Universidade de São Paulo
Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas
Departamento de Astronomia

Fabrícia Oliveira Barbosa

Estudo das estruturas espacial e cinemática de estrelas pré-sequência principal da região de Chamaeleon

São Paulo
2020

Fabrícia Oliveira Barbosa

Estudo das estruturas espacial e cinemática de estrelas pré-sequência principal da região de Chamaeleon

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Astronomia do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Astronomia.

Vertente: Pesquisa básica
Orientador: Prof. Dr. Ramachrisna Teixeira

São Paulo

2020

Para a menina que se perdia olhando o céu estrelado.

Agradecimentos

Aos meus pais, Aline e Pedro, por possibilitarem que eu recebesse uma boa educação formal durante todos esses anos. Aos meus tios, Vulmaro e Solange, por me receberem em sua casa durante a graduação;

Ao meu orientador, Prof. Dr. Ramachrisna Teixeira, pela orientação durante os últimos três anos;

Ao pós doc Phillip Galli, pela tutoria em meu primeiro ano, que alimentou meu entusiasmo pela astronomia;

Aos meus professores da graduação. Obrigada a todos os professores do IAG/USP com os quais aprendi muito sobre astronomia. Agradeço especialmente à professora Jane, com quem tive mais contato fora da sala de aula, e ao professor Reinaldo, com quem não tive aulas, mas tive ótimas conversas;

Aos meus amigos, Márcio, Vitor e em especial ao Tajan, pelo apoio e pela companhia durante todo o curso;

À FAPESP, pelo apoio financeiro, sob o projeto n^o: 2018/19965-0;

Ao IAG, pelo apoio institucional.

Esta tese/dissertação foi escrita em LaTeX com a classe IAGTESE, para teses e dissertações do IAG.

"*There are dark shadows on the earth, but its lights are stronger in the contrast.*"

Charles Dickens

"*Are there patterns in our skies, are patterns only in our eyes?*"

Darwin M. Smith (Darwin Deez)

Resumo

Este trabalho tem como objetivo principal um estudo de pertinência em uma região rica em estrelas pré-sequência principal de baixa massa. O foco é o complexo de nuvens moleculares de Chamaeleon e sua história de formação estelar, à luz dos dados observacionais do segundo *release* da missão espacial Gaia (GDR2). O satélite Gaia constituiu um enorme avanço em termos de dados astronômicos, trazendo não somente um grande número de medidas, mas acompanhadas de uma precisão nunca antes vista.

Após o levantamento dos dados relativos aos membros conhecidos dos grupos estudados (Cha I, Cha II, ϵ Cha e η Cha) contidos no GDR2, foi analisada a distribuição espacial e os movimentos próprios. Com essa análise, foi possível encontrar discrepâncias cinemáticas e em distâncias em relação aos parâmetros médios de cada associação para vários membros identificados na literatura. Essas discrepâncias colocam em dúvida a pertinência das estrelas a seus respectivos grupos.

Com a remoção dos membros suspeitos, foi possível determinar de forma mais precisa os parâmetros médios dos agrupamentos e foram estimadas as distâncias $d_I = 190.9^{+7.9}_{-7.3}$ pc, $d_{II} = 199.4^{+5.8}_{-5.4}$ pc, $d_\epsilon = 103.0^{+8.3}_{-7.2}$ pc e $d_\eta = 98.85^{+0.53}_{-0.53}$ pc. Além disso, a possibilidade da presença de novos membros foi investigada, originando uma lista contendo 39 estrelas que possuem parâmetros astrométricos e idades compatíveis com aquelas dos grupos em questão, dentre as quais 5 foram admitidas como membros em trabalhos anteriores, porém não incluídos no levantamento.

Abstract

The main objective of this work is a study of membership in a region rich in pre-main-sequence low-mass stars. The focus is the Chamaeleon molecular cloud complex and its star formation history, in light of observational data from the second release of Gaia space mission (GDR2). The Gaia satellite was a huge step forward in terms of astronomical data, providing a large number of measurements with unprecedented accuracy.

After the survey of data relative to known members in each studied group (Cha I, Cha II, ϵ Cha and η Cha) included in GDR2, spatial distribution and proper motions were analyzed. Based on astrometric data, it was possible to find kinematic and distance discrepancies regarding average parameters of each association to several members defined in the literature. These disagreements raise doubts about the membership of these stars to their related groups.

Removing possible interlopers, we were able to determine with more precision the mean parameters of each group and to estimate its distances: $d_I = 190.9^{+7.9}_{-7.3}$ pc, $d_{II} = 199.4^{+5.8}_{-5.4}$ pc, $d_\epsilon = 103.0^{+8.3}_{-7.2}$ pc and $d_\eta = 98.85^{+0.53}_{-0.53}$ pc. Furthermore, the possibility of new members was investigated and resulted in a list containing 39 stars whose astrometric parameters and ages are consistents with the concerned group. 5 were classified in the region before, but not included in this survey.

Lista de Figuras

3.1 Distribuição espacial dos membros estudados. 24
3.2 Distribuição de paralaxes da amostra inicial. 25
3.3 Diagrama de movimento próprio dos grupos. 26
3.4 Discrepâncias em paralaxe para ϵ Cha. 27
3.5 Distribuição espacial, diagrama de movimento próprio e histograma de paralaxes indicando membros removidos. 28
3.6 Distribuição espacial, diagrama de movimento próprio e histograma de paralaxe das nuvens incluindo os novos membros propostos por López Martí et al. (2013b). 29

4.1 Distribuição espacial dos membros de cada grupo com cores codificadas pelas paralaxe. 32
4.2 Projeção do céu em coordenadas galácticas, mostrando a localização de aglomerados abertos (em azul claro) e as associações de Chamaeleon com suas respectivas cores. Vetores fora de escala. 33
4.3 Distribuição espacial dos membros de cada grupo com cores codificadas pelos movimentos próprios. 34
4.4 Distribuição das velocidades radiais para estrelas nas associações. 35
4.5 Velocidades espaciais dos membros de cada grupo. 36

5.1 Diagramas cor-magnitude para cada grupo. 38
5.2 Comparação dos parâmetros astrométricos dos candidatos com os membros confirmados em Cha I. 39

5.3 Comparação dos parâmetros astrométricos dos candidatos com os membros confirmados em Cha II. 40
5.4 Comparação dos parâmetros astrométricos dos candidatos com os membros confirmados em ϵ Cha. 41
5.5 Comparação dos parâmetros astrométricos dos candidatos com os membros confirmados em η Cha. 42
5.6 Magnitude aparente dos possíveis membros. 43

Lista de Tabelas

3.1 Número de membros para cada grupo, valores médios dos principais parâmetros e suas respectivas incertezas. 23

3.2 Estrelas classificadas como membros de ϵ Cha que apresentam $\varpi < 8$ mas. 27

A.1 Membros confirmados de Cha I. 53

A.2 Membros confirmados de Cha II. 57

A.3 Membros confirmados de ϵ Cha. 57

A.4 Membros confirmados de η Cha. 58

A.5 Membros além de 3 MAD removidos de cada grupo. 59

A.6 Identificação das referências. 59

A.7 Prováveis novos membros para Cha I. 60

A.8 Prováveis novos membros para Cha II. 60

A.9 Prováveis novos membros para ϵ Cha. 60

A.10 Prováveis novos membros para η Cha. 61

Sumário

1. Introdução 19

2. Base de dados 21

2.1 Seleção de objetos 21

2.2 Dados astrométricos 21

2.3 Remoção de estrelas 22

3. Análise 23

3.1 Visão geral 24

3.1.1 Discrepâncias 26

3.2 Novos candidatos da literatura 28

4. Estruturas 31

4.1 Estrutura espacial 31

4.2 Estrutura cinemática 32

5. Possíveis novos membros 37

6. Conclusões 45

Referências 47

Apêndice 51

A. Dados dos membros 53

Capítulo 1

Introdução

Chamamos *moving groups* grupos de estrelas dispersos originados de um mesmo episódio de formação estelar, o que lhes confere indicadores de idade e movimentos espaciais semelhantes. Por serem fracamente ligados, eles se dispersam rapidamente devido à rotação diferencial da Galáxia (Eggen 1996). Uma das hipóteses sobre sua formação sugere que tratam-se de remanescente de aglomerados abertos, mas sua origem ainda é discutida (Asiain et al. 1999). As associações são estruturas jovens não ligadas gravitacionalmente com densidades da ordem de 0.1 $M_{\odot}\ pc^{-3}$, que se estendem de algumas centenas até milhares de parsecs (Blaauw 1964) e coincidem com grandes complexos de formação estelar. A distinção entre os sistemas estelares jovens fracamente ligados não é clara devido a sua baixa densidade, assimetria e variedade nos parâmetros estruturais, compondo partes da mesma estrutura hierárquica (Gouliermis 2018).

Uma vez que as estrelas se formaram em grupos, a partir de nuvens de gás e poeira, elas devem possuir algumas propriedades em comum entre si e também em comum com a nuvem molecular progenitora (tais como distância, velocidade, idade e composição química). As regiões de formação estelar são alvos importantes na busca de estrelas no estágio pré-sequência principal que ainda não se dispersaram, visto que se encontram próximas do local onde foram formadas e possuem velocidades similares às iniciais.

Há diversos métodos para identificação e detecção de estrelas pré-sequência principal em regiões de formação estelar. Um grande número de estrelas pré-sequência principal foi descoberto em levantamentos espectroscópicos no óptico (e.g. Schwartz 1977). Essa técnica permitiu a descoberta das estrelas do tipo T Tauri clássicas que possuem forte emissão das linhas de hidrogênio (por exemplo, a linha de Hα). Observações em raios-X e infravermelho, com os satélites ROSAT (e.g. Krautter et al. 1997; Wichmann et al. 1997a,b) e Spitzer

(e.g. Merín et al. 2008; Mortieret al. 2011), também contribuíram para descoberta de centenas de estrelas pré-sequência principal. Embora esse trabalho observacional já tenha permitido a identificação de um grande número de estrelas, é importante mencionar que as observações raramente cobrem uma região de formação estelar na sua totalidade, o que torna o levantamento incompleto.

Dentro desse contexto, um estudo cinemático das estrelas a partir dos dados de posição, movimento próprio, paralaxe e velocidade radial é essencial, pois permite identificar estruturas como *moving groups* e associações às quais essas estrelas pertencem, além dos membros mais dispersos do grupo (Krone-Martins et al. 2010; Galli et al. 2012; Gagné et al. 2018).

Desde 2016, a missão espacial Gaia vem fornecendo dados astrométricos, fotométricos e espectroscópicos de alta qualidade para um grande número de estrelas mais brilhantes que magnitude G $\sim$ 21, onde G é a magnitude Gaia, muito próxima da banda V (Gaia Collaboration 2016). Agora, graças ao segundo *data release* (GDR2), movimentos próprios, paralaxes e magnitudes estão disponíveis para mais de 1 bilhão de estrelas (Gaia Collaboration 2018). Isso possibilita estudos mais profundos, uma vez que as análises de pertinência anteriores eram limitadas devido à ausência de medidas de paralaxe e de movimentos próprios de boa qualidade, especialmente para as estrelas mais fracas.

Este trabalho visa estudar a distribuição espacial e re-examinar a classificação dos membros de Chamaeleon com os dados GDR2. Chamaeleon é uma das regiões de formação estelar de baixa massa mais rica em estrelas T Tauri na vizinhança solar. É composta por três nuvens moleculares, Cha I, Cha II e Cha III, mas somente as duas primeiras possuem formação estelar ativa. Trata-se de uma ótima região para estudo dada sua proximidade, localização fora do plano galáctico e riqueza de membros de baixa massa (Hyland et al. 1982). Voirin et al. (2018) estimaram distâncias de 179^{+11}_{-10} pc e 181^{+6}_{-5} pc, respectivamente, para as nuvens que compõem o complexo de formação estelar, Cha I e Cha II. Um pouco mais próximos do Sol, encontram-se outros dois agrupamentos de estrelas na região de Chamaeleon: ϵ Cha e η Cha.

Capítulo 2

Base de dados

Neste capítulo, comentamos sobre a obtenção dos dados e a seleção realizada antes das análises. Na Seção 2.1, são apresentados os artigos que apresentam os membros estudados. Na Seção 2.2, comentamos os cuidados após o *cross-match*. Na Seção 2.3, falamos sobre a filtragem dos dados.

2.1 Seleção de objetos

A amostra analisada neste trabalho foi selecionada a partir de candidatos e membros confirmados previamente na literatura sobre a região, com base em propriedades fotométricas, espectroscópicas e cinemáticas.

Para Cha I, foram considerados os membros definidos em Luhman (2007), complementados com aqueles incluídos na análise feita por Esplin et al. (2017), enquanto, para o grupo Cha II, foi usada a lista apresentada por Spezzi et al. (2008). Uma lista extra, apresentada em López Martí et al. (2013b), que indica possíveis membros desses grupos foi analisada separadamente, a fim de avaliar se os dados astrométricos do GDR2 corroboram sua pertinência. Membros das associações η Cha e ϵ Cha foram obtidos a partir de Fernández et al. (2008) e da Silva et al. (2009), sendo acrescentados Luhman (2004) e Murphy et al. (2013) para ϵ Cha.

2.2 Dados astrométricos

Para obter as medidas de posição, paralaxe e movimento próprio, entre outros parâmetros, foi realizado o *cross-match* entre a lista elaborada e o catálogo proveniente do segundo *data*

release do satélite Gaia. Foi usada a ferramenta *CDS Upload X-Match* do TOPCAT[1], com $1''$ para o raio de busca. Para assegurar que as correspondências foram feitas corretamente, os dados obtidos foram comparados com aqueles apresentados no Simbad[2] ao buscar pelo identificador. Esse procedimento previne uma incorreta atribuição de parâmetros para um membro em virtude do erro em posição adotado para a busca, além de excluir dados com má qualidade e considerar a posição medida pelo Gaia para a época 2000.0, levando em conta o movimento próprio[3].

