

A Via Láctea

Rogemar A. Riffel



Breve histórico

Via Láctea: Caminho esbranquiçado como Leite;

Galileo (Sec. XVII): multitude de estrelas;

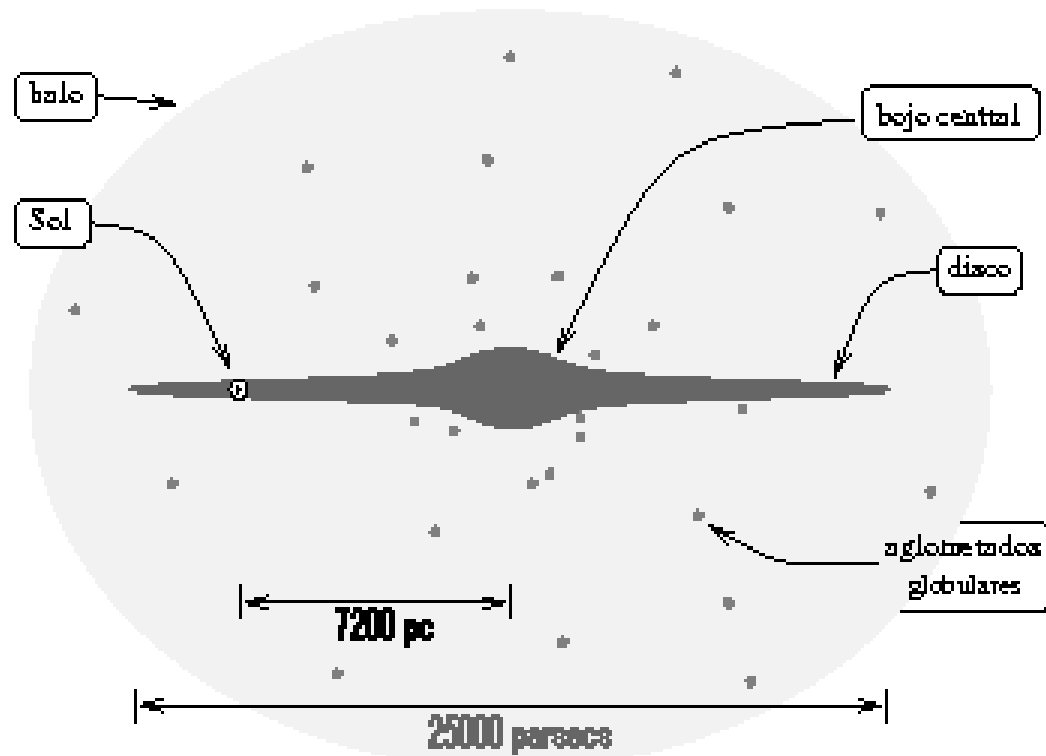
Herschel (XVIII): Sistema achatado (Sol ocupava a posição central da galáxia);

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° em relação ao Equador Celeste.

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

Longitude galáctica (l): distância angular medida ao longo do plano galáctico, variando de 0° a 360° 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.

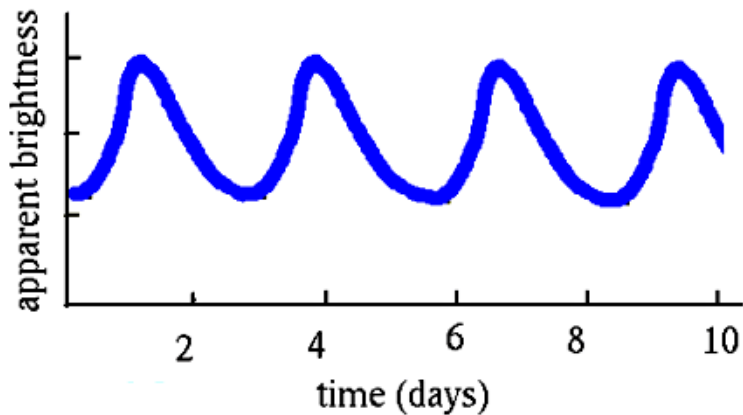
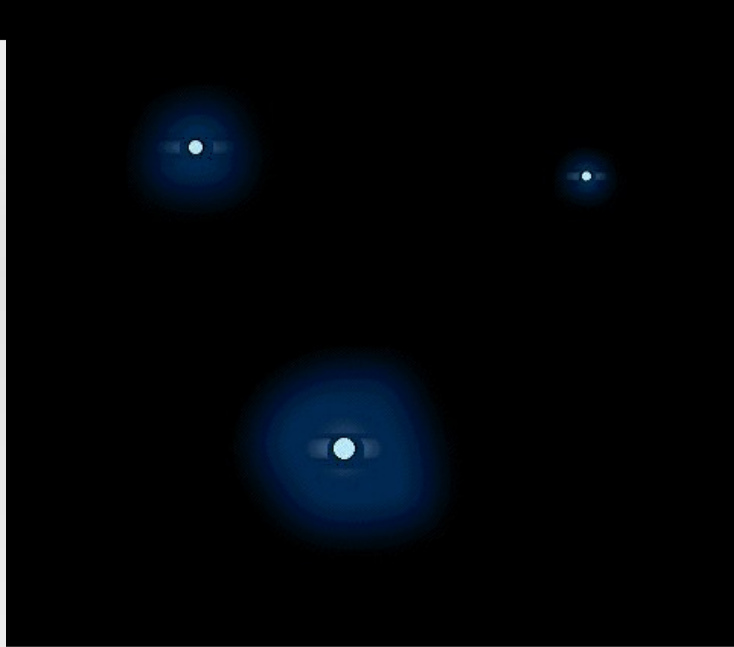
RR Lyrae: São estrelas evoluídas que estão começando a queimar hélio no núcleo. Seus períodos de pulsação são pequenos, entre 0,5 e 1 dia, com variação de magnitude menores do que uma magnitude.

