

Universidade Federal do Rio de Janeiro
Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza
Observatório do Valongo

Alberto Alves de Mesquita

**ESTUDO DA EVOLUÇÃO DA FUNÇÃO DE
LUMINOSIDADE DE GALÁXIAS USANDO
REDSHIFTS FOTOMÉTRICOS**



Alberto Alves de Mesquita

**ESTUDO DA EVOLUÇÃO DA FUNÇÃO DE
LUMINOSIDADE DE GALÁXIAS USANDO
REDSHIFTS FOTOMÉTRICOS**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Astronomia, Observatório do Valongo, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Astronomia.

Orientadores: Prof. Dr. Luiz Alberto Nicolaci da Costa e Paulo Sérgio de Sousa Pellegrini

Rio de Janeiro
Dezembro de 2009

Mesquita, Alberto Alves de

Estudo da Evolução da Função de Luminosidade de Galáxias
Usando Redshifts Fotométricos/ Alberto Alves de Mesquita

- Rio de Janeiro: UFRJ/ OV, 2009

xvi, 76f.:il; 30 cm

Orientadores: Luiz A. Nicolaci da Costa; Paulo S. de Sousa Pellegrini.

Dissertação (mestrado) - UFRJ/ OV/ Programa de Pós-graduação
em Astronomia, 2009.

Referências Bibliográficas: f: 71-75.

1.Galáxias 2.Evolução 3.Função de Luminosidade 4.*Redshifts*
fotométricos. I Pellegrini, Paulo Sérgio de Sousa.

II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Observatório do Valongo,
Programa de Pós-graduação em Astronomia, 2010 III. Título.

*O temor do SENHOR é o Princípio da Sabedoria,
e a Ciência do Santo, a Prudência.*

Provérbios 9:10

Agradecimentos

É realmente impossível chegar ao ponto de defender uma dissertação sem o apoio de muitos.

Chegando à esta altura da minha vida, sinto vontade de dizer a todos que me ajudaram, em alto e bom som: MUITO OBRIGADO!!!

À alguns deixo aqui, meus sinceros agradecimentos:

A Deus, porque até aqui me permitiu chegar.

Ao meu orientador, Dr. L. da Costa, pela oportunidade de trabalho.

Ao meu co-orientador, Dr. Paulo Pellegrini, pela orientação e disposição em ajudar em sua incondicional paciência.

A Dra. Beatriz Ramos pela grande colaboração e esforço em me passar tudo que eu precisava aprender.

Ao Dr. Ricardo Ogando, pelos interesse e cuidado em me ensinar nos meus primeiros passos na Astronomia;

Ao grupo de trabalho, Bruno Rossetto, Renan dos Santos, Leandro Martelli, Paulo Vítor e todos os outros que tanto me ensinaram nesses anos que estive aqui.

A minha mulher Eloilde Barbosa dos Santos Mesquita pela força e compreensão nas horas difíceis.

Resumo

O objetivo deste trabalho foi estudar a evolução da função de luminosidade de galáxias em altos *redshifts* utilizando *redshifts* fotométricos. Utilizamos os dados do CFHT Legacy Survey, que é um levantamento fotométrico homogêneo, realizado nas bandas u^*, g', r', i', z' , completo até $i'_{AB} = 25$. A amostra total de trabalho incluiu 401466 galáxias até $z=2.5$. *Redshifts* fotométricos e tipos espectrais foram obtidos com o código LePhare, utilizamos o método clássico ($1/V_{max}$) para calcular a função de luminosidade e obtivemos ajustes da função de Schechter. Consideramos dois tipos de correção K, uma delas sem evolução de luminosidade e outra incluindo este efeito. Comparamos os resultados obtidos com *redshifts* fotométricos com os obtidos com *redshifts* espectroscópicos mostrando que os primeiros podem ser utilizados para análises da função de luminosidade. O estudo da evolução da função de luminosidade global e das funções para diferentes classes espectrais de quatro áreas do CFHTLS mostrou que: a)- existe significativa evolução de luminosidade (M^*) e densidade (ϕ^*) características da função de luminosidade; b)- Elípticas em torno de M^* entre $z=1.5$ e $z=0$ tornam-se mais fracas por ≈ 0.7 mag com evolução passiva e crescem em densidade por um fator ≈ 5 ; c)- as Espirais e Irregulares tornam-se menos luminosas de $z \approx 2.2$ a $z=0$ por cerca de 2 magnitudes e crescem em densidade por um fator ≈ 6 ; d)- a classe de objetos dominados por formação estelar decresce seu brilho de quase 3 mag entre $z \approx 2.2$ e $z=0$ e apresenta evolução em densidade crescendo em número por fator ≈ 5 entre $z \approx 2.2$ e $z \approx 1$, decrescendo por um fator ≈ 0.4 até $z \approx 0.4$, voltando a crescer por um fator ≈ 3 até $z=0$. Esses resultados são compatíveis com aqueles obtidos dos levantamentos COMBO-17, VVDS, DEEP2 e z-COSMOS.

Palavras-chave: Galáxias, Evolução, Função de Luminosidade, *Redshifts* fotométricos.

Abstract

The goal of this work is to investigate the luminosity function evolution of high- z galaxies, using photometric redshifts. We used the homogeneous data of the CFHT Legacy Survey on the u^* , g' , r' , i' , z' bands and complete down to $i'_{AB} = 25$ mag. The total sample include 401466 galaxies to $z=2.5$. Photometric redshifts and spectral types were determined using the code LePhare, luminosity functions were calculated using the classical $1/V_{max}$ method and Schechter fits were obtained. We considered two K corrections to the data, one without luminosity evolution and another including this effect. We compared the results using photometric redshifts with those using spectroscopic ones showing the the first can be adequately used to analyze luminosity functions. The study of the luminosity function evolution of the (four areas) CFHTLS data for the global and spectral types functions showed that: a)- there is significant luminosity (M^*) and density (ϕ^*) characteristic parameters; b)- M^* Elliptical from $z=1.5$ to $z=0$ get fainter by ≈ 0.7 mag in almost passive evolution and grow in density by a factor ≈ 4 ; c)- Spirals and Irregulars get fainter from $z \approx 2.2$ to $z=0$ by ≈ 2 magnitudes and grow in density by a factor ≈ 6 ; d)- starburst galaxies decrease in brightness by about 3 mag from $z \approx 2.2$ to $z=0$ and undergo a density evolution rising by a factor ≈ 5 from $z \approx 2.2$ to $z \approx 1$, decreasing by a factor ≈ 0.4 to $z \approx 0.4$ and rising again by a factor of ≈ 3 to $z=0$. These results are compatible with those obtained from surveys such as COMBO-17, VVDS, DEEP2 and z -COSMOS.

Keywords: Galaxies, Evolution, Luminosity function, Photometric redshifts

Sumário

1	Introdução	15
2	Descrição dos Dados	22
2.1	<i>O Canada-France Hawaii Telescope Legacy Survey</i>	22
2.2	O Campo CFHTLS-D1	23
3	Metodologia	28
3.1	Determinação das Magnitudes Absolutas	28
3.2	<i>Redshifts</i> Fotométricos	28
3.3	Correção K	30
3.4	Determinação da Função de Luminosidade	32
4	Resultados	35
4.1	Comparação de <i>Redshifts</i> Fotométricos e Espectroscópicos	36
4.2	Análise dos 4 Campos do CFHTLS	45
4.3	Análise dos Diferentes Tipos Espectrais	56
5	Conclusões e Perspectivas	66
A	Número de Galáxias nas Diferentes Amostras	76

Lista de Figuras

2.1	<i>Curva de transmissão normalizada. As linhas em vermelho correspondem às curvas dos filtros MEGACAM: u^*, g', r', i', z' e as curvas em verde correspondem ao levantamento VVDS cujos filtros são B, V, R, I. Reproduzido de Ilbert et al. (2006).</i>	24
2.2	<i>Histogramas das magnitudes i'_{AB} e I_{AB} da área D1 do CFHTLS. As linhas verticais em vermelho correspondem aos limites utilizados nas análises conforme descrito no texto.</i>	25
2.3	<i>Comparação das magnitudes i'_{AB} com as magnitudes I_{AB} para galáxias do campo D1 do CFHTLS.</i>	26
2.4	<i>Comparação de redshifts fotométricos provenientes do código LePhare com espectroscópicos de Ilbert et al. (2005) para a área do mapeamento VVDS (de Ramos (2009)). No painel esquerdo superior estão todas as galáxias comparadas usando os limites $i'_{AB} < 26$ e erros fotométricos $\epsilon_m < 0.33$ mag. No superior direito estão eliminadas apenas as galáxias com erros em $z_{\text{fot}} < 0.15(1+z)$. No painel inferior esquerdo são eliminadas apenas as galáxias cujas SEDs foram ajustadas com $\chi^2 < 20$. No painel inferior direito são eliminadas as galáxias com z_{esp} de pior qualidade. Figura retirada de http://www.dominiopublico.gov.br/download/texto/cp108228.pdf</i>	27
3.1	<i>Padrões de Coleman, Wu e Weedman (1980) normalizados em 4500 Å.</i>	29
3.2	<i>Padrões de Kinney (1992) normalizados em 4000 Å.</i>	30
3.3	<i>Correções K obtidas para os 62 diferentes tipos espectrais fornecidos pelo código LePhare, mostrando o domínio de valores agrupados em 4 classes rotuladas de Elípticas (E), Espirais (S), Irregulares (Irr) e galáxias dominadas por surto de formação estelar ($form.est.$).</i>	32
3.4	<i>Correções K de Annis(2000) obtidas com o modelo evolutivo Pegase.2, separadas em diferentes tipos espectrais.</i>	33

4.1	<i>Funções de luminosidade e ajustes de Schechter para a Amostra Espectroscópica em intervalos de redshifts fotométricos de 0.05 a 0.8, usando a correção K proveniente do código LePhare. Triângulos cheios representam os resultados obtidos com redshifts espectroscópicos, enquanto círculos vazios representam os resultados obtidos com redshifts fotométricos. Círculos cheios representam resultados usando redshifts fotométricos descartando-se objetos com maiores erros fotométricos e na determinação de z_{fot}.</i>	37
4.2	<i>Funções de luminosidade e ajustes de Schechter para a Amostra Espectroscópica em intervalos de redshifts fotométricos de 0.8 a 2.0, usando a correção K proveniente do código LePhare. Simbolos são os mesmos da figura 4.1.</i>	38
4.3	<i>(Esquerda) Comparação das magnitudes características ϕ^* da função de Schechter para as amostras definidas nos diferentes bins de redshifts. (Direita) Comparação das magnitudes características M^* da função de Schechter para as amostras definidas nos diferentes bins de redshift. Para ambos foi utilizada a correção K do código LePhare K1 (círculos vermelhos) e a correção K com evolução de luminosidade K2 (triângulos pretos).</i>	39
4.4	<i>Comparação nos domínios de redshift (0.05 a 0.8) da função de luminosidade espectroscópica obtida por Ilbert et al. (2005) (tracejado preto) com a função de luminosidade obtida neste trabalho com redshifts fotométricos usando a correção K1 (círculos cheios vermelhos) e K2 (círculos vazios azuis). Em pontilhado verde é mostrada a função obtida por Blanton et al. (2005) para o SDSS.</i>	41
4.5	<i>Comparação nos domínios de redshift (0.8 a 2.0) da função de luminosidade espectroscópica obtida por Ilbert et al. (2005) (tracejado preto) com a função de luminosidade obtida neste trabalho com redshifts fotométricos usando a correção K1 (círculos cheios vermelhos) e K2 (círculos vazios azuis).</i>	42
4.6	<i>Evolução da magnitude característica da função de Schechter M^* em função de z para a amostra, na área do levantamento VVDS, definida com redshifts fotométricos. Círculos cheios vermelhos representam a amostra obtida com a correção K1 e círculos vazios azuis a amostra definida com a correção K2. Os resultados obtidos por Ilbert et al. (2005) utilizando redshifts espectroscópicos são mostrados com pontos pretos.</i>	43
4.7	<i>Evolução da densidade característica da função de Schechter ϕ^* em função de z para a amostra, na área do levantamento VVDS, definida com redshifts fotométricos. Círculos cheios vermelhos representam a amostra obtida com a correção K1 e círculos vazios azuis a amostra definida com a correção K2. Os resultado obtidos por Ilbert et al. (2005) utilizando redshifts espectroscópicos são mostrados com pontos pretos.</i>	44

4.8	<i>Funções de luminosidade e ajustes da função de Schechter para as quatro áreas do CFHTLS em intervalos de z que vão de 0.05 a 0.8. Resultados são mostrados com círculos vazios pretos para a área D1, círculos cheios vermelhos para a área D2, triângulos cheios verdes para a área D3 e quadrados cheios azuis para a área D4</i>	46
4.9	<i>Funções de luminosidade e ajustes da função de Schechter para as quatro áreas do CFHTLS em intervalos de z que vão de 0.8 a 2.0. Resultados são mostrados com círculos vazios pretos para a área D1, círculos cheios vermelhos para a área D2, triângulos cheios verdes para a área D3 e quadrados cheios azuis para a área D4</i>	47
4.10	<i>Funções de luminosidade e ajustes da função de Schechter para as quatro áreas do CFHTLS em intervalos de z que vão de 0.05 a 0.8. Resultados são mostrados com círculos vazios pretos para a área D1, círculos cheios vermelhos para a área D2, triângulos cheios verdes para a área D3 e quadrados cheios azuis para a área D4</i>	48
4.11	<i>Funções de luminosidade e ajustes da função de Schechter para as quatro áreas do CFHTLS em intervalos de z que vão de 0.8 a 2.0. Resultados são mostrados com círculos vazios pretos para a área D1, círculos cheios vermelhos para a área D2, triângulos cheios verdes para a área D3 e quadrados cheios azuis para a área D4</i>	49
4.12	<i>Funções de luminosidade e ajustes da função de Schechter para a combinação das quatro áreas do CFHTLS em intervalos de z que vão de 0.05 a 0.8. Resultados são mostrados com círculos cheios vermelhos para o caso da utilização da correção K1 e círculos vazios azuis quando usada a correção K2. Neste intervalo é também mostra a função obtida por Blanton et al. (2003) para o SDSS.</i>	52
4.13	<i>Funções de luminosidade e ajustes da função de Schechter para a combinação das quatro áreas do CFHTLS em intervalos de z que vão de 0.8 a 2.5.</i>	53
4.14	<i>Evolução da magnitude característica do ajuste da função de Schechter M^* em função do redshift. A amostra analisada neste trabalho é mostrada com círculos cheios vermelhos (caso da correção K1) e círculos vazios azuis (caso da correção K2). A evolução obtida por Ilbert et al. (2005) é mostrada com pontos pretos e a obtida por Gabash et al. (2006) com triângulos cheios verdes.</i>	54

4.15	<i>Evolução da densidade característica do ajuste da função de Schechter ϕ^* em função do redshift. A amostra analisada neste trabalho é mostrada com círculos cheios vermelhos (caso da correção K1) e círculos vazios azuis (caso da correção K2). A evolução obtida por Ilbert et al. (2005) é mostrada com pontos pretos e a obtida por Gabash et al. (2006) com triângulos cheios verdes.</i>	55
4.16	<i>Funções de luminosidade e ajustes de Schechter para a combinação das quatro áreas do CFHTLS, no intervalo de 0.05 a 0.8, usando a correção K1. As Elípticas são mostradas com círculos cheios vermelhos, o conjunto Espirais + Irregulares e círculos vazios azuis e o conjunto Irregulares + galáxias dominadas por formação estelar com triângulos cheios verdes. . . .</i>	57
4.17	<i>Funções de luminosidade e ajustes de Schechter para a combinação das quatro áreas do CFHTLS, no intervalo de 0.8 a 2.5, usando a correção K1. As Elípticas são mostradas com círculos cheios vermelhos, o conjunto Espirais + Irregulares e círculos vazios azuis e o conjunto Irregulares + galáxias dominadas por formação estelar com triângulos cheios verdes. . . .</i>	58
4.18	<i>Funções de luminosidade e ajustes de Schechter para a combinação das quatro áreas do CFHTLS, no intervalo de 0.05 a 0.8, usando a correção K2. As Elípticas são mostradas com círculos cheios vermelhos, o conjunto Espirais + Irregulares e círculos vazios azuis e o conjunto Irregulares + galáxias dominadas por formação estelar com triângulos cheios verdes. . . .</i>	59
4.19	<i>Funções de luminosidade e ajustes de Schechter para a combinação das quatro áreas do CFHTLS, no intervalo de 0.8 a 2.5, usando a correção K2. As Elípticas são mostradas com círculos cheios vermelhos, o conjunto Espirais + Irregulares e círculos vazios azuis e o conjunto Irregulares + galáxias dominadas por formação estelar com triângulos cheios verdes. . . .</i>	60
4.20	<i>Evolução da magnitude característica M^* da função de luminosidade de galáxias Elípticas para as correção K1 (círculos cheios vermelhos) e K2 (triângulos cheios pretos)</i>	62
4.21	<i>Evolução da magnitude característica M^* da função de luminosidade de galáxias Espirais e Irregulares para as correção K1 (círculos cheios vermelhos) e K2 (triângulos cheios pretos)</i>	63
4.22	<i>Evolução da magnitude característica M^* da função de luminosidade de galáxias Irregulares e dominadas por formação estelar para as correção K1 (círculos cheios vermelhos) e K2 (triângulos cheios pretos)</i>	63
4.23	<i>Evolução da densidade característica ϕ^* da função de luminosidade de galáxias Elípticas para as correção K1 (círculos cheios vermelhos) e K2 (triângulos cheios pretos)</i>	64

4.24	<i>Evolução da densidade característica ϕ^* da função de luminosidade de galáxias Espirais e Irregulares para as correção K1 (círculos cheios vermelhos) e K2 (triângulos cheios pretos)</i>	64
4.25	<i>Evolução da densidade característica ϕ^* da função de luminosidade de galáxias Irregulares e dominadas por formação estelar para as correção K1 (círculos cheios vermelhos) e K2 (triângulos cheios pretos)</i>	65

Lista de Tabelas

2.1	Dados sa áreas do CFHTLS. A área efetiva mostrada está em graus quadrados.	23
2.2	Valores aproximados das magnitudes limites atingidas com completeza de 50% do campo CFHTLS-D1	24
3.1	Associação de Tipos Espectrais	31
4.1	Parâmetros M^* , ϕ^* e α dos ajustes da função de Schechter, e seus erros, para a Amostra Espectroscópica	36
4.2	Parâmetros M^* , ϕ^* e α dos ajustes da função de Schechter, e seus erros, para a amostra na área do levantamento VVDS	40
4.3	Parâmetros M^* , ϕ^* e α dos ajustes da função de Schechter, e seus erros, para as quatro áreas D1, D2, De e D4 do levantamento CFHTLS. Para os últimos dois intervalos de <i>redshif</i> o valor de α está fixado em -1.52	50
4.4	Parâmetros M^* , ϕ^* e α dos ajustes da função de Schechter, e seus erros, para as quatro áreas co CFHTLS combinadas. Para intervalos de <i>redshifts</i> em $\langle z \rangle \geq 0.9$ o valor de α foi fixado em -1.52.	51
4.5	Parâmetros M^* , ϕ^* e α dos ajustes da função de Schechter, e seus erros, para as diferentes classes espectrais do levantamento CFHTLS. Para os últimos intervalos de <i>redshif</i> das classes S+Irr e Irr+form.est. o valor de α está fixado naquele determinado no intervalo $z=[0.8-1.0]$	61
A.1	Número de galáxias nas diferentes amostras analisadas neste trabalho, em cada intervalo de <i>redshift</i> indicado, Δz . AE se refere à Amostra Espectroscópica, VVDS à amostra selecionada na área do levantamentro VVDS. As quatro área do CFHTLS são as colunas D1, D2, D3 e D4. Total se refere à combinação dessas quatro áreas e E, S+Irr e Irr+fe às três classes espectrais definidas no texto, na área combinada. Da segunda à sétima coluna as amostras estão limitadas a $i'_{AB} \leq 24$ e $z_{\text{tot}} \leq 2.0$. As quatro últimas colunas representam amostras limitadas em $i'_{AB} \leq 25$ e $z_{\text{tot}} \leq 2.5$	76

Capítulo 1

Introdução

O conhecimento de fração de galáxias com uma determinada luminosidade ou distribuição de sua densidade numérica em função de sua luminosidade (ou magnitude absoluta) são ferramentas das mais importantes para a análise e estudo desses objetos. A assim chamada função de luminosidade, $\phi(M)$, representa um importante vínculo observacional para os processos físicos envolvidos nos modelos de formação e evolução de galáxias. De fato, no atual paradigma de formação de estruturas no Universo, halos de matéria escura se aglomeram de forma não dissipativa em objetos cada vez maiores, pelo efeito da gravitação. Nos seus interiores a matéria bariônica origina o conteúdo estelar luminoso através de um processo complexo, ainda não compreendido em sua totalidade. O resultado deste processo total que envolve fusão de objetos e formação estelar modela a forma da função de luminosidade e sua evolução, que então reflete as inúmeras diferenças decorrentes dos diferentes processos envolvidos, das diferentes morfologias das galáxias e dos diferentes ambientes em que elas se encontram. Não menos importante é o fato de que o estudo da função de luminosidade em diferentes *redshifts* pode revelar a evolução da importância e dominância de diferentes mecanismos físicos na história das galáxias, a eventual mudança de morfologia decorrente de fusão de objetos, a caracterização da evolução da taxa de formação estelar e da densidade de objetos.

