

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

**Determinação do disco fino da Via Láctea por meio de aglomerados
abertos de estrelas**

Frederico Meyer Fardo

Orientador: Charles José Bonatto

PORTO ALEGRE

2013

RESUMO

A Universidade de Viena e a Universidade de São Paulo disponibilizam online, em seus respectivos sites, tabelas de dados de aglomerados abertos de estrelas. Utilizando esses dados, iremos além de comparar os dois catálogos em relação ao número de aglomerados e as distribuições de idades e de distâncias dos mesmos, estimar a espessura do disco fino de nossa galáxia baseados na distribuição desses aglomerados abertos.

Palavras Chave: Disco fino, aglomerados abertos, altura de escala.

Abstract

The University of Vienna and the University of São Paulo make available on their respective websites star open clusters data catalogues. Using this data we will not only compare the two catalogues in regard of their size, but also in age distribution and distances of the clusters. We also reckon the thickness of the thin disc in our galaxy based on the distribution of these open clusters.

Keywords: Thin Disk, open Clusters, Scale height.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	4
1.1 A Via Láctea	4
1.2 Aglomerados de estrelas	6
1.3 Medidas Astronômicas	8
2 Análise dos dados	10
2.1 Tabelas	10
2.2 Histogramas	11
2.3 Altura de Escala	15
3 Conclusão	22
4 Referências	23

1 INTRODUÇÃO

1.1 A Via Láctea

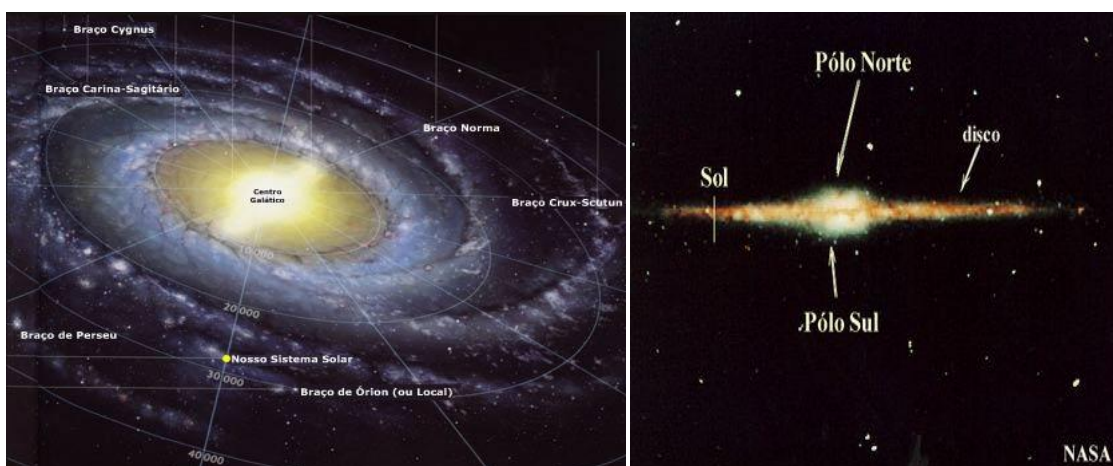
Antes de começarmos nossa análise propriamente dita, convêm algumas explicações e definições básicas sobre nossos objetos de estudo:

As galáxias são os blocos fundamentais do Universo. Algumas delas têm uma estrutura muito simples, contendo apenas estrelas comuns sem nenhuma característica marcante. Existem também galáxias feitas quase inteiramente de gás neutro. Porém, outras são sistemas complexos feitos de diferentes componentes - estrelas, gás neutro e ionizado, poeira, nuvens moleculares, campos magnéticos, raios cósmicos... As galáxias podem formar pequenos grupos ou grandes aglomerados no espaço (KARTTUNEN, 1996, p 411).

Além dos corpos que as compõe, as galáxias têm uma série de diferenças morfológicas que as separam em diferentes grupos de tipos de galáxia. A galáxia em que estamos, a Via Láctea, é definida como uma galáxia espiral.

Galáxias espirais: São formadas por um disco proeminente composto por estrelas, gás e poeira. Esse disco contém braços espirais que variam em seu tamanho e proeminência de uma galáxia espiral para outra, mas estão quase sempre presentes (BINNEY, 1987, p 22).

Figuras 1 e 2:

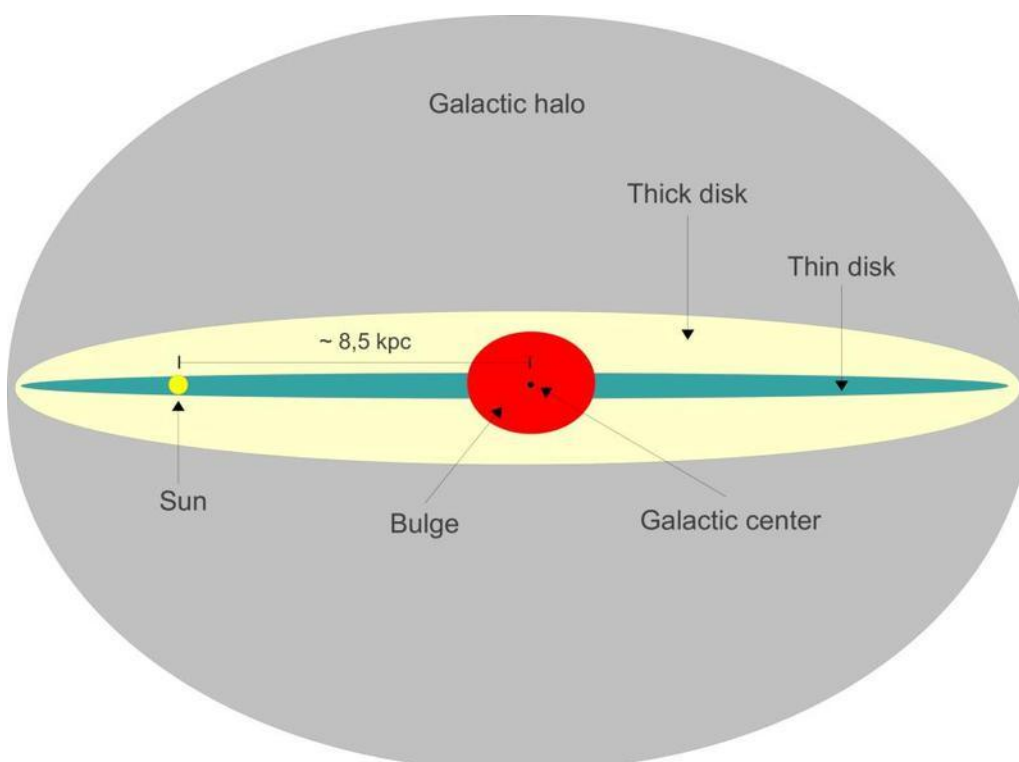


Fonte: Apollo11.com e ciência-cultura.com. Representações da Via Láctea vista frontal e lateral respectivamente.

Os outros dois tipos de galáxia são as elípticas e as irregulares que não serão analisadas em nosso estudo. Vamos nos focar na nossa galáxia, a Via Láctea, que é aquela da qual mais temos informações.

A visão mais moderna dos componentes morfológicos da nossa galáxia é basicamente: De um bulbo central, um fino disco que contém a maioria dos aglomerados abertos de estrelas, um disco mais grosso que contém os aglomerados abertos mais antigos, e um grande halo com estrelas mais antigas, anãs brancas e aglomerados globulares (MAJEWSKI, 1993).

