# Determinação da distância ao centro Galáctico a partir da distribuição dos aglomerados globulares

Taynara Vitoria Souza

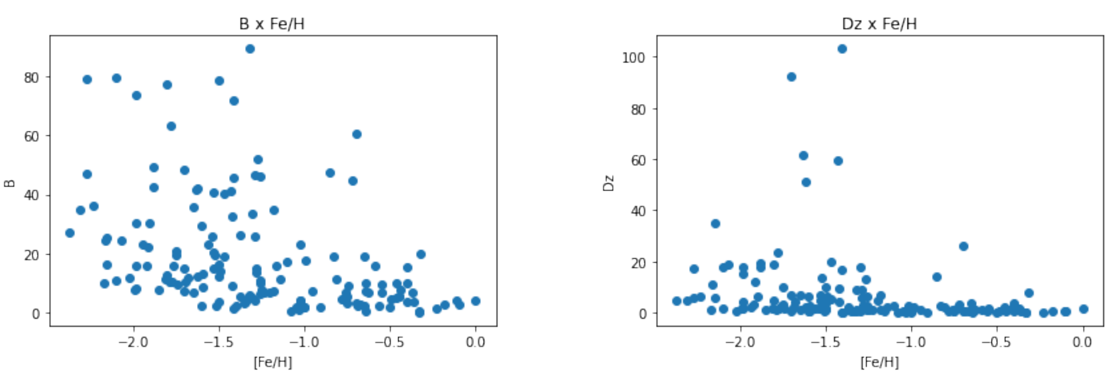
Maio de 2021

## 1 Objetivo

Determinar a distância do Sol ao centro galáctico.

## 2 Dados

Os dados utilizados estão disponíveis no link http://physwww.physics.mcmaster.ca/ harris/mwgc.dat. Ao fazer o download dos dados referentes aos 157 AGs, foi montado o gráfico do modulo de $b$ em função da metalicidade[Fe/H]. Mostrado nas figuras abaixo.




(a) (b)

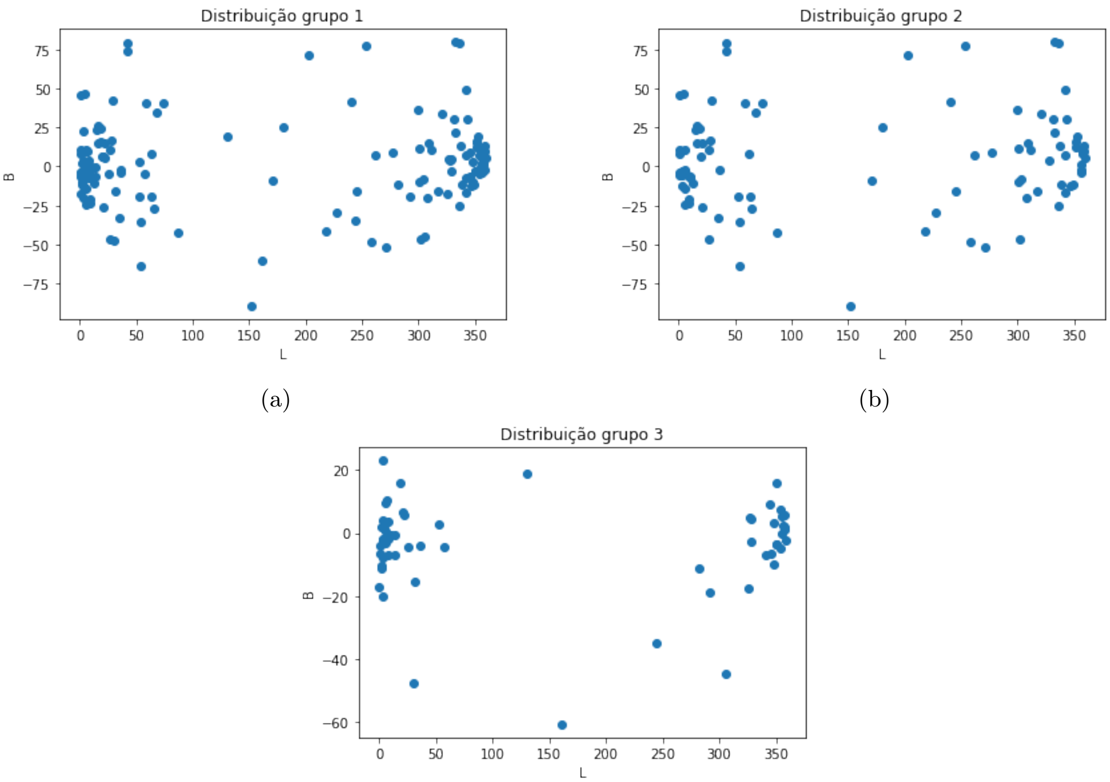
Figura 1: Distribuição dos aglomerados globulares com base em sua metalicidade