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

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

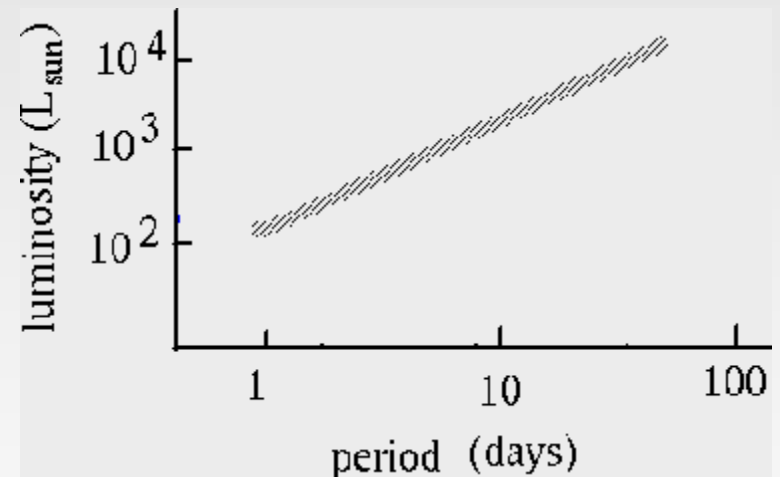
As variáveis Cefeidas são usadas para determinar distâncias de estrelas longínquas da nossa Galáxia, e distâncias de outras Galáxias.

Estrelas Cefeidas



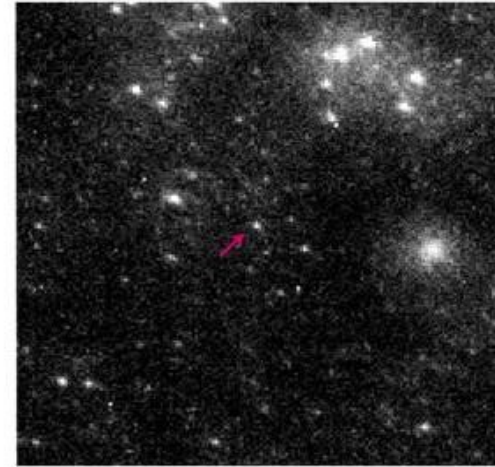
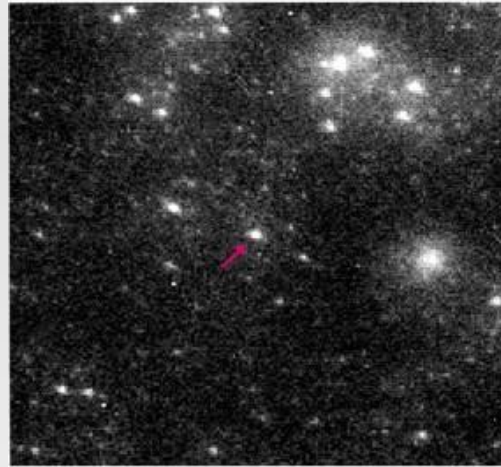
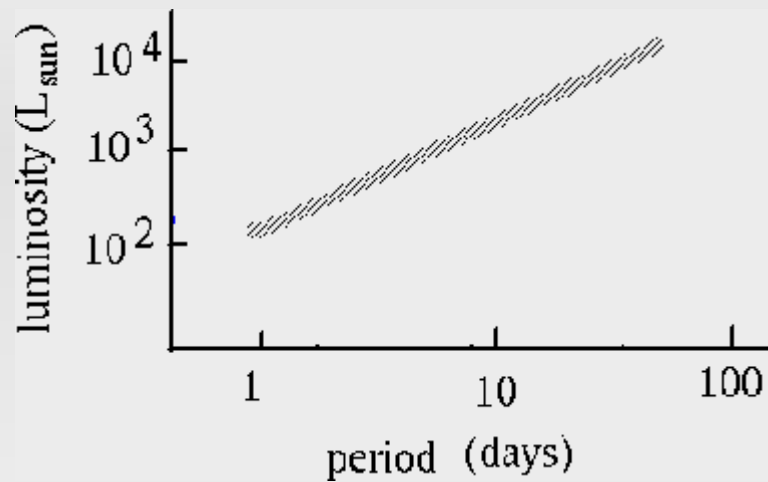
Curva de luz

São estrelas que expandem e contraem **periodicamente** as camadas mais externas de sua atmosfera o que produz variações de emissão 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 a luminosidade (I) 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) A luminosidade observada $I \sim L/d^2$
- 4) A distância $d \sim (L / I)^{1/2}$

