

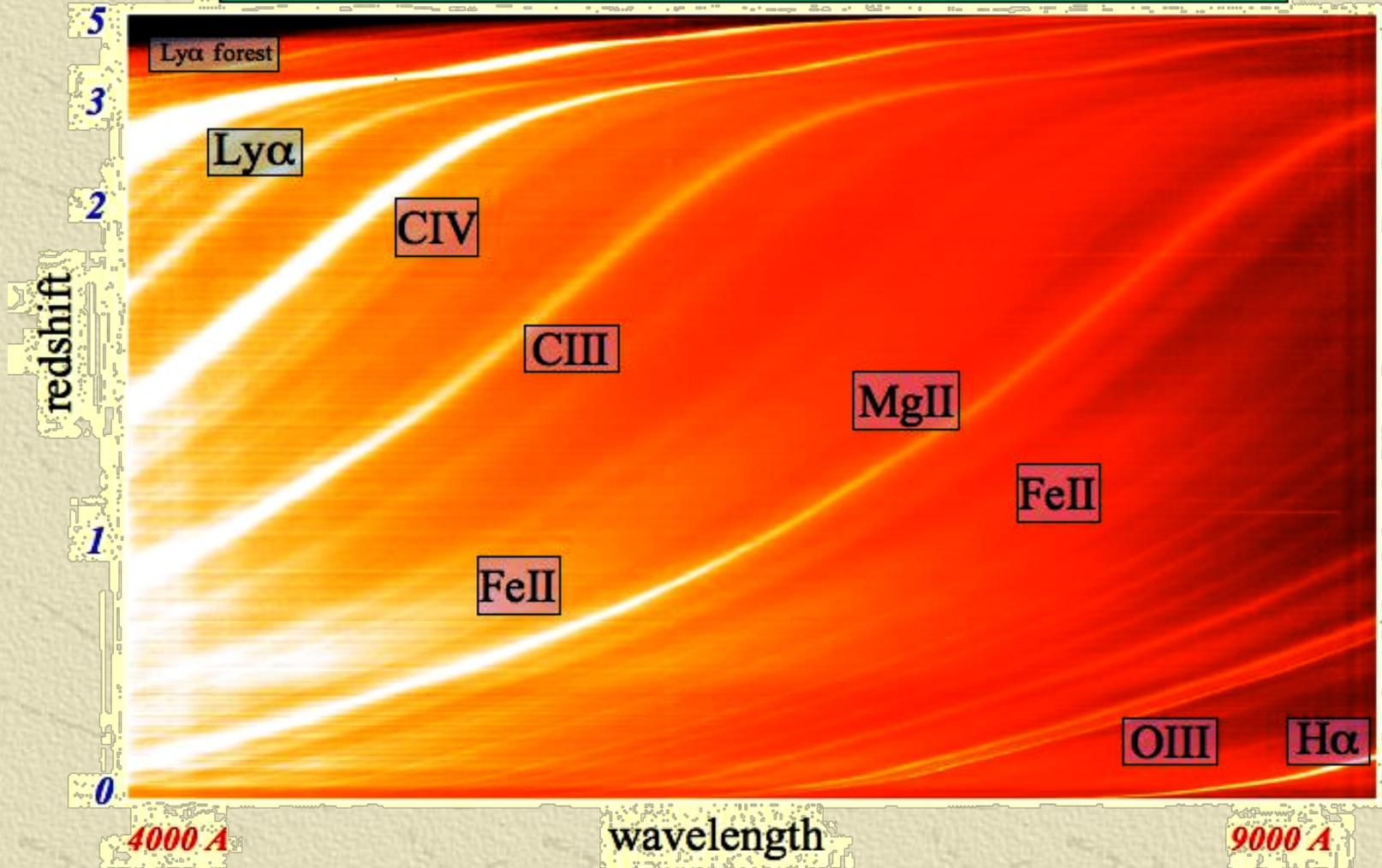


**Astronomia Extragaláctica**  
**Semestre: 2015.2**

Sergio Scarano Jr  
12/05/2016

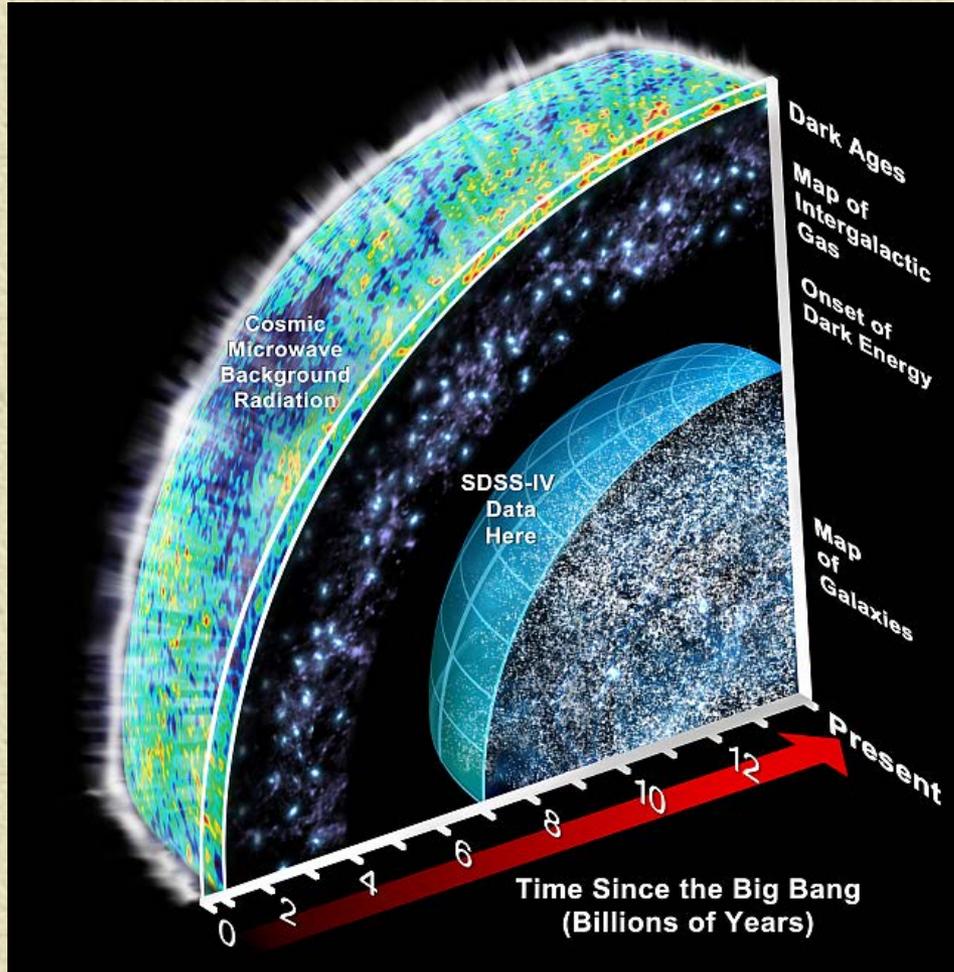
# Espectros do SDSS

46,420 Quasars from the SDSS Data Release Three



# Importância do Efeito Relativístico

Quanto mais longe observamos no universo, maiores são as velocidades observadas dos objetos se afastando de nós, mas essas não podem violar o princípio que a velocidade da luz é constante. Assim, pela relatividade:



Onda se deslocando na direção da fonte:

$$\lambda + vt = ct \Rightarrow t = \frac{\lambda}{c-v} = \frac{c}{(c-v)f_s}$$

$$\Rightarrow t = \frac{1}{(1-\beta)f_s}; \beta = \frac{v}{c}$$

$$t_0 = \frac{t}{\gamma}; \gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}}$$

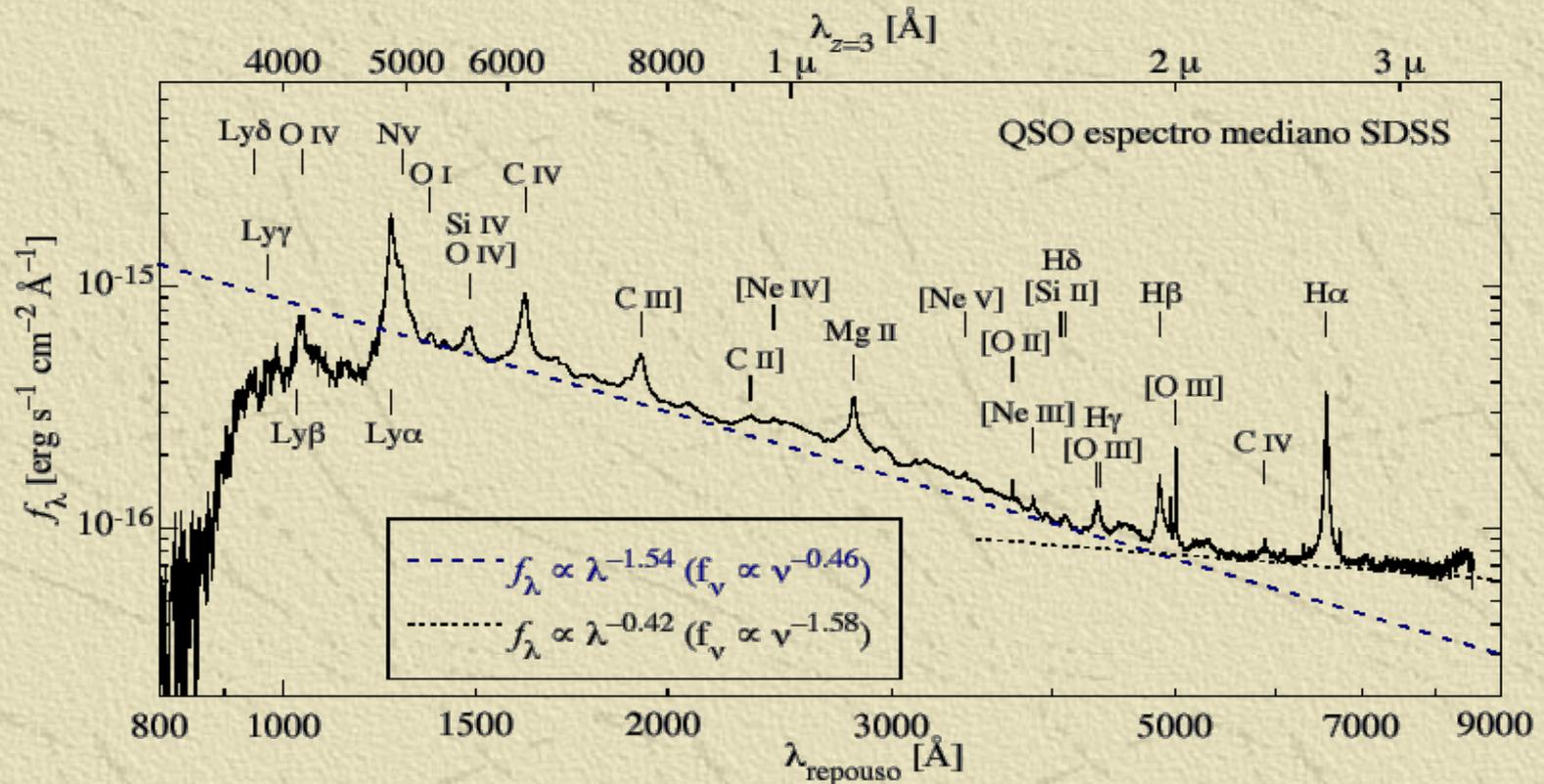
$$f_0 = \frac{1}{t_0} = \gamma(1-\beta)f_s = \sqrt{\frac{1-\beta}{1+\beta}}f_s$$

$$z = \frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{\lambda_0 - \lambda_s}{\lambda_s} = \frac{f_s - f_0}{f_0}$$

$$z = \sqrt{\frac{(1+v/c)}{(1-v/c)}} - 1 \quad \frac{v}{c} = \frac{(1+z)^2 - 1}{(1+z)^2 + 1}$$

# QSOs - Características

- ✓ **Quasi-Stellar Objects ;**
- ✓ **São os AGNs mais luminosos;**
- ✓ **Apresenta as mesmas propriedades observáveis de quasares (pontuais, redshifts cosmológicos, espectros de Sy 1) exceto por não terem emissão no rádio forte (são fontes “radio-quiet”)**
- ✓ **São 20 vezes mais frequentes que quasares;**
- ✓ **Na média são mais fracos que quasares.**



# Evolução dos QUASARS e QSOs com o Tempo

A distribuição de quasares (radio loud e radio quiet) com o redshift também mostra evolução. Suas frequências são maiores entre  $z \sim 1 - 3$  e seu número cias para reshifts maiores (parcialmente afetado por efeito de seleção).