2.3 Remoção de estrelas

Por diversos fatores, como o número de observações, a magnitude da fonte ou perturbações, é possível que haja medidas de menor qualidade, menos precisas e confiáveis. UWE (*unit weight error*) é uma ferramenta estatística comumente usada para avaliar a qualidade das medidas astrométricas. No entanto, mesmo quando não há problemas com os dados, uma fonte muito brilhante corre o risco de ser filtrada. Para resolver isso, seu valor UWE deve ser normalizado por um fator que leva em conta a magnitude e a cor do astro, dando origem ao RUWE (*re-normalized unit weight error*) (Lindegren 2018).

Como descrito por Lindegren (2018), a distribuição dos valores RUWE apresenta uma queda acentuada em RUWE = 1.4, sendo assim o valor adotado como limite da qualidade do ajuste. Utilizando o critério mencionado, as estrelas da amostra inicial com valores $RUWE > 1.4$ foram removidas.

[1] TOPCAT é um *software* direcionado para a Astronomia que permite a manipulação e a visualização de grandes quantidades de dados de forma relativamente simples.
http://www.starlink.ac.uk/topcat/

[2] Simbad é acessado em http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/

[3] Mais informações em http://cdsweb.u-strasbg.fr/news.php?fn_mode=fullnews&fn_incl=0&fn_id=702

Capítulo 3

Análise

O tamanho final da lista correspondente a cada grupo após a aplicação do critério descrito na Seção 2.3 e os valores médios dos principais parâmetros são apresentados na Tabela 3.1. As posições referem-se ao ICRS (*International Celestial Reference System*) como são fornecidas pelo catálogo Gaia (época 2015.0).

Um primeiro dado que chama a atenção na Tabela 3.1 diz respeito ao grande número de membros em Cha I em relação aos demais grupos, especialmente devido à extensa lista de membros apontada por Luhman (2007). Trata-se também de uma nuvem mais extensa que Cha II, cobrindo uma área cerca de 5 vezes maior. As paralaxes evidenciam uma separação tênue entre as duas nuvens, Cha I e Cha II, e entre as associações, ϵ Cha e η Cha. Além disso, mostram que a distância entre esses pares de grupos é significativa. Nota-se também uma enorme dispersão em movimento próprio para ϵ Cha em comparação aos demais, causada por alguns poucos objetos, como será comentado na Seção 3.1.

Tabela 3.1 - Número de membros para cada grupo, valores médios dos principais parâmetros e suas respectivas incertezas.

	Membros	α (°)	δ (°)	ϖ (mas)	$\mu_\alpha \cos\delta$ (mas/yr)	μ_δ (mas/yr)
Cha I	151	167.18	-76.96	5.30 ± 0.05	-22.71 ± 0.20	0.47 ± 0.12
Cha II	35	195.72	-77.33	4.07 ± 0.32	-16.89 ± 1.16	-6.01 ± 0.56
ϵ Cha	38	177.80	-76.55	9.48 ± 0.40	-45.09 ± 3.56	0.47 ± 2.97
η Cha	13	130.61	-78.96	10.12 ± 0.02	-29.66 ± 0.28	27.13 ± 0.19

α: ascensão reta
δ: declinação
ϖ: paralaxe
$\mu_\alpha \cos\delta$: movimento próprio em ascensão reta
μ_δ: movimento próprio me declinação

3.1 Visão geral

Na Figura 3.1, é apresentada a distribuição espacial dos membros que compõem a amostra inicial do trabalho. É possível notar que os grupos estudados distribuem-se em uma região bastante extensa do céu, principalmente ϵ Cha, que se revela como um grupo bastante disperso. Os 5 membros com maiores declinações são os principais responsáveis pela grande extensão em área dessa associação. Apesar de espalhar-se por regiões do céu onde estão localizados outros grupos, ϵ Cha encontra-se significativamente mais próximo do Sol comparando com Cha I e Cha II. Embora ϵ Cha e η Cha estejam a distâncias semelhantes, encontram-se bastante afastados angularmente. Aliás, percebe-se que o grupo η Cha encontra-se relativamente isolado dos demais.

A Figura 3.2 mostra a distribuição das paralaxes dos objetos. Sabe-se que as paralaxes do satélite Gaia são afetadas pelo desvio do ponto zero. Lindegren et al. (2018) estimaram esse desvio em -0.029 mas. Outras estimativas foram feitas por diversos autores, como Cantat-Gaudin et al. (2018) com -0.048 mas, todos na mesma ordem de grandeza. No entanto, esse desvio não foi considerado neste trabalho dado que as estrelas estudadas estão relativamente próximas e a correção não seria significativa. Além, é claro, de não alterar as paralaxes relativas de um grupo ao outro.

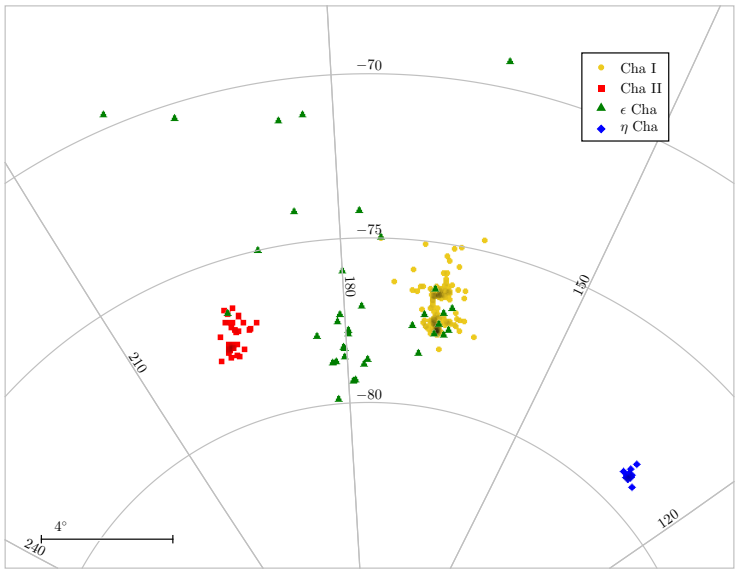

Figura 3.1: Distribuição espacial dos membros estudados.

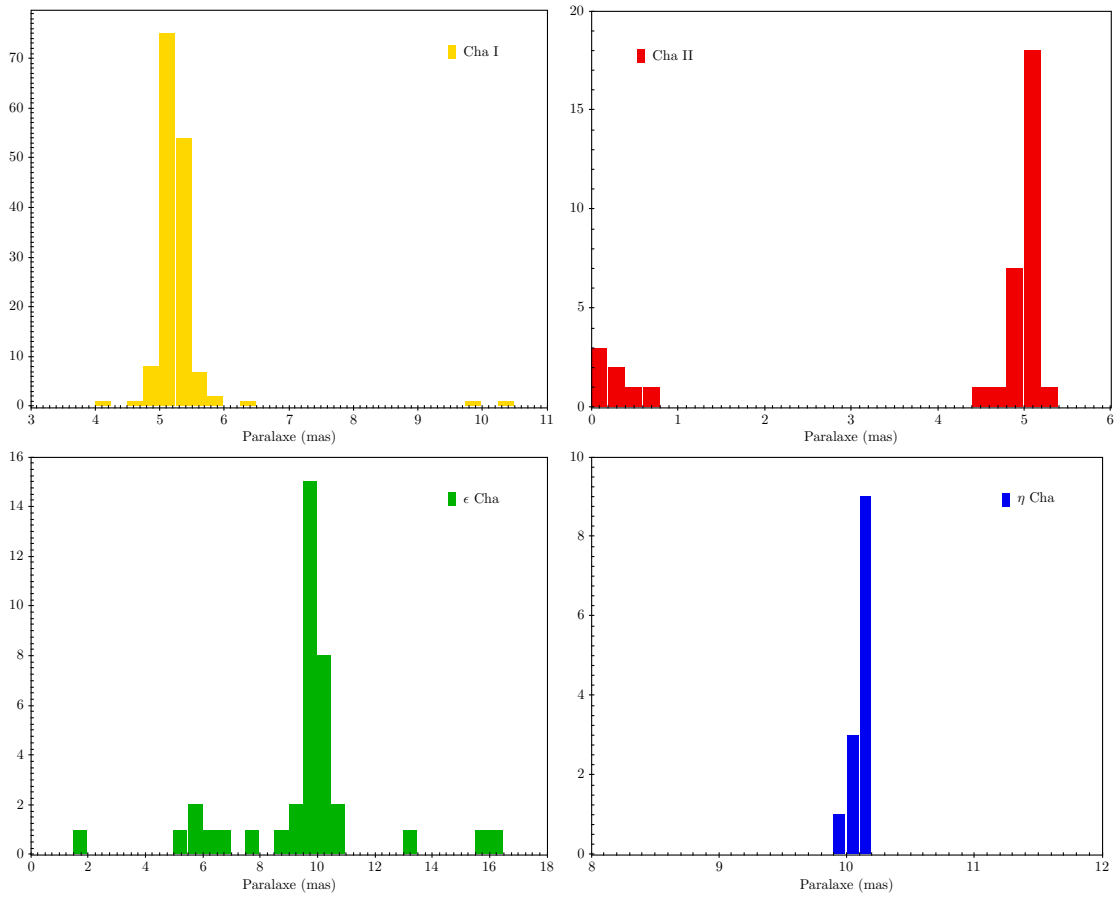

Figura 3.2: Histogramas de paralaxe para os membros.

Para Cha I, o grupo mais populoso da amostra, poucas estrelas encontram-se distantes do valor médio de paralaxe. Em contrapartida, na distribuição de Cha II é visível um segundo grupo com valores mais baixos, provavelmente contaminantes do *background*.

Pode-se observar que ϵ Cha é muito disperso não apenas em posição (Figura 3.1), como também em paralaxe, o que pode indicar a presença de objetos que não pertecem à associação. Nota-se uma sobreposição de membros de Cha I e ϵ Cha na Figura 3.1, além de um pequeno conjunto de 5 objetos considerados membros de ϵ Cha na literatura com paralaxes similares ao esperado para Cha I (Figura 3.2). Essa observação instiga uma análise mais direcionada.

η Cha apresenta-se como um grupo bem definido tanto em posição como em distância, e também em movimento próprio, como pode ser visto na Figura 3.3. No entanto, trata-se de um grupo com um número muito pequeno de membros até então.

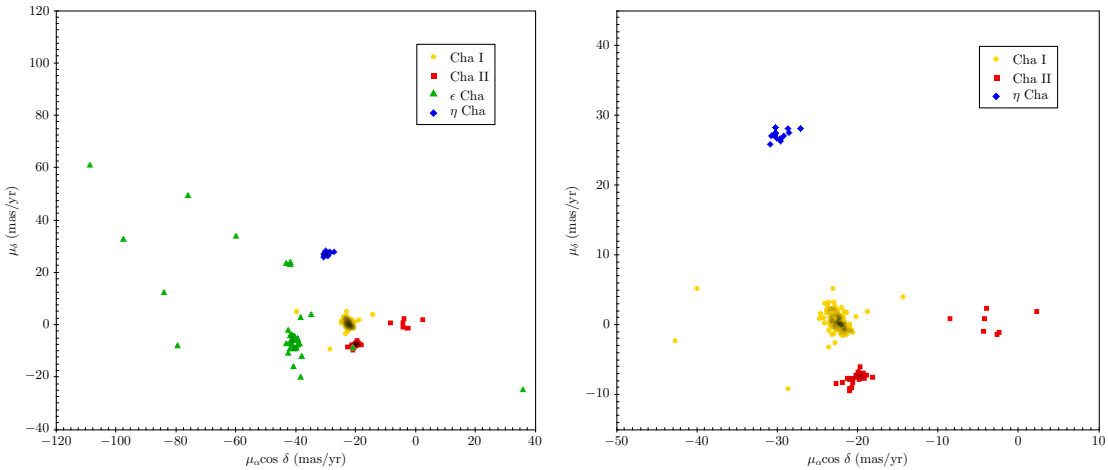

Figura 3.3: Diagrama de movimento próprio para os membros de cada um dos grupos. À direita, são apresentados apenas os três grupos menos dispersos para uma melhor visualização.

3.1.1 Discrepâncias

O panorama geral apresentado conduz a algumas primeiras análises, explorando sobreposições e dispersões visíveis nos dados. Na Figura 3.3, é clara a distinção entre os *moving groups*. É possível notar um pequeno grupo de sete estrelas de Cha II separado dos demais. Esses objetos são aqueles que possuem valores de paralaxe abaixo de 1 mas, dos quais cinco foram apontados por Spezzi et al. (2008) como possíveis estrelas pré-sequência principal, necessitando confirmação espectroscópica, o que reforçaria suas pertinências ao grupo. Dois desses, IRAS 12448-7650 e IRAS 12589-7646, também foram mencionados em López Martí et al. (2013a) por apresentarem movimentos próprios incompatíveis com o grupo em questão, contradizendo a proposta de Spezzi et al. (2008). Dadas as discrepâncias citadas, é provável que essas estrelas tenham sido mal classificadas com os dados disponíveis na época.

Na Figura 3.1, notamos uma sobreposição de membros de ϵ Cha em Cha I. Na Tabela 3.2, são apontadas as estrelas de ϵ Cha que possuem $\varpi < 8$ mas. Apesar de cinco dentre as sete apresentarem paralaxes próximas da média do grupo Cha I (entre 4 mas e 7 mas), seus movimentos não estão de acordo com os valores da nuvem ($\mu_\alpha cos\ \delta \sim -22.7$ mas/yr e $\mu_\delta \sim 0.5$ mas/yr) e também não coincidem com os membros sobrepostos. Isso também pode ser observado na Figura 3.4.

Foram encontradas duas duplicatas na amostra. 2MASS J11404967-7459394 foi classificada como membro de Cha I por Luhman (2007) e como membro de ϵ Cha por Murphy et

Tabela 3.2 - Estrelas classificadas como membros de ϵ Cha que apresentam $\varpi < 8$ *mas*. Parâmetros como na Tabela 3.1.