O fato de que nos próximos anos estarão disponíveis os dados de projetos de mapeamentos de grandes áreas do céu envolvendo da ordem de centenas de milhões de objetos até *redshifts* efetivos $z \approx 1.5$, mas incluindo também objetos brilhantes até distâncias muito maiores, tornam o estudo da função de luminosidade de galáxias e quasares um tópico que pode ser investigado com grande riqueza de detalhes. Em particular, diferentes classes de objetos devem apresentar funções de luminosidade diferentes, assim como diferentes evoluções temporais. Deve-se mencionar também que o grupo de pesquisa no qual foi desenvolvido o trabalho aqui apresentado é participante de um desses mapeamentos, o Dark Energy Survey.

Entretanto, para a realização de estudos deste tipo uma avaliação cuidadosa precisa ser feita em decorrência do fato de que as distâncias dos objetos na maioria desses grandes

levantamentos serão obtidas com *redshifts* fotométricos. Estes são resultantes do ajuste de espectros padrões, deslocados em comprimento de onda, às magnitudes observados nas diferentes bandas. Por este motivo, é importante realizar uma comparação de resultados obtidos com *redshifts* espectroscópicos com aqueles calculados com *redshifts* fotométricos. Este tipo de análise foi iniciada com o trabalho aqui descrito.

A função de luminosidade representa a distribuição de luminosidade dos objetos em uma amostra. Idealmente, a luminosidade deveria ser bolométrica, porém, a obtenção da luminosidade integrada de cada objeto em todas as frequências é uma tarefa tecnicamente difícil exigindo grande consumo de tempo e na prática, usa-se a luminosidade específica, L_ν (ou simplesmente L , dada em $\text{ergs}^{-1}\text{Hz}^{-1}$), em uma banda ou faixa de frequência.

A função de luminosidade de galáxias $\phi(L)dL$ é definida como sendo a densidade numérica desses objetos com luminosidades entre L e $L+dL$ contidas dentro de um volume co-móvel considerado do Universo. É mais comum expressar a função de luminosidade em função da magnitude absoluta M por estar este parâmetro mais diretamente relacionado com a observação. Sendo assim, a relação entre luminosidade e magnitude absoluta pode ser expressa da seguinte forma

$$\phi(L)dL = \phi(M)dM. \quad (1.1)$$

Uma diferença entre essas duas formas de se representar a função de luminosidade é que, em termos de magnitudes ela é apresentada em escala logarítmica da luminosidade já que esta é relacionada com a magnitude absoluta na forma

$$\log\left(\frac{L}{L^*}\right) = -0.4(M - M^*) \quad (1.2)$$

onde a luminosidade L^* e a magnitude absoluta M^* são valores característicos correspondentes dessas quantidades.

Em 1936, Hubble, baseando-se na dispersão observada da relação velocidade-magnitude, assumiu que a função de luminosidade deveria ser gaussiana com dispersão de $\sigma = 0.84 \text{ mag}$. Porém, alguns efeitos de seleção foram ignorados e com o passar do tempo, o acúmulo de observações de galáxias mais fracas foi mostrando que a função de luminosidade era na realidade, assimétrica. Desde então, várias tentativas foram propostas para se encontrar uma forma analítica adequada para a função e em 1976 Paul Schechter ((Schechter *et al.* 1976)) propôs uma expressão simples que ficou conhecida como *função de Schechter*, expressa como:

$$\phi(L)dL = \phi^* \left(\frac{L}{L^*}\right)^\alpha e^{-\frac{L}{L^*}} \frac{dL}{L^*} \quad (1.3)$$

onde $\phi(L)dL$ é o número de galáxias por Mpc^3 dentro do intervalo L e $L + dL$.

A função de Schechter expressa em termos de magnitudes absolutas é:

$$\Phi(M)dM = (-0.4 \ln 10)\phi^*10^{0.4(\alpha+1)(M^*-M)}e^{-10^{0.4(M^*-M)}}dM \quad (1.4)$$

onde M^* é a magnitude absoluta correspondente a luminosidade L^* .

Os parâmetros ϕ^* , L^* (ou M^*) e α são ajustados aos dados observacionais onde:

- L^* (ou M^*) - é a luminosidade (ou magnitude absoluta) característica, representando a região onde a função muda de comportamento, de uma lei de potência para uma lei exponencial. Uma galáxia com uma luminosidade L^* (M^*) é brilhante, comparada com a nossa galáxia. Uma galáxia com $L < 0.1L_*$ é uma galáxia anã;
- ϕ^* - é um fator de normalização, que caracteriza a densidade de galáxias de magnitudes absolutas no entorno de M^* ;
- α - é a inclinação da parte fraca (em luminosidade) da função, sendo tipicamente negativo, implicando em um grande número de galáxias com baixa luminosidade.

A função de Schechter não tem um sentido físico que a justifique mas tem a grande vantagem de representar adequadamente as principais características da distribuição de luminosidade e uma bimodalidade de comportamento, bastante útil para diferentes análises. A parte mais fraca da função, no regime de lei de potência, representa basicamente galáxias anãs, e a mais brilhante, no regime exponencial, representa as galáxias brilhantes, grande parte destas sendo elípticas e espirais. Vale ressaltar que a parte mais fraca varia bastante entre amostras de galáxias de campo, de grupos ou de aglomerados, sendo o resultado da variação na proporção relativa de tipos morfológicos existentes nos diversos ambientes.

Um fator que contribuiu bastante para a utilização generalizada da função de Schechter foi a sua simplicidade analítica.

Por exemplo, a densidade média de galáxias pode ser obtida por

$$n = \int_0^\infty \Phi(L)dL = \int_0^\infty \phi^* \left(\frac{L}{L^*}\right)^\alpha e^{-\frac{L}{L^*}} \frac{dL}{L^*}. \quad (1.5)$$

Fazendo $x = L/L^*$ e utilizando a definição da função Gama

$$\Gamma(x) = \int_0^\infty z^{x-1}e^{-z}dz, \quad (1.6)$$

temos

$$n = \Phi^*\Gamma(1 + \alpha). \quad (1.7)$$

Nota-se que, para $\alpha < -1$, n diverge. Na verdade, o limite de integração inferior não

deve ir a zero mas a um valor limite L_{lim} .

$$n = \int_{L_{lim}}^{\infty} \Phi(L') dL' \quad (1.8)$$

Por outro lado, a amostras de galáxias decorrentes das observações são completas até uma determinada luminosidade, impossibilitando uma extrapolação para $L \rightarrow 0$. Assim, a densidade n deve ser expressa por

$$n(> L_{lim}) = \int_{L_{lim}}^{\infty} \Phi(L') dL'. \quad (1.9)$$

Fazendo novamente $x = L/L^*$ e aplicando na função de Schechter, temos

$$n(> L_{lim}) = \int_x^{\infty} \phi^* x'^{\alpha} e^{-x'} dx'. \quad (1.10)$$

Utilizando a função Gama incompleta

$$\Gamma(x, y) = \int_y^{\infty} z^{x-1} e^{-z} dz, \quad (1.11)$$

a densidade de galáxias pode ser calculada como

$$n(> L_{lim}) = \Phi^* \Gamma(1 + \alpha, L/L^*). \quad (1.12)$$

Para a densidade de luminosidade j , temos

$$j = \int_{L_{lim}}^{\infty} L \Phi(L) dL = \Phi^* L^* \int_0^{\infty} \phi^* \left(\frac{L}{L^*} \right)^{\alpha} e^{-\frac{L}{L^*}} \frac{dL}{L^*}. \quad (1.13)$$

Aplicando o mesmo procedimento feito anteriormente, obtemos

$$j(> L_{lim}) = L^* \Phi^* \Gamma(2 + \alpha, L/L^*). \quad (1.14)$$

Para $\alpha = -1$, $j = \Phi_0 L^*$. Deste modo, embora a função de Schechter consiga prever, para α próximo de -1 , uma grande quantidade de galáxias de baixa luminosidade, a contribuição integrada de todas as galáxias do Universo permanece finita.

Embora não venhamos a utilizar esse tipo de cálculo neste trabalho, ele serve como exemplo da utilidade da função de Schechter e mostra alguns dos motivos pelos quais ela é tão usada na caracterização da distribuição de luminosidade das galáxias. De fato, é possível enumerar uma extensa lista de trabalhos que ao longo dos anos aumentaram o conhecimento das propriedades das galáxias através da análise de sua função de luminosidade. Um excelente resumo pode ser encontrado na introdução do trabalho de Faber et al. (2007) de onde selecionamos alguns dos itens mencionados a seguir.

Por exemplo, o trabalho de Sandage et al. (1985) já mostrava como a função de lu-

minosidade no aglomerado de Virgo depende da morfologia e da classe de luminosidade galáxias. Esta dependência com propriedades internas das galáxias foi extensamente estudada no Universo local no que concerne a morfologia (Marzke et al. 1994, 1998 e Marinoni et al. 1999), cor (Lilly et al. 1995, Marzke e da Costa 1997, Lin et al. 1999, Blanton et al. 2001) e tipos espectrais (Heyl et al. 1997, Bromley et al. 1998, Folkes et al. 1999, Cohen 2002, Madgwick et al.; 2002 e de Lapparent et al. 2003). Funções de luminosidade dependem essencialmente da composição de tipos espectrais (ou morfológicos) da amostra sendo analisada que, por sua vez, guarda relação estreita com a densidade ambiental (Dressler 1980).

Diferentes mapeamentos de galáxias a partir dos anos 1980 estebeleceram referências para a função de luminosidade no Universo local como: Marzke et al 1994 e Willmer et al 1998 para os mapeamentos CfA Redshift Survey e Southern Sky Redshift Survey, Colles et al.2001 e Norberg et al. 2002 para o 2dF Galaxy Redshift Survey; Blanton et al. 2001 2003 e Stoughton et al.2002 para o Sloan Digital Sky Survey , Jarrett et al., 2000, Kochanek et al., 2001 e Cole et al. 20001 para o 2MASS.

Levantamentos espectroscópicos foram também conduzidos com a finalidade de examinar a evolução da função de luminosidade. Entre esses pode-se mencionar o trabalho de Lilly et al. 1995 com o Canada-France Redshift Survey, mostrando que a evolução é principalmente devida a propriedades internas dos objetos. Cowie et al. (1996) também chegam à mesma conclusão indicando que a evolução de $z=1$ a $z=0$ é principalmente devida a galáxias de pequenas massas e altas taxas de formação estelar. A eles é devido o termo "downsizing" pela conclusão de que a massa característica das galáxias passando por intensa formação estelar decresce com o tempo. Já Lin et al. (1999) analisam os dados do Canada Network for Observational Cosmology (CNOC) Field Galaxy Survey mostrando que a existência da bimodalidade em cores das galáxias pode ser detectada até $z \approx 0.55$. Im et al (2002) analisando o Deep Extragalactic Evolutionary Probe (DEEP1) e Bernardi et al. (2003) analisando o SDSS encontram um decréscimo da magnitude absoluta característica M^* das galáxias tipo *early* de ≈ 1 mag de $z=1$ a $z=0$. Analisando os dados do levantamento K20 de Cimatti et al (2002), Pozzetti et al. (2003) inferem que a maioria das galáxias vermelhas brilhantes (provavelmente Elípticas) já estão formadas em $z \approx 1.3$.

Mais recentemente, levantamentos espectroscópicos em áreas menores mas mais fundos têm fornecido dados em maior quantidade (milhares de galáxias), representando o Universo até $z \approx 2$, trazendo a possibilidade de se examinar com mais exatidão a evolução da função de luminosidade. Entre esses pode-se mencionar o VIMOS VLT Deep Survey (VVDS, Ilbert et al. (2005)), que analisando cerca de 11.000 galáxias, encontra uma diminuição de brilho, representado pelo valor de M^* da função de luminosidade, de 1.6 - 2.2 mag de $z \approx 2$ a $z=0$. Outro exemplo é o DEEP2 (Davis et al. 2003) englobando cerca de 40.000 galáxias em quatro diferentes regiões do céu, cuja análise (Willmer et al 2006)

indica um esmaecimento de M^* de todas as galáxias mais brilhantes e um crescimento em número apenas das galáxias vermelhas. Zucca et al. (2006) analisando o VVDS para diferentes tipos espectrais, Faber et al. (2008) analisando o DEEP2 e Zucca et al. (2009) analisado o z-COSMOS Survey chegam a conclusões semelhantes.

Por outro lado, os levantamentos de imagem têm proporcionado um considerável aumento da quantidade de galáxias que podem ser analisadas utilizando-se da técnica de *redshifts* fotométricos para determinar suas distâncias. Apesar dos maiores erros envolvidos nessa determinações, a grande quantidade de objetos, incluindo fontes fracas o bastante para tornar a espectroscopia inviável, pode permitir um estudo estatístico confiável. Entre este pode-se citar o mapeamento COMBO-17 (Wolf et al. 2003) que utiliza uma amostra de cerca de 28.000 galáxias e o mapeamento FORS Deep Field (FDF, Gabash et al. 2004, 2006) que obteve uma amostra de cerca de 5.500 galáxias. Nestes trabalhos as distribuições espectrais de energia ajustadas às magnitudes observadas (o que determina o *redshift*) são utilizadas para representar a classe espectral das galáxias, guardando uma forte correspondência com os tipos morfológicos convencionais. A análise do COMBO-17 forneceu resultados bastantes semelhantes àqueles do VVDS e DEEP2, como discutido por Faber et al. (2008), enquanto Gabash et al. (2006) concordam parcialmente com estes resultados, tendendo a encontrar menos evolução de luminosidade ao longo do tempo cósmico.

Como mencionado anteriormente, estamos interessados no trabalho com os dados do futuro Dark Energy Survey que analisará uma área de cerca de 5000 graus quadrados de céu, resultando num número estimado de galáxias de 3×10^8 objetos até magnitude ≈ 24 e domínio $0.2 < z < 1.4$, utilizando a técnica de *redshifts* fotométricos. Desta forma, procuramos neste trabalho realizar uma análise da função de luminosidade numa amostra real, numericamente extensa e mais funda que o DES. É de nosso interesse primeiramente testar a utilização de um dos códigos disponíveis para determinação de *redshifts* fotométricos com o qual temos mais familiaridade - código LePhare (Arnouts & Ilbert¹) - que está incluído no Portal Científico desenvolvido no Observatório Nacional para o projeto DES. Os dados escolhidos para análise são aqueles provenientes de um dos mais fundos e homogêneos levantamentos fotométricos de pequena área representado pelos 4 campos "Deep" do Canada-France Hawaii Telescope Legacy Survey (CFHTLS, Ilbert et al. 2006) cobrindo uma área total de cerca de 3 graus quadrados do céu em 5 bandas, envolvendo um número total de cerca de 378.000 galáxias, no limite de magnitude $i'_{AB} = 25$, até $z \approx 2.5$. A análise aqui pretendida será estendida até este limite explorando ao máximo os dados disponíveis. Com esta análise esperamos examinar a evolução da função de luminosidade global e para diferentes tipos espectrais, e compará-la com alguns dos resultados mencionados anteriormente, tanto provenientes de amostras com *redshifts* espectroscópicos como fotométricos.

¹www.lam.oamp.fr/arnouts/LEPHARE.html

Este trabalho descreve no Capítulo 2 os dados analisados, apresenta no Capítulo 3 a metodologia utilizada para a obtenção das magnitudes absolutas e da função de luminosidade, apresenta os resultados no Capítulo 4 e os discute no Capítulo 5, mencionando futuras perspectivas de continuidade da análise aqui realizada.

Capítulo 2

Descrição dos Dados

2.1 O *Canada-France Hawaii Telescope Legacy Survey*

Neste trabalho, utilizaremos os dados do levantamento fotométrico do *Canada-France-Hawaii Telescope Legacy Survey* (CFHTLS, Ilbert et al. 2006) que mapeou, em seu levantamento mais fundo, quatro áreas do céu (campos D1, D2, D3 e D4), com aproximadamente um grau quadrado cada. Este levantamento tem uma cobertura espectral em comprimentos de onda de $3500 \text{ \AA} < \lambda < 9400 \text{ \AA}$ (Ilbert et al. 2006), nas bandas u^* , g' , r' , i' , z' e atinge uma magnitude limite $i'_{AB} < 25$ com uma profundidade em *redshift* alcançando $z = 2.5$. Este mapeamento obteve cerca de 378.000 galáxias catalogadas.

As observações foram feitas com a câmera MegaCam no telescópio de 3,6 m do CFHT localizada no cume do vulcão Mauna Kea, no Havaí, a 4200m de altitude. A câmera possui 3 CCDs de 2048×4612 pixels cada uma e cobertura de 1 grau quadrado (o suficiente para abranger quatro vezes a área da Lua cheia), com uma resolução de 0,186 segundos de arco por pixel.

Foram analisados aqui todos os quatros campos do CFHTLS, utilizando-se os dados públicos do imageamento CFHTLS. O número de objetos em cada amostra analisada neste trabalho, divididos em intervalos de *redshift*, são apresentados na Tabela A1 no Apêndice A. O número total de galáxias limitadas em $i'_{AB} \leq 25$ e $z_{\text{fot}} \leq 2.5$ é de 401466 objetos.

Em particular para o campo D1 foi de grande auxílio o catálogo cedido por Christophe Benoist, colaborador deste projeto, contendo dados conjuntos de fotometria e espectroscopia. A Tabela 2.1 descreve as principais características de cada um destes campos. Utilizamos também as informações disponibilizadas das máscaras dos campos, que são regiões afetadas pelas imagens de estrelas mais brilhantes, raios cósmicos, efeitos de borda e as imagens de satélites, removidas das análises. Utilizamos os catálogos de cor processados pelo sistema Terapix e uma versão mais atualizada das máscaras também fornecidas

por C. Benoist. As áreas apresentadas na Tabela 2.1 se referem às áreas úteis em cada campo. Destes catálogos selecionamos apenas objetos classificados como galáxias e localizados fora das máscaras.

Tabela 2.1: Dados sa áreas do CFHTLS. A área efetiva mostrada está em graus quadrados.

