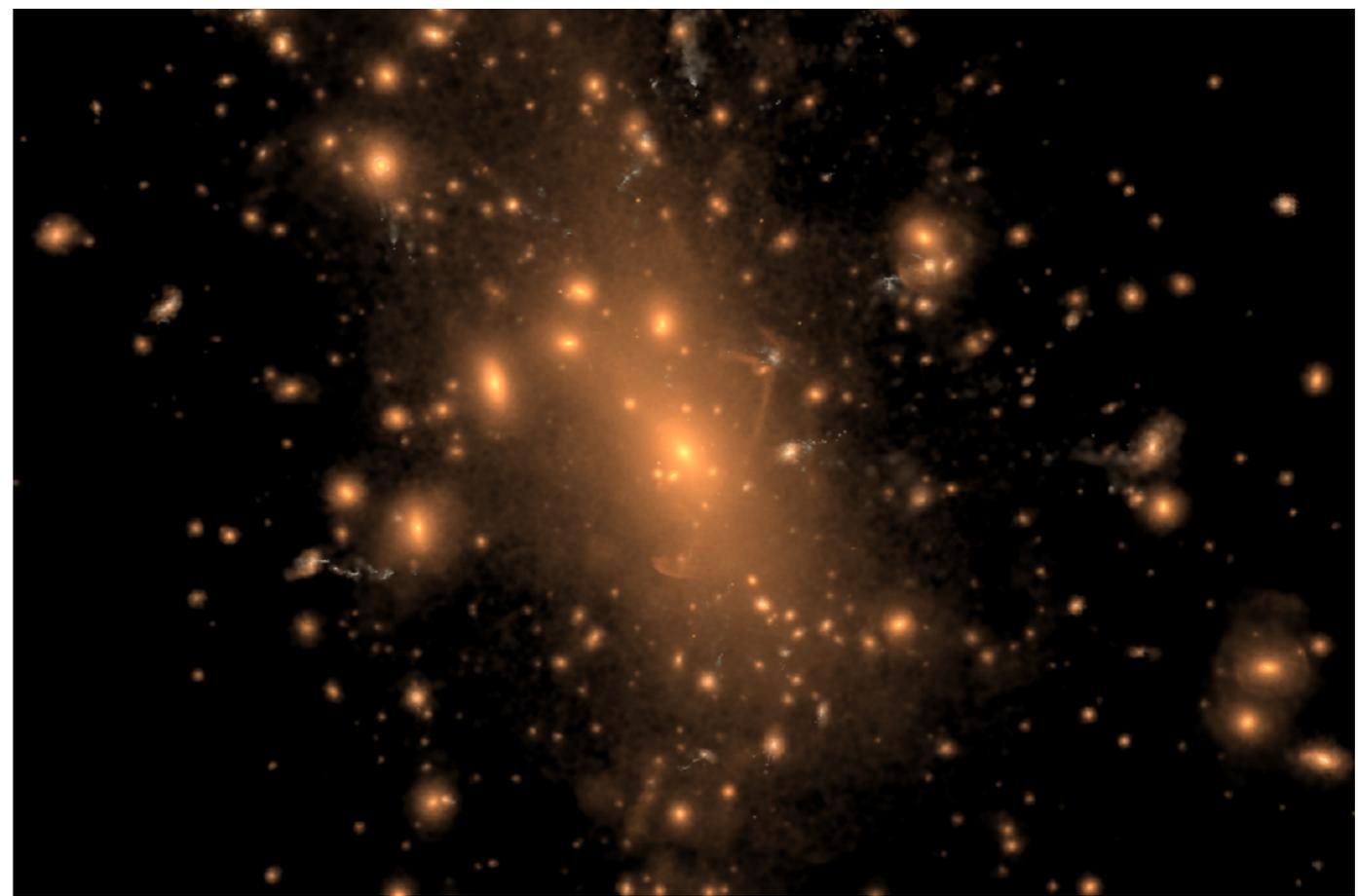


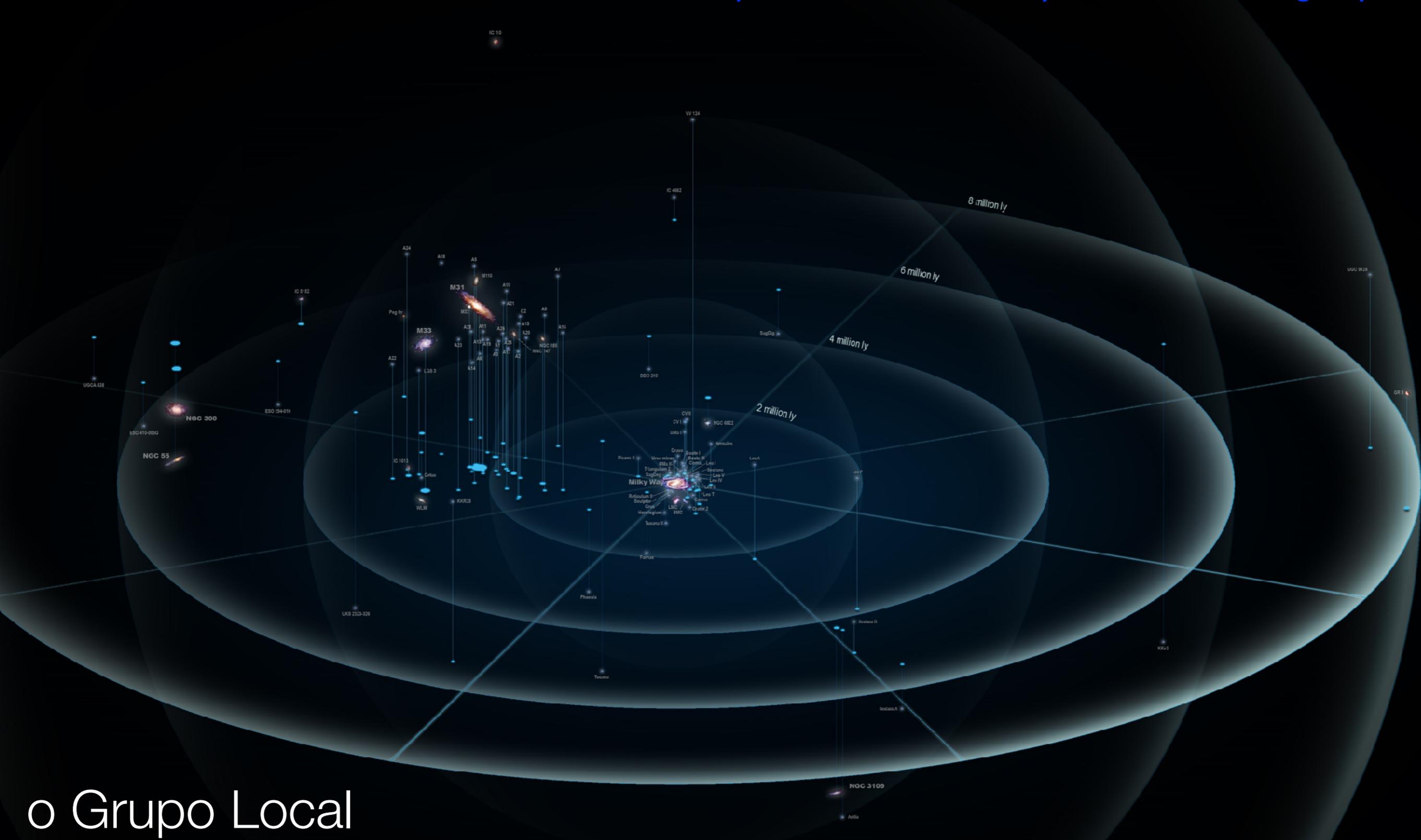
Large scale projection through the Illustris volume at $z=0$, centered on the most massive cluster, 15 Mpc/h deep. Shows dark matter density overlaid with the gas velocity field.



Stellar light distribution (rest-frame B,g,r band composites) of the most massive cluster in the simulation volume, at $z=0$.

Distribuição de galáxias no Universo

Imagens de <http://www.illustris-project.org/media/>



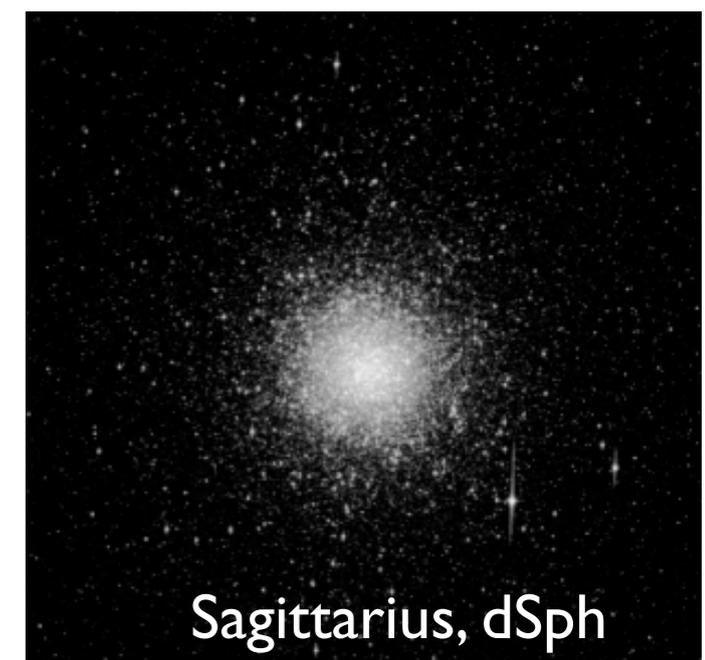
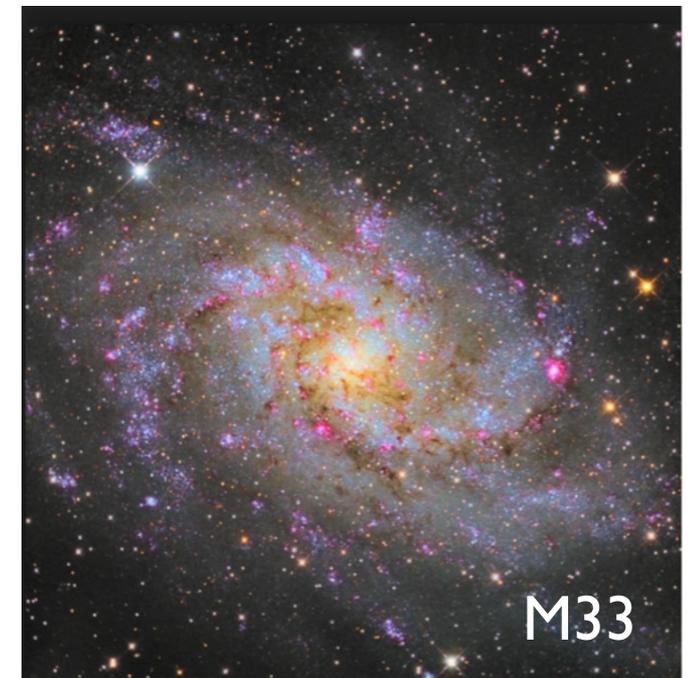
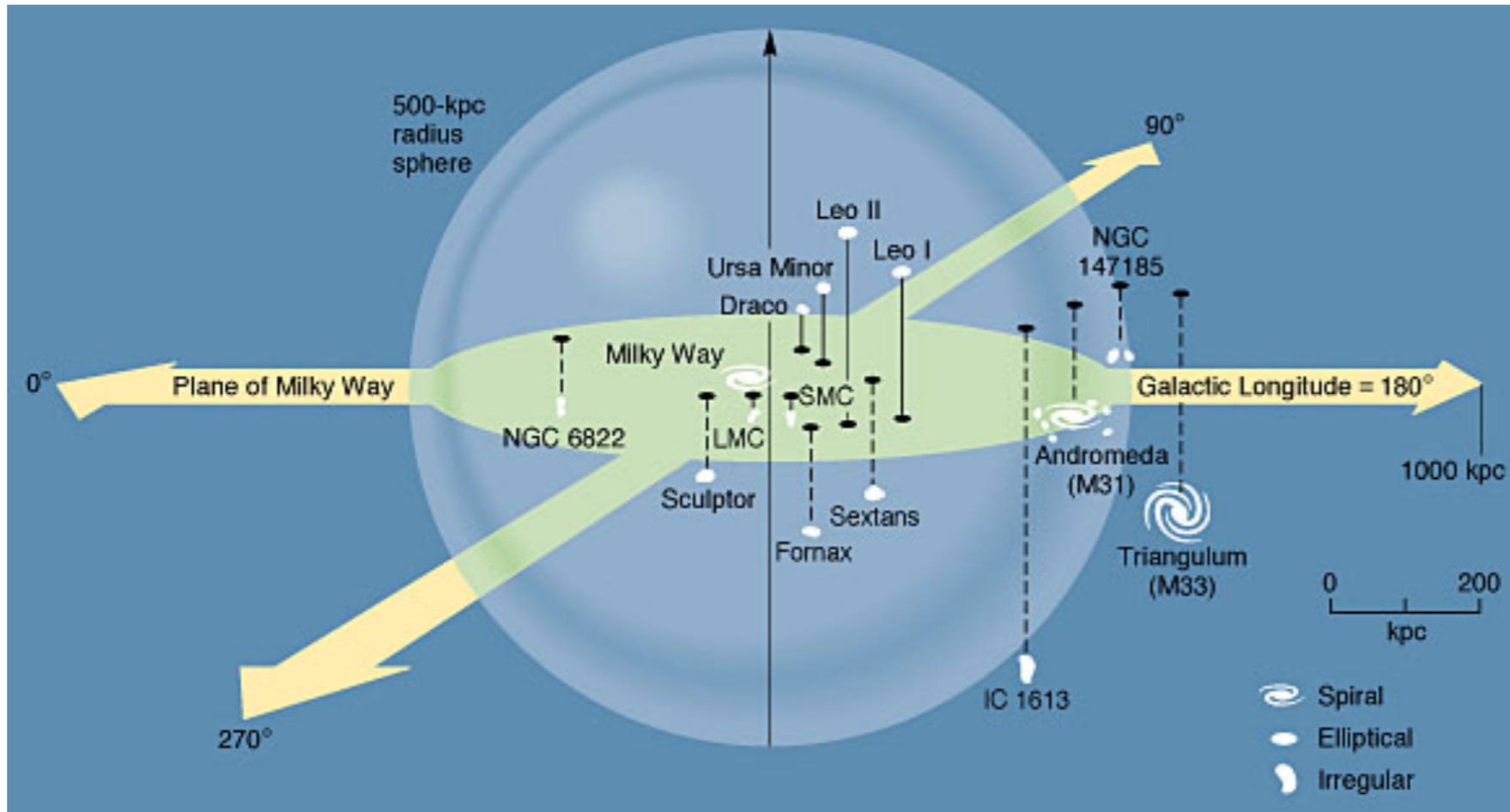
o Grupo Local

