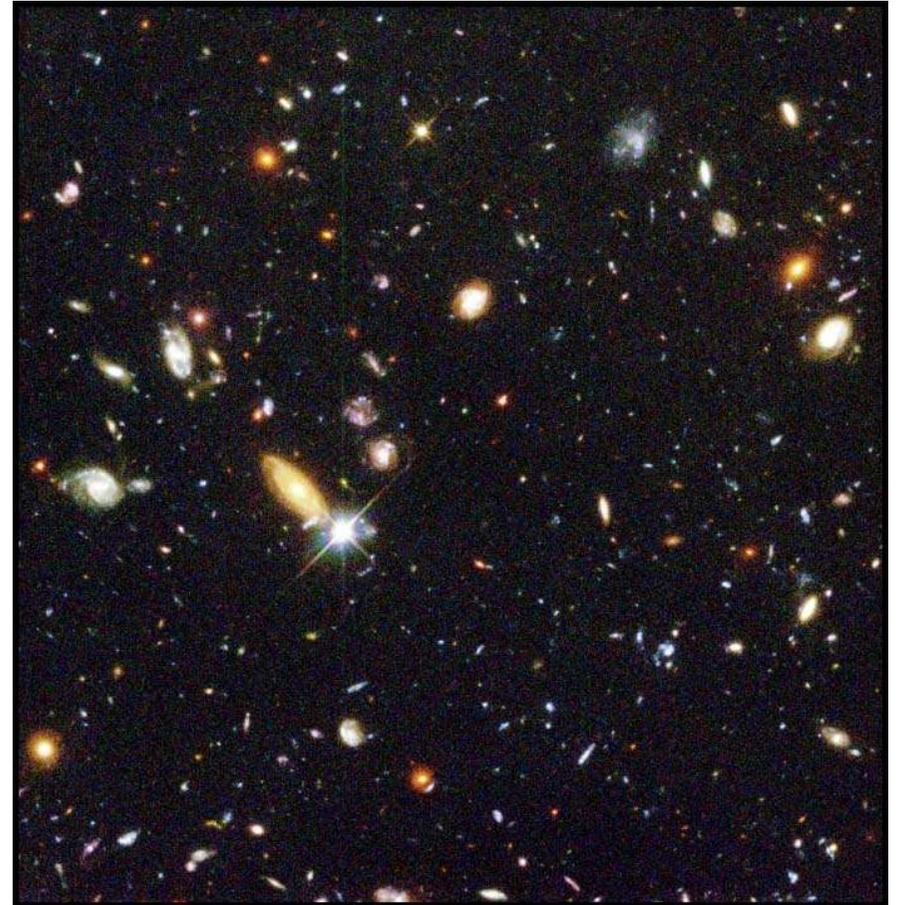


6 – ASTRONOMIA EXTRAGALÁCTICA

6.1 Galáxias: classificação e estrutura

Uma galáxia é um sistema de dezenas a milhares de milhões de estrelas, poeira, gás e matéria escura unidos pela gravidade. Existem mais de 10^{11} galáxias espalhadas por todo o Universo. Em massa têm 10^7 - $10^{12} M_{\odot}$ tomando as menos massivas a designação de **anãs**. O tamanho é na gama 1-50 kpc e as mais pequenas são as galáxias-anãs.

Apenas três galáxias fora da Via Láctea são visíveis ao olho humano. No Hemisfério Norte, a galáxia de Andrómeda (a dois milhões de anos-luz de distância). No Hemisfério Sul, a Grande Nuvem de Magalhães (a 160 mil anos-luz) e a Pequena Nuvem de Magalhães (180 mil anos-luz).

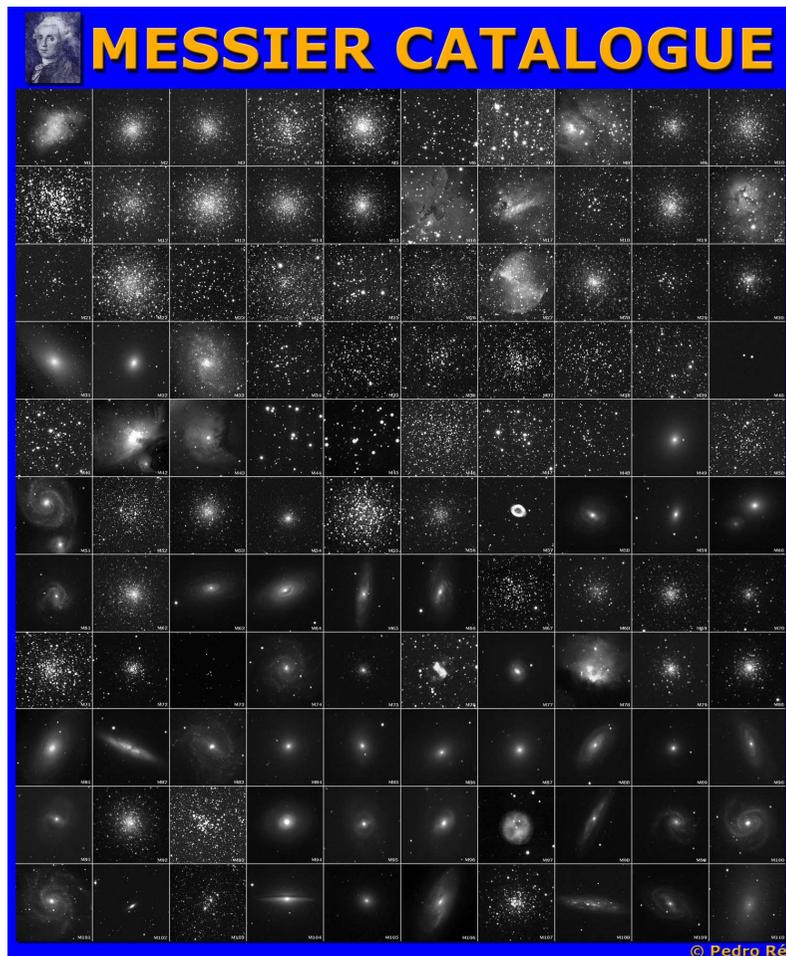


Uma parte do Hubble Deep Field-North (HDF-N). Este, e todos os “Deep Field” que se seguirem, dão uma estimativa do total de galáxias no Universo.

Os mais famosos **catálogos de galáxias** começaram pelo de Messier, não intencional:

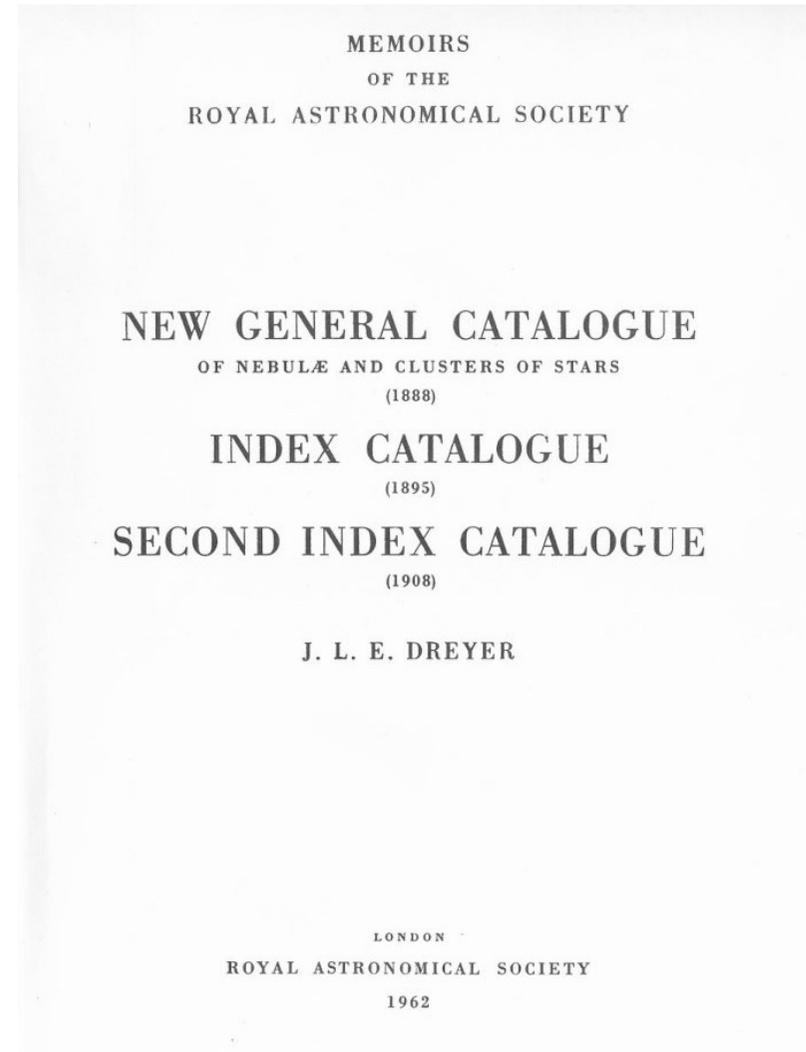
Catálogo de Messier (110 objectos) - 1781

M



New General Catalogue (7840 objectos) - 1888

NGC



Os tipos de galáxias

De acordo com o esquema de classificação proposto por Hubble (ainda hoje aceite), as galáxias dividem-se em **cinco** tipos principais:

- Elípticas (E)
- Esferóides (S0)
- Espirais { Normais (S)
Barradas (SB)
- Irregulares (Irr)
- Peculiares (Pec)

Temos (em abundância – número):

- espirais (60%)
- esferóides (20%)
- elípticas (15%)
- irregulares (Irr) – 4%
- peculiares (Pec) – 1%

Galáxias elípticas

As maiores galáxias são as **elípticas**. São sistemas de estrelas relativamente simples, quase esféricos e sem gases ou poeira. As estrelas giram ao redor do centro como abelhas em volta da colmeia. A maior parte das estrelas é muito velha (pop.II).

Galáxias esferóides

Este tipo de galáxia não é muito diferente de uma galáxia elíptica. Mas contém já algum gás e alguma poeira. Precisamente por isto, há uma quebra da simetria esférica e as S0 já apresentam um plano principal (disco), embora mantendo uma forma global esférica. Aliás, as esferóides também podem apresentar uma barra na região central (usando-se SB0 para a sua designação).

Galáxias espirais (normais e barradas)

As galáxias **espirais** (das quais a Via Láctea é um bom exemplo), são estruturas achatadas e muito organizadas, nas quais estrelas, gases e poeiras se movimentam em órbitas circulares ou quase circulares em torno do centro (rotação diferencial). Os braços em espiral são filamentos de formação estelar intensa (incluem muitas estrelas jovens e quentes, de pop.I). Um quinto a um terço das galáxias espirais têm, na região central, uma estrutura rectangular, a **barra**. Esta resulta de instabilidades no disco. A Nossa Galáxia tem um, como já vimos.

Galáxias irregulares

São pequenos sistemas estelares isolados (as mais pequenas galáxias “normais”) com estruturas mal definidas. Têm abundante gás e poeira.

Galáxias peculiares

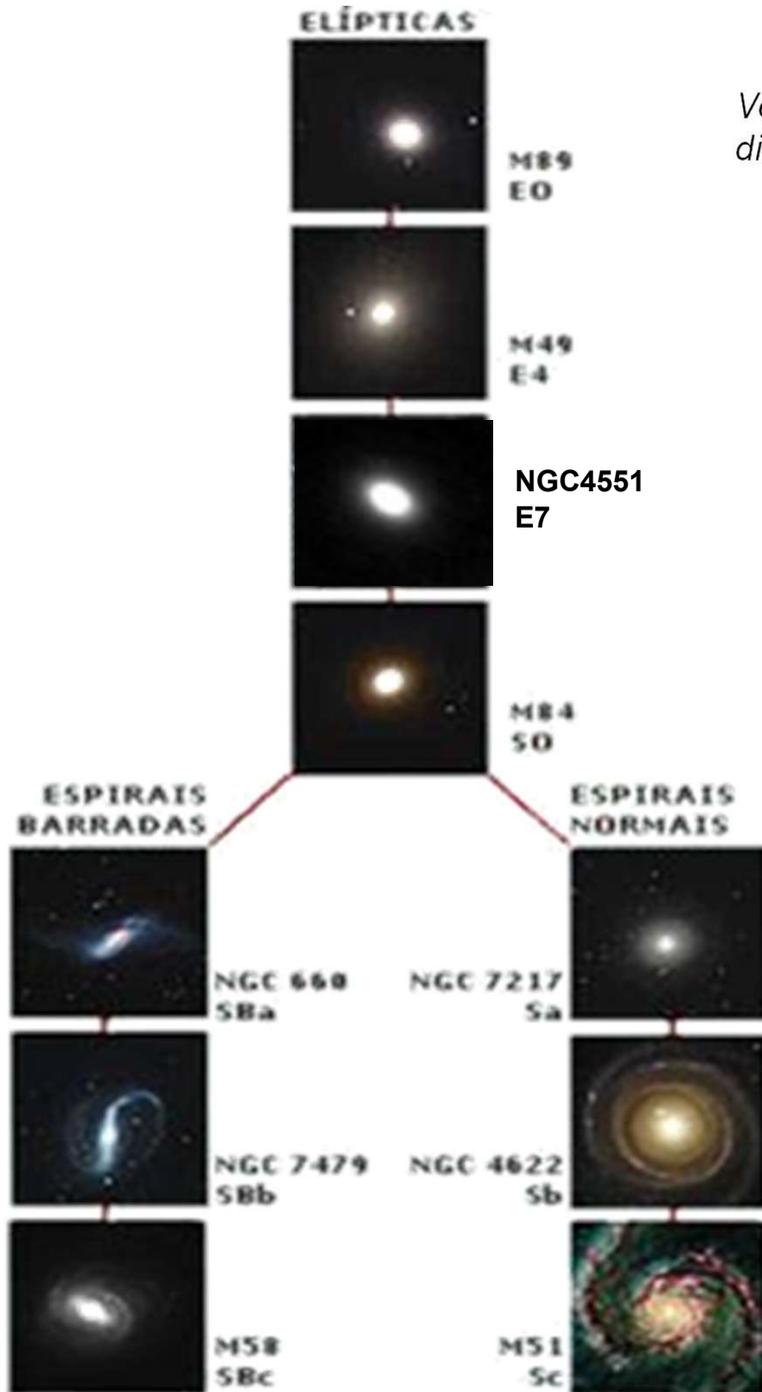
Numa fase inicial (não muitos anos depois de Hubble), incluíram-se neste grupo todas as que não estavam incluídas em nenhum dos anteriores: galáxias com jactos, pontos brilhantes (mais tarde classificadas como “activas”) e conjuntos de duas galáxias ou galáxias isoladas mostrando claras perturbações na estrutura (mais tarde classificadas como “galáxias em colisão”).

Diagrama em diaposição de Hubble (subtipos)

As galáxias **elípticas** variam de formas esféricas (E0) a formas ovais (E7). O índice E_n é dado por (com a e b os semi-eixos maior e menor da elipse que corresponde à projecção da galáxia no céu):

$$n = 10 (1 - b/a)$$

As galáxias espirais normais têm uma forma de catavento e são classificadas de acordo com a predominância do bolbo ou barra central e da espessura dos braços em espiral (maior nas de subclasse **a** e menor nas de subclasse **c**).



Versão actual do diagrama de Hubble.

No que segue apresentam-se um conjunto de imagens reais de galáxias de vários tipo/subtipo.