Campo	α	δ	i'_{AB} limite	Área Efetiva
D1	$02^h 25^m 59^s$	$-04^\circ 29' 40''$	25.9	0.71
D2	$10^h 00^m 28^s$	$+02^\circ 12' 30''$	25.7	0.64
D3	$14^h 19^m 27^s$	$+52^\circ 40' 56''$	26.2	0.83
D4	$22^h 15^m 31^s$	$-17^\circ 43' 56''$	26.0	0.71

Os *redshifts* fotométricos foram calculados por Ilbert et al (2006), o grupo que realizou o mapeamento. Esses autores utilizaram um software específico denominado *LePhare* (Arnouts & Ilbert¹), que além deste parâmetro fornece uma série de outros relevantes para diversas análises como, por exemplo, o tipo espectral. O código LePhare utiliza o método de ajuste de padrões de distribuição espectral de energia (SEDs) mas possibilita também um treinamento empírico a partir de dados espectroscópicos, o que introduz uma melhoria no resultado final. Os *redshifts* fotométricos utilizados neste trabalho foram aqueles obtidos através deste processo pelos grupos do projeto Terapix (<http://terapix.iap.fr>).

O código LePhare está implementado no Portal Científico sendo construído no Observatório Nacional para uso em grandes bases de dados como os projetos DES e SDSS=III e fez parte das atividades desenvolvidas nesta tese o aprendizado de suas funções básicas. A principal finalidade foi o conhecimento das diversas alternativas do código, suas limitações e o procedimento que leva à determinação dos *redshifts* fotométricos.

2.2 O Campo CFHTLS-D1

Existe uma particular importância para o campo D1 devido à disponibilidade de dados tanto fotométricos quanto espectroscópicos. Além dos dados fotométricos obtidos pelo CFHTLS, fotometria foi realizada nas bandas B, V, R, I com a câmera CFH12K (McCracken et al. 2003, Le Fevre et al. 2004) um levantamento espectroscópico foi realizado com o instrumento Visible Multi-Object Spectrograph (VIMOS) no telescópio Very Large Telescope (VLT) do ESO. O VIMOS VLT Deep Survey (VVDS) é completo para fins de análise em *redshifts* no domínio $15.5 \leq I_{AB} \leq 24.0$ (Le Fèvre et al. 2005). Na realidade o levantamento espectroscópico total incluiu um total de 7840 galáxias das quais cerca de 16% estão situadas na região do Chandra Deep Field, área que não consideramos neste trabalho

¹www.lam.observatoireparis.fr/arnouts/LEPHARE.html

A seleção de galáxias do levantamento VVDS, se restringiu a cerca de um quinto do total desses objetos, de forma randômica. Na área do campo D1 o número de galáxias com *redshifts* espectroscópicos determinados foi de cerca de 6600. Esses autores atribuíram uma qualidade ao *redshift* medido variando de 5 para um espectro de boa qualidade a 0 para um espectros sem assinaturas de linhas. Estes *redshifts* espectroscópicos serão utilizados como um dos testes para a verificação da confiança dos *redshifts* fotométricos na determinação de funções de luminosidade, em diferentes intervalos de z .

As magnitudes limites alcançadas para cada banda do campo D1 nas suas diferentes bandas no limite de perda de 50% estão listadas na Tabela 2.2.

Tabela 2.2: Valores aproximados das magnitudes limites atingidas com completeza de 50% do campo CFHTLS-D1

u^*_{AB}	g'_{AB}	r'_{AB}	i'_{AB}	z'_{AB}	B_{AB}	V_{AB}	R_{AB}	I_{AB}
26.5	26.4	26.1	25.9	25.0	26.5	26.2	25.9	25.0

Um dos motivos para escolha da banda i' do CFHTLS para análise foi o fato de que os dados espectroscópicos do VVDS, com os quais uma comparação de *redshifts* poderia ser feita, foram selecionados na banda I, semelhante em perfil de transmissão à banda i' . A figura 2.1 mostra as curvas de transmissão dos filtros u^* , g' , r' , i' , z' do CFHTLS e B, V, R e I do VVDS.

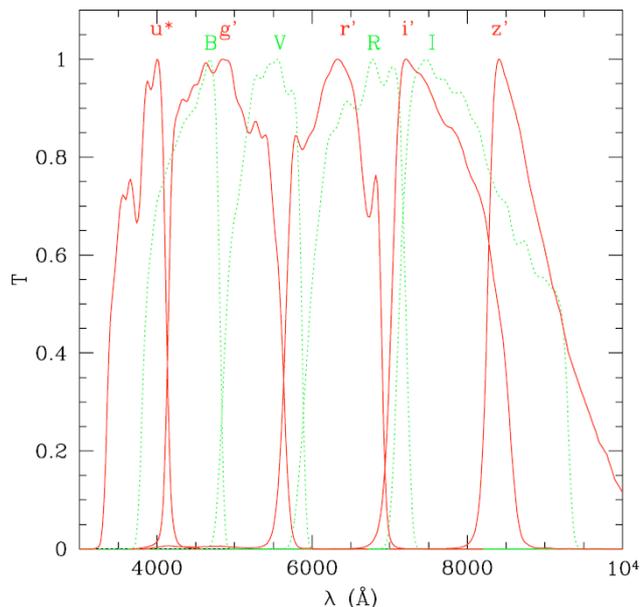


Figura 2.1: Curva de transmissão normalizada. As linhas em vermelho correspondem às curvas dos filtros MEGACAM: u^* , g' , r' , i' , z' e as curvas em verde correspondem ao levantamento VVDS cujos filtros são B, V, R, I. Reproduzido de Ilbert et al. (2006).

O histograma de magnitudes i'_{AB} e I_{AB} da área D1 do CFHTLS é mostrado na figura 2.2. As linhas verticais no painel superior mostram os limites $i'_{AB} = 24$ e $i'_{AB} = 25$ utilizados neste trabalho. O primeiro será utilizado na comparação dos *redshifts* fotométricos com os espectroscópicos do mapeamento VVDS e nas áreas individuais do CFHTLS, enquanto o limite mais fundo será utilizado na área combinada dos 4 campos do CFHTLS. O painel superior mostra ainda que o limite $i'_{AB} = 25$ ainda se encontra dentro da completude da amostra. O painel inferior mostra o histograma das magnitudes I_{AB} da fotometria obtida pelo VVDS. O limite $I_{AB} = 24$ foi utilizado para definir a amostra espectroscópica deste levantamento e, portanto, será o mesmo definindo a amostra com *redshifts* fotométricos para comparação.

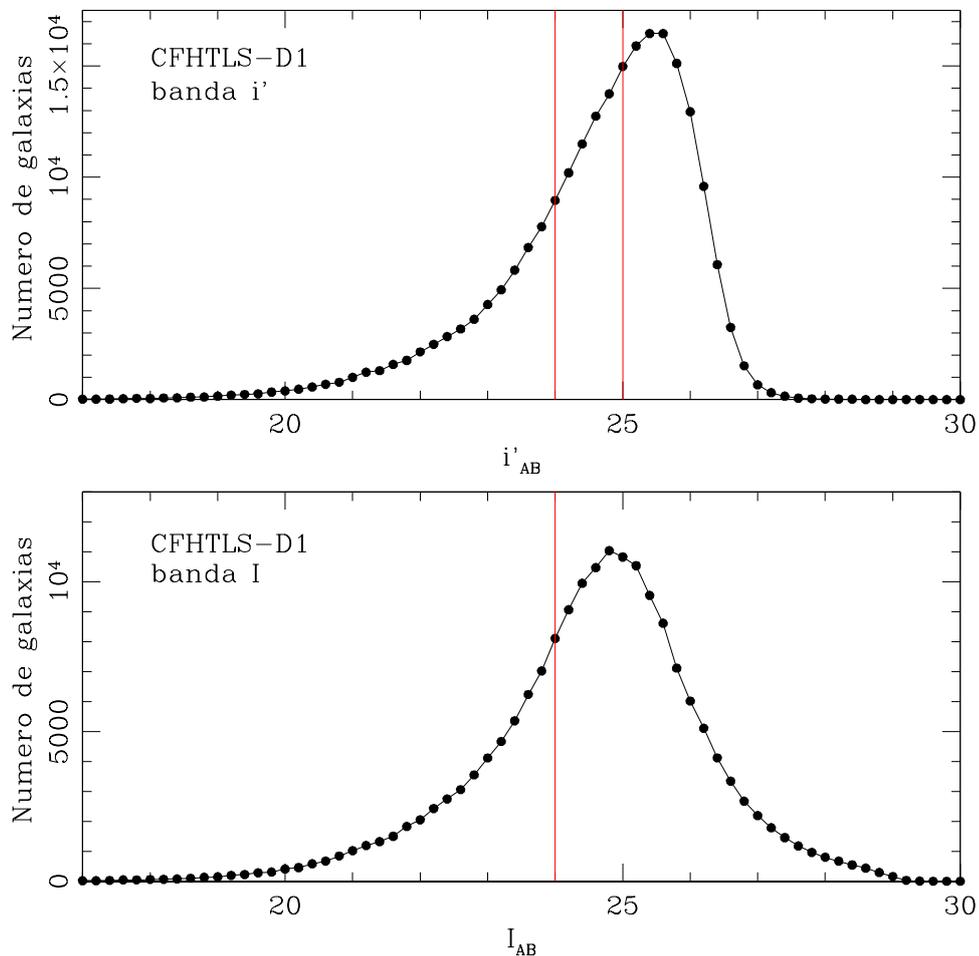


Figura 2.2: *Histogramas das magnitudes i'_{AB} e I_{AB} da área D1 do CFHTLS. As linhas verticias em vermelho correspondem aos limites utilizados nas análises conforme descrito no texto.*

Na verdade, estaremos assumindo que as amostras definidas nas magnitudes i'_{AB} e I_{AB} são essencialmente as mesmas baseando-nos na semelhança dessas magnitudes conforme pode ser verificado na figura 2.3 onde as magnitudes são comparadas, para galáxias da área D1. Um ajuste por mínimos quadrados resulta numa pequena diferença de ponto zero $i'_{AB} \approx I_{AB} - 0.07$.

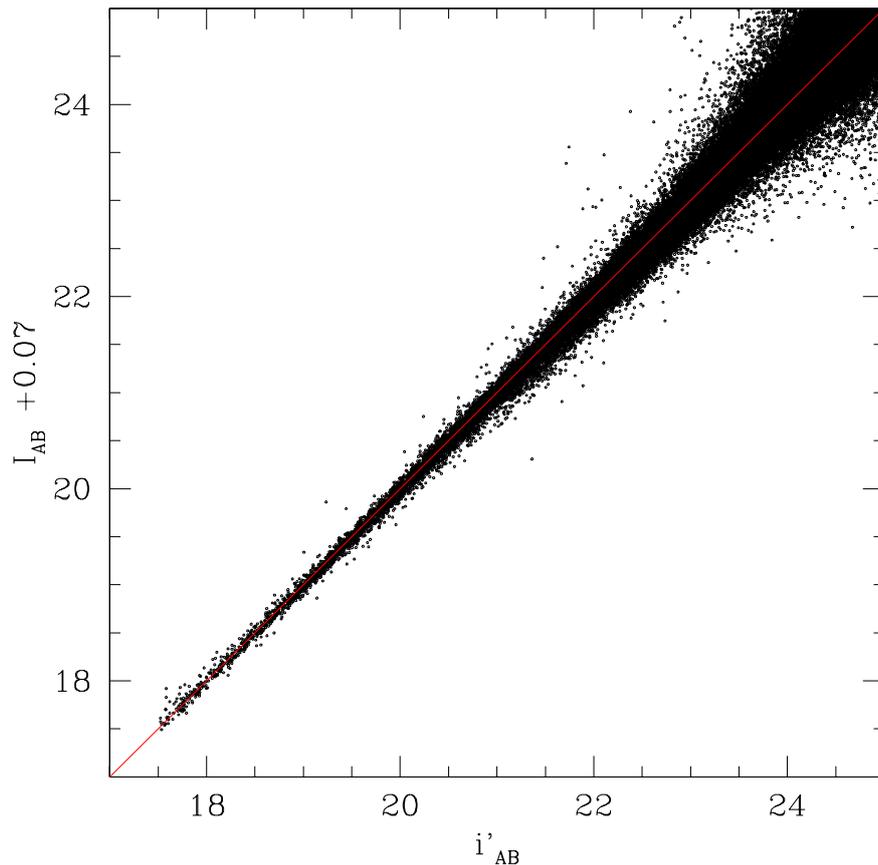


Figura 2.3: Comparação das magnitudes i'_{AB} com as magnitudes I_{AB} para galáxias do campo D1 do CFHTLS..

Finalmente mencionamos aqui que Ramos (2008), analisando estes mesmos dados para uma análise da função de correlação angular das galáxias, mostra as dificuldades de se identificar um parâmetro que represente erros reais para os *redshifts* fotométricos. Entre esses estão parâmetros calculados pelo código LPhare como: um valor de desvio padrão (ϵ_z) estimado do processo de determinação de z_{fot} ou o valor de χ^2 do ajuste da melhor SED. Entretanto esses valores não correlacionam de forma direta com a diferença $\Delta z = z_{\text{fot}} - z_{\text{esp}}$ que deveria ser um bom indicador da adequação dos *redshifts* fotométricos para representar *redshifts* espectroscópicos. A figura 2.4, reproduzida de Ramos (2008) mostra $z_{\text{fot}} \times z_{\text{esp}}$ para uma amostra um pouco mais funda ($i'_{AB} < 26$) e limitada a erros fotométricos menores que 0.33 mag. As duas principais conclusões da figura daquele trabalho foram as seguintes. A exclusão de objetos com base em e_z ou χ^2 retiram pontos

da figura de modo homogêneo e não especialmente onde as discrepâncias entre z_{fot} e z_{esp} são maiores. O painel inferior direito mostra que essas discrepâncias são seletivamente eliminadas quando a análise descarta os maiores erros de *redshifts* espectroscópicas. Em função desses resultados, nas análises deste trabalho testaremos apenas o efeito de eliminar objetos com erros catastróficos em z_{fot} , da ordem de 50% do seu valor.

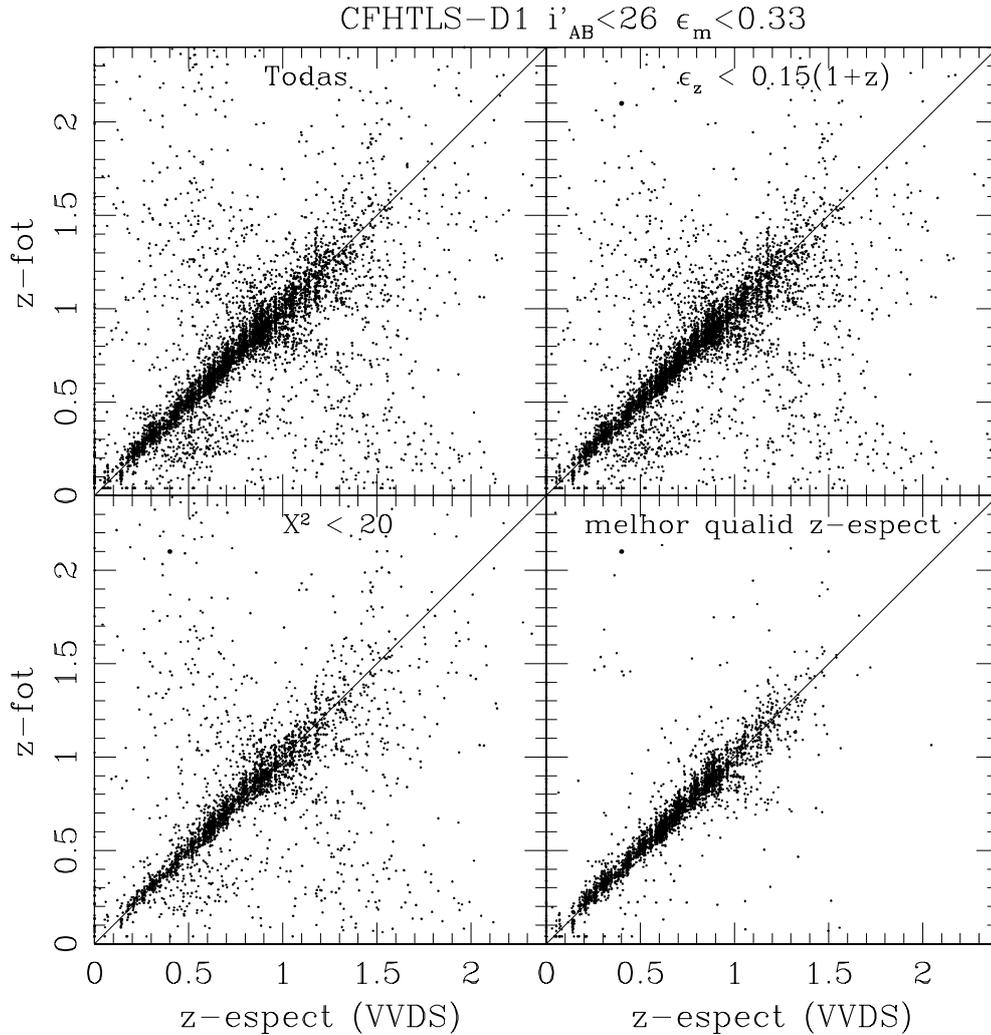


Figura 2.4: Comparação de *redshifts* fotométricos provenientes do código LePhare com espectroscópicas de Ilbert et al. (2005) para a área do mapeamento VVDS (de Ramos (2009)). No painel esquerdo superior estão todas as galáxias comparadas usando os limites $i'_{AB} < 26$ e erros fotométricos $\epsilon_m < 0.33$ mag. No superior direito estão eliminadas apenas as galáxias com erros em $z_{fot} < 0.15(1+z)$. No painel inferior esquerdo são eliminadas apenas as galáxias cujas SEDs foram ajustadas com $\chi^2 < 20$. No painel inferior direito são eliminadas as galáxias com z_{esp} de pior qualidade. Figura retirada de <http://www.dominiopublico.gov.br/download/texto/cp108228.pdf>

Capítulo 3

Metodologia

3.1 Determinação das Magnitudes Absolutas

Assumimos neste trabalho uma constante de Hubble $H_0 = 100 \text{ kms}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$ juntamente com os parâmetros cosmológicos mais aceitos atualmente: $\Omega_m = 0.3$ e $\Omega_\Lambda = 0.7$. Expressaremos as quantidades obtidas em termos de $h = H_0/100$. Para determinação da função de luminosidade utilizamos distâncias co-móveis d , calculando suas magnitudes absolutas na banda i' , Mi'_{AB} a partir de sua magnitude aparente i'_{AB} e do *redshift* z conforme mostra a equação (3.1).

$$Mi'_{AB} = i'_{AB} - 5 \log[d(1+z)] - 25 + K \quad (3.1)$$

O último termo é a chamada correção K que leva em conta o fato de que, com relação a uma banda de análise (no nosso caso a banda i') o espectro de uma galáxia na distância co-móvel d está deslocado em comprimento de onda e o comprimento observado λ_{obs} , representa o comprimento emitido λ_{em} tal que $1+z = (\lambda_{obs}/\lambda_{em})$. A correção K é discutida numa seção seguinte.

3.2 *Redshifts* Fotométricos

Como mencionado anteriormente, utilizamos neste trabalho os dados de *redshifts* fotométricos produzido pelo código Le Phare (Arnouts & Ilbert) pelo grupo dos projetos Terapix e VVDS. Uma descrição completa pode ser encontrada em Ilbert et al. (2006). Basicamente, este código calcula o *redshift* desses objetos fazendo um ajuste das magnitudes observadas com as esperadas teoricamente de diferentes distribuições espectrais de energia, ou SED (do inglês *spectral energy distribution*) mediante minimização de χ^2 .