Distâncias dentro da galáxia

RESUMO

Distância de Alcance

1 UA

500 pc

10 000 pc

4 Mpc

Método

radar

paralaxe heliocêntrica

paralaxe espectroscópica

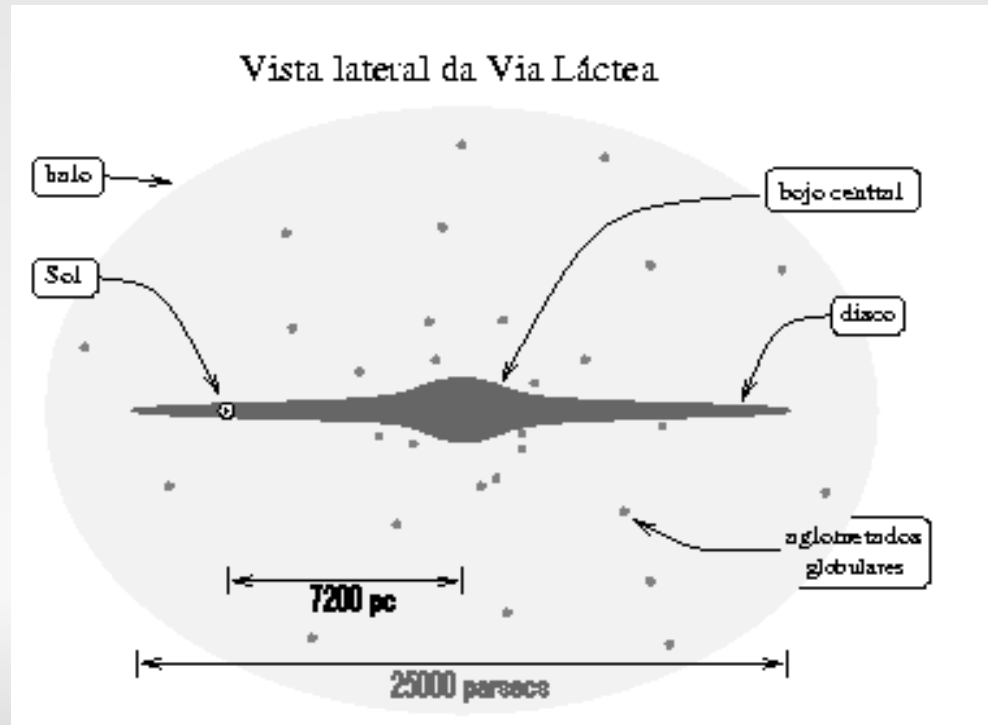
estrelas variáveis

Forma e tamanho da Via Láctea

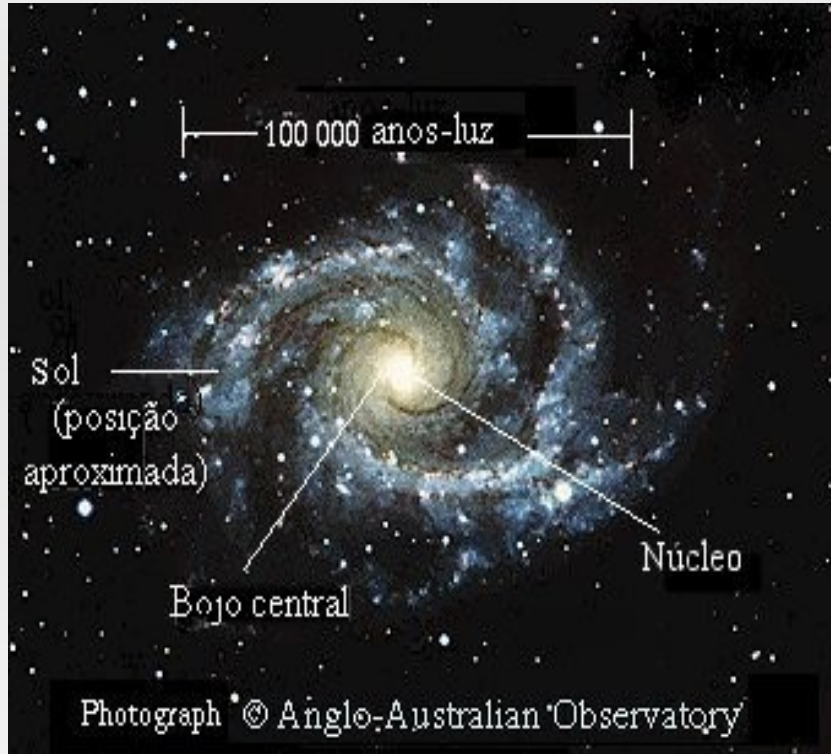
Nossa Galáxia tem a forma de um disco circular, com diâmetro de cerca de 25 000 pc (100 000 anos-luz) e espessura de 300 pc aproximadamente.

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, e brilha por fluorescência.



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.

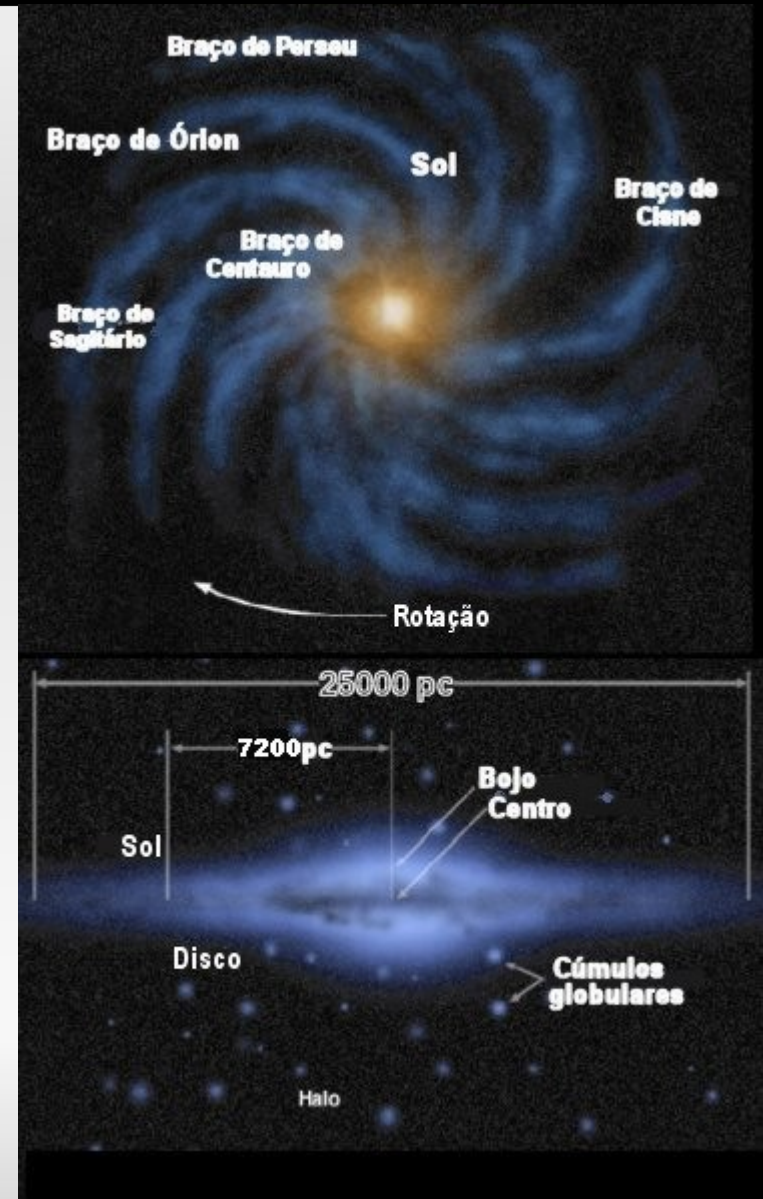
Estrutura espiral

Mapeadores da estrutura espiral:

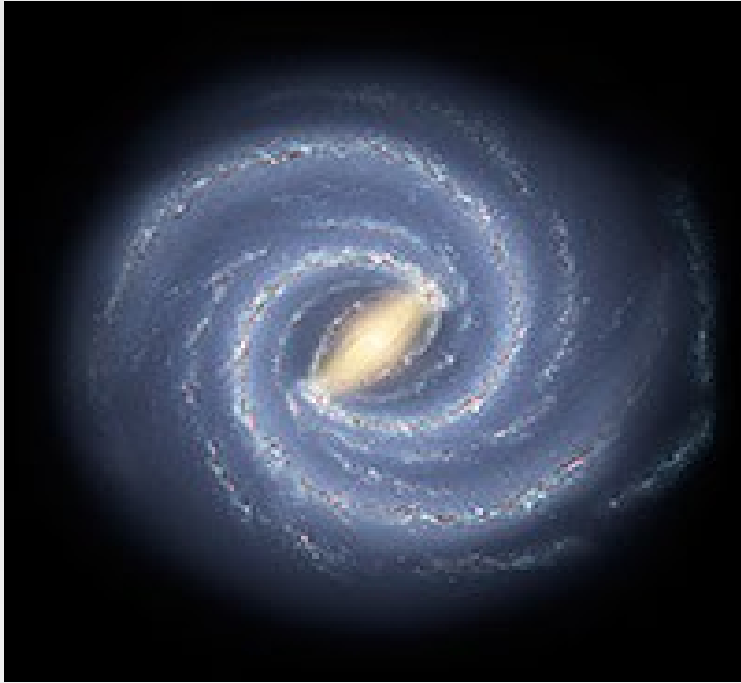
Óticos: objetos brilhantes como estrelas OB, regiões HII e estrelas cefeidas variáveis.

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.

O número de braços espirais ainda é não é bem conhecido. Observações de 2008 são consistentes com a presença de apenas 2 braços espirais.