Elípticas:

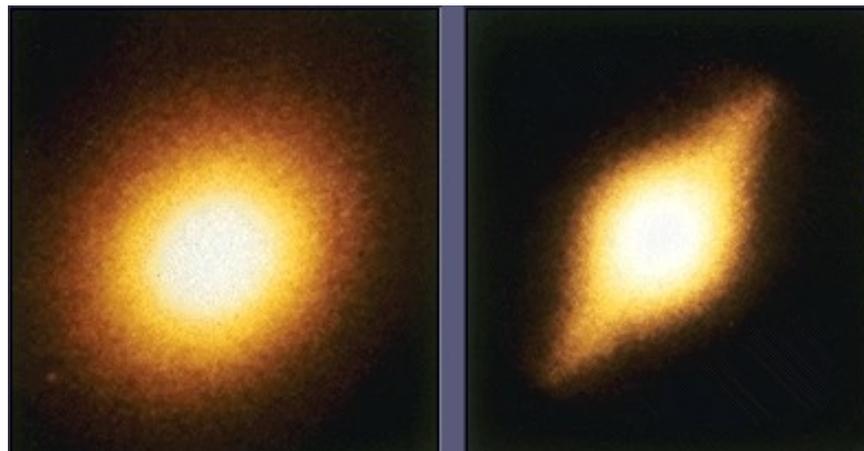


E0

E3

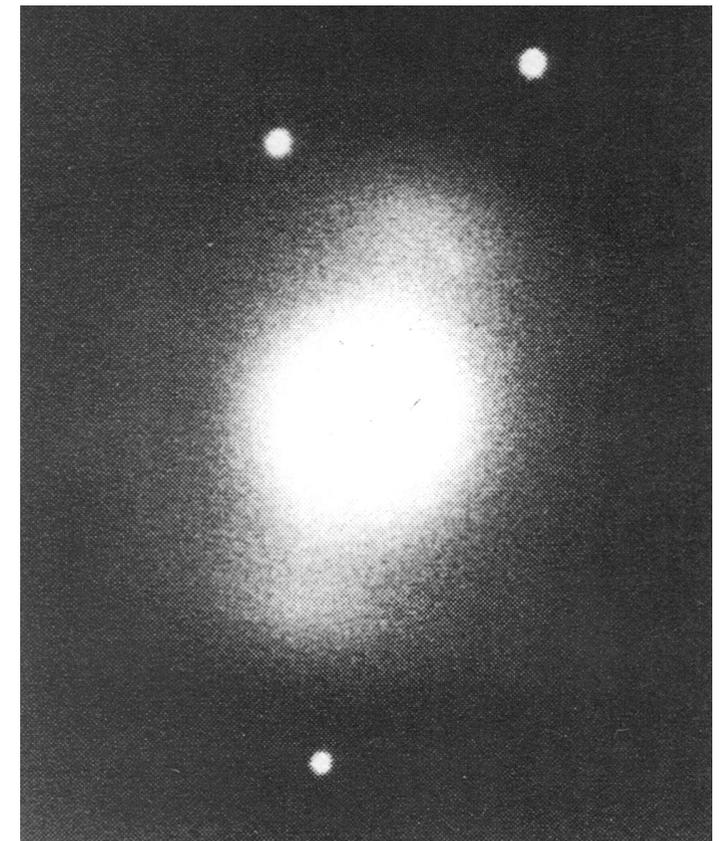
E6

Esferóides:



S0

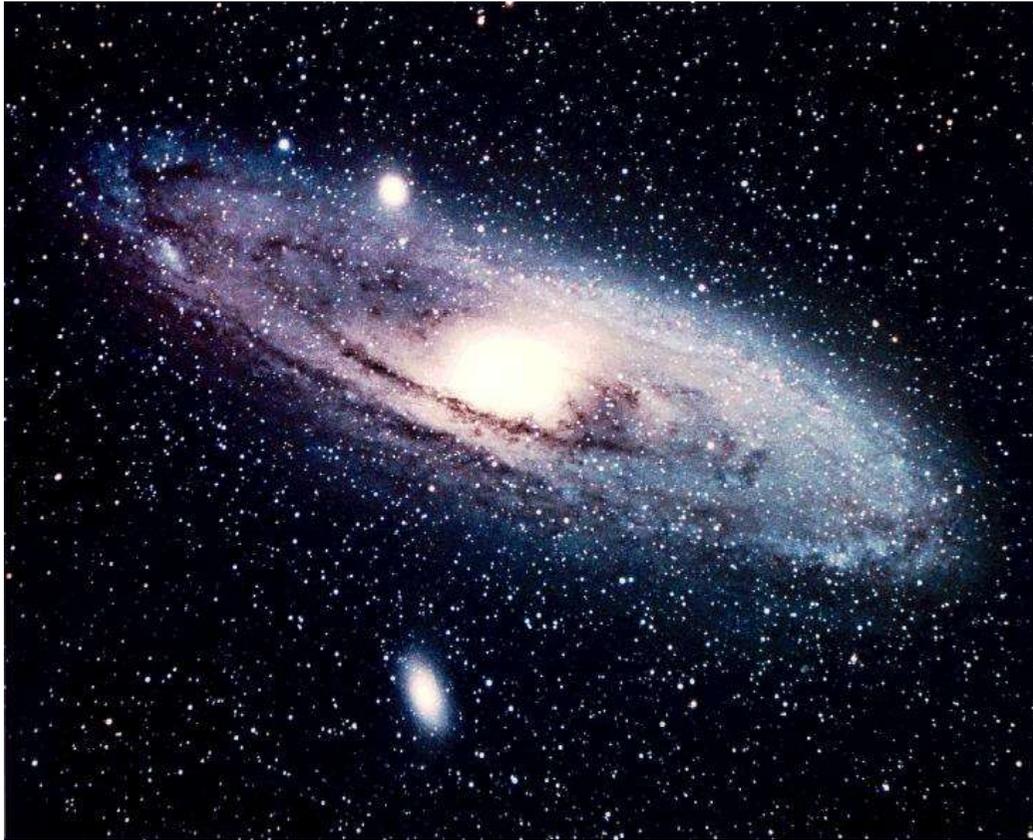
SB0



NGC2859

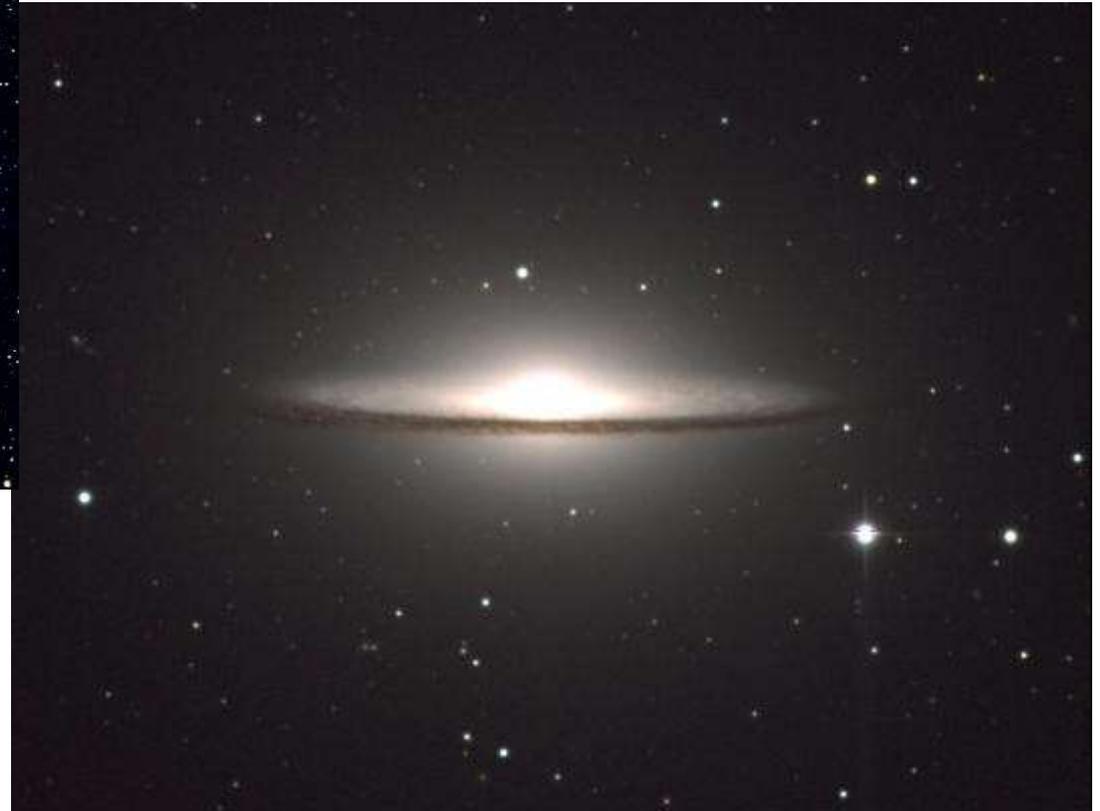
Espirais normais:

Sa/Sb



M31 (Andrómeda)

M104 (“Sombrero”)



Espirais normais:

Sb



NGC891

Sc



NGC2997

Espirais barradas:

SBa

NGC4650



SBb

NGC1530



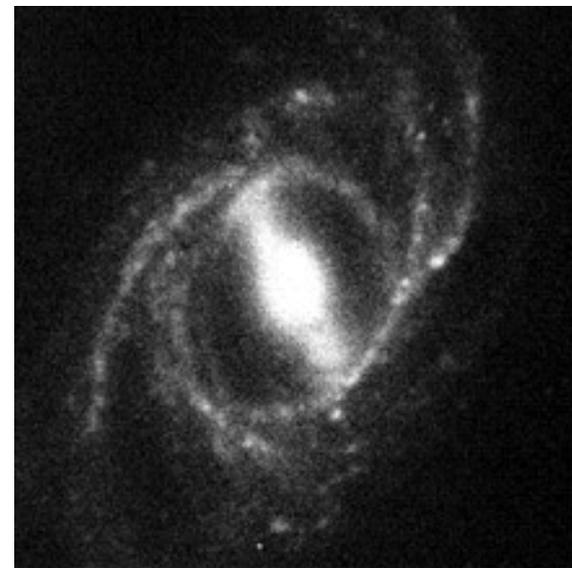
SBc

M109



SBb

NGC2523



Irregulares:

**Grande
Nuvem de
Magalhães**

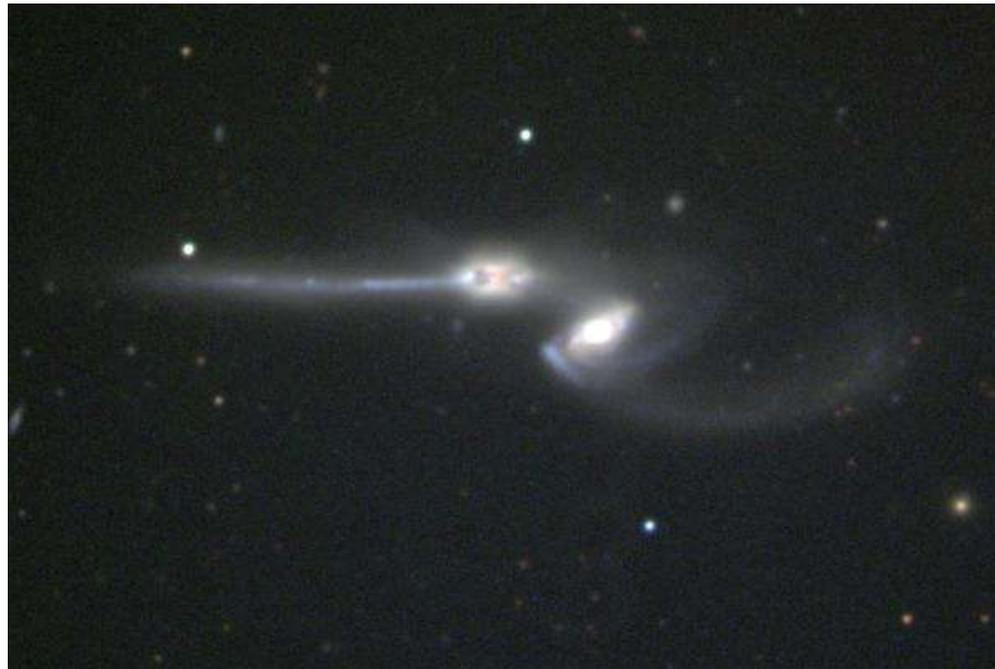


**Pequena
Nuvem de
Magalhães**



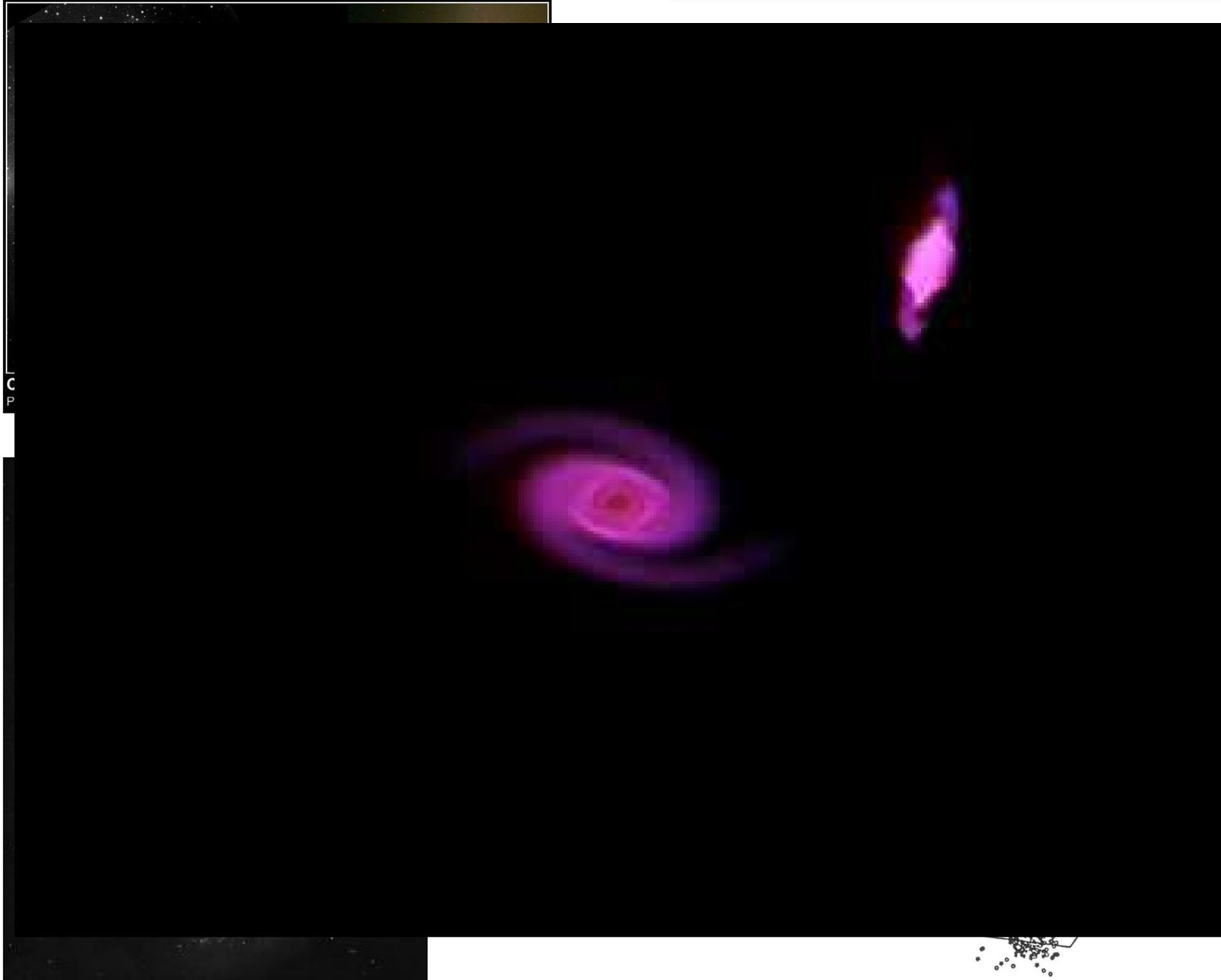
Peculiares:

“Ratos”



“Antenas”

“Vórtice”



Anãs:

cE

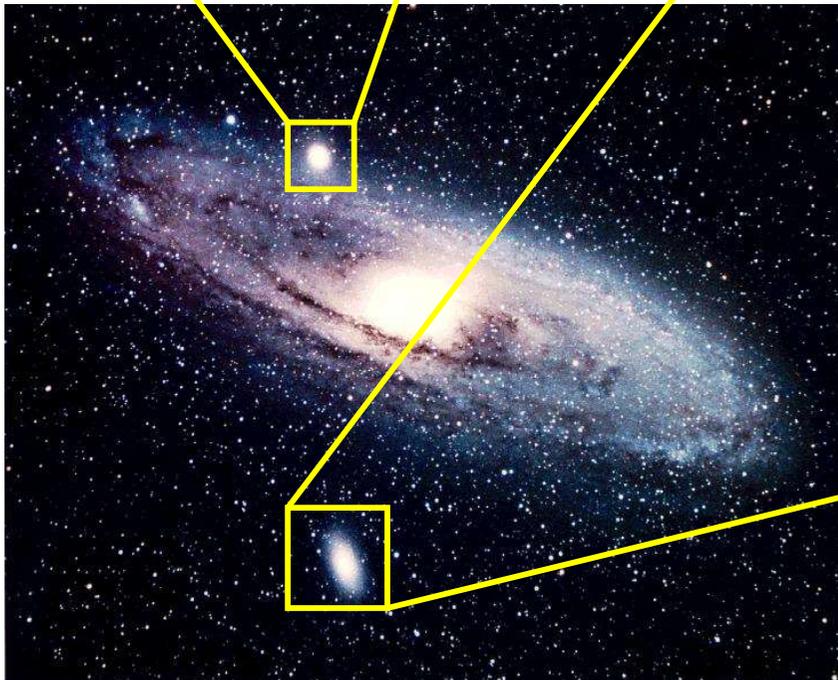


M32

dE5



M110



6.2 Associações de galáxias

As Galáxias não se distribuem de forma homogénea no espaço. Isoladas são raras. Os pares estão em interacção (“colisão”) – galáxias peculiares.