Esse código funciona em três fases distintas:

A primeira é a fase de preparação, composto por vários programas com o objetivo de

selecionar SEDs (representando tipos espectrais T) que podem ser espectros observados em $z=0$ ou espectros teóricos provenientes de sínteses de populações estelares. Além disso são escolhidos os filtros nos quais serão calculadas as magnitudes teóricas;

Numa segunda fase o código determina as magnitudes teóricas e a correções K para cada objeto. Isso pode ser feito para diferentes combinações de *redshift*, extinção e tipos espectrais;

A terceira é a execução propriamente dita onde as magnitudes teóricas são ajustadas às magnitudes observadas do catálogo de dados fotométricos, minimizando para cada objeto,

$$\chi^2(z, T, A) = \sum_{f=1}^{N_f} \left(\frac{F_{obs}^f - A \times F_{prev}^f(T, z)}{\sigma_{obs}^f} \right)^2 \quad (3.2)$$

onde $F_{prev}^f(T, z)$ é o fluxo previsto pela SED T no *redshift* z , no filtro f , F_{obs}^f é o fluxo observado e σ_{obs}^f é o erro associado. N_f é o número de filtros. O *redshift* fotométrico é estimado fazendo uma minimização de $\chi^2(z, T, A)$ variando os três parâmetros, z , T e o fator de normalização A . Ao todo foram utilizadas 62 *templates* otimizadas a partir dos quatro padrões de Coleman, Wu e Weedman (relativos às morfologias E, Sbc, Scd e Irr) e 4 *starburst* de Kinney et al. (1996). Exemplos desses padrões são mostrados nas figuras 3.1 e 3.2, respectivamente para as SEDs de Coleman, Wu e Weedman (1980) e Kinney et al. (1996).

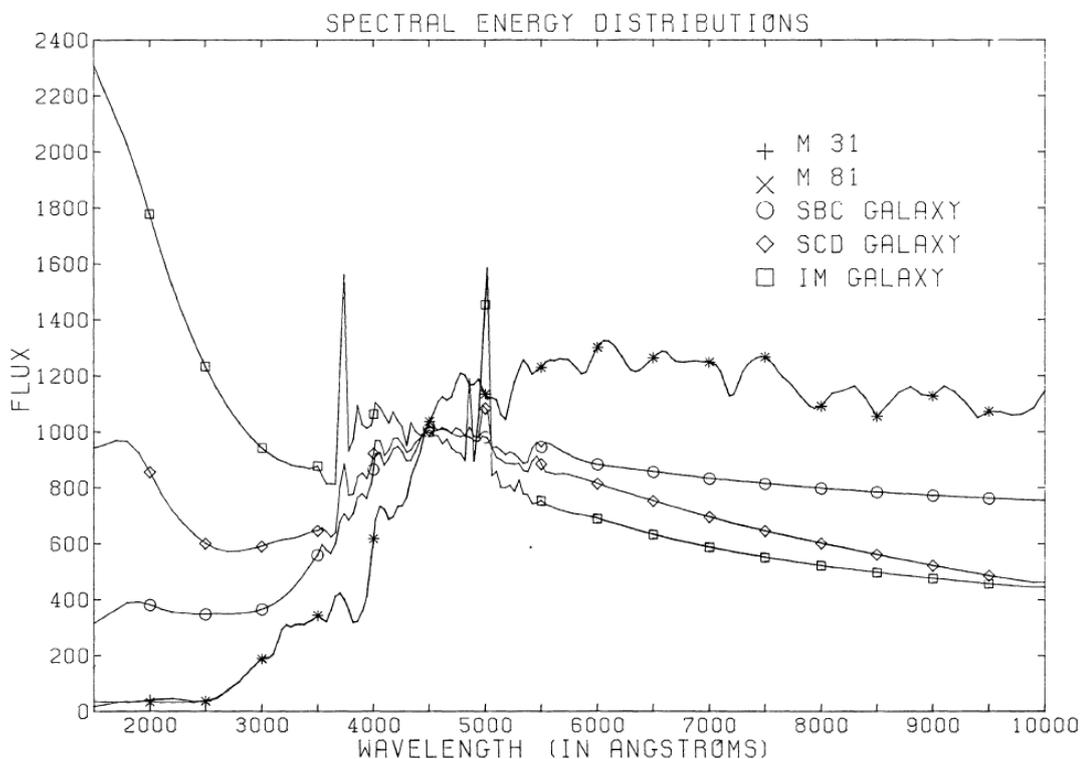


Figura 3.1: Padrões de Coleman, Wu e Weedman (1980) normalizados em 4500 \AA .

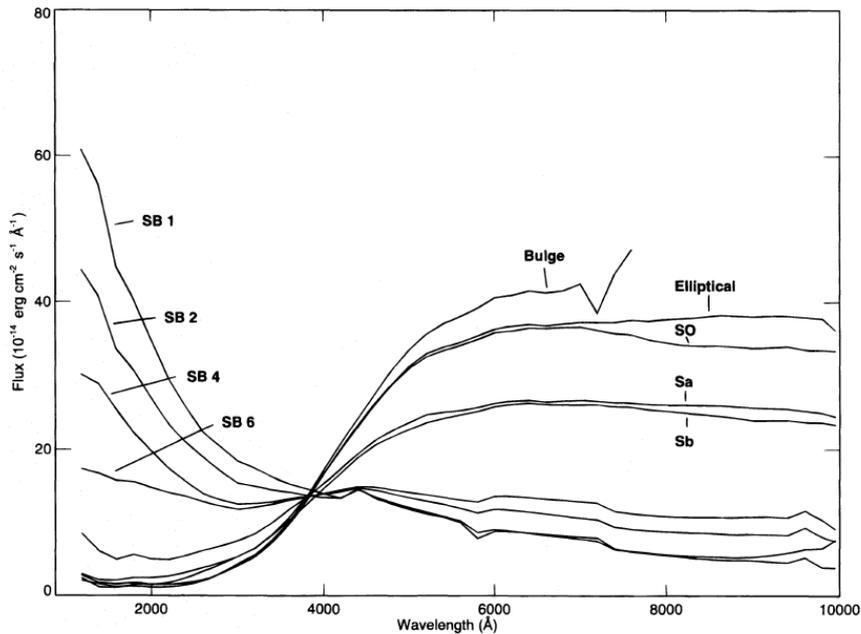


Figura 3.2: *Padrões de Kinney (1992) normalizados em 4000 Å.*

O código Le Phare também possibilita o uso de um conjunto de treinamento empírico em conjunto com o ajuste de templates. De fato, antes de ser aplicado à amostra completa dos campos dos CFHTLS, Ilbert et al. (2006) fizeram, inicialmente, uma aplicação do código numa amostra mais brilhante, com $i_{AB} \leq 22.5$ no campo D1 com *redshifts* espectroscópicos de forma a recalculer pontos zeros de todas as bandas, inferindo desta forma correções a serem aplicadas aos modelos teóricos para minimizar a diferença entre ($mag_{obs} - mag_{modelo}$). Esse procedimento funciona como um treinamento empírico para o código LePhare.

3.3 Correção K

Correção-K é a diferença de magnitude entre uma distribuição espectral de energia afetada pelo *redshift* e a não afetada. Tratando em nossa análise com distâncias cosmológicas as magnitudes observadas podem sofrer diversos efeitos que precisam ser levados em consideração para o cálculo da magnitude absoluta. Como estamos definindo a banda i' como a banda de referência deste trabalho, é necessário levar para este referencial as medidas provenientes da observação de uma galáxia na distância co-móvel d , levando em conta efeitos relativísticos. Um destes efeitos, já mencionado anteriormente, é decorrente do deslocamento do espectro em comprimento de onda, λ pelo *redshift* z . O outro é decorrente do diferente domínio de λ do espectro observado, coberto pela transmissão do filtro i' . Um terceiro efeito que consideramos na análise a seguir é decorrente do fato que

as galáxias podem evoluir em luminosidade e, portanto, se queremos utilizar resultados no referencial de repouso ($z=0$), uma galáxia em *redshift* z deve ter sua luminosidade corrigida de evolução. Este efeito, entretanto somente pode ser corrigido assumindo-se um processo, por exemplo representado por uma síntese evolutiva, envolvendo suposições como o número de eventos de formação estelar, metalicidades iniciais, modelos de queda do gás primordial, tipo de formação e evolução estelar, função de massa inicial das estrelas, modelos de ventos galácticos e extinção. A grande diversidade de parâmetros tem sido um forte motivo para muitos autores não considerarem correções evolutivas em suas análises.

O código LePhare permite obter correções K para uma variedade de situações utilizando padrões observados em $z=0$ (sem evolução) como as SEDs de Coleman, Wu e Weedman (1980), Kinney et al. (1996), assim como diferentes modelos de síntese evolutiva como Bruzual e Charlot (1993) e os modelos de Fioc e Rocca-Volmerange (1997) denominado Pegase-2. Utilizamos, então, o código LePhare para gerar correções K individualmente para cada objeto, de acordo com seu *redshift* fotométrico e sua classificação espectral. Essa correções podem ser visualizadas na figura 3.3 onde são mostradas até $z = 2.5$ para os 4 distintos grupos de tipos morfológicos, resultantes das classificações do código: Elípticas, Espirais, Irregulares e galáxias dominadas por surto de formação estelar, daqui por diante denominadas "formação estelar".

Para comparar os resultados considerando evolução de luminosidade utilizamos as correções K obtidas por James Annis (2000) para uso no Sloan Digital Sky Survey (<http://home.fnal.gov/~annis/astrophys/kcorr/sdss.kcorr.fits>) através do uso do código Pegase-2 com os parâmetros de entrada, relativos a cada tipo espectral, como descrito na página web mencionada. A figura 3.4 mostra as correções K assim obtidas para diferentes tipos espectrais.

Para atribuírmos uma correção K com evolução de luminosidade a uma galáxia de uma determinada classificação espectral proveniente do código LePhare, utilizamos um valor médio das correções de Annis (2000), associando os tipos espectrais de acordo com o que está mostrado na Tabela 3.1.

Tabela 3.1: Associação de Tipos Espectrais

CFHTLS	Correção K - Annis(2000)
E	E
Sbc	$(Sb+Sbc+Sc)/3$
Scd	$(Sc+Sd)/2$
Irr e formação estelar	$(Sc+Sd+Irr)/3$

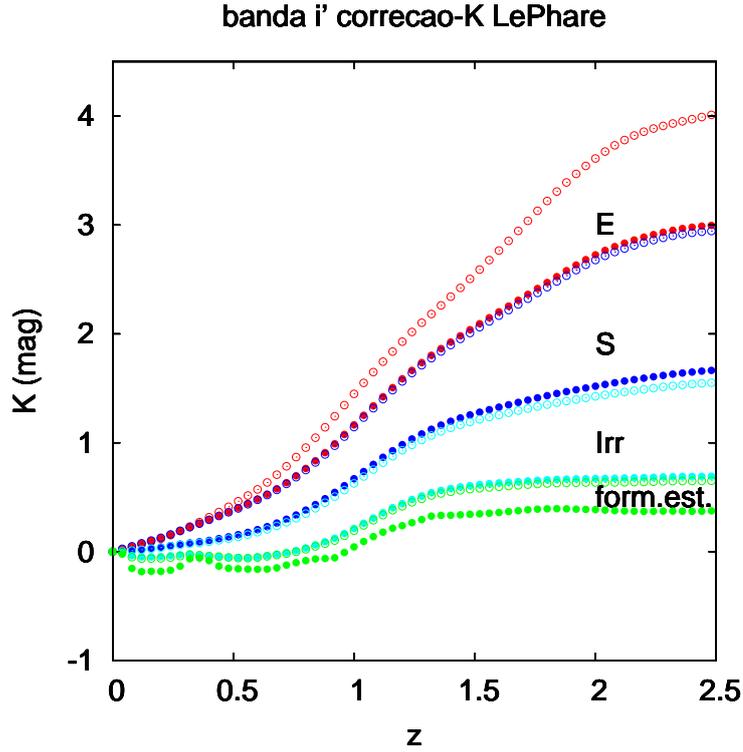


Figura 3.3: Correções K obtidas para os 62 diferentes tipos espectrais fornecidos pelo código *LePhare*, mostrando o domínio de valores agrupados em 4 classes rotuladas de *Elípticas (E)*, *Espirais (S)*, *Irregulares (Irr)* e *galáxias dominadas por surto de formação estelar (form.est.)*.

Finalmente, deve ser lembrado que a correção K é uma das principais fontes de erros na determinação da magnitude absoluta de uma galáxia individualmente, devido às suas incertezas. Métodos alternativos são encontrados na literatura. Um deles consiste em inferir a magnitude absoluta a partir da melhor SED ajustada a cada galáxia (Gabash et al, 2004, 2006). Outro é obtido calculando-se a correção a partir de uma outra banda n, no comprimento de onda efetivo $\lambda_{n,z}$ mais próxima (pelo efeito do *redshift*) da banda de referência no repouso (cujo comprimento de onda efetivo é $\lambda_{r,0}$) e corrigir da diferença de fluxos nos filtros em $\lambda_{n,0}$ e $\lambda_{r,0}$ no espectro (em repouso) tomado como a melhor SED para o objeto (Ilbert et al. 2005).

3.4 Determinação da Função de Luminosidade

Neste trabalho, lançaremos mão do estimador $1/V_{max}$ (Schmidt 1968, Felten 1976, Eales 1993) para construir a função de luminosidade. Embora métodos mais sofisticados existam como o C^+ (Lynden-Bell 1971), STY (Sandage, Tammann e Yahil 1979) e SWML (Efsthathiou et al. 1988), em muitas análises encontradas na literatura recente (Gabash et al. 2004, Ilbert et al. 2005, Gabash et al. 2006, Faber et al. 2007, Zucca et al.

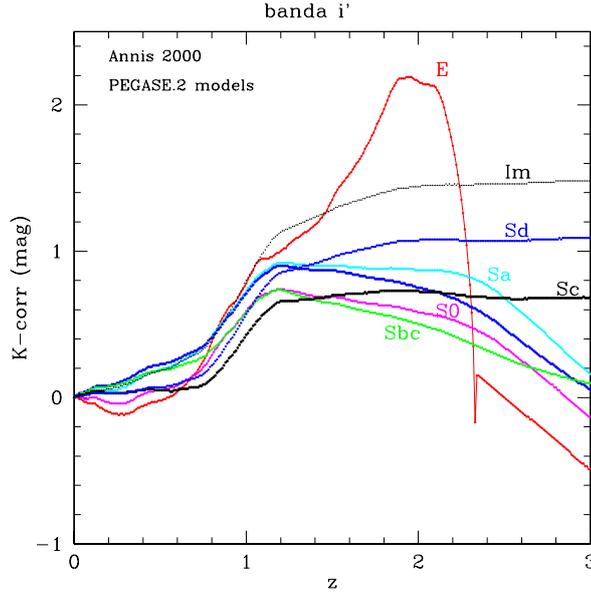


Figura 3.4: Correções K de Annis(2000) obtidas com o modelo evolutivo Pegase.2, separadas em diferentes tipos espectrais.

2009) o método $1/V_{max}$ apresenta resultados similares e consistentes com esses outros métodos. Resumidamente, a principal deficiência do método $1/V_{max}$ é um efeito de seleção em magnitudes fracas quando a banda examinada difere bastante da banda na qual a amostra foi selecionada (Ilbert et al 2004), o que não é o caso deste trabalho. Além disso, os outros métodos não fornecem uma normalização para a função de luminosidade e não são adequados para uma boa estimativa de erros.

O método $1/V_{max}$ utiliza a forma mais intuitiva para encontrar a densidade numérica de galáxias com magnitudes absolutas M , que consiste em estimar

$$\Phi(M) = \frac{N}{V},$$

onde N é o número de objetos com magnitude absoluta entre $M - dM/2$ e $M + dM/2$ e V é o volume examinado, levando em conta que uma determinada galáxia de magnitude absoluta M deixa de ser incluída numa amostra selecionada até magnitude aparente limite m_{ap} , em distâncias co-móveis d superiores ao valor d_{lim} tal que:

$$m_{ap} = M + 5 \log[d_{lim}(1 + z_{lim})] + 25 - K \quad (3.3)$$

onde z_{lim} é o *redshift* associado a d_{lim} .

Considerando-se uma amostra selecionada entre as magnitudes limites aparentes mais fraca (m_1) e mais brilhante (m_2), respeitando o intervalo de $z_1 < z < z_2$, o volume co-móvel máximo observado em que a galáxia j pode ser detectada é dado por:

$$V_{obs,j} = \int_{\omega} \int_{z_{min,j}}^{z_{max,j}} \frac{d^2V}{d\omega dz} d\omega dz, \quad (3.4)$$

onde V representa o volume co-móvel, ω é o ângulo sólido efetivo do levantamento. Também consideramos que nas análises limitadas a bins de *redshift* $[z_{min}, z_{max}]$ as galáxias consideradas devem estar dentro destes limites. Ou seja, na prática, o limite $z_{max,j}$ foi calculado utilizando-se a equação 3.3 da seguinte forma. Dado o limite $i'_{lim,AB}$ de seleção da amostra, para cada galáxia j de magnitude aparente $i'_{j,AB}$, *redshift* z_j e magnitude absoluta $M i'_{j,AB}$, incrementamos z_j de 0.001, recalculamos a distância d_j , e a magnitude aparente observada $i'_{j,AB}$ testando se $i'_{j,AB} > i'_{lim,AB}$. No caso negativo, acrescentamos (sucessivamente) novo incremento de 0.001 em z_j e em caso positivo adotamos o valor anterior de z_j para representar a distância máxima na qual a galáxia entra na amostra. O valor para ela adotado de $z_{max,j}$ é o menor entre o z_j máximo e valor máximo do bin de *redshift* examinado.

Como a amostra também possui um limite de magnitude aparente brilhante, o mesmo procedimento é aplicado com decrementos em z_j de 0.001 até fornecer uma magnitude aparente mais brilhante que o limite da amostra. Analogamente, o valor de $z_{min,j}$ é o maior valor entre o menor z_j e o limite inferior do bin de *redshift* examinado.

Desta forma, a função de luminosidade, $\phi(M)$, discretizada em magnitudes absolutas pode ser escrita

$$\phi(M) = \sum_{k=1}^{N_{bin}} [\phi_k W(M_k - M)], \quad (3.5)$$

onde W é a função “janela” que, por sua vez, é definida como sendo

$$W(x) = \begin{cases} 1 & \text{se } -dM/2 \leq x < dM/2 \\ 0 & \text{de outra maneira.} \end{cases} \quad (3.6)$$

As funções de luminosidade ϕ_k foram determinadas em cada bin k de magnitude absoluta da seguinte forma:

$$\phi_k(M) dM = \sum_{j=1}^{N_g} \frac{1}{V_{obs,j}} W(M_k - M_j), \quad (3.7)$$

onde N_g é o número de galáxias no bin e $1/V_{obs,j}$ é o peso aplicado a cada uma para contabilizar o volume efetivo com que cada galáxia contribui para a contagem.

O erro adotado foi o erro de Poisson, dado por:

$$\sigma_{\phi_k} = \sqrt{\sum_{j=1}^{N_g} W(M_k - M_j) \frac{w_j^2}{V_{obs,j}^2}}. \quad (3.8)$$

Capítulo 4

Resultados

Apresentamos neste capítulo as funções de luminosidade obtidas com a metodologia descrita anteriormente para as quais foram obtidos ajustes da função de Schechter (1976) na forma

$$\phi(M)dM = 0.4 \ln 10 \Phi^* 10^{0.4(M^*-M)(\alpha+1)} \exp(-10^{0.4(M^*-M)})dM \quad (4.1)$$

onde ϕ^* é a densidade característica de galáxias por unidade de volume, M^* é a magnitude absoluta característica, o crescimento da função muda da forma exponencial para uma lei de potência e α é a inclinação da lei de potência e representa o limite fraco de magnitudes.

Os ajustes foram obtidos por mínimos quadrados não linear usando o algoritmo de Marquardt-Levenberg, disponível nas ferramentas do programa gnuplot. o procedimento fornece também os erros nos parâmetros ajustados. Os limites para ajuste da função de Schechter foram escolhido em cada caso levando em conta diferentes fatores, essencialmente evitando bruscas variações na sequência de pontos e erros altos nos bins de magnitude. Até *redshifts* $z=1$ e $i'_{AB} \leq 24$ é possível cobrir com as funções de luminosidade um domínio, no lado fraco de magnitudes, que defina adequadamente o parâmetro α da lei de Schechter. Para maiores *redshifts* isso deixa de ser possível e optamos, como Ilbert et al. (2005), por fixar α como sendo aquele resultante dos ajustes no intervalo de $z=[0.8-1.0]$.