Capítulo 4 do livro-texto.

Profa. Paula R.T. Coelho

AGA0299 - Astrofísica Galáctica e Extra-galáctica

O Grupo Local (GL)



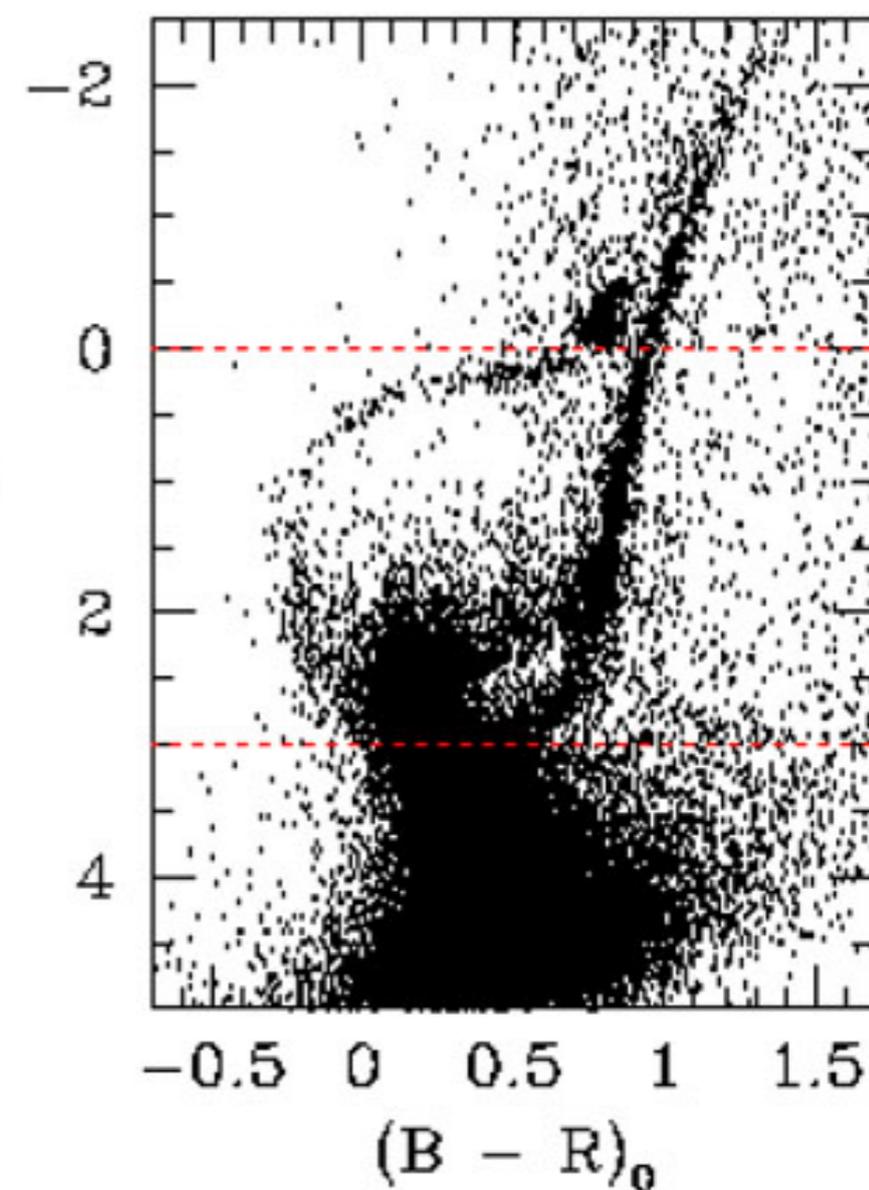
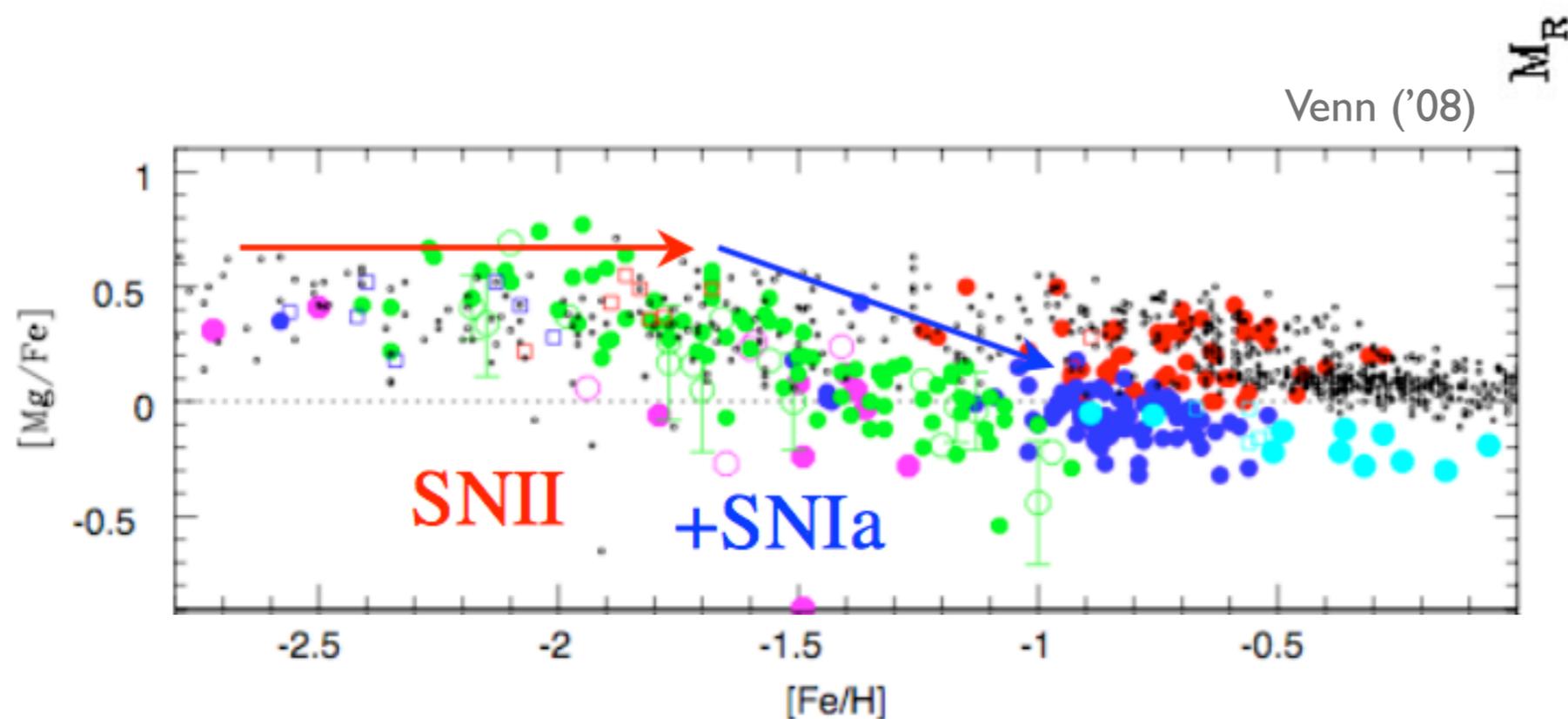
- Mais de 50 galáxias em volume ~ 1 Mpc de raio
- as 3 mais massivas são espirais (Galáxia, M31 $1.5L^*$ e M33 $0.2L^*$), que correspondem a 90% da L total do GL
- M32 é a única elíptica
- o restante são irregulares, anãs esferoidais e elípticas anãs

Grupo Local

- O centro de massa fica em algum ponto entre M31 e a Galáxia
- no GL, atração gravitacional mútua é forte o suficiente para superar a expansão do Universo => a Galáxia e M31 estão se aproximando a cerca de 120 km/s
- Rico em galáxias de tipo tardio e pobre em galáxias de tipo “cedo”: **é um padrão em grupos de galáxia, ao contrário de aglomerados**
- As galáxias tendem a se alinhar no *plano supergaláctico*, aproximadamente perpendicular ao plano galáctico
- Aglomerados de galáxias como Virgo e Coma parecem fazer parte de estruturas maiores
- GL faz parte do Superaglomerado de Virgo

Galáxias no Universo

- Cerca de metade das galáxias se encontra em aglomerados ou grupos
- A outra metade se encontra aproximadamente isolada ou associações menos ligadas ao longo de filamentos
- o GL é um ambiente galáctico típico
- Observações atuais podem resolver estrelas em galáxias do GL



CMD da Galáxia Carina (Tolstoy et al. 09)

Distâncias no GL

- (números desatualizados)
- RR Lyrae são usadas para medir distâncias a galáxias até 3 Mpc, Cefeidas até 30 Mpc
- RR Lyrae: estrelas de baixa massa queimando He no núcleo, períodos em torno de 10h
- Cefeidas: estrelas de alta massa queimando He no núcleo, períodos de 1 - 50 dias, relação período-luminosidade identificada pela primeira vez por Henrietta Leavitt em 1912, na LMC