Com três a 100 membros temos um **grupo de galáxias** (dimensões 1-3 Mpc). O Grupo Local, com um tamanho de 1 Mpc, é dominado pela Nossa Galáxia e pela de Andrómeda ($\sim 5 \times 10^{12} M_{\odot}$; 75% da massa total). As respectivas satélites preenchem-no quase totalmente. São >60 membros...

Com mais de 100 galáxias temos um **enxame de galáxias irregular (ou pobre)**. Com mais de 1000, um **enxame regular (rico)**: os maiores não passam muito das dez mil galáxias (e 10 Mpc, $M \sim 10^{15} M_{\odot}$, no máximo). Estes têm uma simetria esférica semelhante à dos enxames estelares globulares.

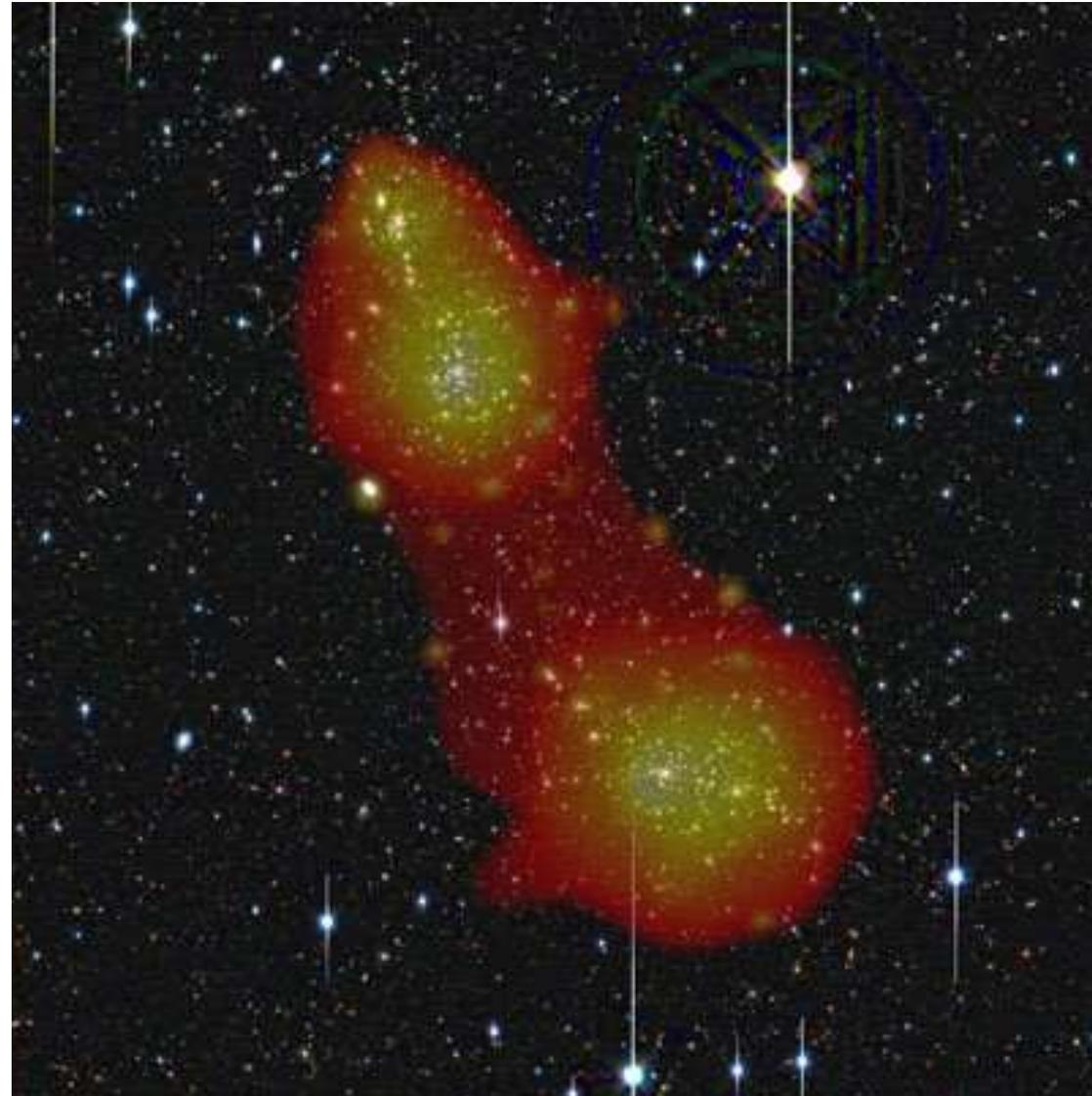
Os enxames de galáxias mudam muito lentamente (leva um tempo quase tão longo como a idade do Universo para que ocorram mudanças significativas). Assim, conservam ainda muitas propriedades de quando foram formados. São, por isso, excelentes para o estudo da evolução da estrutura e formação das galáxias.

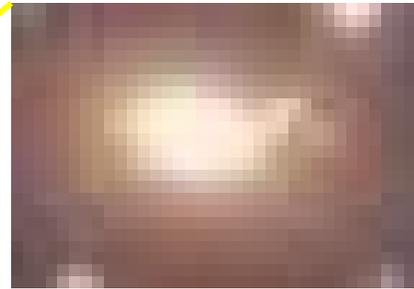
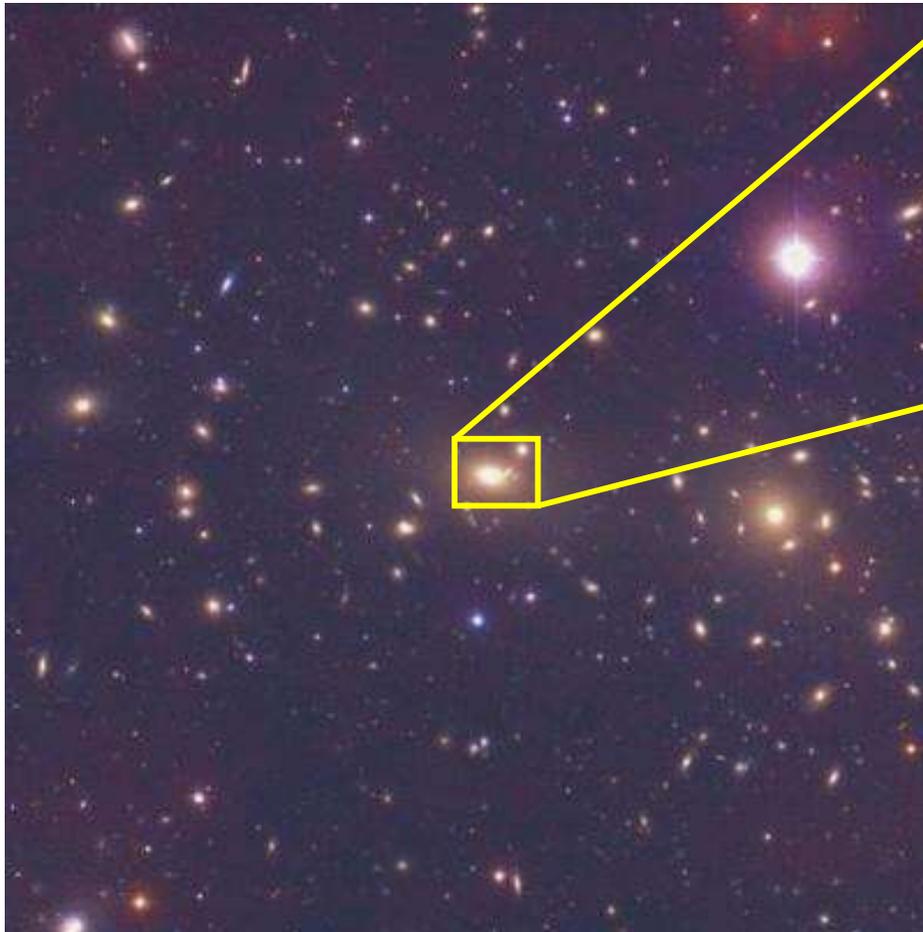
Os enxames tendem a segurar o gás nos seus sistemas, ao contrário das galáxias, onde o gás é forçado para fora através de explosões (por exemplo, em supernova): os enxames são sistemas fechados. Ao estudar a composição química de enxames obtemos uma descrição da nucleossíntese no Universo.

A força da gravidade que mantêm os enxames íntegros vem, principalmente, da matéria escura. Também para o estudo desta são os enxames excelentes.

A maior parte da matéria luminosa em enxames de galáxias existe na forma de gás quente. O gás, que tem uma temperatura de 10-100 milhões de graus, irradia raios-X. É mais quente em enxames ricos, regulares (como o de [Coma](#)) do que em enxames pobres, irregulares (como o da [Virgem](#)).

Gás quente nos enxames Abell 222 e 223, destacado em falsa cor vermelha/amarela (raios X observados com o XMM-Newton). O resto é a imagem óptica (com o Subaru).

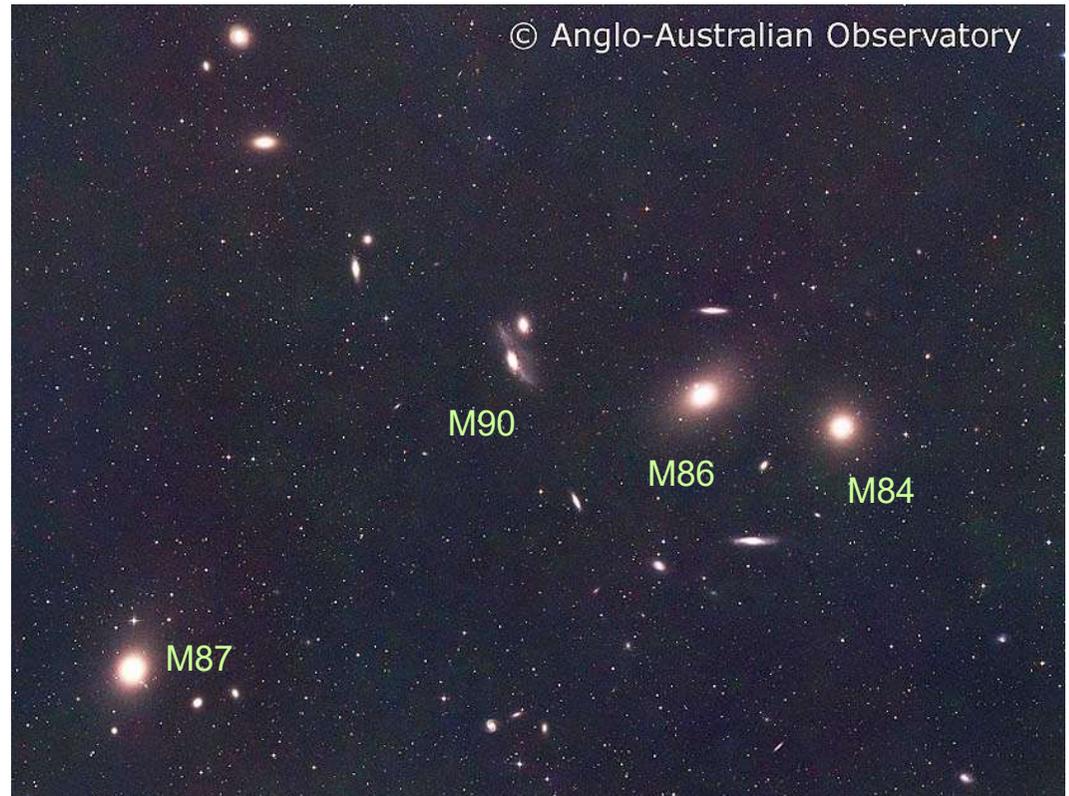




O Enxame da Virgem (irregular). A maioria dos objectos que se vê são estrelas da nossa Galáxia.

Notem-se as assinaladas galáxias, dominantes do enxame e não muito longe do seu “centro”.

© Anglo-Australian Observatory

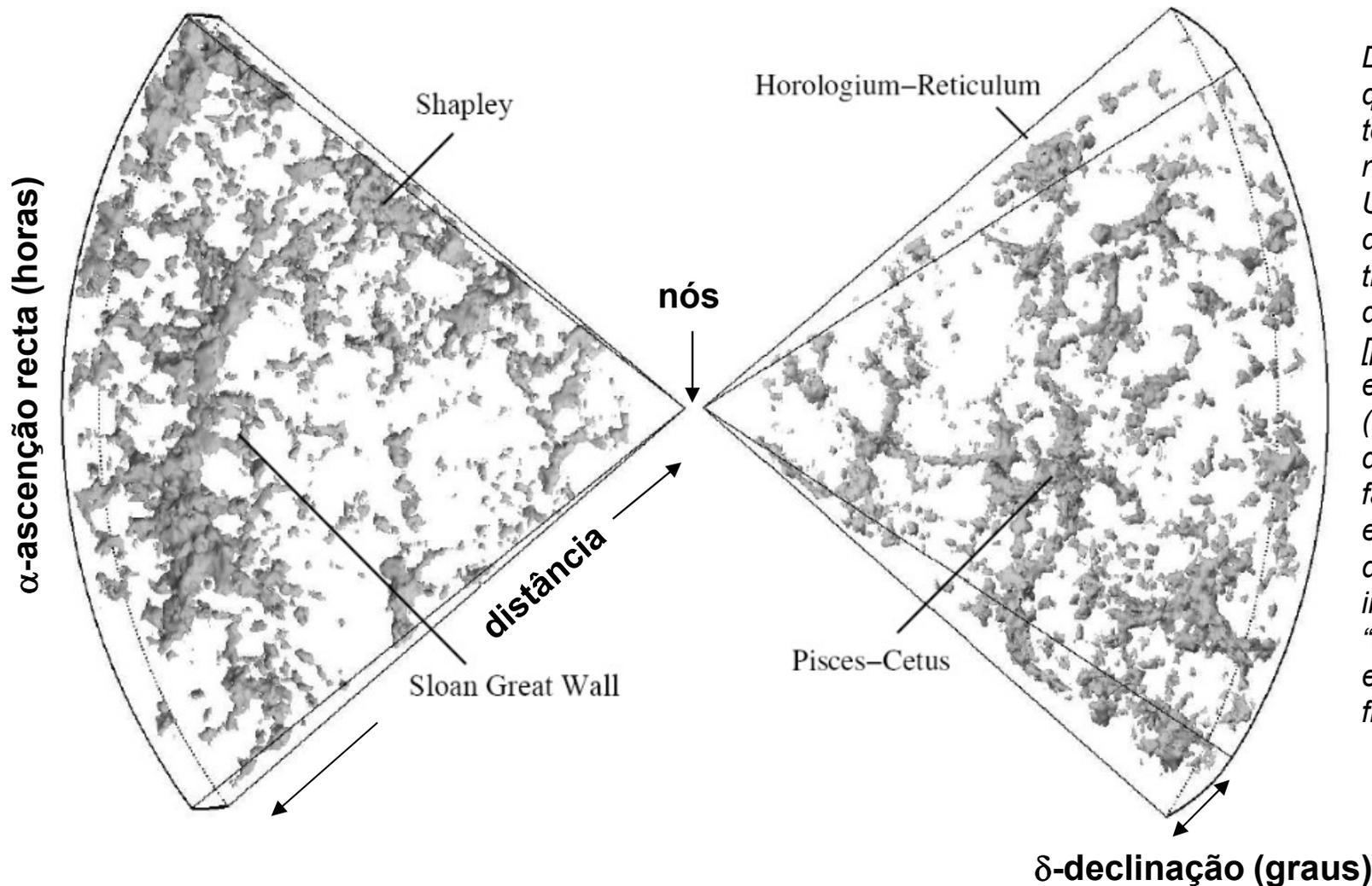


O Enxame de Coma (regular). Virtualmente todos os “pontos de luz” visíveis são galáxias.

