



# Avanços na testagem da consistência da função de luminosidade galáctica

Alvaro S. Iribarrem

Observatório do Valongo, UFRJ

Marcelo B. Ribeiro

Instituto de Física, UFRJ

William R. Stoeger

Steward Observatory, University of Arizona

## Objetivos:

Investigar consequências e aprimoramentos da conexão entre os tratamentos da distribuição radial de galáxias na cosmologia relativística e na observacional.

## Densidade numérica diferencial:

$$\gamma_i = \frac{dN}{dV_i} = \frac{dN}{dz} \left\{ 4\pi (d_i)^2 \frac{d(d_i)}{dz} \right\}^{-1}$$

## Objetivos:

Investigar consequências e aprimoramentos da conexão entre os tratamentos da distribuição radial de galáxias na cosmologia relativística e na observacional.

## Densidade numérica diferencial:

$$\gamma_i = \frac{dN}{dV_i} = \frac{dN}{dz} \left\{ 4\pi (d_i)^2 \frac{d(d_i)}{dz} \right\}^{-1}$$

### Parte geométrica

Depende da definição de distância cosmológica usada, mas de outra forma é completamente definida pela geometria do espaço-tempo (FLRW,  $h = 0.7$ ,  $\Omega_m = 0.3$ ,  $\Omega_\Lambda = 0.7$ )

## Objetivos:

Investigar consequências e aprimoramentos da conexão entre os tratamentos da distribuição radial de galáxias na cosmologia relativística e na observacional.

## Densidade numérica diferencial:

$$\gamma_i = \frac{dN}{dV_i} = \frac{dN}{dz} \left\{ 4\pi (d_i)^2 \frac{d(d_i)}{dz} \right\}^{-1}$$

### Parte numérica

Pode ser estimada *teoricamente*, usando argumentos relativísticos (Ellis, 1971), ou *observacionalmente* através da função de luminosidade (Ribeiro & Stoeger, 2003)

### Parte geométrica

Depende da definição de distância cosmológica usada, mas de outra forma é completamente definida pela geometria do espaço-tempo (FLRW,  $h = 0.7$ ,  $\Omega_m = 0.3$ ,  $\Omega_\Lambda = 0.7$ )

## Distâncias cosmológicas:

- Definições usadas: distância por área ou distância por diâmetro angular ( $d_A$ ), distância por área galáctica ou distância efetiva ( $d_G$ ), distância por luminosidade ( $d_L$ ) e distância por desvio para o vermelho ( $d_z$ );
- Num espaço-tempo FLRW, a distância por diâmetro angular ( $d_A$ ) pode ser escrita em termos do fator de escala  $a$  e da coordenada radial  $r$  como,

$$d_A = r a$$

- Como consequência, evocando a relação de reciprocidade, pode-se mostrar que a distância por área galáctica ( $d_G$ ) se reduz nessa variedade à coordenada radial  $r$ .

## Estimativa teórica para $dN/dz$ :

Equação derivada em Ribeiro & Stoeger (2003), baseada num resultado em Ellis (1971, reimpresso em GRG J., 2009):

$$\frac{dN}{dz} = n (d_A)^2 (1 + z) d\omega_0 \frac{dy}{dz}$$

- Independente do modelo cosmológico;
- Fonte e observador conectados por geodésicas nulas;

## Estimativa teórica para $dN/dz$ :

Equação derivada em Ribeiro & Stoeger (2003), baseada num resultado em Ellis (1971, reimpresso em GRG J., 2009):

$$\frac{dN}{dz} = n (d_A)^2 (1 + z) d\omega_0 \frac{dy}{dz}$$

- Independente do modelo cosmológico;
- Fonte e observador conectados por geodésicas nulas;
- Densidade em volume próprio puramente geométrica  $\Rightarrow$  evolução galáctica não é considerada nessa estimativa.