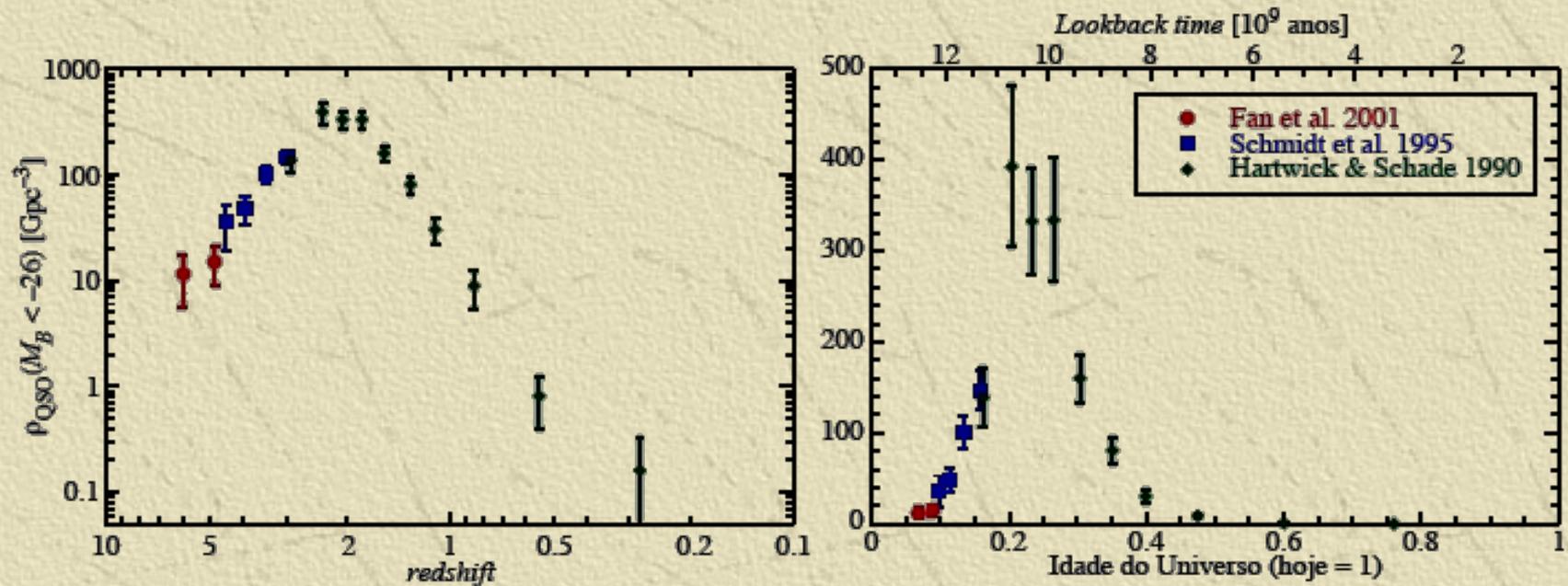
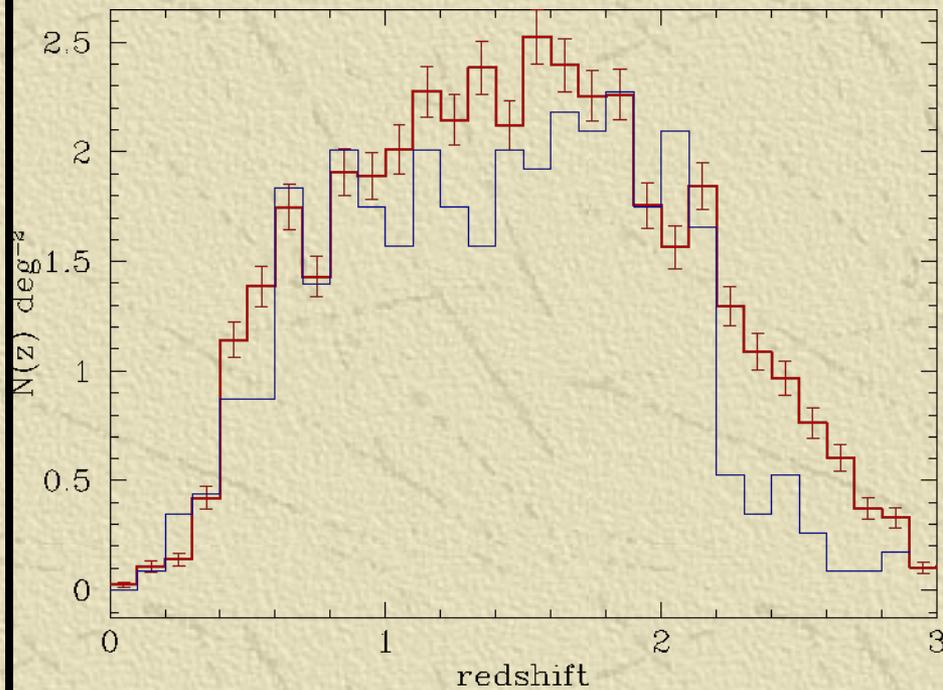
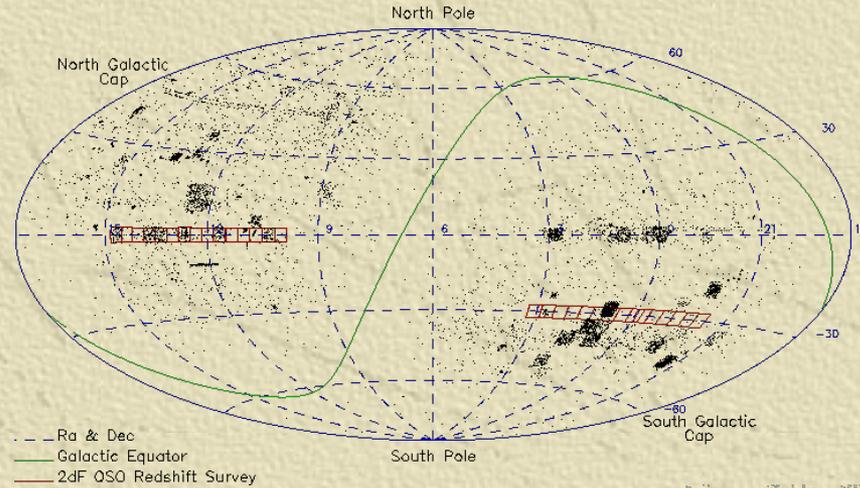


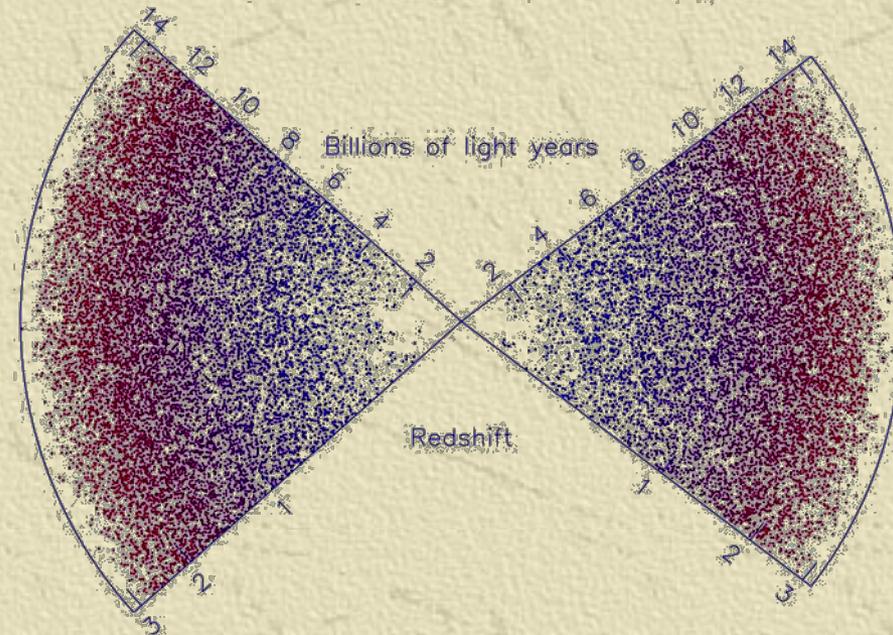
Figura 155: Abundância (densidade em coordenadas comóveis) de QSOs em função da idade do Universo e do *redshift* para QSOs com  $M_B < -26$ . Para  $z \gtrsim 6$  não sabemos ainda como evolui esta abundância. Dados tirados de [Fan et al. \(2001\)](#); [Schmidt et al. \(1995\)](#); [Hartwick & Schade \(1990\)](#).

# Evolução dos QUASARS e QSOs com o Tempo

2dF QSO Redshift Survey Regions

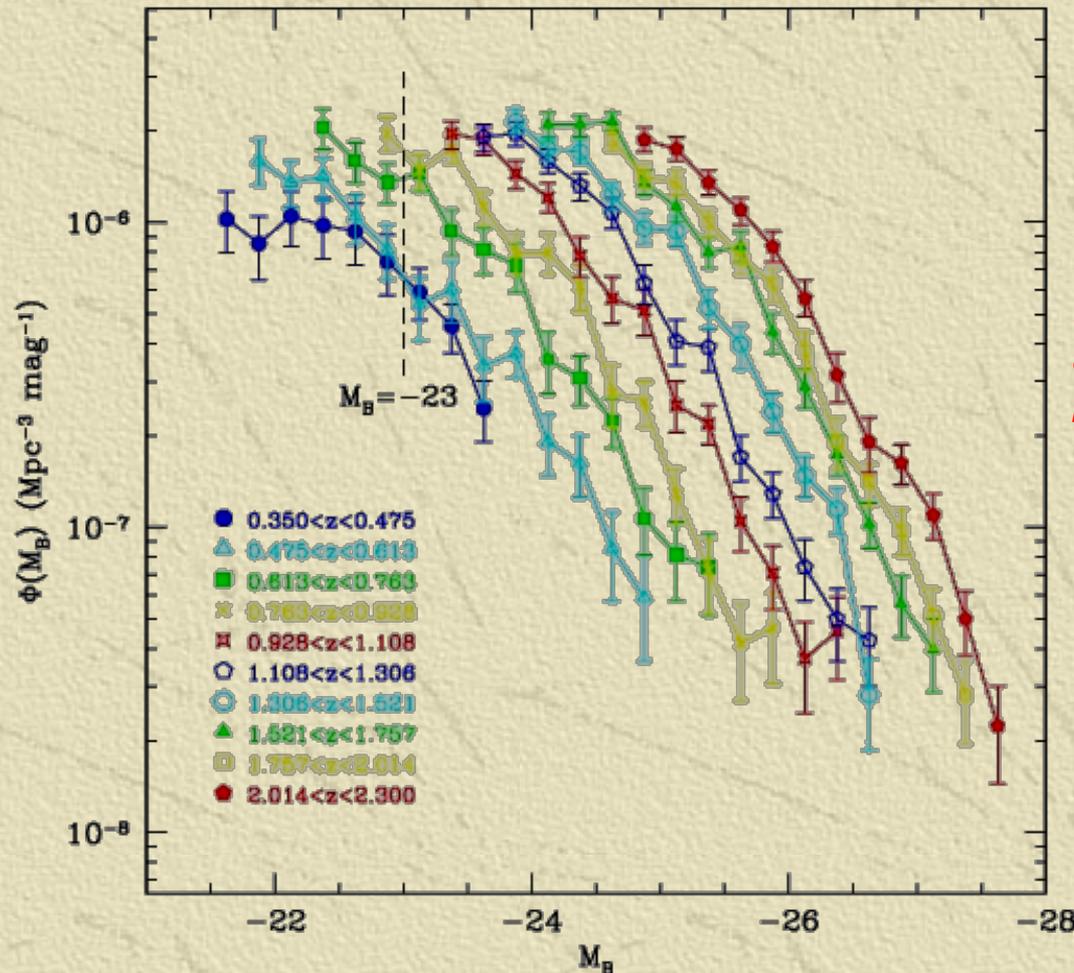


The 2dF Quasar Redshift Survey



## Evolução<sup>μ</sup> de Quasars e QSOs

A quantidade de energia emitida por esses objetos parece ter mudado com o tempo, como revela a função de luminosidade (ou magnitude absoluta) separada por bins em redshift. QSOs eram mais luminosos no passado.

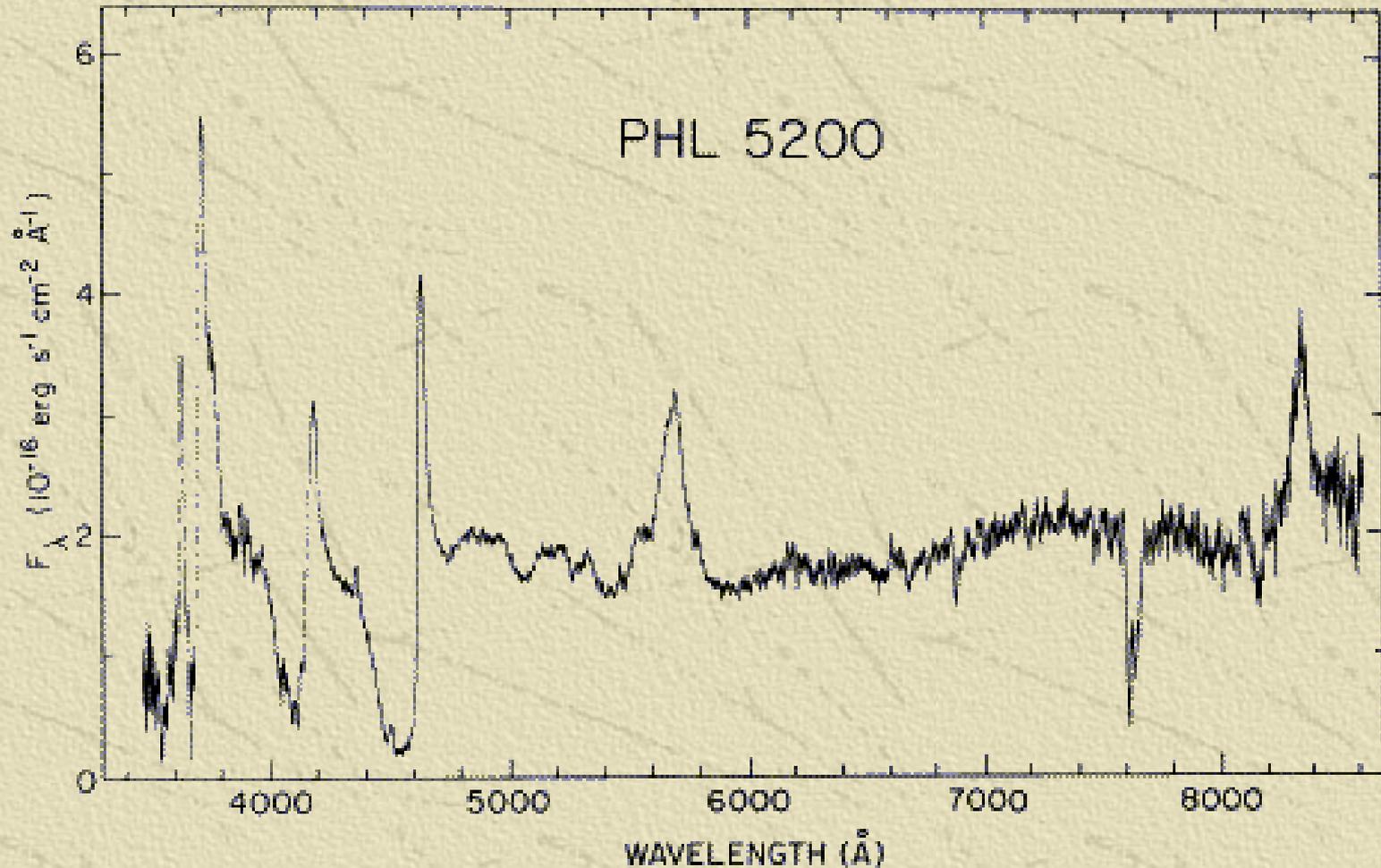


✓ provavelmente buraco negro supermassivo era mais eficientemente alimentado no passado, provavelmente por merger entre galáxias.