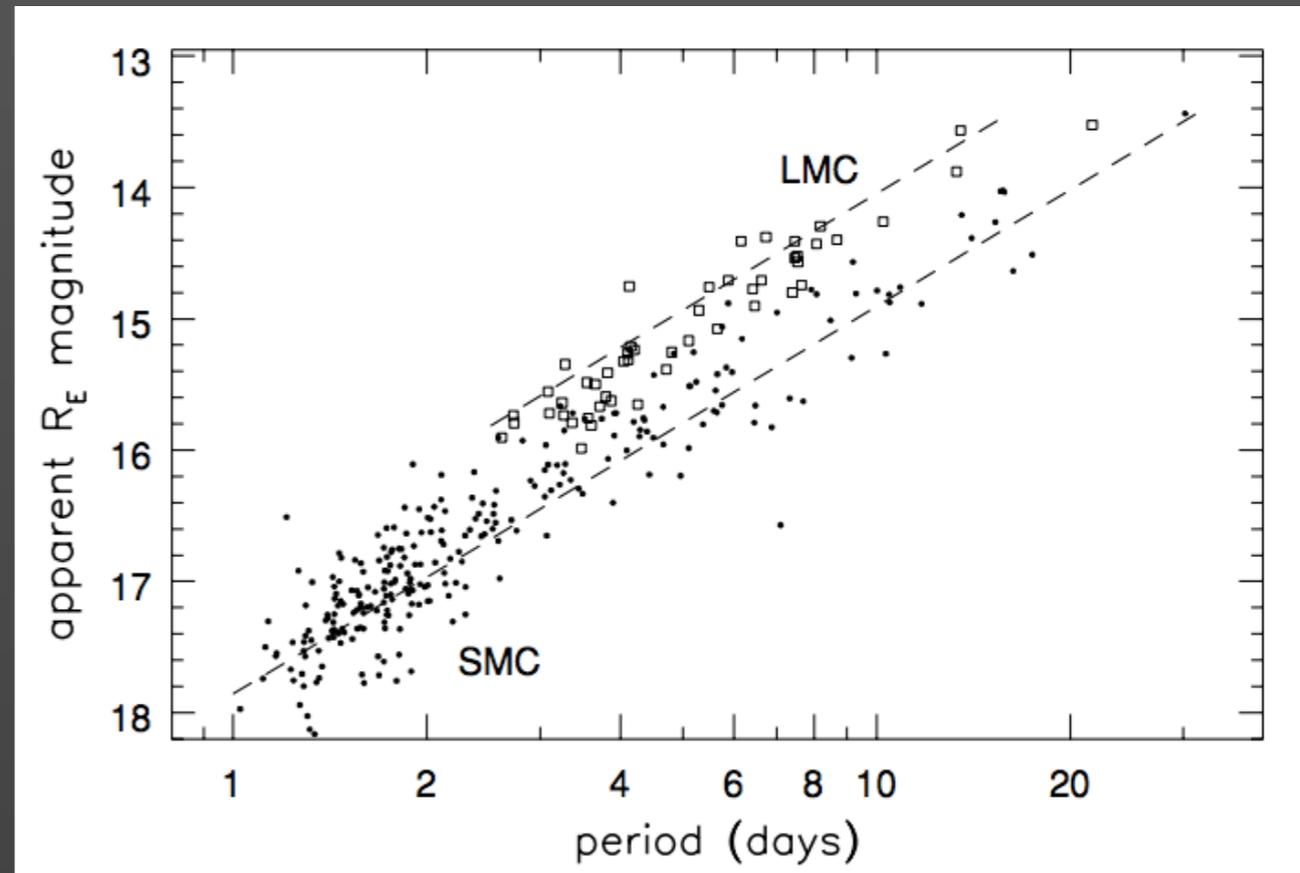


Fig. 4.7. Apparent magnitude and period in days, for Cepheids in the Large Magellanic Cloud (squares) and in the SMC (filled dots); dashed lines show mean period–luminosity relations – J.-P. Beaulieu.

As satélites da Galáxia

The proper motions of the stars in the LMC, as captured by the Gaia spacecraft (without color).

Copyright: ESA/Gaia/DPAC

<https://www.universetoday.com/139145/one-bonus-from-the-gaia-data-release-the-rotation-of-the-large-magellanic-cloud/>

Profa. Paula R. T. Coelho

AGA0299 - Astrofísica Galáctica e Extra-galáctica

Nossas galáxias satélites

- As duas mais proeminentes são as Nuvens de Magalhães
- As satélites esferoidais (dSph) são bastante difusas



LMC, apod/ap130528.html



Galáxia de Carina
wiki/Carina_Dwarf_Spheroidal_Galaxy



SMC, apod/ap100903.html

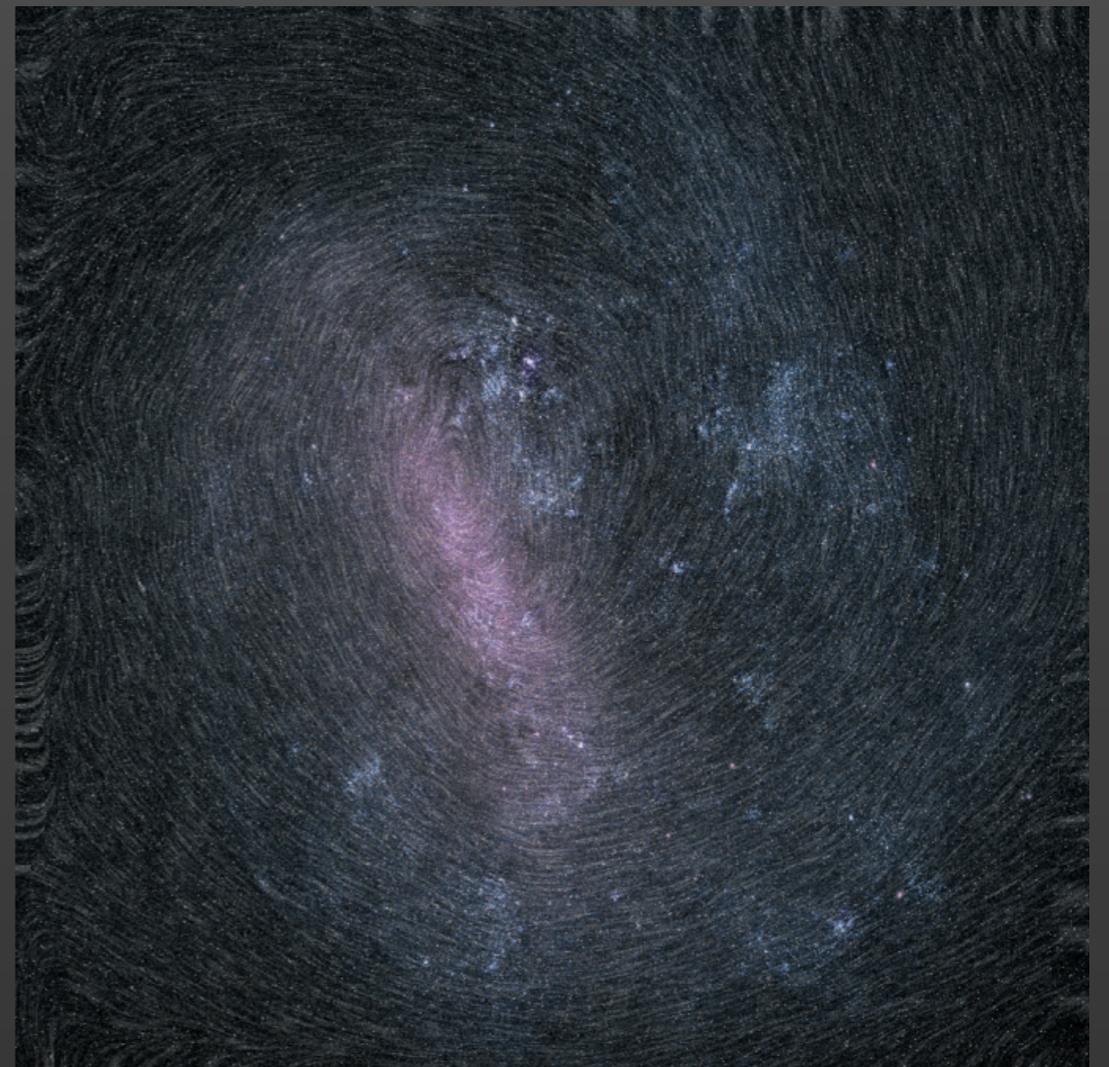
Grande Nuvem de Magalhães

- LMC é o protótipo das “espirais Magalhânicas”, Sm
- Disco + forte barra + 1 braço espiral curto
- Estrelas do disco orbitam um ponto ~1kpc ao NO da região mais brilhante

The proper motions of the stars in the LMC, as captured by the Gaia spacecraft (without color).

Copyright: ESA/Gaia/DPAC

<https://www.universetoday.com/139145/one-bonus-from-the-gaia-data-release-the-rotation-of-the-large-magellanic-cloud/>



