

# **A Via Láctea**

**Rogemar A. Riffel**



# Breve histórico

**Via Láctea:** Caminho esbranquiçado como Leite;

**Galileo (Sec. XVII):** multitude de estrelas;

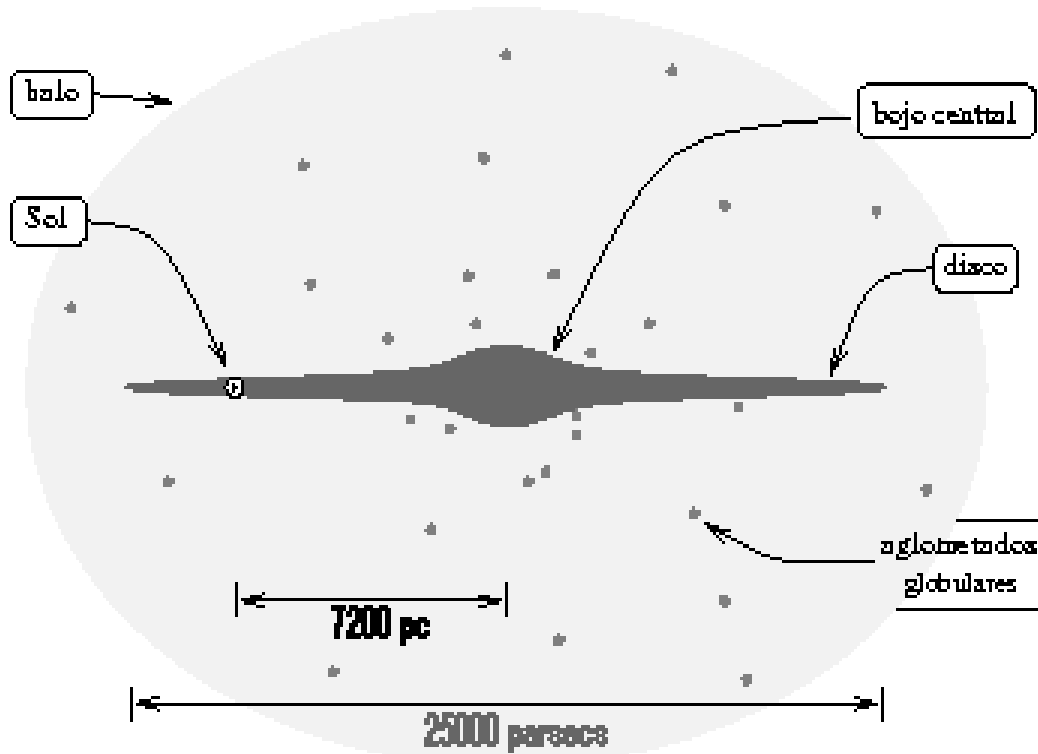
**Herschel (XVIII):** Sistema achatado (Sol ocupava a posição central da galáxia);

**Kapteyn (XX):** Primeira estimativa de tamanho;

**Shapley (1917):** Estudando a distribuição de aglomerados globulares, determinou o verdadeiro tamanho da Via Láctea e a posição periférica do Sol.

# Distribuição de aglomerados

Vista lateral da Via Láctea



Assumindo que o **centro do halo** formado pelos aglomerados globulares coincide com o **centro de nossa Galáxia**, Shapley deduziu que **estamos a 30 mil anos-luz do centro da Via Láctea**, que está na direção da constelação do Sargitário.

# Sistemas de coordenadas galácticas

O sistema de coordenadas galácticas tem como plano fundamental o plano galáctico, que é o círculo máximo que contém o centro galáctico e as partes mais densas da Via Láctea. É inclinado  $60^\circ$  em relação ao Equador Celeste.

**Latitude galáctica (b):** distância angular medida perpendicularmente ao plano galáctico, variando de  $0^\circ$  a  $90^\circ$  para o norte e de  $0^\circ$  a  $-90^\circ$  para o sul.

**Longitude galáctica (l):** distância angular medida ao longo do plano galáctico, variando de  $0^\circ$  a  $360^\circ$  para leste, a partir da direção do centro galáctico.

O ano galáctico, definido como o tempo que o Sol leva para dar uma volta completa em torno do centro galáctico, tem duração de 220 milhões de anos.

# Distâncias dentro da galáxia

**Radar:** Planetas Internos e outros objetos próximos da Terra;

**Paralaxe heliocêntrica:** Planetas externos e estrelas próximas (até 500 pc);

**Paralaxe espectroscópica:** Estrelas a distâncias de até 10 000 pc.

Tamanho da galáxia: ~25 000 pc

**Como medir distâncias maiores do que 10 000 pc?**

**R: Relação Período-Luminosidade de estrelas variáveis pulsantes.**

# Distâncias dentro da galáxia

Estrelas variáveis pulsantes radiais são estrelas cuja luminosidade varia com o tempo, devido a variações no seu tamanho.

**RR Lyrae:** São estrelas evoluídas que estão começando a queimar hélio no núcleo. Seus períodos de pulsação são pequenos, entre 0,5 e 1 dia, com variação de magnitude menores do que uma magnitude.

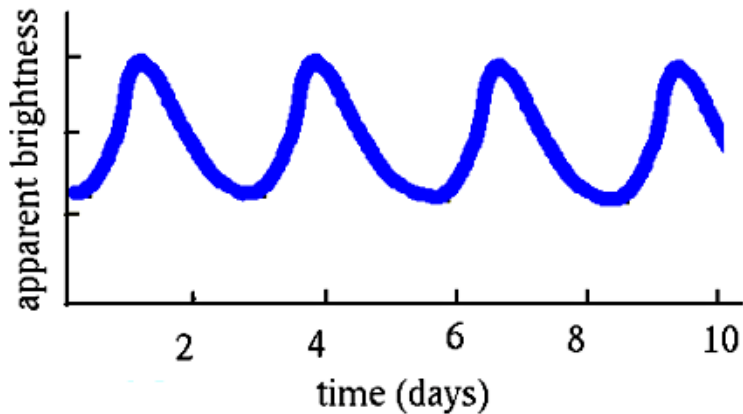
**Cefeidas:** São supergigantes com períodos de pulsação entre 1 e 100 dias, com amplitudes de pulsação entre 0,3 e 3,5 magnitudes.

$$M_{\text{bol}} = -3,125 \log P - 1,525$$

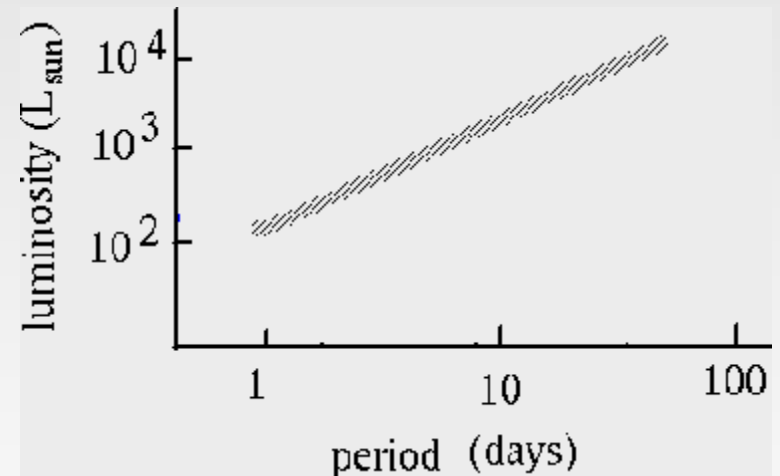
As variáveis Cefeidas são usadas para determinar distâncias de estrelas longínquas da nossa Galáxia, e distâncias de outras Galáxias.

