

Evolução de Galáxias

Profa. Thaisa Storchi Bergmann

Função de Luminosidade de Galáxias $\Phi(L)$

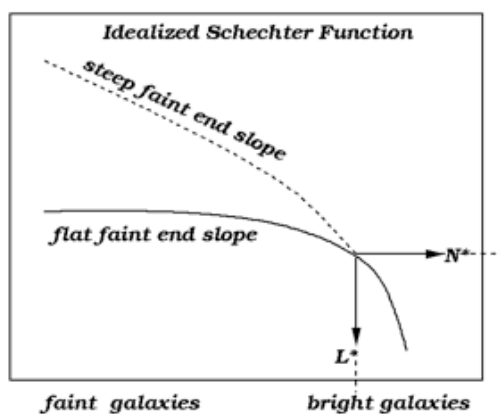
$\Phi(L)dL$ = Densidade de galáxias com luminosidade entre L e $L+dL$

Schechter parametrizou esta distribuição com a Função de Luminosidade de Schechter:

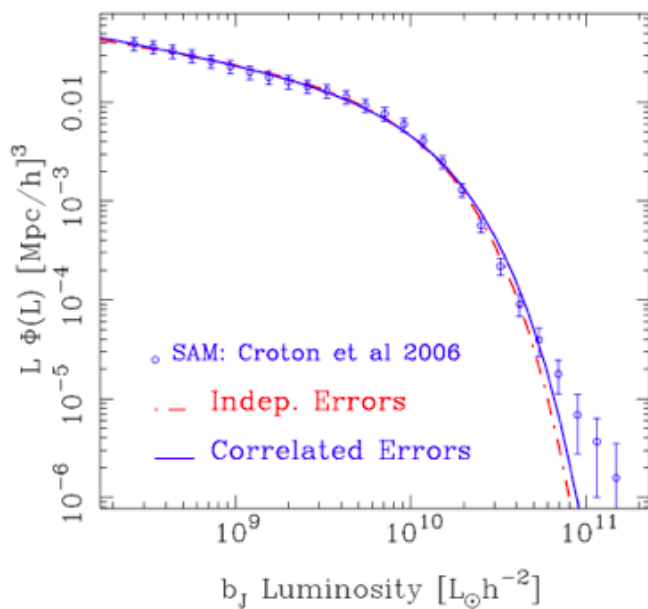
$$\Phi(L)dL = \left(\frac{\Phi^*}{L^*}\right) \left(\frac{L}{L^*}\right)^\alpha \exp\left(-\frac{L}{L^*}\right) dL,$$

onde L^* é uma luminosidade característica acima da qual a distribuição cai exponencialmente, α é a declividade (slope) da função para L menor do que L^* , e o primeiro termo Φ^*/L^* dá a normalização da função.

Verifica-se que há diferença de declividade para as galáxias mais massivas ("flat slope") e as menos massivas ("steep slope"):



Exemplo de um resultado observacional:



Muitas vezes se usa magnitude absoluta, e então os parâmetros vão variar de acordo com a banda espectral da observação: azul (b), vermelha (r), infravermelho próximo (i), etc.

Com os surveys mais recentes, tem se verificado que a função muda não só de acordo com a luminosidade das galáxias mas conforme principalmente a "cor" das galáxias, tendo-se encontrado que as galáxias formam duas sequências: (1) jovens (cor mais azul) e velhas (cor mais vermelha). Em particular, são muito relevantes para este estudo os trabalhos com base no Sloan Digital Sky Survey, como:

[Baldry et al. 2004, ApJ, 600, 681](#):

Apresentam Color-Magnitude diagram for 66 846 nearby galaxies a partir de imagens do SDSS nas bandas u, g, r, i z:

Amostra: $z < 0.08$; $-23.5 < Mr < -15.5$

Encontram: distribuição bi-modal: "Red sequence" e "Blue sequence"

Fig. 1: diagrama $u-v$ x Mr observado:

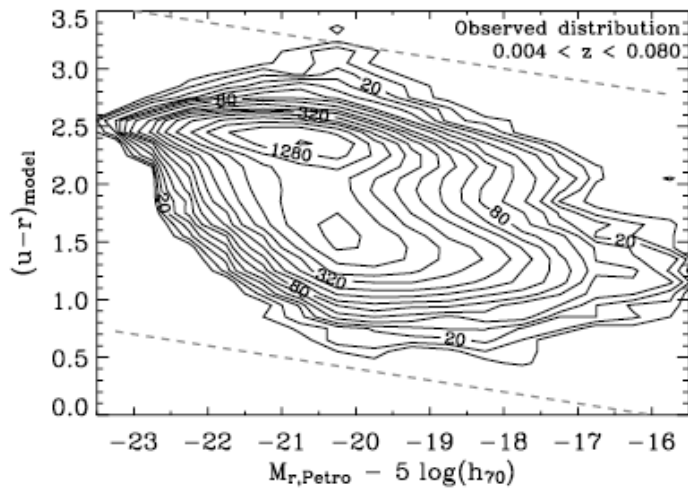


FIG. 1.—Observed bivariate distribution of the sample in rest-frame color vs. absolute magnitude. The contours are determined for galaxy number counts in $0.1 \text{ color} \times 0.5 \text{ mag}$ bins (with a total of 66,846 galaxies). The contour levels are on a logarithmic scale, starting at 10 and doubling every two contours. The dashed lines represent the limits used in the double-Gaussian fitting described in § 4.

Red sequence: galáxias mais luminosas, early-type

Blue sequence: galáxias menos luminosas, late-type

Correção por completudeza: "Malmquist bias": Astrônomo sueco em 1922 chamou a atenção sobre o fato de que à medida que observamos mais longe observamos preferencialmente objetos brilhantes. Uma "correlação espúrea" da distância com a luminosidade do objeto astronômico: quanto mais brilhante o objeto, mais longe o observamos. Parece que os objetos mais brilhantes estão mais longe, mas é porque conseguimos observá-los mais longe. É um bias que afeta os surveys limitados em magnitude, que são os mais comuns.

Um tipo de correção usada é pesar por $1/V_{\text{max}}$, onde V_{max} é o máximo volume dentro do qual uma fonte de certa magnitude absoluta seria detectada num survey limitado por uma certa magnitude aparente (por exemplo, o Palomar survey de espectroscopia de galáxias vai até $B_T=12.5 \text{ mag}$).

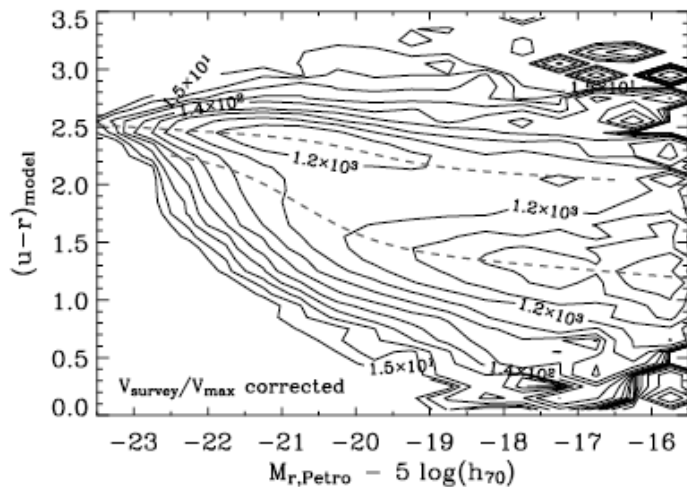


FIG. 2.—Bivariate distribution of the sample in rest-frame color vs. absolute magnitude, $V_{\text{survey}}/V_{\text{max}}$ corrected. The contours are determined for galaxy number counts in $0.1 \text{ color} \times 0.5 \text{ mag}$ bins. The contour levels are on a logarithmic scale, starting at 15 and trebling every two contours. The upper and lower dashed lines represent a fit to the mean positions of the Gaussian color functions for the red and blue distributions, respectively (the fitting is described in § 4; see also Fig. 6).