Figura 3:



Fonte: Wikipedia. Representação dos componentes da Via Láctea

Estamos interessados exatamente no disco fino. Vamos estimar a distribuição de aglomerados abertos de estrelas nesse disco, os dividindo em idades e assim poderemos também analisar a espessura, ou as espessuras desse disco baseado nos diferentes aglomerados abertos que o compõe.

1.2 Aglomerados de estrelas

Estrelas são esferas autogravitantes de gás ionizado, cuja fonte de energia é a transmutação de elementos através de reações nucleares, isto é, da fusão nuclear de hidrogênio em hélio e, posteriormente, em elementos mais pesados. As estrelas têm massas entre 0,08 e 100 vezes a massa do Sol ($M_{\text{Sol}}=1,9891 \times 10^{30}$ Kg) e temperaturas efetivas entre 2500K e 30 000K (KEPLER, 2004, p181).

As estrelas nascem de gigantescas nuvens de gás e poeira do meio interestelar. Essas nuvens, verdadeiros berçários de estrelas, são compostas de pequenas partículas. As nuvens são rarefeitas e geralmente, sofrem perturbações dos corpos próximos a elas. Seja por uma pequena perturbação gravitacional de uma estrela próxima, ou por uma explosão de uma supernova, essas nuvens sofrem variações em sua densidade, criando assim uma reação em cadeia na qual as partículas começam a se unir gravitacionalmente formando, geralmente, várias estrelas ao mesmo tempo.

Figura 4:



Fonte: thehubblesite.org. Nuvens de gás e um aglomerado de estrelas formado dessa nuvem: Note que próximo ao aglomerado não existe tanto gás, evidenciando que ele é a matéria prima das estrelas.

Por esse motivo, aglomerados de estrelas são muito comuns em nossa galáxia. Diferentemente do nosso Sol, que é uma estrela solitária, essas estrelas pertencem a um grupo que pode ser subdividido em dois tipos.

Os aglomerados globulares:

Contêm entre 10^4 a 10^6 estrelas. Nossa galáxia tem aproximadamente 200 aglomerados globulares, formando uma distribuição esférica concentrada na direção do centro da galáxia. Aglomerados globulares não contêm gás, poeira, ou estrelas novas. São esféricos, dinamicamente estáveis e com uma vida longa. Diferentemente dos aglomerados abertos, os globulares são muito velhos. Acredita-se que sejam relíquias da própria formação da galáxia (BINNEY, 1987, p 24).

E os aglomerados abertos:

Contêm entre 10^2 a 10^6 estrelas e têm raios que variam de 1 a 10 pc. Novos aglomerados abertos são formados continuamente, e a maioria dos que vemos são novos na ordem de 10^8 yr. Aparentemente, aglomerados abertos antigos da nossa galáxia, foram destruídos provavelmente, por perturbações gravitacionais por passar pelas nuvens de gás interestelares. Acredita-se que existam 10^5 aglomerados abertos na nossa galáxia (BINNEY, 1987, p 24, 25).

Os aglomerados globulares da nossa galáxia encontram-se distribuídos no Halo galáctico e, portanto, não serão usados para nossos objetivos que se concentrarão no disco fino.

Já os aglomerados abertos encontram-se, em sua maioria, no disco fino da galáxia, sendo então um dos principais componentes desse disco e portanto eles é que serão utilizados para nossas medidas a respeito da estrutura do mesmo. Por estarem nesse disco central, os aglomerados abertos são destruídos facilmente, não restando assim, muitos aglomerados antigos nessa região. Os que conseguem permanecer inteiros, alcançam maiores distâncias do plano galáctico formando o disco externo mais grosso.

1.3 Medidas Astronômicas

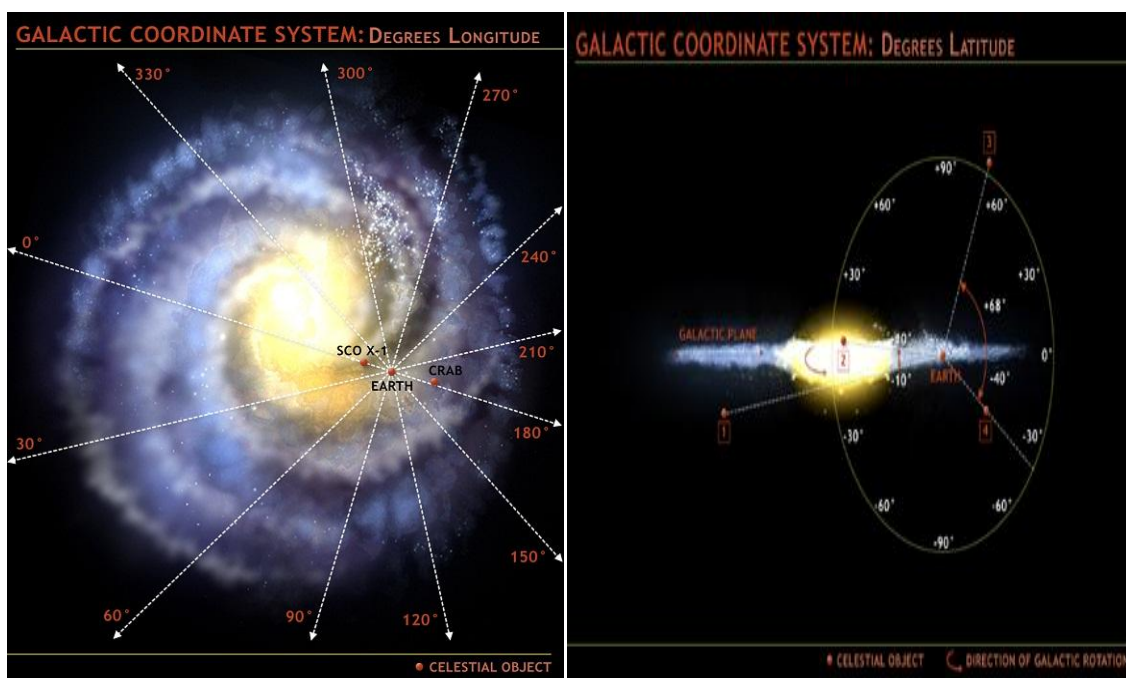
Um pequeno entendimento de algumas medidas que usaremos é necessário. As tabelas de aglomerados abertos que dispomos, nos dão várias informações sobre eles. Algumas dessas informações usam medidas astronômicas como:

Sistema galáctico de coordenadas: A posição dos corpos da nossa galáxia pode ser obtida usando esse sistema. Usa-se o Sol como ponto central e o plano galáctico como base. O plano galáctico é o círculo máximo que corta o centro e as partes mais densas da galáxia. Com apenas dois parâmetros sabemos a direção do objeto no espaço:

longitude galáctica (l): Distância angular medida ao longo do plano galáctico que varia de 0° a 360° a partir do centro galáctico

latitude galáctica (b): Distância angular medida perpendicularmente ao plano galáctico que varia de -90° a 90° .

Figuras 5 e 6:



Fonte: armaghplanet.com e chandra.harvard.edu. Longitude e latitude galáctica respectivamente.

Além da direção, também temos a informação da distância que nossos aglomerados estão da Terra. Essas distâncias são medidas em Parsec (pc).

O parsec: *É a distância de um objeto tal, que um observador nesse objeto veria o raio da órbita da Terra com um tamanho angular de 1". (S.O. KEPLER, 2004, p 140)*

$$1 \text{ Parsec} = 3,08567758 \times 10^{13} \text{ Km}$$

Nossos aglomerados abertos tabelados também estão classificados com suas idades medidas em anos (yr).

As informações básicas apresentadas nessa introdução serão necessárias para a compreensão de nossa análise a seguir. Nossos objetivos principais são a comparação das tabelas e a medição de alguns parâmetros do disco fino como sua espessura e distribuição no plano galáctico. Faremos isso por meio de gráficos comparativos e ajustes de funções aos pontos convenientes.