Figura 156: Função de luminosidade de QSOs por intervalo de redshift a partir dos catálogos 2QZ e LBQS (supondo um Universo plano,  $q_0 = 0.5$  e  $h_{100} = 1/2$ ). Figura tirada de Boyle et al. (2000).

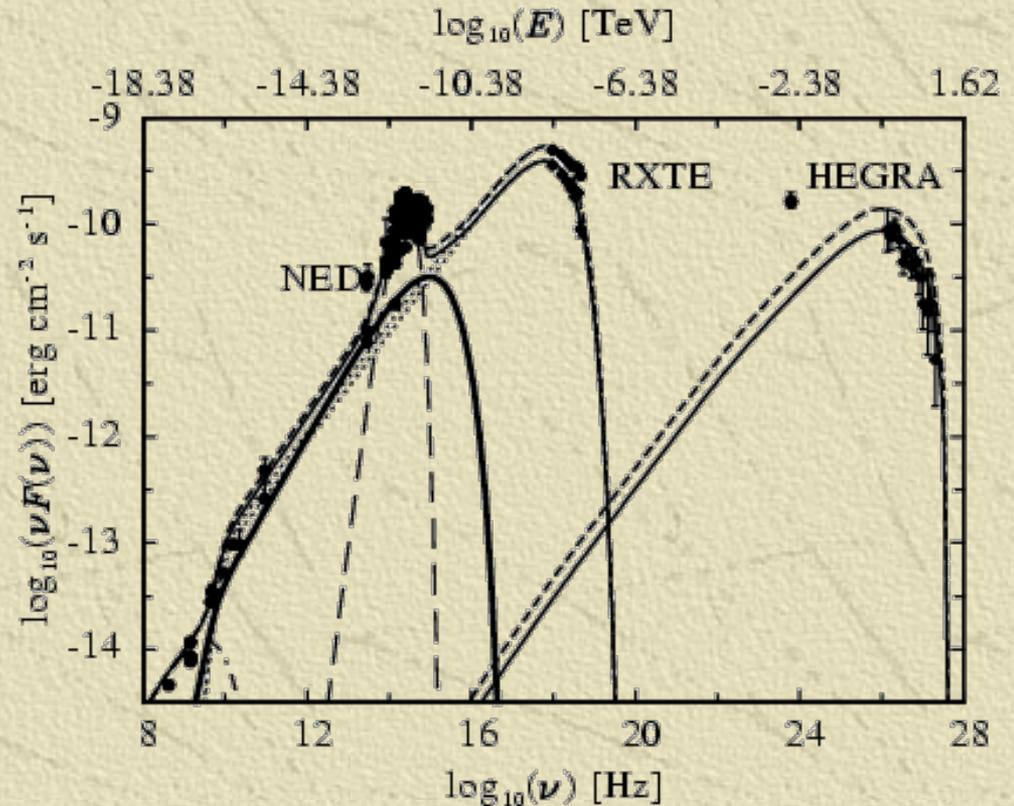
## BAL-QSOs - Características

- ✓ **Broad Absorption Line QSOs**
- ✓ **Apresentam linhas de absorção extremamente alargadas e desviadas para o azul, associadas a linhas de ressonância UV.**



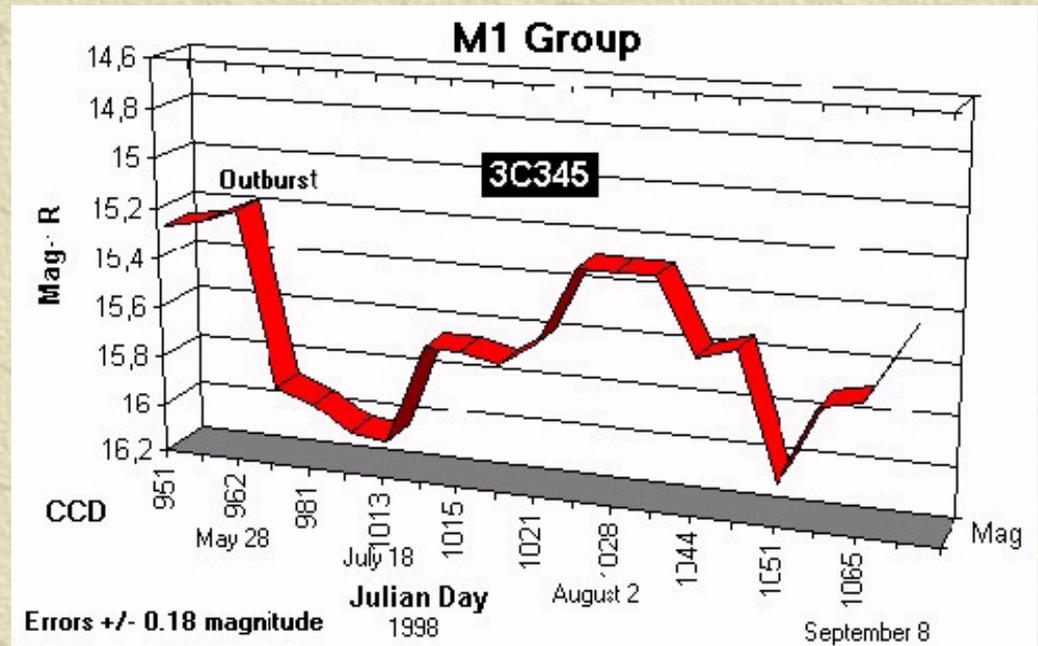
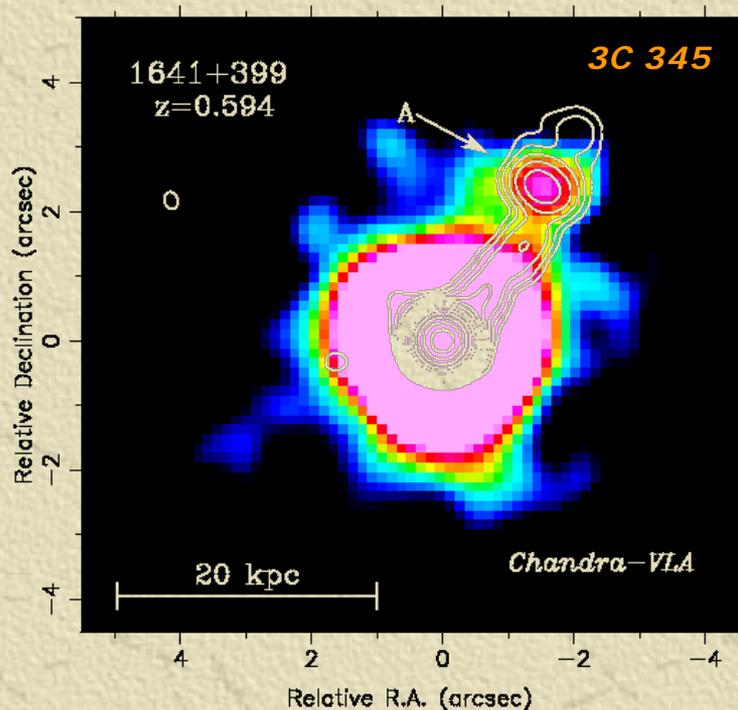
# Blazares

São objetos também de aspecto pontual, que emitem grandes energias dos seus núcleos, não apresentam características proeminentes em seus espectros, que não tem características térmicas. Entre eles se destacam OVVs e os objetos BL Lacertae.



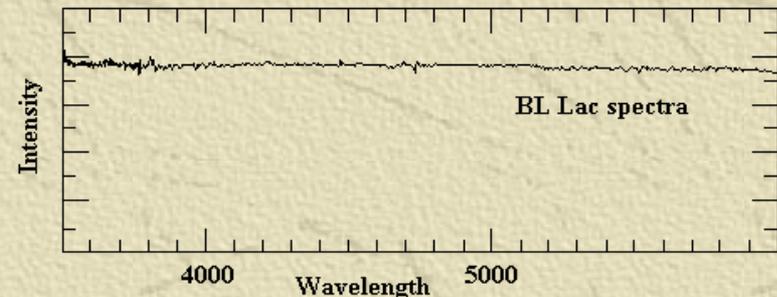
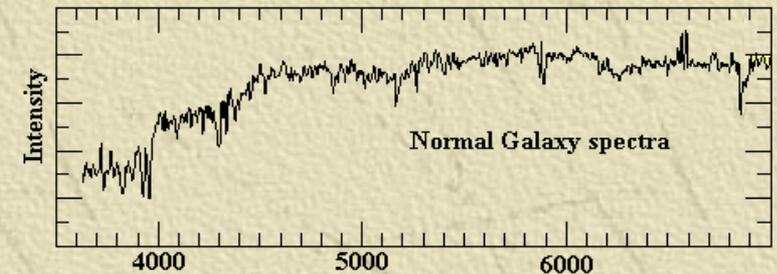
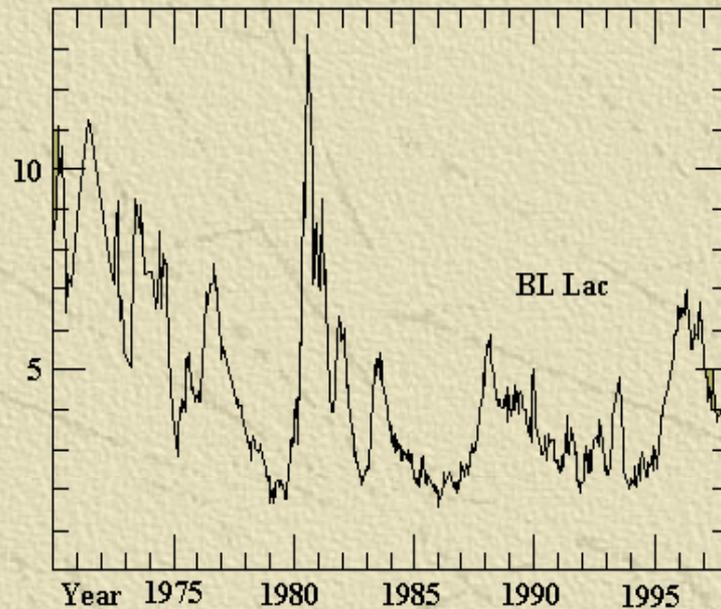
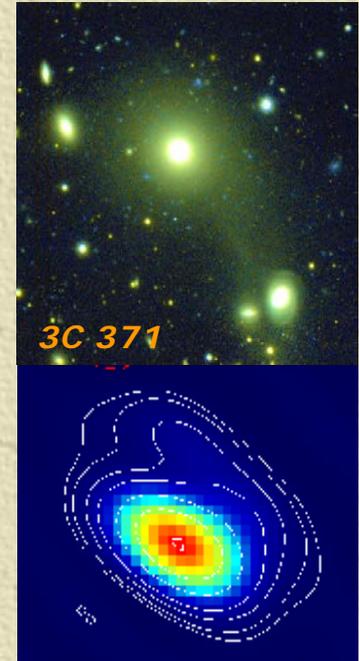
# OVVs - Características

- ✓ *Optically Violently Variable quasars*
- ✓ *Podem variar em brilho por grandes fatores em escalas de tempo de semanas;*
- ✓ *São fontes de rádio intensas e compactas;*
- ✓ *Emissão no rádio e no óptico é extremamente polarizada;*
- ✓ *Possui espectro similar ao de quasares;*
- ✓ *São correntemente classificados como blazares, juntamente com objetos BL Lac;*
- ✓ *Tendem a se encontrar a z relativamente maiores que BL Lacs*