Os enxames regulares têm (pelo menos) uma supergaláxia central (cD de “cluster dominant”) que resulta da agregação (“canibalismo”) de muitas galáxias circundantes. São as galáxias mais massivas do Universo, chegando a $10^{13} M_{\odot}$.

As estruturas maiores do Universo, no entanto, são os **super-enxames** de galáxias (enxames de enxames de galáxias). Contêm entre **cem** e **mil** enxames de galáxias (até 10^7 galáxias!): têm 10-500 Mpc e 10^{15} - $10^{20} M_{\odot}$.

De facto, as galáxias estão organizadas em grandes redes. Uma das maiores estruturas conhecida é uma rede de galáxias conhecida como a **Grande Muralha de Sloan** (~500 Mpc). Subsistem, no entanto, dúvidas se esta é mesmo uma estrutura gravitacionalmente unida.



Desde há duas décadas que este tipo de gráfico se tornou comum para representar estruturas no Universo a grandes distâncias de nós. É tridimensional mas com duas dimensões de espaço [projectadas no céu – (α, δ)] e uma de distância-tempo (uma vez que, a essas distâncias, é relevante o facto do Universo ser de espaço-tempo). A dimensão δ é, intencionalmente, muito “fina”, para encontrar estruturas ligadas fisicamente.

6.3 Galáxias activas

Por definição, são galáxias que emitem mais de **mil vezes** o total de radiação proveniente de estrelas (gás e poeiras).

Constituem 10% de todas as galáxias conhecidas.

O “modelo standard” de **núcleos galácticos activos** (AGN) diz que os seguintes objectos são, de facto, exactamente o mesmo fenómeno:

- Seyferts (Sy1, Sy2), incluindo LINERs (Sy3)
- Blazares
- Quasares (rádio) / QSOs (óptico) – Quasi-Stellar Objects
- Rádio Galáxias

O melhor catálogo actual de AGN:

“Quasars and Active Galactic Nuclei (12th Ed.)”, Véron-Cetty & Véron (2006), A&A, 455, 773

> 107 mil AGN

Seyferts

As **Seyferts** foram o primeiro tipo de AGN descoberto.

Há 14 240 catalogadas, das quais 90% Ss (10% Es).

Existem no Universo próximo (baixo a médio “redshift”).

Há ~9000 Sy1, ~4500 Sy2 e ~250 Sy3. A diferença entre Sy1 e Sy2 é apenas no espectro óptico: Sy1 têm riscas largas e estreitas e Sy2 apenas estreitas.

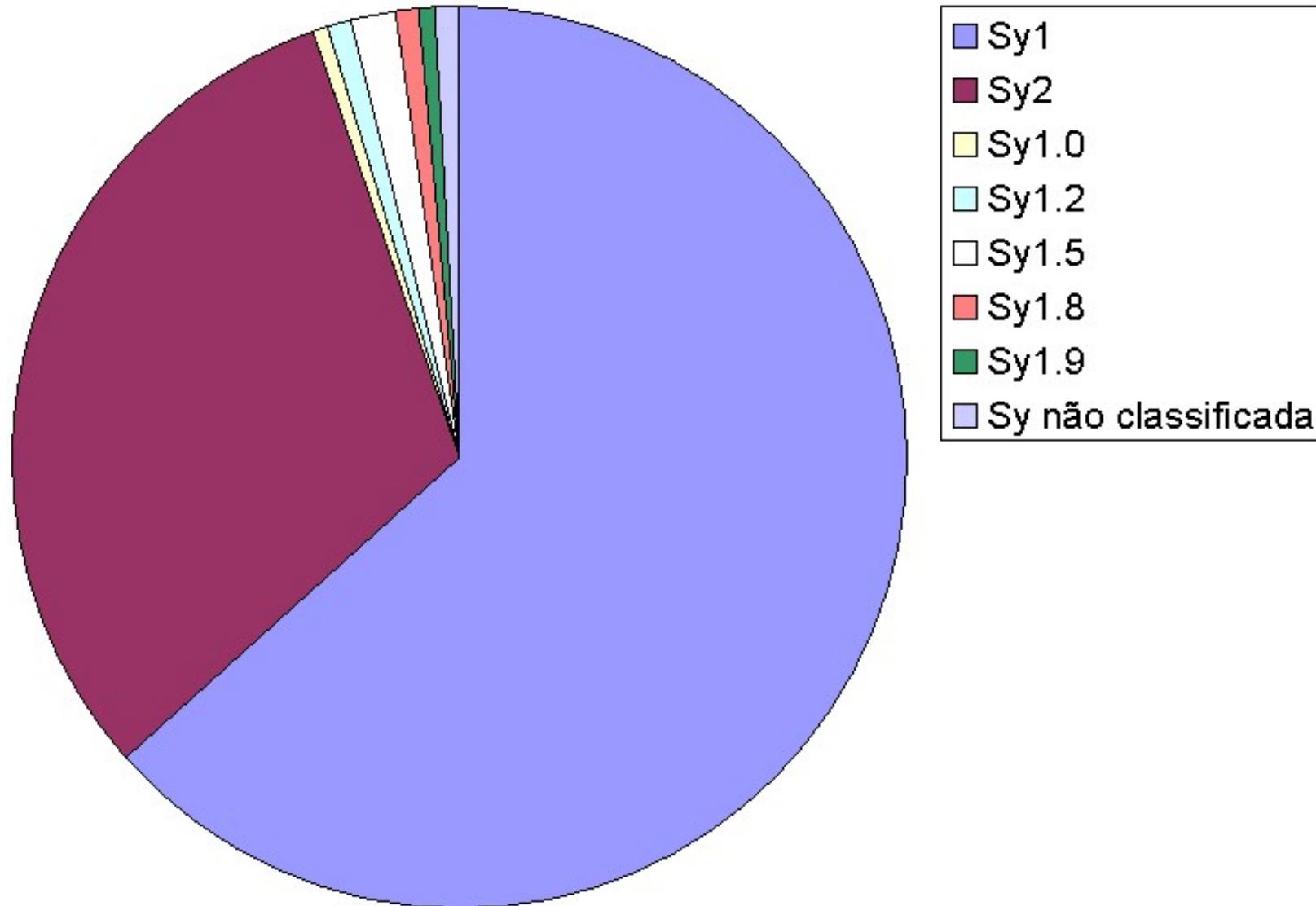
Mais formalmente, tudo anda à volta da largura das riscas de $H\alpha$ e $H\beta$. Definindo R como a razão desta entre $H\beta$ e $H\alpha$, temos ainda subtipos:

Sy2	não há largura nem em $H\alpha$ nem em $H\beta$	
Sy1.9	largura só em $H\alpha$	($R=0$)
Sy1.8	largura em $H\alpha$ e $H\beta$	(com $R < 1/3$)
Sy1.5	largura em $H\alpha$ e $H\beta$	(com $1/3 < R < 2$)
Sy1.2	largura em $H\alpha$ e $H\beta$	(com $2 < R < 5$)
Sy1.0	largura em $H\alpha$ e $H\beta$	(com $R > 5$)

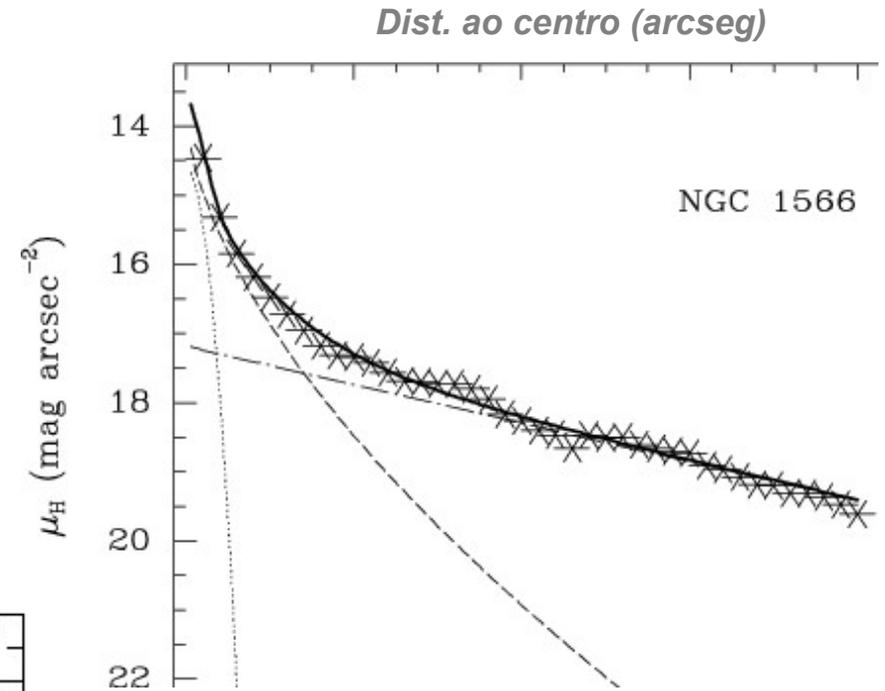
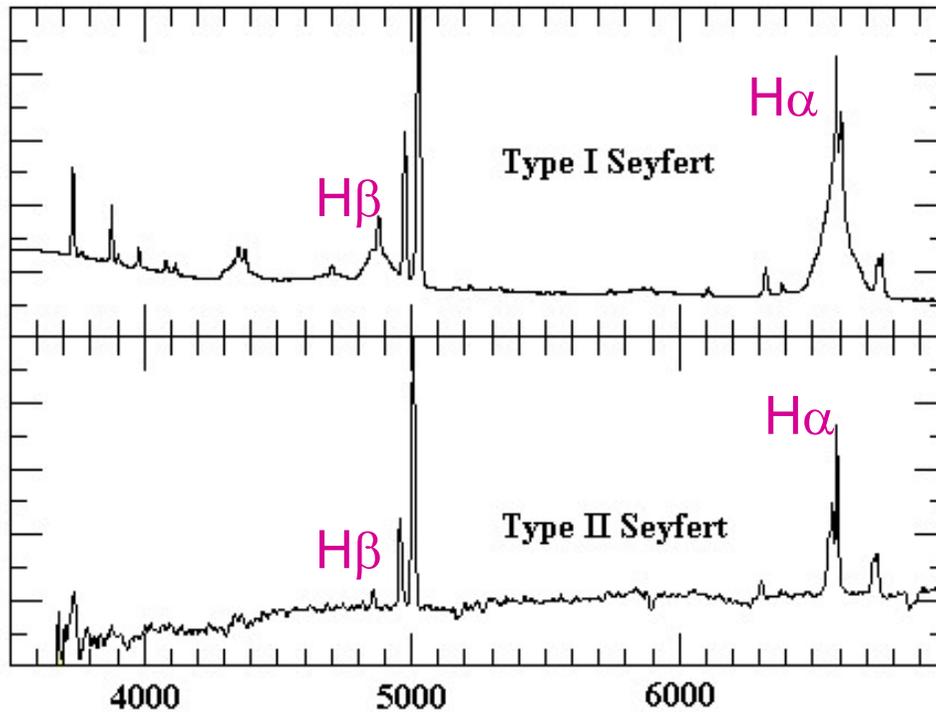


Uma Seyfert (como a NGC7742) tem por característica principal, além do espectro, um ponto brilhante de luz central, que pode ser comparável em brilho total ao resto da galáxia.

Em termos estatísticos temos os resultados seguintes, do catálogo Véron & Véron (2006), A&A, 455, 773.



As diferenças, nos espectros, entre Sy1 (emissão de riscas estreitas e largas) e Sy2 (emissão apenas de riscas estreitas).



Um perfil de luz de uma Seyfert, onde se vê claramente a grande concentração de luz no centro.

Sy1.5, de facto...

Sy1.8-1.9, de facto... 163

Blazares

Já se conhecem 1200 **blazares**, AGN com emissão muito variável (minutos a dias). Todos residem no Universo próximo ($z < 0.2$). A variabilidade é muito importante pois limita o tamanho da região de emissão. De facto, nenhum objecto pode variar mais depressa do que o tempo que a luz o demora a atravessar. Assim, como:

$$\text{Espaço} = \text{velocidade} \times \text{tempo}$$

Vem:

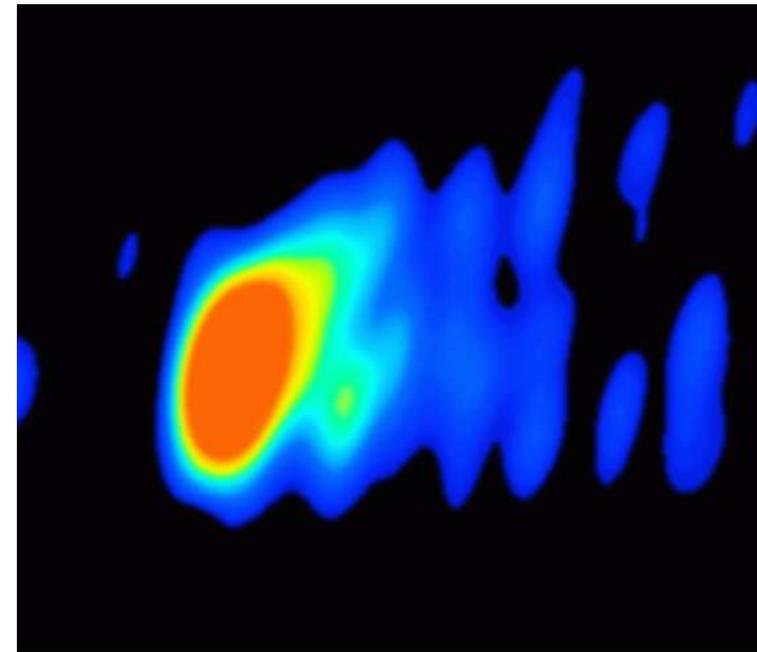
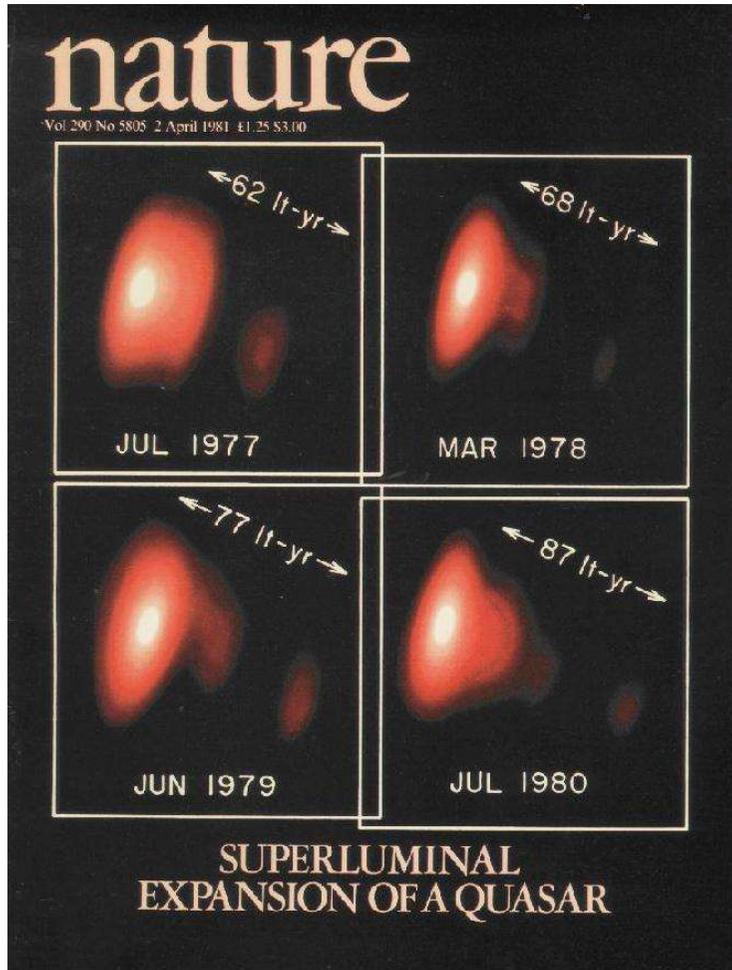
$$S = c t$$

Ou seja, minutos-luz, no limite, ou ~30 milhões de km, mais perto que a distância de Mercúrio ao Sol. Para um objecto com a massa medida mínima de um milhão de massas solares, é um pouco apertado...