2 Análise dos dados

2.1 Tabelas

Nossas tabelas de aglomerados abertos a serem analisadas foram obtidas de dois sites: Uma disponibilizada e atualizada por **Ernst Paunzen e Christian Stütz** da Universidade de Viena (UNIVIE) no endereço eletrônico:

<http://www.univie.ac.at/webda/> (Última atualização: 16/03/12)

E a outra desenvolvida por **Wilton S. Dias (UNIFEI), Jacques Lépine (IAG-USP), Bruno S. Alessi e André Moitinho (UL)** disponibilizada através da Universidade de São Paulo (USP) no endereço eletrônico:

<http://www.astro.iag.usp.br/~wilton/> (Última atualização: 10/01/13)

Dados: Ambas oferecem vários dados sobre os aglomerados como: Longitude (l) e latitude (b) galáctica, Distância em relação ao Sol (d), Idade (anos em log), Distância perpendicular ao plano da galáxia (z), Diâmetro em minutos de arco (Diam), etc.

Sobre o número de aglomerados: Ambas as tabelas nos fornecem aglomerados a longas distâncias, mas para evitarmos maiores problemas com a imprecisão das medidas, vamos nos limitar a uma distância em relação ao Sol de 2000 pc. Esse raio já nos dá uma ótima amostra para nosso estudo.

Número de aglomerados: Separando as tabelas por idades temos os seguintes números:

Tabela 1:

Idade (Myr)	USP	UNIVIE
TOTAL	967	689
< 200	420	372
200 - 1000	372	264
1000 ≤	157	60

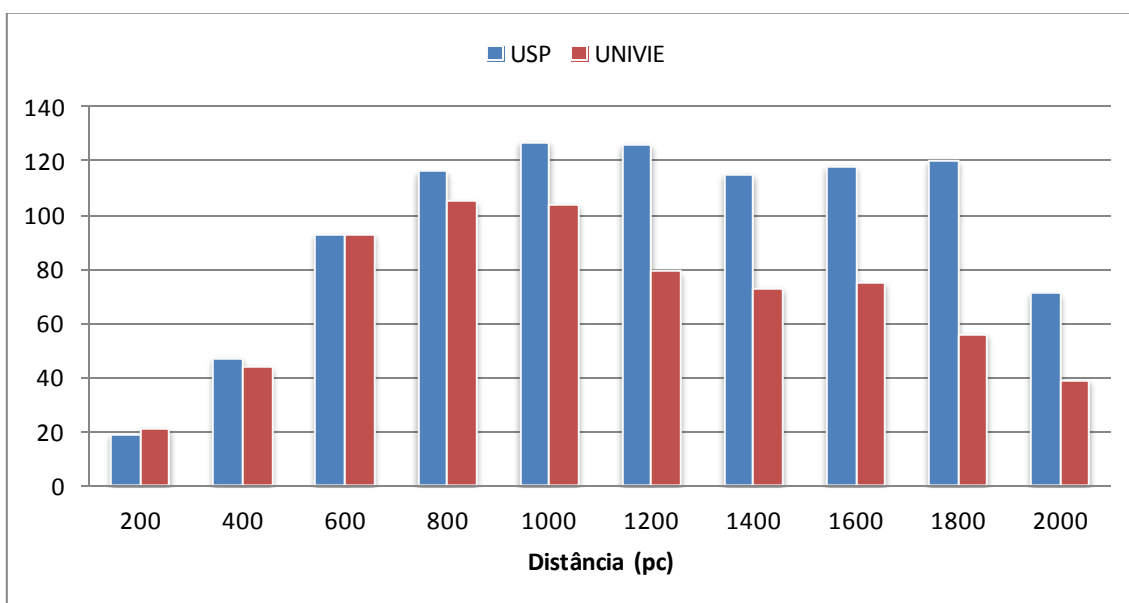
Aglomerados abertos divididos por idade.

A tabela da USP contém 18 aglomerados sem a informação de idade e a da UNIVIE contém 7 sem a mesma informação.

2.2 Histogramas

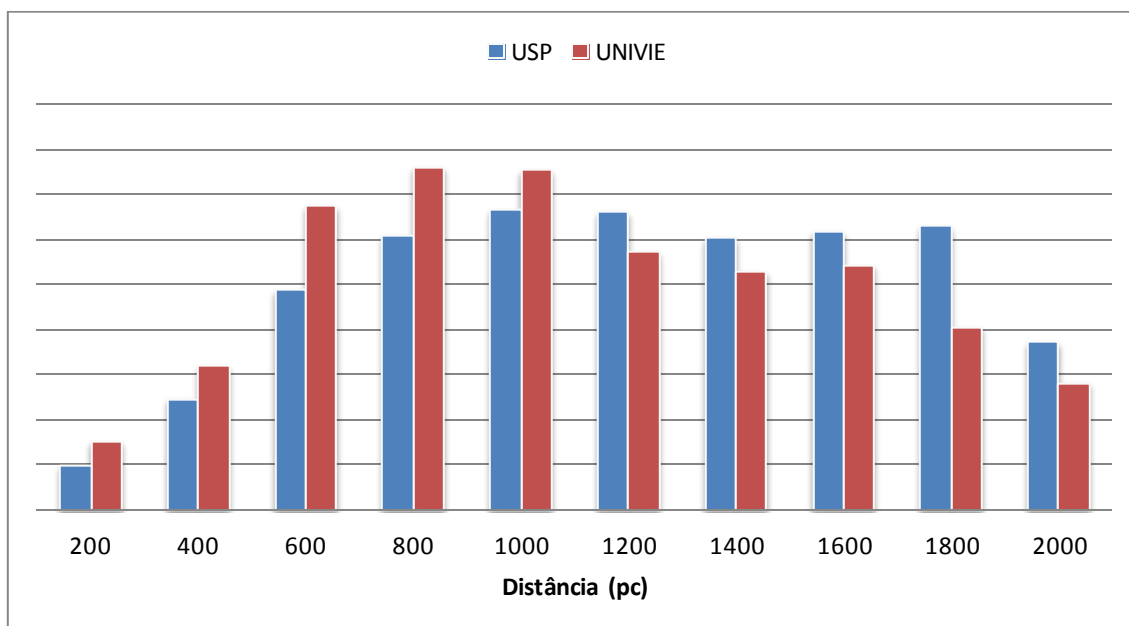
Nessa sessão iremos mostrar, comparar e discutir alguns histogramas:

Figura 7:



Histograma comparativo das distâncias em relação ao Sol.