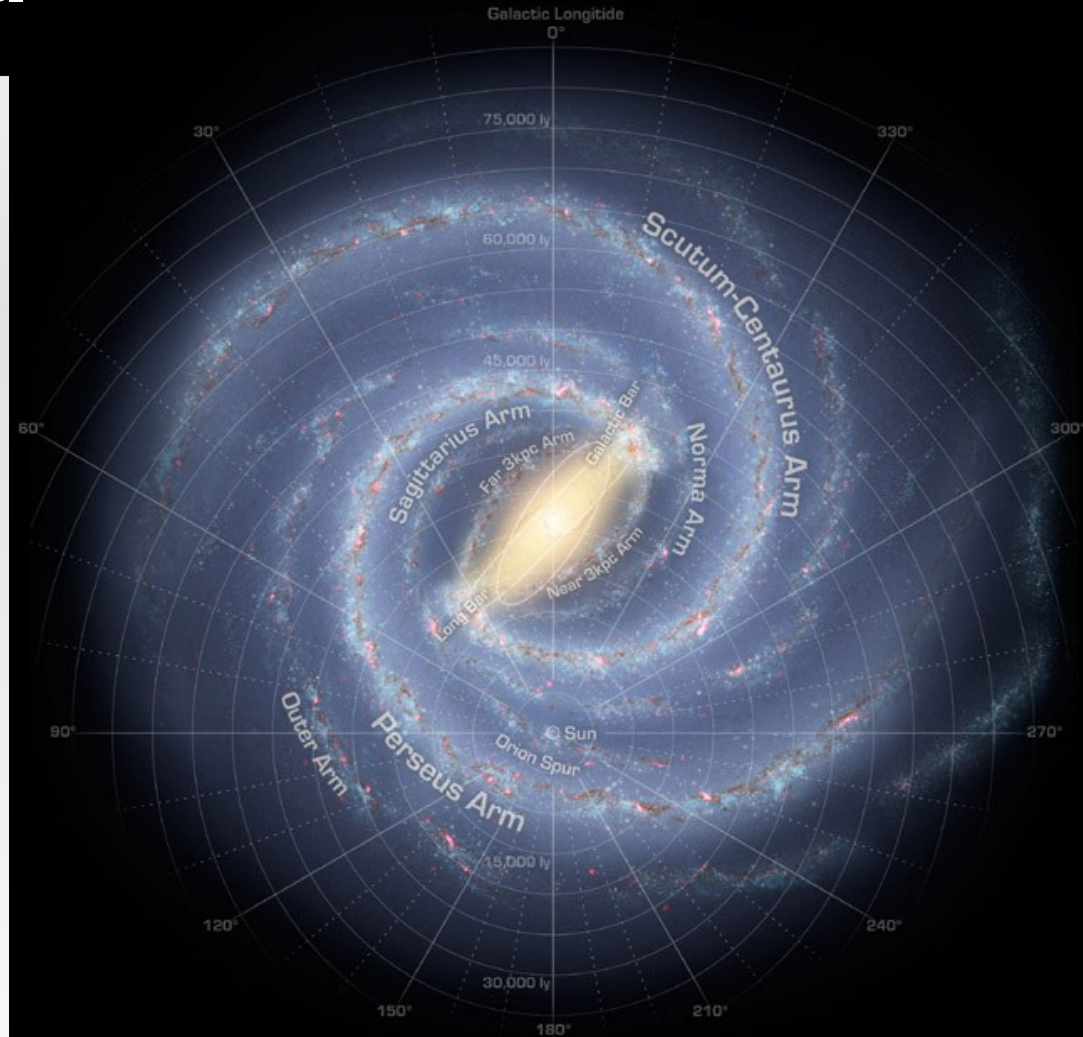


Estrutura espiral



Scutum-Centaurus

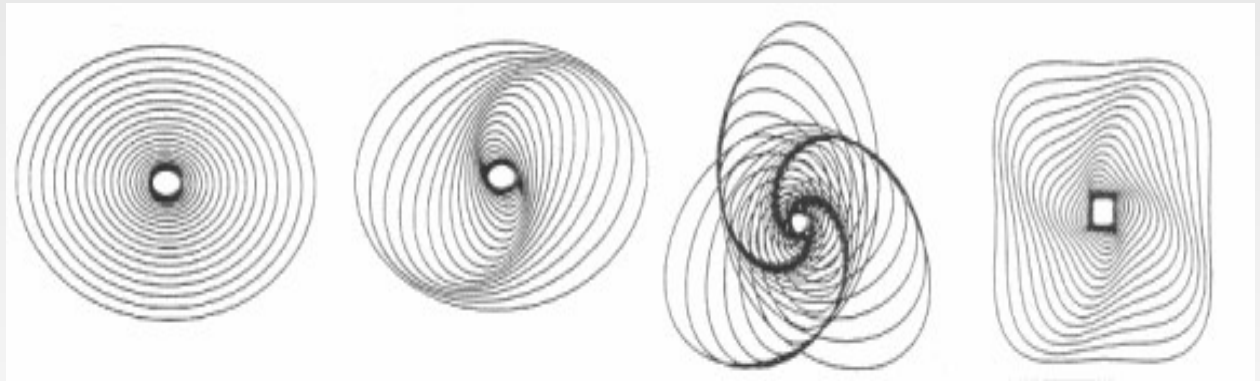
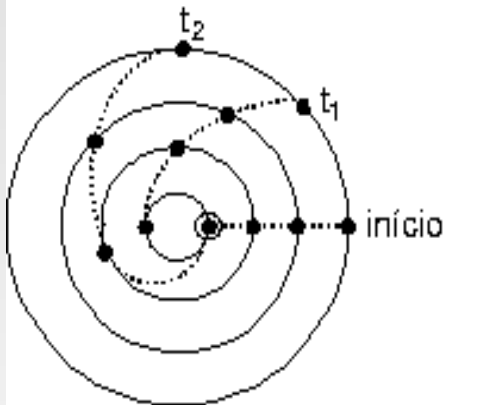
Perseus



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.

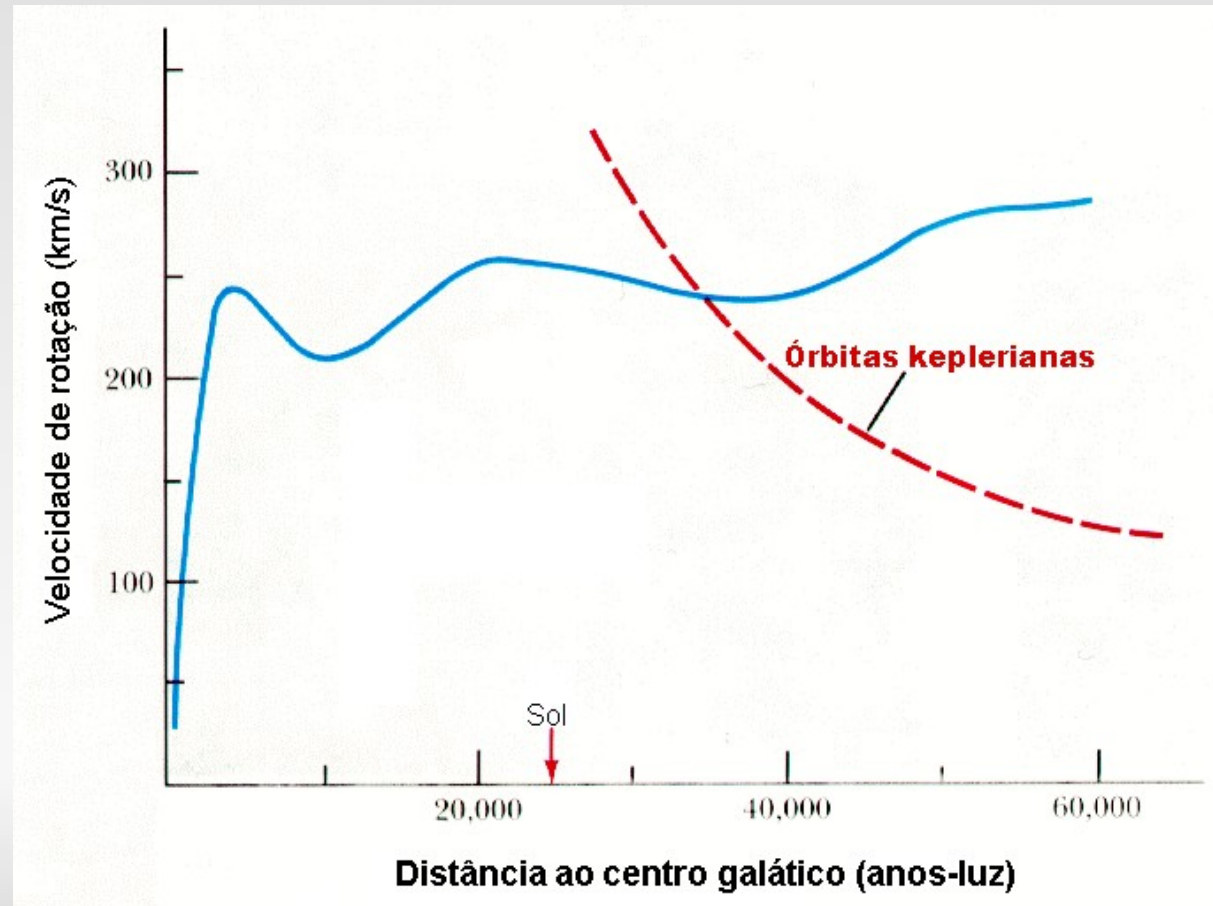


Teoria de ondas de densidade: A estrutura espiral é suposta como uma variação da densidade do disco em forma de onda, uma onda de compressão. Quando o gás passa pela onda, ele é comprimido fortemente até que a gravitação interna cause o colapso e a formação de estrelas.