# Estrelas Cefeidas

São estrelas que expandem e contraem **periodicamente** as camadas mais externas de sua atmosfera o que produz variações de emissão de luz.



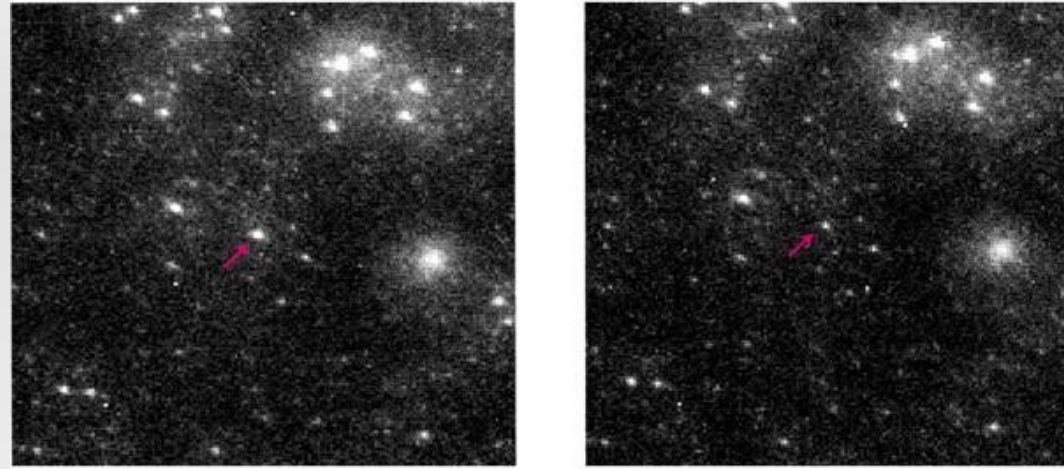
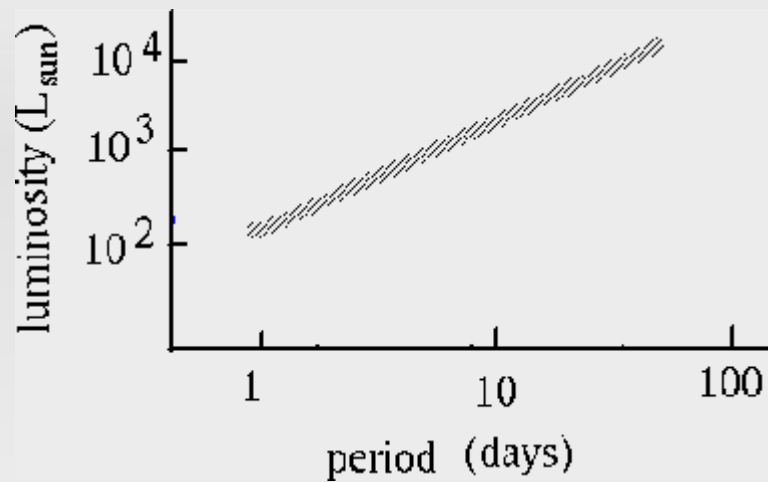
Curva de luz



As estrelas mais luminosas têm maior período de variação de luz



# Como calcular a distância de uma galáxia, com a observação de uma estrela Cefeida



- 1) Observamos com o telescópio o período de variação da luz e o fluxo ( $F$ ) de uma estrela Cefeida, em uma galáxia distante ( $d$ );
- 2) Determinamos a luminosidade intrínseca ( $L$ ) que tem a estrela, com a ajuda da relação período luminosidade das Cefeidas observadas na Via Láctea (figura)
- 3) O fluxo observado é  $F \sim L/d^2$
- 4) A distância  $d \sim (L / F)^{1/2}$