Figura 8:

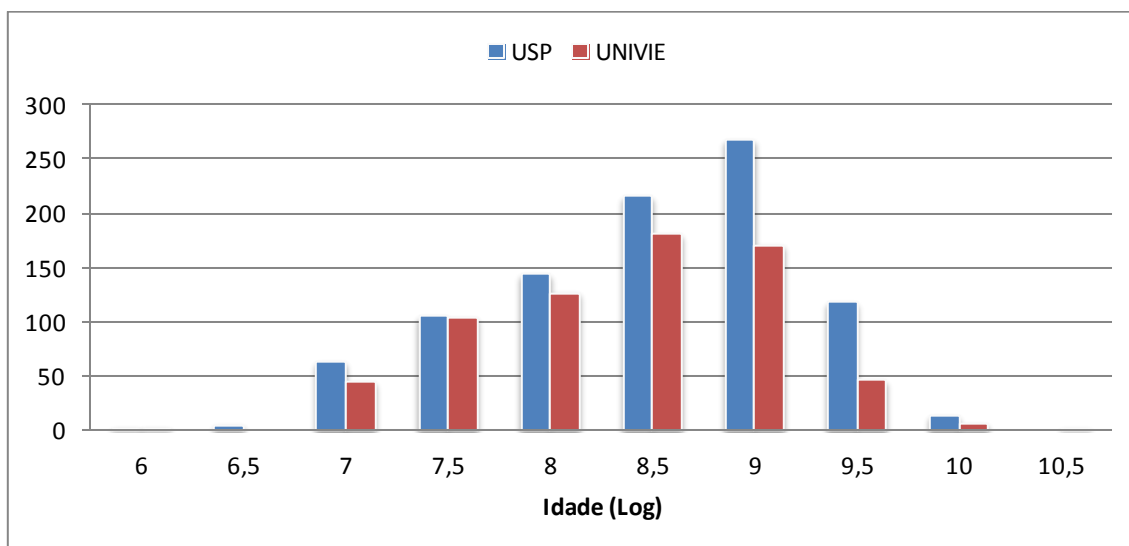


Histograma comparativo das distâncias normalizado

No primeiro gráfico podemos notar (além da maior quantidade de aglomerados da USP) que as duas seguem até 600 pc com basicamente a mesma quantidade de aglomerados, e só acima de 800 pc é que a tabela da USP exibe um maior número de dados.

Já com o histograma normalizado, percebemos uma distribuição quase igual dos aglomerados exceto por uma maior concentração dos aglomerados da UNIVIE entre 600 pc e 1000 pc e maior concentração dos da USP nas maiores distâncias (1200 pc até 2000 pc com uma grande diferença em 1800 pc).

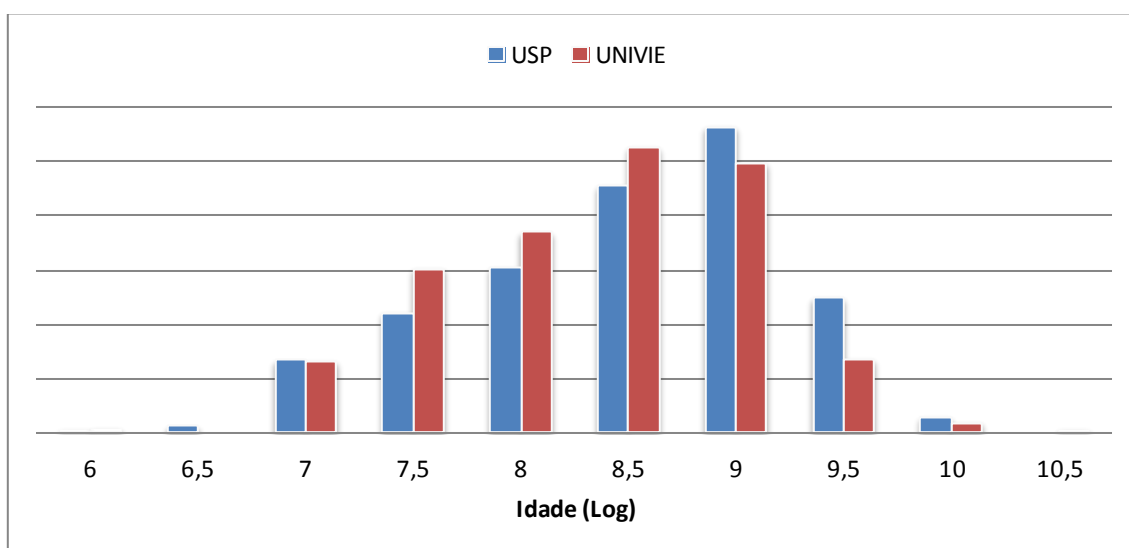
Figura 9:



Histograma comparativo das idades (log(yr))

Em relação as idades, as duas tabelas seguem a mesma distribuição exceto, pela já sabida, maioria de dados da USP que parece se concentrar nos aglomerados mais velhos (acima de 1Gyr). Essa maior quantidade nos aglomerados mais velhos nos ajudará mais adiante, a definir melhor essa faixa de idade.

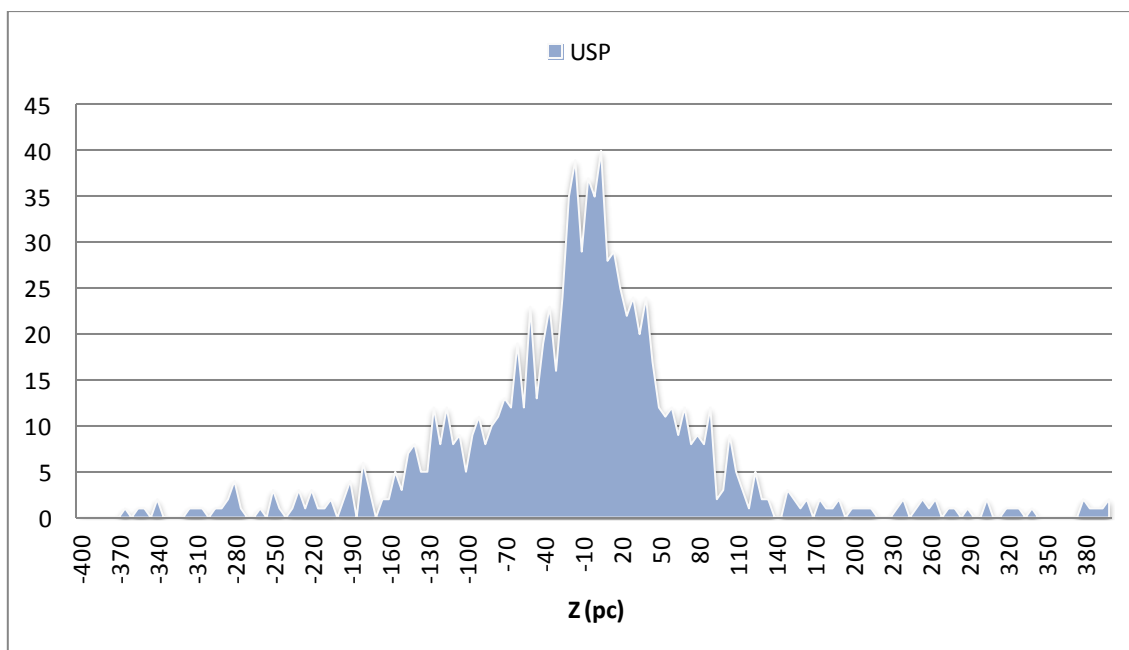
Figura 10:



Histograma normalizado das idades (log(yr))

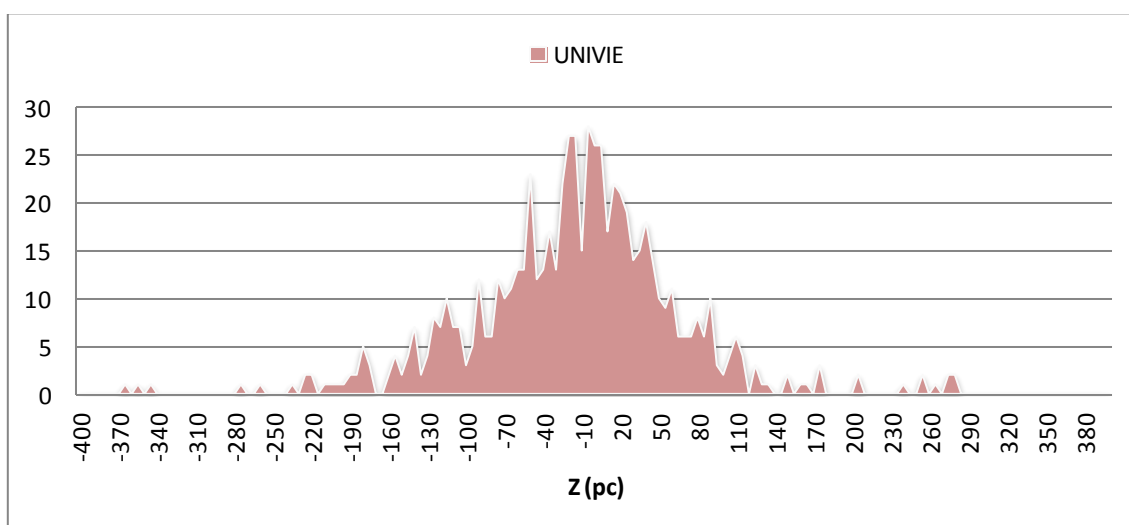
Aqui ainda notamos uma maior concentração de ambas nas idades entre 200 Myr e 1 Gyr. Também percebemos um deslocamento da concentração da USP para a faixa mais velha enquanto a UNIVIE concentra-se mais entre 0 e 400 Myr.