Os blazares têm, frequentemente, movimentos **superluminais** (recorde: 40c).

O movimento superluminal em blazares foi oficialmente explicado na publicação Pearson et al. (1981), Nature, vol.290, 365 (fonte rádio 3C273; velocidade: 10c)

... mas desde os anos 60 do século passado que já se sabia da sua ocorrência e se tinha explicado, de uma forma menos elaborada, para objectos galácticos.



Um blazar no rádio. Só se vê um jacto. O outro está muito fraco em relação ao que se vê. A inclinação do jacto com a nossa linha-de-visão é quase zero graus...

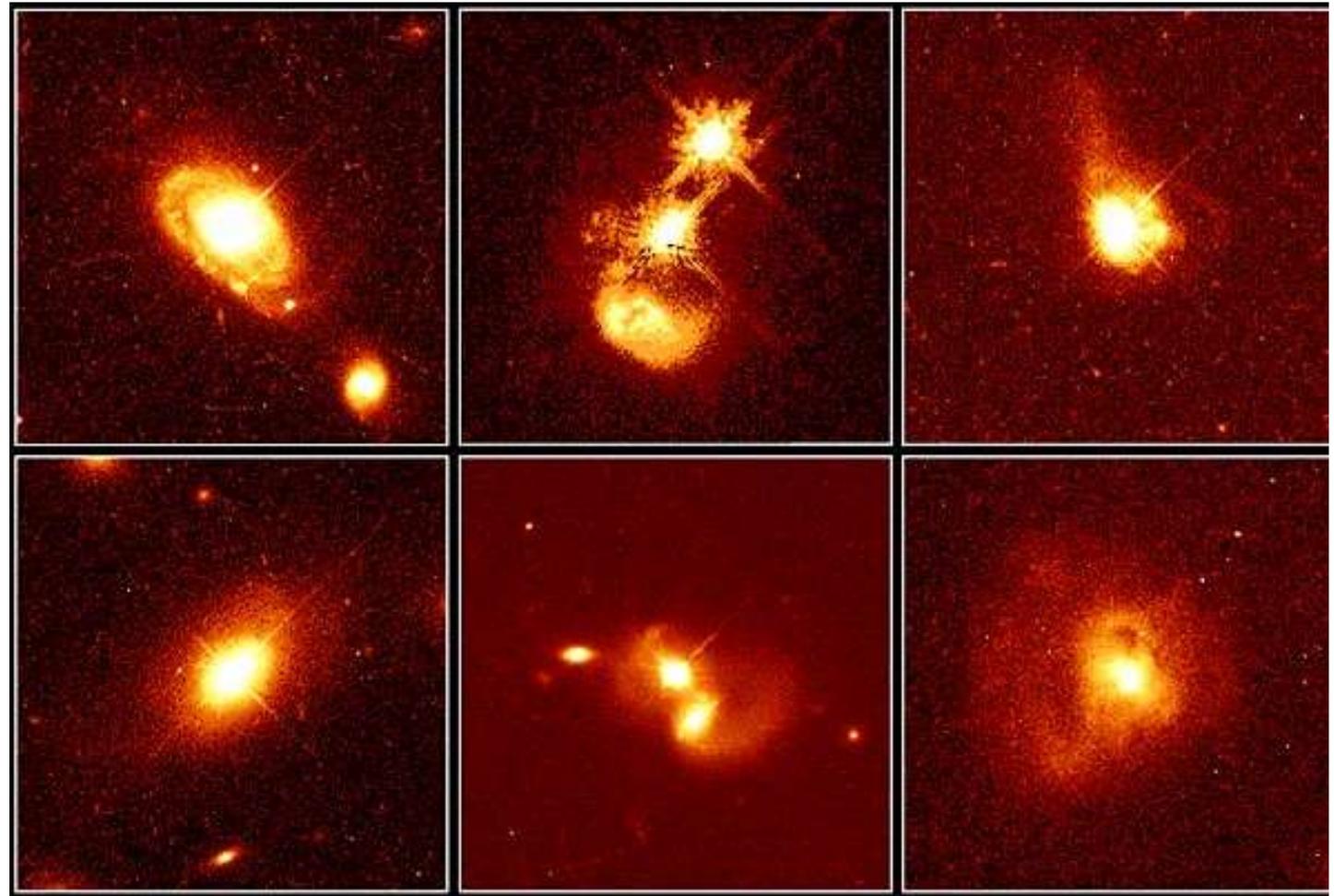
Há dois tipos principais de blazares:

- i) BL Lacs, que residem em Es; espectro sem riscas
- ii) OVV (Optically Violent Variables) que misturam muitas propriedades: no óptico são como Sy1; no rádio como BLLacs; no espectro rádio como quasares.

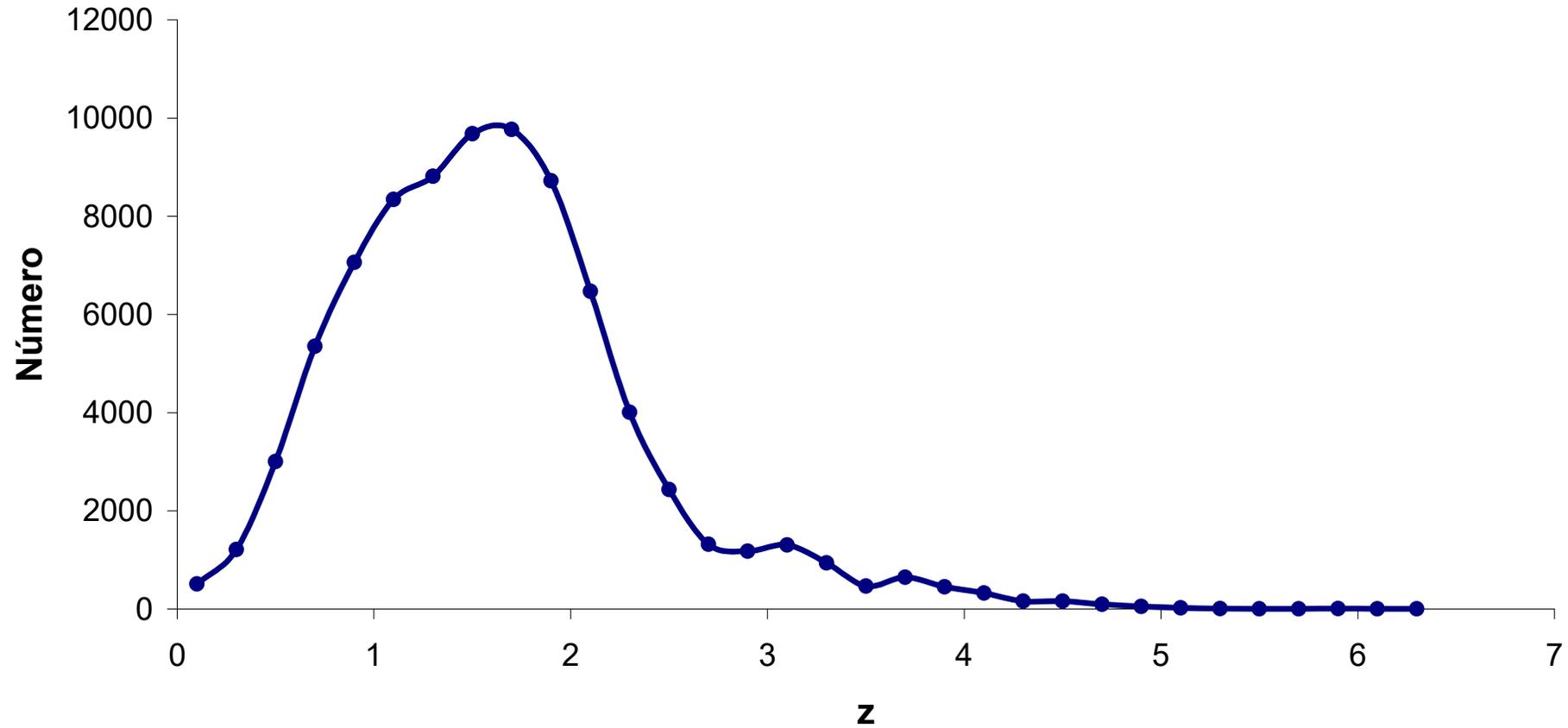
Quasares

Os **quasares** são o tipo mais famoso e também o mais abundante. Já se contam mais de 84 000. O seu nome revela o que são: como estrelas mas com a luminosidade de uma galáxia. Espalham-se por todo o Universo.

O HST confirmou os quasares como residentes em galáxias. A surpresa veio de quase sempre estas serem peculiares (estão em interacção).



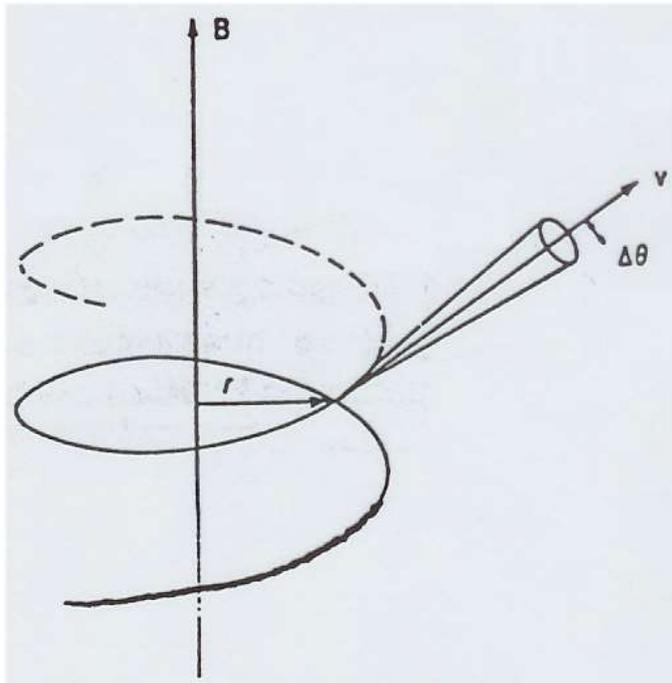
Distribuição para 82554 QSOs (Véron12th - 2006)



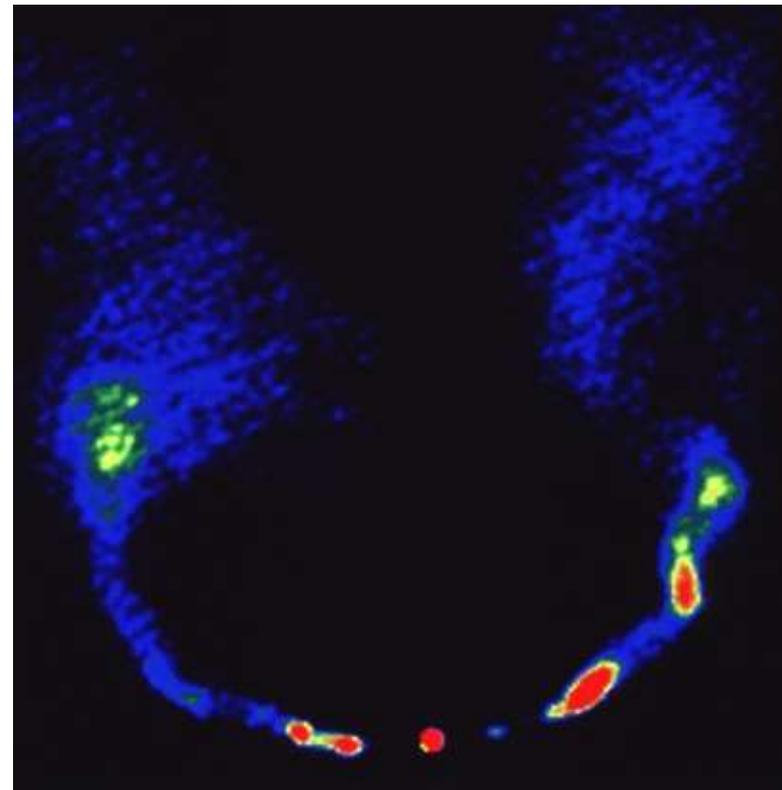
A distribuição, pelo Universo, dos quasares. O recordista está a $z = 6.4$.

Rádio galáxias

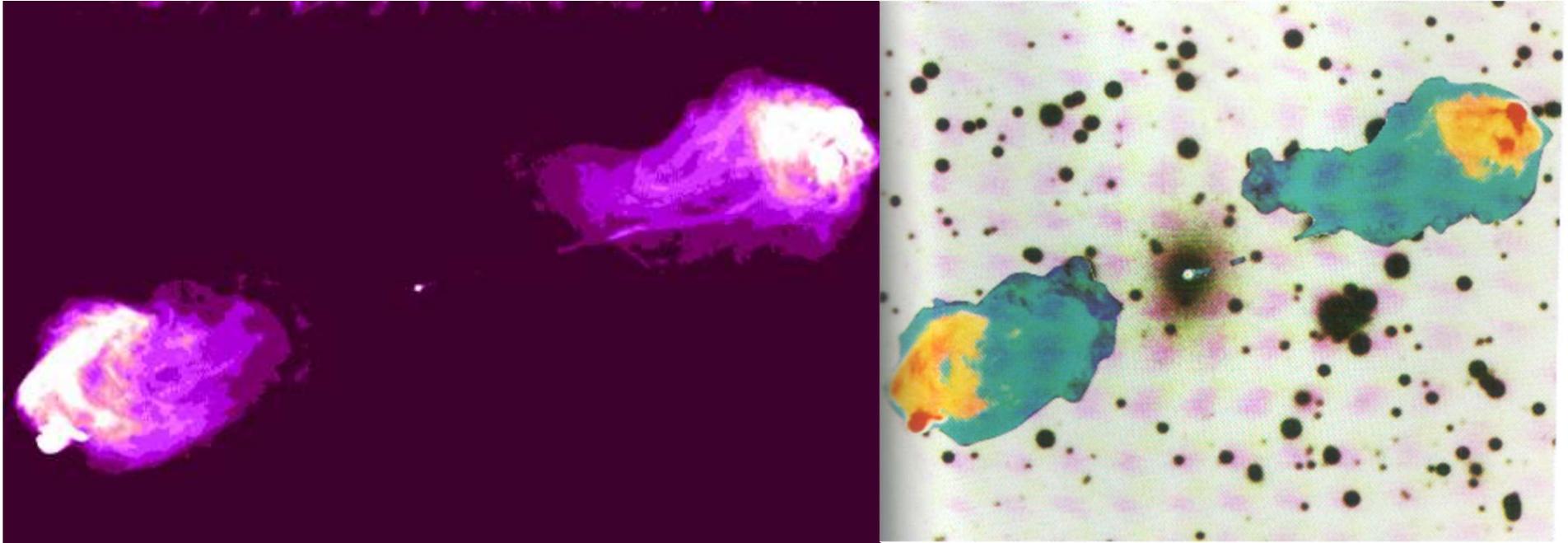
As **rádio galáxias** emitem fundamentalmente emissão contínua **sincrotrónica** (temperaturas “de brilho” da ordem de 10^{12} K – perto do máximo da Física). Conhecem-se milhares e residem em Es. A sua morfologia consiste em dois jactos de plasma opostos a sair de um núcleo central e a terminar em lobos.