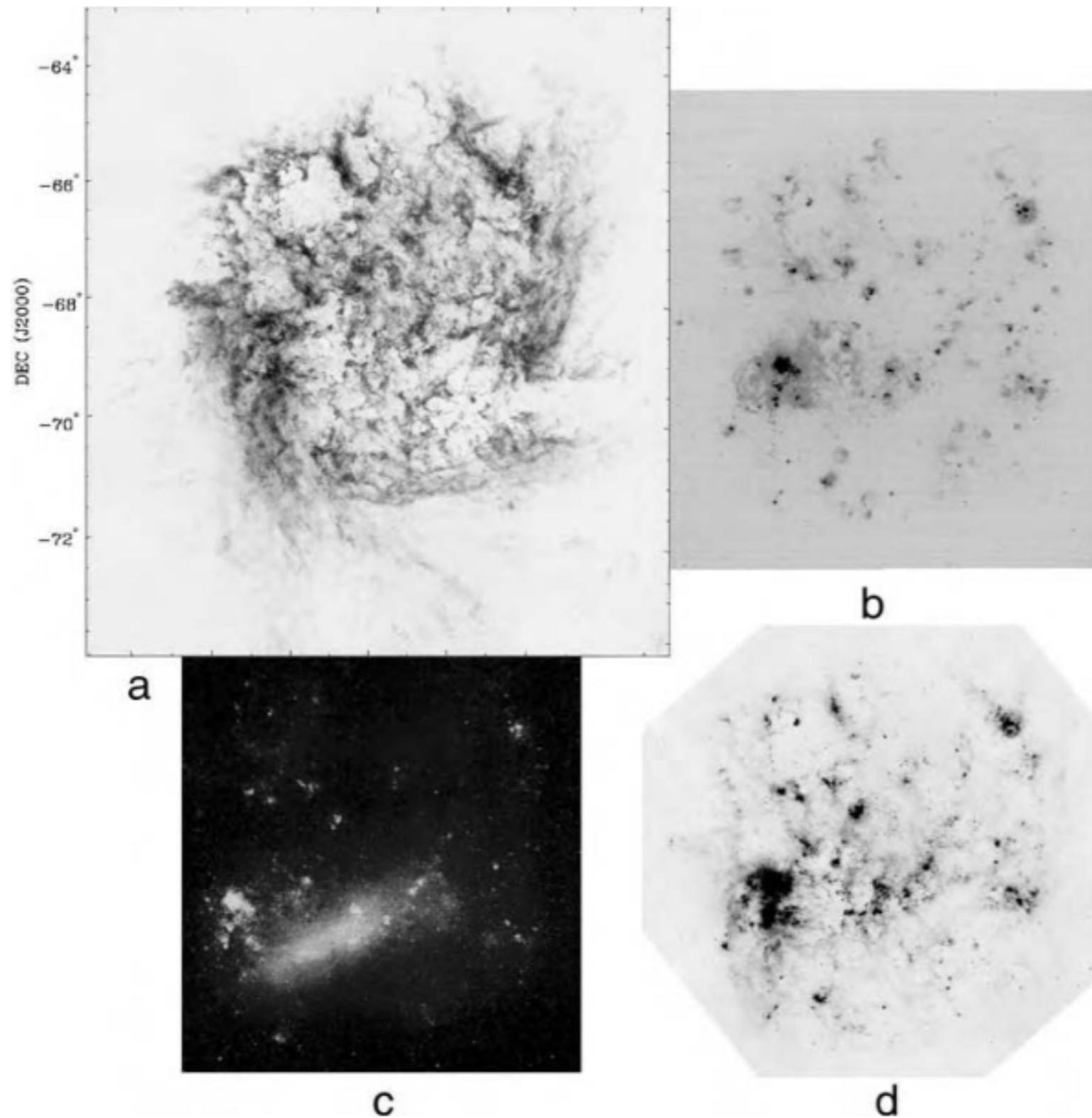
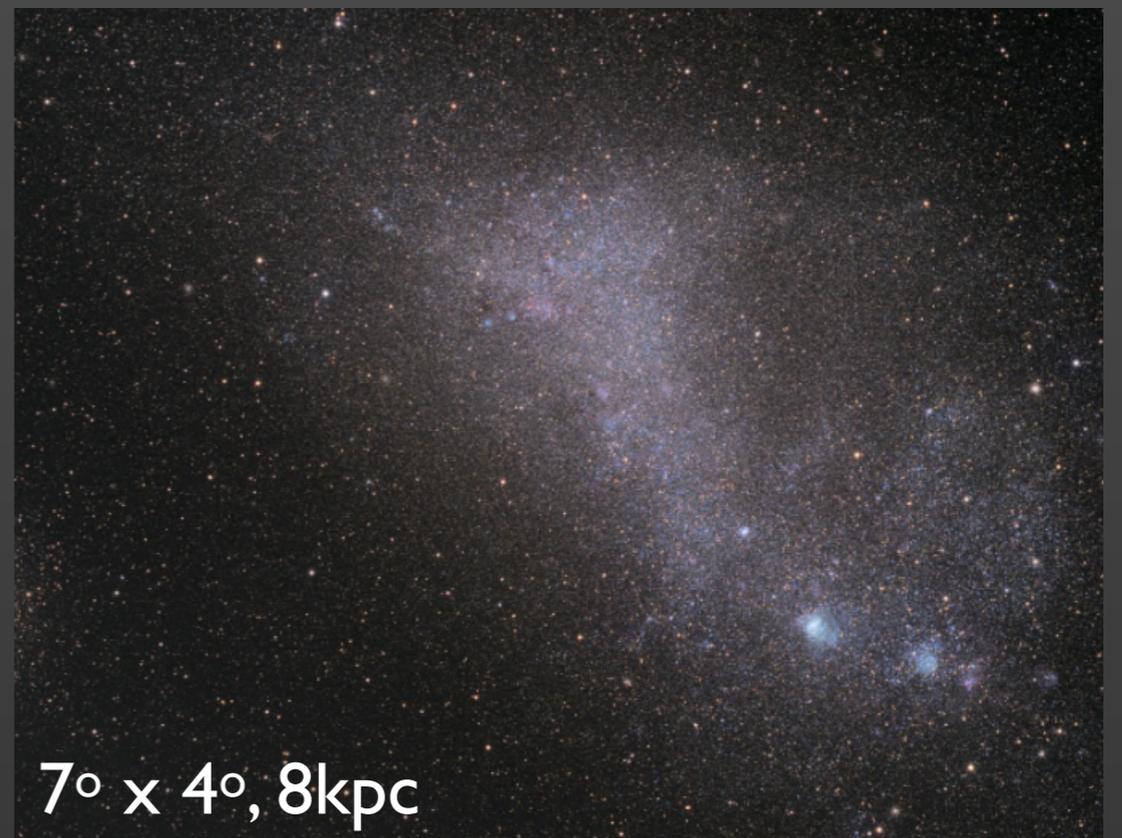
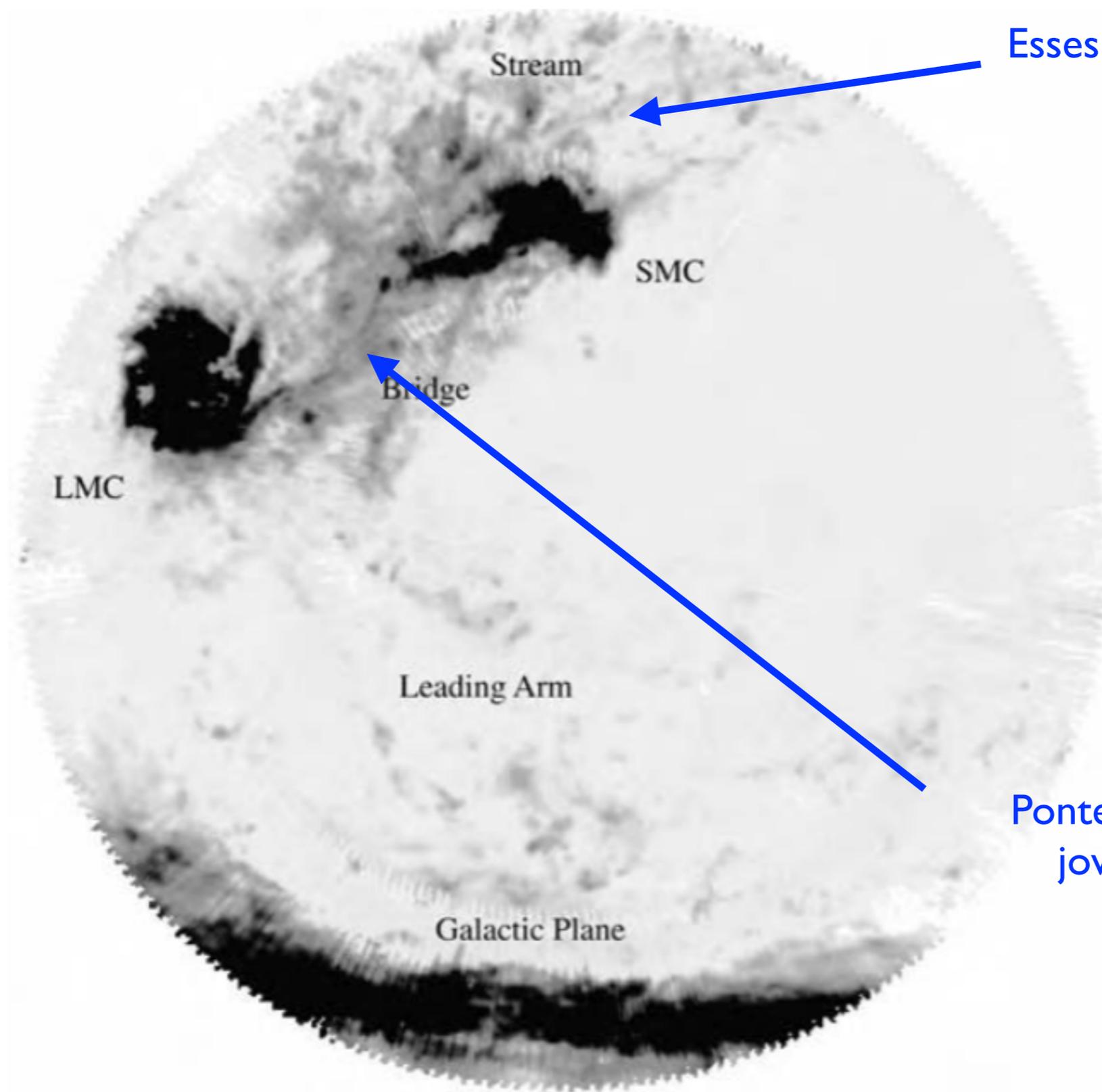


Fig. 4.4. The Large Magellanic Cloud: (a) the extended and fairly symmetric disk of HI gas; (b) in H α we see hot gas around young massive stars, with 30 Doradus the most prominent bright region; (c) an optical image shows the dense stellar bar and clumps of young stars, with 30 Doradus near the end of the bar, above and to the left; and (d) infrared light at 24 μm shows dust heated by young stars. The HI map is 10° across, or ~ 8.5 kpc; others are 7° – S. Kim and L. Staveley-Smith; K. Henize (courtesy of the Observatories of the Carnegie Institution of Washington); Spitzer.

Pequena Nuvem de Magalhães

- Estrutura alongada vista quase “end-on”, com profundidade de cerca de 15 kpc ao longo da linha de visada
- As estrelas não apresentam movimento organizado





Esses *streams* se estendem por cerca de um terço do céu.

Mais sobre a possível "colisão" das nuvens com a Galáxia pode ser visto em <https://youtu.be/wCGNq1SiTbs>

Ponte de gás contendo aglomerados jovens conecta as duas Nuvens

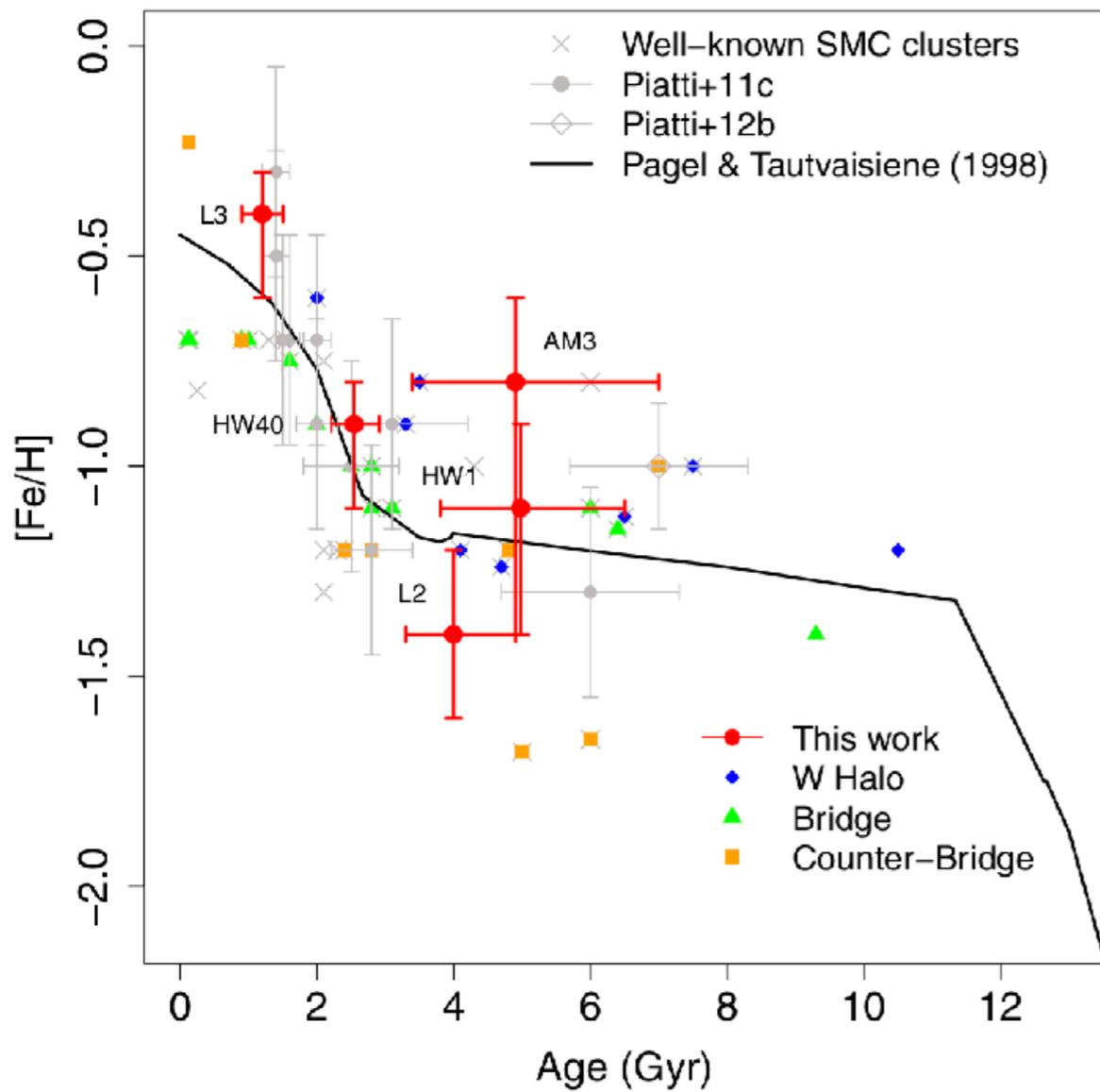
Fig. 4.6. HI in the Magellanic Clouds and the Magellanic Stream. The map is centred at the south celestial pole, extending to $\delta = -62^\circ$; right ascension 0^h is at the top – reprinted by permission from M. Putman *et al.* 1998 *Nature* **394**, 752; © 1998, Macmillan Magazines Ltd.

