

Renato Blumberg de Oliveira

*Determinação de Parâmetros Astrofísicos
de Aglomerados Abertos e Embebidos*

Porto Alegre, RS

16 de Novembro de 2015

Renato Blumberg de Oliveira

*Determinação de Parâmetros Astrofísicos
de Aglomerados Abertos e Embebidos*

Trabalho de conclusão de curso desenvolvido
sob orientação do Dr. Eduardo L. D. Bica.

Orientador:
Dr. Eduardo L. D. Bica

INSTITUTO DE FÍSICA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Porto Alegre, RS
16 de Novembro de 2015

*Se quiser fazer uma torta do nada,
primeiro deverá criar
o universo!
Carl Sagan*

*Ao entrar na graduação fiquei tão maravilhado com o conhecimento
que esqueci que deveria estudar para as provas.
Renato Blumberg Oliveira*

*Dedico esse trabalho a meu filho Carlos R. Blumberg de Oliveira
Que a luz do conhecimento ilumine tua vida.
Nunca deixe de questionar.*

Agradecimentos

Nem sempre os objetivos traçados são alcançados da maneira como queremos. Nesse período de graduação conheci pessoas incríveis, infelizmente, algumas acham que a vida resume-se a ter boas notas. São os bons momentos que nos fazem seguir em frente, os ruins servem como aprendizado.

Pude ir mais longe pois estava sobre ombros de gigantes, cientistas e também pessoas não relacionadas com o meio acadêmico.

Agradeço inicialmente às quarenta mil gerações de mulheres e homens que iniciaram nossa jornada sobre esse lindo planeta. Agradeço aos que escolheram a vida, que enfrentaram os preconceitos impostos pelos que têm medo da ciência, fazendo-nos ir mais longe. Para esses, as estrelas nos aguardam.

Obrigado aos colegas do Lab. que foram meus mestres e amigos neste período.

Durante bom tempo da graduação, um dos principais motivos para vir à universidade era para poder conversar sobre ciência com meu amigo Eduardo Balbinot, que sempre teve disposição de ouvir minhas teorias malucas sobre qual seria a natureza do tempo, uns dos motivos de ter entrado na Física.

Agradeço ao Gustavo Salerno, a quem me ensinou a abrir um terminal gráfico e que como o Eduardo sempre tinha uma resposta sobre questões multidisciplinares.

Aos meus amigos Geólogos, Eduardo Fontana e Tiago Jalowitzki, que me propiciaram conversas elucidantes sobre a geologia dos planetas rochosos e cervejas felizes no CAEG. Geocósmicos rumo ao Jarau!

Claudia, Natia e Rodrigo, obrigado por serem esses irmãos maravilhosos, amo vocês.

Pai e Mãe, obrigado por terem acreditado e investido em nossos estudos, mesmo com as adversidades. Fomos mais longe devido a seus esforços.

Carlos, estude e não faça bagunça (o que papai?), tu é minha vida. Papai te ama.

Gabi, tu foi e é muito importante. No momento em que mais pensei em desistir tu estava ao meu lado e é por isso que consegui, *yo te quiero con limón y sal*.

Resumo

Neste estudo analiso uma amostra de quatro aglomerados abertos e embebidos da Via Láctea para os quais determinei parâmetros astrofísicos, como idade, excesso de cor, absorção, distância, raios de núcleo e limite. Utilizo, para tanto, o catálogo no infravermelho próximo 2MASS (*The Two Micron All Sky Survey*), obtendo, via rotinas desenvolvidas pelo nosso grupo, esses parâmetros. Entre as operações realizadas na análise, está a subtração do campo estelar, que é essencial para descontaminação do diagrama cor-magnitude (CMD). Analiso também o perfil de distribuição radial de densidades (RDP).

Os aglomerados analisadas são Archinal 1, Berkeley 9, Berkeley 90 e Tombaugh 4. O aglomerado Tombaugh 4 é bem ajustado pelo perfil de King, o que é esperado para sua idade. Os RDPs de Berkeley 90 e Archinal 1 têm flutuações devido a suas pequenas idades. Finalmente, Berkeley 9, em idade avançada, possui evidência de núcleo colapsado.

Abstract

In this study I analyse a sample of four open and embedded clusters: Archinal 1, Berkeley 9, Berkeley 90 e Tombaugh 4. I determine their photometric and structural parameters, with tools developed by our group. Field star decontamination is applied. CMDs and RDPs are built. All clusters could be fitted by a King profile, but some present deviations within errors. Berkeley 90 is an embedded cluster, Archinal 1 is somewhat older than Berkeley 90. Berkeley 9 and Tombaugh 4 are old open clusters.

Sumário

1	Introdução	p. 7
1.1	Aglomerados de estrelas	p. 7
1.1.1	Aglomerados Estelares Globulares	p. 8
1.1.2	Aglomerados Estelares Abertos	p. 8
1.2	Aglomerados Embebidos	p. 8
2	Métodos e Análise	p. 9
2.0.1	Obtenção dos dados	p. 9
2.0.2	Descontaminação	p. 9
2.0.3	Diagrama Cor-Magnitude	p. 10
2.1	Determinação dos parâmetros fotométricos	p. 10
2.2	Densidades estelares e parâmetros estruturais	p. 11
3	Aglomerados Analisados	p. 12
3.1	Archinal 1	p. 13
3.2	Berkeley 9	p. 16
3.3	Berkeley 90	p. 18
3.4	Tombaugh 4	p. 22
4	Discussão e Conclusões	p. 26
	REFERÊNCIAS	p. 27

1 *Introdução*

O fascínio do ser humano pelas estrelas se confunde com a própria história humana. Por muitas eras ele se perguntou o que seriam aqueles pontos brilhantes, considerando-os por muito tempo como divindades que nos observavam.

Com o advento do telescópio, e posteriormente Galileu Galilei entre outros apontando-o para os astros, as estrelas não mais foram consideradas divindades nem mesmo imutáveis. Assim, a humanidade aprendeu que estrelas não são deuses a serem cultuados mas objetos reais que podem ser estudados e explicados.

Para tanto, muito aprendeu-se sobre ciência e foi através de estudos com aglomerados estelares que, por exemplo, pôde-se descobrir como uma estrela evolui e eventualmente "morre" depois de milhões ou bilhões de anos. Sabe-se isso não porque vivemos todo esse tempo mas porque podemos observá-las em diferentes períodos evolutivos.

1.1 **Aglomerados de estrelas**

Raramente as estrelas nascem sozinhas, em geral, nascem juntas em gigantescas nuvens de gás e poeira quase que simultaneamente, comparado com o tempo de vida de uma estrela.

Quando uma nuvem molecular, que está em equilíbrio quase estático, sofre alguma perturbação mecânica, esta entra em colapso gravitacional formando aglomerações de estrelas (Lada & Lada, 2003). Assim pode-se definir um aglomerado estelar como sendo um conjunto de estrelas que estão ligadas gravitacionalmente.

Os aglomerados podem ser divididos classicamente em aglomerados abertos e aglomerados globulares.

1.1.1 Aglomerados Estelares Globulares

Os aglomerados globulares se encontram no halo e bojo da Galáxia. Diferentemente dos aglomerados abertos, os globulares possuem um maior número de estrelas, em torno de milhões e possuem idade na ordem de 10 bilhões de anos ou mais.

Formaram-se quando a Galáxia era uma nuvem esférica, ocupando suas posições atuais quando ela se achatara. Uma vez que se formaram junto com a Galáxia, seus membros são estrelas velhas, anãs brancas e estrelas de nêutrons.

Os globulares possuem simetria esferoidal e são muito massivos ($10^4 M_{\odot} - 10^6 M_{\odot}$) com a densidade crescente em direção ao centro.