Figura 11:



Histograma da tabela da USP com as alturas em relação ao Sol (pc)

Figura12:



Histograma da tabela da UNIVIE com as alturas em relação ao Sol (pc).

Com os histogramas da altura em relação ao Sol, vemos que a maioria dos aglomerados concentra-se no centro, diminuindo aparentemente, de uma forma não linear para baixo e para cima do plano. As duas tabelas seguem, basicamente a mesma forma. Mais adiante esses histogramas serão de grande auxílio quando analisarmos melhor esse decaimento que nos ajudará a definir algumas medidas, como a espessura do disco.

2.3 Altura de Escala

Agora, tendo uma introdução básica ao assunto, sabendo os valores de nossas tabelas e de posse dos histogramas de alguns de seus dados, podemos finalmente calcular e analisar nossos parâmetros.

Vamos dividir nossas amostras por idades (0 a 200 Myr, 200 Myr a 1Gyr e maiores que 1 Gyr) e fazer o gráfico da densidade $\varphi(z)$ pela altura em relação ao plano do Sol $z(\text{pc})$.

A respeito da densidade do disco, ela é descrita por uma combinação de decaimentos exponenciais horizontal e vertical, $\rho(r,z) \propto e^{-(r/R_D)} e^{-(|z|/z_h)}$ onde R_D é o comprimento de escala e z_h a altura de escala. (Binney & Tremaine, 1987). Para nós o que importa é a altura de escala, que é a distância sobre a qual uma quantidade diminui exponencialmente. Assim, iremos nos focar em: $\varphi(z) = \varphi_0 e^{-(|z+z_0|/z_h)}$. Onde z_0 é a altura do Sol em relação ao plano que corta o centro da galáxia. Através de um ajuste, iremos obter os parâmetros (e incertezas) de nossa curva que se ajustará considerando também os desvios de cada ponto. A grande maioria dos aglomerados está entre -400 pc a 400 pc, portanto vamos nos limitar a essa região. Nesse intervalo nossa amostra é:

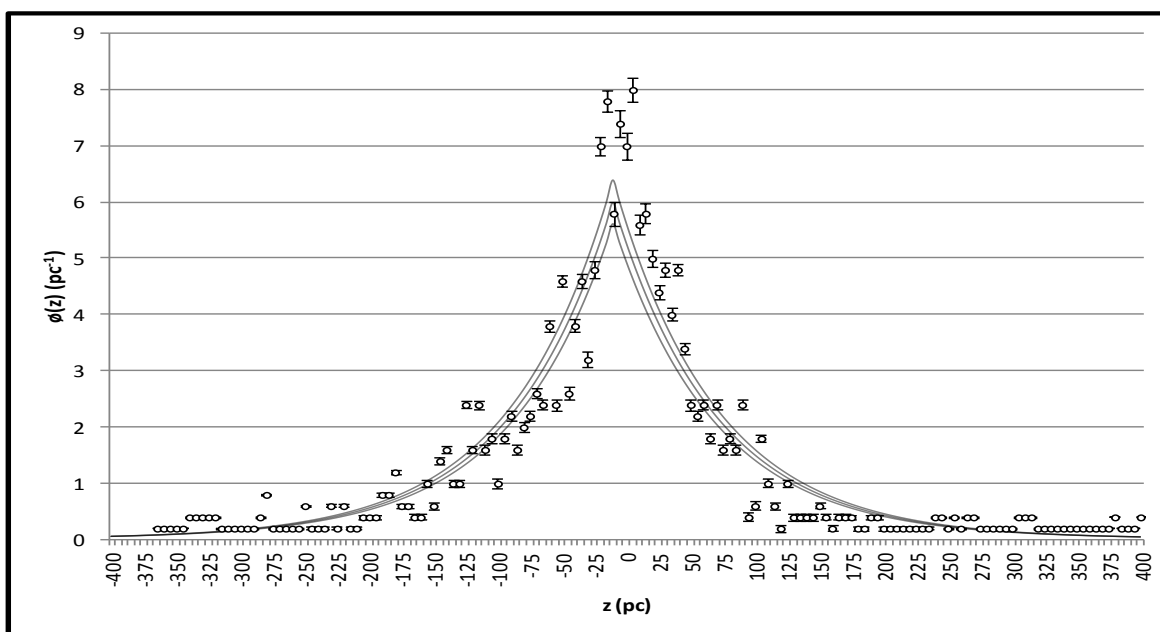
Tabela 2:

Idade (Myr)	Nº de aglomerados USP	Nº de aglomerados UNIVIE
TOTAL	935	683
< 200	418	359
200 - 1000	369	263
1000 \leq	130	55
Sem idade	18	6

Número de aglomerados classificados por idade entre -400 pc e 400 pc.

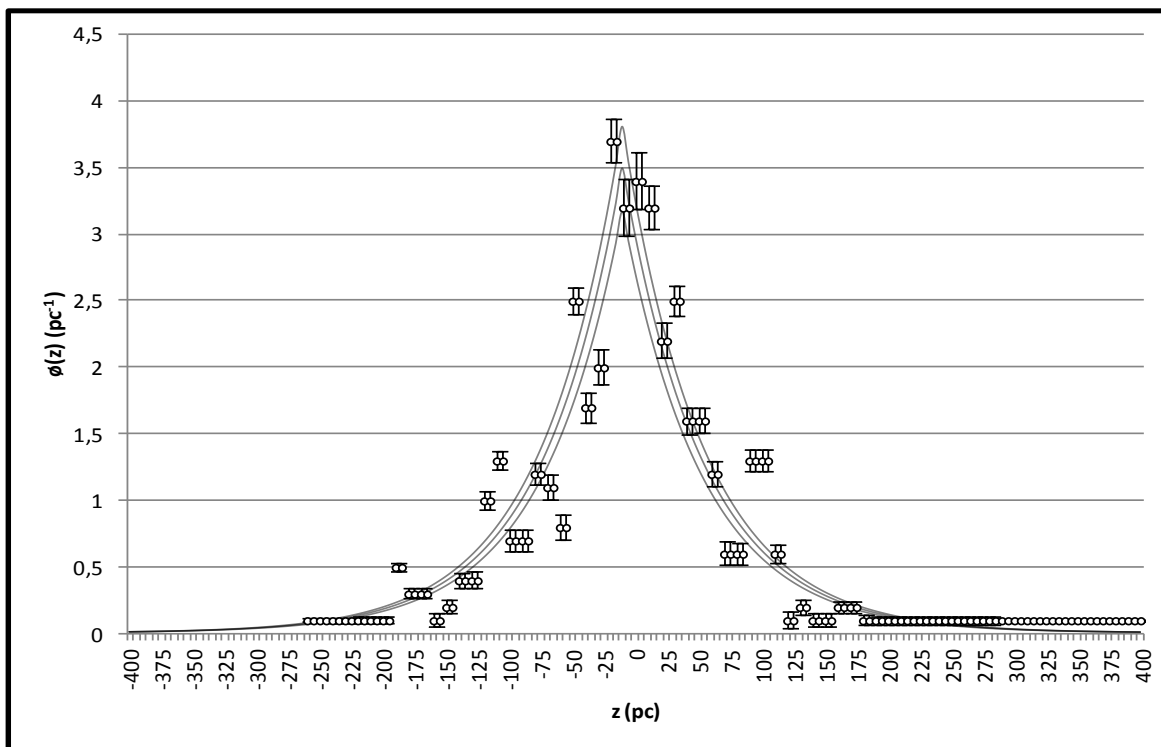
A amostra com todas as idades será nossa base para o z_0 . Sendo ela a mais completa, confiaremos em seu resultado para definir a distância do sol para todas as outras curvas. Como o número de dados nelas são maiores, usaremos repartições de 5 pc para o eixo z. Para as outras em que a idade será limitada, usaremos repartições de 10 pc para o mesmo eixo.