As Nuvens de Magalhães

- As posições e velocidades atuais das galáxias e streams podem ser explicadas com uma órbita ecêntrica em torno da Galáxia com período 2Gyr, e última passagem perigaláctica entre 200 e 400 Myr. Estudos mais recentes indicam que talvez as Nuvens estejam em sua primeira passagem próximo a Via Láctea (<https://www.newscientist.com/article/2086198-milky-ways-nearest-galaxies-may-be-new-to-the-neighbourhood/>)
- É possível que a atração gravitacional combinada da Galáxia e LMC já tenham destruído a SMC enquanto um sistema ligado
- São bastante ricas em aglomerados estelares. Na LMC há um gap de aglomerados entre 4 - 10 Gyr. Os mais jovens correspondem em idade a última passagem próxima com a SMC. Na SMC há aglomerados de várias idades, sem *gap*.



R136 em 30Dor



<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2019MNRAS.484.5702M/abstract>
<http://adsabs.harvard.edu/abs/2014A%26A...561A.106D>
<http://www.astro.iag.usp.br/~viscacha/>

Fig. 9. Age-metallicity relation for the SMC, including the new additions from the present work. The well-known clusters are listed in Table 6 of [Dias et al. \(2010\)](#), and other clusters from literature. The model of [Pagel & Tautvaišienė \(1998\)](#) is overplotted.

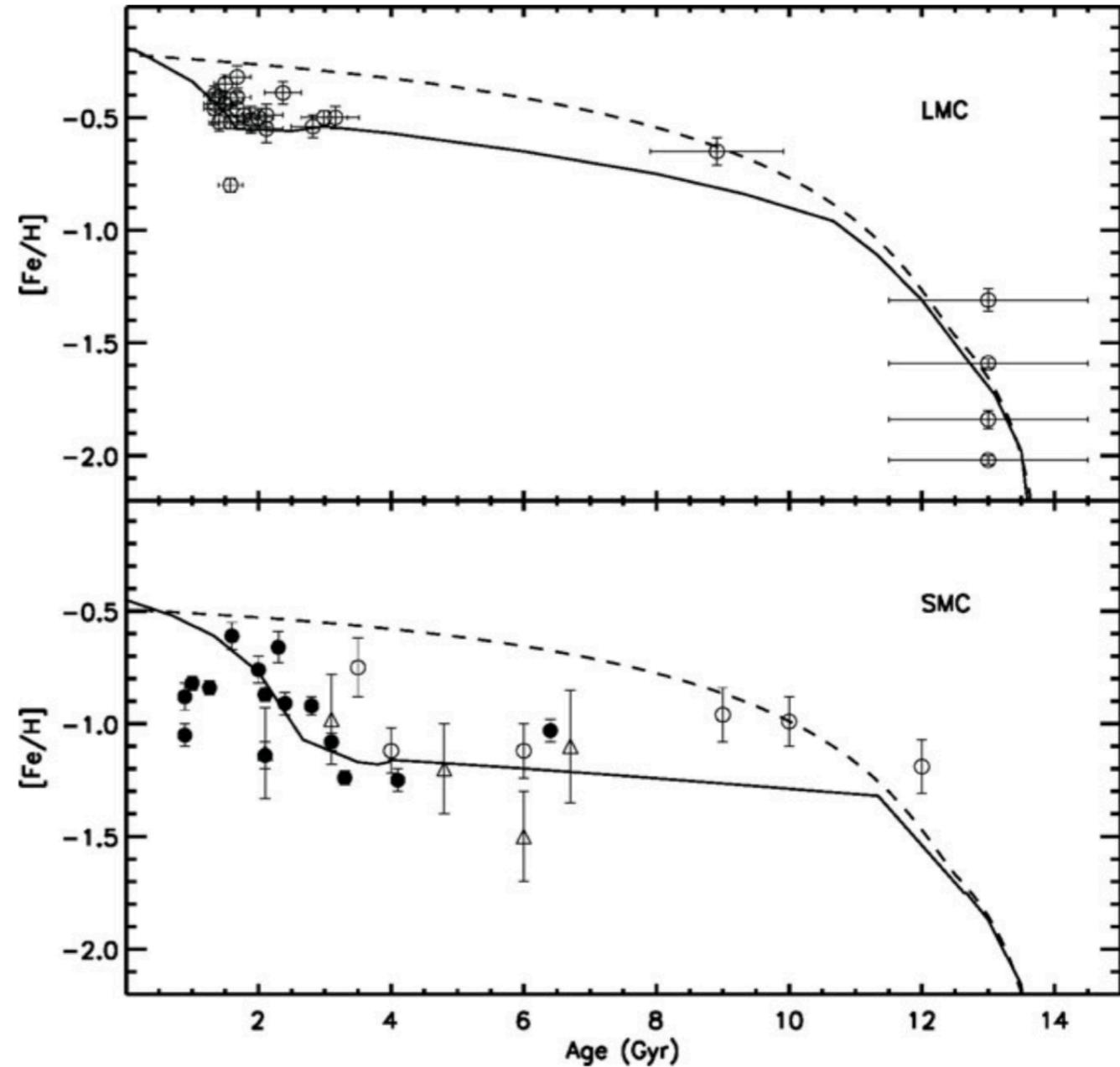
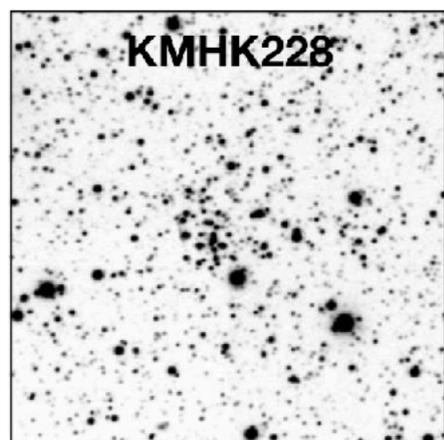
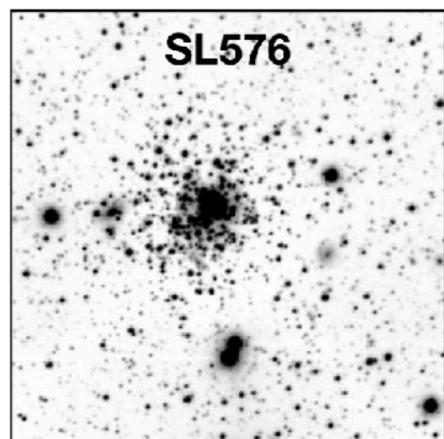
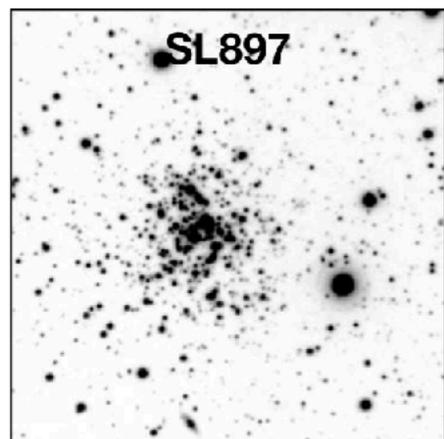


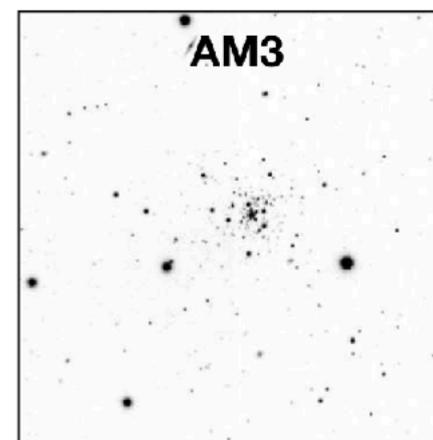
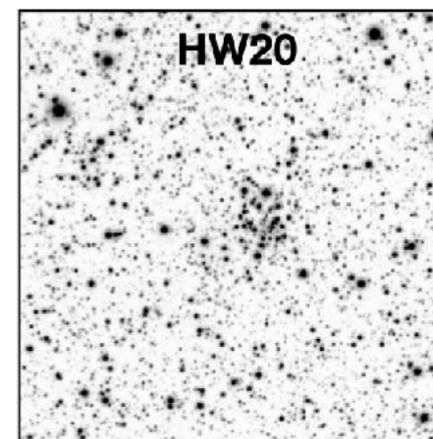
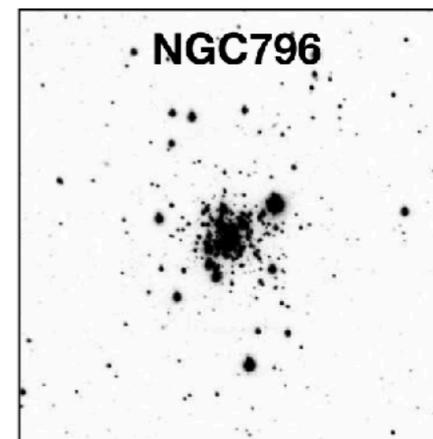
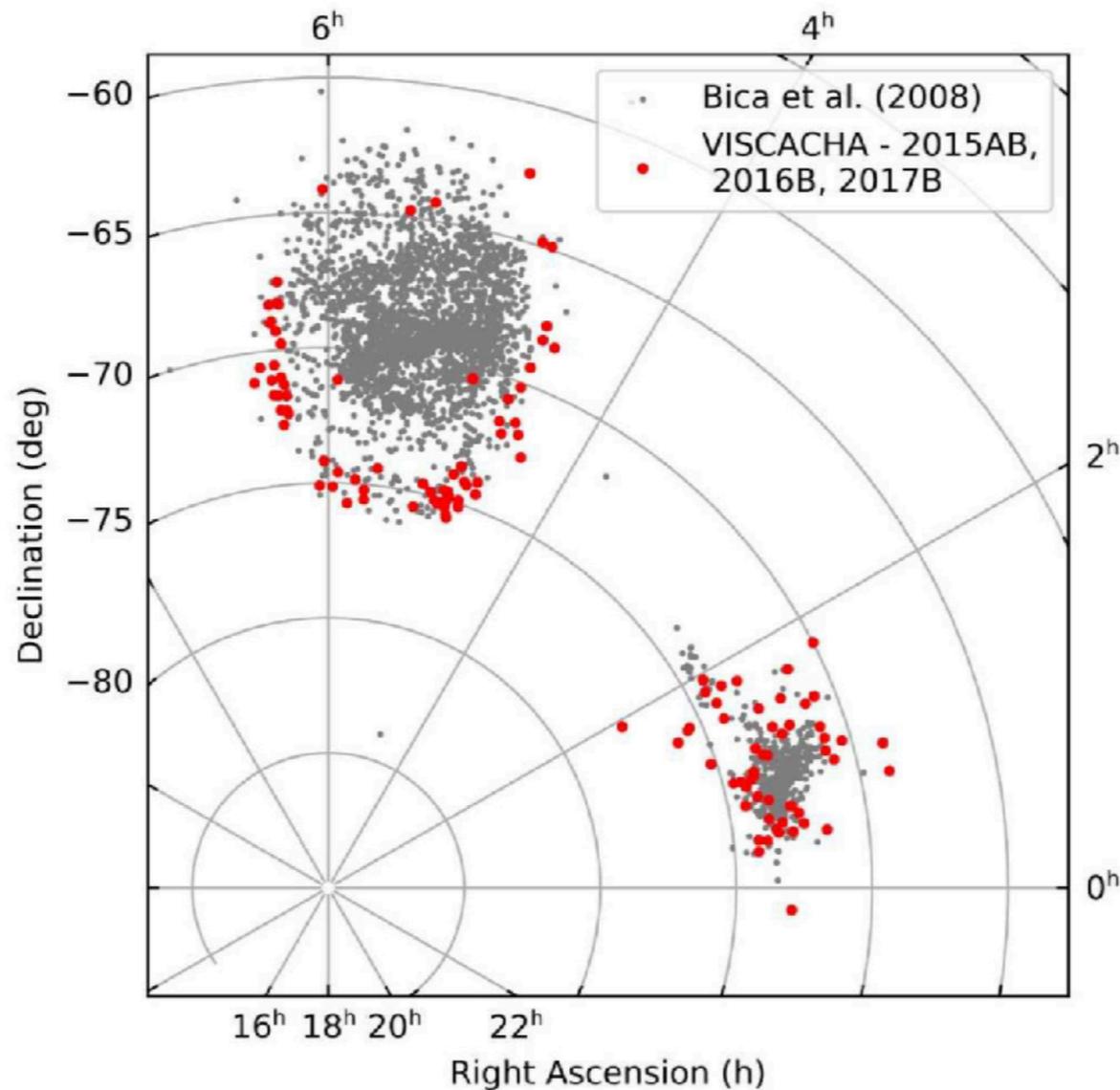
Figure 3. Age—metallicity relations for both the LMC and SMC. The dashed and solid lines represent the smooth and bursting chemical evolution models of [Pagel & Tautvaišienė \(1998\)](#), respectively. For the SMC, we have supplemented our CaT data (filled symbols) with data from [DH98](#) (open circles) and [Piatti et al. \(2001, 2007\)](#) (open triangles).