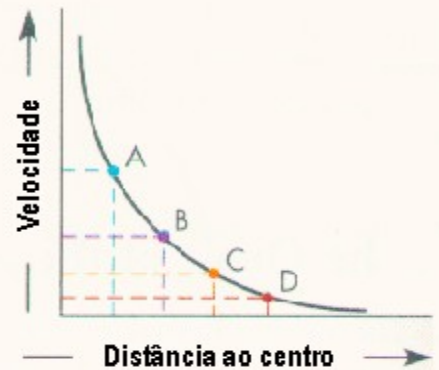
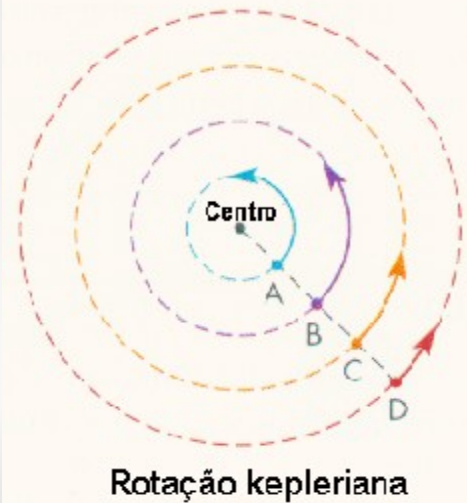
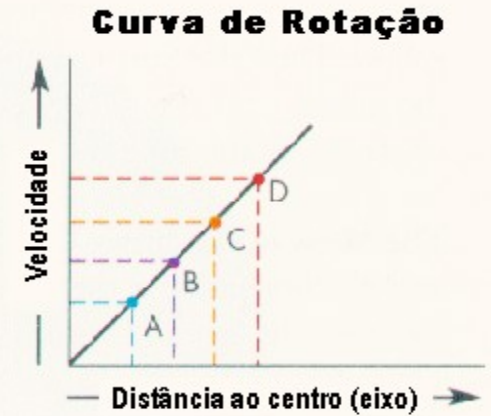
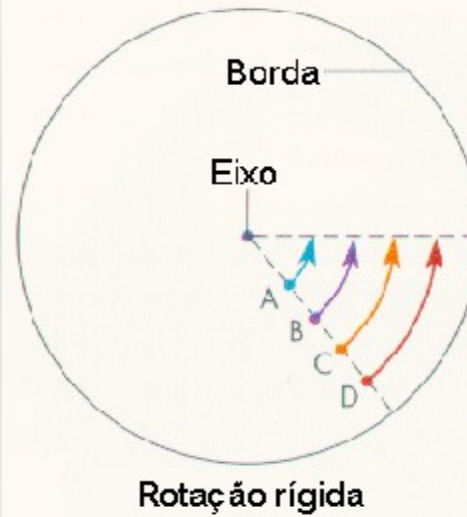
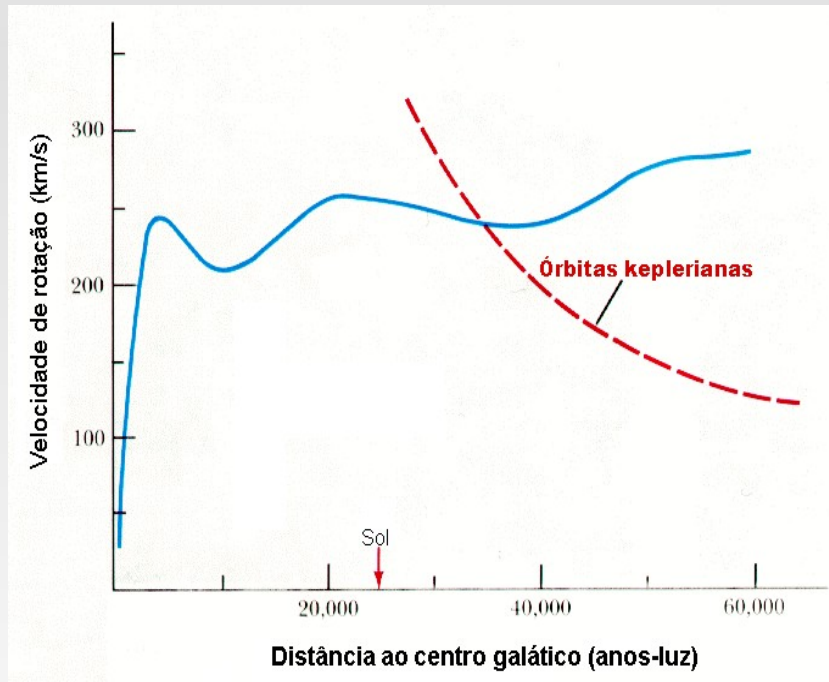
A massa da galáxia