Identificador	α (°)	δ (°)	ϖ (mas)	$\mu_\alpha \cos\delta$ (mas/yr)	μ_δ (mas/yr)
HD 95916	165.33	-77.60	7.74	-59.99	33.23
CHX 6A	166.46	-77.12	6.41	-108.66	60.49
CHXR 65B	169.05	-77.24	5.73	-42.00	23.54
CHXR 65A	169.05	-77.23	5.92	-43.33	23.14
TYC 9414-191-1	169.12	-78.42	1.56	-38.37	2.46
RX J1150.4-77	177.62	-77.08	6.55	-42.74	-11.05
CM Cha	195.55	-76.63	5.15	-20.99	-9.14

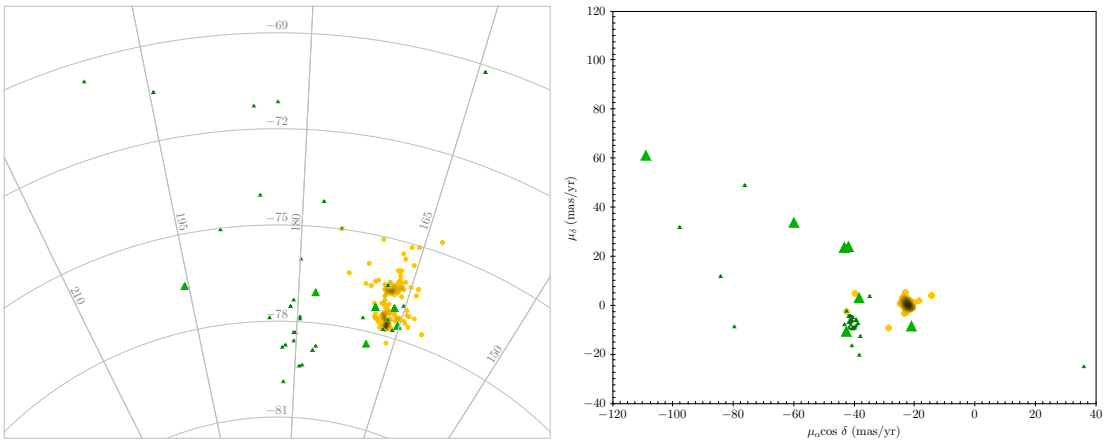

Figura 3.4: Distribuição espacial e movimentos próprios para Cha I e ϵ Cha, com membros de ϵ Cha com $\varpi < 8$ *mas* em destaque.

al. (2013). Pela localização na esfera celeste e no diagrama de movimento, sua classificação é inconclusiva. Contudo, seu valor de paralaxe, $\varpi = 10.397 \pm 0.069$ *mas*, indica que é mais provável que pertença ao grupo ϵ Cha. No segundo caso, CM Cha corresponde ao ponto verde sobreposto ao grupo Cha II nas Figuras 3.1 e 3.3, sendo também uma das estrelas com paralaxe abaixo de 8 *mas* (com $\varpi = 5.152 \pm 0.024$ *mas*). Foi classificada inicialmente como membro da nuvem escura em Alcalá et al. (2008), mas reconsiderada por López Martí et al. (2013a) e classificada como membro da associação. Murphy et al. (2013), por sua vez, a colocaram como membro provisório, para que seja reavaliada com melhores parâmetros cinemáticos ou medidas de paralaxe. Com os dados disponíveis, observa-se uma maior concordância com os valores médios de Cha II.

Visando preparar a amostra para a busca de novos membros e para melhor deter-

minar os parâmetros médios de cada grupo, foram consideradas apenas as estrelas que se encontram dentro do intervalo definido por 3 desvios absolutos da mediana (sigla em inglês, MAD) em, no mínimo, dois dos três parâmetros considerados (paralaxe, movimento próprio em ascensão reta e em declinação). A mediana foi escolhida por ser uma estatística mais robusta, possibilitando identificar melhor possíveis contaminantes. O resultado desse procedimento é apresentado na Figura 3.5. Com isso, foram retiradas 4 estrelas de Cha I, 7 de Cha II e 10 de ϵ Cha, considerando as fontes duplicadas. Nenhum membro de η Cha foi removido. Os membros separados são apresentados na Tabela A.5 no Apêndice A.

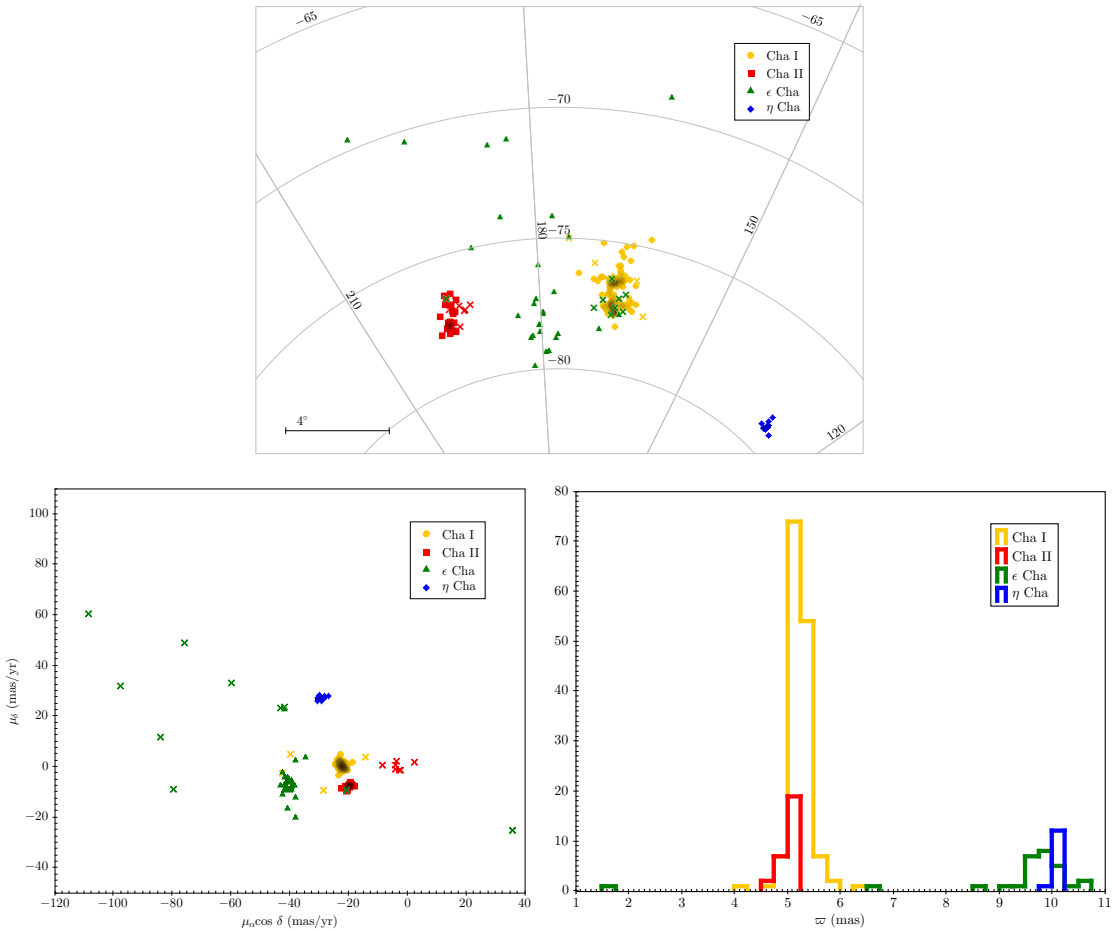

Figura 3.5: Distribuição espacial, diagrama de movimento próprio e histograma de paralaxes para as estrelas da amostra. As cruzes indicam os membros que foram separados pelo critério escolhido. O histograma apresenta apenas os membros não removidos.

3.2 Novos candidatos da literatura

López Martí et al. (2013b) identificaram 65 prováveis membros para as nuvens escuras

estudadas por nós. Ao final, após realizar o cruzamento dos dados e a remoção dos valores RUWE altos, restaram 63 objetos. Suas características gerais podem ser observadas na Figura 3.6.

Os candidatos foram selecionados com base nos movimentos próprios do catálogo UCAC4 e em dados fotométricos no visível e no infravermelho de diversos catálogos, incluindo Spitzer e 2MASS. Essas estrelas aumentariam significativamente a dispersão dos movimentos próprios e a extensão dos grupos, no entanto as paralaxes indicam que apenas quatro apresentam distâncias compatíveis com as nuvens, dentre as quais uma já estava presente na amostra inicial.

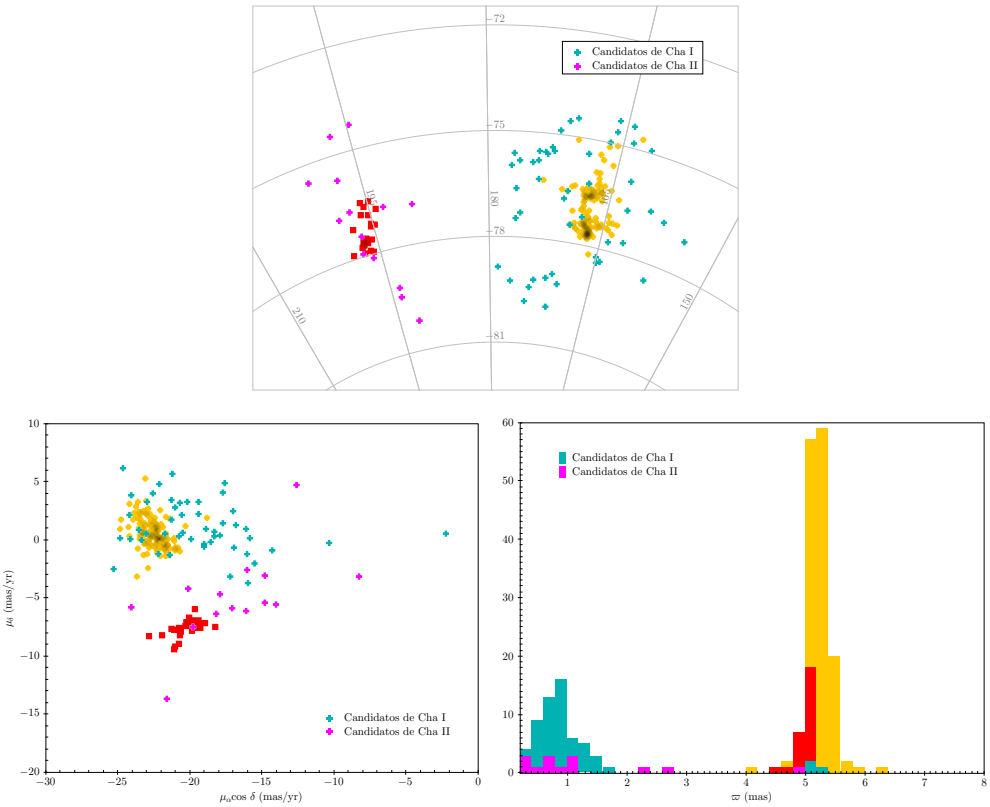

Figura 3.6: Distribuição espacial, diagrama de movimento próprio e histograma de paralaxe das nuvens incluindo os novos membros propostos por López Martí et al. (2013b).

Capítulo 4

Estruturas

Com a remoção das estrelas mais discrepantes e a inclusão dos três novos membros nas nuvens escuras, tem-se a amostra final apresentada nas Tabelas A.1, A.2, A.3 e A.4 no Apêndice A. A partir dessa lista, foram obtidas as características espaciais (comentadas na Seção 4.1) e cinemáticas (apresentadas na Seção 4.2) para cada grupo estudado.

4.1 Estrutura espacial

Foram estimadas as distâncias entre os grupos e as distâncias médias ao Sol. Como os erros relativos são menores que 10%, a distância foi calculada com uma simples inversão da paralaxe. Para Cha I e Cha II, obtivemos $d_I = 190.9^{+7.9}_{-7.3}$ pc e $d_{II} = 199.4^{+5.8}_{-5.4}$ pc, respectivamente, ambas ligeiramente superiores às distâncias $d_{Cha\ I} = 179^{+11}_{-10}$ pc e $d_{Cha\ II} = 181^{+6}_{-5}$ pc estimadas por Voirin et al. (2018). Para ϵ Cha, foi encontrada $d_\epsilon = 106^{+22}_{-16}$ pc, compatível com a estimativa anterior $d_{\epsilon\ Cha} = 110 \pm 7$ pc (Murphy et al. 2013), e para η Cha temos $d_\eta = 98.85^{+0.53}_{-0.53}$ pc, próxima do valor estimado $d_{\eta\ Cha} = 97$ pc (Mamajek 1999).