# Distâncias dentro da galáxia

## RESUMO

### Distância de Alcance

1 UA

500 pc

10 000 pc

4 Mpc

### Método

radar

paralaxe heliocêntrica

paralaxe espectroscópica

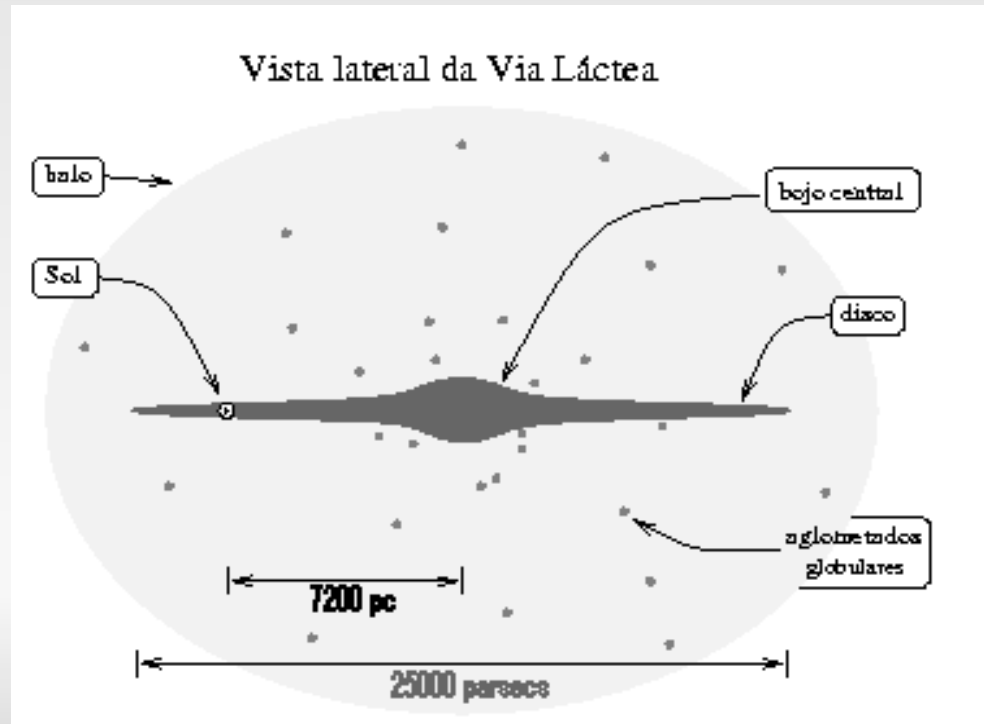
estrelas variáveis

# Forma e tamanho da Via Láctea

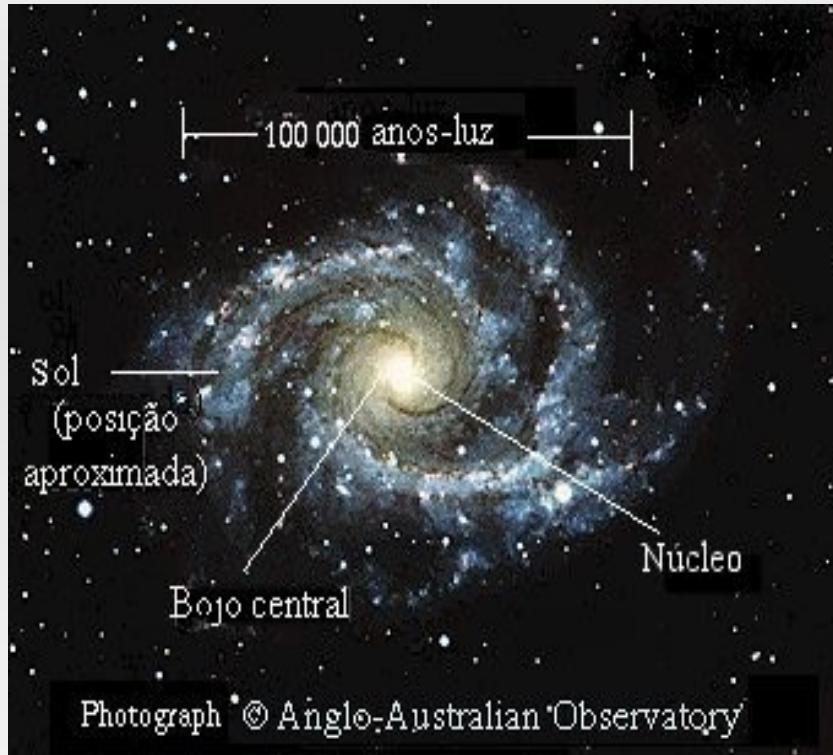
Nossa Galáxia tem a forma de um disco circular, com diâmetro de cerca de 25 000 pc (100 000 anos-luz) e espessura de 300 pc aproximadamente.

O disco está embebido em um halo esférico formado pelos aglomerados globulares e provavelmente grande quantidade de matéria não luminosa, que se estende por no mínimo 100 000 pc.

O bojo, que contém o núcleo, é uma região esférica de 2 000 pc de raio, envolvendo o núcleo.



# Forma e tamanho da Via Láctea



NGC2997 como uma representação da Via Láctea.

O Sol está localizado em um dos braços espirais, e orbita o centro da galáxia a uma distância de aproximadamente 7200 pc.

## Resumindo

A Via Láctea tem duas componentes morfológicas principais: uma componente esferoidal (halo+bojo) e uma componente achatada (disco + braços espirais).

massa do disco: 2 a 13%

massa do bojo: 1 a 6%

massa do halo: 81 a 97%

# Forma e tamanho da Via Láctea

O disco da galáxia contém, além das estrelas, a matéria interestelar, formada por gás e poeira, que constituem o material do qual as estrelas se formam.

O gás interestelar é constituído na maior parte por hidrogênio neutro, que é não luminoso.

Mas perto de estrelas muito quentes e massivas, o hidrogênio é ionizado pela radiação ultravioleta provinda das estrelas. Este H se recombina e emite radiação.



Nebulosa de Órion

# Estrutura espiral



Andrômeda (M31)



NGC4314

**Em outras galáxias:** Nebulosas gasosas geralmente se encontram distribuídas em uma estrutura espiral.

É razoável supor que nossa Galáxia também tem uma estrutura espiral.

É difícil visualizar a estrutura espiral pois estamos dentro do disco galáctico, e cercados de poeira interestelar, que bloqueia a luz.



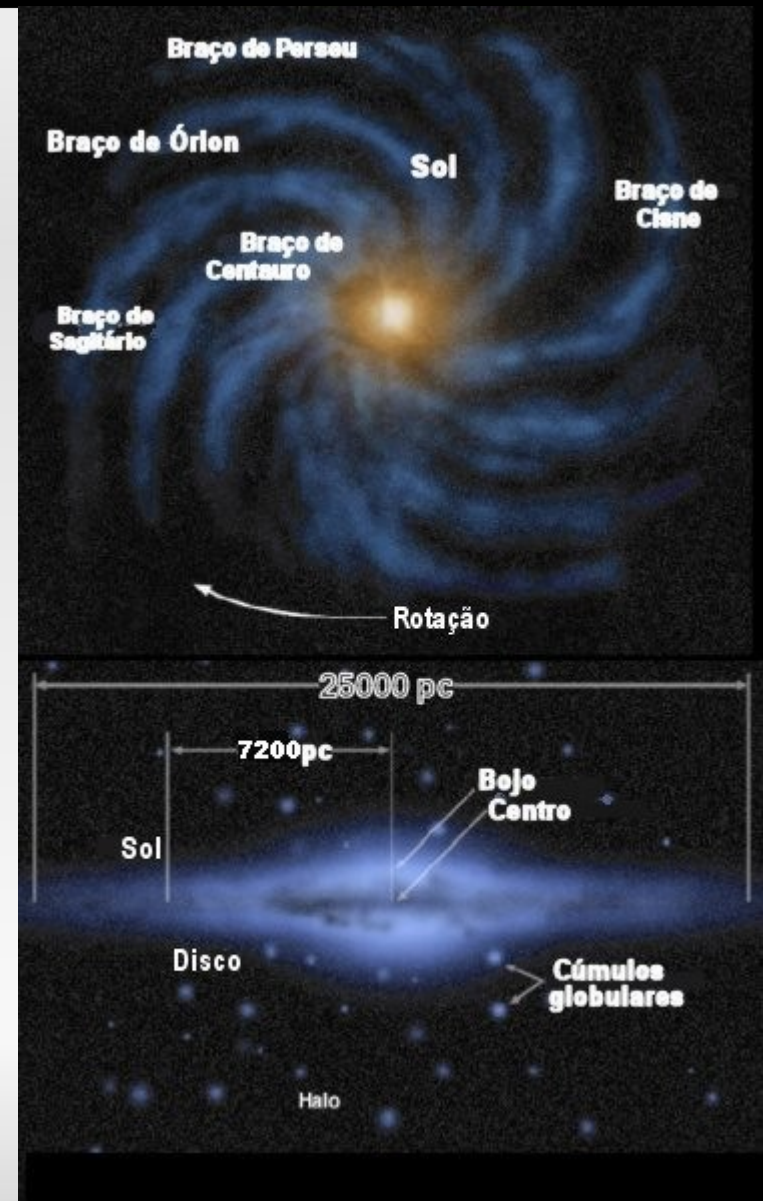
# Estrutura espiral

Mapeadores da estrutura espiral:

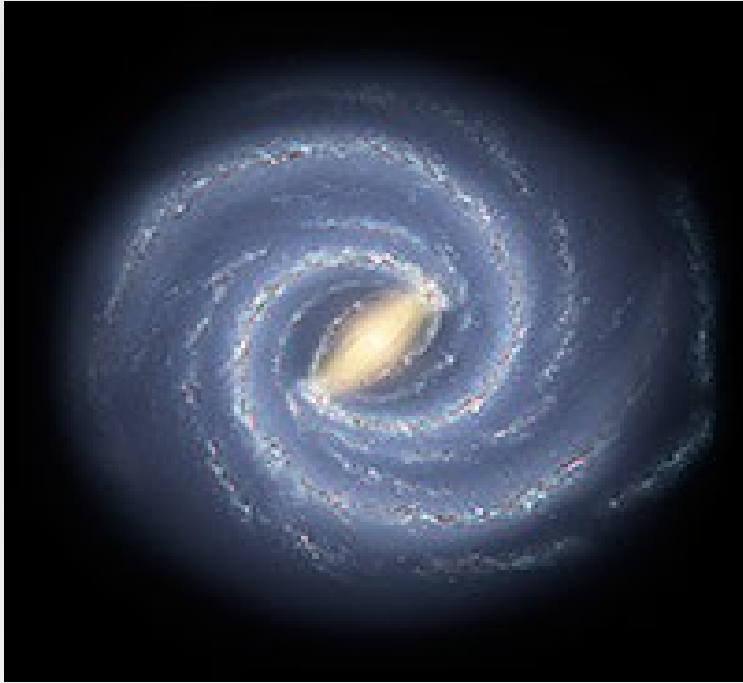
Óticos: objetos brilhantes como estrelas OB, regiões HII e estrelas cefeidas variáveis.

Rádio: O principal traçador em rádio é a linha de 21cm do hidrogênio neutro. Como o hidrogênio neutro existe em grande abundância na Galáxia, essa linha é observada em todas as direções.

- Observações de 2008 são consistentes com a presença de apenas 2 braços espirais.
- Estudo de 2010 sugere somente 2 braços.