<https://www.cambridge.org/core/services/aop-cambridge-core/content/view/S1743921308028597>

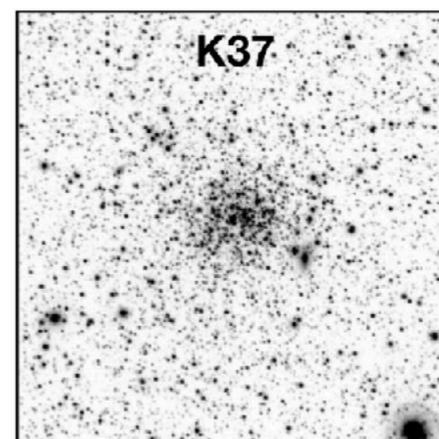
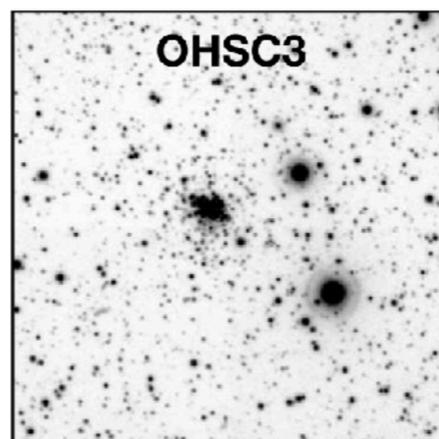
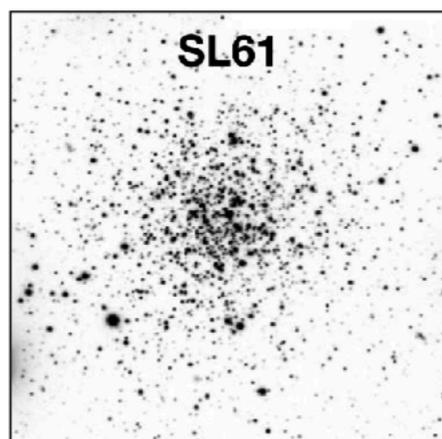
VISCACHA Survey



3 arcmin

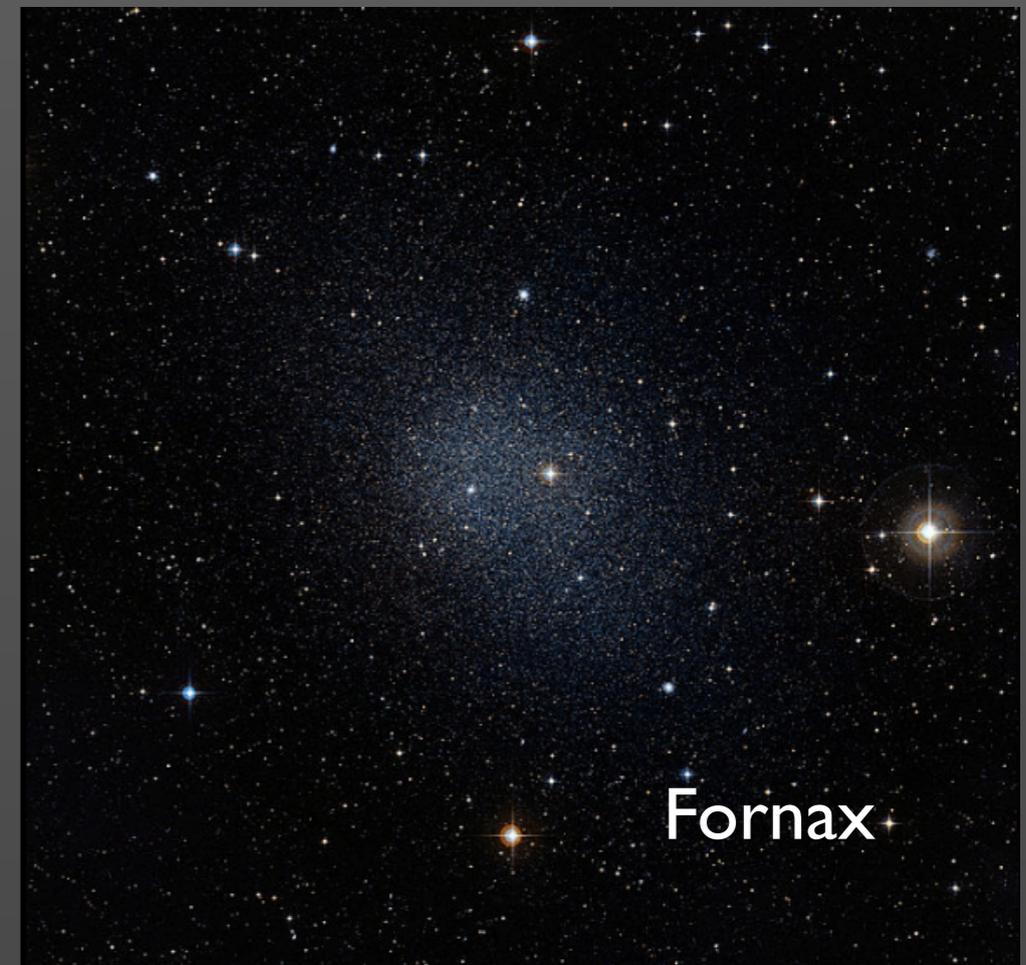


3 arcmin



Galáxias esferoidais anãs dSph

- Brilho superficial cerca de 100x menor do que LMC
- Contém pouco gás
- Não tem população jovem
- Todas possuem população velha (RR Lyrae)
- **As menos luminosas tem luminosidade da ordem de aglomerados globulares**



dSph vs. AG?

- Como sabemos que as dSph não são apenas outro tipo de AGs?

- ★ Raios são $\sim 10^2$ maiores
- ★ População estelar bastante complexa
- ★ Contém seu próprio sistema de aglomerados globulares
- ★ Estimativas de massa a partir da dispersão de velocidades indicam razões massa-luminosidade M/L muito maiores do que AGs, ou mesmo da maioria das galáxias espirais

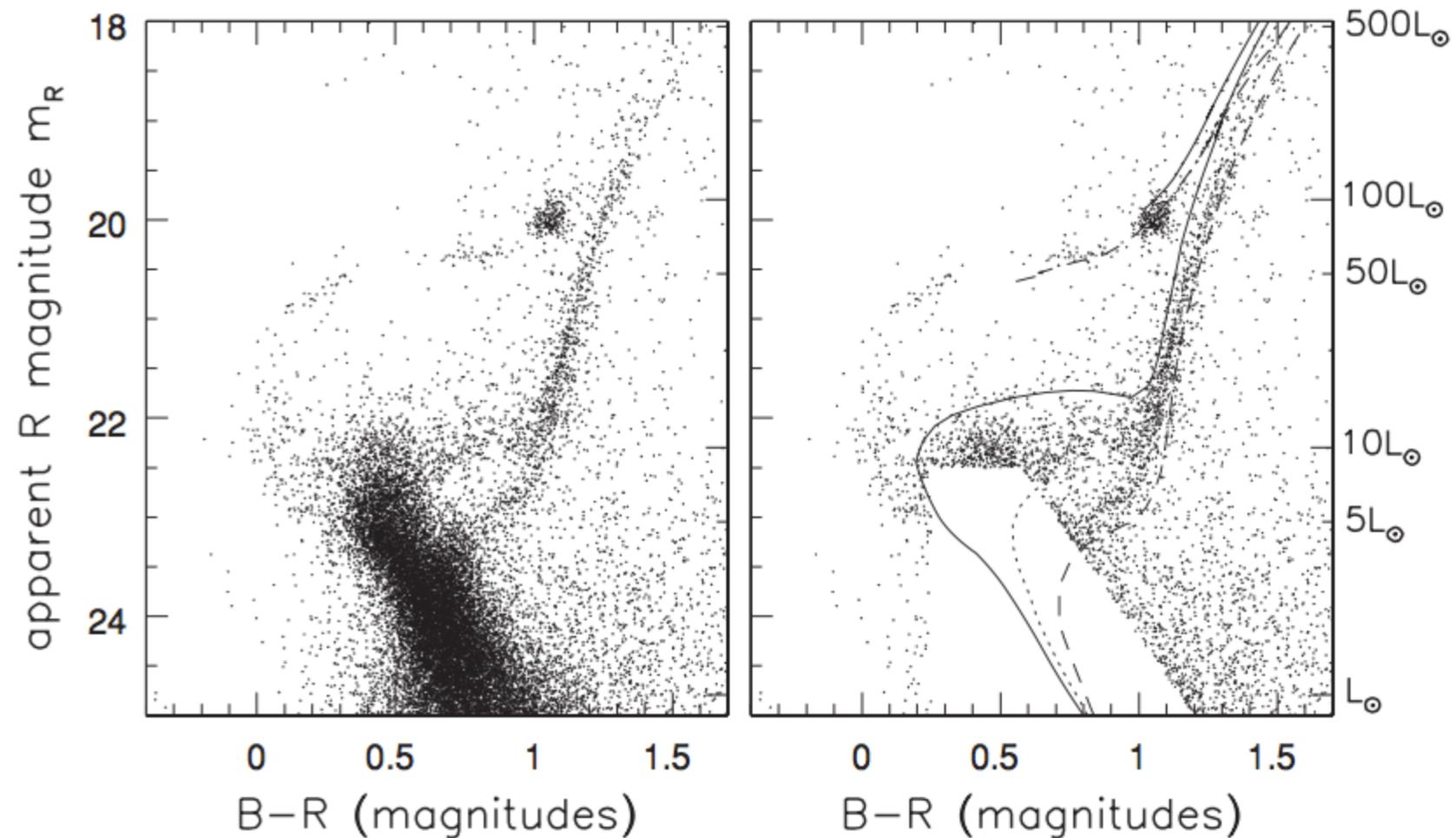


Fig. 4.9. Left, a color–magnitude diagram for the Carina dwarf spheroidal galaxy. Right, superposed isochrones give the locus of metal-poor stars ($Z = Z_{\odot}/50$) at ages of 3 Gyr (solid), 7 Gyr (dotted), and 15 Gyr (dashed). We see young red clump stars at $B - R, m_R = (1, 20)$, and old stars on the horizontal branch. Carina’s distance modulus is taken as $(m - M)_0 = 20.03$; dust reddening is assumed to dim stars by 0.108 magnitudes in B and 0.067 magnitudes in $R - T$. Smecker-Hane; A. Cole, Padova stellar tracks.

dSph vs. AG?