1.1.2 Aglomerados Estelares Abertos

Aglomerados abertos são caracterizados por um menor número de estrelas em relação aos globulares, possuindo entre centenas a alguns milhares de estrelas. Outro aspecto desses aglomerados diz respeito à sua forma irregular.

Os aglomerados abertos são mais jovens, poucos milhões a alguns bilhões de anos e podem traçar as propriedades do disco Galático e estima-se que existam em torno de 100.000 aglomerados abertos na Galáxia (Bonatto et al. (2006); Piskunov et al. (2006)).

Formaram-se no disco da Galáxia de forma contínua, podendo ser encontrados em uma larga faixa de idades e com massas entre $10^2 M_{\odot} - 10^4 M_{\odot}$.

1.2 Aglomerados Embebidos

Os aglomerados embebidos são sistemas estelares que estão completa ou parcialmente imersos em suas nuvens primordiais. Por estarem ainda imersos, são objetos jovens. Suas estrelas estão em processo de formação e há muitas estrelas de pré-sequência principal.

Estudar aglomerados jovens é muito importante para melhorar entendimento da dinâmica, evolução e distribuição de massa inicial dos aglomerados abertos, já que são muito jovens para ter perdido número significativo de estrelas.

Muitos dos aglomerados abertos jovens se dissolvem em um curto período de tempo devido à mudança abrupta do potencial gravitacional, uma vez que os ventos de estrelas tipo *O* e *B* causam uma perda importante de gás e poeira.

2 *Métodos e Análise*

Para cada aglomerado aberto analisado, foi feita uma extração circular nas coordenadas otimizadas que maximizam as contagem de estrelas na região central. Dos dados centrados, construímos diagramas cor-magnitude para a determinação dos parâmetros, porém a contaminação por estrelas de campo é uma grande fonte de incertezas.

Sendo assim, uso um programa estatístico que leva em conta a densidade relativa de estrelas na região do aglomerado e compara com a do campo (Bonatto & Bica, 2007). Na Seção 2.0.2, o método será descrito brevemente.

Com o CMD descontaminado, é definida uma região preferencial que abrange as estrelas da sequência e da pré-sequência onde se constrói o perfil de densidade radial descrito na Seção 2.2.

2.0.1 Obtenção dos dados

Foi usada para a obtenção dos parâmetros fundamentais a fotometria nas bandas J , H e K_s do catálogo no infravermelho vermelho próximo 2MASS (Skrutskie et al., 1997). Os dados desse foram coletados entre junho de 1997 e fevereiro de 2001 nos comprimentos de onda $J(1,25\mu m)$, $H(1,65\mu m)$ e $K_s(2,16\mu m)$.

Para garantir uma melhor qualidade nos dados, as magnitudes foram filtradas de tal forma que apenas erros menores que $0,1\ mag$ nas três bandas foram permitidos.

2.0.2 Descontaminação

A descontaminação de estrelas de campo é um passo muito importante na identificação e caracterização de aglomerados estelares, isso se evidencia especialmente em aglomerados que estão próximos ao plano Galático.

Em aglomerados abertos, a contaminação por estrelas de campo é uma grande fonte

de incertezas. Esse efeito assentua-se em aglomerados abertos com poucos membros, pois torna-se muito difícil determinar seus parâmetros fundamentais, e essas incertezas prejudicam a análise. Sendo assim, é essencial usar um método que leve em conta a contaminação por estrelas de campo. Usamos, para tanto, um programa estatístico que leva em conta a densidade relativa na região do aglomerado e na do campo.

O programa divide o diagrama cor-magnitude em caixas 3D ao longo de J , $(J-H)$ e $(J-K_s)$. Ademais computa a densidade de estrelas de campo esperada para cada célula, baseando-se na densidade de estrelas do campo de comparação que apresentam magnitude e cores compatíveis com as da célula.

Com isso, subtrai estrelas numa fração consistente com a densidade de estrelas de campo esperado para cada célula. Desse modo, o método é sensível a variações locais no campo em magnitude e cor. O tamanho da célula *cor/magnitude* pode ser ajustado até o número total das estrelas ser compatível com o número esperado de estrelas do campo. Usando esse programa, conseguimos determinar os parâmetros de forma mais robusta do que sem a subtração.

2.0.3 Diagrama Cor-Magnitude

O uso de diagramas cor-magnitude (CMDs) é fundamental para obtenção das propriedades dos aglomerados.

Diagramas cor-magnitude revelam o estado evolutivo dos aglomerados e dos seus constituintes em um dado instante.

2.1 Determinação dos parâmetros fotométricos

Para obter os parâmetros fundamentais desses aglomerados, foram usadas isócronas do Grupo de Pádova, na nova versão denominada PARSEC (Bressan et al., 2012).

Utilizei a metalicidade solar, esperada para os aglomerados abertos e aglomerados embebidos. Ajustei o módulo de distância aparente $(m - M)_j$ e excesso no infravermelho $E(J - H)$ nos diagramas cor-magnitude descontaminados.

Com o ajuste da isócrona e uma vez determinado $(m - M)_j$ e $E(J - H)$, determinei a distância do aglomerado ao Sol a partir do módulo de distância:

$$(m - M)_j = 5 \log d - 5 + A_J \quad ,$$

onde a absorção interestelar na banda J é dada por:

$$A_J = R_J E(J - H)$$

sendo R_J um valor constante obtido da lei de avermelhamento (Cardelli et al., 1989).

2.2 Densidades estelares e parâmetros estruturais

A estrutura do aglomerado foi inferida através do perfil de densidade radial (RDP), definido como a distribuição radial da densidade de estrelas projetada na direção em torno do centro do aglomerado. É construído com estrelas selecionadas através da aplicação de um filtro em cor e magnitude como o usado na Fig. 3.6.

A equação usada para o ajuste é dada pelo perfil de King de 2 parâmetros King (1962):

$$f(r) = \sigma_{BG} + \frac{\sigma_p}{\sqrt{(1 + (r/r_{core})^2)}} \quad (2.1)$$

Como exemplo, o RDP mostrado na Fig. 3.5 pôde então ser contruído, aplicando o filtro em cor e magnitude, e um perfil de King foi ajustado (King, 1962). O RDP obtido para Berkeley 9 (Fig. 3.5) sugere um núcleo colapsado, dentro das incertezas. Aglomerados com núcleo colapsado apresentam um perfil crescente até o centro com a ausência de um patamar.

3 *Aglomerados Analisados*

Em experiência anterior, estudamos quatro aglomerados abertos previamente não analisados e determinamos seus parâmetros fundamentais (Bica, Bonatto e Blumberg, 2006). No presente trabalho, me dedico aos aglomerados Archinal 1, Berkeley 9, Berkeley 90 e Tombaugh 4, os quais fazem parte de uma amostra cujos parâmetros só recentemente foram determinados. Com este estudo os quatro aglomerados somam-se à grande amostra de aglomerados estelares abertos com parâmetros estruturais e fotométricos determinados (Dias et al., 2002). Tal amostra pode nos permitir, por exemplo, entender a história de formação do disco e a dinâmica de aglomerados abertos.

A Tab. 3.1 mostra as coordenadas Galácticas e Equatoriais, diâmetros angular e as denominações na literatura. Esses são dados obtidos do catálogo de Bica et al. (2015, em preparação).