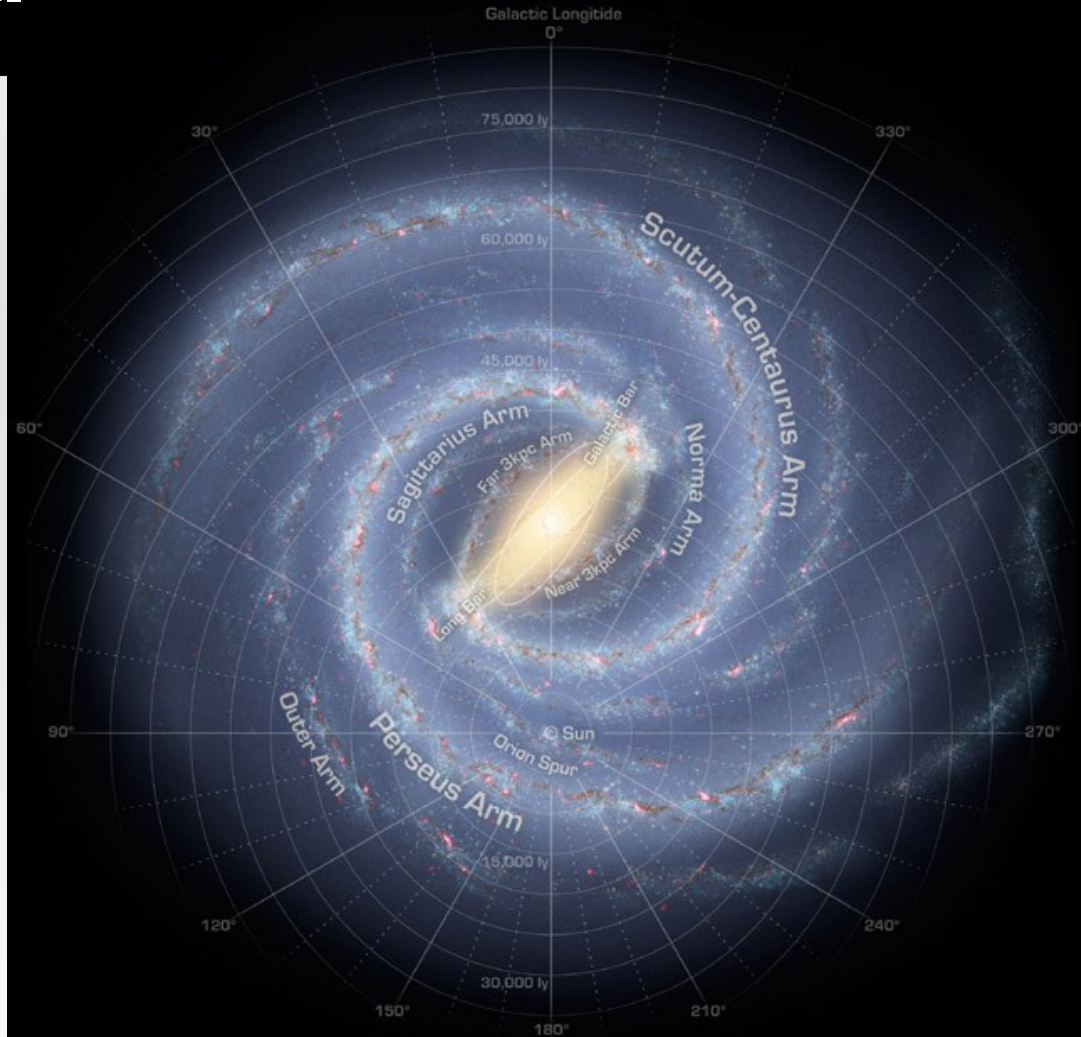


# Estrutura espiral



Scutum-Centaurus

Perseus

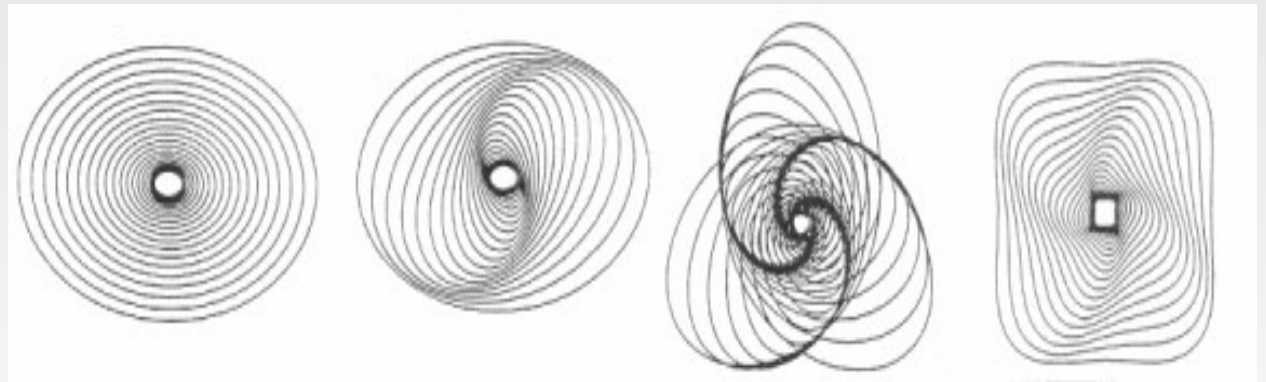
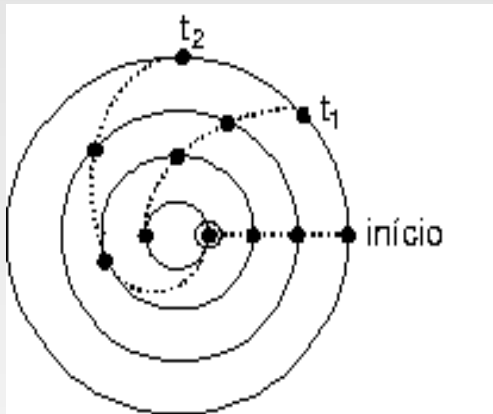


**Annotated Roadmap to the Milky Way**  
[artist's concept]



# A causa da estrutura espiral

A idéia inicial a respeito disso era de que os braços espirais seriam braços materiais formados pela rotação diferencial. O Sol já deu aproximadamente 20 voltas em torno do centro da galáxia e com isso os braços deveriam estar mais enrolados do que as observações indicam.

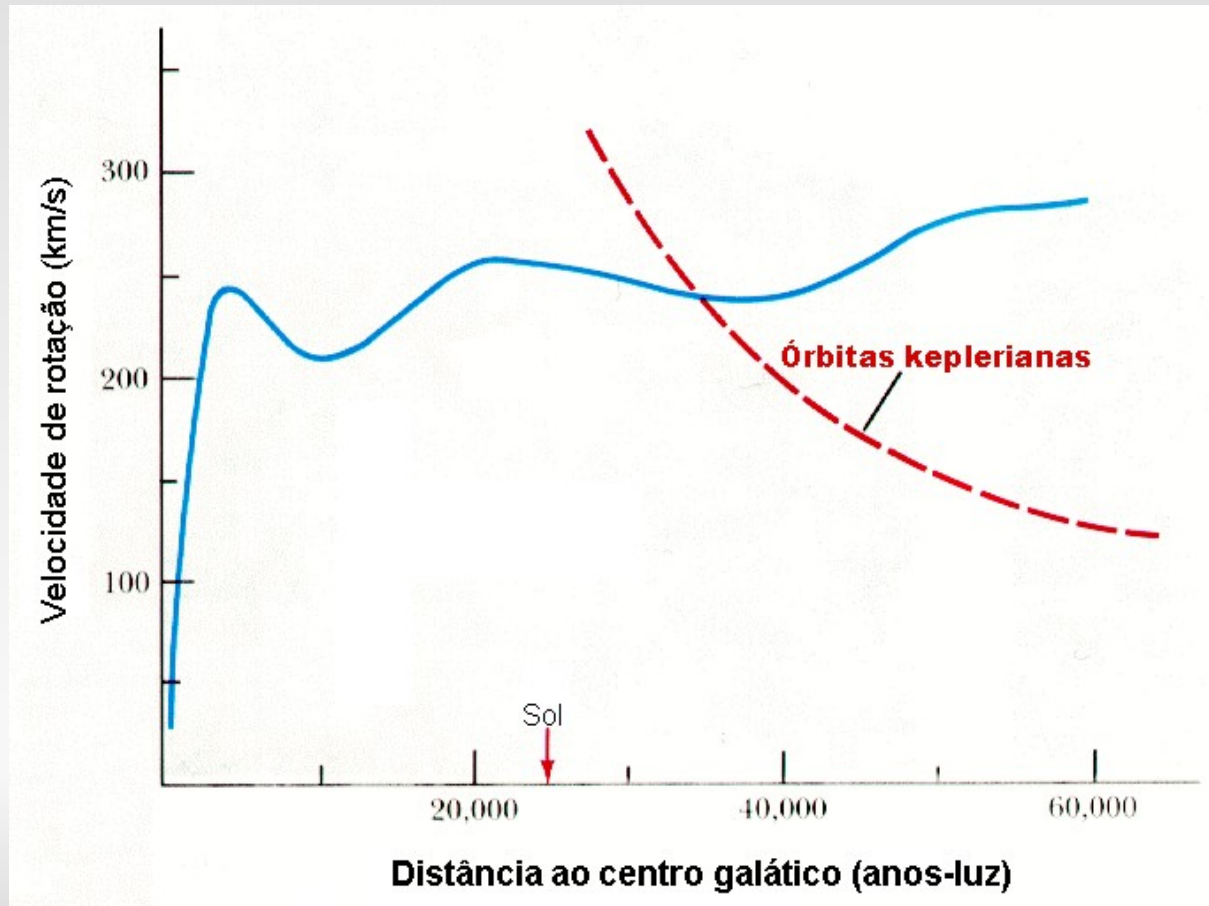


**Teoria de ondas de densidade:** A estrutura espiral é suposta como uma variação da densidade do disco em forma de onda, uma onda de compressão. Quando o gás passa pela onda, ele é comprimido fortemente até que a gravitação interna cause o colapso e a formação de estrelas.