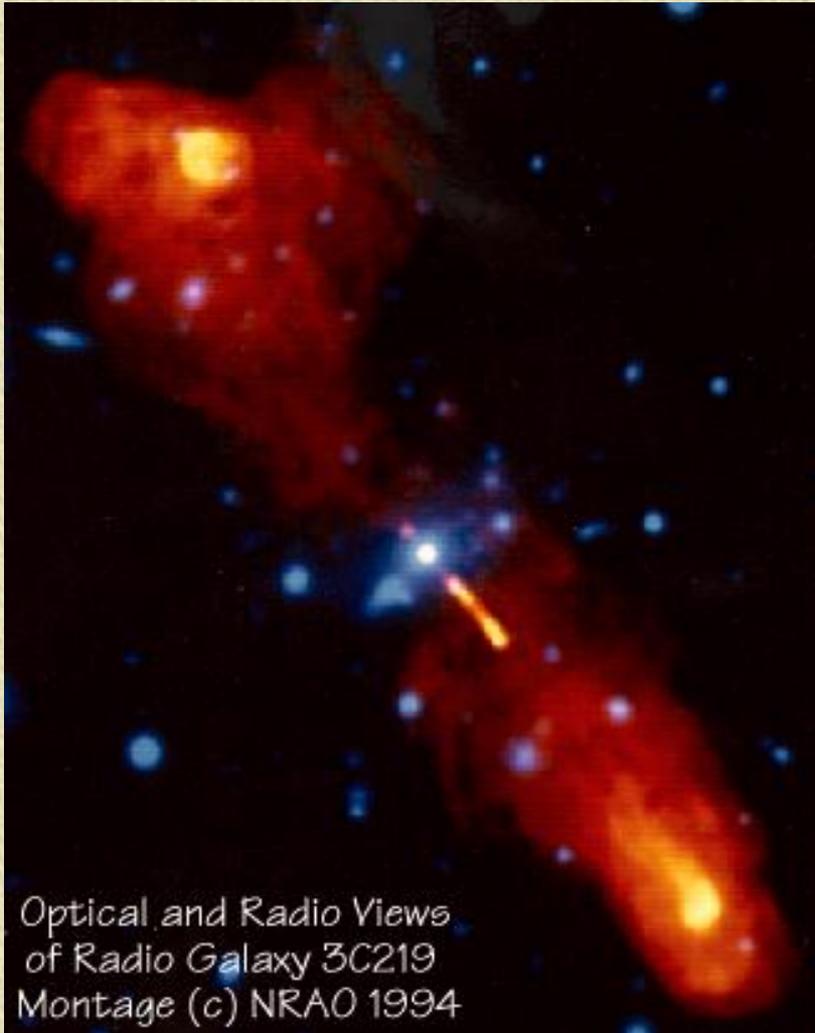


# BL Lac - Características

- ✓ **Também são fontes fortes e compactas de radio (como OVV's)**
- ✓ **Fontes pontuais como quasares;**
- ✓ **Também fontes variáveis, podendo variar de luminosidade em uma ordem de magnitude em menos de 1 mês;**
- ✓ **Apresenta contínuo não térmico em lei de potência muito brilhante quase sem linhas espectrais (seja emissão ou absorção);**
- ✓ **São linearmente polarizados (associado à rotação Faraday).**



## Porque BN's são necessários?



Optical and Radio Views  
of Radio Galaxy 3C219  
Montage (c) NRAO 1994

- *Quasares emitem  $3.3 \times 10^{46}$  ergs  $s^{-1}$*
- *Em  $10^8$  anos:  $10^{62}$  ergs =  $10^{11}$  SN's (energia nuclear)*
- *Precisaríamos a energia da explosão de todas as estrelas de uma galáxia como supernovas: isto não se observa!*

## A Energia dos AGNs

**Energia nuclear  $E_N=0.007mc^2=6.3\times 10^{18}$  ergs para  $m=1g$ ; numa estrela, fusão nuclear ocorre com 10% da massa;**

**$10^{62}$ ergs =  $6.3\times 10^{18}$  ergs/g  $\times 0.1 \times 2\times 10^{33}$ g/estrela  $\times 10^{11}$ estrelas (M da Via Láctea)**

**Energia gravitacional  $E_G=GMm/R$ ; para  $m=1g$ :**

**$E_G$  (Sol)= $2\times 10^{15}$ ergs;  $E_G$  (Anã branca)= $10^{17}$ ergs;**

**Mas para objetos compactos (Estrela de nêutrons ou BN):**

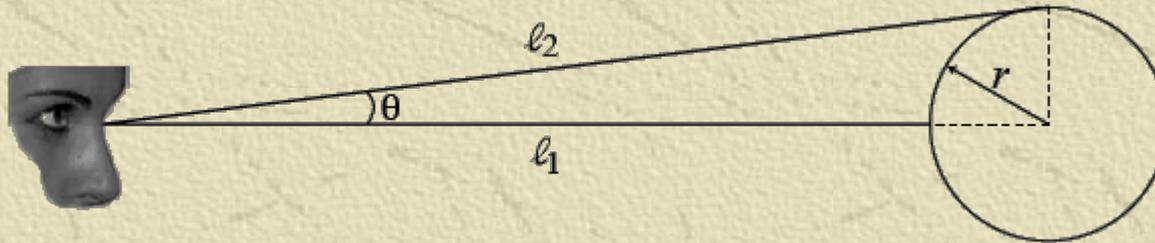
**$E_G$  (BN)= $10^{20}$  ergs/g;**

**$10^{62}$ ergs =  $10^{20}$  ergs/g  $\times 2\times 10^{33}$ g/estrela  $\times 5\times 10^8$ estrelas**

# Tamanho da Fonte Emissora

Ao variar a emissão de uma fonte, cada pedaço dela emitirá a partir de uma distância diferente em relação ao observador. O tamanho máximo da fonte central é determinada por sua variabilidade temporal.

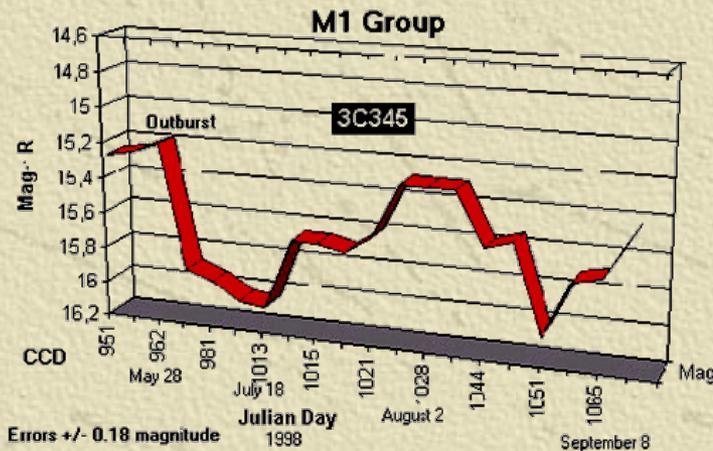
✓ *Supondo uma fonte variável esférica, a informação da mudança do brilho da fonte varia desde o centro até a borda da fonte:*



$$\ell_2 = (\ell_1 + r) / \cos \theta \approx \ell_1 + r$$

$$\Delta t = (\ell_2 - \ell_1) / c = r / c \Rightarrow r \approx c \Delta t = (c \Delta t) / \gamma$$

$$1 / \gamma = (1 - v^2 / c^2)^{1/2}$$

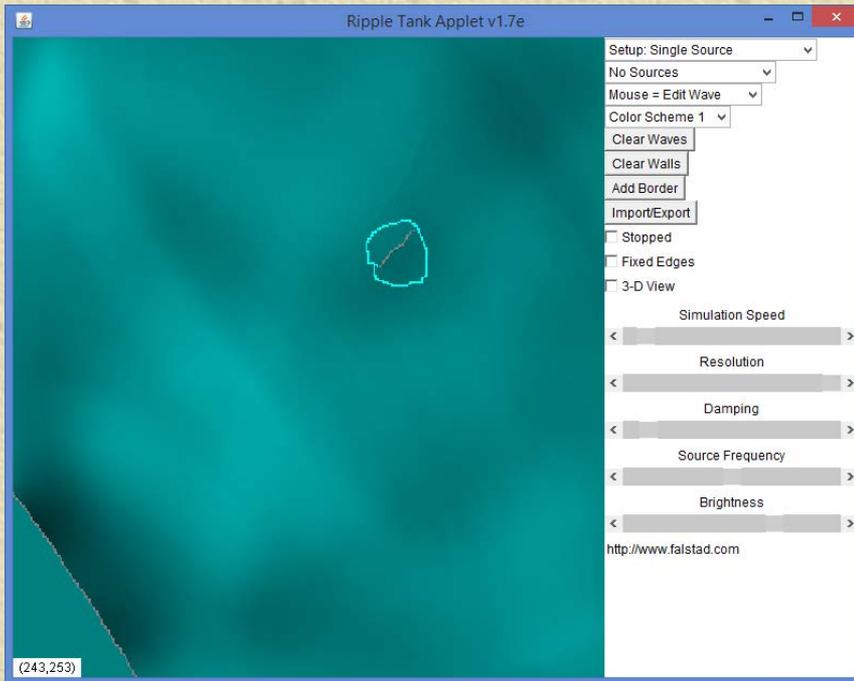


✓ *Variabilidade pode levar de dias a décadas no óptico  $\Rightarrow r \leq 10 \text{ UA}$  ( $5 \times 10^{-5} \text{ pc}$ );*

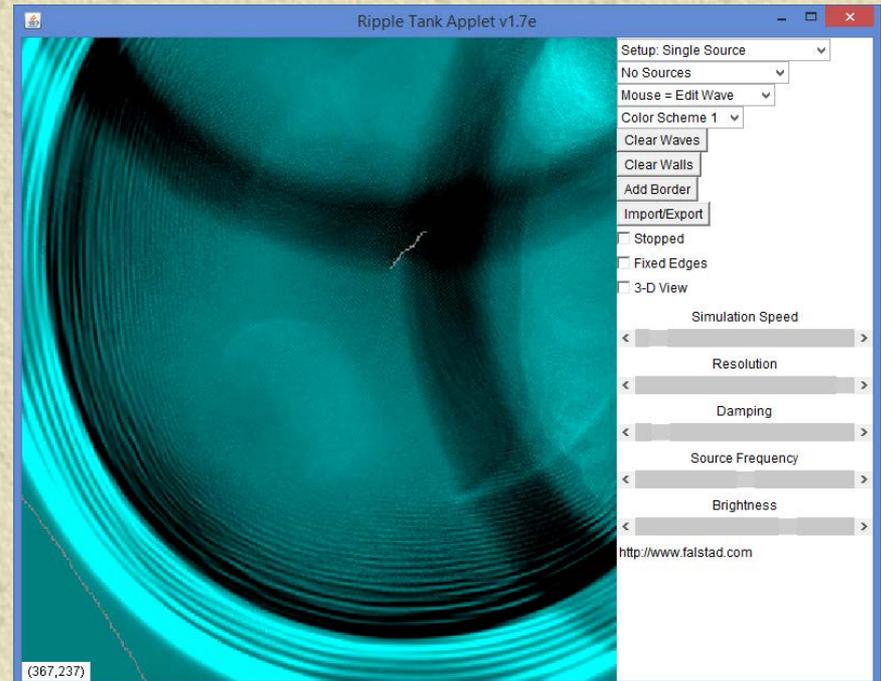
✓ *Variações no raio X tendem a ser mais rápidas do que no infravermelho, o que significa que a emissão vem de uma região muito menor do AGN;*

# Simulando A Variação Temporal da Emissão de Um Núcleo em Função de seu Tamanho Geométrico

A variação temporal da emissão de uma fonte medida depende no mínimo do seu tamanho físico.