Tabela 3.1: Caracterização dos aglomerados e designação na literatura

l	b	$\alpha(J2000)$	$\delta(J2000)$	d	<i>Nomes</i>
($^{\circ}$)	($^{\circ}$)	($^{\circ}:'''$)	($h:m:s$)	($'$)	
38,26	1,78	18 : 54 : 50	+05 : 33 : 21	1,8	<i>Archinal 1, MWSC 3021</i>
84,87	3,79	20 : 35 : 14	+46 : 50 : 45	5,5	<i>Berkeley 90, OCl – 196, FSR 262, MWSC 3377</i>
134,21	1,07	02 : 29 : 11	+61 : 46 : 55	6	<i>Tombaugh 4, OCl – 349, FSR 585, MWSC 199</i>
146,09	-2,81	03 : 32 : 51	+52 : 38 : 38	6	<i>Berkeley 9, OCl – 388, FSR 646, MWSC 286</i>

Na Fig. 3.1 apresento imagem ótica (na banda R) dos aglomerados estudados. Archinal 1 possui poucas estrelas, já Berkeley 9 possui muitas estrelas e aparenta ser bastante disperso. Berkeley 90 está imerso em sua nuvem primordial, enquanto Tombaugh 4 está projetado num complexo nebuloso.

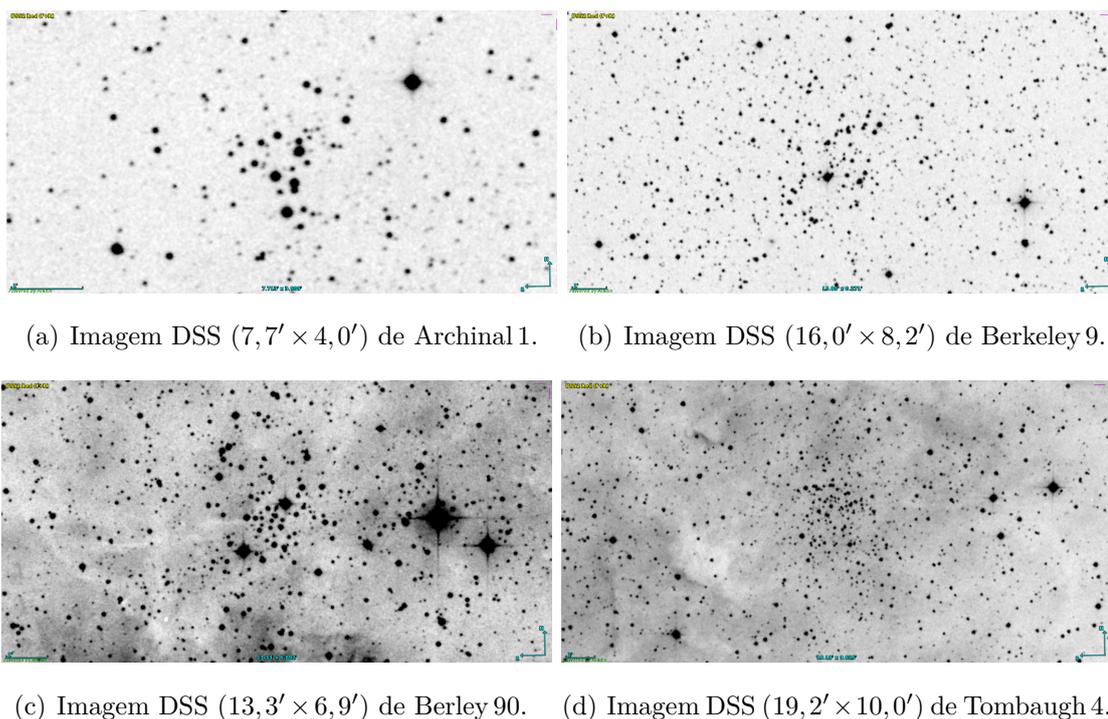


Figura 3.1: Os aglomerados da amostra.

3.1 Archinal 1

Archinal 1 foi descoberto por B. A. Archinal e publicado por Archinal & Hynes (2004). Trata-se de um aglomerado com pouco contraste em relação ao fundo de estrelas na imagem, Fig. 3.1, e não aparenta estar relacionado com nuvem molecular.

Nos diagramas cor-magnitude, $J \times E(J-H)$ e $J \times E(J-K_s)$, desse aglomerado (Fig. 3.2), é mostrada a região observada, painéis superiores, na qual será feita a descontaminação. Nos painéis centrais, está a região externa ao aglomerado, que é usada para a descontaminação. Nos inferiores está o aglomerado já descontaminado.

A idade determinada para Archinal 1 é de 20 *Manos*. Também é ajustada as isócronas de pré-sequência principal do modelo de Siess et al. (2000).

Nota-se no diagrama duas regiões que foram selecionadas para determinar o perfil de densidade radial, área hachurada e não hachurada no CMD. Essas regiões são filtros em cor e magnitude que foram aplicados às regiões de sequência principal e de pré-sequência.

A região hachurada foi usada na construção do perfil de densidade radial de Archinal 1, Fig. 3.3, no qual modelo de King foi ajustado. Além disso, foi feito um filtro na região das possíveis estrelas pertencentes a pré-sequência e construído o RDP para essas estrelas.

Percebe-se na Fig. 3.3 que o RPD não permite as estrelas do polígono.