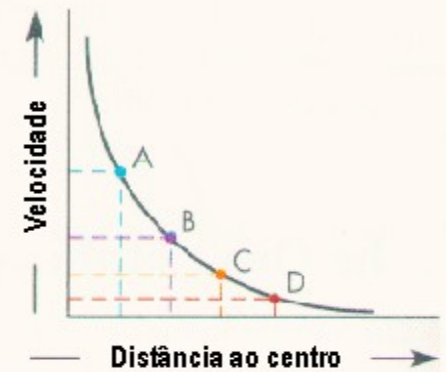
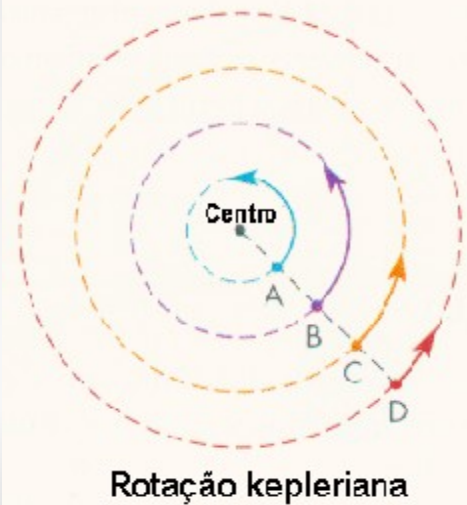
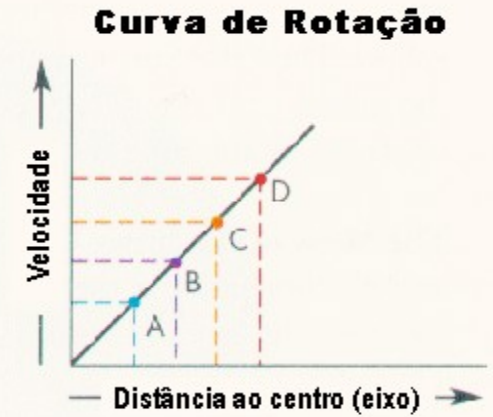
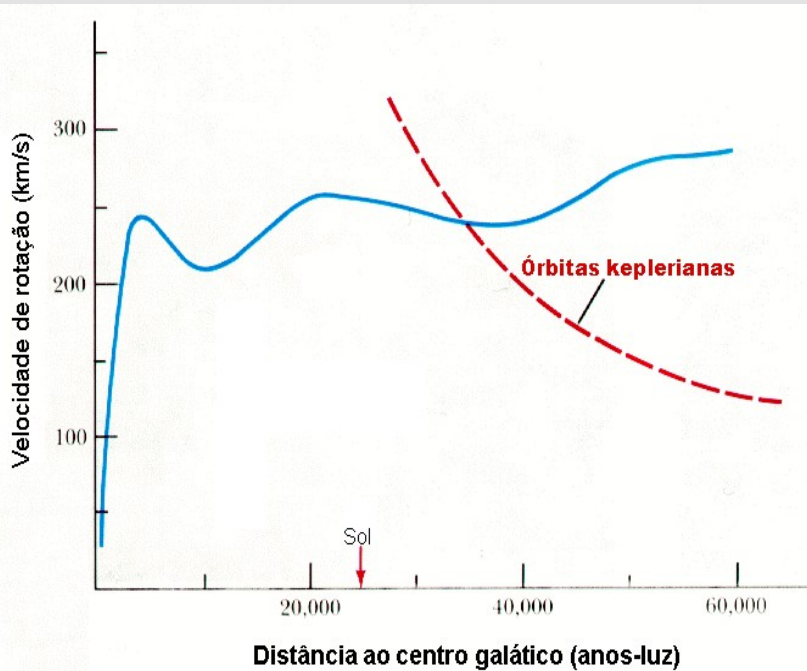
# A massa da galáxia

O Sol, as outras estrelas, as nebulosas gasosas, e tudo o que faz parte da galáxia, gira em torno do centro galáctico.

A curva azul mostra a velocidade de rotação observada, enquanto a curva pontilhada vermelha a curva esperada se a massa estivesse concentrada onde a luz está.



# A massa da galáxia



# A massa da galáxia

Observando o movimento de rotação de uma estrela na periferia da galáxia, podemos determinar aproximadamente a massa da Galáxia,  $M_G$ , desde que saibamos a distância dessa estrela ao centro galáctico.

**Tomando como referência o Sol:** A força centrípeta do Sol é

$$F_C = \frac{M_{\odot} v_{\odot}^2}{R_{\odot}}$$

que é produzida pela atração gravitacional entre o Sol e Galáxia, dada por

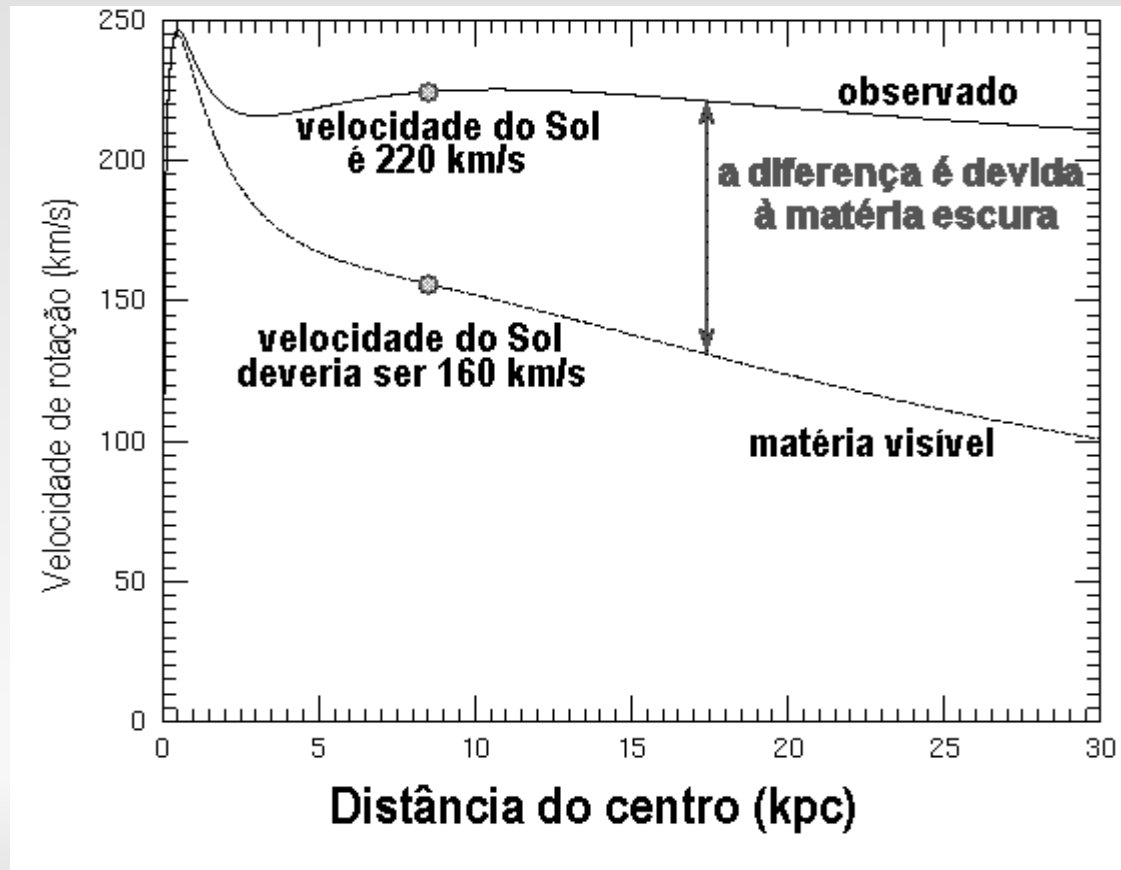
$$F_G = \frac{GM_{\odot}M_G}{R_{\odot}^2} \quad \text{fazendo } F_C = F_G, \text{ obtemos}$$

$$M_G = \frac{v_{\odot}^2 R_{\odot}}{G} = \frac{(2,20 \times 10^5 \text{ m/s})^2 (2,2 \times 10^{20} \text{ m})}{6,7 \times 10^{-11} \text{ m}^3/(\text{kg} \cdot \text{s}^2)} \quad \sim 80 \text{ bilhões de massas solares}$$