Foram calculadas as seguintes distâncias entre grupos, onde $d_{I,II}$ indica a distância entre os grupos Cha I e Cha II e o equivalente para os demais:

$$d_{I,II} = 23.4 \text{ pc}$$
$$d_{I,\epsilon} = 85.2 \text{ pc}$$
$$d_{I,\eta} = 93.9 \text{ pc}$$
$$d_{II,\epsilon} = 93.9 \text{ pc}$$
$$d_{II,\eta} = 105.4 \text{ pc}$$
$$d_{\epsilon,\eta} = 20.1 \text{ pc}$$

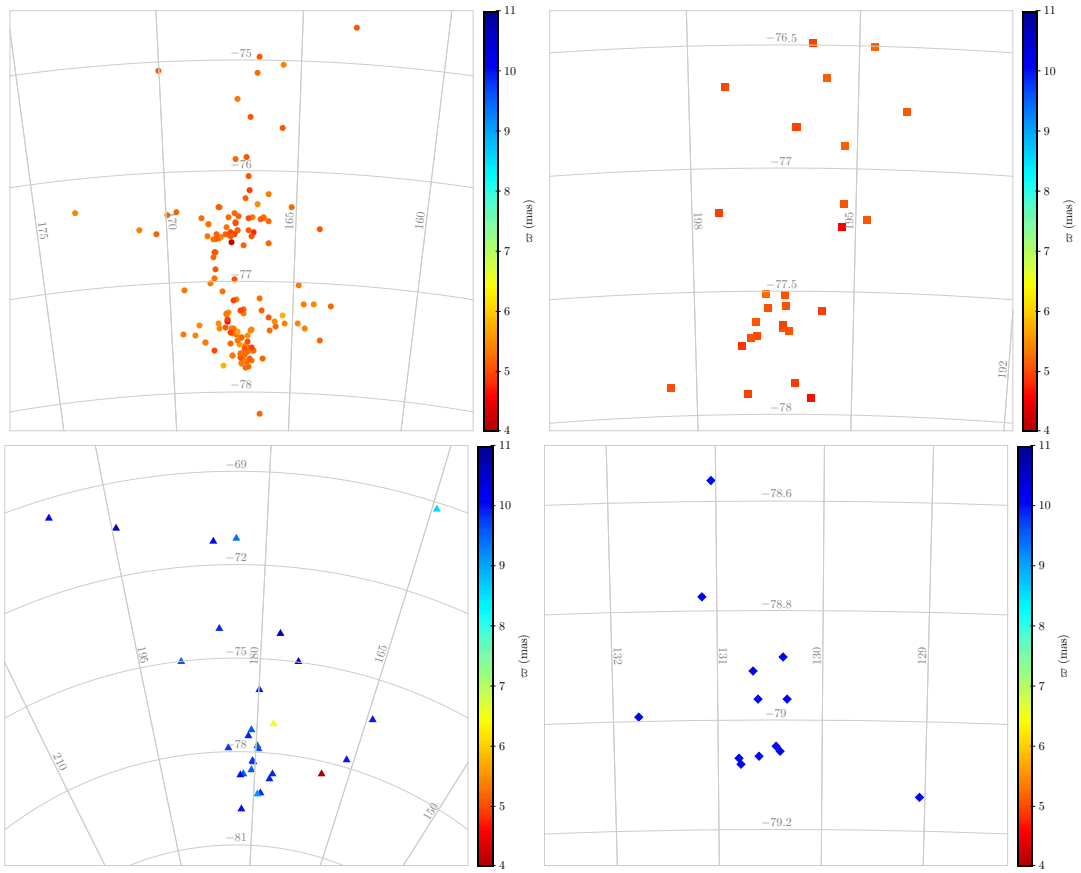

Figura 4.1: Distribuição espacial dos membros dos grupos, Cha I, Cha II, ϵ Cha e η Cha, respectivamente, com cores codificadas pelas paralaxe.

Novamente, nota-se a proximidade entre os subgrupos, ϵ Cha e η Cha, e entre as nuvens escuras, Cha I e Cha II.

Na Figura 4.1 são apresentadas as distribuições dos membros confirmados com as cores indicando as paralaxes de cada fonte. Como apontado em Luhman (2007), é possível perceber uma divisão de Cha I em declinação, que é acompanhada de uma leve distinção também de paralaxes. Esses subgrupos são identificados como Cha I Norte e Cha I Sul, e foram discutidos recentemente com os dados Gaia DR2 em Roccatagliata et al. (2018), onde foi identificada uma separação de cerca de 6 pc e uma diferença de, aproximadamente, 3 mas/yr no movimento próprio.

4.2 Estrutura cinemática

A Figura 4.2 apresenta a projeção do céu em coordenadas galácticas, mostrando a localização de 2167 aglomerados abertos retirados de Dias et al. (2002), destacando a localização da região estudada no presente trabalho. Os vetores indicam o movimento

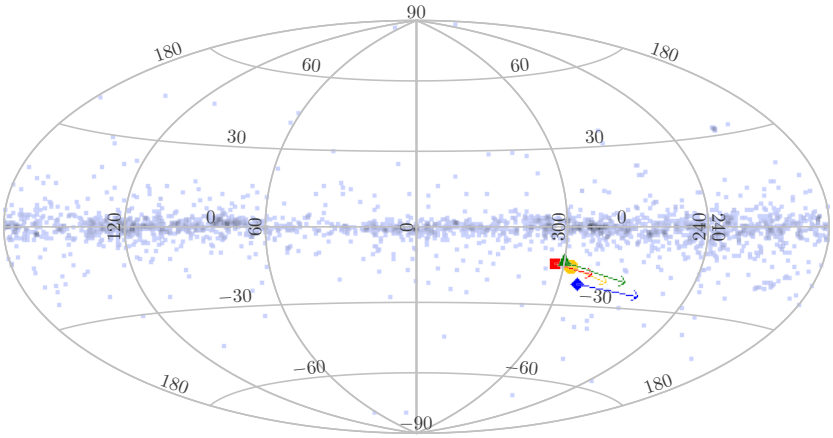

Figura 4.2: Projeção do céu em coordenadas galácticas, mostrando a localização de aglomerados abertos (em azul claro) e as associações de Chamaeleon com suas respectivas cores. Vetores fora de escala.

médio dos grupos em coordenadas galácticas. Como mencionado no Capítulo 1, a região apresenta-se ligeiramente fora do plano galáctico, com latitude galáctica $b \sim -16°$.

A Figura 4.3 mostra a distribuição dos grupos na esfera celeste com as cores identificando os movimentos próprios individuais. Temos $\overline{\mu}_I = 22.48 \pm 0.07\ mas/yr$, $\overline{\mu}_{II} = 21.61 \pm 0.16\ mas/yr$, $\overline{\mu}_\epsilon = 40.97 \pm 0.55\ mas/yr$ e $\overline{\mu}_\eta = 40.20 \pm 0.24\ mas/yr$. Pode-se observar que Cha I apresenta um movimento praticamente paralelo ao equador celeste, enquanto Cha II e ϵ Cha são levemente direcionados para o polo sul celeste. Por outro lado, os membros de η Cha possuem um movimento em direção ao equador celeste. Além disso, vemos que a separação entre os grupos de Cha I torna-se mais evidente, com Cha I Norte apresentando menores movimentos próprios em relação ao subgrupo Cha I Sul. Em ϵ *Cha*, TYC 9414-191-1 não apresenta movimento paralelo aos demais e possui paralaxe $\varpi = 1.564 \pm 0.023\ mas$, no entanto a discrepância nas componentes do movimento foi suficientemente pequena para passar pelo critério de seleção descrito na Seção 3.1.1.

Examinamos também as velocidades espaciais (U, V, W) dos membros. As componentes U, V e W são positivas na direção do centro, no sentido da rotação e na direção do polo norte da Galáxia, respectivamente. O cálculo dessas componentes requer medidas de velocidade radial, que não estão presentes para grande parte das estrelas. No GDR2 foram publicadas as velocidades radiais para 7 milhões de estrelas.

Com a redução da amostra, o número de estrelas com medidas de velocidade radial também diminuiu. Há 9 estrelas com velocidade radial em Cha I e em ϵ Cha, e apenas

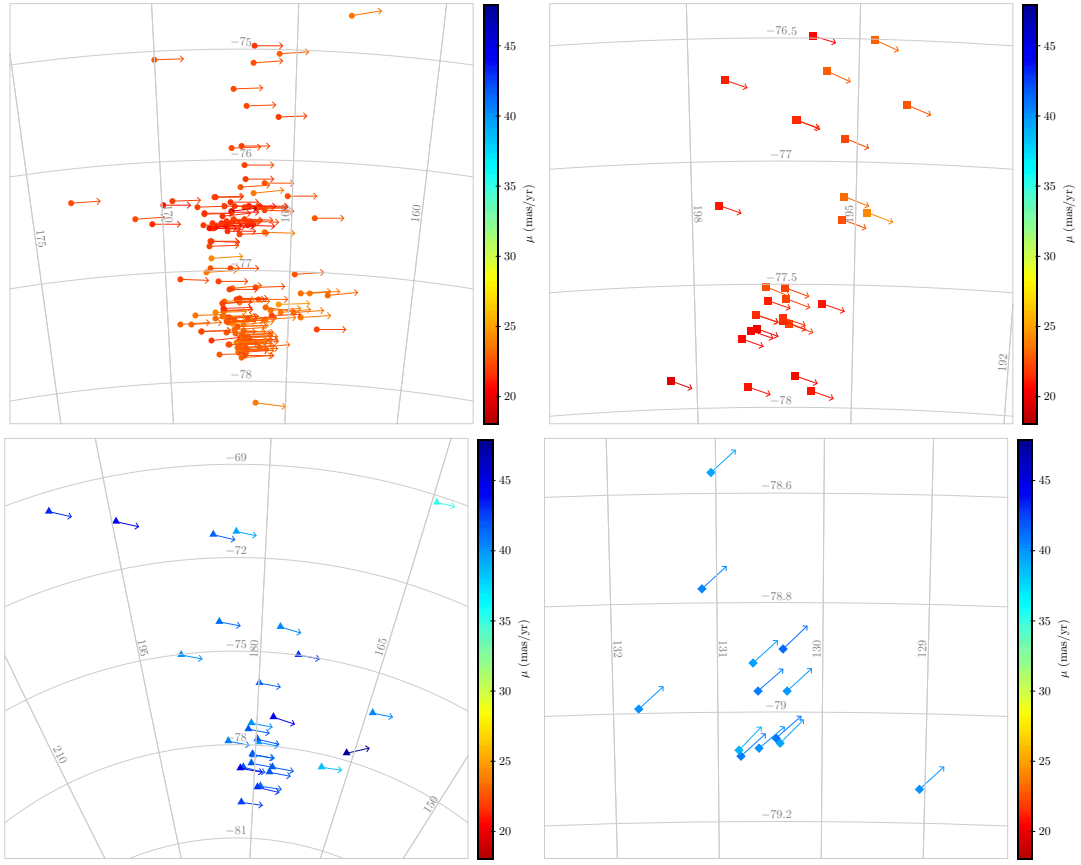

Figura 4.3: Distribuição espacial dos membros dos grupos, Cha I, Cha II, ϵ Cha e η Cha, respectivamente, com cores codificadas pelos movimentos próprios. Vetores fora de escala, indicam apenas o sentido do movimento.

1 em Cha II e em η Cha. Os valores médios das componentes são apresentados abaixo. As incertezas refletem a dispersão em movimentos próprios vista na Figura 4.3 e também das velocidades radiais observada na Figura 4.4 para os dois grupos com um número significativo de estrelas, de Cha I e ϵ Cha. São notáveis as discrepâncias nas componentes do valor médio para ϵ Cha.

$$\text{Cha I: (U, V, W)} = (-11.6 \pm 0.9, -17.5 \pm 1.5, -10.4 \pm 0.6)\ \text{km/s}$$
$$\text{Cha II: (U, V, W)} = (-14.8, -12.0, -6.9)\ \text{km/s}$$
$$\epsilon\ \text{Cha: (U, V, W)} = (-21.3 \pm 8.7, -23.9 \pm 6, -13 \pm 4)\ \text{km/s}$$
$$\eta\ \text{Cha: (U, V, W)} = (-11.8, -18.7, -11.4)\ \text{km/s}$$

Para melhorar a visualização dos gráficos na Figura 4.5, TYC 9414-191-1 foi removida, uma vez que apresenta velocidades incompatíveis com o grupo, com (U, V, W) = (-88.4, -69.4, -43.9) km/s. Quando essa estrela é retirada do cálculo da média, os valores médios das componentes de ϵ Cha são: (U, V, W) = (-12.9 $\pm$ 2.3, -18.3 $\pm$ 1.9, -9.3 $\pm$ 1.8)

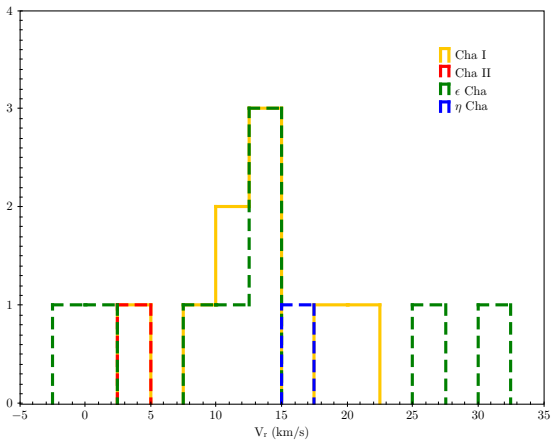

Figura 4.4: Distribuição das velocidades radiais para estrelas nas associações.

km/s, compatíveis com os valores apresentados por Murphy et al. (2013), (-10.9 ± 0.8, -20.4 ± 1.3, -9.9 ± 1.4), e concordando melhor com os valores obtidos para os demais grupos. Pela inconsistência em todas as componentes da velocidade espacial, em paralaxe e na direção do movimento próprio, consideramos TYC 9414-191-1 um contaminante na amostra. Recalculando a distância do grupo, encontramos $d_\epsilon = 103.0^{+8.3}_{-7.2}$ pc. Atualizando também o movimento médio temos $\overline{\mu}_{\epsilon\ Cha} = 41.09 \pm 0.38\ mas/yr$.

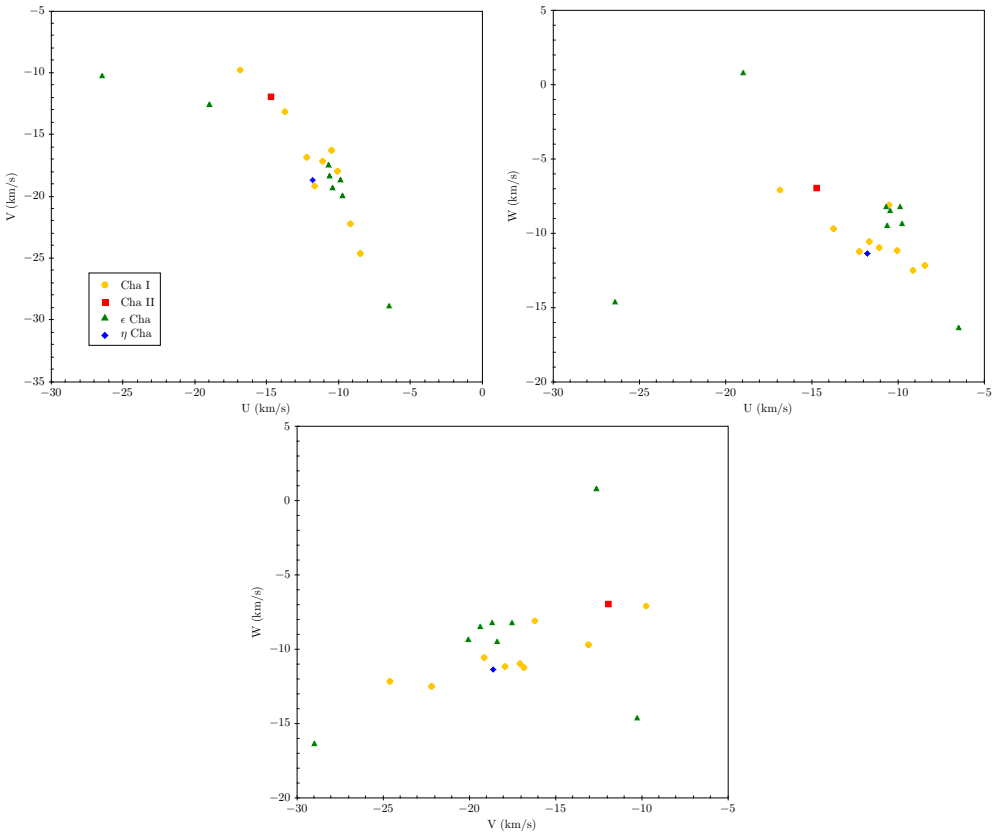

Figura 4.5: Velocidades espaciais dos membros de cada grupo.