Bi-modalidade por intervalo de Magnitude absoluta M_r : no. de galáxias em função da cor $u-r$ em bins de 0.5mag em M_r :

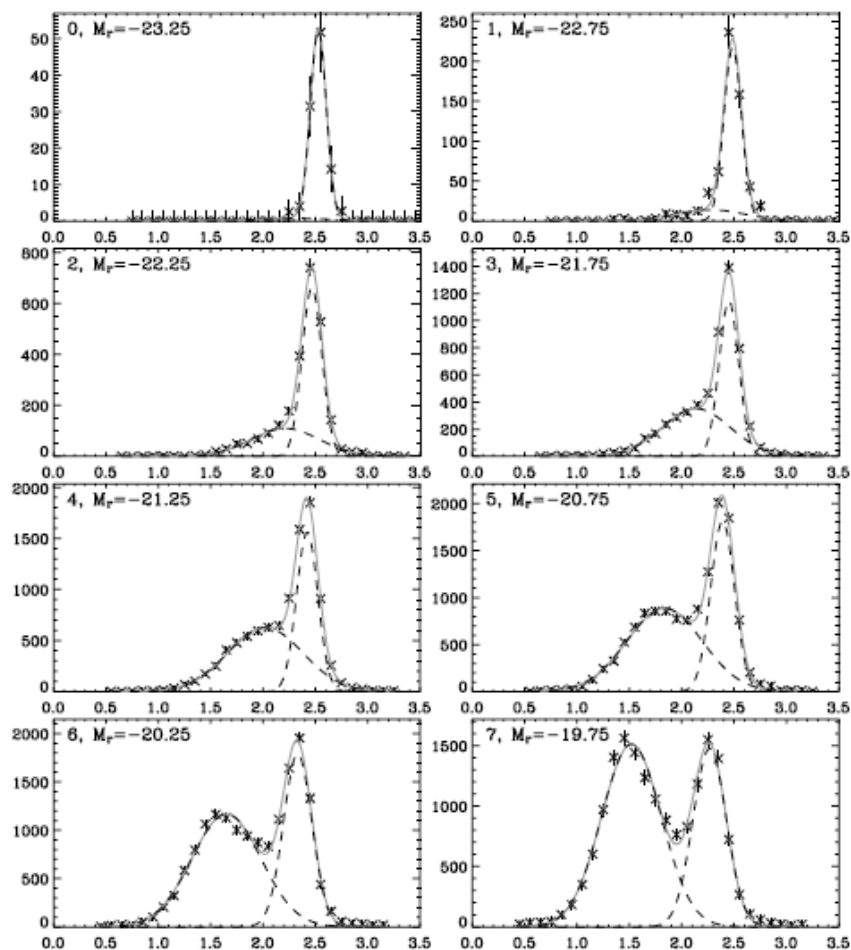


FIG. 3.—Color functions for the galaxy distributions in absolute magnitude bins of width 0.5. Each plot shows galaxy number counts vs. rest-frame $u-r$ color. The crosses with error bars represent the $V_{\text{survey}}/V_{\text{max}}$ corrected counts in 0.1 color bins. The solid lines represent double-Gaussian fits, while the dashed lines represent the single Gaussians of the blue and red distributions. [See the electronic edition of the Journal for a color version of this figure.]