*A emissão sincrotrónica surge do movimento em **sincrotrão** de electrões relativistas num campo magnético (se não fossem relativistas, chamaríamos ao movimento **ciclotrónico**).*

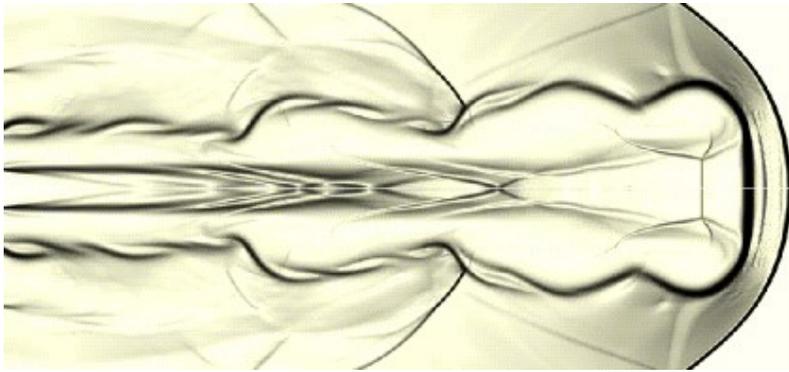


Uma rádio galáxia Fanaroff-Riley tipo I (FRI), neste caso no centro de um enxame (numa cD). Note-se que os jactos, lentos, se vêem perfeitamente.

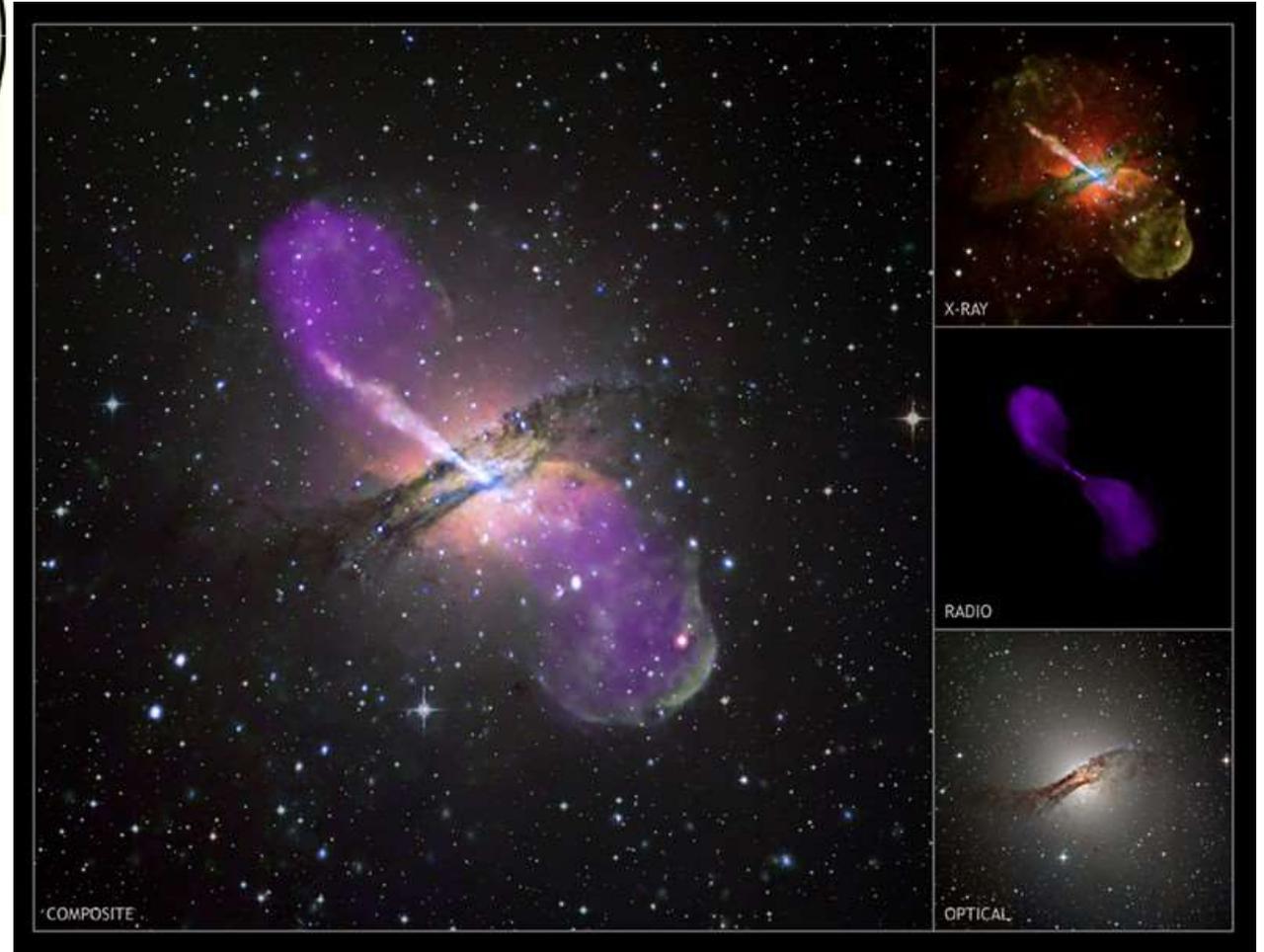


Cygnus A, o protótipo de uma rádio galáxia FR II. Os jactos opostos são supersónicos e, por isso, não se vêem. Há choques violentos nos lobos. Os jactos chegam a distâncias de 1 Mpc, bem maiores que o tamanho da galáxia hospedeira (imagem à direita: visível a preto e branco; rádio a cores).

Uma forma de distinguir as FRI das FR II é pela sua morfologia: mede-se a distância entre os máximos de emissão rádio em cada um dos lados do núcleo, que pode ser nos jactos ou nos lobos (d_{picos}) e divide-se pela dimensão total da galáxia (D). Então: $d_{\text{picos}} / D < 0.5$ dá uma FRI, caso contrário uma FR II.



Formalmente, um jacto de plasma existe sempre que o comprimento é, pelo menos, cinco vezes a largura. Na imagem, uma simulação numérica recorrendo à complexa magnetohidrodinâmica.



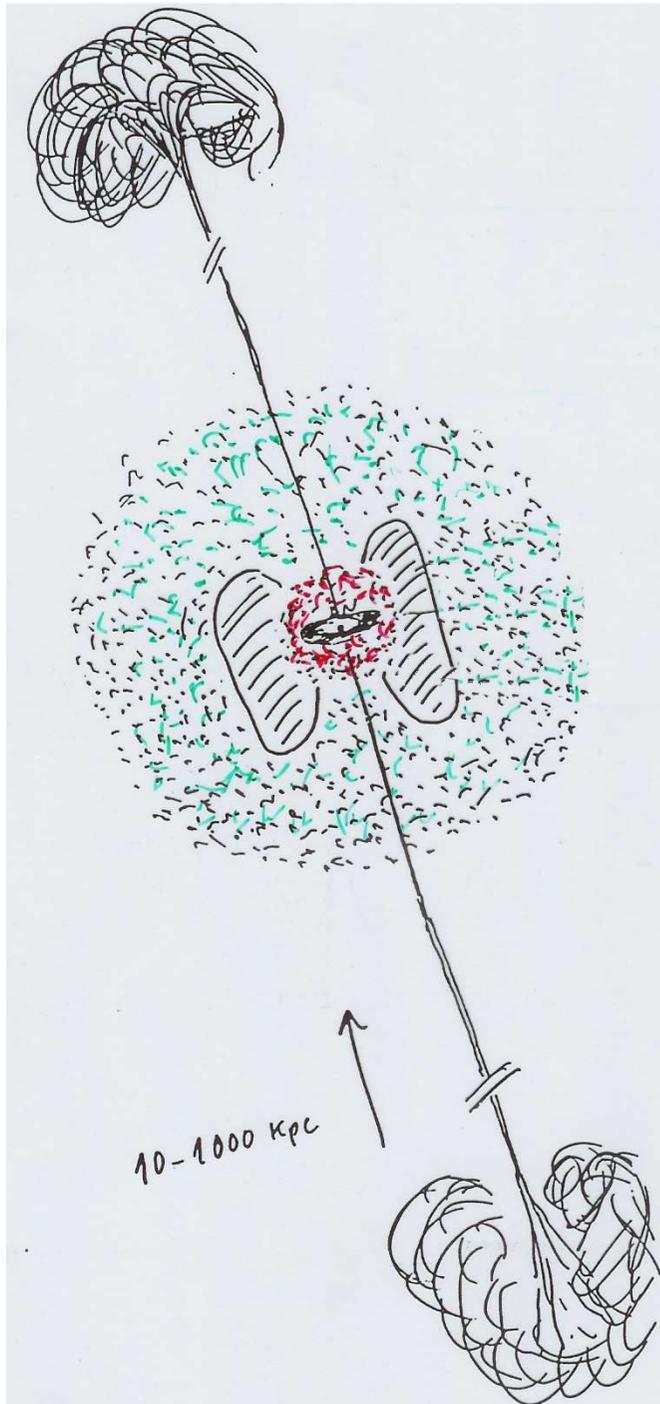
O AGN mais próximo de nós é Centaurus A, uma rádio galáxia (a ~3 Mpc). Aqui vê-se no óptico e raios X também, para além do rádio.

Unificação

Uma das “peças” fundamentais do “modelo standard” de AGN, que os unifica a todos, é um **toro molecular** que permite que, apenas por geometria, possamos “ver” este ou aquele tipo. Assim, a confirmação com o HST da sua existência, foi uma importante vitória para este modelo.



O toro molecular de poeiras da Sy3 NGC4261.



O modelo standard de AGN. Um **buraco negro supermassivo** (10^6 - $10^9 M_{\odot}$) central em rotação, agrega massa do ambiente através de um **disco de acreção** (a preto). Segue-se a **região de emissão de riscas largas** (BLR; a vermelho) com um tamanho de 0.1-1 pc, massa 10^2 - $10^4 M_{\odot}$ e temperatura 10^4 K. O **toro molecular** é visto em secção (tracejado), usualmente a 100 K, enquanto se segue a **região de emissão de riscas estreitas** (NLR; a verde) com um tamanho de 0.01-1 kpc e massa $10^9 M_{\odot}$. Finalmente, dois energéticos **jatos** opostos, que saem directamente do buraco negro, podem chegar a distâncias colossais.

O **buraco negro** é um enigmático objecto que surge sempre que a matéria tem uma densidade superior a um valor crítico. Passa, então, a ter gravidade suficiente para nem a luz deixar escapar. O seu “raio” (dito de Schwarzschild, quando estático) é dado por:

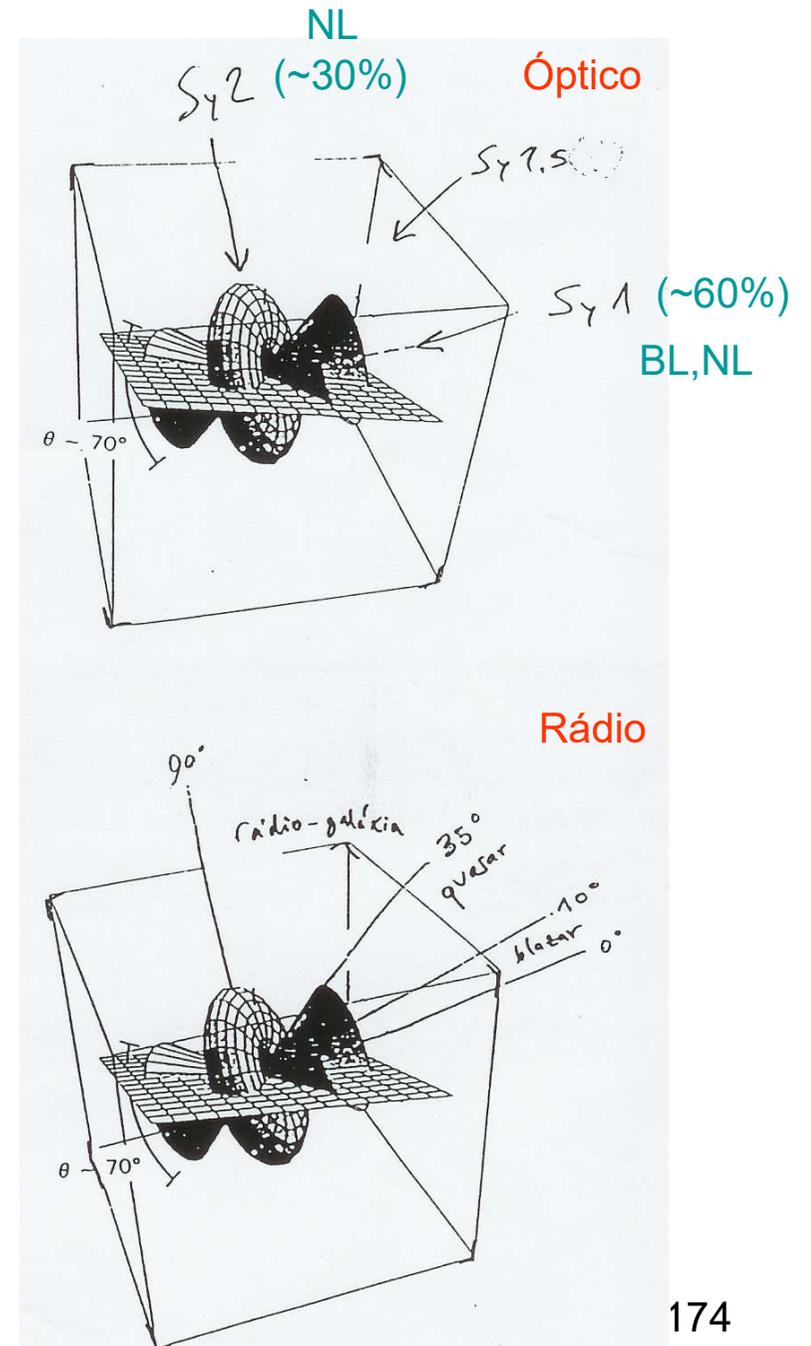
$$R_S = 2GM/c^2$$

O BN é descrito por apenas três propriedades: **momento angular**, **potencial gravítico** e **carga eléctrica**. Quando em rotação e carregado surge um campo magnético (buraco negro de Kerr-Newmann).



A unificação de AGN é feita por simples **orientação geométrica**. Conforme o ângulo de visão e o comprimento de onda da observação, veremos o mesmo modelo standard como um objecto diferente.

O toro molecular é o elemento fundamental para a teoria da unificação de AGN. Aliado a uma abertura típica do cone de emissão de radiação de 70° , explica as abundâncias e propriedades dos vários tipos de AGN.