Capítulo 5

Possíveis novos membros

Para avaliar a possibilidade da existência de novos membros, foram realizadas buscas em posição, tomando como limites os extremos das populações, estendendo 1° em torno das regiões e filtrando os valores RUWE. Nos resultados desse procedimento, foram selecionados elipsoides no espaço de parâmetros definido pela paralaxe e pelas componentes do movimento próprio para remover a concentração de objetos do *backgroud* e do *foreground*.

Observando a distribuição das estrelas em um diagrama cor-magnitude (Figura 5.1), fica evidente a separação entre os membros dos agrupamentos e as demais fontes. Vemos também que Cha I apresenta membros com menores valores de massa, sendo a massa mínima da amostra ~ 0.02 $M_\odot$, enquanto os demais apresentam uma massa mínima ~ 0.06 $M_\odot$. É possível notar que as estrelas associadas às nuvens escuras são mais jovens, tendo entre 1 Myr e 5 Myr, enquanto ϵ Cha e η Cha encontram-se principalmente entre 5 Myr e 10 Myr [1]. Tendo isso em vista, os objetos com mais de 10 Myr foram descartados, excluindo assim estrelas que não possuem magnitude G_{RP} medida.

Com a seleção reduzida para algumas centenas de estrelas, foi utilizado o algoritmo de classificação *k-Nearest Neighbors* (kNN) para avaliar quais objetos poderiam ser considerados possíveis membros com maior segurança, considerando os cinco parâmetros astrométricos.

O algoritmo classifica os dados de acordo com a proximidade com aqueles já confirmados em um determinado grupo, logo é necessário fornecer não apenas os membros, mas também os *outliers* da amostra. Para isso, foram utilizadas as fontes excluídas com a observação da Figura 5.1. Foi utilizado o pacote `class` disponível na linguagem R (R Core Team

[1] Em um estudo recente sobre ϵ Cha utilizando os dados GDR2 foi feita uma reanálise dos membros da literatura e foi estimada uma idade de 5^{+3}_{-2} Myr (Dickson-Vandervelde et al. 2020).

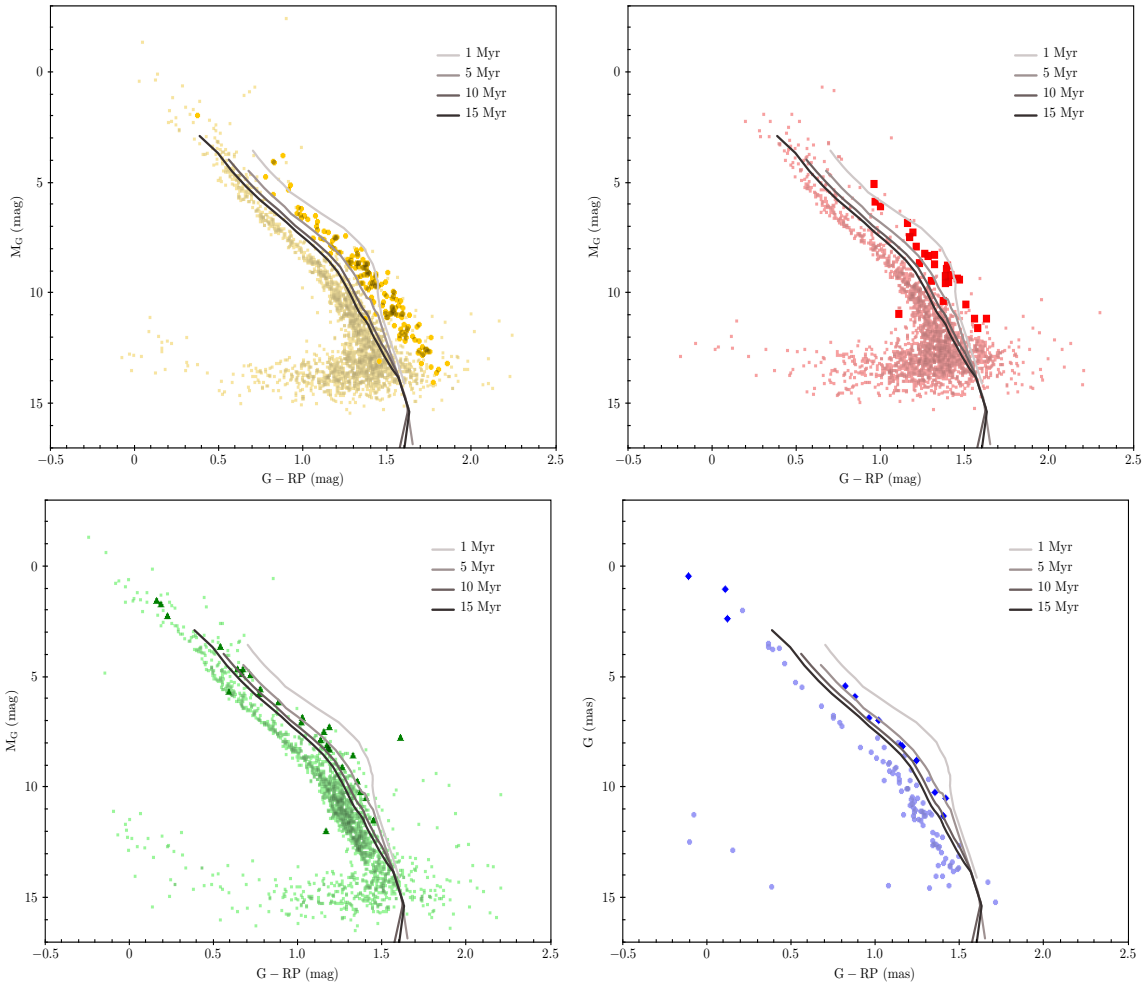

Figura 5.1: Diagramas cor-magnitude para cada grupo. Modelos evolutivos de Baraffe et al. (2015). Cores e símbolos como apresentados anteriormente.

2013; Venables & Ripley 2002) para a classificação. Para escolher o número de vizinhos (k), foi utilizado o método de validação cruzada *K-folds* do pacote `caret`[2], que avalia a acurácia do kNN para uma lista de valores para k, dividindo os dados classificados em 5 subconjuntos, e informa o melhor resultado. Apenas para η Cha não foi aplicado esse método por não haver dados suficientes, sendo escolhido $k = 3$.

Com esse procedimento foram encontrados 22 possíveis novos membros em Cha I, 7 em Cha II, 8 em ϵ Cha e 5 em η Cha. Das estrelas classificadas, grande parte não possui equivalência no Simbad. Dentre aquelas que possuem, apenas 2 já haviam sido classificadas como membros de Cha I, 1 em Cha II, em ϵ Cha e em η Cha, porém não estavam presentes na amostra trabalhada. Portanto, haveria um acréscimo de 3.7% na lista de membros de Cha I, 7% em Cha II, 13.5% em ϵ Cha e 16.7% em η Cha (considerando o número

[2] Documentação do pacote é encontrada em https://cran.r-project.org/package=caret

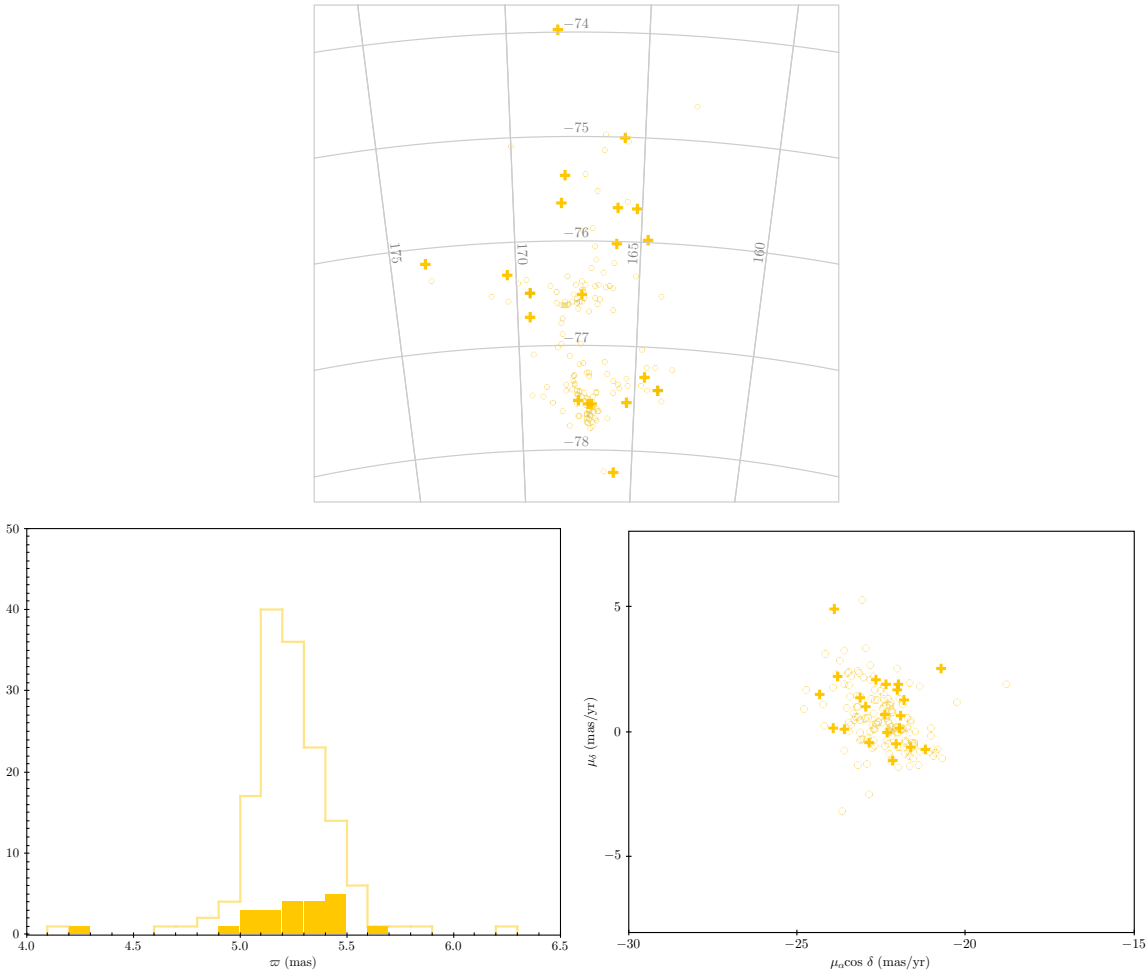

Figura 5.2: Comparação dos parâmetros astrométricos dos candidatos com os membros confirmados em Cha I. Os membros estão representados com contornos.

de membros em cada grupo apresentado no Simbad). A distribuição na esfera celeste, os valores de paralaxe e de movimentos próprios das estrelas selecionadas em comparação com os membros já confirmados podem ser visualizados nas Figuras 5.2, 5.3, 5.4 e 5.5. As paralaxes indicam que o resultado do algoritmo não foi satisfatório para η Cha, pois apenas 2 objetos apresentam paralaxes próximas do esperado, em contrapartida os demais classificados possuem parâmetros compatíveis com seus respectivos grupos. Houve a inclusão especialmente de sistemas binários e companheiras de estrelas presentes na amostra. Na Figura 5.6, vemos que grande parte das estrelas encontradas possuem magnitudes maiores que 13, aumentando o número de membros fracos especialmente em ϵ Cha. Os prováveis membros da região são apresentados nas Tabelas A.7, A.8, A.9 e A.10 no Apêndice A.