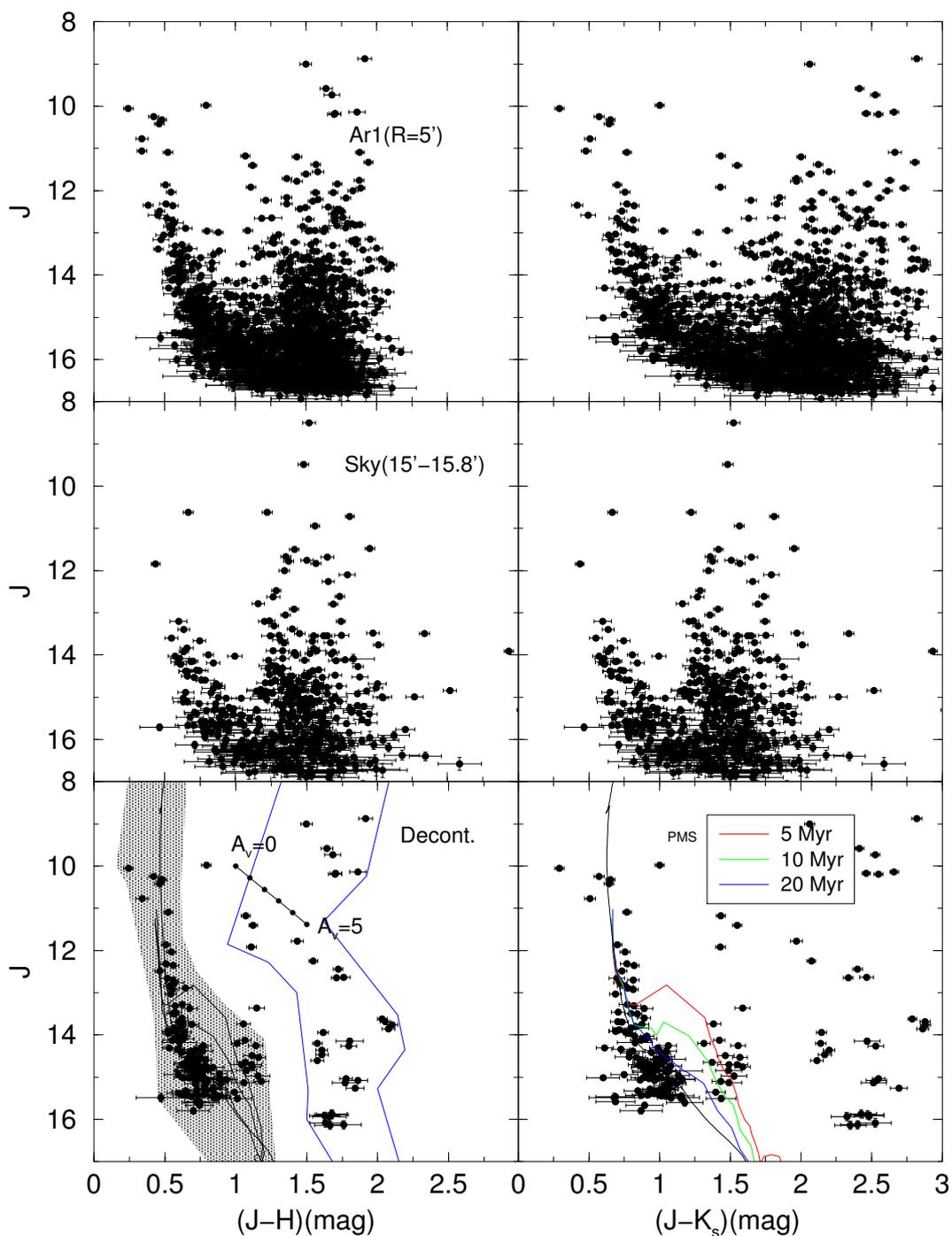


Figura 3.2: Mosaico de CMDs de Archinal 1, com isócrona de sequência principal de 20 *Manos* ajustada após descontaminação. As isócronas de pré-sequência estão indicadas e ajustadas.

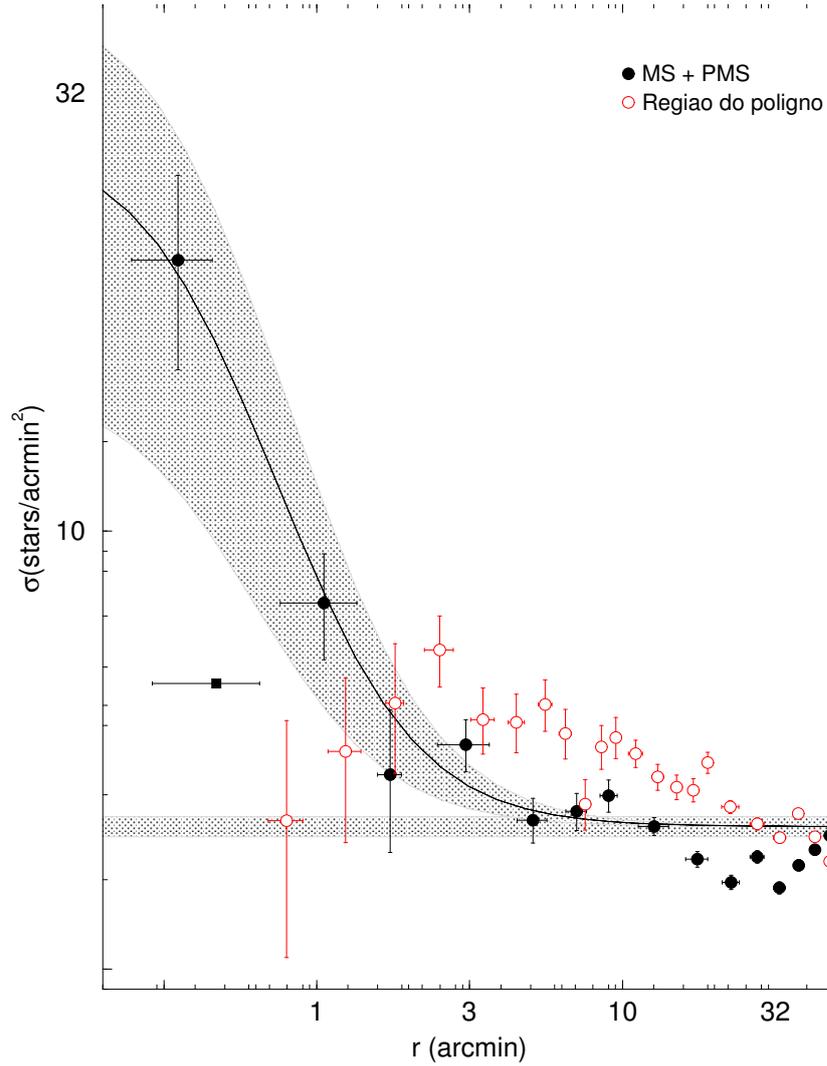


Figura 3.3: Perfil de densidade radial com modelo de King (1962) ajustado.

Tabela 3.2: Parâmetros obtidos para o aglomerado Archinal 1 comparando com Kharchenko et al. (2013).

Determinações	$Idade$	$(m - M)_{j0}$	A_j	$E(B - V)$	d	r_c	r_l
	($Manos$)	(mag)	(mag)	(mag)	(Kpc)	(pc)	(pc)
Este trabalho	20 ± 5	$10,6 \pm 0,3$	$1,5 \pm 0,2$	$1,8 \pm 0,2$	$1,5 \pm 0,2$	$0,5 \pm 0,2$	$2,3 \pm 1,2$
Kharchenko	100	—	—	1,5	1,5	0,7	—

Os resultados encontrados para esse aglomerado estão de acordo com os encontrados por Kharchenko et al. (2013), exceto que a idade determinada é menor.

3.2 Berkeley 9

Berkeley 9 é um aglomerado aberto que parece ser bastante disperso e não aparenta estar associado a uma nuvem de gás ou sua nuvem primordial. Por isso, deve tratar-se de um aglomerado velho, como pode-se observar em seu CMD (Fig. 3.4).