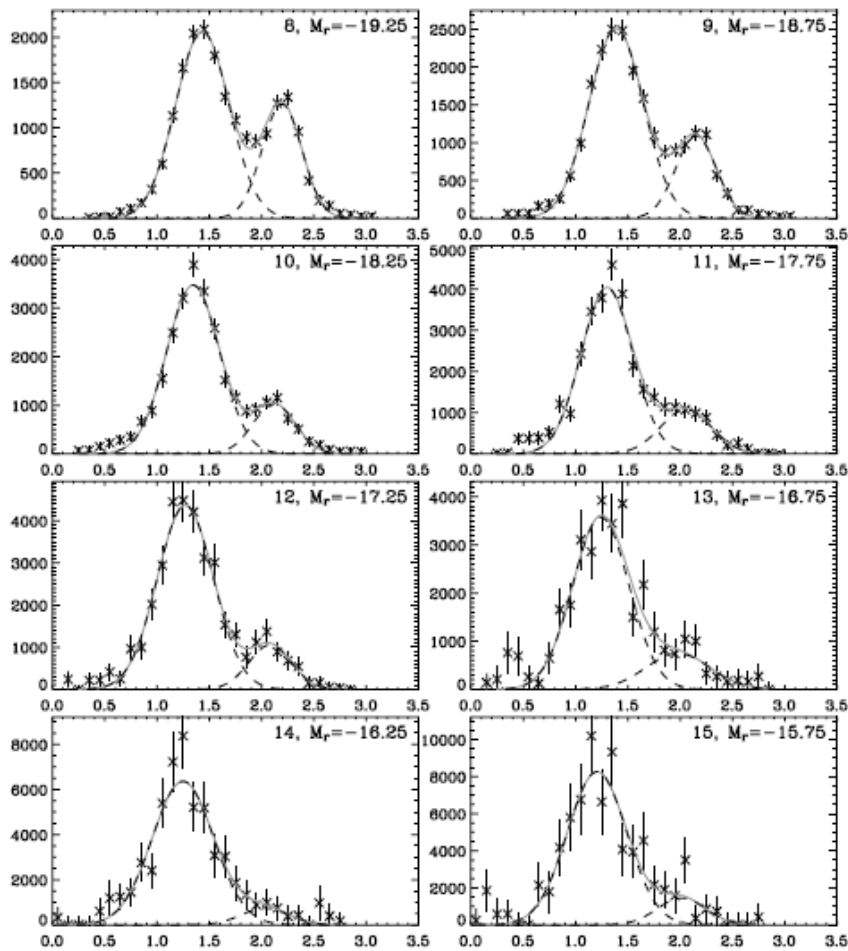


FIG. 4.—Color functions for the galaxy distributions continued. See Fig. 3 for details. [See the electronic edition of the Journal for a color version of this figure.]

No. de galáxias vermelhas por bin de M_r se torna maior do que o no. de galáxias azuis para massas da ordem de $3 \times 10^{10} M_{\text{sol}}$. Ajustando as duas distribuições assim por bins de M_r , consegue separar as sequências vermelha e azul:

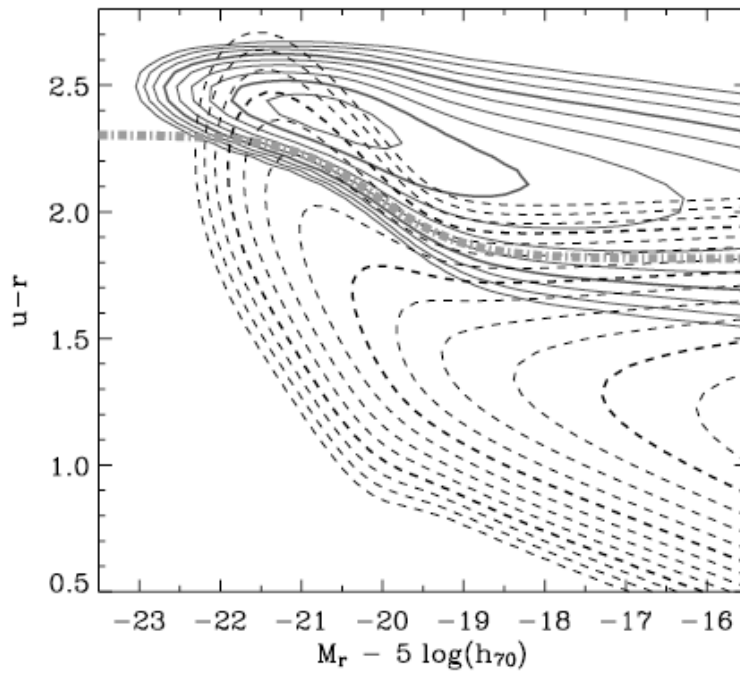


FIG. 9.—Empirical red and blue bivariate distributions (Φ_r and Φ_b) using the parameterization of § 4.1 with values from Tables 1 and 3. The solid contours represent the red distribution, while the dashed contours represent the blue distribution. The contour levels are on a logarithmic scale, starting at an arbitrary level and doubling every two contours. The thick dash-dotted line represents an optimal divider (§ 5.3). Note that the measured dispersion includes observational uncertainties, which implies that the luminous red “ridge” is, in reality, significantly narrower. [See the electronic edition of the *Journal* for a color version of this figure.]