Nota-se que os aglomerados com maior metalicidade encontram-se mais próximos do plano médio galáctico, ou seja, estão mais pertos do disco, com valores menores para a latitude galáctica, enquanto aqueles com menores metalicidade estão mais dispersos, encontrando-se por todo o halo. Essa relação fica mais clara observando o gráfico 1b, pois dz está relacionado com a distância ao sol e também com sua latitude galáctica, como será mostrado mais a frente. Sendo assim dividimos os aglomerados em 3 grupos:

- Grupo 1: Todos os AGs

- Grupo 2: Aglomerados com [Fe/H] $\leq$ -1.2
- Grupo 3: Aglomerados com [Fe/H] $>$ -1.2

Cada grupo resultou na seguinte distribuição:




(a) (b) (c)

Figura 2: Grupos 1,2 e 3.

Sabendo que l corresponde a longitude galáctica e varia de 0º a 360°, sendo o CG localizado em $l = 0$, e B referente a latitude galáctica, sendo $B = 0$ o plano galáctico, é possível notar que os três grupos geram uma distribuição esférica aproximadamente simétrica em relação ao centro galáctico, que está localizado em $L = 0$ e $B = 0$.

# 3 Determinando a distância dos AGs ao centro Galáctico

Considerando um sistema de coordenadas, (mostrado na figura 3), montado com origem no Sol, sendo x a direção definida pelo Sol e o centro Galáctico, y a direção perpendicular ao plano zx e z a direção perpendicular ao plano xy, onde z>0 para $b > 0$ e y>0 para $l = 90$ e $b = 0$. Podemos escrever as componentes da distância do aglomerado ao Sol (origem do sistema) dx, dy e dz, projetadas sobre os 3 eixos do sistema, como:

$$dx = d \cos b \cos l \tag{1}$$

$$dy = d \cos b \sin l \tag{2}$$

$$dz = d \sin b \tag{3}$$

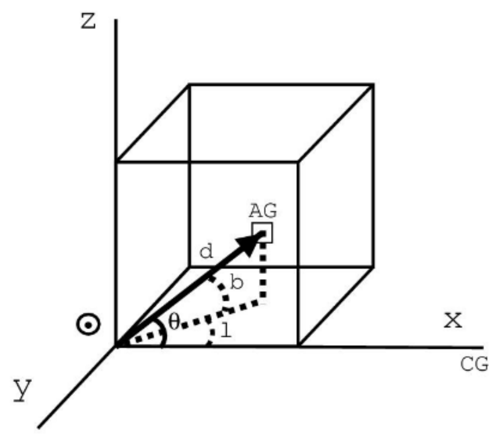



Figura 3

Sabendo disso foi realizado uma média para cada componente(dx,dy,dz) de cada grupo de aglomerados. Sendo estas medias dadas por:

$$R_{0x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} dx_i \tag{4}$$

$$R_{0y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} dy_i \tag{5}$$

$$R_{0z} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} dz_i \tag{6}$$

sendo n o número de aglomerados.