6.4 Distâncias e a constante de Hubble

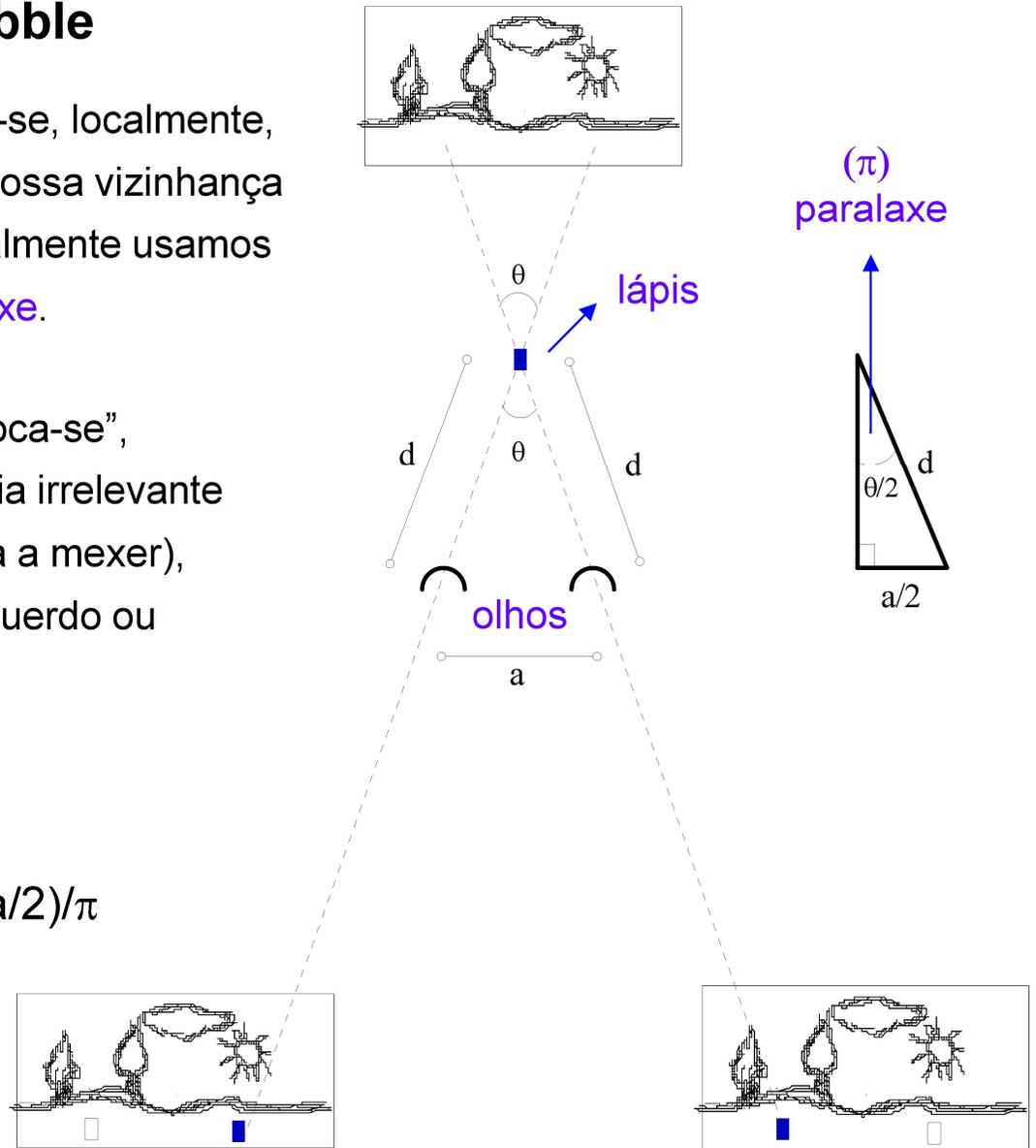
A medição de distâncias em Astronomia resolve-se, localmente, de forma simples e precisa mas (para além da nossa vizinhança galáctica), em geral, é um grave problema. Localmente usamos o método geométrico da triangulação por **paralaxe**.

A incógnita é **d**, distância do objecto. Este “desloca-se”, aparentemente, em relação a um fundo (distância irrelevante – é longe o suficiente para que não se veja nada a mexer), conforme alternamos o ponto de visão (olho esquerdo ou olho direito).

Por trigonometria, temos:

$$d = a/2 / (\text{sen } \theta/2) \approx a/2 / \theta/2 = (a/2)/\pi$$

Quanto maior for **a**, maiores as distâncias medidas com a precisão π .



Quando $a = \text{diâmetro da Terra}$,
consequimos medir a paralaxe da Lua e
de alguns planetas do Sistema Solar.

E como chegamos às estrelas?

Usando $a = \text{dobro da Unidade Astronómica !}$

Assim, obtemos:

$$\pi \approx 1.5 \times 10^{11}/d \text{ (rad)} \approx 3.1 \times 10^{16}/d \text{ (arcseg)}$$

$$\pi(\text{arcseg}) \approx 1/d(\text{pc})$$

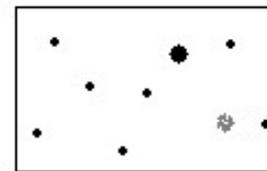
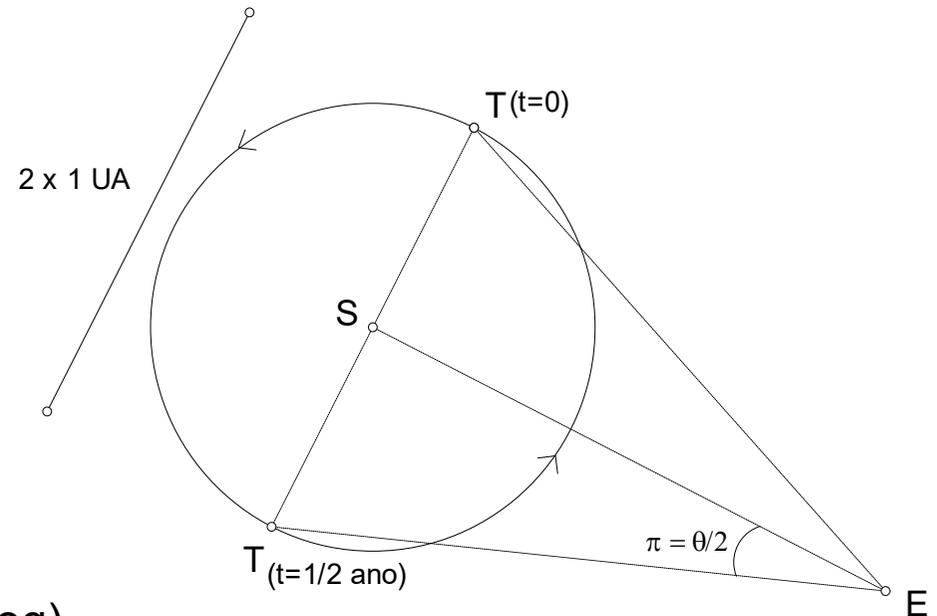
De facto,

$$1 \text{ rad} \approx 206265 \text{ arcseg}$$

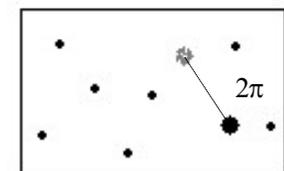
$$1 \text{ pc} \approx 206265 \text{ U.A.}$$

O satélite Hipparcos conseguiu uma precisão de $\pi \approx 0.0008'' \Rightarrow d \approx 1250 \text{ pc}$.

O satélite GAIA (2011) conseguirá uma precisão de $\pi \approx 0.00002'' \Rightarrow d \approx 50 \text{ kpc}$ (toda a galáxia!). 176



$t = 0$



$t = 1/2 \text{ ano}$

O grande problema da Astronomia Extragaláctica é a dificuldade em medir distâncias e, logo, a de conhecer a escala do Universo. Usa-se uma “[escada de distâncias](#)” em que vários métodos são utilizados em sucessão, de forma a sairmos da nossa vizinhança solar até chegar aos confins do Universo. O problema é o elevado erro no resultado final, acumulado de tantos métodos.

Hubble, em 1929, não foi o primeiro a constatar a expansão do Universo (Slipher tinha-o feito dez anos antes) mas descobriu que quanto mais longe uma galáxia se encontra de nós mais depressa “foge”. Conhecendo a razão desta expansão ([constante de Hubble](#), H_0) relacionamos directamente a velocidade (medida) de expansão com a distância da galáxia ($v_{rec} = H_0 D$). O problema está em que a constante de Hubble ainda não é conhecida com elevada precisão...

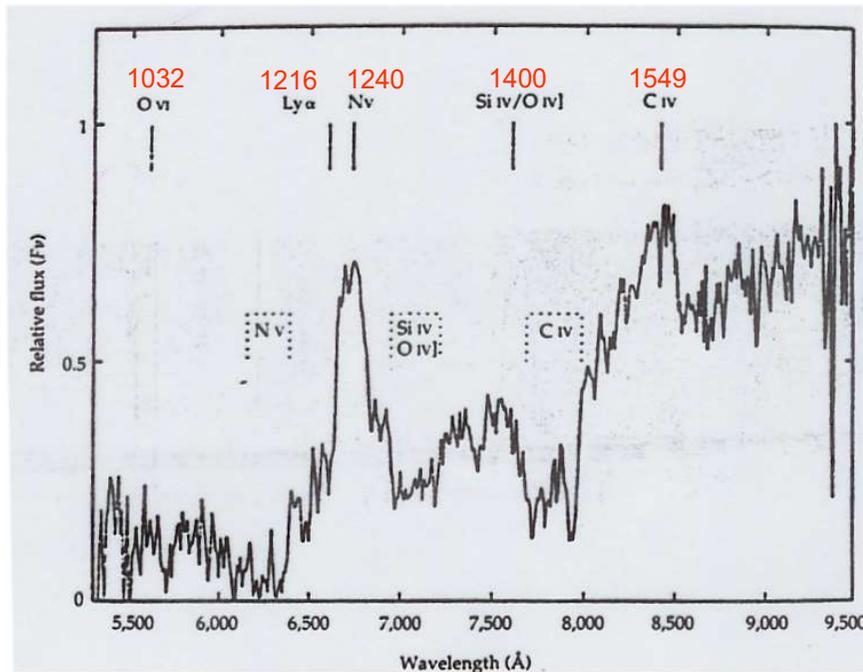
Por efeito de Doppler, a radiação de todas as galáxias no Universo em expansão sofre um desvio para o vermelho ([redshift](#) z). Este é observacionalmente dado por:

$$z = \Delta\lambda/\lambda_0 = v_{rec}/c = H_0 D/c$$

A última igualdade só é válida para $z \ll 1$, ou seja, enquanto a velocidade de recessão não é relativista. A partir daí a fórmula que é válida é:

$$v_{rec}/c = [(1+z)^2 - 1] / [(1+z)^2 + 1]$$

Na prática, estimamos z de uma galáxia (ou quasar, ou outro objecto qualquer) a partir do seu espectro óptico: é fundamental a identificação de várias riscas e depois a determinação do seu desvio para o vermelho em relação ao repouso (laboratório, λ_0). Como exemplo:



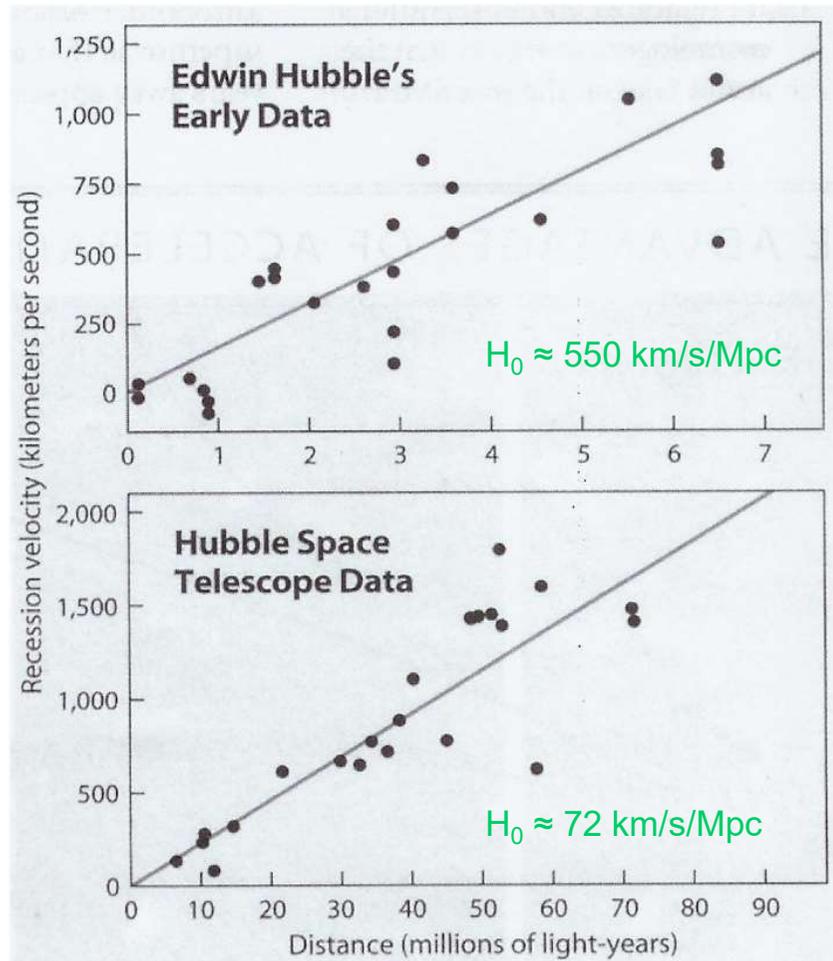
*Espectro óptico de um quasar. A gama de comprimentos de onda **observados** é dada em baixo. A identificação de cinco riscas é dada em cima, junto com os seus λ_0 (laboratório). Calcula-se então, para cada uma, o valor de $z = \Delta\lambda/\lambda_0$. Faz-se a média e obtém-se $z \approx 4.4$.*

A noção de distância, para o Universo longínquo, passa a ser bem diferente da convencional e, de facto, conforme o contexto em que trabalhamos temos três distâncias disponíveis: **própria** (teórica), de **luminosidade** e **angular**. Esta última é a mais utilizada quando fazemos imagens de objectos longínquos. Depende do parâmetro de densidade de massa do Universo, Ω_0 :

$$D_A = [2c(1 - \Omega_0 - (1 + \Omega_0 z)^{0.5})(1 - (1 + \Omega_0 z)^{0.5})] / [H_0^2 \Omega_0^2 (1+z)^2]$$

O redshift z é uma forma não ambígua de medir distâncias no Universo e é, por isso, a maneira usual como se apresentam distâncias a galáxias, AGN, etc.

Abordemos agora a questão da constante de Hubble H_0 . Como vimos, esta é fundamental para passarmos de z a **distância** (junto com Ω_0 , de que falaremos no Capítulo 7). O problema é que, desde a sua introdução por Hubble em 1929, a sua exacta determinação tem-se revelado incrivelmente difícil.

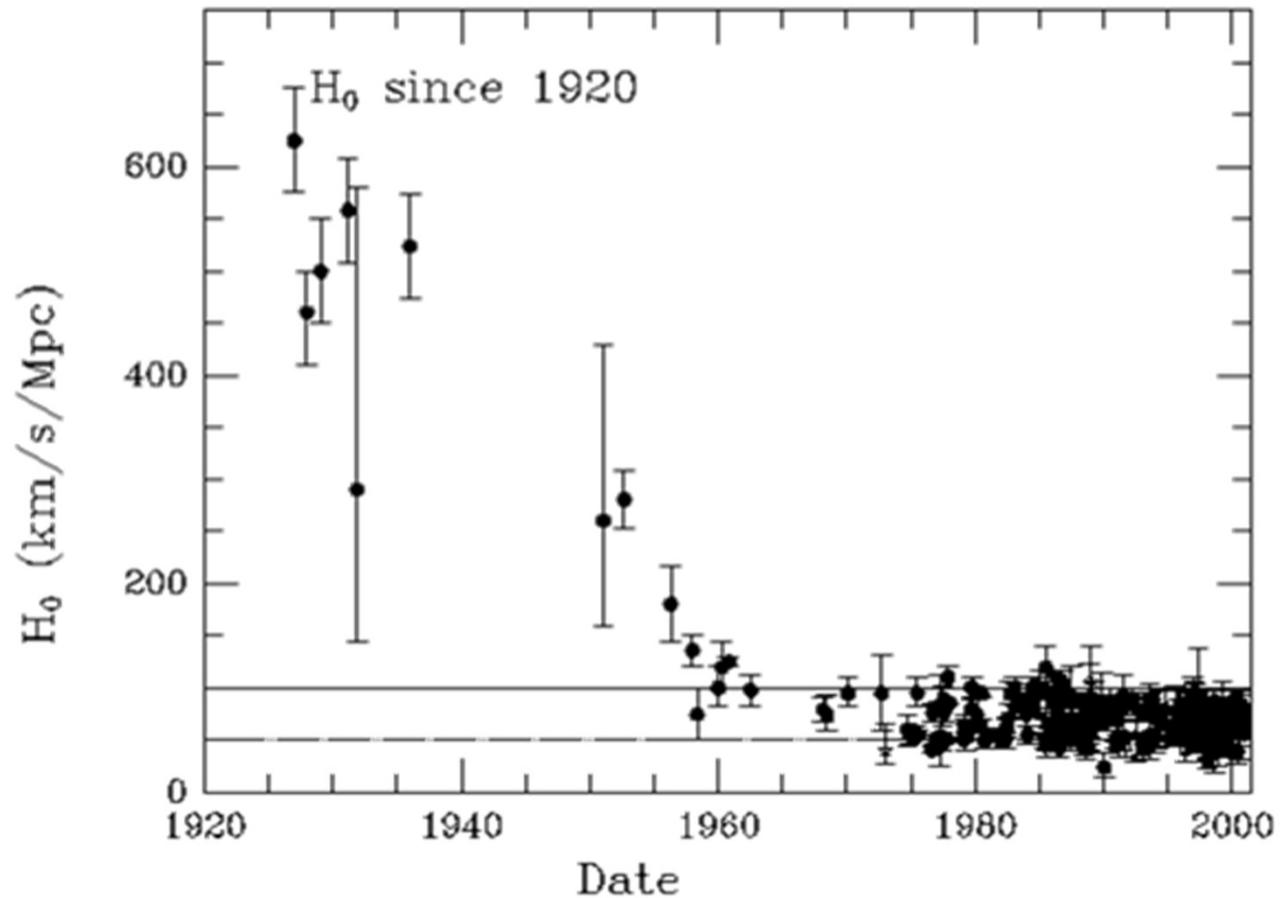


Como indicador de distância a todas as galáxias da sua amostra (no Grupo Local), Hubble utilizou estrelas variáveis Cefeides. Mais tarde descobriu-se que estas existem em dois tipos e que Hubble os misturou. Os dados do HST são “apenas” até ao Enxame da Virgem.