Em todas as análises utilizamos a correção K que obtivemos executando o código LePhare as quais estão rotuladas como K1. Nas figuras onde foi também utilizada a correção K (incluindo evolução de luminosidade) obtida por Annis (2000) as curvas estão rotuladas como K2.

4.1 Comparação de *Redshifts* Fotométricos e Espectroscópicos

Para testar a reproducibilidade dos resultados obtidos com os *redshifts* fotométricos comparamos inicialmente duas amostras idênticas para as quais estão disponíveis tanto *redshifts* espectroscópicos z_{esp} quanto fotométricos z_{fot} . Utilizamos para isto a sub-área do campo D1 do CFHTLS onde os dados espectroscópicos do mapeamento VVDS foram obtidos. Restringimos os limites de magnitude aparente a $17.5 \leq i'_{AB} \leq 24.0$ e somente consideramos objetos com z_{esp} determinado. Para garantir identidade com a amostra de *redshifts* fotométricos foram também eliminadas galáxias dentro das máscaras. Denominamos estes dados de Amostra Espectroscópica e ela contém galáxias com medidas tanto de z_{esp} como de z_{fot} . Para fins de teste também consideramos uma amostra da qual eliminamos as galáxias com erros da magnitude i'_{AB} superiores a 0.3 e com estimativas de erro em z_{fot} superiores a $0.5 \times z_{fot}$. Esses dados são rotulados nas figuras deste capítulo como $z_{fot, err}$. Deve-se ressaltar que esses critérios eliminam muito poucos objetos (muitas vezes nenhum) de qualquer das amostras deste trabalho onde eles foram aplicados.

As funções de luminosidade obtidas para a Amostra Espectroscópica e os ajustes da função de Schechter utilizando *redshifts* espectroscópicos e fotométricos são mostrados nas figuras 4.1 e 4.2 para os intervalos de *redshift* [0.05-0.2], [0.2-0.4], [0.4-0.6], [0.6-0.8], [0.8-1.0], [1.0-1.3] e [1.3-2.0].

Tabela 4.1: Parâmetros M^* , ϕ^* e α dos ajustes da função de Schechter, e seus erros, para a Amostra Espectroscópica

$\langle z \rangle$	z_{esp}						z_{fot}					
	M^*	ϵ_M	ϕ^*	ϵ_ϕ	α	ϵ_α	M^*	ϵ_M	ϕ^*	ϵ_ϕ	α	ϵ_α
0.10	-21.85	0.24	6.37	2.66	-1.25	0.06	-21.73	1.69	6.29	5.62	-1.26	0.11
0.30	-20.92	0.36	13.20	4.63	-1.17	0.09	-21.03	0.17	14.95	3.42	-1.17	0.07
0.50	-21.71	0.14	8.22	1.75	-1.24	0.07	-21.70	0.24	8.68	2.56	-1.20	0.10
0.70	-21.59	0.07	14.27	1.62	-1.14	0.06	-21.74	0.11	11.46	1.77	-1.15	0.07
0.90	-21.70	0.15	12.74	2.43	-1.17	0.10	-21.78	0.11	12.47	2.02	-1.18	0.09
1.15	-21.84	0.09	6.32	1.09	-1.52	-	-21.90	0.09	6.15	0.84	-1.52	-
1.65	-22.81	0.30	1.04	0.52	-1.52	-	-22.71	0.17	1.06	0.34	-1.52	-

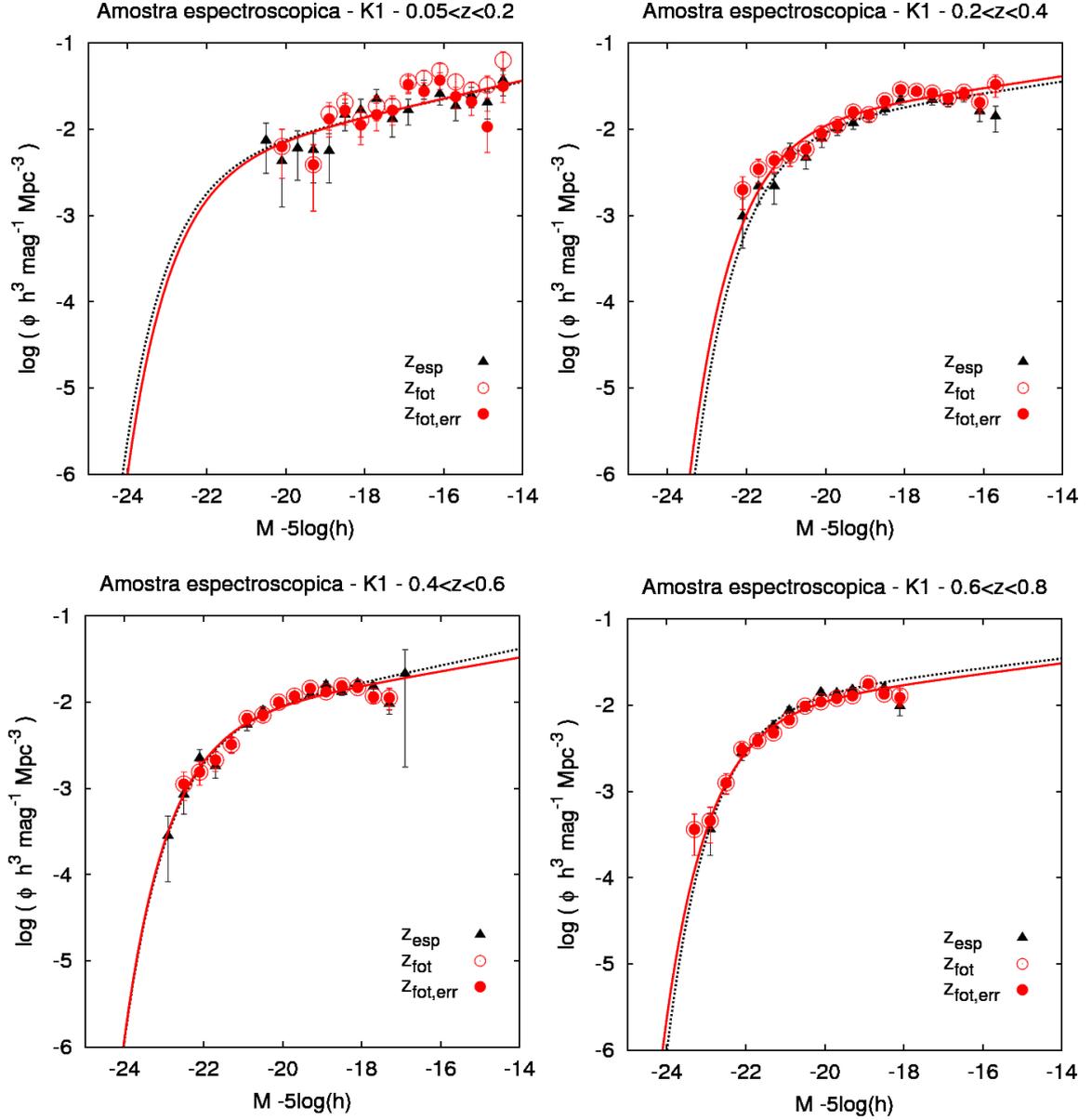


Figura 4.1: Funções de luminosidade e ajustes de Schechter para a Amostra Espectroscópica em intervalos de redshifts fotométricos de 0.05 a 0.8, usando a correção K proveniente do código LePhare. Triângulos cheios representam os resultados obtidos com redshifts espectroscópicos, enquanto círculos vazios representam os resultados obtidos com redshifts fotométricos. Círculos cheios representam resultados usando redshifts fotométricos descartando-se objetos com maiores erros fotométricos e na determinação de z_{fot} .

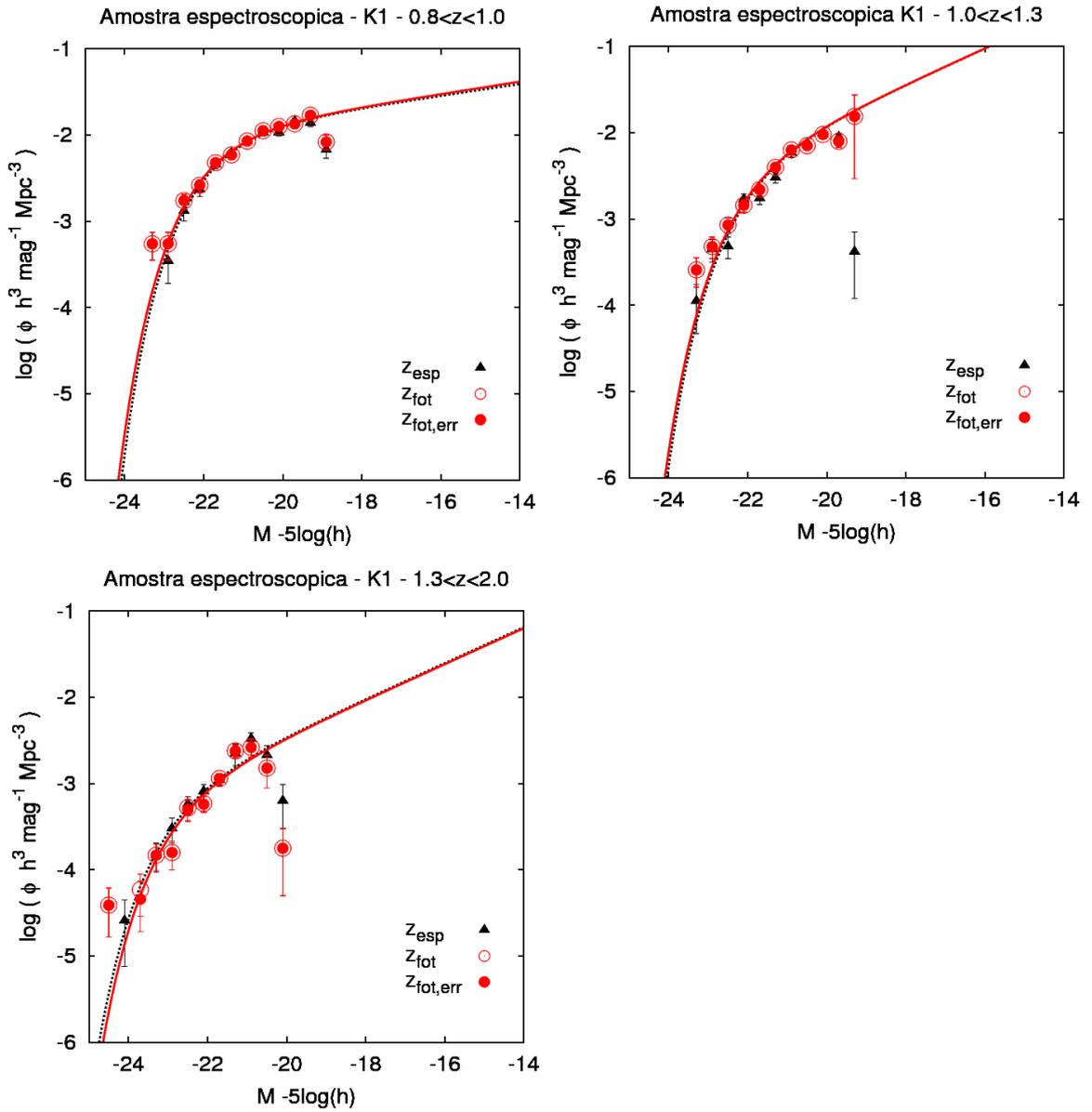


Figura 4.2: Funções de luminosidade e ajustes de Schechter para a Amostra Espectroscópica em intervalos de redshifts fotométricos de 0.8 a 2.0, usando a correção K proveniente do código LePhare. Símbolos são os mesmos da figura 4.1.

É importante mencionar que as funções de luminosidade obtidas para esta Amostra Espectroscópica não representam a função real pois elas contêm cerca de 1/5 da totalidade de galáxias e sofrem de efeitos de seleção (ver Ilbert et al. 2005) aqui não corrigidos. O motivo essencial para suas determinações é a comparação entre resultado obtidos com *redshifts* espectroscópicos e fotométricos. Esta comparação é mostrada na figura 4.3 onde as densidades (ϕ^*) e magnitudes (M^*) características da função de Schechter são comparadas. Nesta comparação incluímos também os resultados provenientes da utilização da correção K com evolução de luminosidade (K2). A reta traçada corresponde à relação 1:1 mostrando o bom acordo das determinações da função de luminosidade com z_{esp} e z_{fot} .

As figuras relativas à Amostra Espectroscópica mostram que apenas o intervalo de *redshifts* [0.05-0.2] apresenta diferenças quando a amostra considerada descarta grandes erros fotométricos. Como a amostra assim selecionada reproduz um pouco melhor os resultados da amostra espectroscópica optamos por descartar objetos com tais erros em toda a análise a seguir.

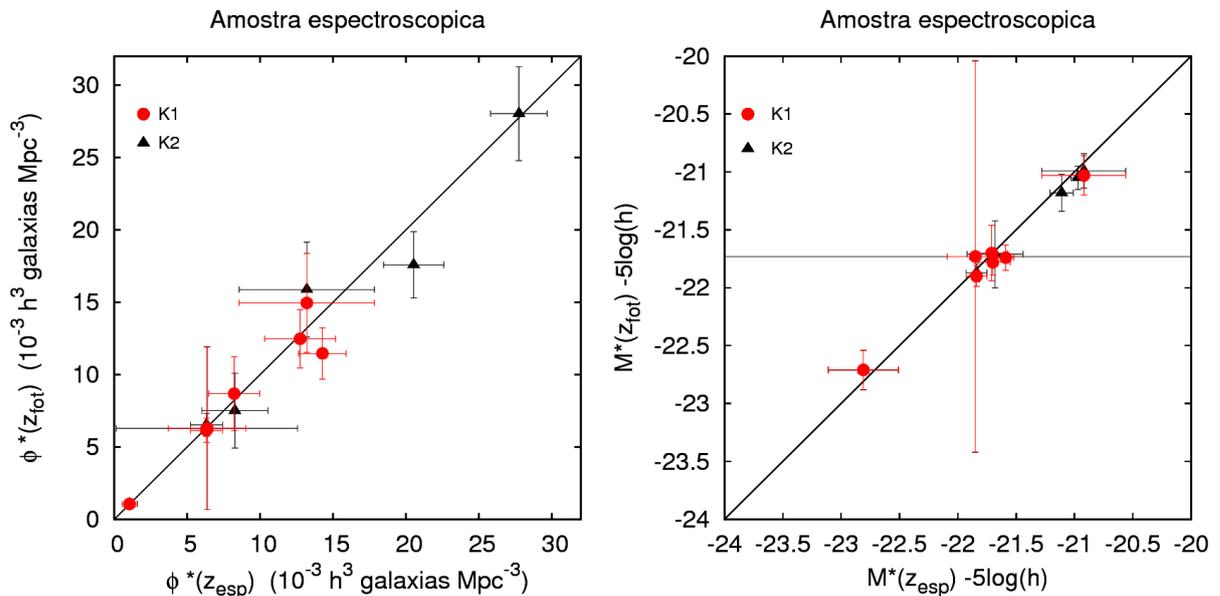


Figura 4.3: (Esquerda) Comparação das magnitudes características ϕ^* da função de Schechter para as amostras definidas nos diferentes bins de redshifts. (Direita) Comparação das magnitudes características M^* da função de Schechter para as amostras definidas nos diferentes bins de redshift. Para ambos foi utilizada a correção K do código LePhare K1 (círculos vermelhos) e a correção K com evolução de luminosidade K2 (triângulos pretos).

Outro teste para reprodutibilidade das funções de luminosidade usando *redshifts* fotométricos foi realizado comparando nossos resultados, utilizando z_{phot} , com aqueles obtidos por Ilbert et al. (2005) usando *redshifts* espectroscópicos na área mapeada pelo levantamento VVDS. Esses dados de Ilbert et al. (2005) foram corrigidos pelos autores para a amostragem de cerca de 1/5 do total de objetos e de outros efeitos relacionados ao processo de obtenção dos redshifts, descritos em maiores detalhes na referida publicação. Comparamos estes resultados com as funções de luminosidade obtidas para a mesma área do mapeamento VVDS, para o mesmo limite de magnitudes, $17.5 \leq I'_{AB} \leq 24.0$, utilizando *redshifts* fotométricos. Mostramos esses resultados na Tabela 4.2 e nas figuras 4.4 a 4.5 para as duas correções K, provenientes do LePhare (K1) e com evolução de luminosidade (K2). Para efeito de comparação, mostramos também no bin de *redshift* [0.05-0.2] a função determinada por Blanton et al(2005) para o SDSS.

Tabela 4.2: Parâmetros M^* , ϕ^* e α dos ajustes da função de Schechter, e seus erros, para a amostra na área do levantamento VVDS

$\langle z \rangle$	K1						K2					
	M^*	ϵ_M	ϕ^*	ϵ_ϕ	α	ϵ_α	M^*	ϵ_M	ϕ^*	ϵ_ϕ	α	ϵ_α
0.10	-21.98	0.85	4.88	2.90	-1.36	0.06	-21.15	0.30	8.53	2.25	-1.31	0.04
0.30	-22.37	0.09	5.46	0.70	-1.36	0.03	-22.11	0.13	6.17	1.02	-1.36	0.03
0.50	-22.06	0.10	5.58	0.63	-1.32	0.03	-21.61	0.04	7.90	0.49	-1.27	0.02
0.70	-22.20	0.05	6.06	0.56	-1.35	0.03	-21.73	0.02	8.31	0.36	-1.32	0.02
0.90	-22.44	0.09	5.07	1.00	-1.48	0.08	-21.90	0.07	9.40	1.30	-1.39	0.08
1.15	-22.50	0.04	3.48	0.31	-1.52	-	-22.27	0.09	4.33	0.91	-1.52	-
1.65	-22.68	0.08	1.96	0.31	-1.52	-	-22.52	0.14	2.12	0.64	-1.52	-

É possível verificar o melhor acordo em geral das funções obtidas com a correção K1, proveniente do código lePhare. As correções K2, com evolução de luminosidade resultam em valores de M^* mais brilhantes, de acordo com o fato de incorporarem tal evolução ao longo do tempo cósmico, de $z=2$ a $z=0$.