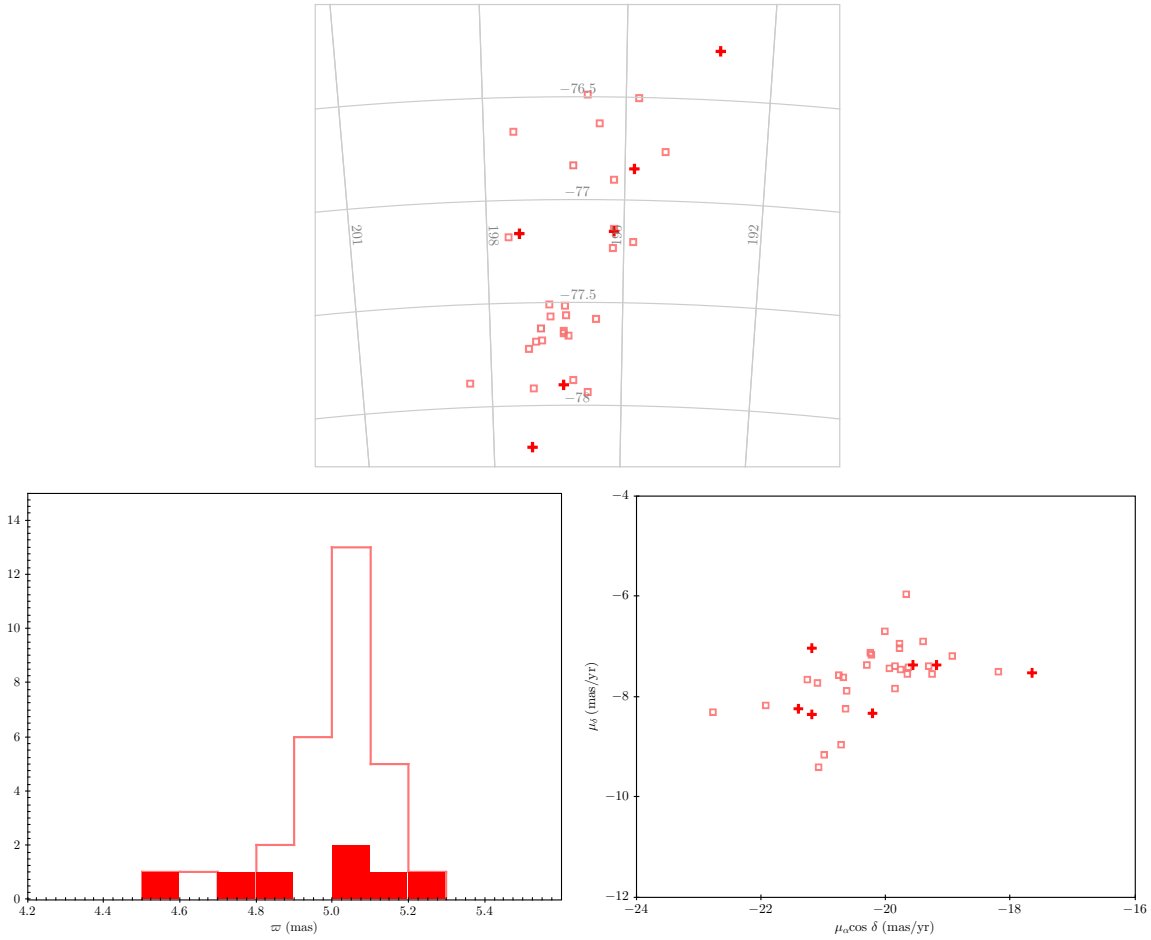

Figura 5.3: Comparação dos parâmetros astrométricos dos candidatos com os membros confirmados em Cha II. Os membros estão representados com contornos.

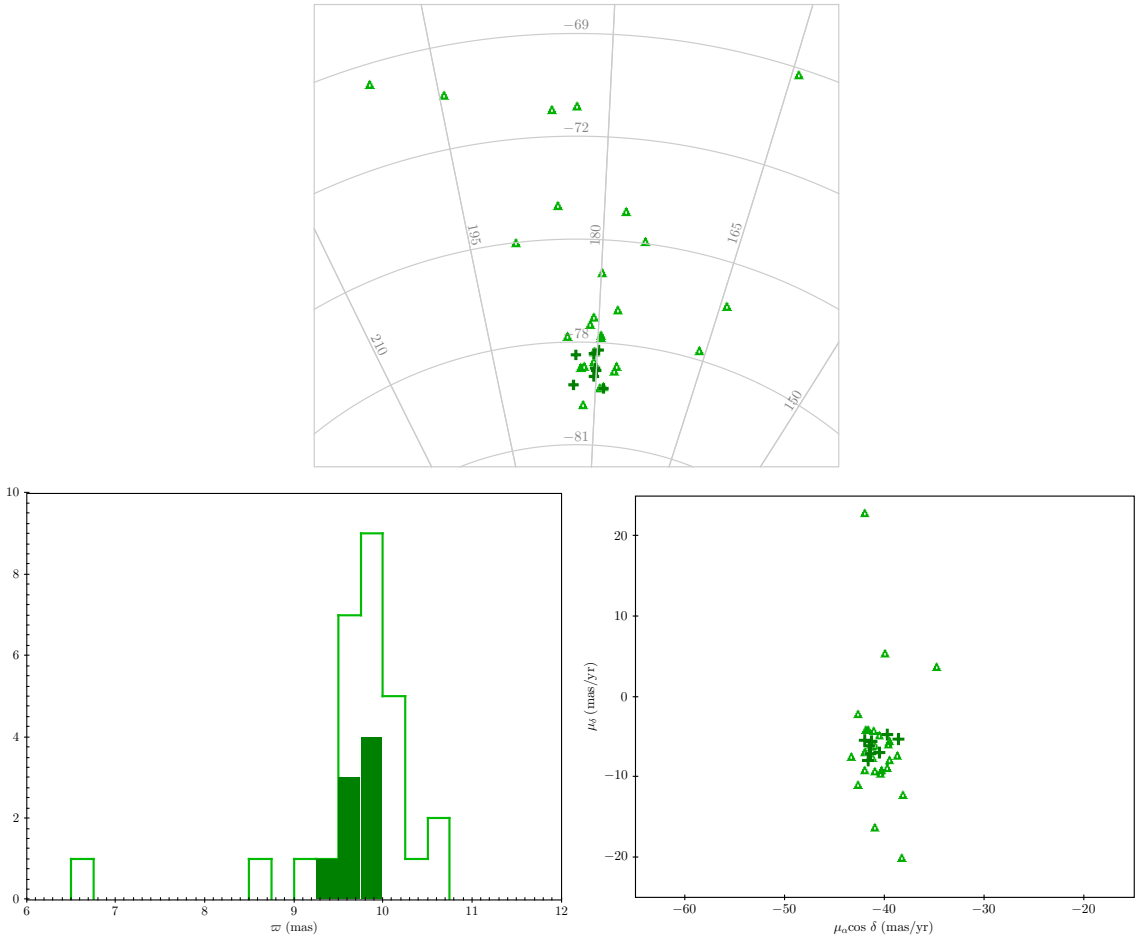

Figura 5.4: Comparação dos parâmetros astrométricos dos candidatos com os membros confirmados em ϵ Cha. Os membros estão representados com contornos.

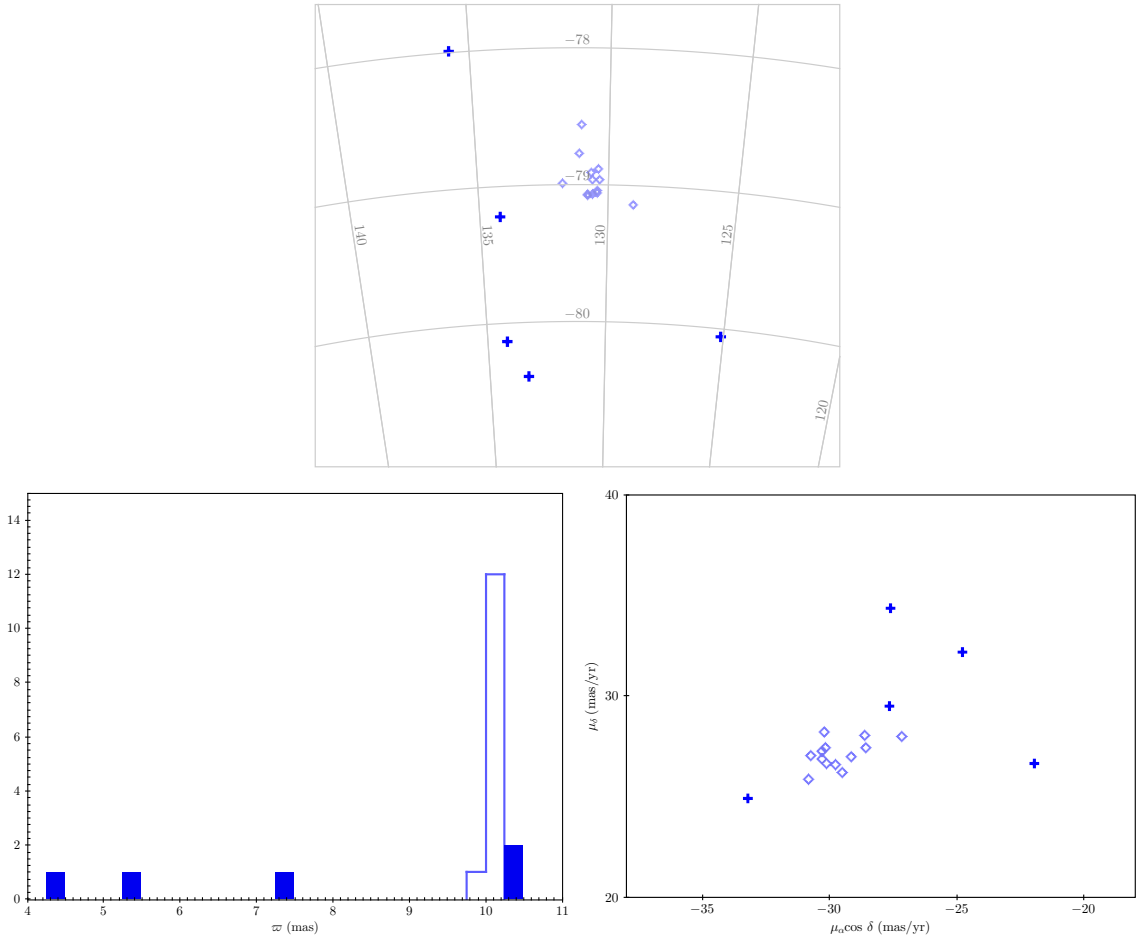

Figura 5.5: Comparação dos parâmetros astrométricos dos candidatos com os membros confirmados em η Cha. Os membros estão representados com contornos.

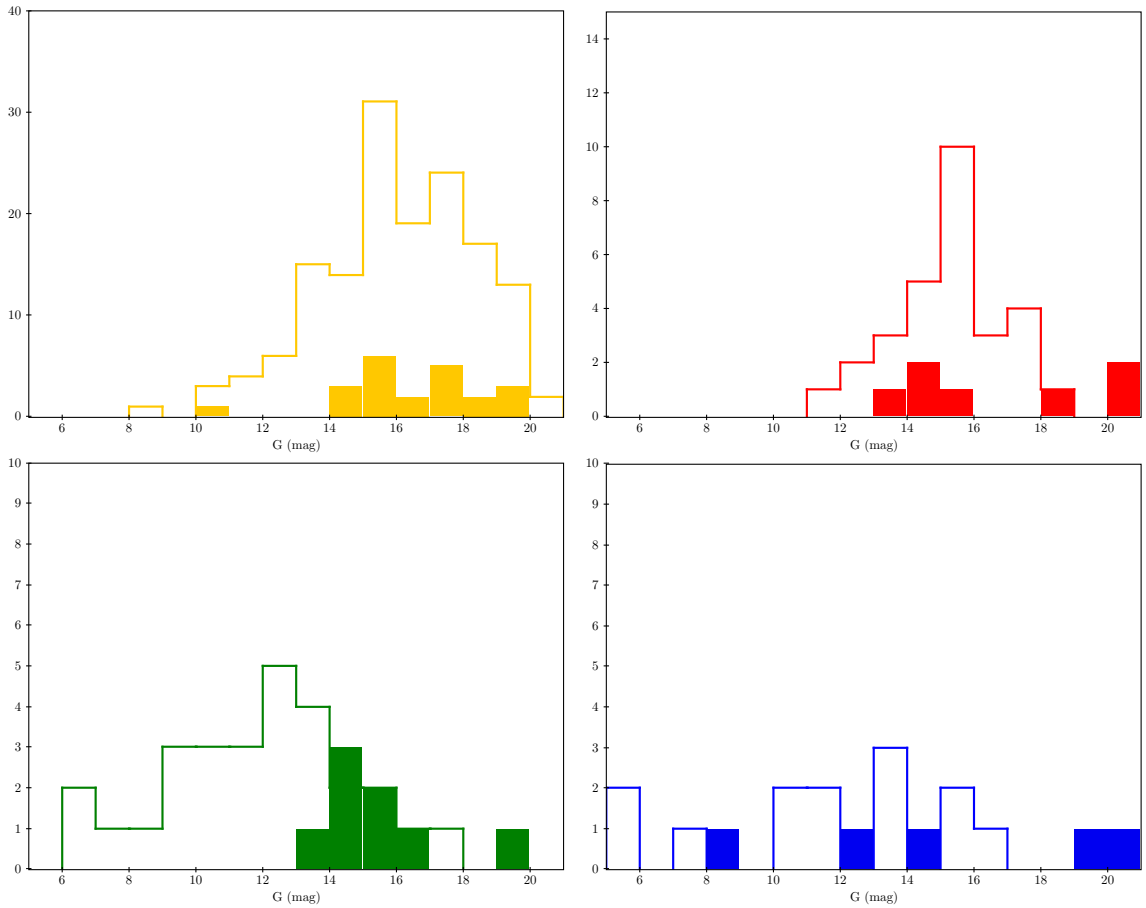

Figura 5.6: Magnitude aparente dos possíveis membros. Os contornos mostram a distribuição das magnitudes dos membros confirmados.

Capítulo 6

Conclusões

Neste trabalho, o mais recente *data release* do satélite Gaia foi utilizado para um estudo de pertinência na região de Chamaeleon. Realizamos um estudo cinemático dos *moving groups* e uma investigação de prováveis novos membros desses grupos tendo como base os mais precisos dados astrométricos até então fornecidos pelo segundo *release*. Foi possível distinguir os grupos por meio da paralaxe e do movimento próprio dos membros identificados na literatura, sendo que η Cha se encontra também relativamente muito separado por sua posição.

Com os dados astrométricos fornecidos, foi possível distinguir os grupos e investigar 22 membros cujas pertinências são questionáveis. Os dados disponíveis indicam que 4 estrelas do grupo Cha I, 7 de Cha II e 11 de ϵ Cha foram possivelmente mal classificadas com os dados disponíveis na época. Destacamos CM Cha, membro de ϵ Cha, cujos parâmetros apontam para uma classificação incorreta no grupo, concordando melhor com Cha II, e TYC 9414-191-1, com paralaxe e velocidade espacial que colocam em dúvida sua pertinência em ϵ Cha.