- **Como sabemos que as dSph não são apenas outro tipo de AGs?**

- Estimativas de massa a partir da dispersão de velocidades indicam razões massa-luminosidade M/L muito maiores do que AGs, ou mesmo da maioria das galáxias espirais
 - dSph são constituídas em grande parte por matéria escura
 - ou não são sistemas em equilíbrio
- Em quais condições um aglomerado estelar ou galáxia satélite pode sobreviver à gravidade da Galáxia?

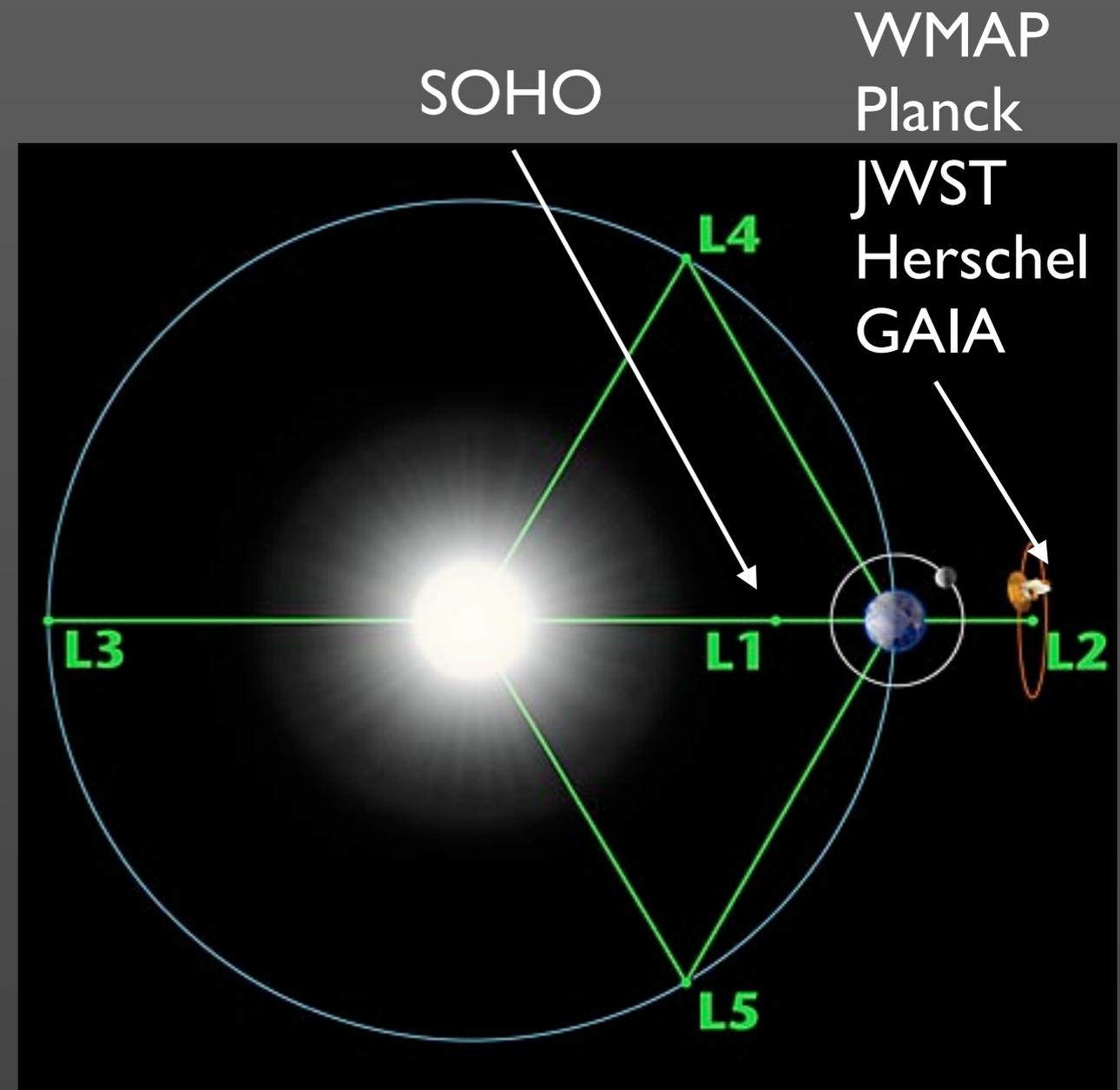
O limite de maré (tidal limit; seção 4.1.4 do livro texto)

- estrelas em uma galáxia satélite que orbita um sistema maior sentem a força gravitacional combinada, que varia no tempo.
- o famoso "problema de 3-corpos": muitas das possíveis órbitas são caóticas, uma pequena mudança na posição ou velocidade do satélite tem um efeito imenso no movimento subsequente.
- **SE** o satélite segue uma órbita circular **E** o potencial gravitacional é constante em um sistema de referência que tem rotação uniforme em torno do centro de massa combinada do sistema (a **vaca esférica...**), pode-se definir um **potencial gravitacional efetivo** Φ_{eff} e um **substituto para a energia** que não se conserva (**cte de Jacobi** E_J)
- Uma estrela com $E_J < \Phi_{\text{eff}}(r)$ está ligada ao sistema
- $E_J = E - \Omega \cdot L$; onde E é a energia do satélite, **L** é o momento angular por unidade de massa e Ω é a velocidade angular do sistema

Pontos de Lagrange

(sugestão de leitura: <https://www.space.com/30302-lagrange-points.html>)

- 5 pontos em um sistema de 3 corpos onde uma massa pequena pode orbitar duas massas maiores em um padrão constante
- O potencial efetivo Φ_{eff} tem 3 máximos, os 3 primeiros pontos de Lagrange
- estrelas que não ultrapassarem o **r_J raio de Jacobi** (também chamado de limite de Roche) irão permanecer ligadas à galáxia satélite
- D = distância, m e M são as massas do satélite e da galáxia maior, respectivamente.



Pontos de Lagrange do sistema Terra-Sol.
Crédito: NASA / WMAP Science Team.
(Nota: fora de escala)

$$r_J = D \left(\frac{m}{3M + m} \right)^{1/3}$$

O limite de maré

- em geral galáxias satélite e aglomerados não seguem órbitas circulares
- espera-se que a força gravitacional no ponto da órbita de maior aproximação determine se as estrelas permanecem ligadas
- **raio de truncagem r_t (onde a densidade de estrelas cai a zero) é aproximadamente igual a r_J no pericentro da órbita**
- alguns dos aglomerados das Nuvens de Magalhães saíram do limite de Jacobi do raio perigaláctico estimado e portanto não devem mais estar ligados às galáxias-mães (mas devem permanecer próximos por ainda algumas órbitas)
- o raio de Jacobi para a LMC é da ordem de 11 kpc, portanto o disco da LMC (~4 kpc) está seguro (estável) em relação à atração da Galáxia

Outras galáxias do Grupo Local



M31: o objeto mais distante
que pode ser visto a olho nu

$$L \sim 1.5L^*$$

$$\text{escala de disco } h_R \sim 2 h_{R^*}$$

$$V(R) \sim 1.3V(R)^*$$

$$\#AG \sim 2\#AG^* \text{ (cerca de 300)}$$

M31

- Classificada como Sb (a Galáxia é uma Sbc)
- apresenta núcleo compacto semi-estelar que foi resolvido pelo HST em duas distintas concentrações de luz
- anel de formação estelar a cerca de 10 kpc de raio
- taxa de formação estelar menor do que a Galáxia
- padrão espiral é menos demarcado do que na Galáxia
- o disco estelar é *warped* (comum em espirais)



Swift Makes Best-ever Ultraviolet Portrait of Andromeda Galaxy. Credit: NASA/Swift/Stefan Immler (GSFC) and Erin Grand (UMCP).



Image from Wide-field Infrared Survey Explorer, or WISE. Image credit: NASA/JPL-Caltech/UCLA.

M31

- núcleo duplo, separados por ~ 2 pc: um contém $M_{\text{BH}} \sim 3 \times 10^6 M_{\odot}$, outro pode ser um aglomerado estelar que espiralou para o centro da galáxia
- ao contrário da Galáxia, o núcleo é relativamente livre de gás e poeira
- várias das estrelas alguns kiloparsecs acima do disco são ricas em metais e apresentam rotação, como se o bojo de M31 tivesse "transbordado" para o halo
- um *stream* gigante de estrelas foi encontrado, maior do que 100 kpc, provavelmente resultante de um merger com outra galáxia relativamente massiva



M33

Sc ou Scd

M33

- mais rica em gás do que M31 ou a Galáxia
- $h_R \approx 1.7 \text{ kpc}$, (Galáxia $h_R \sim 2.5 - 4.5 \text{ kpc}$)
- disco de HI muito extenso, medido até 30 kpc (está a $\sim 200 \text{ kpc}$ de M31)
- $V(R)$ sobe a 120 km s^{-1}
- aglomerado estelar nuclear, mais luminoso do que qualquer AG da Galáxia, bastante denso

$$10^7 L_{\odot} \text{ pc}^{-3} \quad L_V \approx 2.5 \times 10^6 L_{\odot}$$

- não há evidências de um buraco negro central, mas seu núcleo é a fonte em raio-X mais brilhante do GL (ver arXiv:astro-ph/0112327 sobre sistema binário com 1 buraco negro de 10 Msun)