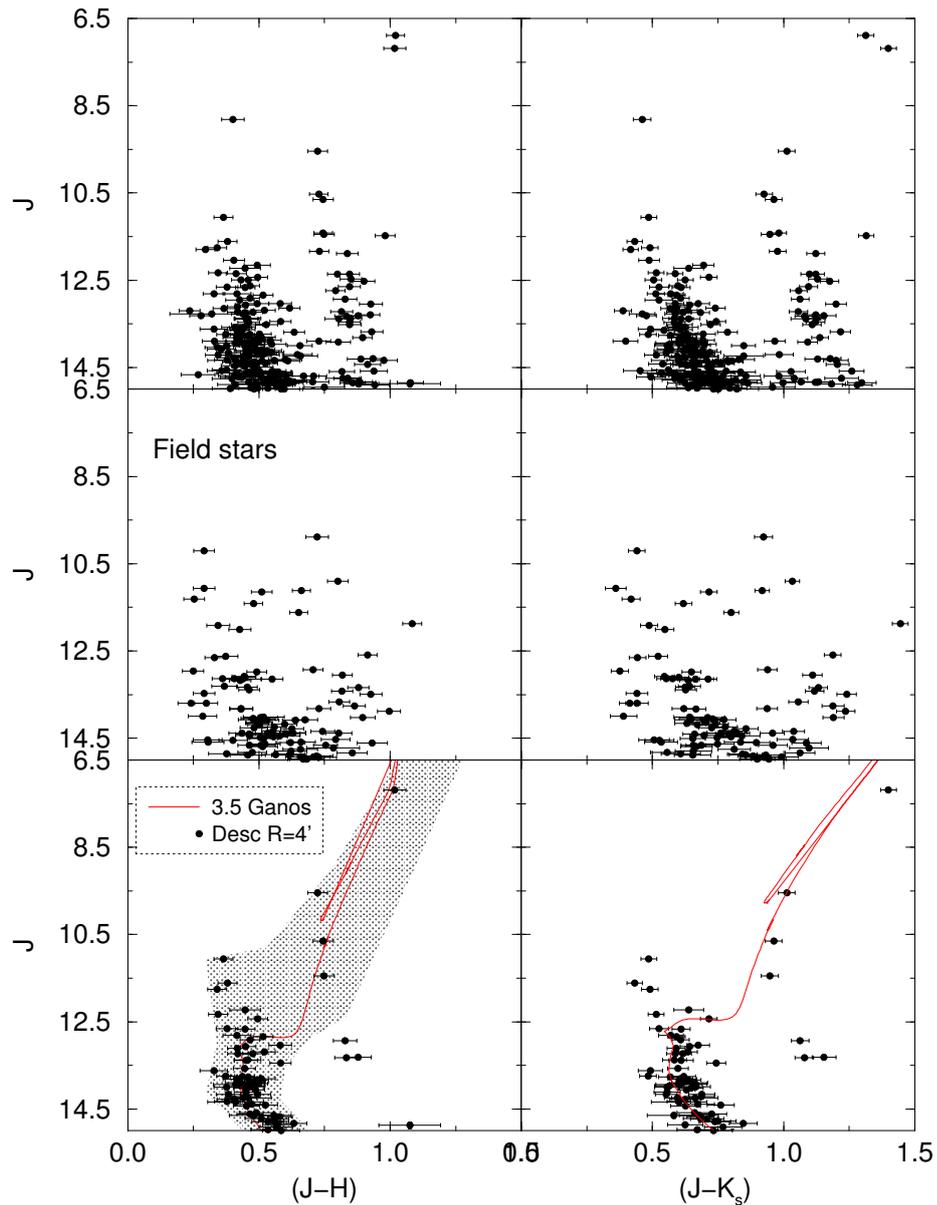


Figura 3.4: Mosaico de CMDs de Berkeley 9, com isócrona de sequência principal de $3,5G_{\odot}$ ajustada após descontaminação de região de $4'$. A área hachurada foi usada para construir o perfil de densidade radial.

A idade determinada para Berkeley 9 é de $3,5 \text{ Ganos}$. Pode-se verificar a presença de um possível *clump* de gigantes vermelhas no CMD do aglomerado Fig.3.4.

O RDP de Berkeley 9 (Fig. 3.5) foi ajustado por um modelo de King. Um núcleo colapsado não pode ser excluído dentro dos erros.

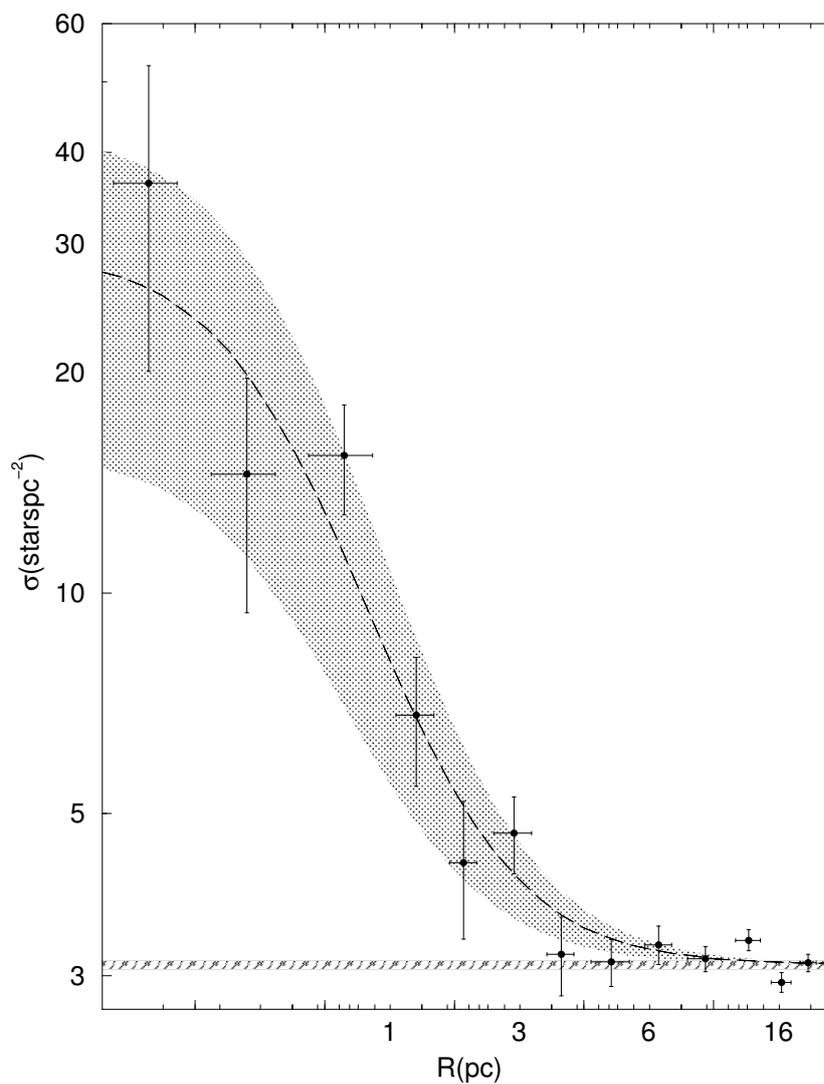


Figura 3.5: Perfil de densidade radial com modelo de King (1962) ajustado para Berkeley 9.

Tabela 3.3: Parâmetros obtidos para o aglomerado Berkeley 9 comparado com Kharchenko et al. (2013).

Determinações	<i>Idade</i>	$(m - M)_{j0}$	A_j	$E(B - V)$	d	r_c	r_t
	(<i>Ganos</i>)	(<i>mag</i>)	(<i>mag</i>)	(<i>mag</i>)	(<i>Kpc</i>)	(<i>pc</i>)	(<i>pc</i>)
Este trabalho	$3,5 \pm 0,7$	$10,2 \pm 0,4$	$0,5 \pm 0,2$	$0,6 \pm 0,2$	$1,2 \pm 0,2$	$0,5 \pm 0,1$	$6,4 \pm 1,5$
Kharchenko	1,9	—	—	0,8	1,5	0,7	—

A Tab. 3.3 mostra uma convergência este trabalho e Kharchenko et al. (2013) em todos os parâmetros em comum.

3.3 Berkeley 90

Berkeley 90 ainda mantém parte de sua nuvem primordial, que causa absorção nos comprimentos de onda curto. Por isso, a importância do uso da fotometria 2MASS nas bandas J, H e K_s do infravermelho próximo.

Segundo Lynds (1965) Berkeley 90 é um aglomerado que está embebido na nebulosa LBN 358. Lynds classificou a nebulosa como sendo de tipo 3 (mais brilhante na placa vermelha do telescópio Palomar), e trata-se de uma região HII. Essa região contém uma estrela tipo O6 que é provavelmente a responsável pela ionização do gás nessa nuvem primordial. O ambiente onde Berkeley 90 se encontra é condizente com um aglomerado jovem com possíveis estrelas de pré-sequência principal.

A idade de Berkeley 90 foi determinada num trabalho anterior e foi estimada em 100 *Manos* (Tadross, 2008). Essa idade é excessivamente alta para um aglomerado embebido. Porém, este trabalho não levou em conta a contaminação de estrelas de campo, baseando-se apenas em pequenas extrações circulares ao redor do aberto, desse modo, tentando evitar a contaminação por estrelas de campo. No entanto, ao fazer isso, perdia estrelas do aglomerado e comprometia o melhor ajuste da isócrona.

Na Fig. 3.6 há um CMD do aglomerado embebido em questão, no qual se ajusta isócrona de 3 *Manos* determinando assim sua idade e módulo de distância $(m - M)_{j0}$. Foram ajustadas também isócronas de pré-sequência (Siess et al., 2000).