A partir dessa médias calculou-se o valor da distância do Sol ao centro galáctico por:

$$R_0 = \sqrt{R_{0x}^2 + R_{0y}^2 + R_{0z}^2} \tag{7}$$

Obtendo os seguintes valores para cada grupo de aglomerados:

| | |
|---|---|
| Grupo 1 | 6.49 Kpc |
| Grupo 2 | 6.61 Kpc |
| Grupo 3 | 6.98 Kpc |

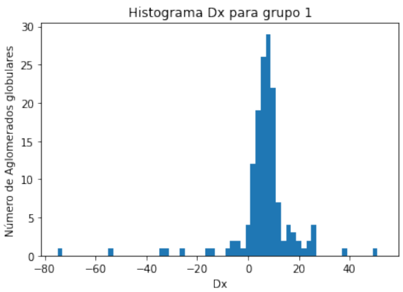
Tabela 1: Valores obtidos de $R_0$ para cada grupo de aglomerados.

Supondo que o Sol estivesse localizado no plano galáctico e a distribuição de aglomerados fosse perfeitamente simétrica os valores de $R_{0y}$ e $R_{0z}$, seriam nulos e dessa forma $R_0 = R_{0x}$. Com essa suposição os valores encontrados para $R_0$ para os três grupos de aglomerados seria:

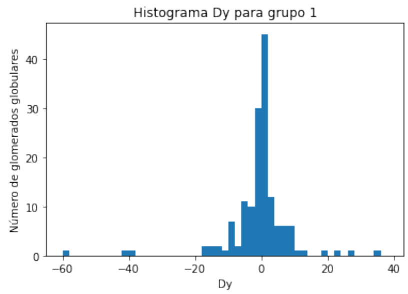
| | |
|---|---|
| Grupo 1 | 6.32 Kpc |
| Grupo 2 | 5.95 Kpc |
| Grupo 3 | 6.89 Kpc |

Tabela 2: Valores obtidos de $R_0$ para cada grupo de aglomerados considerando Sol no plano galáctico e distribuição perfeitamente simétrica.

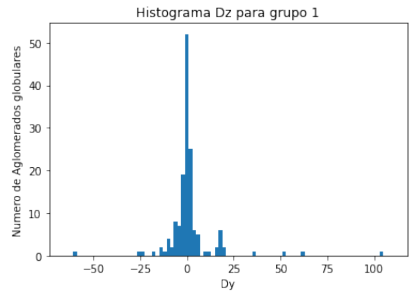
A seguir foi construído histogramas do número de aglomerados em função das componente dx,dy e dz para cada grupo, como mostrado no esquema baixo:



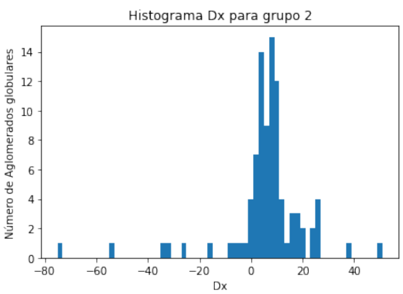

(a)



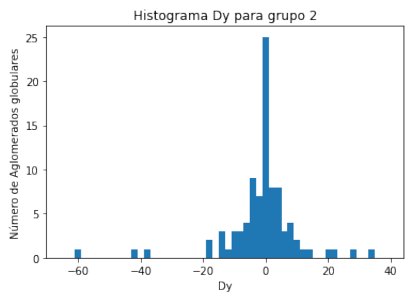

(b)



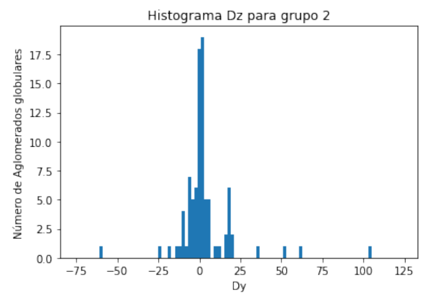

(c)



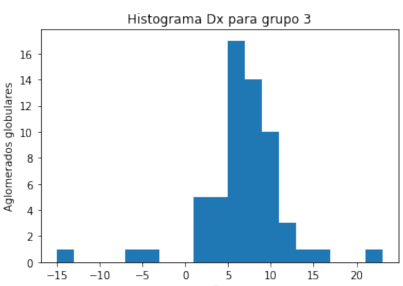

(a)