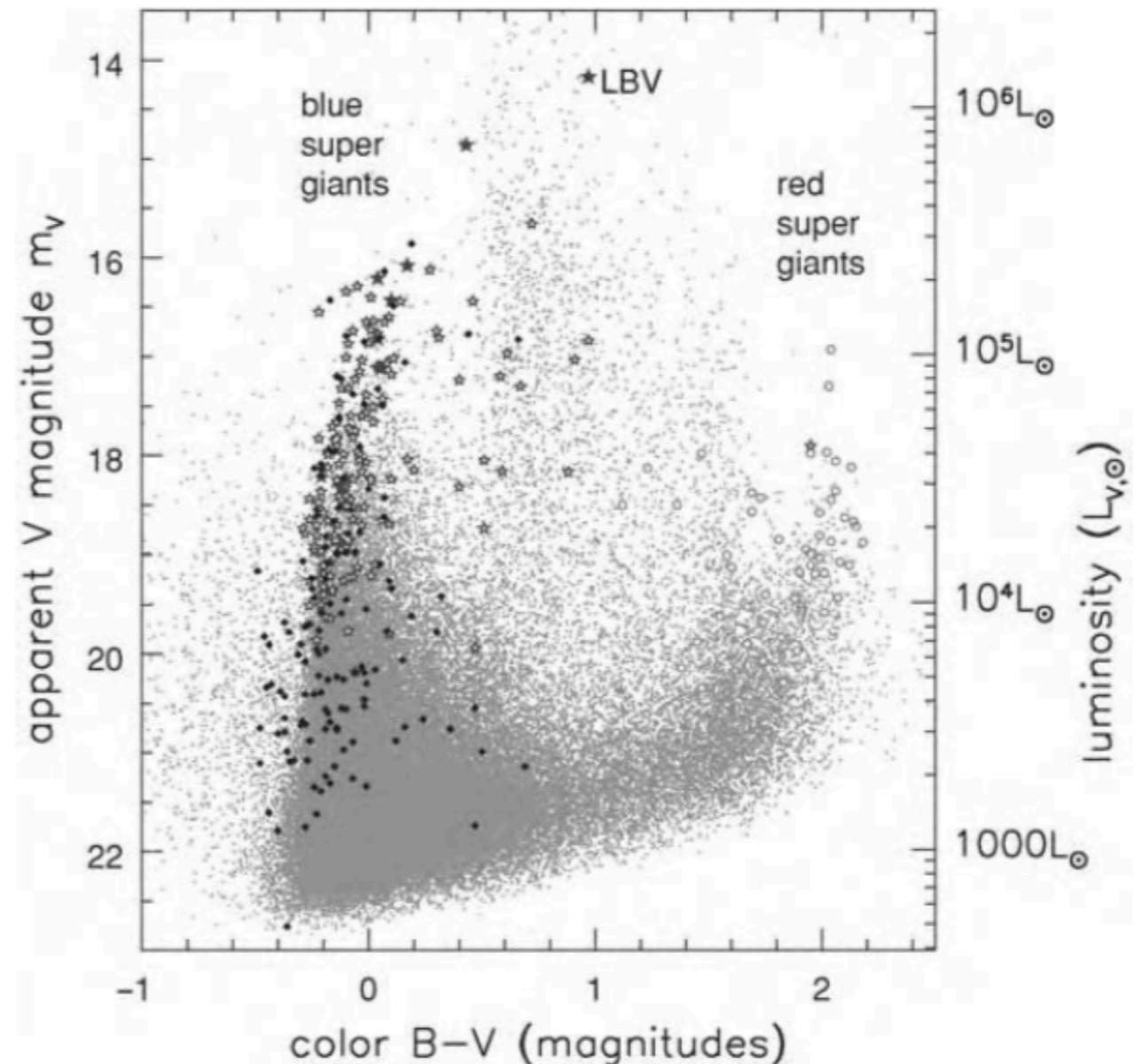


Fig.4.20 - CMD for a galaxy in vigorous starbirth: M33. Larger symbols show stars classified by their spectra. Open star-shapes show blue supergiants; filled stars are luminous blue variables; filled diamonds are Wolf-Rayet stars; and open circles indicate red supergiants. Most points between the vertical 'plumes' of blue and red supergiants represent fore-ground stars in our Milky Way. For an irregular galaxy like the SMC this diagram would look similar, but with fewer stars of each type.



As 3 espirais luminosas
do Grupo Local

Galáxias anãs orbitando M31

- as anãs esferoidais dSph da M31 não parecem ser diferentes das nossas
- M31 tem três anãs elípticas dE



- População estelar predominantemente velha, exceto nas partes centrais onde há uma pequena evidência de população jovem (exceto NGC 147)

Galáxias irregulares anãs

- contém gás e formação estelar recente, pobres em metais (10% de Z_{sun})
- LMC representa uma classe de transição entre espirais e anãs irregulares

IC10

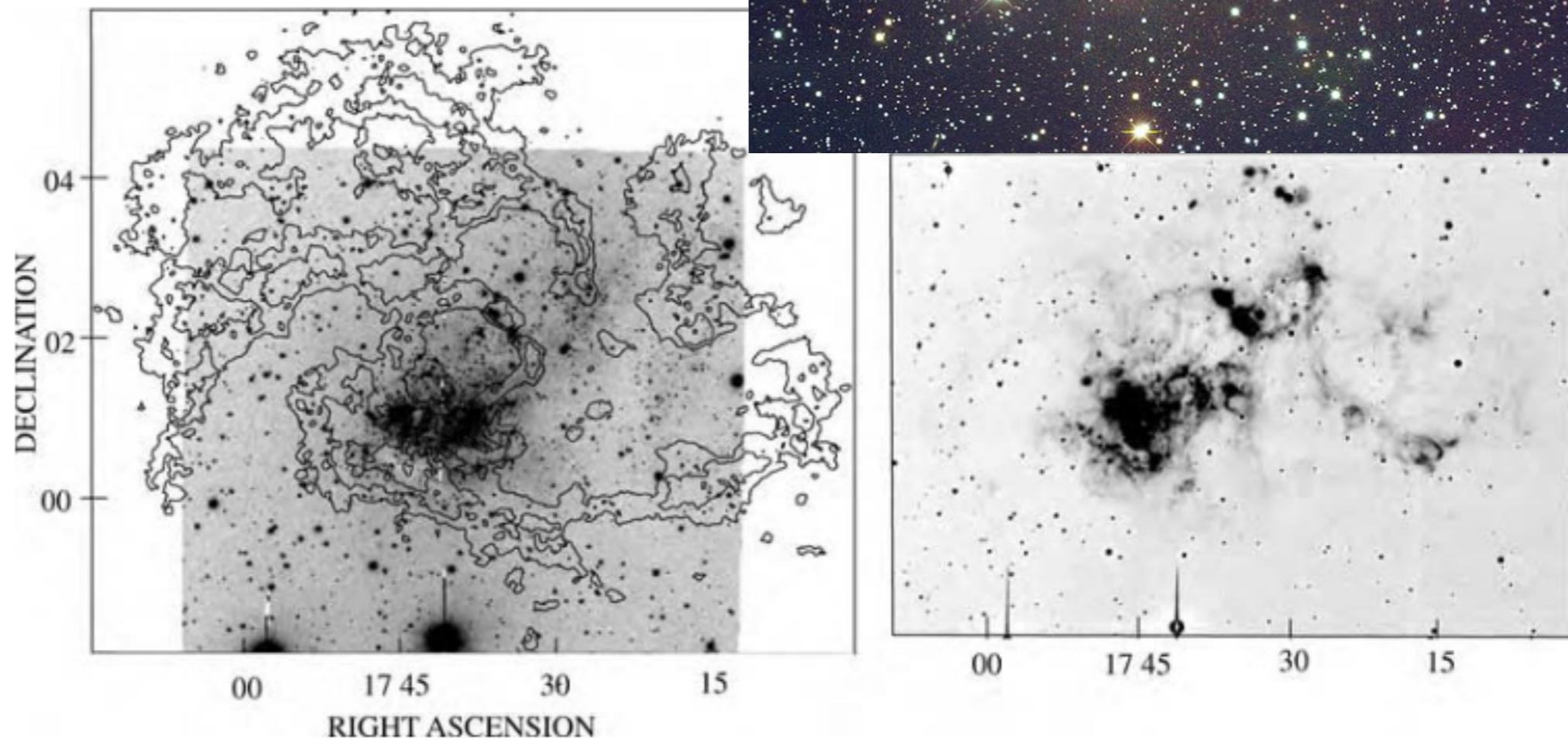


Fig. 4.19. The dwarf irregular galaxy IC 10. Left, HI contours superposed on an *R*-band negative image; the box measures 8' vertically, or 19 kpc. Right, negative image showing H α emission from ionized gas – E. Wilcots.

M32: elíptica anã ou compacta (cE) ?

- cinemática intermediária entre o disco da Galáxia e o halo pobre em metais, com $V/\sigma \sim 1$ (V = velocidade máxima de rotação, σ = dispersão de velocidades).



M32

- brilho superficial dos mais altos já medidos para qualquer galáxia, talvez a remanescente central de uma galáxia muito maior?

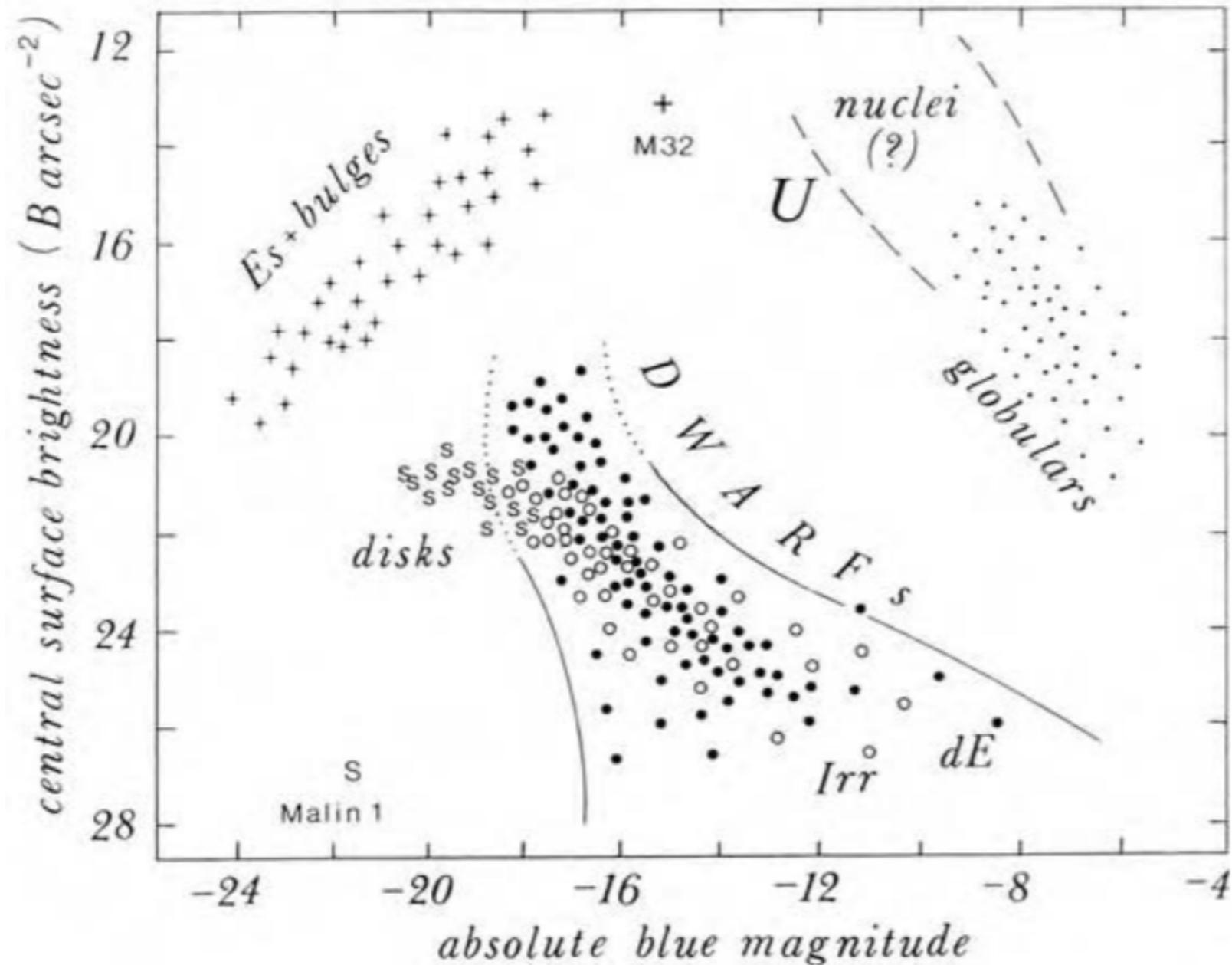


Fig 4.18: Galáxias anãs e gigantes ocupam regiões diferentes no plano brilho superficial vs. magnitude absoluta.

Futuro do Grupo Local

- temos cerca de 3 a 4 Gyr até o próximo pericentro entre M31 e a Galáxia, o que deve resultar em uma colisão quase frontal
- M31 e a Galáxia devem fundir e formar uma nova galáxia, provavelmente elíptica



<https://www.youtube.com/watch?v=4disyKG7XtU>