Massa contida dentro da órbita do Sol em torno do centro Galáctico

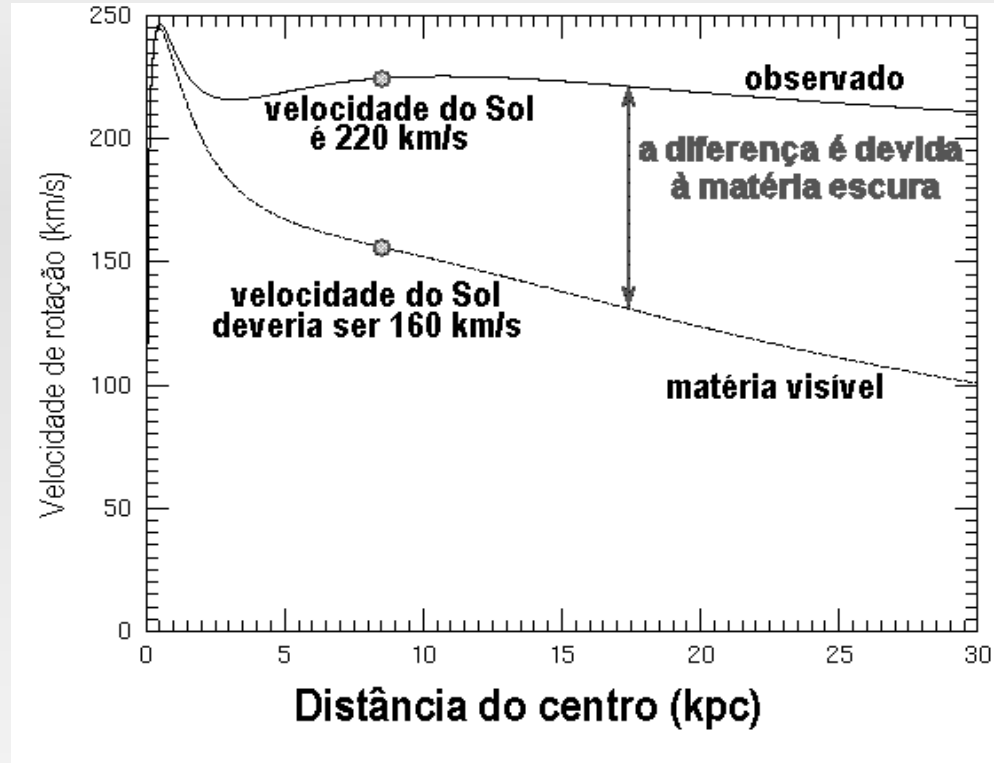
# A curva de rotação da galáxia

Para conhecer a massa existente além da órbita do Sol, é necessário medir o movimento de estrelas e do gás localizados a distâncias maiores do centro Galáctico do que o Sol.



# A curva de rotação da galáxia

A distância de 15 kpc corresponde ao limite da estrutura espiral visível da Galáxia e era de se esperar que, a partir desse ponto, a curva de rotação passasse a decrescer, pois se a maior parte da massa da Galáxia estivesse contida até esse raio, o movimento das estrelas e do gás situados mais distantes deveria ser cada vez mais lento, da mesma forma que a velocidade dos planetas diminui à medida que aumenta sua distância ao Sol.