## Estimativa observacional para $dN/dz$ :

Pode-se obter uma estimativa para a contagem diferencial em um levantamento através da função de luminosidade  $\phi(L, z)$ :

$$\left[ \frac{dN}{dz} \right]_{obs} = \left\{ \frac{\int_{L_{lim}}^{\infty} \phi(L, z) dL}{n_C} \right\} \frac{dN}{dz}$$

- Imediatamente aplicável a qualquer catálogo;
- O corte em luminosidade introduz um viés contra fontes de alta razão massa-luminosidade (Panella *et al.*, 2009).



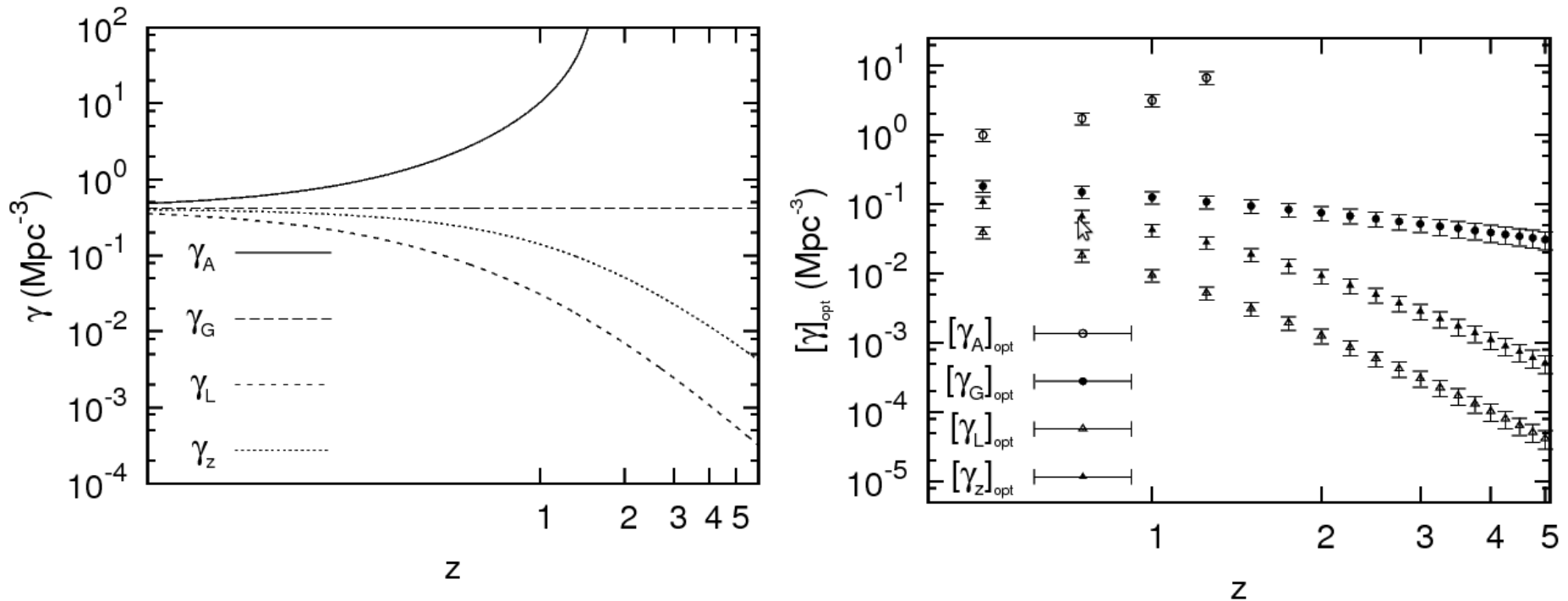
## Estimativa observacional para $dN/dz$ :

Pode-se obter uma estimativa para a contagem diferencial em um levantamento através da função de luminosidade  $\phi(L, z)$ :

$$\left[ \frac{dN}{dz} \right]_{obs} = \left\{ \frac{\int_{L_{lim}}^{\infty} \phi(L, z) dL}{n_C} \right\} \frac{dN}{dz}$$

- Imediatamente aplicável a qualquer catálogo;
- O corte em luminosidade introduz um viés contra fontes de alta razão massa-luminosidade (Panella *et al.*, 2009).