Uma vez feita a descontaminação das estrelas de campo, foi usado um filtro em cor e magnitude, região hachurada da Fig. 3.6, selecionando as estrelas que pertencem ao

aglomerado para determinação de seu perfil de densidade radial.

O perfil foi construído com as estrelas que pertencem à sequência principal e às da pré-sequência. Na Fig. 3.7 são apresentados os perfis de densidade radial. As estrelas PMS têm perfil condizente com a da sequência principal de Berkeley 90, confirmando, portanto, um aglomerado embebido.

A comparação com os resultados de Kharchenko et al. (2013) na Tab. 3.7, mostra que esses autores determinaram uma idade de 100 *Manos* para Berkeley 90 concordando com Tadross (2008), porém é claramente superestimada para um aglomerado embebido.

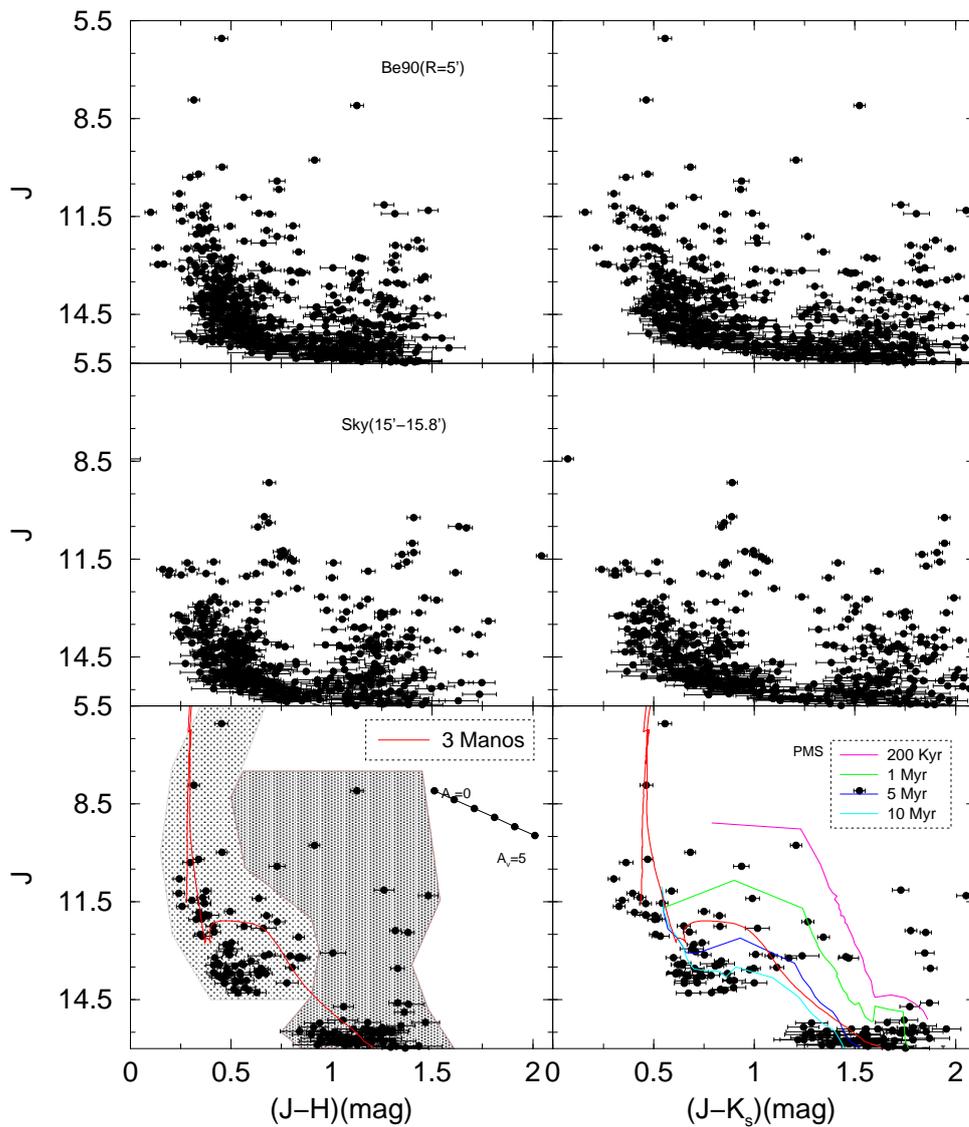


Figura 3.6: Mosaico de CMDs de Berkeley 90, com isócrona de sequência principal de 3 Manos e de pré-sequência ajustada após descontaminação de região de $5'$ de raio. As áreas hachuradas foram usadas para construir o perfil de densidade radial.

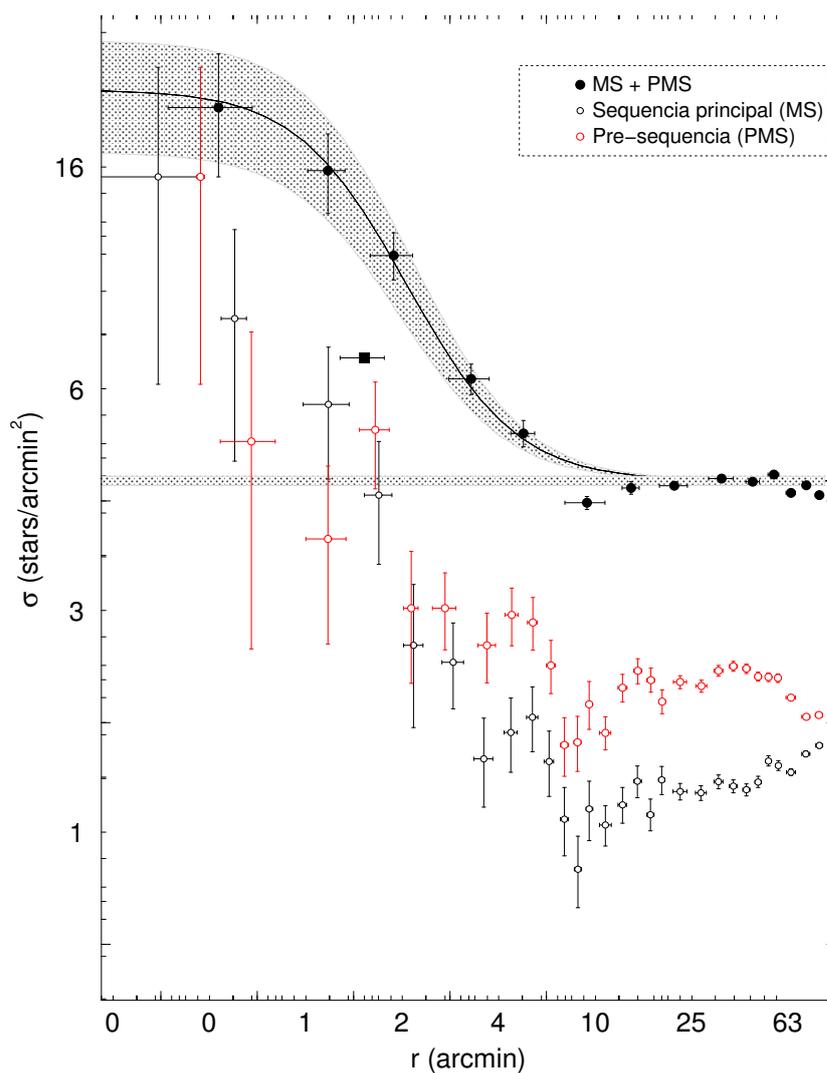


Figura 3.7: Perfil radial das regiões hachuradas do CMD de Berkeley 90 com perfil de King (1962) ajustado.