Funções de luminosidade das duas sequencias (vermelha e azul) diferem:

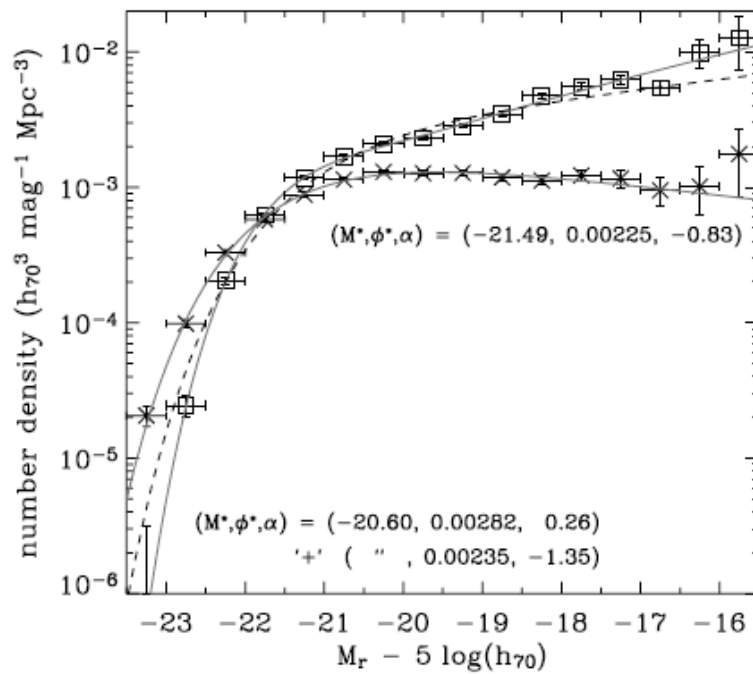


FIG. 7.—Luminosity functions for each galaxy distribution [crosses: $\phi_r(M_r)$; squares: $\phi_b(M_r)$, with error bars]. The lines represent fits to the data. The dashed line for ϕ_b and the solid line for ϕ_r represent standard Schechter functions, while the solid line for ϕ_b represents a double Schechter function with a single value for M^* . The standard single Schechter function does not provide a good fit to the blue distribution. The parameters for the single Schechter ϕ_r and double Schechter ϕ_b fits are shown in the plot. [See the electronic edition of the Journal for a color version of this figure.]

Red sequence: maior luminosidade característica e menor inclinação para luminosidades baixas; diferença entre estas funções de luminosidade podem ser explicadas num cenário em que a sequencia vermelha resulta de um no. maior de major mergers.

[Kauffmann et al. 2003, MNRAS, 341, 33:](#)

Ao invés da cor u-r, usou dois indices para classificar as galáxias. Figs. abaixo:

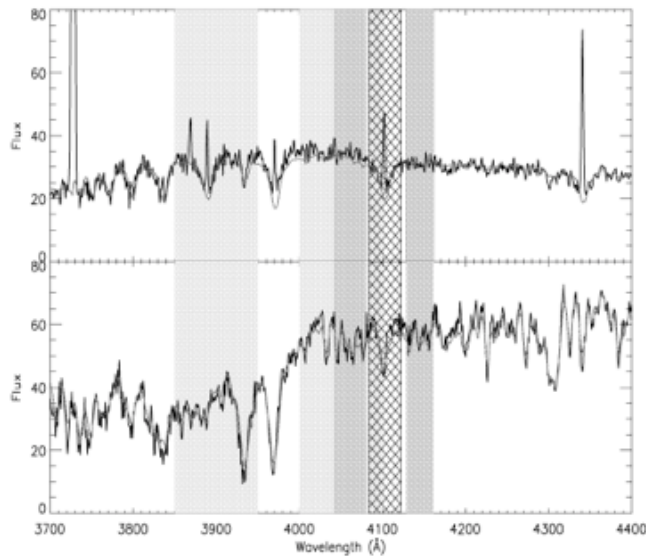


Figure 1. SDSS spectra of a late-type galaxy (top) and an early-type galaxy (bottom) are plotted over the interval 3700–4400 Å in the restframe. The red line shows our best-fitting BC2003 model spectrum. The light grey-shaded regions indicate the bandpasses over which the $D_n(4000)$ index is measured. The dark grey regions show the pseudocontinua for the $H\delta_A$ index, while the hatched region shows the $H\delta_A$ bandpass.

Comportamento dos índices com a idade da população:

$D_n(4000)$: pequeno para pop. jovem; grande para pop. velha

$H\delta_A$: cresce até idade "intermediária" e depois decresce

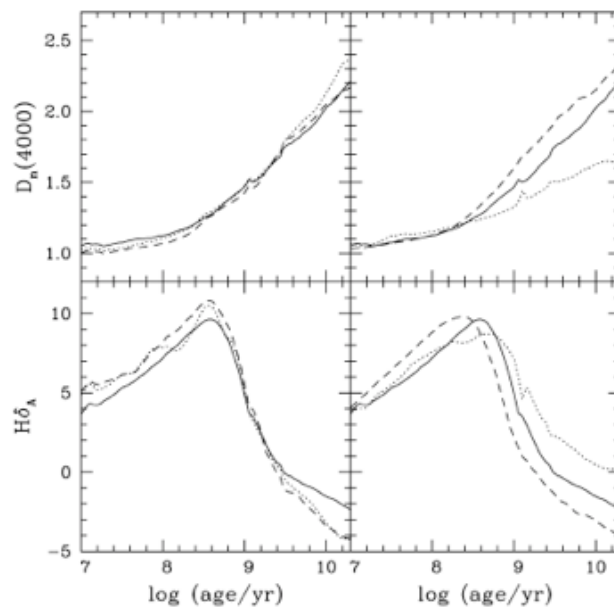


Figure 2. Left: the evolution of $D_n(4000)$ and $H\delta_A$ following an instantaneous, solar-metallicity burst of star formation. Solid lines show results from BC2003+STELIB, the dotted line shows results if the Pickles (1998) library is used, and the dashed line is for the Jacoby et al. (1984) library. Right: the evolution of $D_n(4000)$ and $H\delta_A$ for bursts of different metallicity. The solid line is a solar metallicity model, the dotted line is a 20 per cent solar model and the dashed line as a 2.5 solar model.

Encontram que D_n é bi-modal, mostrando uma divisão entre galáxias dominadas por populações velhas e galáxias com formação estelar recente. Calculam massas, razões massa-luminosidade, e encontram que o universo local é dominado por galáxias com massas $\sim 5 \times 10^{10} M_{\text{sun}}$, raio contendo metade da luminosidade $\sim 3 \text{ kpc}$ e densidade superficial estelar neste raio $\sim 5 \times 10^9 M_{\text{sun}} \text{ kpc}^{-2}$.

Outros resultados relevantes:

Kauffmann et al. 2003, MNRAS, 346, 1055:

Medindo os índices de AGN encontraram que Seyfert's 2 tem população estelar mais jovem do que galáxias não ativas (confirmando resultados prévios para amostras menores de Cid Fernandes et al., Storchi-Bergmann et al., Gonzalez Delgado et al.). Na verdade, AGNs apresentam uma mistura de pop. velha e jovem, e por isto ficam entre a red e blue sequence, no "green valley", com ficou sendo chamada a região entre a blue e a red sequence.

Possível interpretação: AGN é o agente de migração das galáxias da blue para a red sequence, devido a interrupção pelo AGN da formação estelar: "quenching of star formation" que aconteceria num intervalo de tempo de 100 a 500Myr.

Schawinski defendeu esta idéia por um tempo mas depois concluiu que ela não se aplicava, ver isto mais abaixo.