Figura 13:



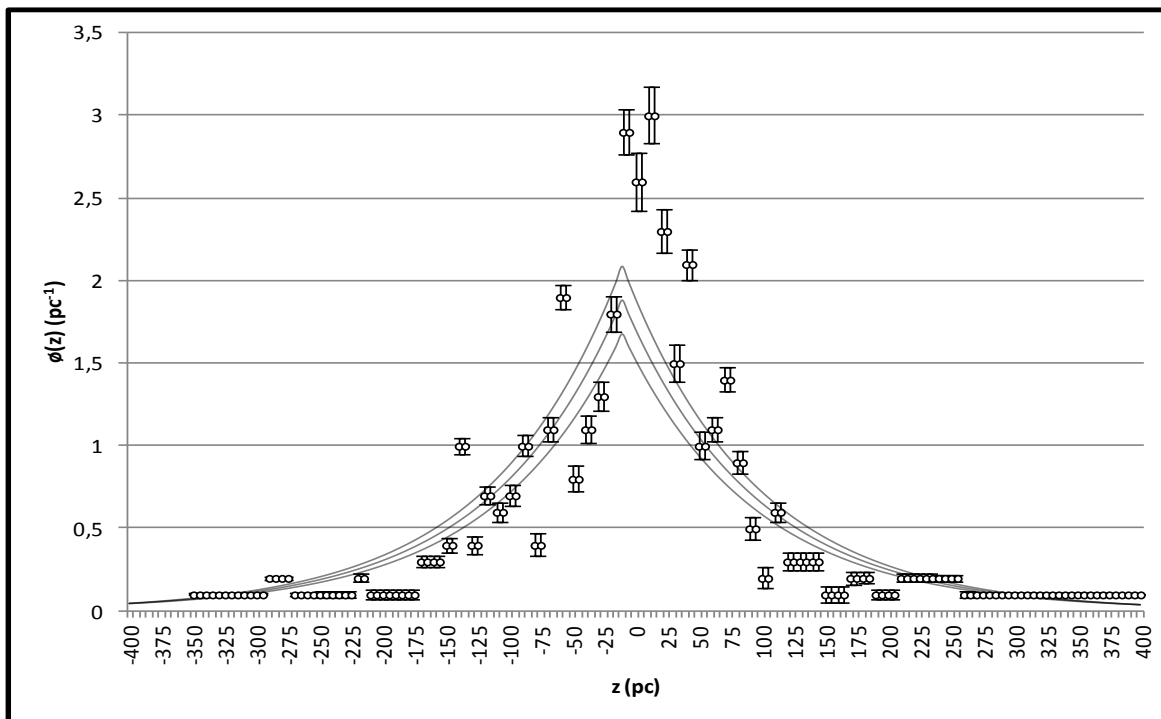
Distribuição dos aglomerados em função da altura do plano. Todas as idades (USP)

Figura 14:



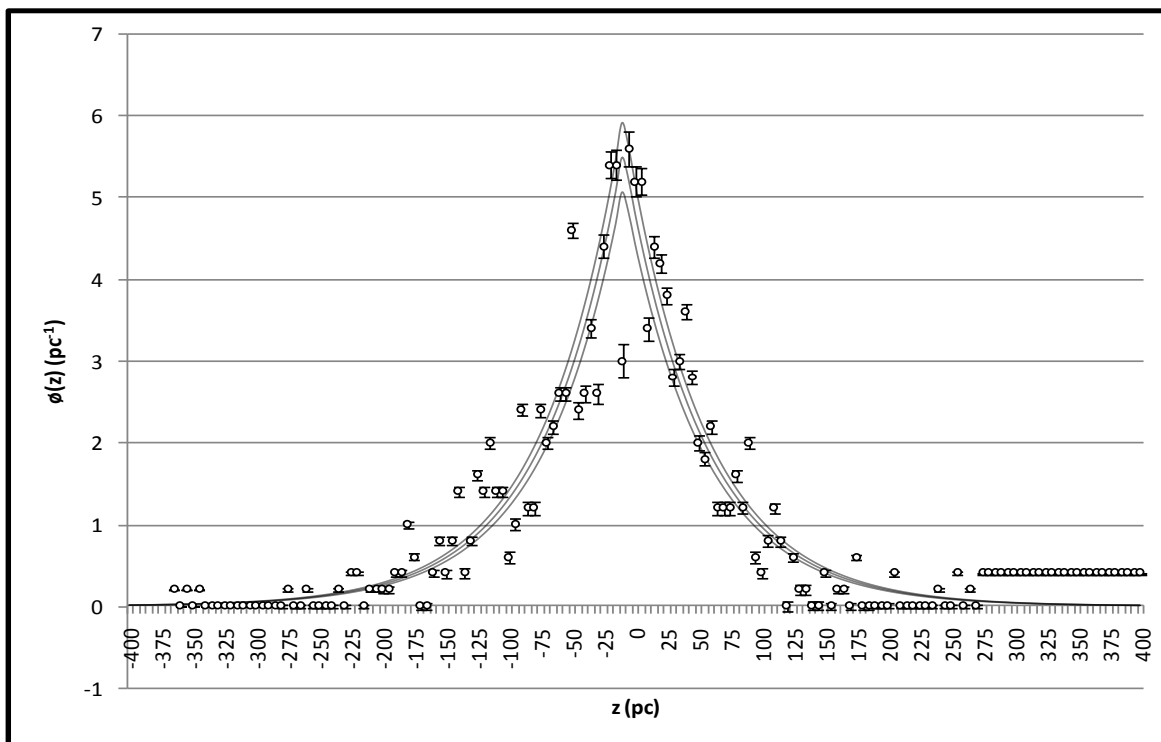
Distribuição dos aglomerados em função da altura do plano. De 0 a 200 Myr (USP)

Figura 15:



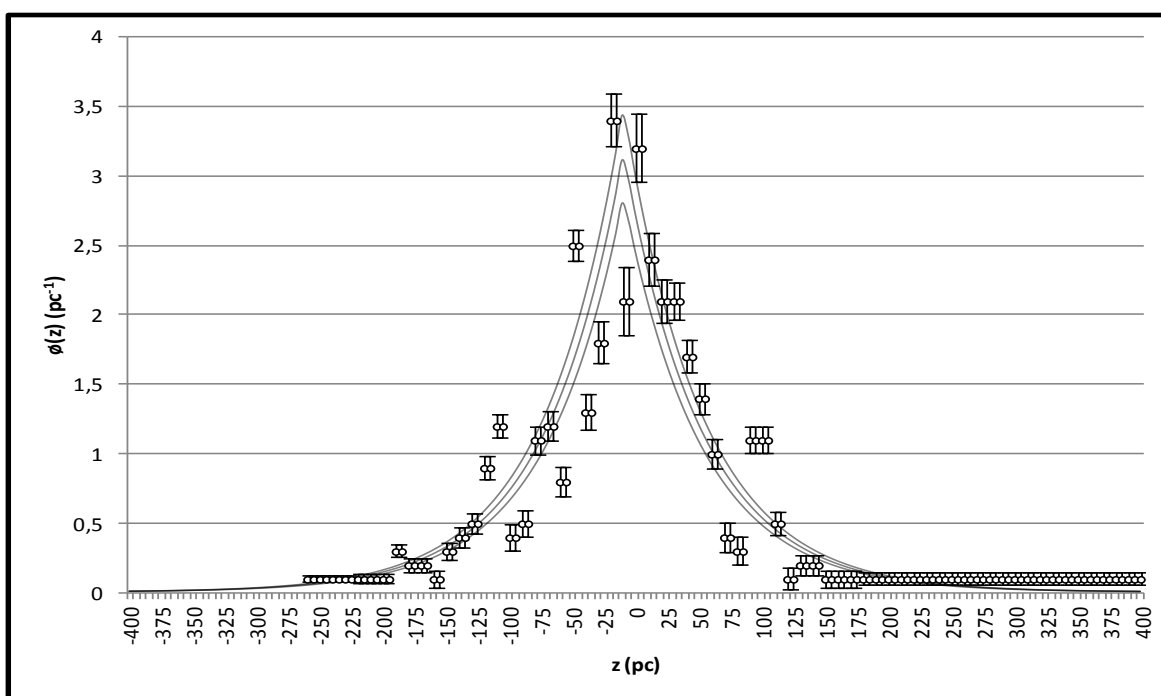
Distribuição dos aglomerados em função da altura do plano. De 200 Myr a 1Gyr (USP)

Figura 16:



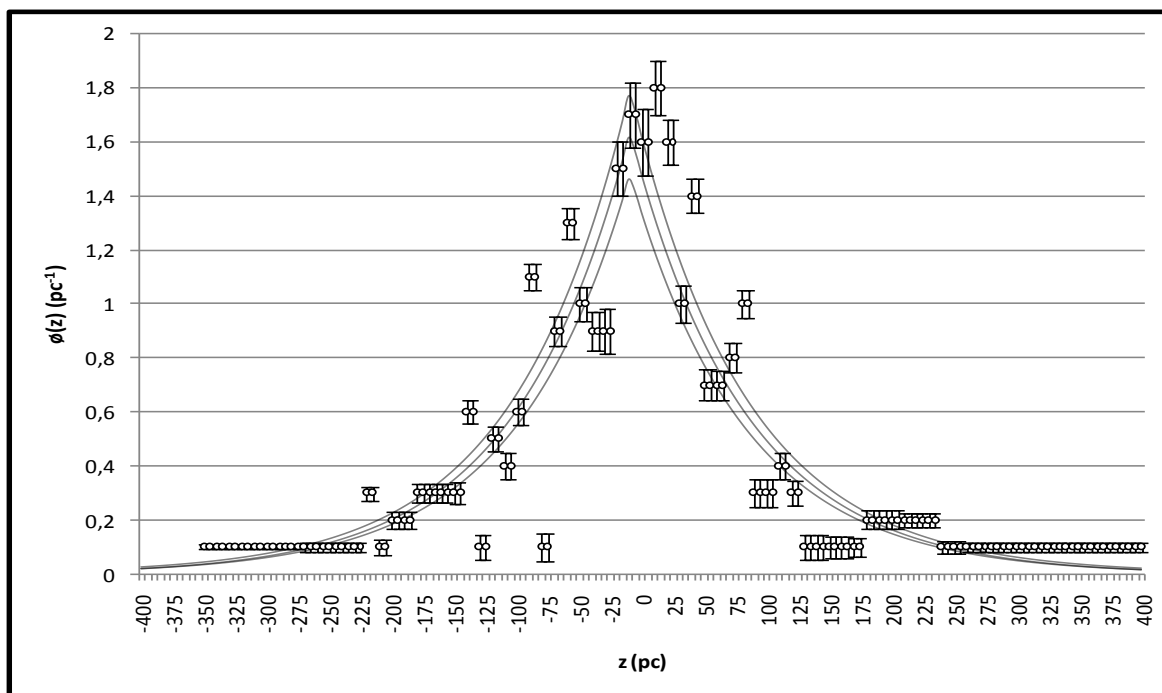
Distribuição dos aglomerados em função da altura do plano. Todas as idades (UNIVIE)

Figura 17:



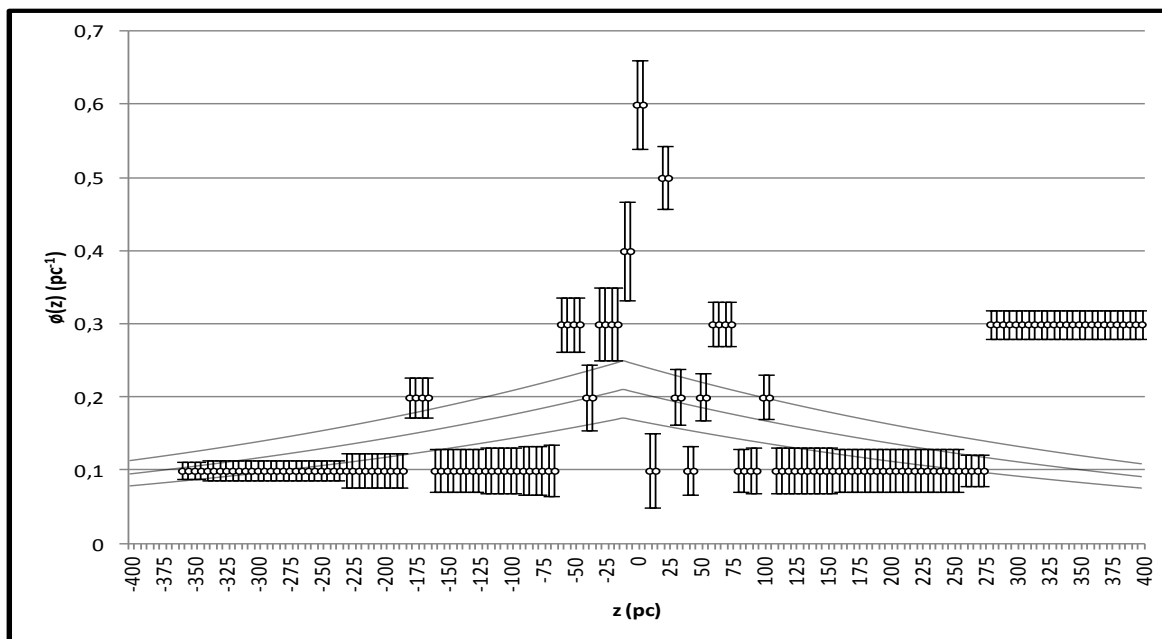
Distribuição dos aglomerados em função da altura do plano. De 0 a 200 Myr (UNIVIE)

Figura 18:



Distribuição dos aglomerados em função da altura do plano. De 200 Myr a 1 Gyr (UNIVIE)

Figura 19:



Distribuição dos aglomerados em função da altura do plano. Maiores que 1 Gyr (UNIVIE)

Na figura 13 (todas as idades USP), para obter um ajuste melhor, tivemos que limitar nossa curva entre -300 pc e 300 pc. Isso devido a base do gráfico de distribuição muito extensa que impedia o ajuste correto no centro ($z = 0$). Com esse ajuste, nossa amostra para todas as idades da USP contém 917 aglomerados abertos.