Tabela 3.4: Parâmetros obtidos para o aglomerado Berkeley 90 comparados com Kharchenko et al. (2013).

Determinações	<i>Idade</i>	$(m - M)_{j0}$	A_j	$E(B - V)$	d	r_c	r_l
	(<i>Manos</i>)	(<i>mag</i>)	(<i>mag</i>)	(<i>mag</i>)	(<i>Kpc</i>)	(<i>pc</i>)	(<i>pc</i>)
Este trabalho	$3,0 \pm 1$	$10,8 \pm 0,9$	$1,1 \pm 0,1$	$1,3 \pm 0,1$	$1,5 \pm 0,6$	$1,1 \pm 0,2$	$2,2 \pm 0,9$
Kharchenko	100	—	—	1,2	2,7	1,2	—

Os resultados encontrados para esse aglomerado entram em concordância, exceto a

idade, com os encontrados por Kharchenko et al. (2013). No entanto, a idade encontrada por Kharchenko é muito superior ao do que deveria se esperar para um aglomerado embebido em sua nuvem primordial.

3.4 Tombaugh 4

O aglomerado aberto Tombaugh 4 está projetado no grande complexo nebuloso Sh2-190 (Sharpless, 1959) na constelação de Cassiopéia. Esse complexo inclui duas subestruturas identificadas primeiramente em rádio (Westerhout, 1958): W 3 (por sua vez incluindo a nebulosa óptica IC 1795) e W 4 (equivalente à nebulosa IC 1805). Tombaugh 4 está projetado entre W 3 e W 4.

Uma pergunta fundamental é se estamos tratando de um aglomerado jovem formado no complexo ou de um aglomerado mais velho projetado no mesmo. O complexo Sh2-190, onde todos esses objetos estão projetados ou imersos, está a uma distância de 2,1 kpc do Sol (Brand & Blitz, 1993).

Os CMDs de Tombaugh 4 (Fig. 3.8) indicam, com ajuste de isócrona, um aglomerado aberto velho de $1,1 Ganos$. Embora a idade determinada por Kharchenko et al. (2013) não coincida com a determinada por este trabalho (Tab. 3.5), ambos concordam que Tombaugh 4 não está associado ao complexo nebuloso. Mostram também que definitivamente o aglomerado não é embebido em sua nuvem primordial.

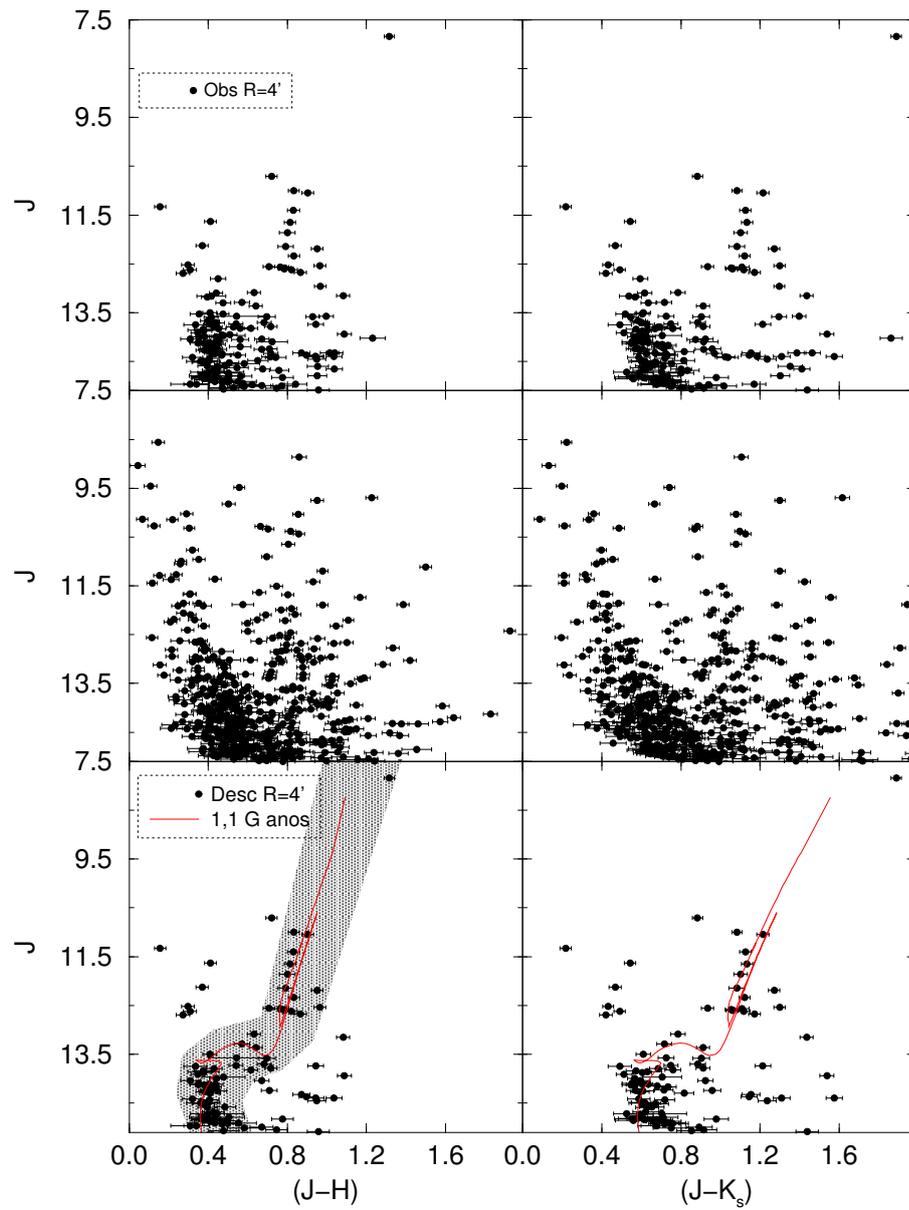


Figura 3.8: Mosaico de CMDs de Tombaugh 4 com isócrona de 1,1 *Ganos* ajustada.