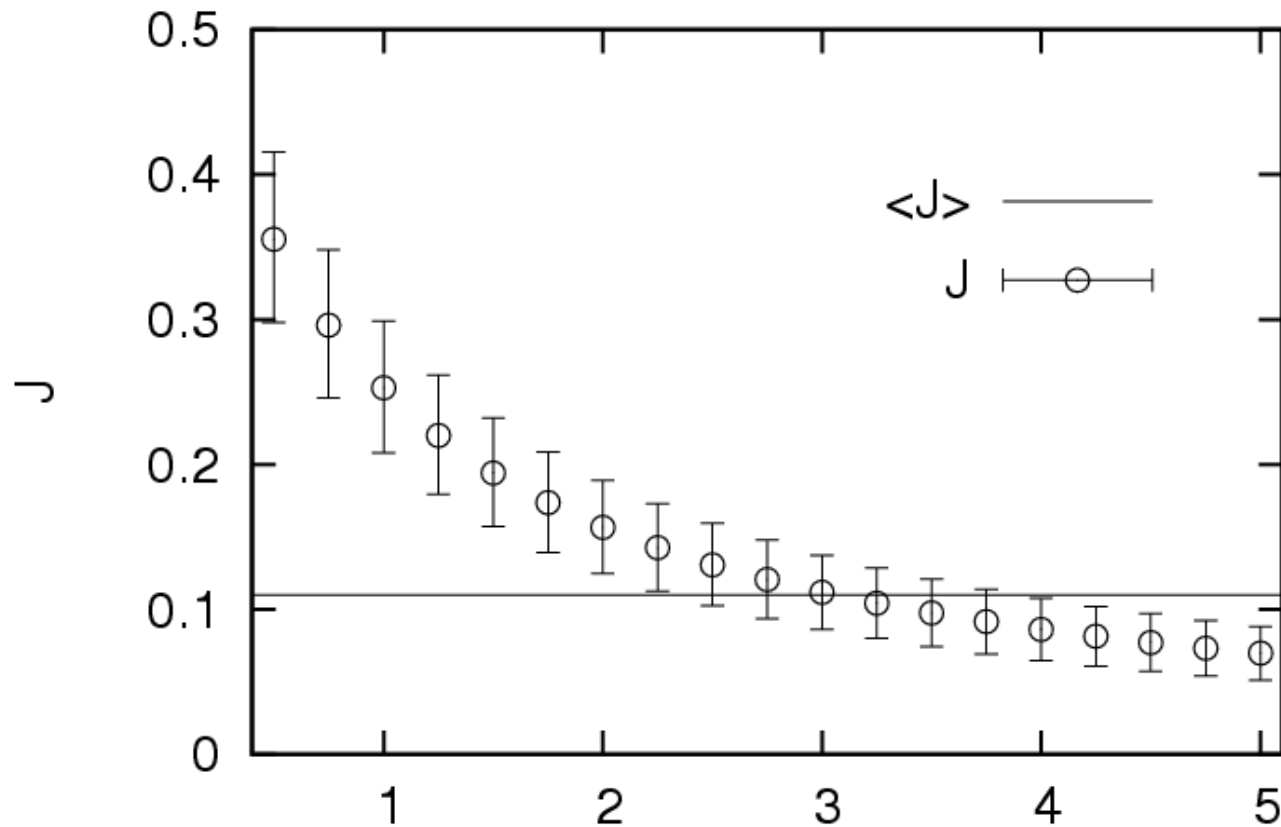
## Resultados:



- Densidades diferenciais teóricas puramente geométricas (esquerda) vs. densidades diferencial observacionais (direitas) obtidas da FL do catálogo de Gabasch *et al.* (2004) para o FORS Deep Field;
- Caracterização (painel 22), consistência (painel 23) e comparação das consistências de diferentes catálogos com dado modelo e dos efeitos geométrico vs. evolução galáctica nessas densidades relativísticas.