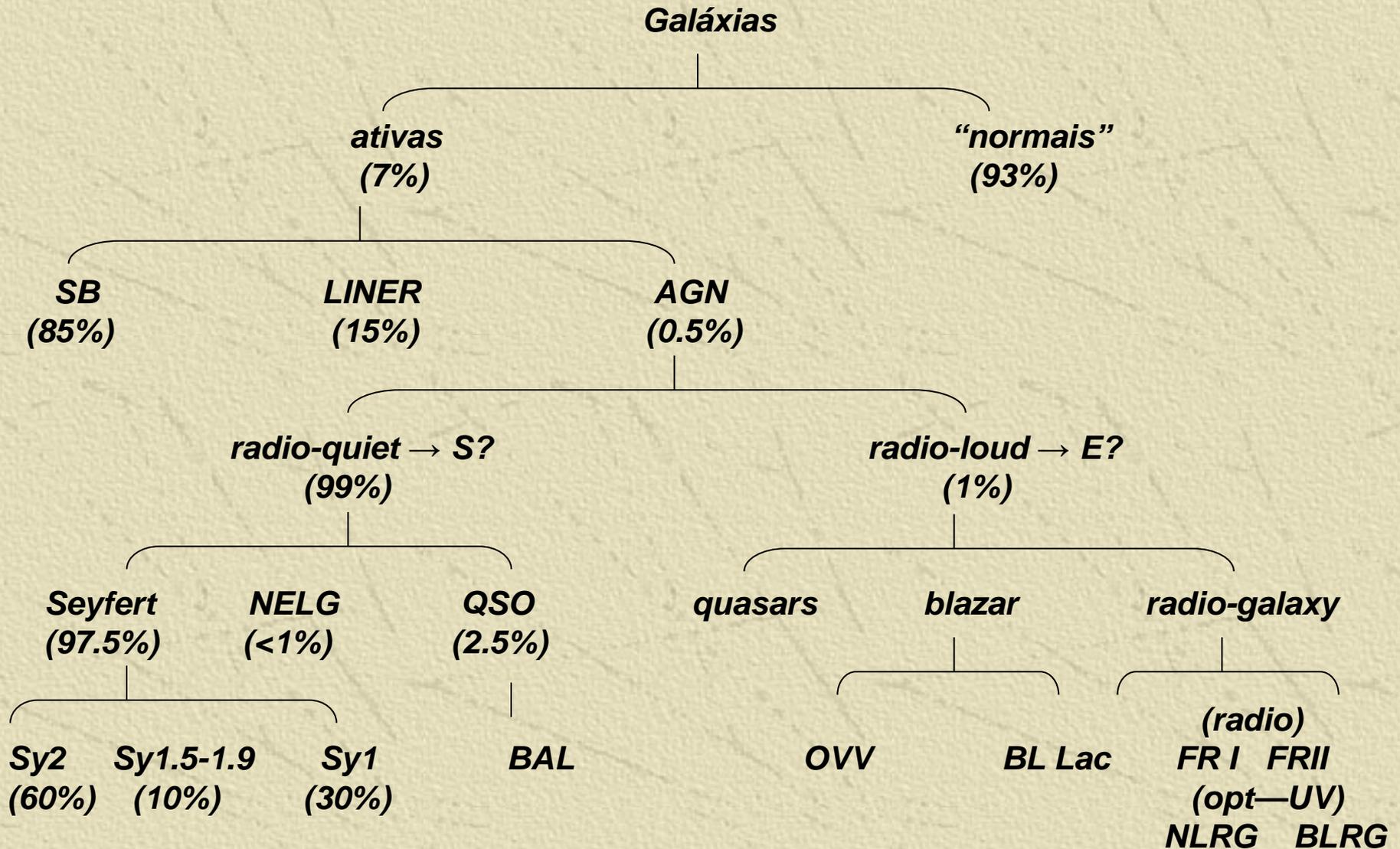


*Desenha o formato do corpo emissor que emitira a frente de onda com clique do botão direito*

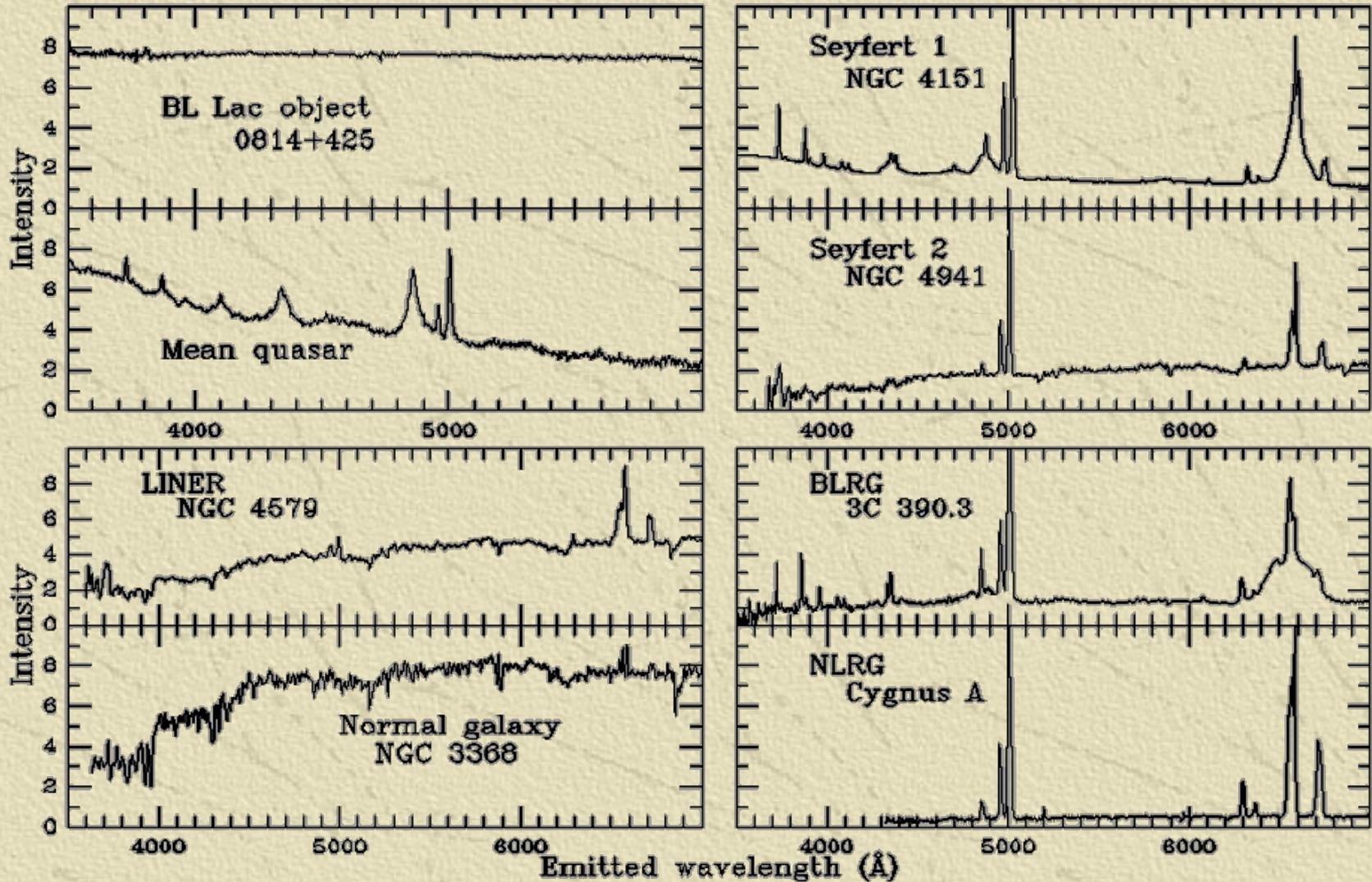


*Libera a emissão clicando com o botão esquerdo. Veja que dá para medir o tamanho da fonte por quanto tempo frente de onda demora para chegar*

# O Zoo de AGNs



# Espectros Típicos de AGNs



# Galáxias Hospedeiras de AGNs

radio-quiet

- ✓ *LINERs – maioria S*
- ✓ *Seyferts – maioria S*
- ✓ *QSOs – algumas gE, outras S (perfil exponencial)*

radio-loud

- ✓ *quasars – todas observações em gE ou em sistemas em inteiração*
- ✓ *blazars – grande maioria de BLLac hospedadas por E (mas PKS 1413+135 uma S edge-on)*
- ✓ *radio-gal – quase sem exceção são E*

(HST detectou hosped. em apenas 3/8 dos QSOs e quasars observados)



## Galáxias Hospedeiras de AGNs



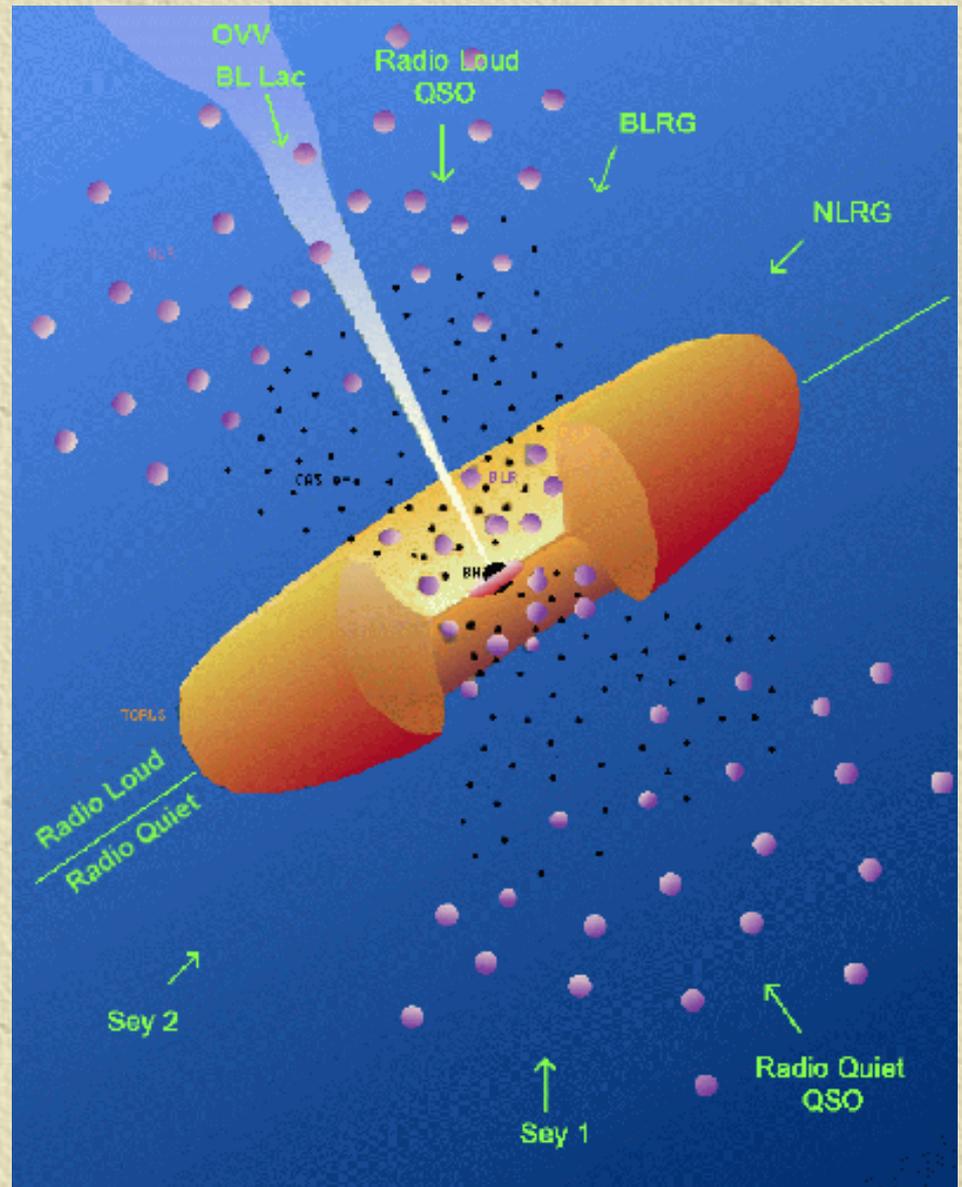
### **Quasar Host Galaxies**

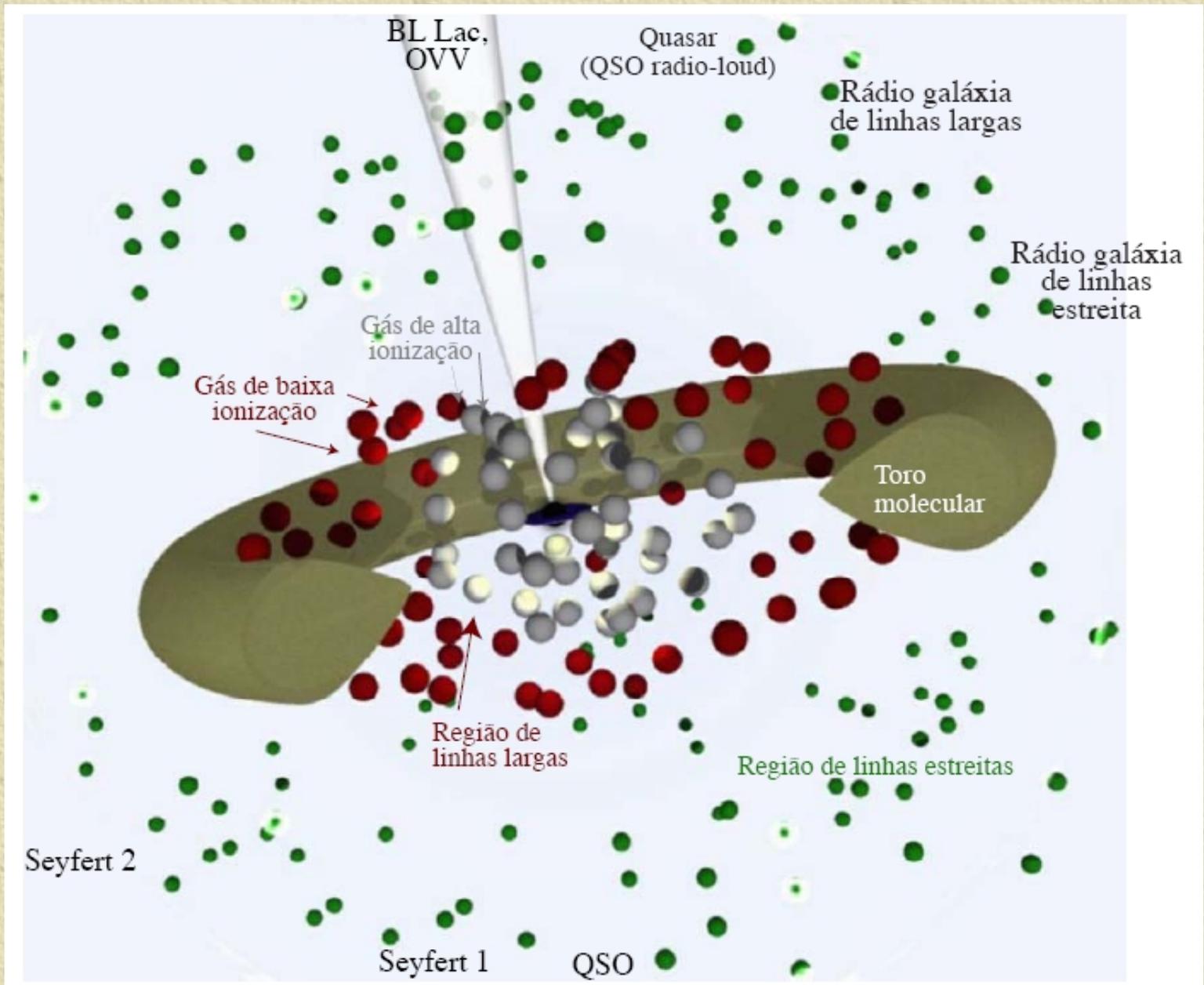
Hubble Space Telescope • Wide Field Planetary Camera 2

# Modelo Unificado

Enquanto em princípio os diferentes tipos de AGN possam ser fisicamente não correlacionados, é geralmente aceito que eles sejam basicamente um simples fenômeno, cuja diferença observacional pode ser explicada por três fenômenos:

- alguns objetos são intrinsecamente mais brilhantes que outros;
- alguns objetos produzem jatos de partículas relativísticas, enquanto outros não;
- Eles tem orientação randômica, mas seus padrões de radiação são extremamente anisotrópicos (isto é, observamos diferentes coisas dependendo da direção da linha de visada em relação ao AGN.)