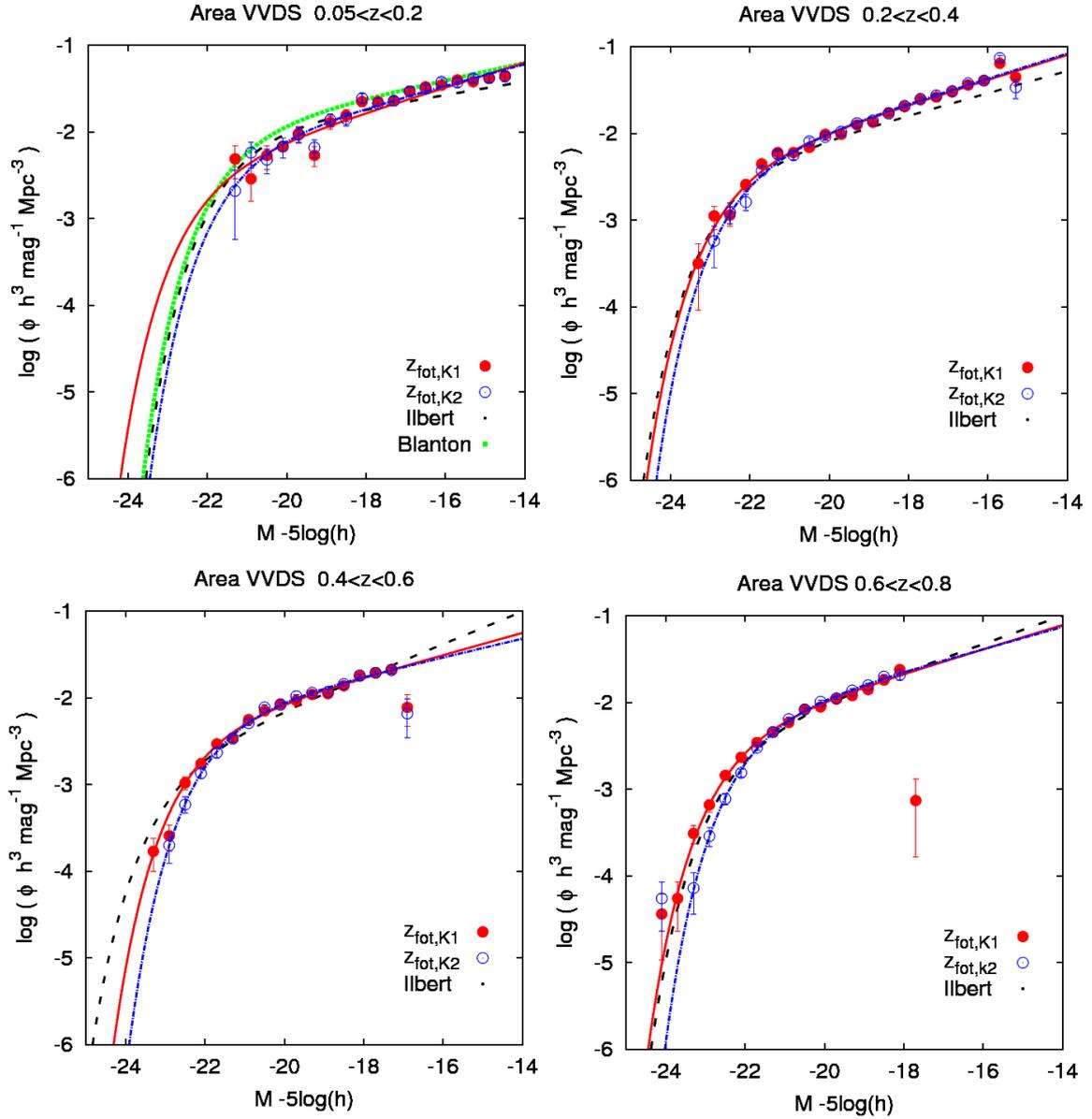


Figura 4.4: Comparação nos domínios de redshift (0.05 a 0.8) da função de luminosidade espectroscópica obtida por Ilbert et al. (2005) (tracejado preto) com a função de luminosidade obtida neste trabalho com redshifts fotométricos usando a correção K1 (círculos cheios vermelhos) e K2 (círculos vazios azuis). Em pontilhado verde é mostrada a função obtida por Blanton et al. (2005) para o SDSS.

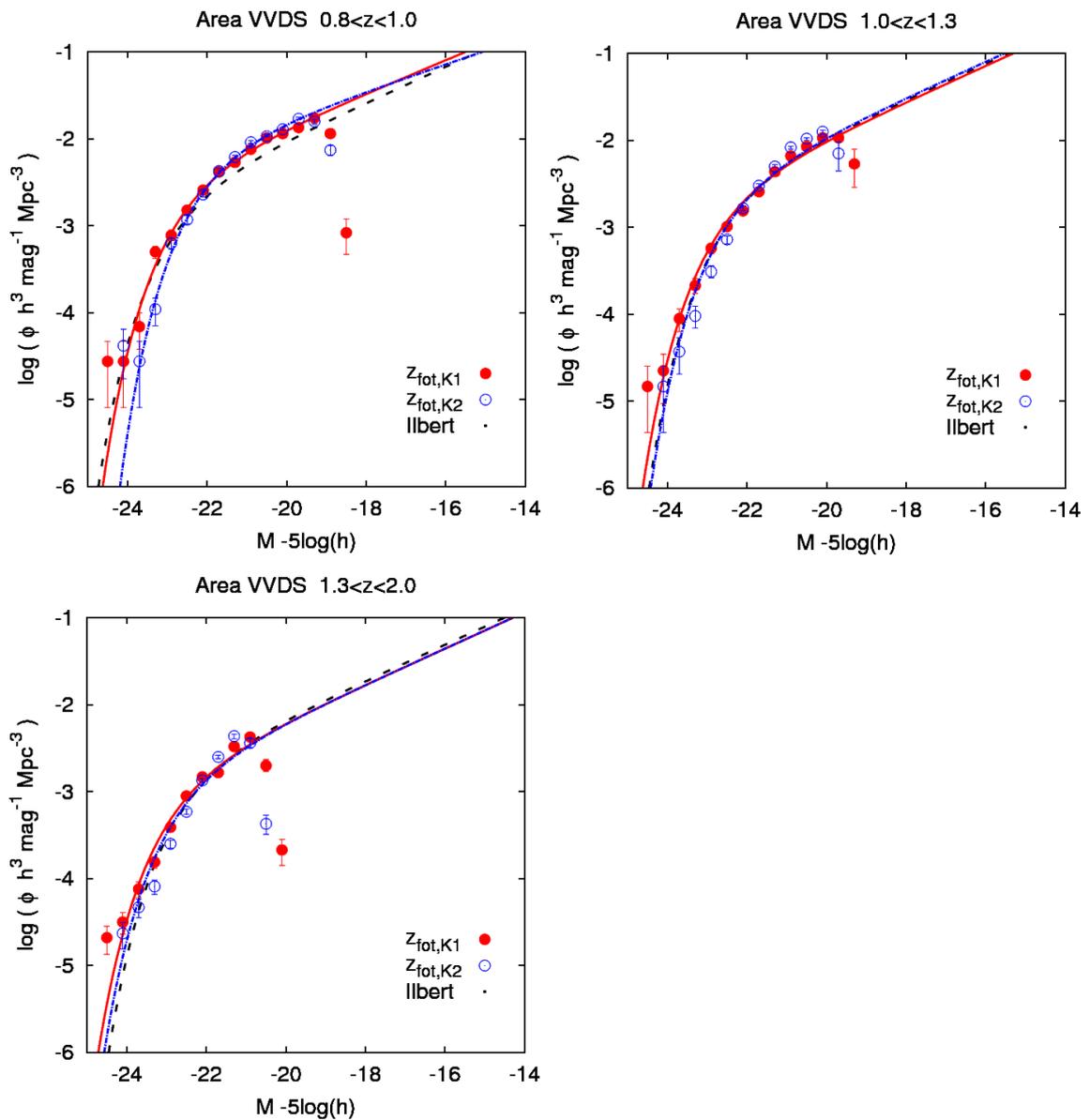


Figura 4.5: Comparação nos domínios de redshift (0.8 a 2.0) da função de luminosidade espectroscópica obtida por Ilbert et al. (2005) (tracejado preto) com a função de luminosidade obtida neste trabalho com redshifts fotométricos usando a correção K1 (círculos cheios vermelhos) e K2 (círculos vazios azuis).

Uma comparação mais concisa das funções obtidas com *redshifts* fotométricos com relação às obtidas com *redshifts* espectroscópicos é mostrada na figura 4.6 que apresenta a evolução de magnitude característica M^* em função de z . Esta evolução obtida com as correção K1 é essencialmente a mesma que a obtida por Ilbert et al. (2005), apresentando um pequeno decréscimo de ≈ 0.5 mag em M^* entre $z \approx 1.7$ e $z \approx 0.3$. Notamos que os valores de M^* e ϕ^* por nós determinados no intervalo de *redshift* 0.05 a 0.2 são bastante incertos e devem ser vistos com reserva. Se o valor de Blanton et al. (2003) $M_{SDSS}^* = -21.2$ for tomado como o valor local, existe uma considerável evolução da luminosidade (> 1 mag) na banda i' entre $z=0.3$ e $z=0$

A correção K2, por incluir evolução na luminosidade, apresenta como resultado uma gradação mais inclinada entre $z=1.7$ e $z=0$.

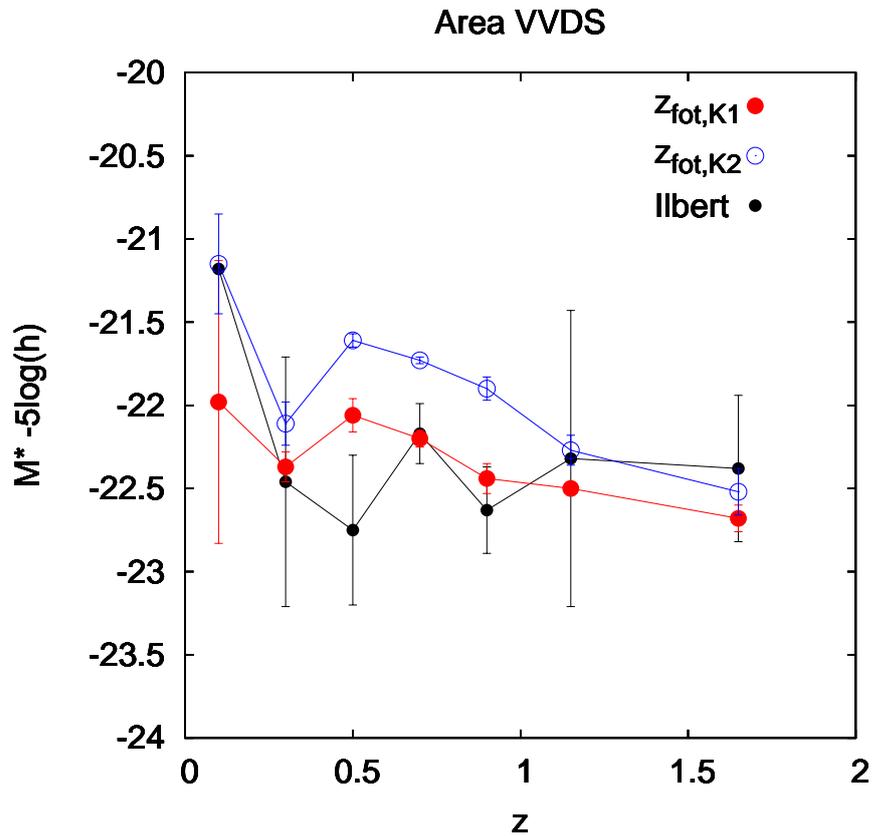


Figura 4.6: *Evolução da magnitude característica da função de Schechter M^* em função de z para a amostra, na área do levantamento VVDS, definida com redshifts fotométricos. Círculos cheios vermelhos representam a amostra obtida com a correção K1 e círculos vazios azuis a amostra definida com a correção K2. Os resultados obtidos por Ilbert et al. (2005) utilizando redshifts espectroscópicos são mostrados com pontos pretos.*

Resultados análogos relativos à densidade característica ϕ^* são mostrados na figura 4.18 e as conclusões são semelhantes. A maior discrepância dos resultados obtidos para ϕ^* com relação àqueles de Ilbert et al. (2005) podem estar refletindo o fato, mencionado no Capítulo de Dados, de que a amostra analisada neste trabalho não inclui cerca de 16% dos dados analisados por aqueles autores, que se encontram na região do Chandra Deep Field. Dessa forma, a discrepância na densidade característica pode ser devida à diferença na densidade total de objetos analisados.

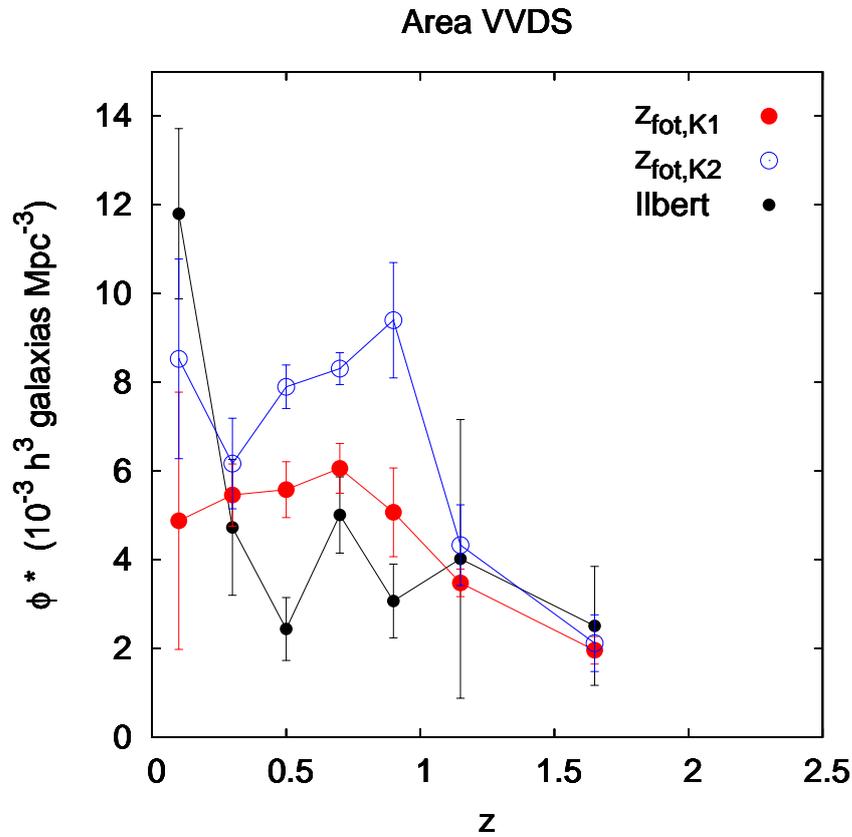


Figura 4.7: *Evolução da densidade característica da função de Schechter ϕ^* em função de z para a amostra, na área do levantamento VVDS, definida com redshifts fotométricos. Círculos cheios vermelhos representam a amostra obtida com a correção K1 e círculos vazios azuis a amostra definida com a correção K2. Os resultados obtidos por Ilbert et al. (2005) utilizando redshifts espectroscópicos são mostrados com pontos pretos.*

4.2 Análise dos 4 Campos do CFHTLS

Uma vez diagnosticada a adequação dos *redshifts* fotométricos para a determinação de funções de luminosidade, utilizamos os dados dos quatro campos Deep do CFHTLS para investigar as diferenças (variância cósmica) e evolução da função de luminosidade. As análises dos campos individualmente foram realizadas com amostras limitadas nos mesmos valores do campo D1, ou seja, $17.5 \leq i'_{AB} \leq 24.0$ e $z_{phot} \leq 2.0$. Por uma questão de homogeneidade mantivemos também a opção de descartar os poucos objetos com erros fotométricos superiores a 0.3 mag e estimativas de erro em z_{phot} superiores a $0.5 \times z_{phot}$. Já para a amostra combinando as quatro áreas, estendemos os limites para $17.5 \leq i'_{AB} \leq 25.0$ e $z_{phot} \leq 2.5$.

As figuras 4.8 e 4.9 apresentam as funções de luminosidade e ajustes da função de Schechter para o caso da aplicação da correção K1, enquanto as figuras 4.10 e 4.11 são os resultados análogos quando são utilizadas as correções K2.

Essas figuras mostram que os campos D1, D2 e D4 apresentam resultados mais semelhantes, enquanto o campo D3 apresenta sempre uma densidade característica menor que os outros. Este resultado não é esperado pois seria natural que em algum dos diferentes intervalos de *redshift* o campo D3 apresentasse valores semelhantes ou mesmo superiores a algum dos outros três campos. Desta forma não se pode descartar a possibilidade de que algum problema específico possa estar comprometendo os resultados do campo D3.

Informações e resultados do ajuste da função de Schechter para os quatro campos do CFHTLS são apresentadas na Tabelas 4.3 para as áreas D1, D2, D3 e D4.

Os resultados para a função de luminosidade das quatro áreas combinadas, assim como os ajustes da função de Schechter para esta combinação são mostrados na Tabela 4.4 e nas figuras 4.12 e 4.13. A utilização de uma amostra numericamente maior nos levou a analisar resultados até limites $i'_{AB} \leq 25$ e $z_{phot} \leq 2.5$, mais fundos que nas análises dos campos individualmente. No domínio de *redshifts* mais altos subdividimos a amostra em bins de $z = [1.3-1.6], [1.6-2.0]$ e $[2.0-2.5]$.

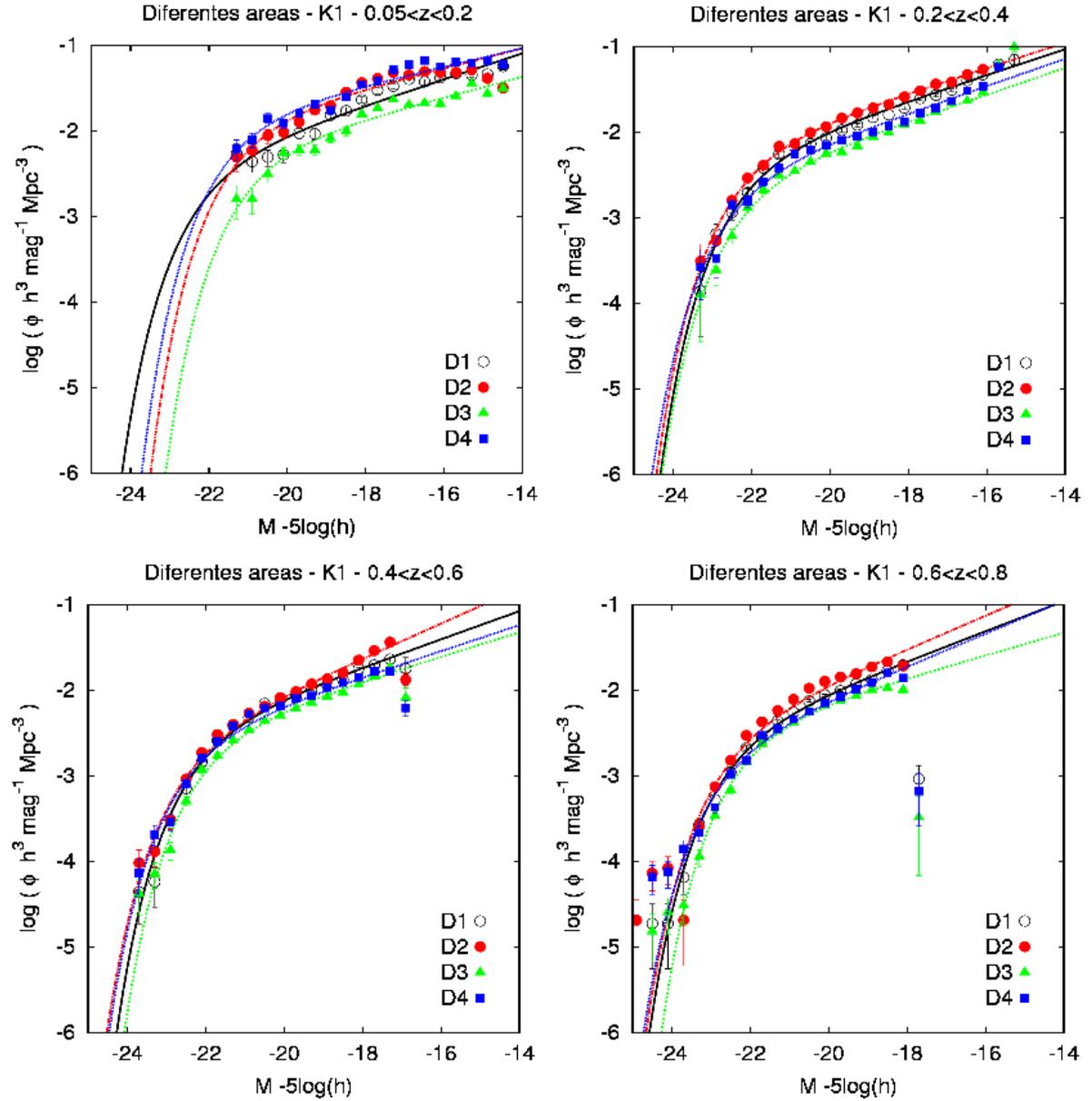


Figura 4.8: Funções de luminosidade e ajustes da função de Schechter para as quatro áreas do CFHTLS em intervalos de z que vão de 0.05 a 0.8. Resultados são mostrados com círculos vazios pretos para a área D1, círculos cheios vermelhos para a área D2, triângulos cheios verdes para a área D3 e quadrados cheios azuis para a área D4.