## Função de completeza:

$$J(z) = \frac{[\gamma_i]_{obs}}{\gamma_i} = \frac{\left[\frac{dN}{dz}\right]_{obs} \left\{4\pi(d_i)^2 \frac{d(d_i)}{dz}\right\}^{-1}}{\frac{dN}{dz} \left\{4\pi(d_i)^2 \frac{d(d_i)}{dz}\right\}^{-1}} = \frac{[dN/dz]_{obs}}{dN/dz} = \left\{ \frac{\int_{L_{lim}}^{\infty} \phi(L, z) dL}{n_C} \right\}$$



## Comparando a consistência:

Pode-se comparar quantitativamente a função de completeza  $J(z)$  que conecta a contagem diferencial em um modelo cosmológico com aquela obtida a partir de um dado levantamento de galáxias pela quantidade:

$$E = \frac{\int_{\Delta z} \left| 1 - \frac{J(z)}{\langle J \rangle} \right| dz}{\Delta z}$$

- Codifica em termos relativos o quanto a função de completeza afasta-se de seu valor médio no intervalo por unidade de desvio para o vermelho;
- Permite comparar a consistência de um dado modelo cosmológico em relação a diferentes catálogos ou entre diferentes modelos cosmológicos em relação a um mesmo catálogo;
- Fixo um modelo cosmológico, permite comparar quantitativamente a evolução da função de luminosidade de diferentes catálogos com diferentes densidades numéricas médias e diferentes intervalos de desvio para o vermelho.

## Comparando catálogos:

- Fatores E para funções de completude considerando o modelo padrão;
- Classificação espectral de Lin *et al* (1999) para o CNO2;
- Desvio para o vermelho: CNO2  $\lesssim 1$ , FDF  $\lesssim 5$ ;
- Funções de completude nos filtros do FDF  $\sim 10x$  maiores do que no CNO2;

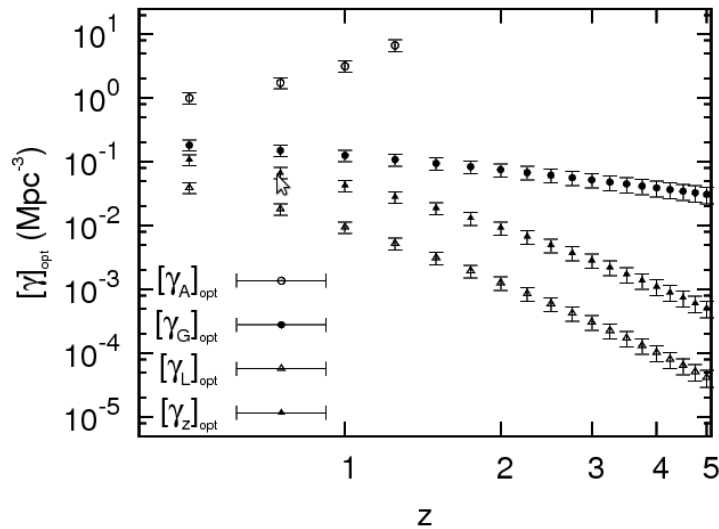
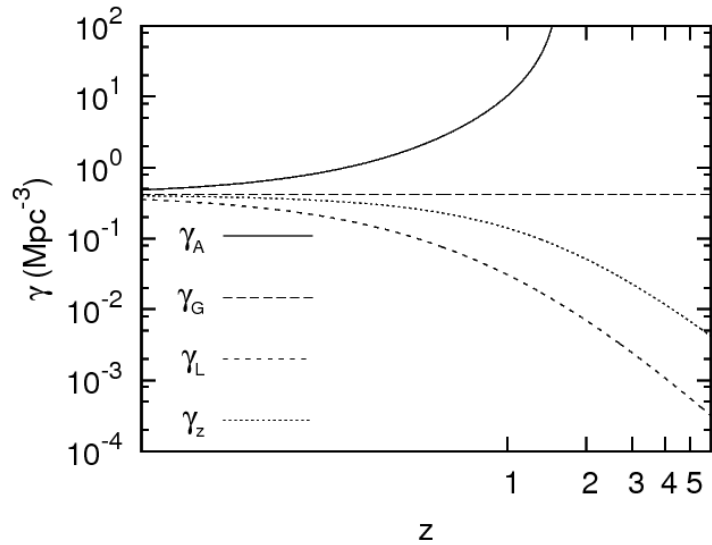
Catálogo	E
CNO2 (Anteriores)	0.21
CNO2 (Intermediárias)	0.16
CNO2 (Posteriores)	0.60
FDF (UV)	0.58
FDF (Óptico)	0.43
FDF (r')	0.09
FDF (i')	0.10
FDF (z)	0.14