Podemos notar semelhanças entre as nuvens escuras e entre os demais grupos analisando suas distâncias, movimentos e idades. As nuvens apresentam um movimento médio $\overline{\mu}_I = 22.48 \pm 0.07\ mas/yr$ e $\overline{\mu}_{II} = 21.61 \pm 0.16\ mas/yr$, e as distâncias estimadas foram $d_I = 190.9^{+7.9}_{-7.3}$ pc e $d_{II} = 199.4^{+5.8}_{-5.4}$ pc, com ambas entre 1 Myr e 5 Myr. Para os grupos mais próximos, temos $\overline{\mu}_\epsilon = 41.09 \pm 0.38\ mas/yr$ e $\overline{\mu}_\eta = 40.20 \pm 0.24\ mas/yr$, com distâncias $d_\epsilon = 103.0^{+8.3}_{-7.2}$ pc e $d_\eta = 98.85^{+0.53}_{-0.53}$ pc, e com idades principalmente entre 5 Myr e 10 Myr.

Para as estrelas que possuem velocidade radial GDR2, foi calculado o movimento espacial. As velocidades médias apresentadas são semelhantes, porém não é possível realizar uma análise mais detalhada devido à ausência de medidas.

Levando em conta a idade dos objetos e trabalhando com o algoritmo de classificação kNN, foi estimada uma lista de 20 candidatos a membros do grupo Cha I, 6 para Cha II, 7 para ϵ Cha e 2 para η Cha.

Com esse estudo, podemos agora investigar a origem dos grupos da região e as possíveis relações entre eles. Uma sequência interessante desse trabalho seria incluir a determinação de probabilidade de pertinência para os possíveis membros, medidas de velocidade radial que serão lançadas no próximo *data release* e de outros catálogos, além da atualização dos parâmetros com base nos dados mais precisos e abundantes a serem publicados em breve no terceiro *data release* do Gaia.

Referências Bibliográficas

Alcalá J. M., Spezzi L., Chapman N., et al. 2008, ApJ, 676, 427

Asiain R., Figueras F., & Torra J. 1999, A&A, 350, 434

Baraffe I., Homeier D., Allard F., & Chabrier G. 2015, A&A, 577, A42. doi:10.1051/0004-6361/201425481

Blaauw, A. 1964, ARA&A, 2, 213

Cantat-Gaudin T., Jordi C., Vallenari A., et al. 2018, A&A, 618, A93

da Silva L., Torres C. A. O., de La Reza R., et al. 2009, A&A, 508, 833

Dias W. S., Alessi B. S., Moitinho A., & Lépine J. R. D. 2002, A&A, 389, 871

Dickson-Vandervelde D. A., Wilson E. C., & Kastner J. H., 2020, arXiv, arXiv:2011.06621

Eggen O. J. 1996, AJ, 112, 1595

Esplin T. L., Luhman K. L., Faherty J. K., Mamajek E. E., & Bochanski J. J., 2017, AJ, 154, 46

Fernández D., Figueras F., & Torra J., 2008, A&A, 480, 735

Gagné J., Mamajek E.E., Malo L., et al. 2018, ApJ, 856, 23

Gaia Collaboration, et al. 2016, A&A 595, 1

Gaia Collaboration, et al. 2018, A&A, 616, 1

Galli P. A. B., Teixeira R., Ducourant C., Bertout C., & Benevides-Soares P. 2012, A&A, 538, A23

Gouliermis D. A., 2018, PASP, 130, 072001. doi:10.1088/1538-3873/aac1fd

Hyland A. R., Jones T. J., & Mitchell R. M. 1982, MNRAS, 201, 1095

Krautter J., Wichmann R., Schmitt J. H. M. M., et al. 1997, A&AS, 123, 329

Krone-Martins A., Soubiran C., Ducourant C., Teixeira R., & Le Campion J. F. 2010, A&A, 516, A3

Lindegren L., Hernández J., Bombrun A., et al. 2018, A&A, 616, A2

Lindegren, L. 2018, Gaia Technical Note GAIA-C3-TN-LU-LL-124-01 .

López Martí B., Jiménez Esteban F., Bayo A., et al. 2013, A&A, 551, A46

López Martí B., Jiménez-Esteban F., Bayo A., et al., 2013, A&A, 556, A144

Luhman K. L., 2004, ApJ, 602, 816

Luhman K. L., 2007, ApJS, 173, 104

Mamajek, E. E., Lawson, W. A. & Feigelson, E. D. 1999, ApJ, 516, L77

Merín B., Jørgensen J., Spezzi L., et al. 2008, ApJS, 177, 551

Mortier A., Oliveira I., & van Dishoeck E. F. 2011, MNRAS, 418, 1194

Murphy S. J., Lawson W. A., & Bessell M. S. 2013, MNRAS, 435, 1325

R Core Team, 2013, R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, http://www.R-project.org

Roccatagliata V., Sacco G. G., Franciosini E., et al. 2018, A&A, 617, L4. doi:10.1051/0004-6361/201833890

Schwartz R. D. 1977, ApJS, 35, 161

Spezzi L., Alcalá, J. M., Covino, E., et al. 2008, ApJ, 680, 1295

Venables W. N., & Ripley B. D. 2002, *Modern Applied Statistics with S*, Fourth edition. Springer, New York. ISBN 0-387-95457-0, http://www.stats.ox.ac.uk/pub/MASS4

Voirin J., Manara C. F., & Prusti T. 2018, A&A, 610, A64

Wichmann R., Krautter J., Covino E., et al. 1997, A&A, 320, 185

Wichmann R., Sterzik M., Krautter J., et al. 1997, A&A, 326, 211

Apêndice

Apêndice A

Dados dos membros

Tabela A.1 - Membros confirmados de Cha I.

ID	ϖ (mas)	$\mu_\alpha \cos\delta$ (mas/yr)	μ_δ (mas/yr)	Referências*
2MASS J10533978-7712338	5.21	-22.98	3.33	2
2MASS J10575375-7724495	5.40	-23.48	2.39	2
2MASS J11085367-7521359	5.31	-22.38	0.54	2
2MASS J11090915-7553477	5.21	-22.32	0.66	2
2MASS J11091297-7729115	5.29	-24.16	3.10	2
2MASS J11094192-7634584	6.27	-23.27	0.62	2
2MASS J11124771-7737547	5.01	-21.66	1.93	2
2MASS J11213079-7633351	5.15	-21.42	-1.33	2, 5
2MASS J11013205-7718249	5.78	-24.72	1.68	7
2MASS J11021927-7536576	5.10	-21.97	1.32	7
2MASS J11050752-7812063	5.20	-23.65	-3.15	7
2MASS J11073519-7734493	5.29	-23.21	0.59	7
2MASS J11101141-7635292	5.12	-22.21	-1.19	7
2MASS J11334926-7618399	5.41	-22.41	-0.56	7
2MASS J10523694-7440287	5.11	-23.05	5.27	2, 7
2MASS J10550964-7730540	5.17	-22.21	0.77	2, 7
2MASS J10561638-7630530	5.09	-22.71	1.28	2, 7
2MASS J10563044-7711393	5.46	-23.71	2.82	2, 7
2MASS J10580597-7711501	5.36	-23.20	2.44	2, 7
2MASS J10590108-7722407	5.40	-23.39	2.22	2, 7
2MASS J10590699-7701404	5.33	-22.73	2.22	2, 7
2MASS J11004022-7619280	5.22	-22.40	0.66	2, 7
2MASS J11011370-7722387	5.39	-23.61	3.24	2, 7
2MASS J11022610-7502407	5.41	-22.85	2.07	2, 7
2MASS J11024183-7724245	5.23	-22.23	1.04	2, 7

2MASS J11025504-7721508	5.49	-23.59	1.91	2, 7
2MASS J11034186-7726520	5.26	-23.46	1.84	2, 7
2MASS J11034764-7719563	5.12	-22.88	-2.47	2, 7
2MASS J11040425-7639328	5.20	-23.60	-0.75	2, 7
2MASS J11040909-7627193	5.21	-22.21	-0.18	2, 7
2MASS J11041060-7612490	5.36	-22.64	0.27	2, 7
2MASS J11044258-7741571	5.18	-23.03	2.18	2, 7
2MASS J11045100-7625240	5.27	-21.50	0.04	2, 7
2MASS J11045285-7625514	5.24	-21.72	0.14	2, 7
2MASS J11045701-7715569	5.14	-22.90	0.55	2, 7
2MASS J11052272-7709290	5.24	-22.17	0.77	2, 7
2MASS J11052472-7626209	5.14	-22.28	0.33	2, 7
2MASS J11055261-7618255	5.52	-23.82	2.30	2, 7
2MASS J11060010-7507252	5.24	-22.52	1.62	2, 7
2MASS J11061545-7737501	5.25	-22.94	-1.26	2, 7
2MASS J11062554-7633418	4.78	-22.21	-1.04	2, 7
Cha J11062846-7737339	5.23	-22.19	0.22	2, 7
2MASS J11063276-7625210	5.34	-21.05	-0.15	2, 7
2MASS J11063799-7743090	5.30	-23.21	0.99	2, 7
2MASS J11063945-7736052	4.88	-23.13	-0.01	2, 7
2MASS J11064180-7635489	5.12	-20.98	-0.68	2, 7
2MASS J11064346-7726343	5.47	-22.03	2.51	2, 7
2MASS J11064510-7727023	5.39	-22.71	1.69	2, 7
2MASS J11065733-7742106	5.14	-22.44	1.88	2, 7
2MASS J11065939-7530559	5.10	-22.35	1.03	2, 7
2MASS J11070324-7610565	4.95	-21.87	0.16	2, 7
2MASS J11071148-7746394	5.25	-22.27	0.05	2, 7
2MASS J11071181-7625501	5.01	-22.30	-0.48	2, 7
2MASS J11071206-7632232	5.11	-21.93	-0.61	2, 7
2MASS J11071668-7735532	5.08	-22.45	1.01	2, 7
2MASS J11071860-7732516	5.04	-23.19	-1.31	2, 7
2MASS J11071915-7603048	5.08	-22.31	0.44	2, 7
2MASS J11072040-7729403	5.53	-23.50	2.34	2, 7
2MASS J11072074-7738073	5.25	-22.47	0.93	2, 7
2MASS J11072443-7743489	5.17	-23.11	-0.29	2, 7
2MASS J11073775-7735308	5.43	-22.80	1.30	2, 7
2MASS J11073832-7747168	5.21	-23.06	1.20	2, 7
2MASS J11073840-7552519	5.10	-22.08	0.20	2, 7
2MASS J11074366-7739411	5.13	-23.04	-0.29	2, 7
2MASS J11074610-7740089	5.08	-23.30	0.47	2, 7

2MASS J11074656-7615174	5.15	-22.63	1.26	2, 7
2MASS J11075225-7736569	5.09	-23.14	1.44	2, 7
2MASS J11075730-7717262	5.34	-23.45	0.38	2, 7
2MASS J11075809-7742413	5.42	-22.69	-0.55	2, 7
2MASS J11075993-7715317	5.15	-21.94	0.12	2, 7
2MASS J11080234-7640343	5.17	-22.21	0.89	2, 7
2MASS J11080329-7739174	5.41	-22.44	1.31	2, 7
2MASS J11081648-7744371	5.36	-22.24	1.17	2, 7
2MASS J11081703-7744118	5.36	-23.16	2.34	2, 7
2MASS J11081850-7730408	5.39	-24.78	0.92	2, 7
2MASS J11081896-7739170	5.16	-23.28	0.60	2, 7
2MASS J11082238-7730277	5.17	-22.74	0.73	2, 7
2MASS J11082404-7739299	5.13	-22.89	-0.25	2, 7
2MASS J11082410-7741473	5.08	-22.96	0.57	2, 7
2MASS J11082650-7715550	5.00	-22.02	-0.01	2, 7
2MASS J11082927-7739198	5.27	-23.91	1.75	2, 7
2MASS J11083952-7734166	5.58	-23.23	1.44	2, 7
2MASS J11085090-7625135	5.19	-21.65	-0.03	2, 7
2MASS J11085176-7632502	5.56	-21.39	-0.79	2, 7
2MASS J11085421-7732115	5.30	-23.24	0.99	2, 7
2MASS J11085497-7632410	5.14	-22.27	-0.86	2, 7
2MASS J11085596-7727132	5.67	-22.74	0.13	2, 7
2MASS J11090512-7709580	5.41	-23.02	2.16	2, 7
2MASS J11091380-7628396	5.05	-21.05	0.15	2, 7
2MASS J11091769-7627578	5.09	-18.80	1.89	2, 7
2MASS J11092266-7634320	4.92	-22.67	0.35	2, 7
2MASS J11092379-7623207	5.20	-21.53	-0.45	2, 7
2MASS J11092913-7659180	5.06	-22.06	0.18	2, 7
2MASS J11093777-7710410	4.96	-21.88	0.10	2, 7
2MASS J11094260-7725578	5.33	-22.60	0.37	2, 7
2MASS J11094525-7740332	5.12	-23.12	-0.35	2, 7
2MASS J11094621-7634463	5.13	-20.89	-0.85	2, 7
2MASS J11094742-7726290	5.18	-21.86	1.08	2, 7
2MASS J11095215-7639128	4.16	-21.55	-0.43	2, 7
2MASS J11095262-7740348	5.36	-22.48	0.39	2, 7
2MASS J11095336-7728365	5.37	-22.84	2.66	2, 7
2MASS J11100192-7725451	5.38	-22.24	0.20	2, 7
2MASS J11100369-7633291	4.97	-21.66	-1.38	2, 7
2MASS J11100469-7635452	5.13	-20.70	-1.03	2, 7
2MASS J11100785-7727480	5.00	-22.83	0.04	2, 7