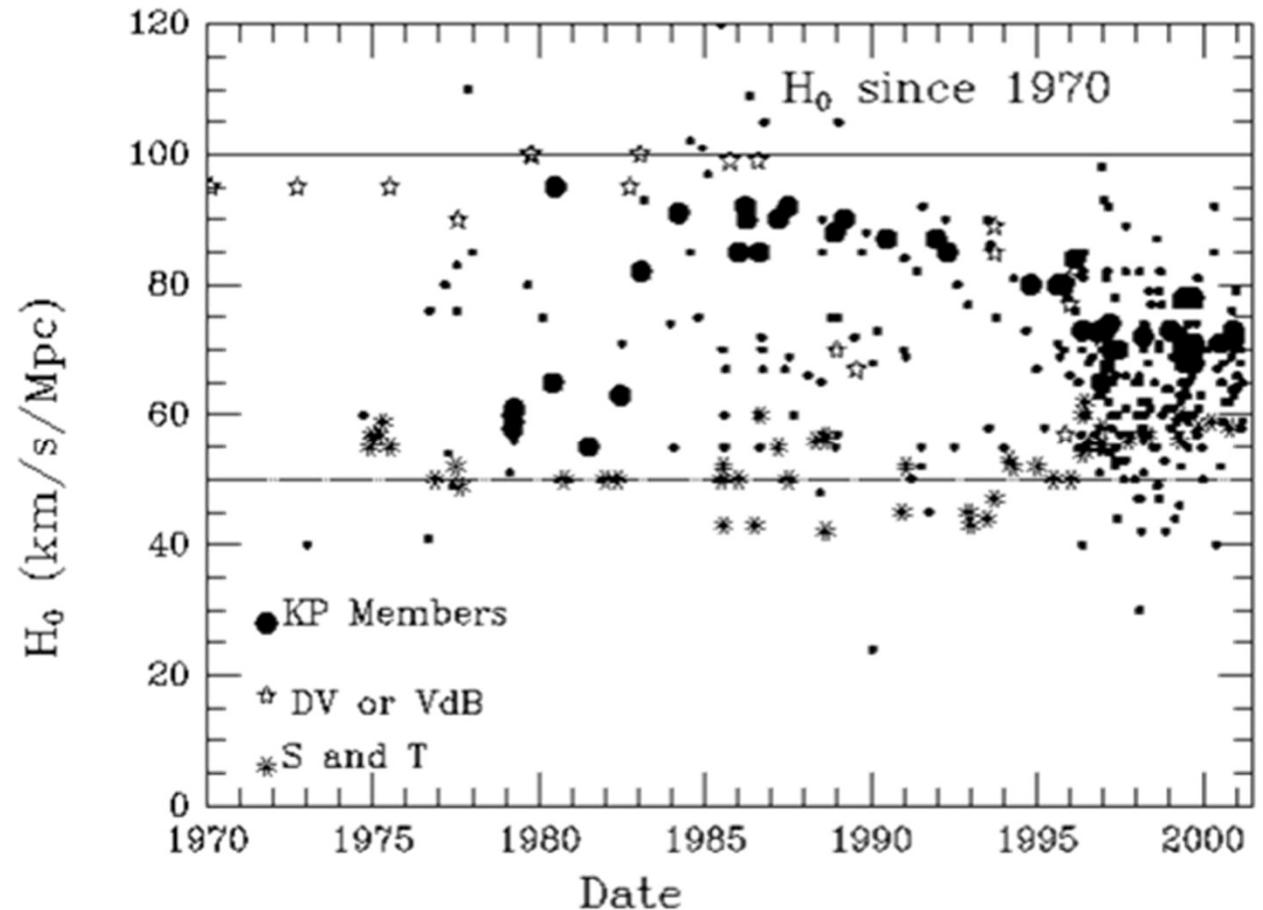
O valor da constante de Hubble no período 1927-2000.

Podemos separar a sua evolução em três períodos:

- i) **1927-1958**, quando desceu de cerca de 600 km/s/Mpc para perto dos 100 km/s/Mpc.
- ii) **1958-1985**, quando o seu valor estabilizou entre 50 e 100 km/s/Mpc mas as medições não eram muitas e os erros eram ainda grandes.
- iii) **1985-hoje**, quando, incrivelmente, apesar do imenso número de medições, ainda temos um intervalo de incerteza (67-71 km/s/Mpc).



Medições de H_0 de 1970 a 2001. Embora com uma tendência final para ter mais valores no intervalo 60-80 km/s/Mpc, ainda existem resultados recentes que vão tão baixo quanto 40 km/s/Mpc ou tão alto quanto 92 km/s/Mpc.



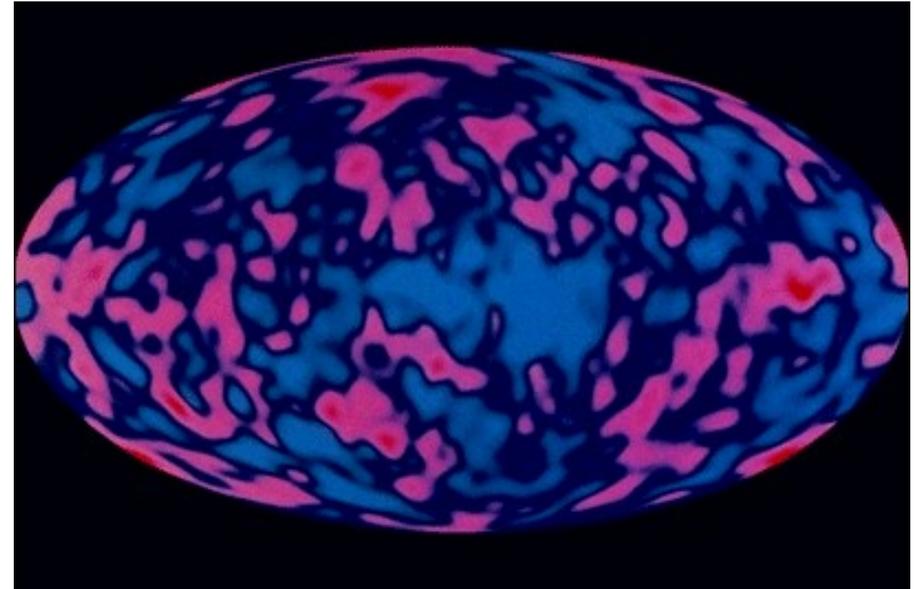
Uma boa forma de tentar fixar um intervalo relativamente pequeno é tomar a mediana (por ex.) das centenas de medições efectuadas recentemente. O intervalo mais consensual é

$$H_0 \approx 67-71 \text{ km/s/Mpc}$$

6.5 Evolução

Após o Big Bang (modelo apresentado no próximo capítulo) o universo “visível” (nas microondas, de facto, de forma mais proeminente) surge apenas ~400 000 anos depois ($z=1100$) no **ruído cósmico de fundo** (CMB).

*O CMB é muito homogéneo, numa parte em 10^4 , que são as flutuações **térmicas** apresentadas.*



É a partir das flutuações iniciais do CMB que tem lugar a formação, em cadeia, de todas as estruturas do Universo. Pensa-se que a matéria escura dominou essa formação. Em sequência:

$z \sim 1100$, $t_U \sim 400\,000$ anos – Estruturas primordiais (nuvens de gás)

$z \sim 100$, $t_U \sim 15 \times 10^6$ anos – Estruturas menores (nuvens de gás)

$z \sim 25$, $t_U \sim 120 \times 10^6$ anos – Proto-galáxias (proto-E: formação estelar intensa a partir de **todo** o gás)
Pop.III? (proto-S: colapso do gás num disco, sem formação estelar)

$z \sim 15$, $t_U \sim 260 \times 10^6$ anos – Galáxias; formação estelar começa em Ss (e continua até hoje – $z=0$)

$z \sim 11.5$, $t_U \sim 400 \times 10^6$ anos – Reionização do Universo pelas estrelas

$z = 6.96$ – 1ª Galáxia conhecida (não é o objecto mais longínquo do Universo, à excepção do Ruído Cósmico de Fundo, porque uma explosão em raios γ foi detectada a $z=8.2$ – GRB090423)

$z \sim 1-5$, $t_U \sim 1-5 \times 10^9$ anos – Tamanho das galáxias aumenta continuamente (agregação); formam-se estrelas ainda mais intensamente (25 vezes mais, com o pico a $z \sim 2.5$)

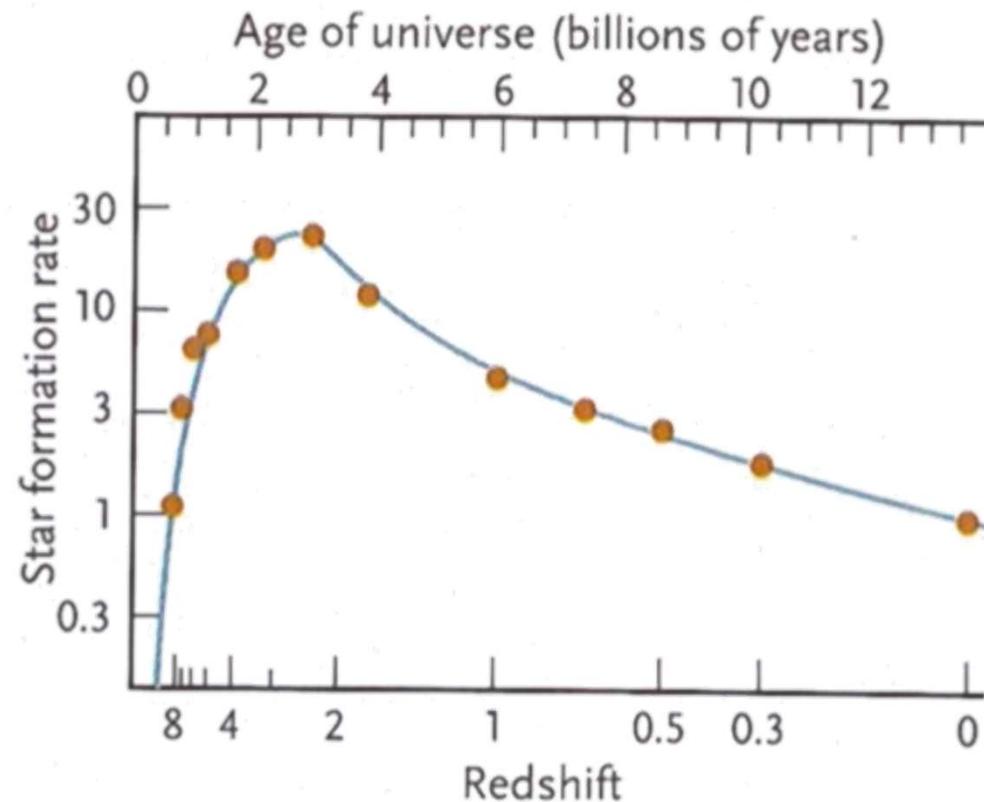
$z \sim 0-1$, $t_U \sim 5-14 \times 10^9$ anos – Região de validade da classificação de Hubble para as galáxias

$z < 0.01$ – Formação estelar volta praticamente à inicial ($z > 8$)

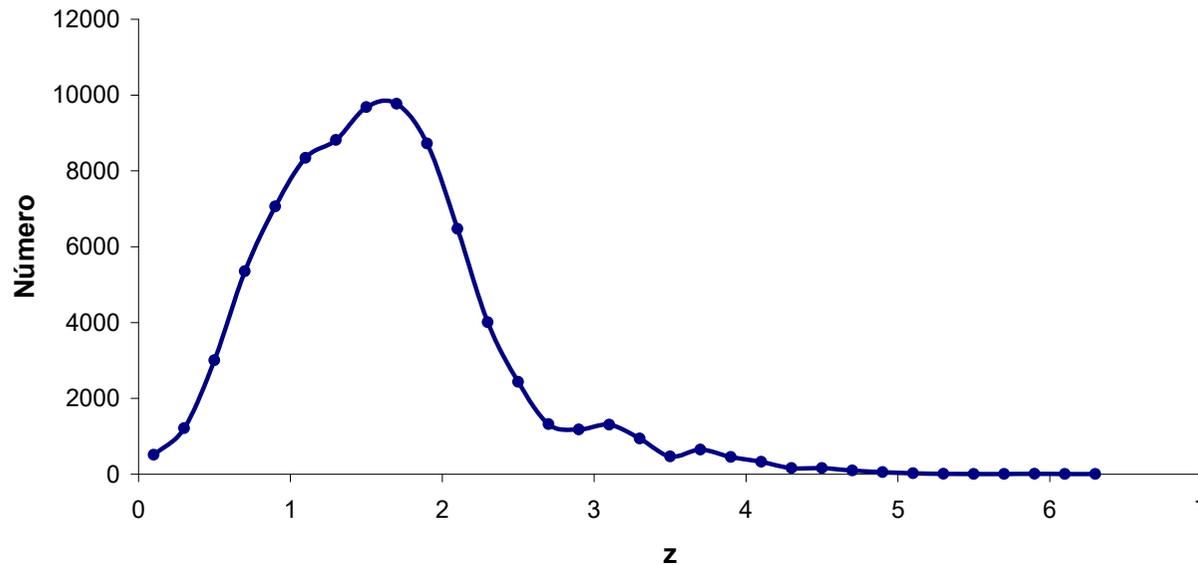
Qual a evolução de galáxias activas?

A interpretação de 10% de todas as galáxias conterem AGN é a de que **todas** foram AGN 10% do tempo. Por exemplo, no centro da nossa galáxia há um buraco negro supermassivo ($4 \times 10^6 M_\odot$) adormecido.

À luz do modelo standard de AGN, os quasares são a sonda utilizada para traçar a evolução de AGNs.



Distribuição para 82554 QSOs (Véron12th - 2006)



$z \sim 10$, $t_U \sim 500 \times 10^6$ anos – Colisões de galáxias: formação de BN supermassivos ($10^{6-9} M_{\odot}$)

$z = 6.43$ – 1º Quasar conhecido

$z \sim 5$, $t_U \sim 1 \times 10^9$ anos – AGNs “acendem-se” em muitas galáxias

$z \sim 1.5$, $t_U \sim 4 \times 10^9$ anos – Pico de actividade (quase todas as galáxias são activas nesta altura)

$z \sim 1$, $t_U \sim 5 \times 10^9$ anos – AGNs “apagam-se” rapidamente em quase todas as galáxias activas

$z \sim 0$, $t_U \sim 14 \times 10^9$ anos – Galáxias normais com BN supermassivos adormecidos no centro