
- [13] LUHMAN, K.L. A Census of the Chamaeleon I Star-forming Region. **The Astrophysical Journal**, vol. 602, no. 2, p. 816-842.