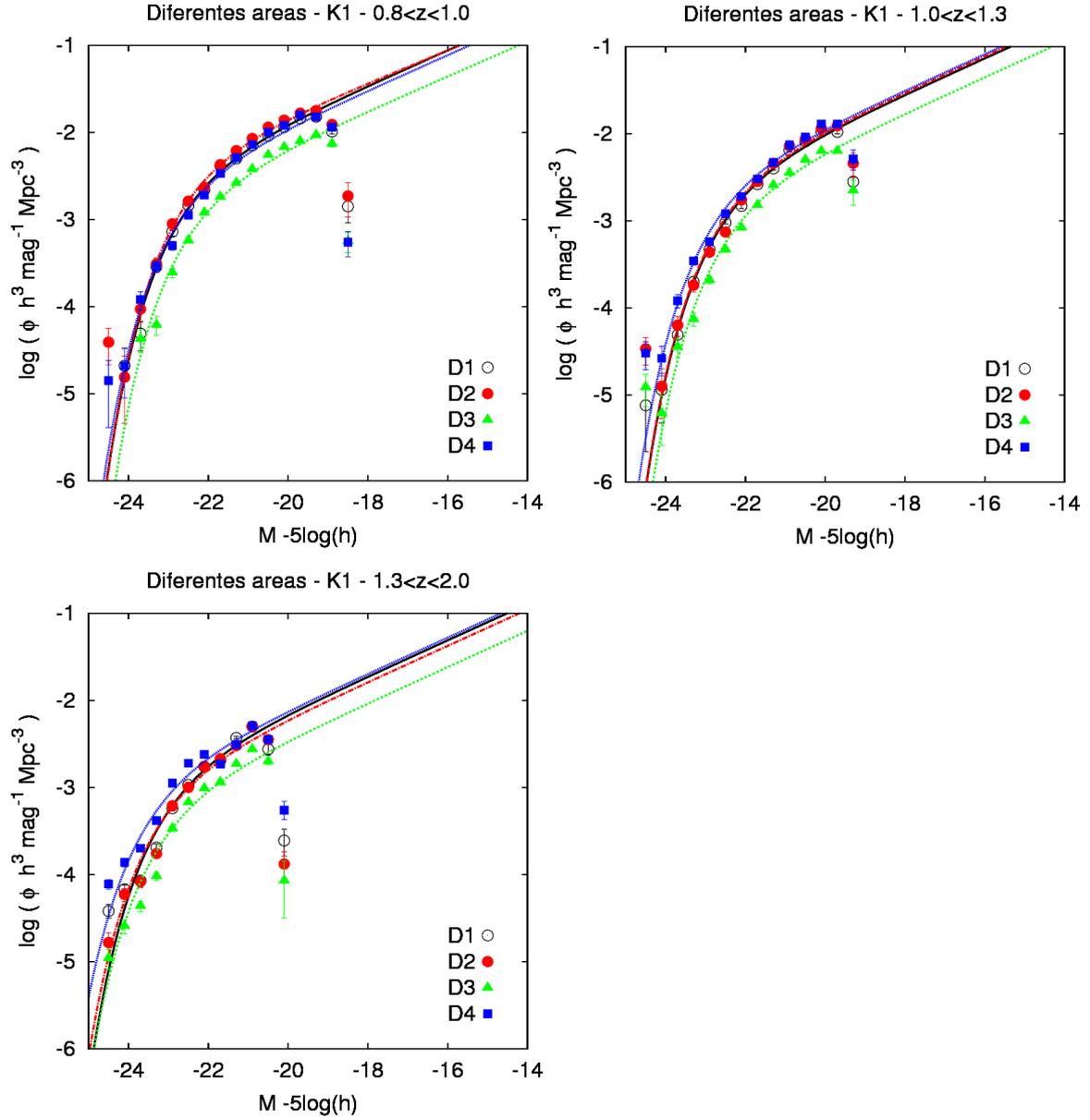


Figura 4.9: Funções de luminosidade e ajustes da função de Schechter para as quatro áreas do CFHTLS em intervalos de z que vão de 0.8 a 2.0. Resultados são mostrados com círculos vazios pretos para a área D1, círculos cheios vermelhos para a área D2, triângulos cheios verdes para a área D3 e quadrados cheios azuis para a área D4 .

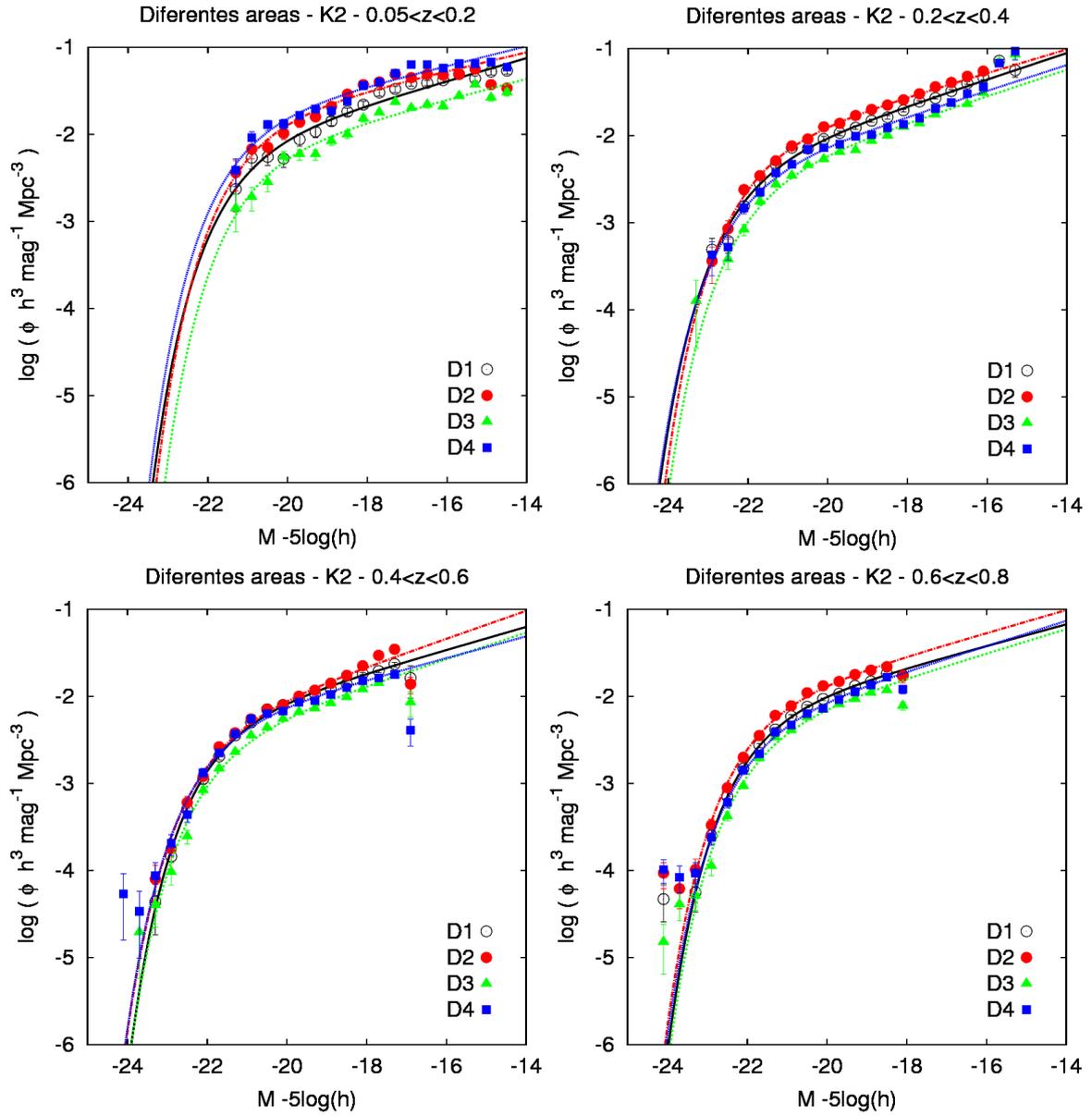


Figura 4.10: Funções de luminosidade e ajustes da função de Schechter para as quatro áreas do CFHTLS em intervalos de z que vão de 0.05 a 0.8. Resultados são mostrados com círculos vazios pretos para a área D1, círculos cheios vermelhos para a área D2, triângulos cheios verdes para a área D3 e quadrados cheios azuis para a área D4.

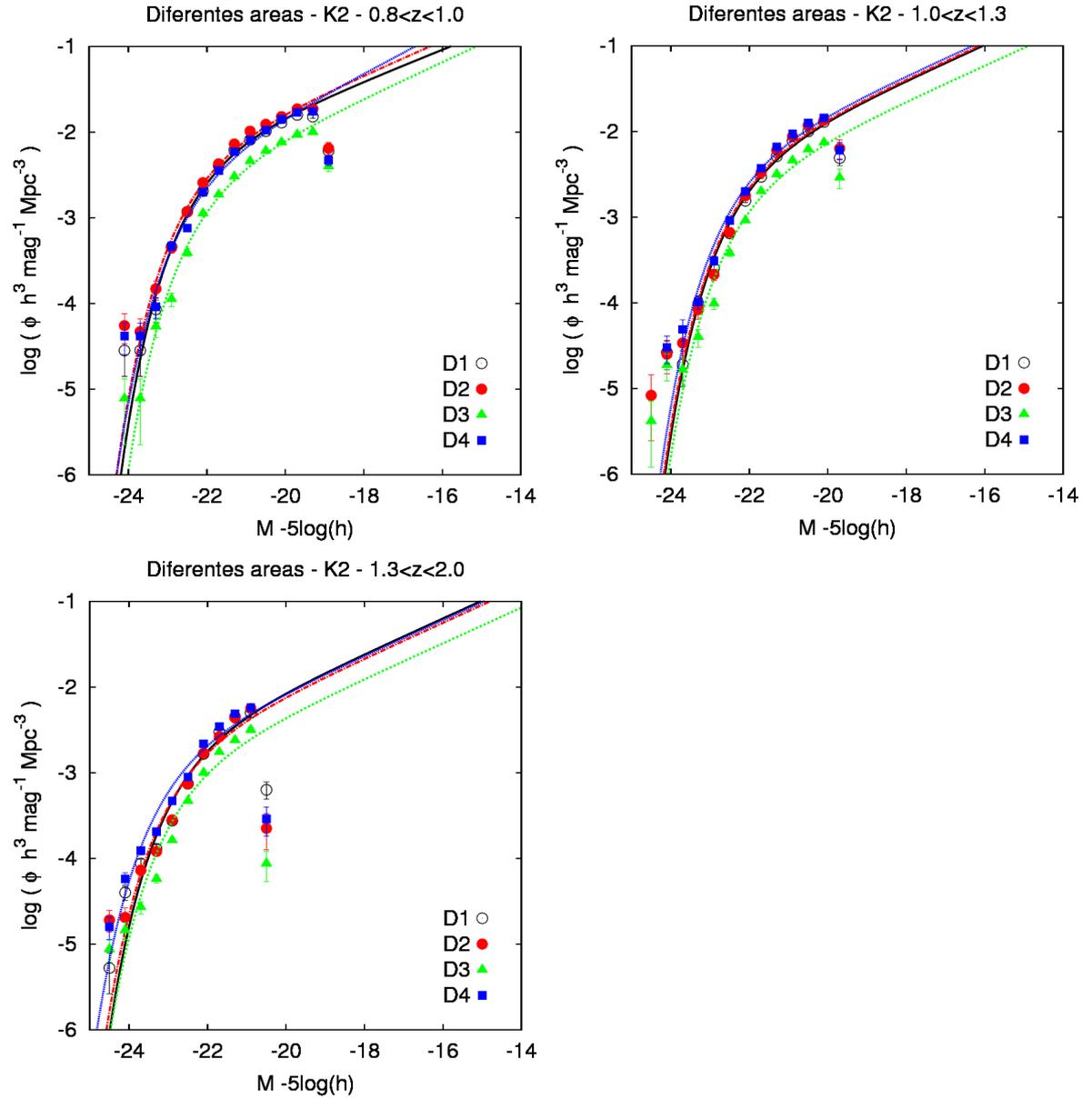


Figura 4.11: *Funções de luminosidade e ajustes da função de Schechter para as quatro áreas do CFHTLS em intervalos de z que vão de 0.8 a 2.0. Resultados são mostrados com círculos vazios pretos para a área D1, círculos cheios vermelhos para a área D2, triângulos cheios verdes para a área D3 e quadrados cheios azuis para a área D4.*

Tabela 4.3: Parâmetros M^* , ϕ^* e α dos ajustes da função de Schechter, e seus erros, para as quatro áreas D1, D2, De e D4 do levantamento CFHTLS. Para os últimos dois intervalos de *redshif* o valor de α está fixado em -1.52

Área D1												
K1							K2					
$\langle z \rangle$	M^*	ϵ_M	ϕ^*	ϵ_ϕ	α	ϵ_α	M^*	ϵ_M	ϕ^*	ϵ_ϕ	α	ϵ_α
0.10	-22.00	0.75	5.30	2.67	-1.38	0.05	-21.07	0.24	9.52	2.22	-1.33	0.04
0.30	-22.09	0.07	5.93	0.62	-1.38	0.02	-21.98	0.10	5.91	0.85	-1.38	0.03
0.50	-22.09	0.10	4.27	0.84	-1.41	0.05	-21.64	0.04	6.68	0.49	-1.33	0.03
0.70	-22.41	0.04	3.93	0.34	-1.44	0.03	-21.68	0.01	8.13	0.20	-1.31	0.01
0.90	-22.38	0.09	4.76	0.94	-1.51	0.08	-21.94	0.09	8.04	1.46	-1.46	0.10
1.15	-22.34	0.03	3.83	0.23	-1.52	-	-21.94	0.04	6.47	0.61	-1.52	-
1.65	-22.83	0.12	2.02	0.44	-1.52	-	-22.38	0.14	3.24	0.85	-1.52	-
Área D2												
K1							K2					
$\langle z \rangle$	M^*	ϵ_M	ϕ^*	ϵ_ϕ	α	ϵ_α	M^*	ϵ_M	ϕ^*	ϵ_ϕ	α	ϵ_α
0.10	-21.12	0.27	14.87	3.73	-1.29	0.05	-20.90	0.20	17.10	3.49	-1.27	0.04
0.30	-22.16	0.05	7.41	0.62	-1.37	0.02	-21.78	0.04	9.29	0.53	-1.34	0.01
0.50	-22.41	0.14	3.20	0.84	-1.51	0.08	-21.82	0.08	5.84	0.88	-1.40	0.06
0.70	-22.50	0.24	4.27	2.20	-1.49	0.16	-21.75	0.04	10.08	0.85	-1.33	0.04
0.90	-22.33	0.06	6.14	0.65	-1.47	0.04	-22.07	0.09	7.69	1.41	-1.50	0.08
1.15	-22.34	0.04	4.06	0.37	-1.52	-	-21.97	0.08	6.65	1.24	-1.52	-
1.65	-22.96	0.10	1.64	0.33	-1.52	-	-22.49	0.10	2.73	0.62	-1.52	-
Área D3												
K1							K1					
$\langle z \rangle$	M^*	ϵ_M	ϕ^*	ϵ_ϕ	α	ϵ_α	M^*	ϵ_M	ϕ^*	ϵ_ϕ	α	ϵ_α
0.10	-20.83	0.21	7.00	1.55	-1.30	0.04	-20.80	0.19	7.19	1.46	-1.30	0.04
0.30	-22.14	0.06	3.26	0.32	-1.39	0.02	-21.78	0.04	4.07	0.46	-1.38	0.02
0.50	-21.90	0.07	3.74	0.49	-1.36	0.04	-21.73	0.07	3.92	0.55	-1.38	0.04
0.70	-22.06	0.04	4.37	0.31	-1.33	0.03	-21.70	0.09	5.36	0.93	-1.35	0.07
0.90	-22.24	0.15	2.70	0.82	-1.50	0.11	-21.88	0.08	4.04	0.77	-1.53	0.10
1.15	-22.25	0.07	2.42	0.31	-1.52	-	-21.94	0.08	3.70	0.73	-1.52	-
1.65	-22.95	0.11	0.94	0.21	-1.52	-	-22.47	0.12	1.59	0.45	-1.52	-
Área D4												
K1							K2					
$\langle z \rangle$	M^*	ϵ_M	ϕ^*	ϵ_ϕ	α	ϵ_α	M^*	ϵ_M	ϕ^*	ϵ_ϕ	α	ϵ_α
0.10	-21.33	0.33	16.15	4.13	-1.27	0.04	-21.07	0.24	18.00	3.98	-1.28	0.04
0.30	-22.38	0.13	3.55	0.62	-1.40	0.03	-22.05	0.11	4.52	0.68	-1.37	0.03
0.50	-22.31	0.09	3.40	0.58	-1.38	0.04	-21.81	0.08	5.70	0.79	-1.31	0.04
0.70	-22.63	0.12	2.64	0.55	-1.48	0.05	-21.79	0.05	6.03	0.51	-1.36	0.03
0.90	-22.48	0.11	4.00	0.91	-1.51	0.08	-22.14	0.13	5.37	1.45	-1.60	0.11
1.15	-22.54	0.04	3.89	0.28	-1.52	-	-22.05	0.07	6.95	1.15	-1.52	-
1.65	-23.21	0.15	1.81	0.36	-1.52	-	-22.74	0.12	2.60	0.60	-1.52	-

Assim como nos resultados anteriores, mostramos as funções determinadas com as correções K1 e K2. Os erros mostrados nessas figuras representam a variância das medidas dos quatro campos sendo, portanto, uma medida da variância cósmica sobre a função de luminosidade.

Em particular, no bin de *redshift* [0.05-0.2] é também mostrado o ajuste obtido por Blanton et al. (2003) para o SDSS, ressaltando o bom acordo da amostra combinada com uma medida tida como um padrão local. É interessante notar também que a conclusão de Blanton et al. (2003) sobre o crescimento da função de luminosidade no limite fraco de magnitude tem aparente respaldo nas figuras relativas aos domínios de $0.2 \leq z_{\text{tot}} \leq 0.4$ e $0.4 \leq z_{\text{tot}} \leq 0.6$.

Tabela 4.4: Parâmetros M^* , ϕ^* e α dos ajustes da função de Schechter, e seus erros, para as quatro áreas do CFHTLS combinadas. Para intervalos de *redshifts* em $\langle z \rangle \geq 0.9$ o valor de α foi fixado em -1.52.