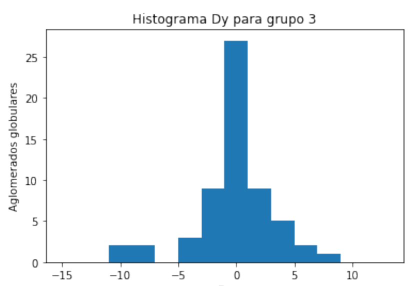

(b)



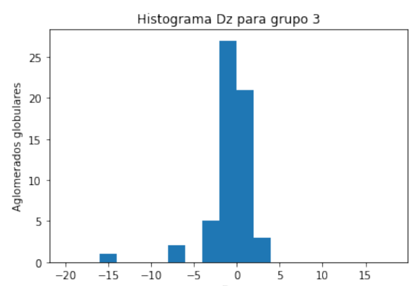

(c)




(a)




(b)




(c)

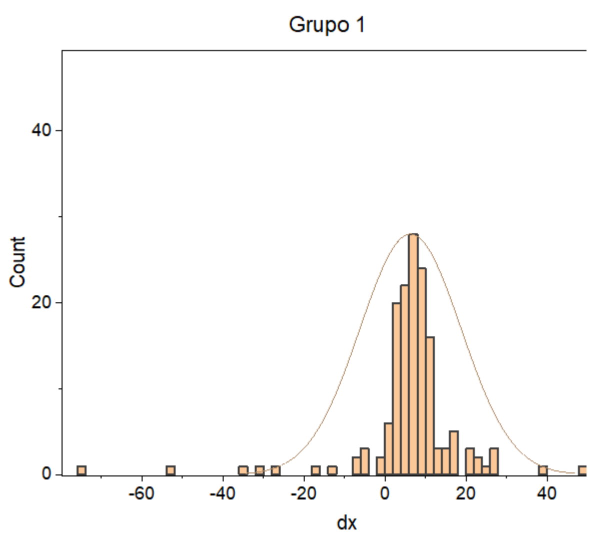
Observa-se que entre os 3 grupos o grupo 3 apresenta uma distribuição mais simétrica, estando todos aglomerados situados em um intervalo $\Delta d$ ($d_x$,$d_y$,$d_z$) menor.

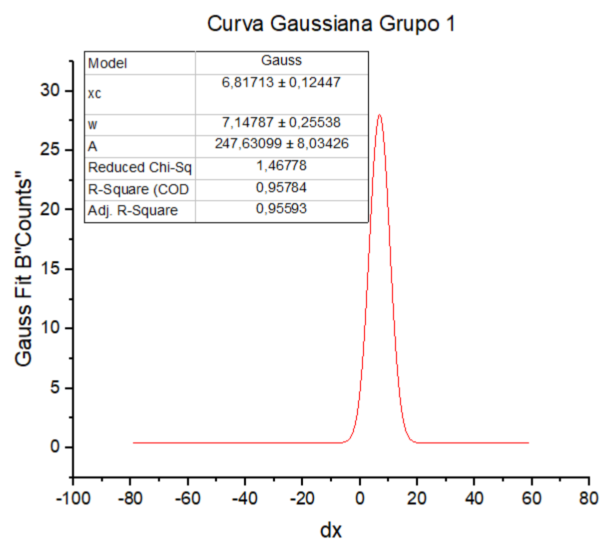
Se as distribuições forem aproximadamente simetricas em y e z (centradas em aproximadamente dy=dz=0) podemos encontrar o valor de $R_0$ supondo que a distribuição de Ags em x segue uma distribuição gaussiana da forma:

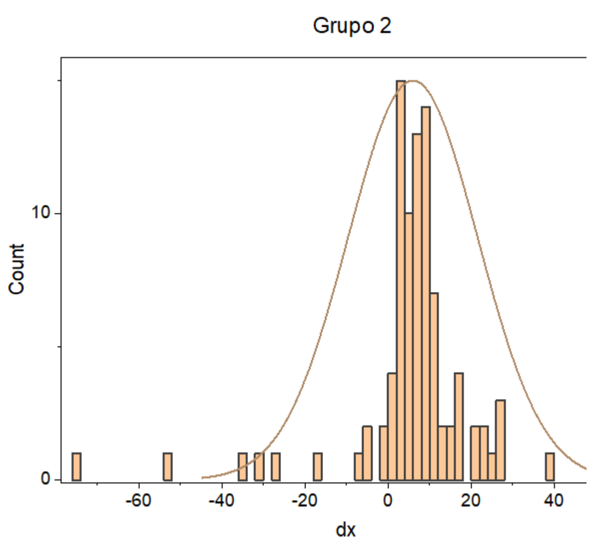
$$N_0 = N_{max} e^{\frac{-1}{2}\left(\frac{d_x - R_0}{\sigma}\right)^2} \tag{8}$$