- Resposta do método condizente com as detecções nos dois diferentes catálogos: a FL de anteriores (CNO2) / vermelhas (FDF r', i', z) evolui menos intensamente do que a das posteriores / azuis (FDF UV, óptico).

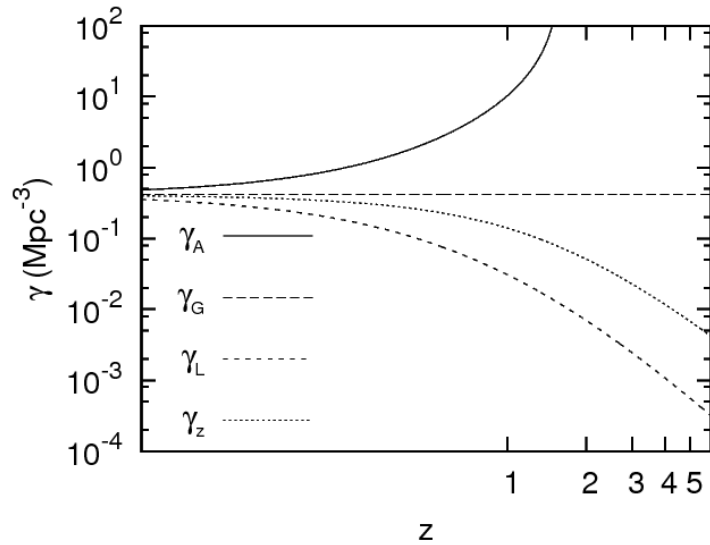
## Perspectivas:

- Implementar resultados de modelos semi-empíricos e numéricos para formação de estruturas e evolução passiva e comparar a consistência da teoria implementada com os catálogos;
- Investigar a influência de um espaço tempo alternativo (Lemaître-Tolman-Bondi, por exemplo) sobre a função de completeza e sua evolução com o desvio para o vermelho;
- Obter uma maneira de comparar os efeitos combinados de evolução galáctica e de seleção afetando a densidade diferencial na distância por área galáctica observada com os efeitos puramente relativísticos afetando as densidades diferenciais por luminosidade e por desvio para o vermelho.

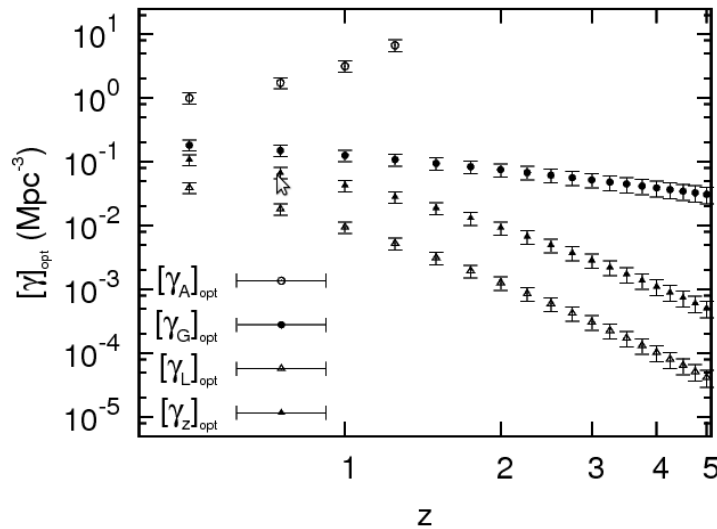
# Comparando efeitos sobre as densidades:



# Comparando efeitos sobre as densidades:

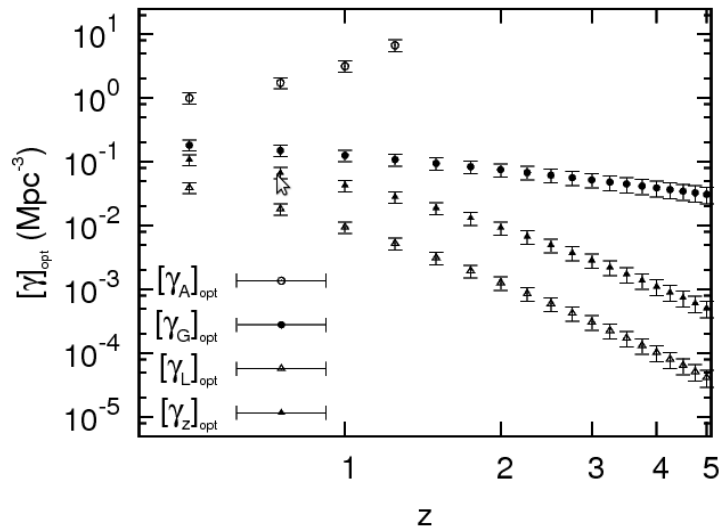
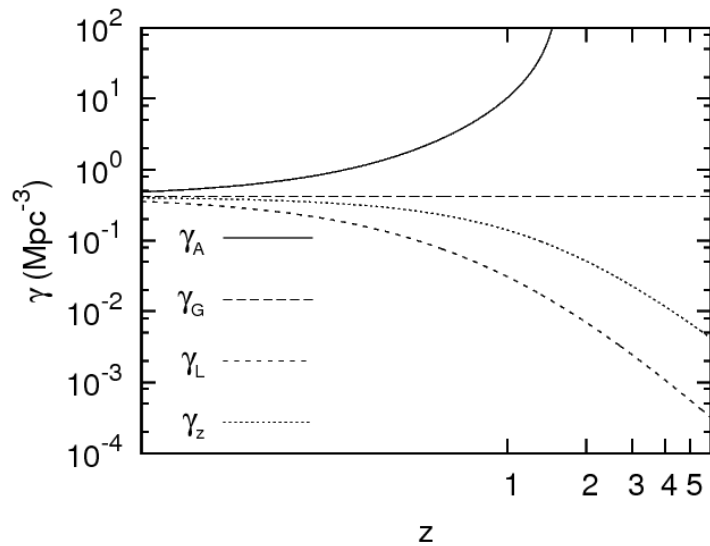


$$R_i = \frac{\gamma_i}{[\gamma_G]_{obs}}$$





# Comparando efeitos sobre as densidades:



$$R_i = \frac{\gamma_i}{[\gamma_G]_{obs}}$$

$z$	$R_L$	$R_z$
0.50	0.91	2.52
0.75	0.67	2.47
1.00	0.52	2.35
1.25	0.41	2.20
1.50	0.34	2.04
1.75	0.28	1.88
2.00	0.24	1.73
2.25	0.20	1.60
2.50	0.18	1.47
2.75	0.15	1.36
3.00	0.14	1.27
3.25	0.12	1.18
3.50	0.11	1.10
3.75	0.10	1.03
4.00	0.09	0.96
4.25	0.08	0.90
4.50	0.07	0.85
4.75	0.07	0.80
5.00	0.06	0.76