Mateus et al. 2006, MNRAS, 370, 721:

Análise da bimodalidade das galáxias em termos de síntese de população estelar: 50000 galáxias do SDSS com $M_r < -20.5$

Resultado: bimodalidade é resultado de idade média da população

Dividiu em star-forming, passivas e AGNs

Tese de Husemann (Julho 2011, orientado de Lutz Wisotzky):

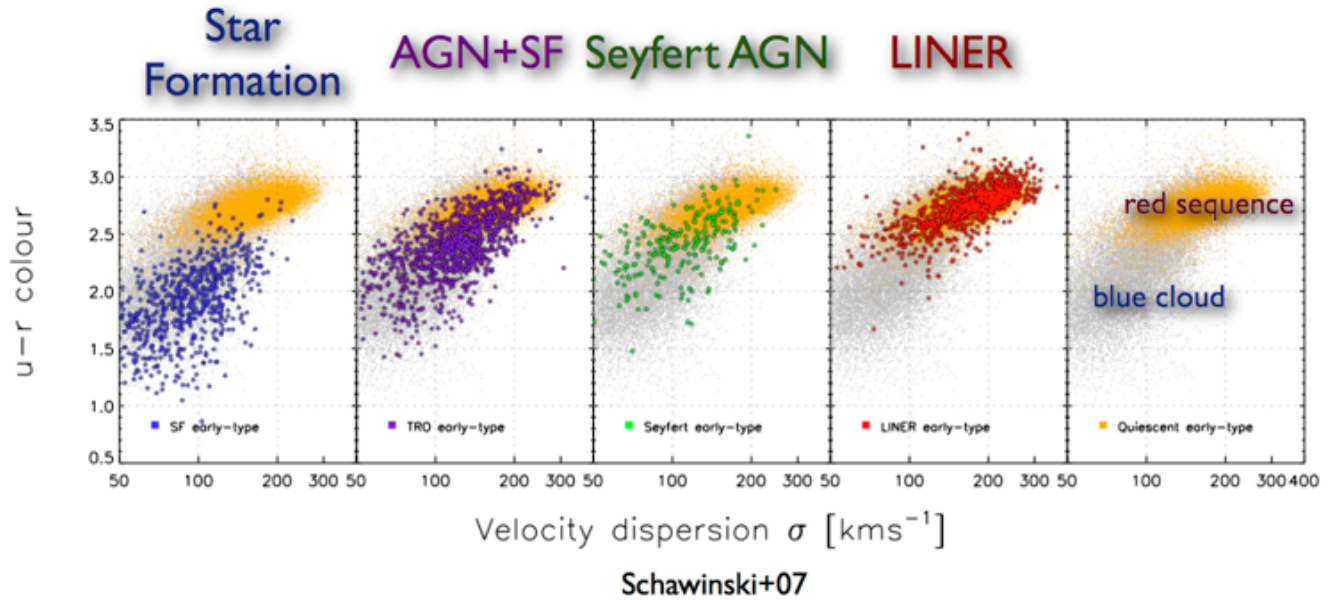
Fig. 1.4: Idade vs. Massa em estrelas: AGN entre a blue e red cloud: transição entre as duas sequências?

Bimodalidade observada até $z \sim 2.5$ (ou seja, já existe desde $z = 2.5$)

Entretanto, o no. de galáxias na red sequence cresceu de um fator 2 desde $z = 1$ para $z = 0$, enquanto que o no. de galáxias na blue sequence permaneceu o mesmo - > contínuo "crescimento" ou população da red sequence via o truncamento da formação estelar nas galáxias da blue sequence, enquanto que as galáxias na red sequence podem crescer por gas-poor mergers (ou "dry mergers").