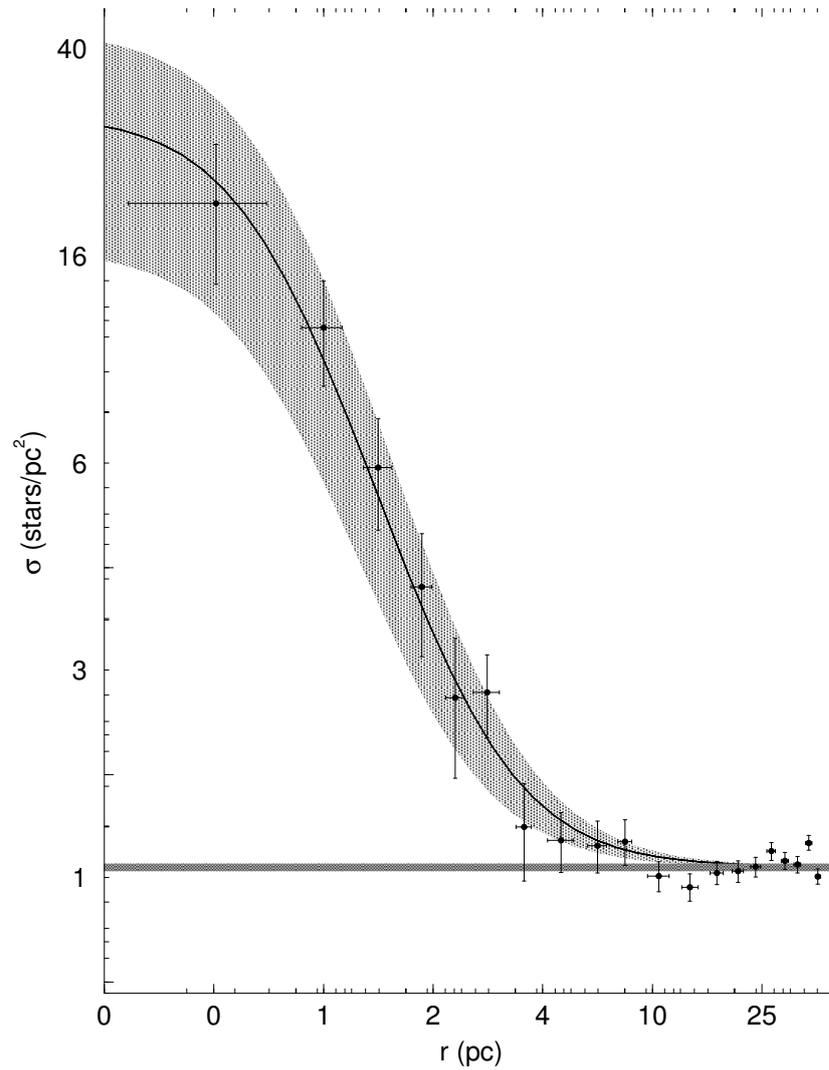


Figura 3.9: Perfil de densidade radial com modelo de King (1962) ajustado para Tombaugh 4.

Tabela 3.5: Parâmetros obtidos para o aglomerado Tombaugh 4 comparados com Kharchenko et al. (2013).

Determinações	$Idade$	$(m - M)_{j0}$	A_j	$E(B - V)$	d	r_c	r_t
	($Ganos$)	(mag)	(mag)	(mag)	(Kpc)	(pc)	(pc)
Este trabalho	$1,1 \pm 0,3$	$12,8 \pm 0,8$	$0,7 \pm 0,3$	$0,9 \pm 0,3$	$3,6 \pm 0,2$	$0,5 \pm 0,2$	$7,5 \pm 1,2$
Kharchenko	0,4	—	—	1,3	3,7	1,6	—

Os resultados encontrados para esse aglomerado são consistentes com os encontrados

por Kharchenko et al. (2013), porém há diferenças. Talvez uma possível causa seja a alta absorção no ótico e/ou avermelhamento diferencial que prejudicaram suas análises. Os autores também determinaram que o aberto está projetado neste complexo nebuloso.

4 *Discussão e Conclusões*

A partir das análises dos dados e da comparação com os demais trabalhos, verifiquei que os parâmetros fundamentais determinados para esses aglomerados abertos neste presente trabalho estão basicamente de acordo com a literatura e são coerentes entre si.

Os aglomerados Archinal 1, apesar de este não estar associado a uma nuvem de gás, e Berkeley 90 estão absorvidos com um excesso $E(B - V) > 1.2$ (Tab. 3.2 e 3.4). Berkeley 90 é um aglomerado jovem que possui estrelas de pré-sequência, fundamentais para o entendimento da formação estelar. Archinal 1 parece ser posterior a esta fase, quando as estrelas da pré-sequência principal (PMS) em sua maioria já evoluíram para a sequência principal (MS).

Em seus perfis de densidade radial, ambos possuem uma queda no domínio de altas densidades. Verifiquei que Berkeley 90 tem a queda devido a absorções por poeira na sua nuvem primordial, enquanto que Archinal 1 é menos populoso e está projetado num forte gradiente de densidade de estrelas perpendicular ao disco da Galáxia.

Berkeley 9 e Tombaugh 4 possuem um excesso $E(B - V) > 0,6$ (Tab. 3.3 e 3.5). Trata-se de dois aglomerados abertos com idades maiores que 1 *Ganos*, sendo Berkeley 9 um exemplo menos comum de aberto, com idade superior a 3 *Ganos*, e mostrando em seu perfil evidência de processos de dissolução apresentando indício de estar com o núcleo colapsado.

Concluí que o aglomerado aberto Tombaugh 4 está localizado atrás do complexo nebuloso Sh2-190, e, portanto, não está associado ao mesmo, visto que a idade de 1.1 *Ganos* obtida para Tombaugh 4 é muito maior do que as formações estelares em Sh2-190.

REFERÊNCIAS

- Archinal & Hynes (2004) *Book Review: Star clusters / Willmann-Bell, 2003*. S&T, 107, 70
- Bica, E.; Bonatto, C.; Blumberg, R. (2006) *Faint open clusters with 2MASS: BH 63, Lynga 2, Lynga 12 and King 20*. A&A, 460, 83
- Bonatto, C.; Kerber, L. O.; Bica, E.; Santiago, B. X. (2006) *Probing disk properties with open clusters*. A&A, 446, 121
- Bonatto, C.; Bica, E (2007) *Open clusters in dense fields: the importance of field-star decontamination for NGC 5715, Lynga 4, Lynga 9, Trumpler 23, Trumpler 26 and Czernik 37*. MNRAS, 377, 1301
- Brand, J.; Blitz, L. (1993) *The Velocity Field of the Outer Galaxy*. A&A, 275, 67
- Bressan, Alessandro; Marigo, Paola; Girardi, Léo.; Salasnich, Bernardo; Dal Cero, Claudia; Rubele, Stefano; Nanni, Ambra (2012) *PARSEC: stellar tracks and isochrones with the PAdova and TRieste Stellar Evolution Code*. MNRAS, 427, 127
- Cardelli, Jason A.; Clayton, Geoffrey C.; Mathis, John S. (1989) *THE RELATIONSHIP BETWEEN INFRARED, OPTICAL, AND ULTRAVIOLET EXTINCTION*. ApJ, 345, 245
- Dias, W. S.; Alessi, B. S.; Moitinho, A.; Lépine, J. R. D. (2002) *New catalogue of optically visible open clusters and candidates*. A&A, 389, 871
- Kharchenko, N. V.; Piskunov, A. E.; Schilbach, E.; Röser, S.; Scholz, R.-D. (2013) *Global survey of star clusters in the Milky Way. II. The catalogue of basic parameters*. A&A, 558, 53
- King I. R. (1962) *The structure of star clusters. I. an empirical density law*. AJ, 67, 471
- Lada, Charles J.; Lada, Elizabeth A. (2003) *Embedded Clusters in Molecular Clouds*. ARA&, A41, 57
- Lynds, Beverly T. (1965) *Catalogue of Bright Nebulae*. ApJS, 12, 163
- Piskunov, A. E.; Kharchenko, N. V.; Roser, S.; Schilbach, E.; Scholz, R.-D. (2006) *Revisiting the population of Galactic open clusters*. A&A, 445, 545
- Siess, L.; Dufour, E.; Forestini, M. (2000) *An internet server for pre-main sequence tracks of low- and intermediate-mass stars*. A&A, 358, 593

- Sharpless, Stewart (1959) *A Catalogue of H II Regions*. ApJS, 4, 257
- Skrutskie, M. F.; Schneider, S. E.; Stiening, R.; Strom, S. E.; Weinberg, M. D.; Beichman, C.; Chester, T.; Cutri, R.; Lonsdale, C.; Elias, J.; Elston, R.; Capps, R.; Carpenter, J.; Huchra, J.; Liebert, J.; Monet, D.; Price, S.; Seitzer, P. (1997) *The Two Micron All Sky Survey (2MASS): Overview and Status*. ASSL, 210, 25S
- Tadross, A. L. (2008) *A Catalogue of previously unstudied Berkeley clusters*. MNRAS, 89, 285
- Westerhout, G. (1958) *A survey of the continuous radiation from the Galactic System at a frequency of 1390 Mc/s*. BAN, 14, 215