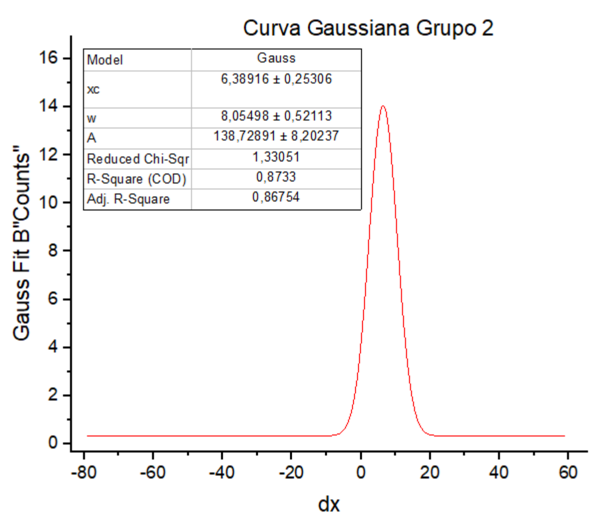
Onde $N_{max}$ corresponde ao máximo da função. Sendo assim, para o valor máximo da função temos que $d_x = R_0$.

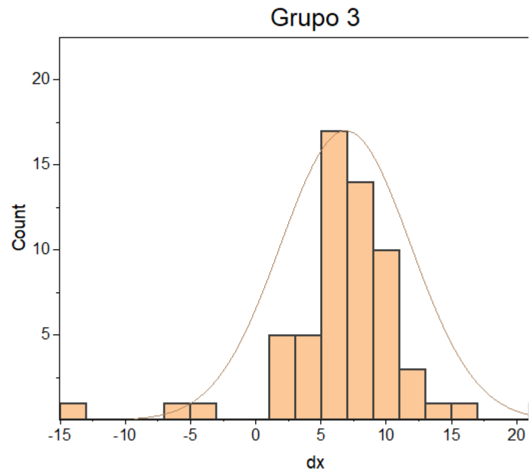
Para realização desse ajuste foi utilizado o programa Origin, onde o histograma foi plotado e então feito uma curva normal sobre ele, dessa curva retiramos os valores médios de cada "bin", para então plotar um novo gráfico e realizar um ajuste Gaussiano com a função fornecida pelo próprio Origin. Sendo assim, obtivemos os seguintes resultados:

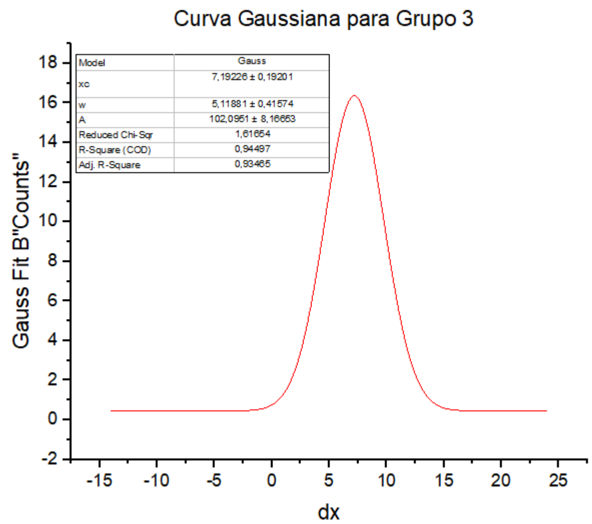





Com isso os valores obtidos para $R_0$ foram:

| | |
|---|---|
| Grupo 1 | $(6.8 \pm 0.1)$ Kpc |
| Grupo 2 | $(6.4 \pm 0.3)$ Kpc |
| Grupo 3 | $(7.2 \pm 0.2)$ Kpc |