Não conseguimos achar uma curva para os aglomerados abertos com idade acima de 1 Gyr da tabela da USP pois apresenta uma distribuição muito uniforme. Podemos ver pela Figura 19 que os aglomerados mais antigos, realmente apresentam uma distribuição quase homogênea pela extensão da altura. Isso vai de acordo com o que sabemos a respeito desses aglomerados que são os mais duradouros sobreviventes das perturbações do disco e vão migrando para fora dele.

Para a construção da tabela 3 que contém nossos parâmetros, fixamos o z_0 encontrado nas curvas de todas as idades e utilizamos o mesmo para todas as outras distribuições. Sendo ela nossa amostra com mais dados e com repartições de 5 pc no eixo z (o que refina nossa precisão e diminui o erro dos pontos), achamos correto usar a sua informação da distância do Sol como a mais precisa de nossa análise.

Tabela 3:

Idades (Myr)	USP			UNIVIE		
	ϕ_0 (pc ⁻¹)	Z_0 (pc)	Z_h (pc)	ϕ_0 (pc ⁻¹)	Z_0 (pc)	Z_h (pc)
Todas	$6,0 \pm 0,3$	$9,8 \pm 3,3$	$29,3 \pm 3,3$	$5,5 \pm 0,4$	$8,9 \pm 3,2$	$62,6 \pm 3,2$
≤ 200	$3,5 \pm 0,3$	$9,8 \pm 3,3^*$	$63,6 \pm 4,5$	$3,1 \pm 0,3$	$8,9 \pm 3,2^*$	$61,6 \pm 5,2$
200-1000	$1,8 \pm 0,2$	$9,8 \pm 3,3^*$	$103,9 \pm 6,8$	$1,6 \pm 0,1$	$8,9 \pm 3,2^*$	$91,6 \pm 7,6$
$1000 \leq$	-	-	-	$0,2 \pm 0,03$	$8,9 \pm 3,2^*$	$495,8 \pm 167,4$

*Parâmetros fixos

Na tabela 4 apresentamos os valores sem fixar z_0 :

Tabela 4:

Idades (Myr)	USP			UNIVIE		
	φ_0 (pc ⁻¹)	Z_0 (pc)	Z_h (pc)	φ_0 (pc ⁻¹)	Z_0 (pc)	Z_h (pc)
Todas	$6,0 \pm 0,3$	$9,8 \pm 3,3$	$29,3 \pm 3,3$	$5,5 \pm 0,4$	$8,9 \pm 3,2$	$62,6 \pm 3,2$
≤ 200	$3,5 \pm 0,3$	$6,8 \pm 3,6$	$63,1 \pm 4,5$	$3,2 \pm 0,3$	$7,2 \pm 3,8$	$61,3 \pm 5,3$
200-1000	$1,9 \pm 0,2$	$1,6 \pm 6,9$	$102,9 \pm 6,7$	$1,6 \pm 0,1$	$5,7 \pm 5,3$	$90,7 \pm 7,6$
$1000 \leq$	-	-	-	$0,2 \pm 0,03$	$18,8 \pm 63,6$	$528,4 \pm 188,8$

Pela tabela 4 vemos que o valor de z_0 para os aglomerados mais novos, é bem próximo (considerando as incertezas) do z_0 calculado com todas as idades. Já para os aglomerados entre 200 Myr e 1 Gyr ele muda bastante e as incertezas aumentam. O valor de z_0 fixado ou não faz com que os valores de z_h para as idades baixas varie muito pouco, o que corrobora para nossa constatação de que eles são bastante próximos.

Como o z_0 da medida com todas as idades da USP está mais limitado que os outros no eixo z , vemos uma discrepância na sua medida de z_h . Vamos portanto desconsiderar o seu valor e nos focar nos valores encontrados no caso dos aglomerados novos da tabela da USP que como vemos, está em ótimo acordo com o que encontramos para a tabela da UNIVIE tanto para todas as idades como para os aglomerados mais novos.

3 Conclusão

Nesse trabalho, foram utilizadas duas amostras com 967 e 689 aglomerados abertos de estrelas com informações de sua idade, distância do sol, distância do plano das coordenadas galácticas, latitude e longitude galáctica.

Para análise e comparação dessas amostras geramos alguns histogramas: Idade, distância do sol e altura em relação ao plano. Com o último, pudemos criar um gráfico de densidades versus altura em relação ao plano e com isso ajustar nossa curva exponencial para que assim encontrássemos os parâmetros de nosso interesse. Dividindo os gráficos em idades conseguimos nossas informações.

A população mais nova (abaixo de 200 Myr) se distribui verticalmente no plano galáctico obedecendo um decaimento exponencial com uma escala de altura de $z_h = 63,6 \pm 4,5$ e $z_h = 61,6 \pm 5,2$ para cada amostra. Os de idade média (entre 200 Myr e 1 Gyr) distribuem-se verticalmente seguindo $z_h = 103,9 \pm 6,8$ e $z_h = 91,6 \pm 7,6$, enquanto as mais antigas (maiores que 1 Gyr) distribuem-se com $z_h = 495,8 \pm 167,4$ (Apenas em um caso obtemos uma medida, que é imprecisa devido a uniformidade de distribuição desses aglomerados). Considerando todas as idades encontramos $z_h = 62,6 \pm 3,2$ (Nossa outra medida foi desconsiderada devido as escolhas que fizemos para melhor ajuste da curva). A distância do sol encontrada usando todas as idades foi $z_\odot = 9,8 \pm 3,3$ e $z_\odot = 8,9 \pm 3,2$, as duas bastante semelhantes entre si e também de acordo com o grupo de aglomerados mais novos que nos deu $z_\odot = 6,8 \pm 3,6$ e $z_\odot = 7,2 \pm 3,8$ respectivamente.

4 Referências

- BINNEY, James. **Galactic Dynamics**. 3ª edição. Nova Jersey: Princeton University Press, 1987.
- BONATO, C. **Probing disk properties with open clusters**. Disponível em: <<http://www.aanda.org/articles/aa/pdf/2006/04/aa3573-05.pdf>> Acesso em: 5 de Jun. de 2013
- CHANDRA X-RAY OSERVATOR. **Galactic Observation**. Disponível em: <http://chandra.harvard.edu/xray_astro/navigation3.html> Acesso em: 29 de Maio de 2013
- HUBBLE SITE. **Hubble site gallery**. Disponível em: <<http://hubblesite.org/gallery/>>
- JOSI, Y.C. **Displacement of the Sun from the Galactic Planed**. Disponível em: <<http://arxiv.org/pdf/0704.0950.pdf>> Acesso em 28 de Maio de 2013.
- KARTTUNEN, H. et al. **Fundamental Astronomy**. 3ª edição. Nova York: Springer, 1987.
- MACIEL, W. J. **Astronomia e Astrofísica**. 1ª edição. São Paulo: IAG/USP, 1991.
- OLIVEIRA FILHO, Kepler de Souza; Saraiva, Maria de Fatima O. **Astronomia e Astrofísica**. 2ª edição. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2004.
- UNIVERSITY OF VIENNA. **Webda**. Disponível em: <<http://www.univie.ac.at/webda/>>
- UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. **Open clusters and galactic structure**. Disponível em: <<http://www.astro.iag.usp.br/~wilton/>>
- WOODS, John A. **The Science of Astronomy**. 1ª edição. Nova York: Harper and Row, 1974.