# Modelo Unificado

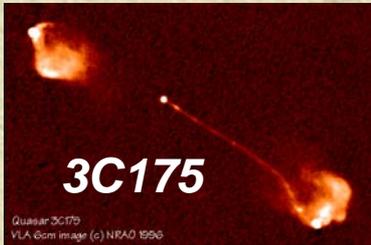
- ✓ **Luminosidade** – QSOs, quasares e blazares são os tipos de AGNs mais luminosos, enquanto Seyferts e radio-galáxias têm luminosidades maior que galáxias normais.
- ✓ **Jetos e lobos** – Um grande separador entre AGNs é sua possibilidade de emissão em comprimentos de onda no rádio: AGNs radio loud têm jetos e lobos (além da fonte central compacta) enquanto as radio quiets não.
- ✓ **Orientação** – o alargamento das linhas de emissão permitidas são definidas pela sua orientação: objetos do tipo 2 (como Sy2 and NLRG) são observados quase edge-on (com respeito ao toroide); Objetos do tipo 1 (como Sy1, QSOs, quasares e BLRG) são observados quase face-on; blazares, por outro lado, são observados muito próximo da direção polar (isto é, o jato está apontando na nossa direção) de modo que podemos observar profundamente no núcleo do AGN e o brilho observado pode variar muito rapidamente, enquanto que o contínuo sem linhas de BLLac podem ser explicados pelo domínio do espectro óptico da radiação síncrotron, altamente deslocados por efeito Doppler, uma vez que os jetos se movem em velocidades relativísticas.

# Modelo Unificado

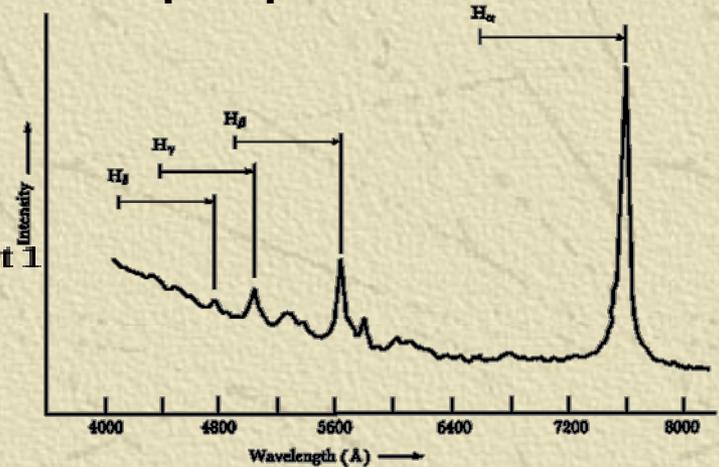
- ✓ **Mecanismo central** (fonte de energia) – Buracos negros supermassivos alimentados por um disco de acreção. Não pode ser observado por ser muito pequeno ( $\sim 10^{-5}$  pc)
- ✓ **Disco de Acreção** – Disco de acreção controla a atividade do AGN. É responsável por um contínuo quase-térmico (com máximo no UV distante e no raios X “moles”), possui grande variabilidade. Também é responsável pelos jatos. É difícil de observar ( $\sim 10^{-3}$  pc)
- ✓ **Broad-Line Region (BLR)** – Região de nuvens de gás de alta velocidade (acima de 5000 km/s), alta densidade, e altamente ionizada (pelo menos no centro), obscurecida pela poeira de um toroide, a não ser que seja observado de uma direção próxima do eixo de simetria. São responsáveis pela região de linhas largas permitidas (0.1 – 30 pc)
- ✓ **Equatorial Torus** – Estrutura em forma de toroide opticamente espessa (para o UV e o óptico) e massiva, composta principalmente de gás molecular e poeira (tendo tamanhos acima de centenas de pc)
- ✓ **Narrow-Line Region (NLR)** – Região com um conjunto de nuvens de baixa velocidade ( $\sim 500$  km/s), baixa densidade, e menos aquecidas. Aquelas mais próximas ao eixo de simetria são ionizadas pela radiação do mecanismo central, formando um vórtice, visível em todas as direções. São responsáveis pelas linhas estreitas (proibidas e permitidas). Com tamanho típico de  $\sim 1$  kpc)
- ✓ **Jatos e lobos** – plasma (material ionizado) de partículas relativísticas ejetadas pelo mecanismo central de partículas relativísticas ejetadas pelo mecanismo central pelo disco de acreção e colimada pelo reforço do mecanismo de emissão síncrotron (estruturas de 0.1 kpc – 1 Mpc)

# Modelo Unificado de AGNs

AGN são galáxias de núcleo ativo. Associa-se a atividade do núcleo a um buraco negro supermassivo observado por diferentes perspectivas.



Quasar / Seyfert 1



Radio Jet

NLR - Origem das linhas estreitas

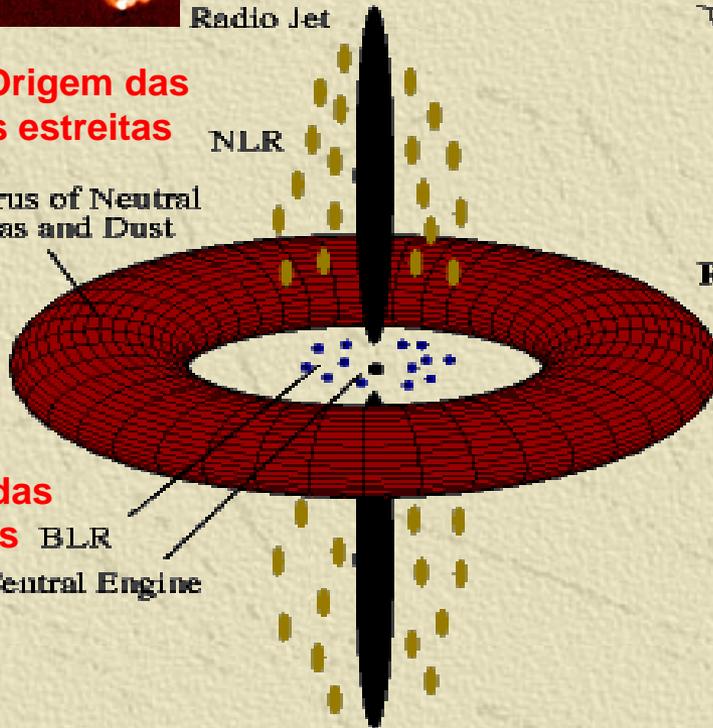
NLR

Torus of Neutral Gas and Dust

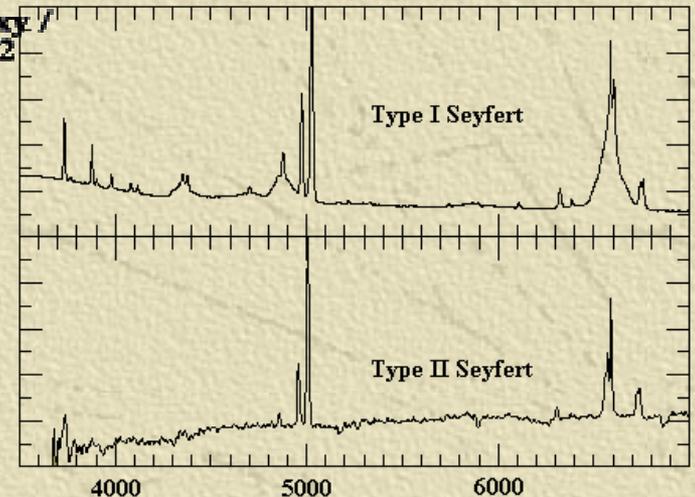
BLR - Origem das linhas largas

BLR

Central Engine



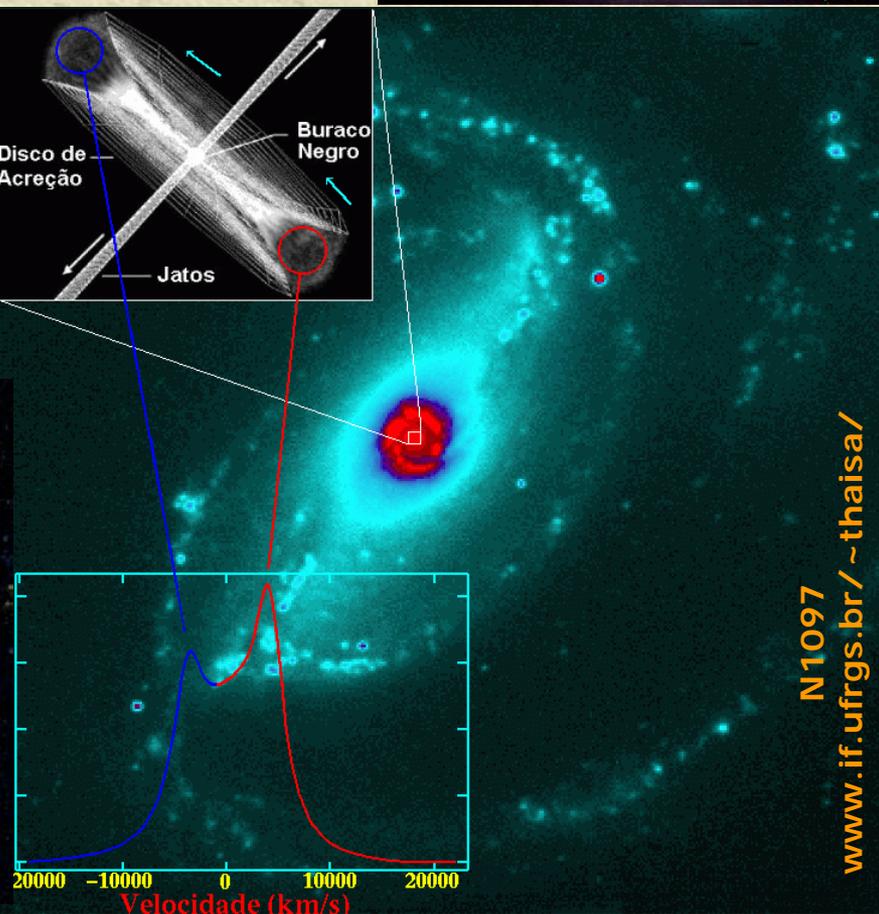
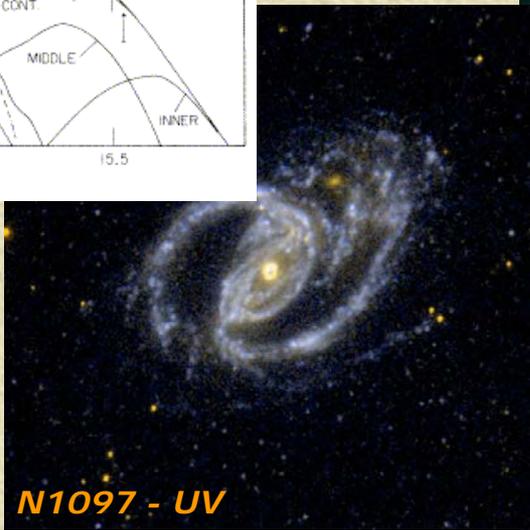
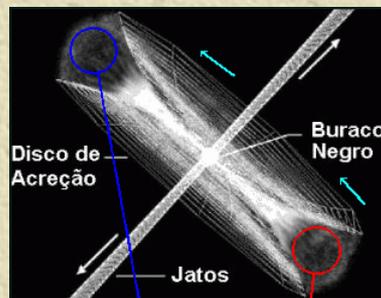
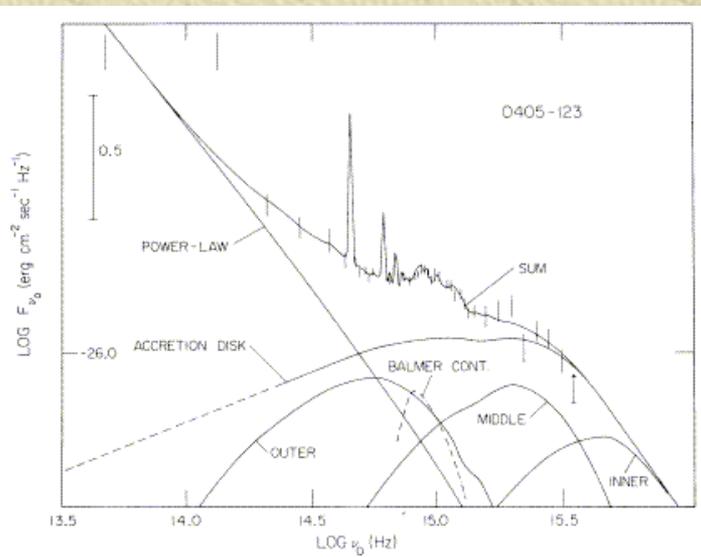
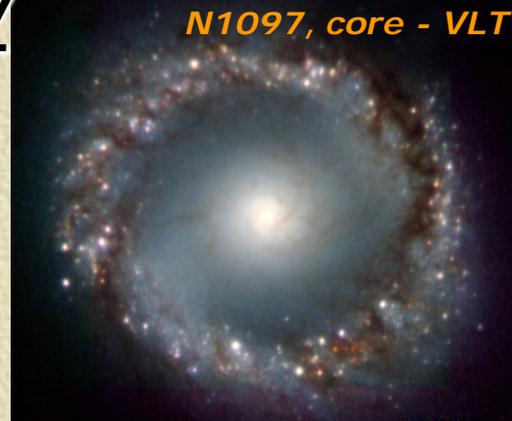
Radio Galaxy / Seyfert 2