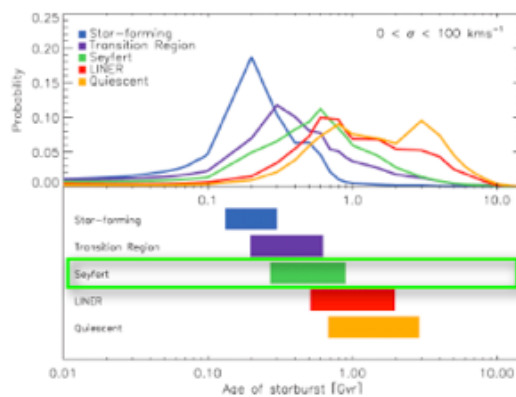
Em uma série de papers (2007-2012), Schawinski investigou a posição das galáxias ativas num diagrama Cor vs. Dispersão de velocidades (equivalente a um diagrama Cor x Massa ou Cor x Luminosidade ou Cor x Magnitude):

SDSS reveals an evolutionary sequence



O resultado acima sugere que a atividade nuclear, quando as galáxias aparecem no "Green Valley", seria responsável pela migração das galáxias desde a sequência azul até a sequência vermelha. Um mecanismo sugerido seria de que a atividade nuclear cessasse repentinamente a formação estelar, já que as duas sequências são separadas no diagrama, indicando que a transição é bem rápida. Um mecanismo sugerido foi o do "AGN Feedback", ou seja, outflows e radiação do AGN cessariam a formação estelar por agitar/destruir/expulsar as nuvens de gás que formariam novas estrelas. Mas é este cenário compatível com as observações? Schawinski faz esta pergunta abaixo:

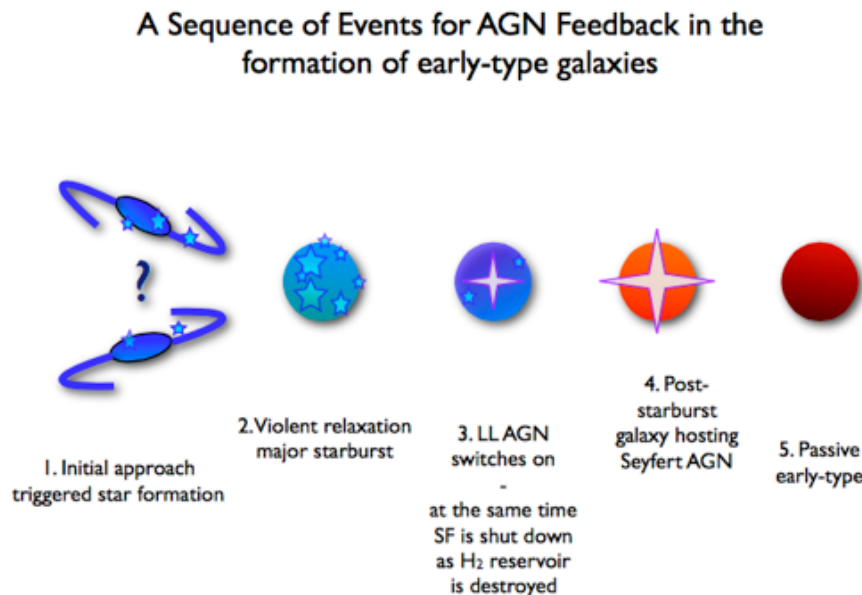
So, are we seeing AGN feedback suppressing star formation?



Transition time scales pose challenge!

Seyfert (moderate-luminosity obscured AGN) only become important ~0.5 Gyr after shutdown of star formation.

Schawinski mesmo conclui que este cenário não é compatível com a idade típica da população estelar na região central de galáxias ativas: a maioria tem idades que indicam que a atividade aparece depois da cessação da formação estelar, não sendo possível, portanto que a atividade seja a responsável por cessar a formação estelar. Este cenário já tinha sido proposto por mim ([Storchi-Bergmann et al. 2001, ApJ, 559, 147](#)) e por Davies ([Davies et al. 2007, ApJ, 671, 1388](#)). Então a conclusão é que a atividade nuclear aparece depois da cessação da formação estelar:



Resultado recente do survey CALIFA (Calar Alto survey):

[Perez et al. 2013, ApJ, 764, L1](#): Espectroscopia de Campo Integral de ~100 galáxias próximas de todos os tipos de Hubble -> galáxias crescem de dentro para fora

[González Delgado, 2013, A&A](#): Efeitos relacionados à massa total e densidade de massa