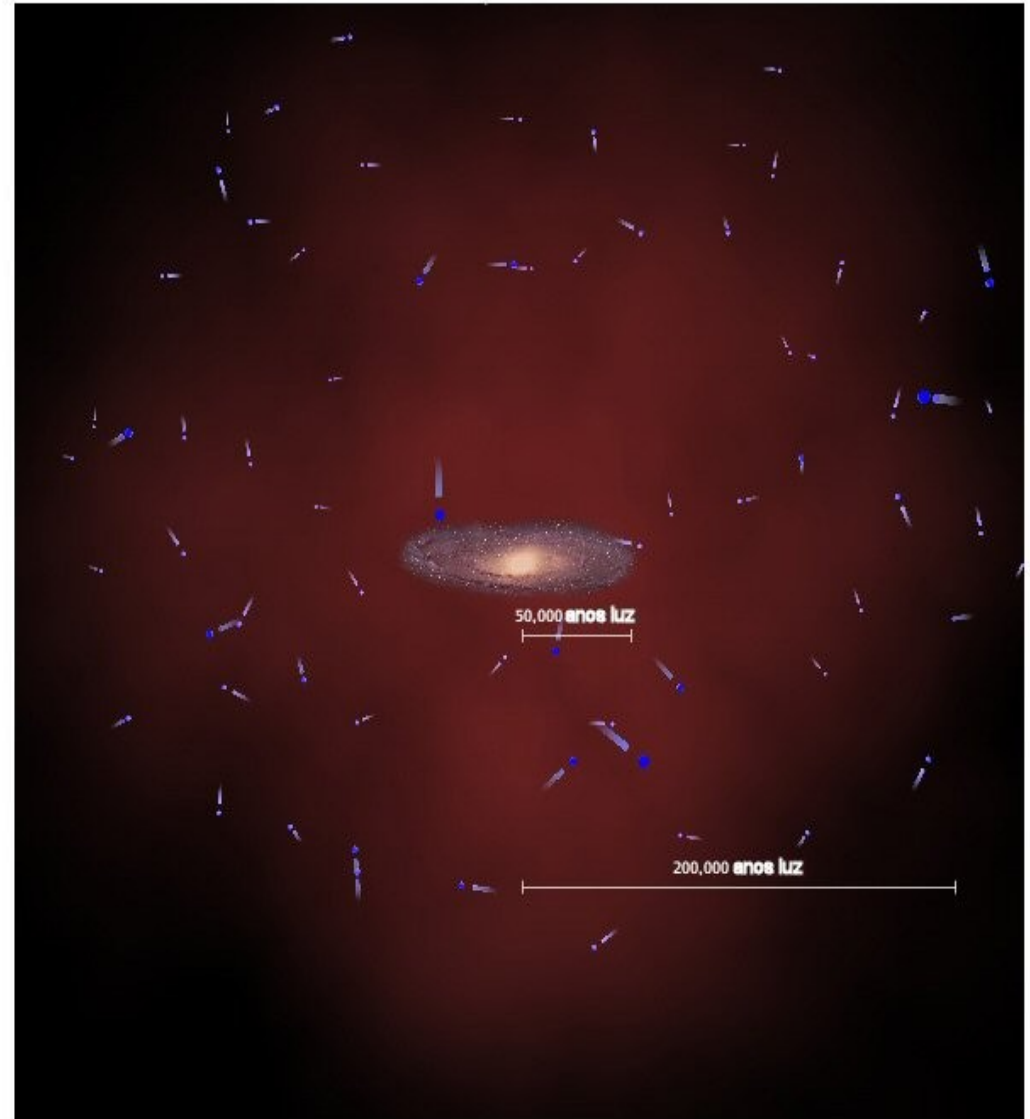


Pelo contrário, a curva de rotação aumenta ligeiramente para distâncias maiores, o que implica que a quantidade de massa continua a crescer

**Conclusão:** A curva de rotação observada prova que existe matéria escura em nossa Galáxia e que ela é dominante (no mínimo 2/3 da massa total da Galáxia).

# A curva de rotação da galáxia

O astrônomo chinês Xiangxiang Xue liderou um grupo de astrônomos no estudo de 2401 estrelas azuis brilhantes distribuídas a até 60 kpc do centro de nossa Galáxia para medir a massa da Via Láctea,  $M(<60 \text{ kpc}) = (4,0 \pm 0,7) \times 10^{11} M_{\text{Sol}}$ , com o qual estimam a massa virial do halo de matéria escura como  $M = (1,0 \pm 0,3) \times 10^{12} M_{\text{Sol}}$ .





# Populações Estelares

Tabela 25.2: Sumário das propriedades das populações estelares

	População I	População II
Localização	disco e braços espirais	bojo e halo
Movimento	confinado ao plano órbitas quase circulares	se afastando do plano órbitas excêntricas
Idade	$\leq 8 \times 10^9$ anos	$\geq 8 \times 10^9$ anos
Abundância de elementos pesados	1 - 2 %	0,1 - 0,01%
Cor	azul	vermelha
Exemplos	estrelas O,B aglomerados abertos regiões HII	estrelas RR Lyrae aglomerados globulares nebulosas planetárias

**População I** são estrelas jovens, como o Sol, com menos de 7 bilhões de anos, ricas em metais

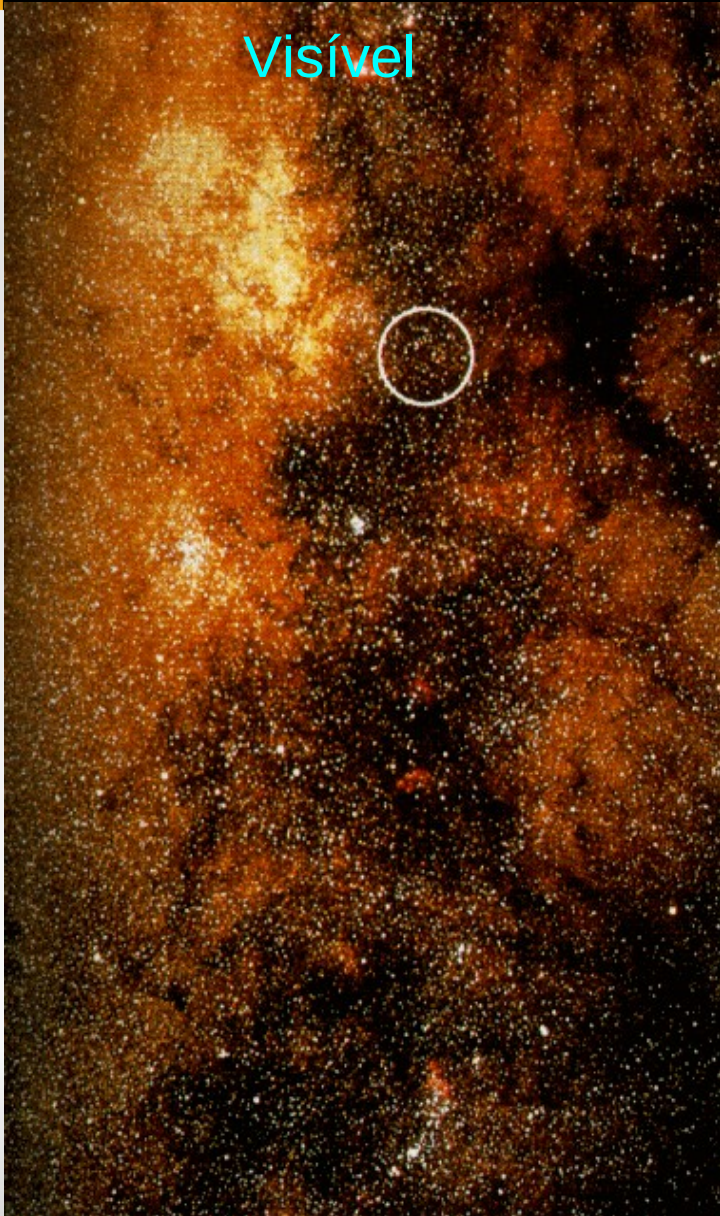
**População II** corresponde a estrelas velhas, com cerca de 10 bilhões de anos, e pobres em metais

**População III** são as primeiras estrelas formadas na galáxia



# O centro da galáxia

Visível



Infravermelho



O centro da Galáxia fica na direção da constelação de Sagitário, numa região com alta concentração de material interestelar que impede sua visualização a olho nu ou usando detectores óticos.

A melhor maneira de estudar o bojo central é usando **comprimentos de onda mais longos**, como **infravermelho e radio**, que atravessam mais livremente a poeira e o gás do disco.

# O centro da galáxia

Infravermelho



Rainer Schödel et al. (2002)

**Rádio:** um anel molecular de 3 kpc de diâmetro, envolvendo uma fonte brilhante de rádio, Sagitário A, que marca o centro.

**Infravermelho:** um grande aglomerado estelar, com uma densidade de estrelas de  $10^6 M_{\text{Sol}}/\text{pc}^3$ , um milhão de vezes mais densa do que nas proximidades do Sol.

O movimento do gás e das estrelas no núcleo indica que ali existe um objeto compacto, provavelmente um buraco negro com massa de 3,6 milhões de massas solares.

Raio X



**Raios X:** lugar violento, com flares diários, onde além do buraco negro central supermassivo, existe grande quantidade de gás ionizado, e centenas de anãs brancas, estrelas de nêutrons e buracos negros

Robert Irion (2003)