# Disco de Acreção (X-rays e pico do azul/UV)

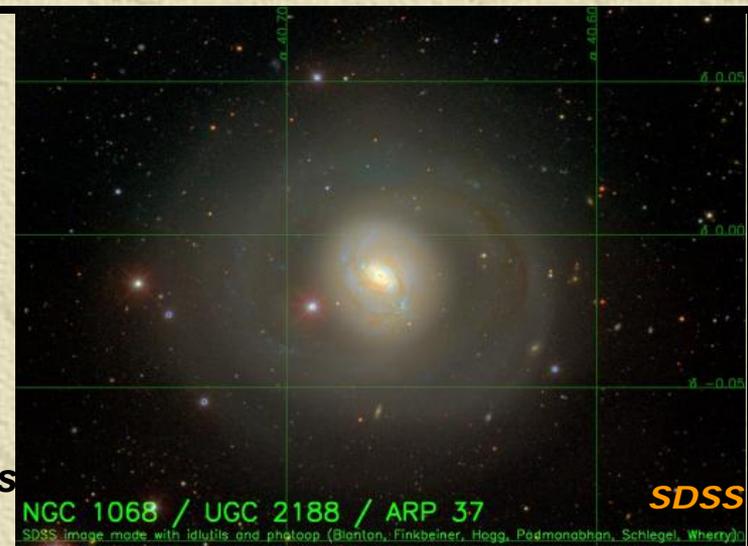
✓ evidências observacionais de disco de acreção são indiretas. Entre as evidências se incluem:

- Excesso no UV e raio X mole quase-térmico (corpos negros múltiplos)
- Emissão polarizada com simetria de disco
- Emissão dupla esperada para perfis de disco



# A Região de Linhas Permitidas Alargadas (BLR)

- ✓ Região de nuvens densas (linhas intensas) e se movendo rapidamente (promovendo o alargamento das linhas)
- ✓ Absorção de UV e raios-X, emitindo linhas características;
- ✓ a descoberta de emissão de regiões de linhas alargadas na luz polarizadas da galáxia Sy2 N1068 (fótons emitidos na BLR podem cruzar o vórtice de matéria e ser espalhado para dentro da nossa linha de visada por meio de elétrons livres dentro de nosso campo de visão) [[Antonucci & Miller 1985, ApJ 298, 935](#)]. Essa foi uma das primeiras fortes evidências para o modelo unificado.

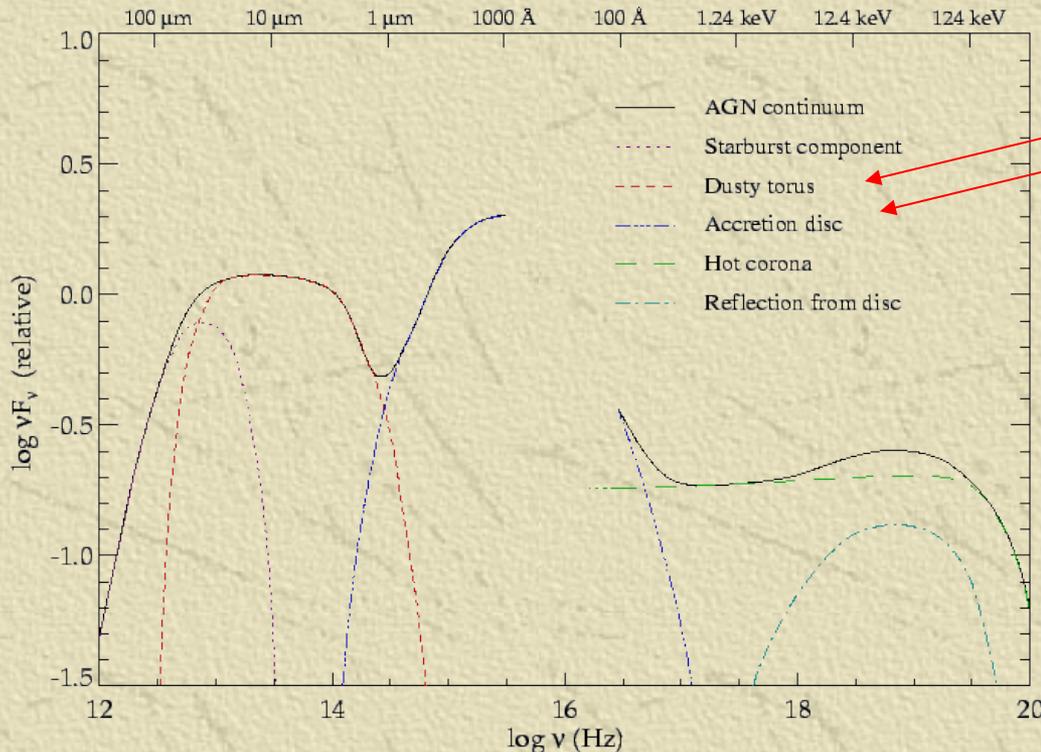


# O Torus Equatorial (contínuo em IR)

N7052 – HST



- ✓ Composto de poeira e moléculas
- ✓ Ópticamente espesso para UV e óptico mas transparente para infravermelho intermediário e raio-X duro, de modo que AGN pode ser isotrópico nesses comprimentos de onda
- ✓ As partículas de poeira são aquecidas pela radiação da fonte central (UV) até o limite suficiente para emitir energia IR na mesma taxa que recebe

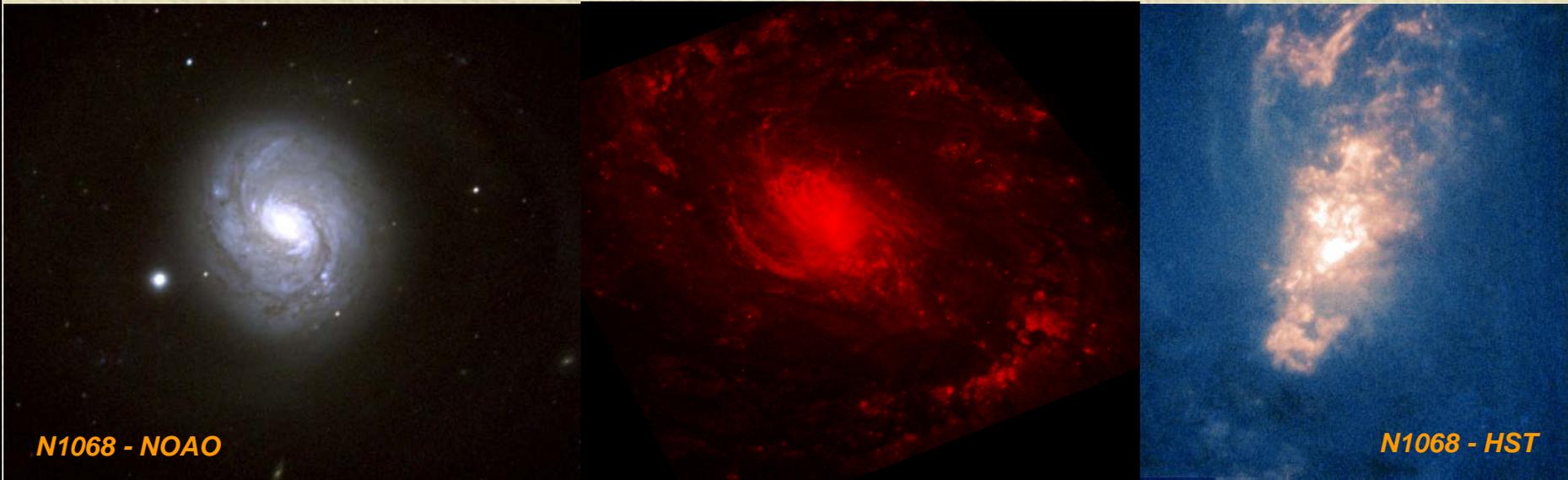


✓ Como poeira vaporiza (sublima) a  $T > 2000\text{K}$ , o toroide deve ser mais frio que isso.

✓ o torus é provavelmente responsável pela colimação do cone de ionização alargada (“vortex tube”)

## As Linhas Proibidas Estreitas (NLR)

- ✓ *Regiões de baixa densidade (menos intensa) de nuvens lentas (linhas de emissão menos espessas)*
- ✓ *Absorve UV e raios-X e emite nas linhas proibidas características\**
- ✓ *A configuração dessas regiões é esperada ser alongada, com alta ionização, com disposição “bicônica”, centrada no núcleo – isso é interpretado como o padrão de iluminação de rádio escapando do toroide.*
- ✓ *Outra forte evidência em favor do modelo unificado é a descoberta de regiões em forma de cunha considerada ser a região de gás excitada por fótons provenientes do AGN (como em NGC 1068)*



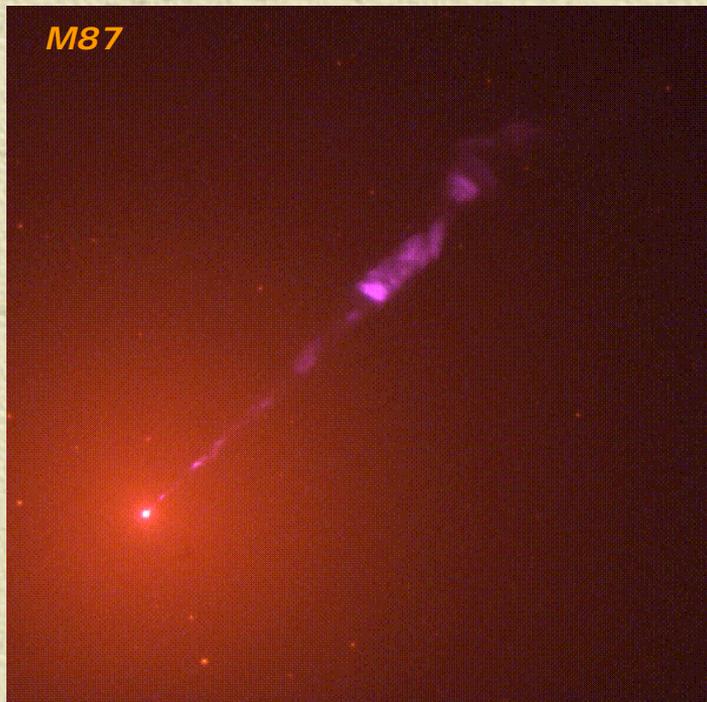
**N1068 - NOAO**

**N1068 - HST**

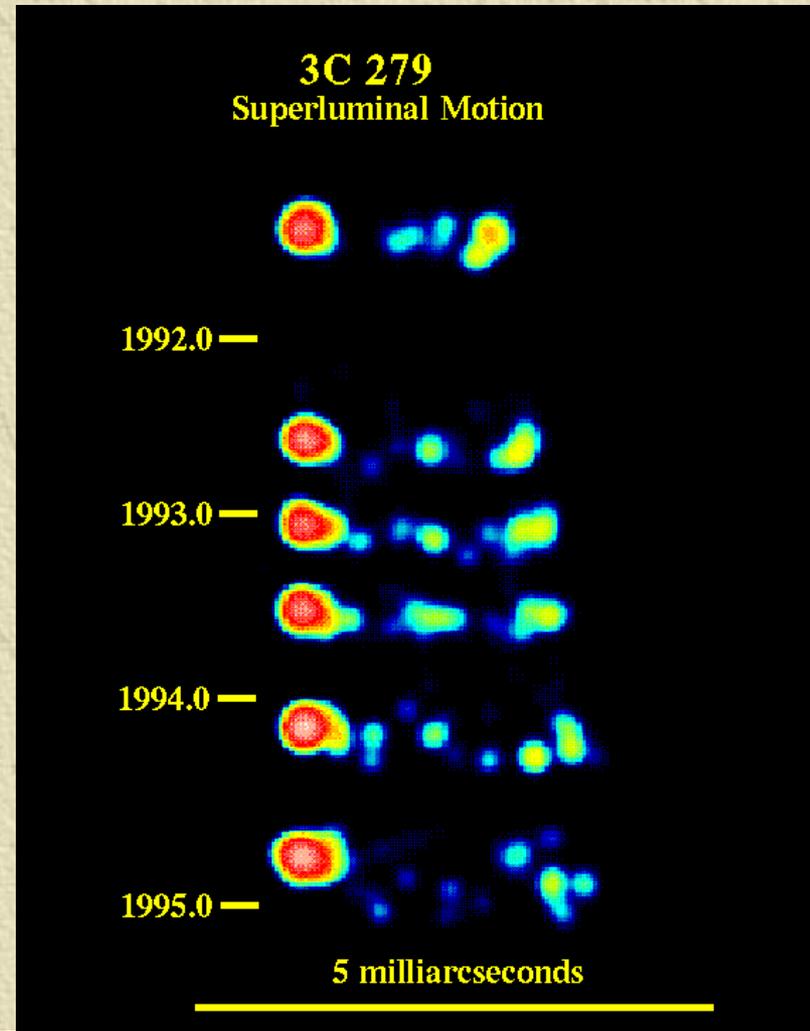
*\* Os estados excitados responsáveis pela produção de linhas de estados metaestáveis. Em altas densidades o átomo ou íon é mais provavelmente desexcitado por colisões com outra partícula antes da emissão espontânea.*

# Jatos e a “Memória” Temporal do Mecanismo de Ejeção

Jatos são fluxos de matéria extremamente colimados, alinhado com o eixo de rotação do disco de acreção. São produzidos por elétrons relativísticos espiralando em um campo magnético  $(a = \frac{e}{m} \vec{v} \times \vec{B})$ .