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

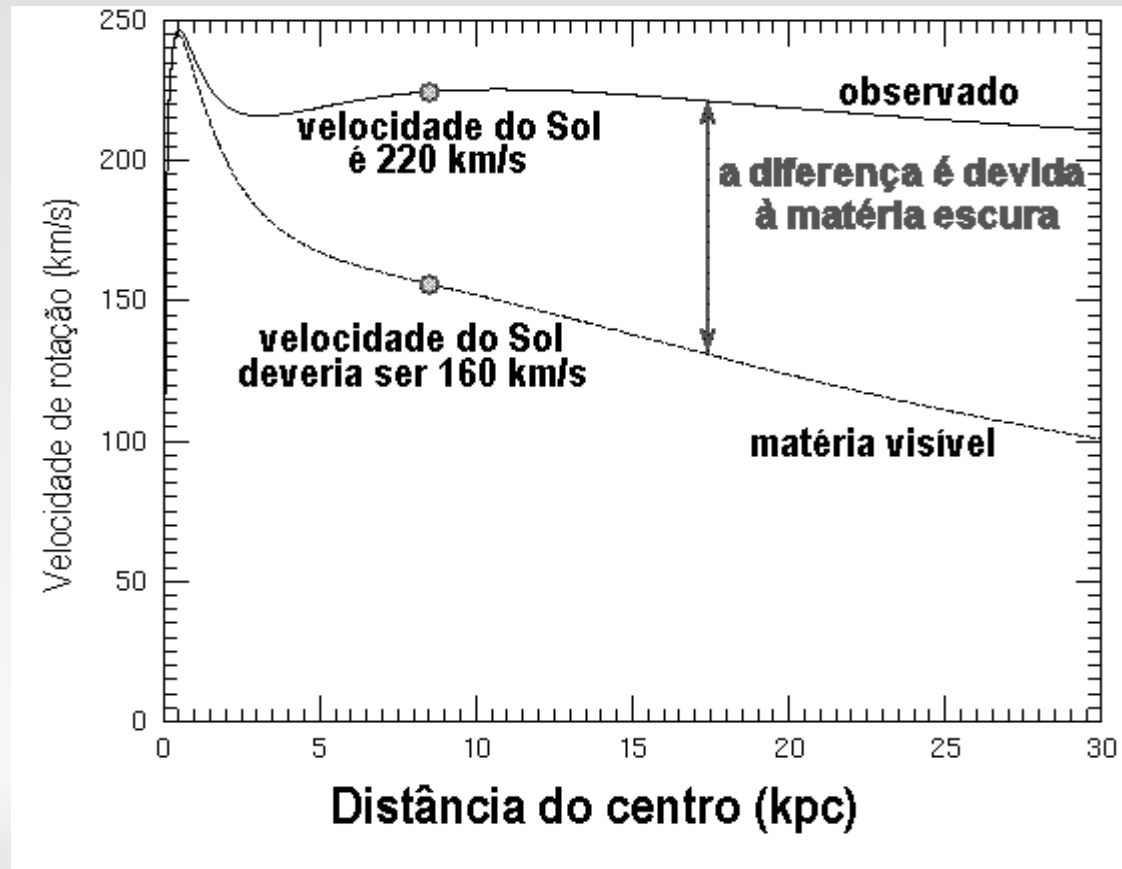
$$F_G = \frac{GM_{\odot}M_G}{R_{\odot}^2} \quad \text{fazendo } F_c = F_G, \text{ obtemos}$$

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

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

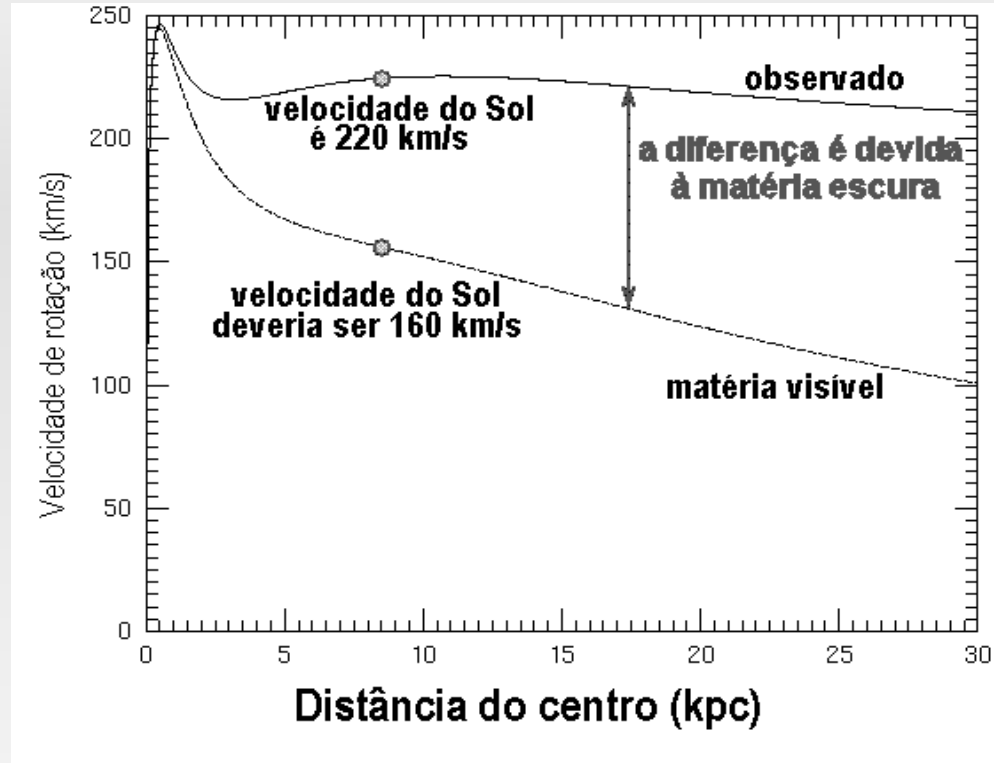
A curva de rotação da galáxia

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.