Tabela 3: Valores obtidos de $R_0$ para cada grupo de aglomerados pelo ajuste Gaussiano

Comparando todos os valores encontrados para $R_0$, temos:

| Grupo | Pela equação 7 | Supondo $R_0 = R_{xmed}$ | Ajuste da Gaussiana |
|---|---|---|---|
| 1 | 6.49 Kpc | 6.32 Kpc | $(6.8 \pm 0.1)$ Kpc |
| 2 | 6.61 Kpc | 5.95 Kpc | $(6.4 \pm 0.3)$ Kpc |
| 3 | 6.98Kpc | 6.89 Kpc | $(7.2 \pm 0.2)$ Kpc |

Tabela 4: Valores de a obtidos para $R_0$ de diferentes maneiras

Observando a tabela 4 nota-se que em todos os casos encontramos valores relativamente próximos, sendo os valores para a suposição $R_0 = R_{xmed}$ as menores estimativas de distância. O que realmente faz sentido, ja que para este resultado consideramos uma distribuição perfeitamente simétrica e que o Sol está no plano galáctico, fato que não é verdade.

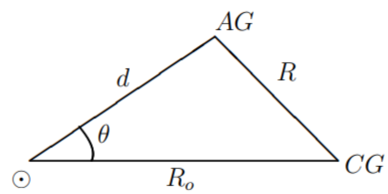
O valor final adotado para $R_0$ corresponde ao do grupo 3 pelo ajuste da Gaussiana, tal escolha é justificada pois para realizar este ajuste era necessário uma distribuição aproximadamente simétrica em y e z e centradas no valor de $y = z = 0$, como o grupo 3 é o que melhor cumpre essa exigência acredita-se que o valor obtido pela sua gaussiana esteja mais próximo do real.

Sendo assim, comparando com o valor encontrado por Bica et al. (2006) nota-se que a estimativa é bem similar.

| Valor obtido neste trabalho | Valor encontrado por Bica et al. (2006) |
|---|---|
| $(7.2 \pm 0.2)$ Kpc | 8.0 Kpc |

# 4 Relação [Fe/H] $\times$ R

Por fim, foi determinado a distância galactocêntrica de todos os aglomerados, com posse de suas coordenadas galácticas e a distância do Sol ao centro galáctico (onde foi utilizado o valor de 8 kpc).




Temos que a direção definida pelo Sol e o CG corresponde à componente dx, dada pela equação 1. Com isso podemos relacionar o ângulo $\theta$ com as coordenadas galácticas, pois:

$$cos\theta = \frac{dx}{d}$$

Substituindo a equação 1:

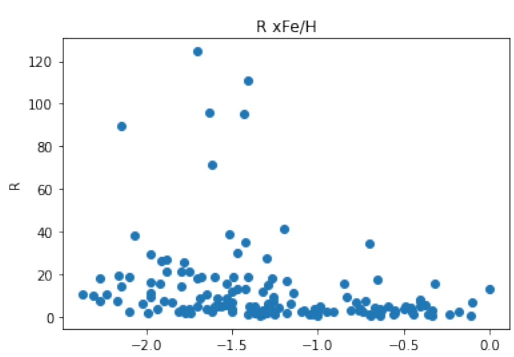
$$cos\theta = \cos b \cos l$$

Utilizando a lei dos cossenos no esquema acima podemos então calcular a distância galactocêntrica de cada aglomerado(R):

$$R^2 = d^2 + R_0^2 + 2dR_0 \cos\theta \tag{9}$$

$$R^2 = d^2 + R_0^2 + 2dR_0 \cos b \sin b$$

Com os valores de R plotamos um gráfico de [Fe/H] em função de R.



O gráfico mostra a relação já esperada. A medida que se afasta do centro galáctico observa-se aglomerados no geral com uma metalicidade menor. É possível notar que os aglomerados com maior metalicidade se encontram próximos de 0kpc, ou seja, no bojo galáctico. Tal gráfico está condizente com o esperado.

## 5 Referências


- Bica E., Bonatto C., Barbuy B., Ortolani S. 2006, AA 450, 105