2MASS J11101153-7733521	5.19	-22.71	0.12	2, 7
2MASS J11102226-7625138	5.26	-21.54	-0.55	2, 7
2MASS J11102852-7716596	5.52	-23.42	1.40	2, 7
2MASS J11103481-7722053	5.27	-21.64	0.38	2, 7
2MASS J11103644-7722131	4.69	-22.43	1.48	2, 7
2MASS J11104006-7630547	5.27	-21.37	1.82	2, 7
2MASS J11104141-7720480	4.90	-21.62	0.49	2, 7
2MASS J11104959-7717517	5.40	-22.29	1.31	2, 7
2MASS J11105076-7718031	5.34	-22.27	1.09	2, 7
2MASS J11105333-7634319	5.14	-21.62	-0.67	2, 7
2MASS J11105359-7725004	5.11	-23.39	0.27	2, 7
2MASS J11112249-7745427	5.80	-22.76	0.31	2, 7
2MASS J11112260-7705538	5.28	-22.26	-0.03	2, 7
2MASS J11113474-7636211	5.11	-21.66	-0.94	2, 7
2MASS J11113965-7620152	5.25	-21.90	0.08	2, 7
2MASS J11114533-7636505	5.55	-20.28	1.20	2, 7
2MASS J11114632-7620092	5.19	-21.80	-0.34	2, 7
2MASS J11120288-7722483	5.49	-24.19	0.27	2, 7
2MASS J11120327-7637034	5.18	-20.98	-0.94	2, 7
2MASS J11120351-7726009	5.39	-23.33	0.74	2, 7
2MASS J11120984-7634366	5.18	-21.72	-0.76	2, 7
2MASS J11122441-7637064	5.16	-21.79	-0.43	2, 7
2MASS J11122772-7644223	5.17	-21.58	-1.05	2, 7
2MASS J11123092-7644241	5.10	-22.03	-0.59	2, 7
2MASS J11123099-7653342	5.13	-24.23	1.10	2, 7
2MASS J11124210-7658400	5.29	-22.78	-0.67	2, 7
2MASS J11124299-7637049	5.23	-20.83	-0.71	2, 7
2MASS J11124861-7647066	5.23	-22.30	0.01	2, 7
2MASS J11132012-7701044	5.32	-23.53	0.98	2, 7
2MASS J11132446-7629227	5.28	-22.23	0.01	2, 7
2MASS J11132970-7629012	5.29	-21.60	-0.44	2, 7
2MASS J11133356-7635374	5.29	-21.79	-0.86	2, 7
2MASS J11142454-7733062	5.29	-22.59	0.43	2, 7
2MASS J11142611-7733042	5.38	-22.31	0.09	2, 7
2MASS J11142906-7625399	5.24	-22.07	-0.02	2, 7
2MASS J11152180-7724042	5.46	-23.47	0.04	2, 7
2MASS J11155827-7729046	5.42	-23.14	0.49	2, 7
2MASS J11173700-7704381	5.31	-22.00	-1.43	2, 7
2MASS J11181957-7622013	5.21	-21.78	-0.38	2, 7
2MASS J11194214-7623326	5.26	-21.07	-0.80	2, 7

2MASS J11195652-7504529	5.10	-22.72	-0.35	2, 7
2MASS J11241186-7630425	5.41	-22.35	-0.33	2, 7
ChaI-PM-18	5.30	-22.99	0.52	5
ChaI-PM-48	5.12	-21.73	0.56	5

* As referências correspondentes são apresentadas na Tabela A.6.

Tabela A.2 - Membros confirmados de Cha II.

ID	ϖ (mas)	$\mu_\alpha \cos\delta$ (mas/yr)	μ_δ (mas/yr)	Referências
Sz 46N	5.11	-21.27	-7.65	9
WFI J12585611-7630105	5.19	-21.08	-9.39	9
ISO-CHA II 29	5.10	-22.78	-8.30	9
Sz 49/ISO-CHA II 55/CHIIXR 9	5.14	-20.65	-8.24	9
WFI J13005531-7708295	5.10	-21.92	-8.17	9
IRAS F12571-7657/ISO-CHA II 54	4.54	-21.09	-7.73	9
CM Cha/IRAS 12584-7621	5.15	-20.99	-9.14	9
C50	4.88	-19.79	-7.04	9
C51	4.68	-19.79	-6.94	9
WFI J13031615-7629381	4.97	-19.68	-5.95	9
Hn 22/IRAS 13005-7633	5.02	-19.95	-7.43	9
Hn 23	5.00	-20.26	-7.12	9
Sz 52	4.91	-19.41	-6.90	9
Hn 24	5.07	-20.63	-7.88	9
Hn 25	5.06	-20.75	-7.57	9
Sz 53	5.07	-20.69	-7.62	9
Sz 54	5.08	-19.85	-7.83	9
SSTc2d J130521.7-773810	4.95	-20.31	-7.37	9
Sz 55	5.06	-20.02	-6.68	9
Sz 56	5.25	-20.71	-8.94	9
C62	5.02	-18.94	-7.19	9
Sz 60W	5.12	-19.86	-7.39	9
Sz 60E	5.08	-20.24	-7.17	9
Hn 26	5.05	-19.31	-7.40	9
Sz 61	4.96	-19.65	-7.54	9
C66	4.87	-19.26	-7.55	9
Sz 63	4.95	-19.65	-7.42	9
Sz 64	5.06	-18.20	-7.49	9

Tabela A.3 - Membros confirmados de ϵ Cha.

ID	ϖ (mas)	$\mu_\alpha \cos\delta$ (mas/yr)	μ_δ (mas/yr)	Referências
GSC 9415-2676	9.66	-39.57	-5.69	1
RX J1150.4-77	6.55	-42.74	-11.05	3

RX J1150.9-74	10.63	-39.50	-8.08	3
WKK F 20	9.97	-42.03	22.68	6
2MASS J11404967-7459394	10.40	-42.74	-2.28	8
RX J1147.7-7842	9.89	-41.66	-4.27	8
2MASS J11550485-7919108	9.89	-41.18	-4.34	8
2MASS J12005517-7820296	9.71	-40.59	-4.96	8
2MASS J12014343-7835472	9.53	-41.32	-6.33	8
2MASS J12014441-7819267	9.82	-41.43	-6.11	8
RX J1207.7-7953	10.02	-42.06	-7.11	8
RX J1216.8-7753	9.82	-39.83	-9.07	8
2MASS J12210499-7116493	10.05	-40.42	-9.65	8
HD 105234	9.57	-40.97	-9.41	8
HIP 59243	10.02	-43.36	-7.62	8
T Cha	9.12	-42.00	-9.25	1, 3, 8
EE Cha	9.57	-41.29	-7.76	1, 3, 8
HIP 58490	10.03	-41.03	-6.19	1, 3, 8
GSC 9416-1029	9.92	-41.36	-6.40	1, 3, 8
GSC 9239-1495	9.86	-40.32	-9.26	1, 3, 8
CD-74 712	9.65	-38.21	-12.37	1, 3, 8
CP-68 1388	8.59	-34.84	3.55	1, 8
DZ Cha	9.92	-41.88	-4.27	1, 8
HD 105923	9.40	-38.72	-7.42	1, 8
CD-69 1055	10.55	-41.00	-16.46	1, 8
MP Mus	10.12	-38.29	-20.20	1, 8
RX J1202.8-77	9.61	-39.63	-6.04	3, 8
2MASS J10563146-7618334	10.00	-40.00	5.19	2

Tabela A.4 - Membros confirmados de η Cha.

ID	ϖ (mas)	$\mu_\alpha \cos\delta$ (mas/yr)	μ_δ (mas/yr)	Referências
ECHA J0836.2-7908	10.1527	-28.619	28.031	4
ECHA J0841.5-7853	10.1207	-30.245	28.235	4
RECX 3	10.12	-28.595	27.419	4
HD 75505	9.9987	-30.746	27.038	4
RECX 4	10.0477	-30.86	25.877	4
RECX 5	10.1249	-30.296	27.25	4
RECX 6	10.1917	-29.164	27.01	4
RECX 7	10.1278	-30.185	27.454	4
ECHA J0844.2-7833	10.1539	-29.538	26.232	4
RECX 10	10.1857	-30.301	26.858	4
RECX 11	10.1436	-30.123	26.685	4
eta Cha	10.0442	-29.776	26.6	1, 4
RS Cha	10.096	-27.168	28.015	1, 4

Tabela A.5 - Membros além de 3 MAD removidos de cada grupo.

	ID	ϖ (mas)	$\mu_\alpha \cos\delta$ (mas/yr)	μ_δ (mas/yr)	Referências
Cha I	2MASS J10563146-7618334	10.00	-40.00	5.19	2
Cha I	2MASS J11404967-7459394	10.40	-42.74	-2.28	7
Cha I	2MASS J10463795-7736035	4.89	-28.65	-9.09	2, 7
Cha I	2MASS J11242980-7554237	5.15	-14.47	3.96	2, 7
Cha II	IRAS 12448-7650	0.54	-4.05	2.37	10
Cha II	IRAS S12488-7658/C13	0.14	-2.48	-1.12	10
Cha II	C17	0.66	2.16	1.99	10
Cha II	C33	0.28	-4.31	0.91	10
Cha II	Sz 47	0.05	-2.82	-1.30	10
Cha II	IRAS 12556-7731	0.26	-4.45	-0.95	10
Cha II	IRAS 12589-7646	0.15	-8.65	0.86	10
ϵ Cha	HD 95916	7.75	-59.99	33.23	6
ϵ Cha	RXJ 1101.5-76	16.09	-84.09	11.81	6
ϵ Cha	CHX 6A	6.41	-108.66	60.49	6
ϵ Cha	CHXR 25	15.78	-76.14	49.05	6
ϵ Cha	HD 97240	10.47	35.58	-24.96	6
ϵ Cha	CHXR 53	10.10	-97.70	32.04	6
ϵ Cha	CHXR 65B	5.73	-42.00	23.54	6
ϵ Cha	CHXR 65A	5.92	-43.33	23.14	6
ϵ Cha	HD 99015	13.36	-79.59	-8.52	6
ϵ Cha	CM Cha	5.15	-20.99	-9.14	9

Tabela A.6 - Referências indicadas em cada tabela de membros.

Identificação	Fonte
1	da Silva et al. (2009)
2	Esplin et al. (2017)
3	Fernández et al. (2008) (eps)
4	Fernández et al. (2008) (eta)
5	López Martí et al. (2013b)
6	Luhman (2004) (foreground)
7	Luhman (2007)
8	Murphy et al. (2013)
9	Spezzi et al. (2008)

Tabela A.7 - Prováveis novos membros para Cha I.

Gaia DR2 ID	α (°)	δ (°)	ϖ (mas)	$\mu_\alpha \cos\delta$ (mas/yr)	μ_δ (mas/yr)
5201351428642607744	167.33	-76.51	5.33	-21.97	0.14
5200778784945326464	165.85	-78.21	4.25	-22.85	-0.43
5201568891428175872	164.73	-75.97	5.07	-22.40	0.70
5225302915061447808	169.49	-76.72	5.65	-24.33	1.49
5226000692634469248	168.21	-73.98	5.02	-21.85	1.26
5224652107261897344	173.58	-76.15	5.34	-22.17	-1.13
5225314975329893888	169.47	-76.49	5.11	-21.65	-0.58
5225314975333685248	169.47	-76.49	5.21	-21.20	-0.71
5201153035509861888	167.06	-77.56	5.25	-22.96	0.99
5201151180086109696	167.45	-77.52	5.40	-23.59	0.13
5201185574182015744	165.33	-77.54	5.41	-22.65	2.06
5201199352439663872	164.57	-77.29	5.41	-22.37	1.88
5225395888218060672	165.96	-76.03	4.98	-21.92	0.64
5201153172950919552	166.90	-77.56	5.29	-23.94	0.17
5225339027150711936	170.36	-76.31	5.32	-22.08	-0.47
5225526180349684096	167.97	-75.37	5.29	-20.74	2.54
5225513780781112320	168.16	-75.63	5.11	-22.32	-0.02
5225597889120103424	165.20	-75.68	5.05	-22.04	1.66
5225595007202432512	165.96	-75.68	5.46	-23.12	1.35
5201378641555926656	164.00	-77.41	5.47	-23.90	4.89
5201378641555926784	164.00	-77.41	5.40	-23.81	2.19
5225732304417084672	165.76	-75.01	5.20	-22.01	1.90

Tabela A.8 - Prováveis novos membros para Cha II.

Gaia DR2 ID	α (°)	δ (°)	ϖ (mas)	$\mu_\alpha \cos\delta$ (mas/yr)	μ_δ (mas/yr)
5788111203285686656	197.07	-78.20	4.60	-17.66	-7.51
5788969303392994176	197.29	-77.16	5.03	-19.19	-7.35
5788087284611063424	196.34	-77.90	4.77	-20.22	-8.31
5788954902364046848	194.79	-76.85	5.24	-21.19	-8.36
5788969303392994048	197.30	-77.16	4.90	-19.57	-7.35
5788932607187147264	195.22	-77.15	5.04	-21.40	-8.24
5837266210635857408	193.08	-76.27	5.12	-21.19	-7.02

Tabela A.9 - Prováveis novos membros para ϵ Cha.

Gaia DR2 ID	α (°)	δ (°)	ϖ (mas)	$\mu_\alpha \cos\delta$ (mas/yr)	μ_δ (mas/yr)
5199985216726016256	178.76	-79.32	9.82	-39.74	-4.66
5788291557551905280	183.52	-79.23	9.87	-41.66	-7.84
5788345399261714816	180.33	-78.98	9.79	-41.99	-5.35

5788550767418361088	180.00	-78.81	9.68	-41.37	-5.50
5788551695131309568	180.16	-78.75	9.77	-41.54	-6.12
5788625843446841472	180.47	-78.31	9.73	-40.59	-6.88
5788586978283302912	183.09	-78.37	9.74	-41.45	-7.00
5224176396684045312	179.78	-78.21	9.42	-38.61	-5.18

Tabela A.10 - Prováveis novos membros para η Cha.

Gaia DR2 ID	α (°)	δ (°)	ϖ (mas)	$\mu_\alpha \cos\delta$ (mas/yr)	μ_δ (mas/yr)
5208580545795805184	125.12	-80.06	10.30	-27.66	29.50
5196688674706086912*	133.33	-80.39	4.27	-22.00	26.65
5196716334295675904*	134.18	-80.14	5.45	-24.82	32.16
5197039556354877440*	134.19	-79.23	7.41	-27.61	34.36
5215178848217868288	135.71	-77.99	10.44	-33.21	24.93

* Membros posteriormente descartados pela paralaxe.