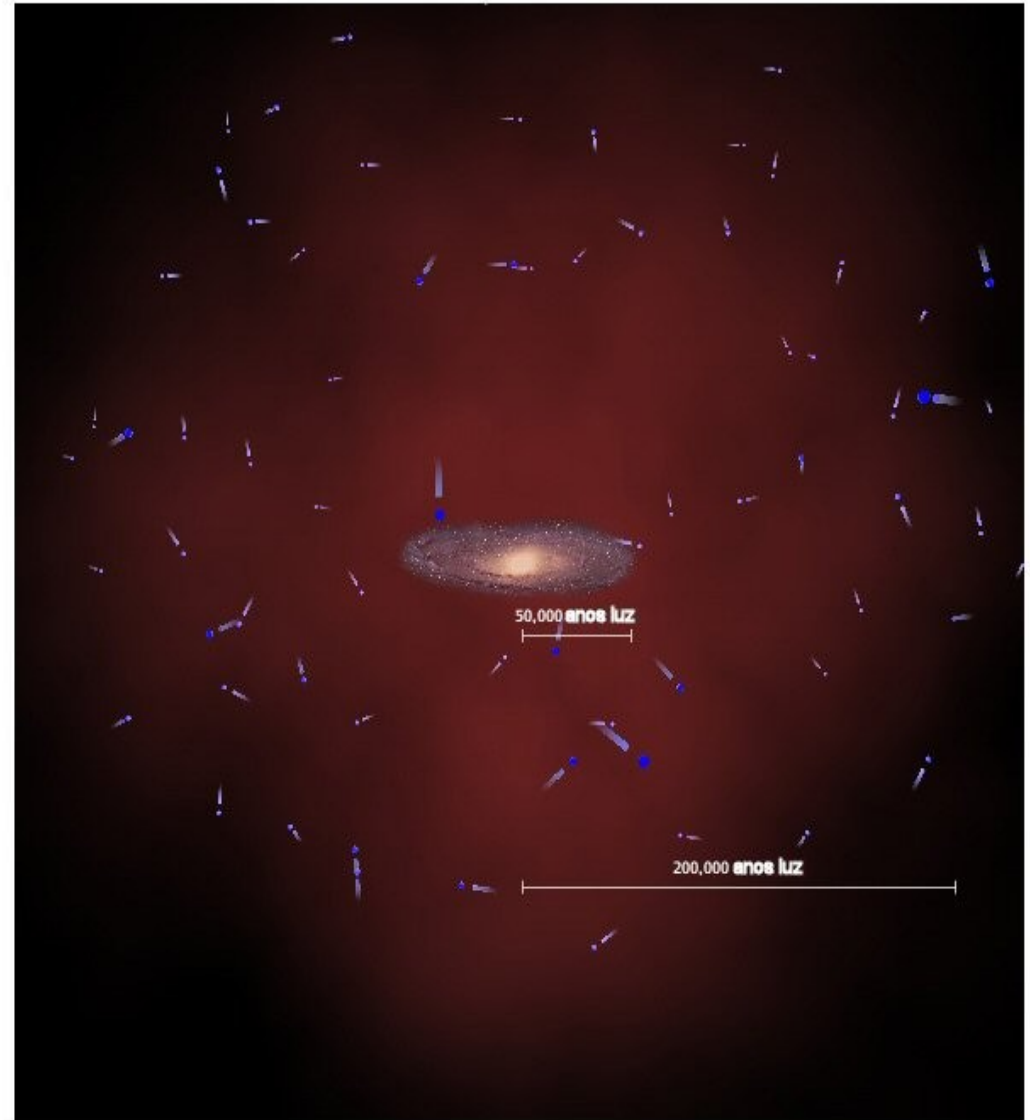


Pelo contrário, a curva de rotação aumenta ligeiramente para distâncias maiores, o que implica que a quantidade de massa continua a crescer

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

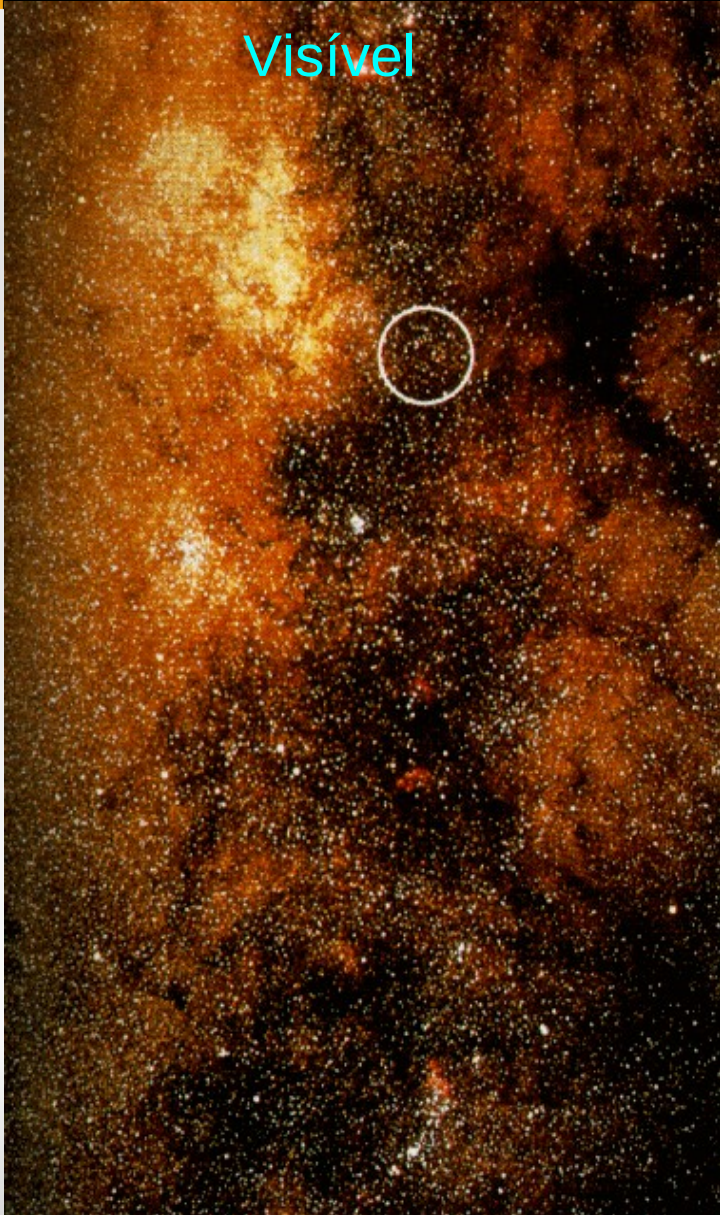
População I são estrelas jovens, como o Sol, com menos de 7 bilhões de anos, ricas em metais

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)