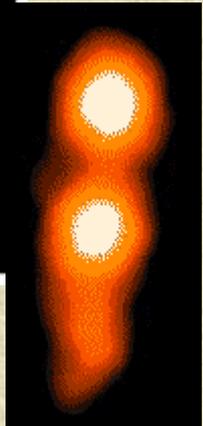
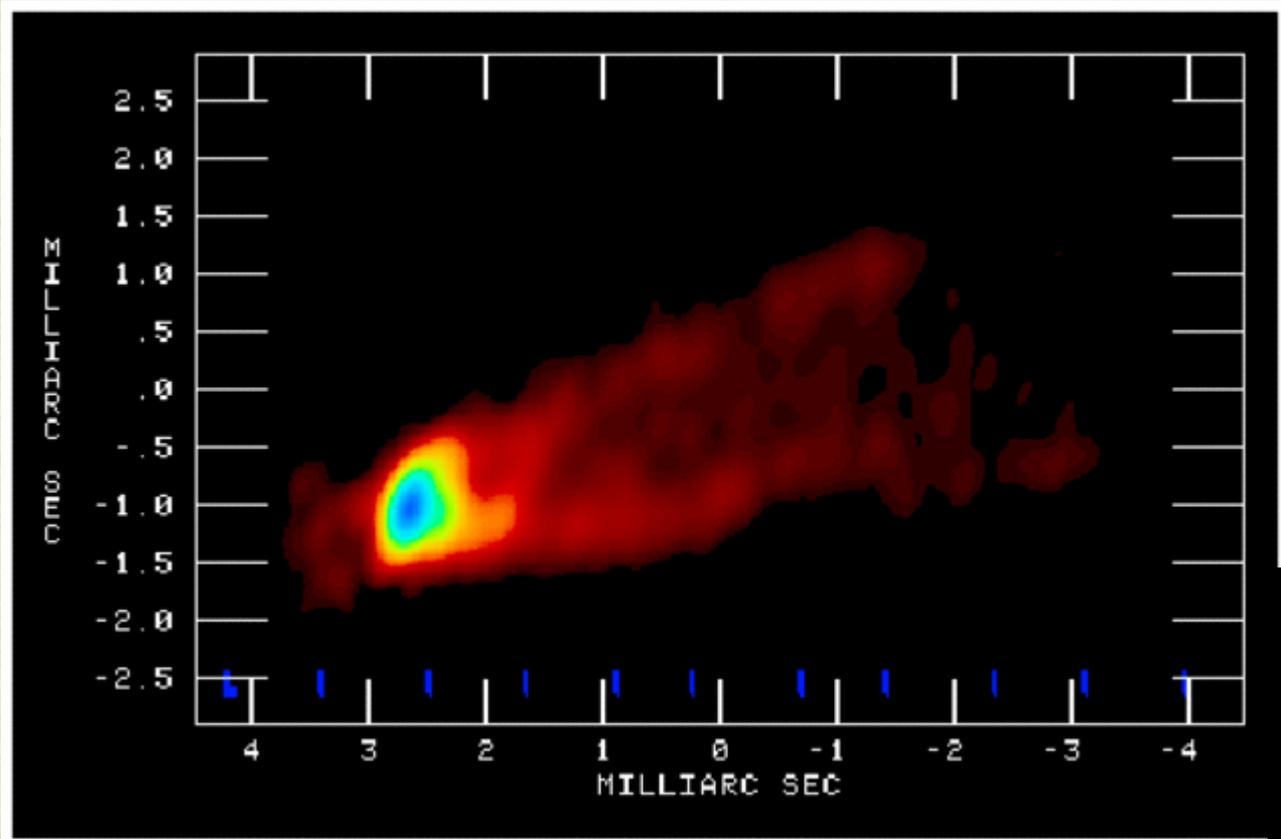
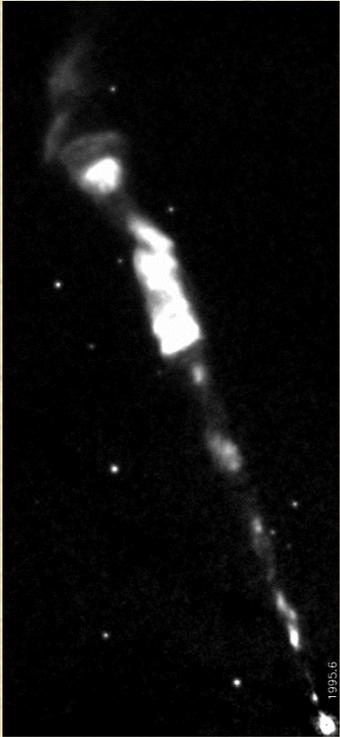


✓ a continuidade na direção dos jatos indica a continuidade do mesmo processo por mais de milhões de anos.



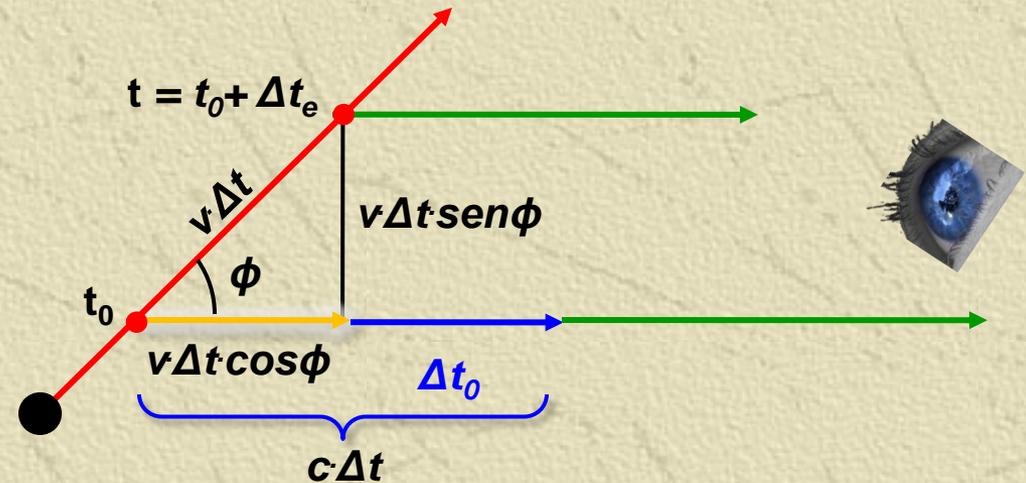
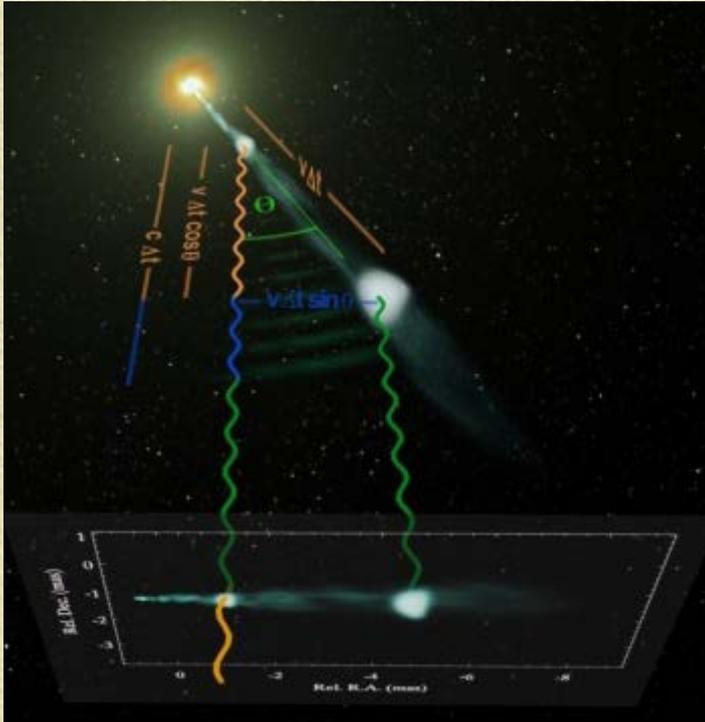
# Jatos Supraluminais

Jato supraluminal é o efeito observacional em nodos de emissão de jatos que por efeito de perspectiva aparentemente se propagam com velocidade acima da luz.



# Geometria de Jatos Supraluminais

Considere uma fonte se deslocando em relação a nós com velocidade  $v$  e ângulo  $\phi$  com relação à linha de visada, emitindo sinais de luz nos tempos  $t_0$  e  $t_1 = t_0 + \Delta t_e$ :



O observador vê o sinal separado por um tempo:

$$\Delta t_o = \Delta t_e - \Delta t_e \frac{v}{c} \cos \phi = \left( 1 - \frac{v}{c} \cos \phi \right) \Delta t_e$$

Viagem dos nodos no plano do céu:  $\Delta l_{\perp} = v \Delta t_e \sin \phi$

Assim:

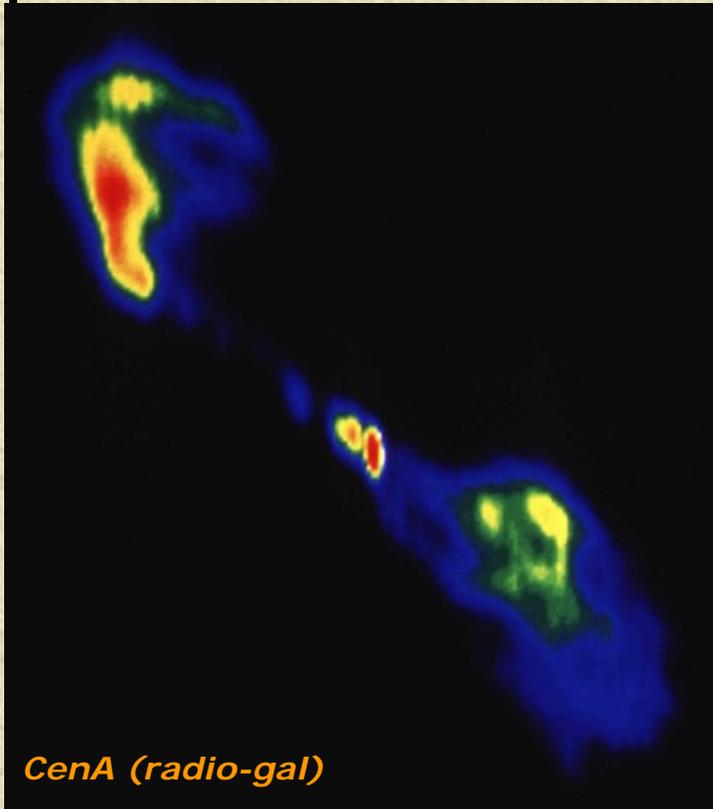
$$v_{\text{app}} = \frac{\Delta l_{\perp}}{\Delta t_o} = \frac{v \Delta t_e \sin \phi}{\left( 1 - \frac{v}{c} \cos \phi \right) \Delta t_e} = \frac{v \sin \phi}{\left( 1 - \frac{v}{c} \cos \phi \right)}$$

Quanto maior razão  $v/c$   
maior a velocidade  
aparente  $v_{\text{app}}$

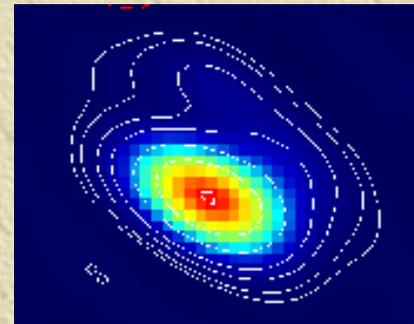
# Os Lobos

- ✓ Formado pelo plasma confiado pelo “ram pressure” tentando se expandir pelo meio intergaláctico
- ✓ O modelo unificado prevê que radiogaláxias teriam o dobro do tamanho do que quasares, que por sua vez seriam maiores que blazares [Barthel 1989, ApJ 336, 606]
- ✓ Também é predito que a luminosidade dos lobos duplos podem ser comparados todos entre si pois não se expandem relativisticamente, de modo que emitem na prática de forma isotrópica.

✓ hot spots tem sido interpretados como o encontro de superfícies do fluxo de jato e o meio invisível, comprimido pelos campos magnéticos, intensificando a emissão dessa região



CenA (radio-gal)



VLBI 0235+164 (blazar)