$\langle z \rangle$	K1						K2					
	M^*	ϵ_M	ϕ^*	ϵ_ϕ	α	ϵ_α	M^*	ϵ_M	ϕ^*	ϵ_ϕ	α	ϵ_α
0.10	-21.27	0.25	9.94	2.07	-1.30	0.03	-20.93	0.16	12.45	2.00	-1.28	0.03
0.30	-22.10	0.07	5.48	0.59	-1.33	0.02	-21.81	0.05	6.21	0.60	-1.34	0.02
0.50	-22.31	0.06	2.96	0.40	-1.47	0.03	-21.94	0.06	3.97	0.51	-1.44	0.03
0.70	-22.26	0.03	4.40	0.24	-1.41	0.01	-21.77	0.04	6.57	0.48	-1.36	0.02
0.90	-22.37	0.02	3.94	0.22	-1.52	0.02	-22.00	0.06	6.00	0.75	-1.49	0.05
1.15	-22.32	0.05	3.76	0.31	-1.52	-	-21.97	0.06	5.67	0.78	-1.52	-
1.45	-22.63	0.09	2.29	0.28	-1.52	-	-22.32	0.11	3.04	0.57	-1.52	-
1.80	-23.04	0.12	0.95	0.16	-1.52	-	-22.73	0.07	1.66	0.30	-1.52	-
2.25	-23.42	0.31	0.56	0.18	-1.52	-	-23.06	0.04	1.17	0.13	-1.52	-

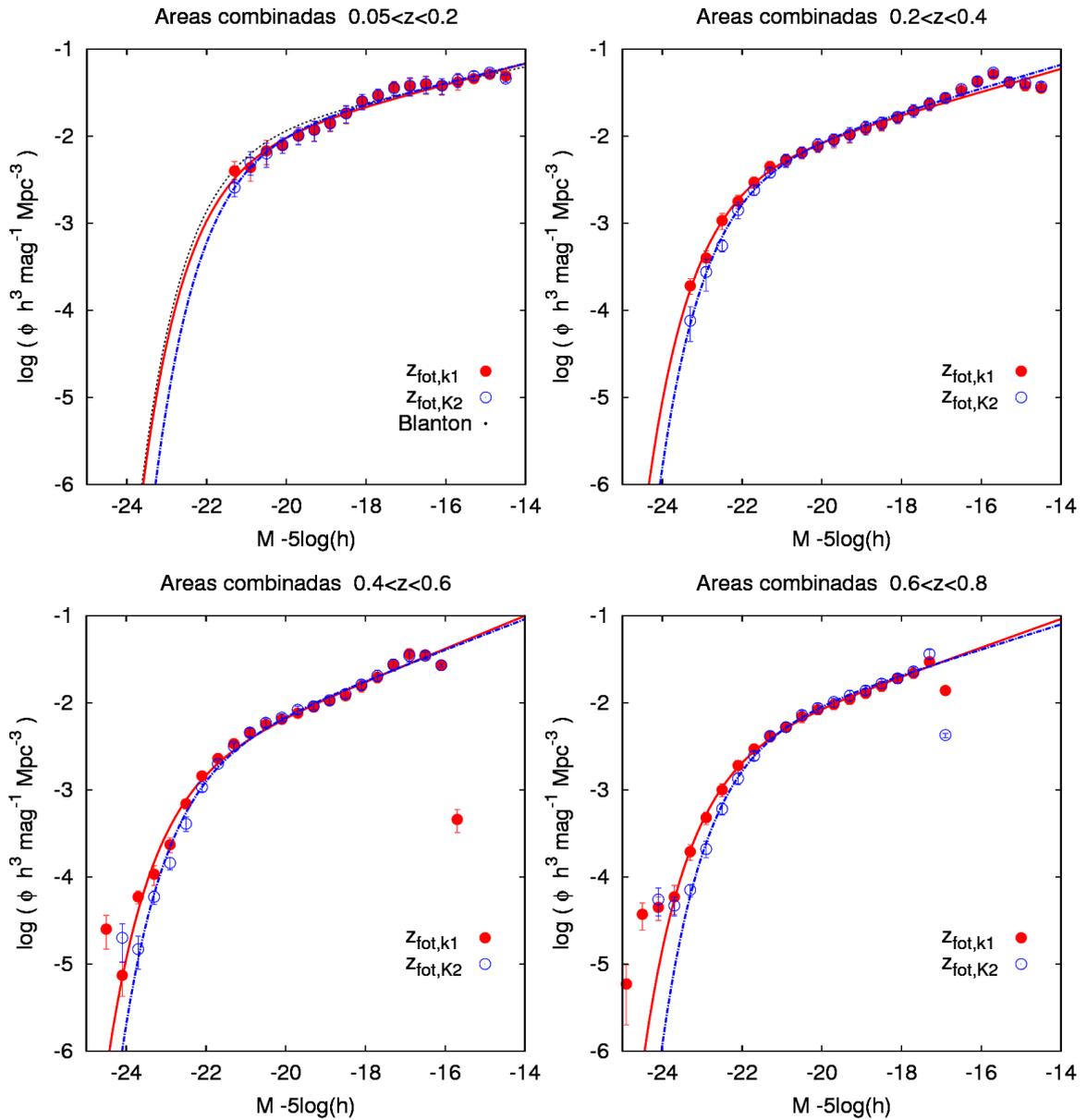


Figura 4.12: *Funções de luminosidade e ajustes da função de Schechter para a combinação das quatro áreas do CFHTLS em intervalos de z que vão de 0.05 a 0.8. Resultados são mostrados com círculos cheios vermelhos para o caso da utilização da correção K1 e círculos vazios azuis quando usada a correção K2. Neste intervalo é também mostrada a função obtida por Blanton et al. (2003) para o SDSS.*

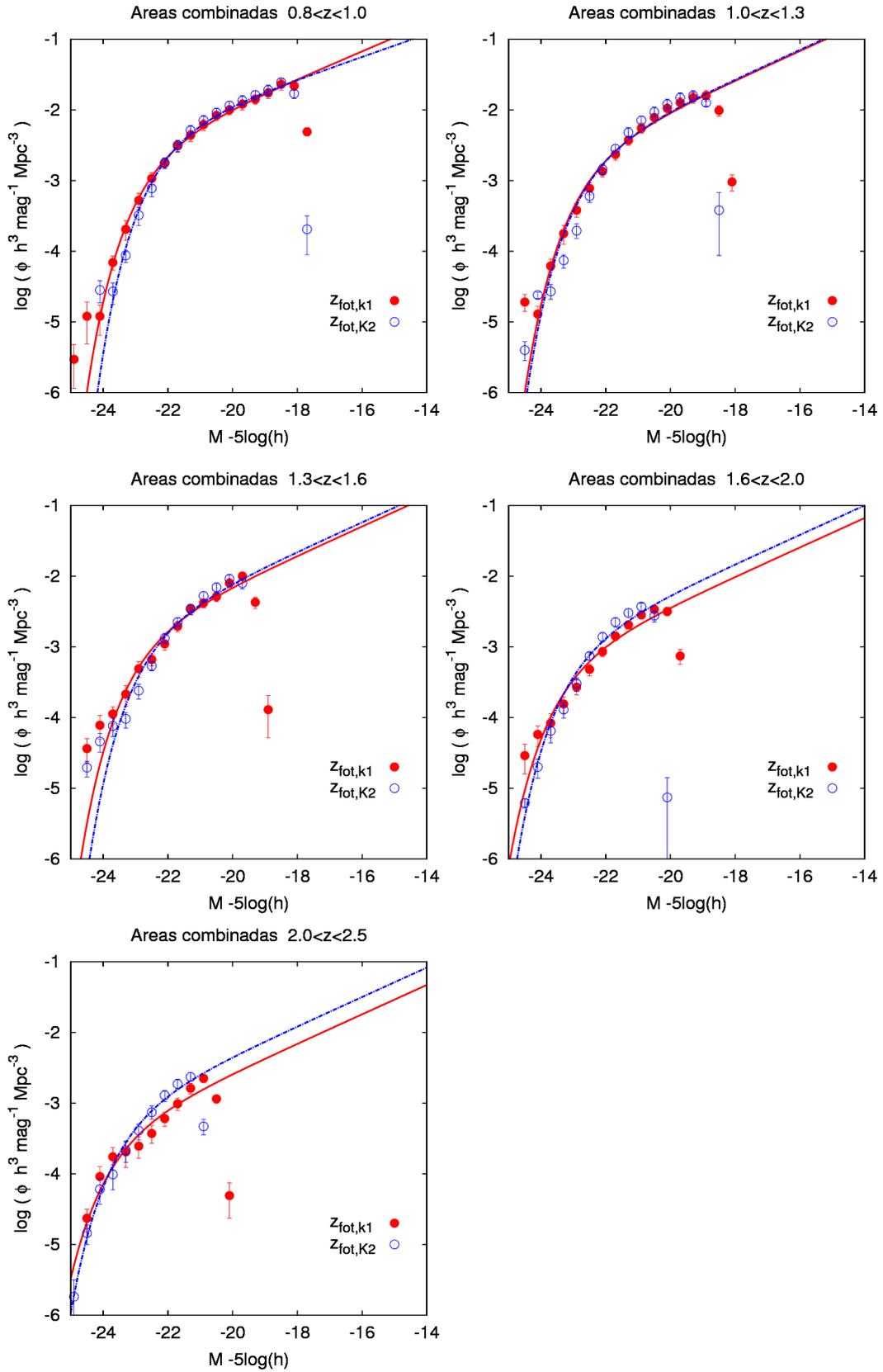


Figura 4.13: Funções de luminosidade e ajustes da função de Schechter para a combinação das quatro áreas do CFHTLS em intervalos de z que vão de 0.8 a 2.5.

As evoluções da magnitude M^* e da densidade ϕ^* características da função de Schechter são mostradas nas figuras 4.14 e 4.15 para os casos de uso das correções K1 e K2. Nestas figuras também são mostradas as evoluções desses parâmetros como obtidas por Ilbert et al. (2005). Pode-se verificar o bom acordo dos nossos resultados usando a correção K1 com aqueles obtidos com amostra espectroscópica por Ilbert et al. (2005). Nestas figuras também são mostrados os resultados obtidos por Gabash et al. (2006) para a banda i' utilizando *redshifts* fotométricos. Esses resultados de Gabash et al. (2006) indicam essencialmente a inexistência de evolução e não mostram concordância tanto com os resultados de Ilbert et al. (2005) quanto com nossos resultados.

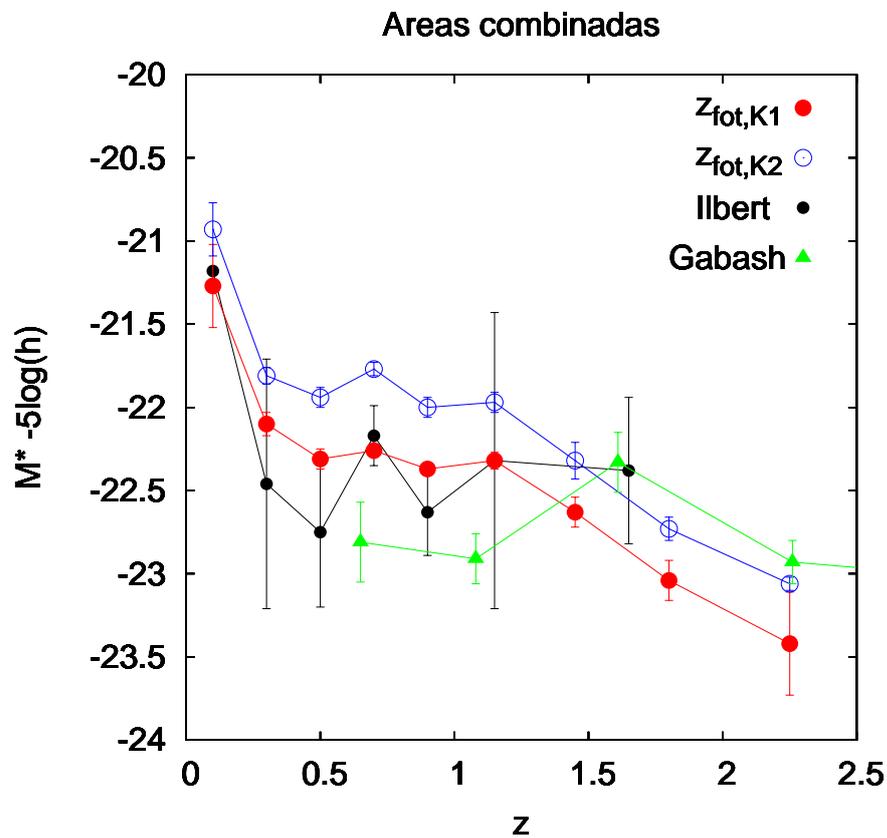


Figura 4.14: *Evolução da magnitude característica do ajuste da função de Schechter M^* em função do redshift. A amostra analisada neste trabalho é mostrada com círculos cheios vermelhos (caso da correção K1) e círculos vazios azuis (caso da correção K2). A evolução obtida por Ilbert et al. (2005) é mostrada com pontos pretos e a obtida por Gabash et al. (2006) com triângulos cheios verdes.*

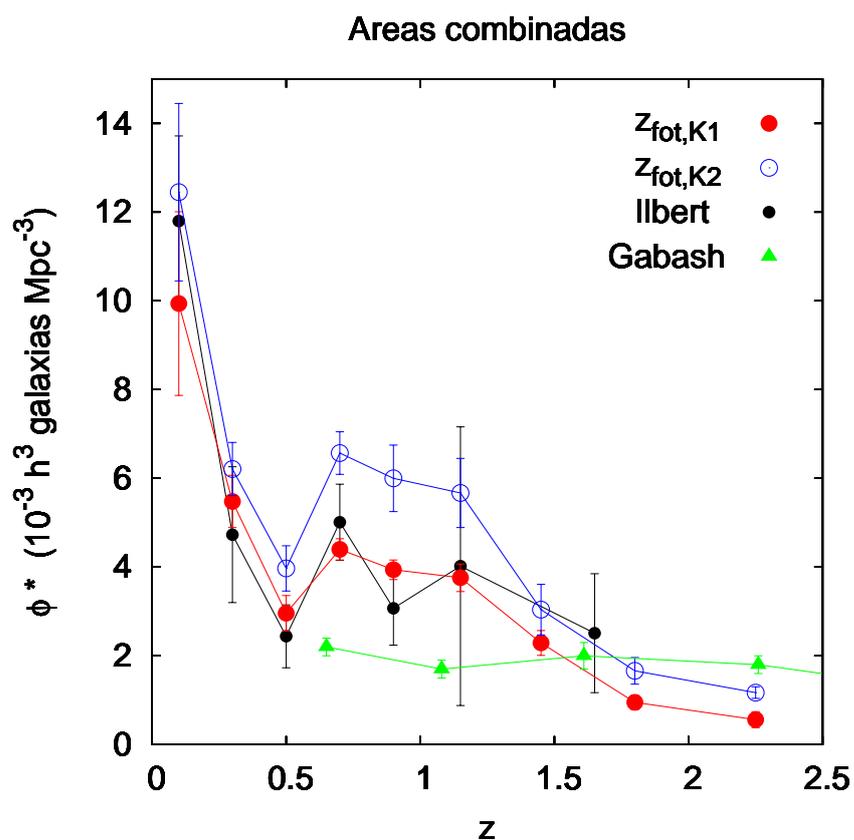


Figura 4.15: *Evolução da densidade característica do ajuste da função de Schechter ϕ^* em função do redshift. A amostra analisada neste trabalho é mostrada com círculos cheios vermelhos (caso da correção K1) e círculos vazios azuis (caso da correção K2). A evolução obtida por Ilbert et al. (2005) é mostrada com pontos pretos e a obtida por Gabash et al. (2006) com triângulos cheios verdes.*

4.3 Análise dos Diferentes Tipos Espectrais

Como mencionado anteriormente, os dados obtidos pelo Terapix para os quatro campos do CFHTLS contêm para cada galáxia a SED melhor ajustada às magnitudes nas diferentes bandas espectrais. Esta classificação espectral reflete as diferentes populações estelares dos objetos guardando correlação com os tipos morfológicos usuais. Desta forma, cada objeto possui uma classificação como Elíptica, Sbc, Scd, Irr e dominado por formação estelar (form.est).

Lançando mão desta vantagem desses dados e da importância de diferenciar as contribuições desses tipos para a função de luminosidade global e sua evolução, analisadas até aqui, subdividimos a amostra em três classes: Elípticas (E), Espirais e Irregulares (S+Irr) e Irregulares e dominadas por formação estelar (Irr + form.est). O motivo de manter as Irregulares nas duas últimas classes é devido à possibilidade de realizar comparações com diferentes autores que subdividem suas amostras em classes onde não fica clara a inclusão desses objetos.

As figuras 4.16 e 4.17 e a Tabela 4.5 mostram os resultados para as funções de luminosidade e seus ajustes da função de Schechter para a amostra combinada das quatro áreas do CFHT subdividida nessas quatro classes para o caso do uso da correção K1. As figuras 4.18 e 4.19 mostram os resultados análogos usando-se a correção K2, com evolução de luminosidade e os parâmetros ajustados estão na Tabela 4.5.

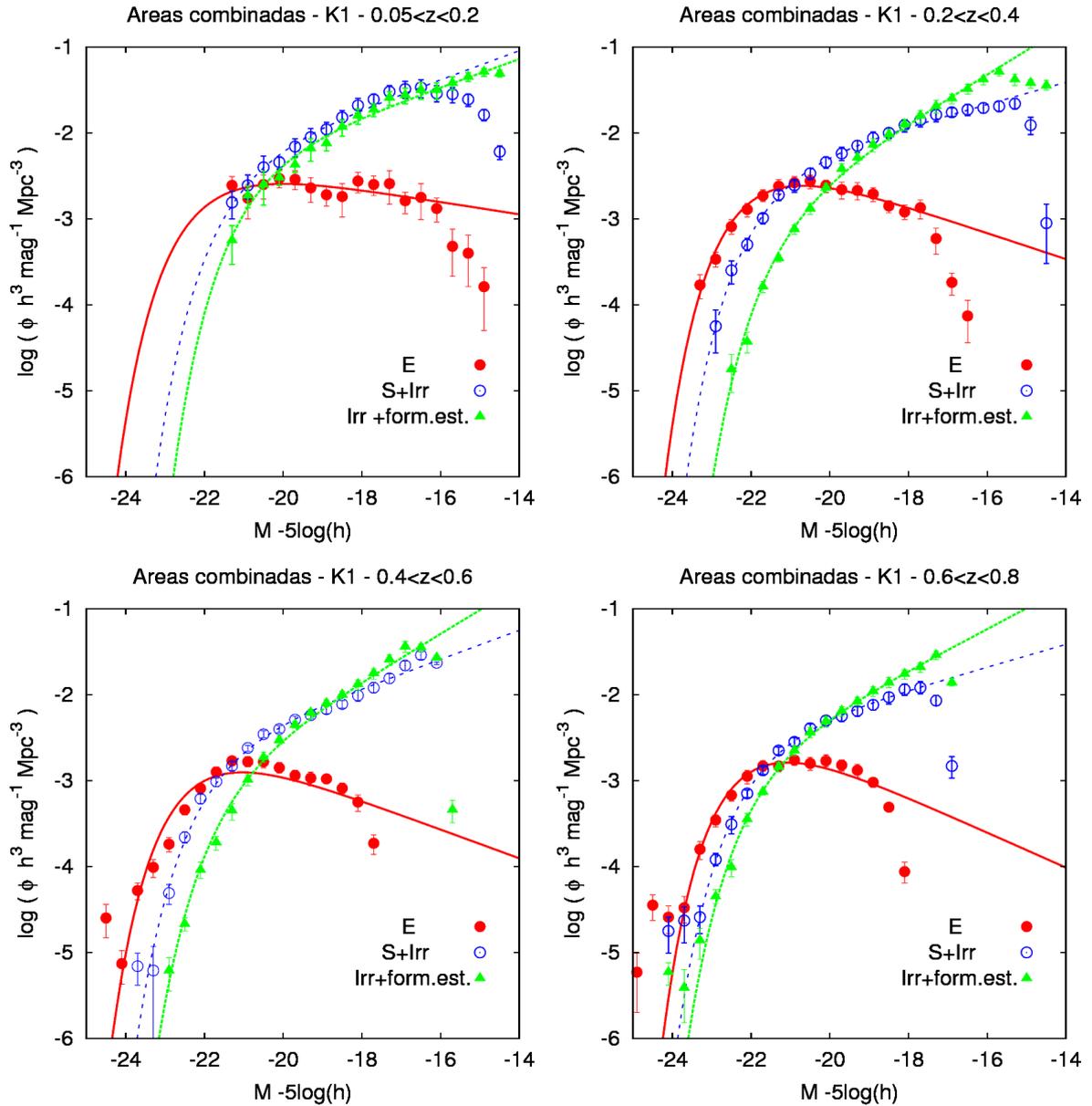


Figura 4.16: Funções de luminosidade e ajustes de Schechter para a combinação das quatro áreas do CFHTLS, no intervalo de 0.05 a 0.8, usando a correção K1. As Elípticas são mostradas com círculos cheios vermelhos, o conjunto Espirais + Irregulares e círculos vazios azuis e o conjunto Irregulares + galáxias dominadas por formação estelar com triângulos cheios verdes.

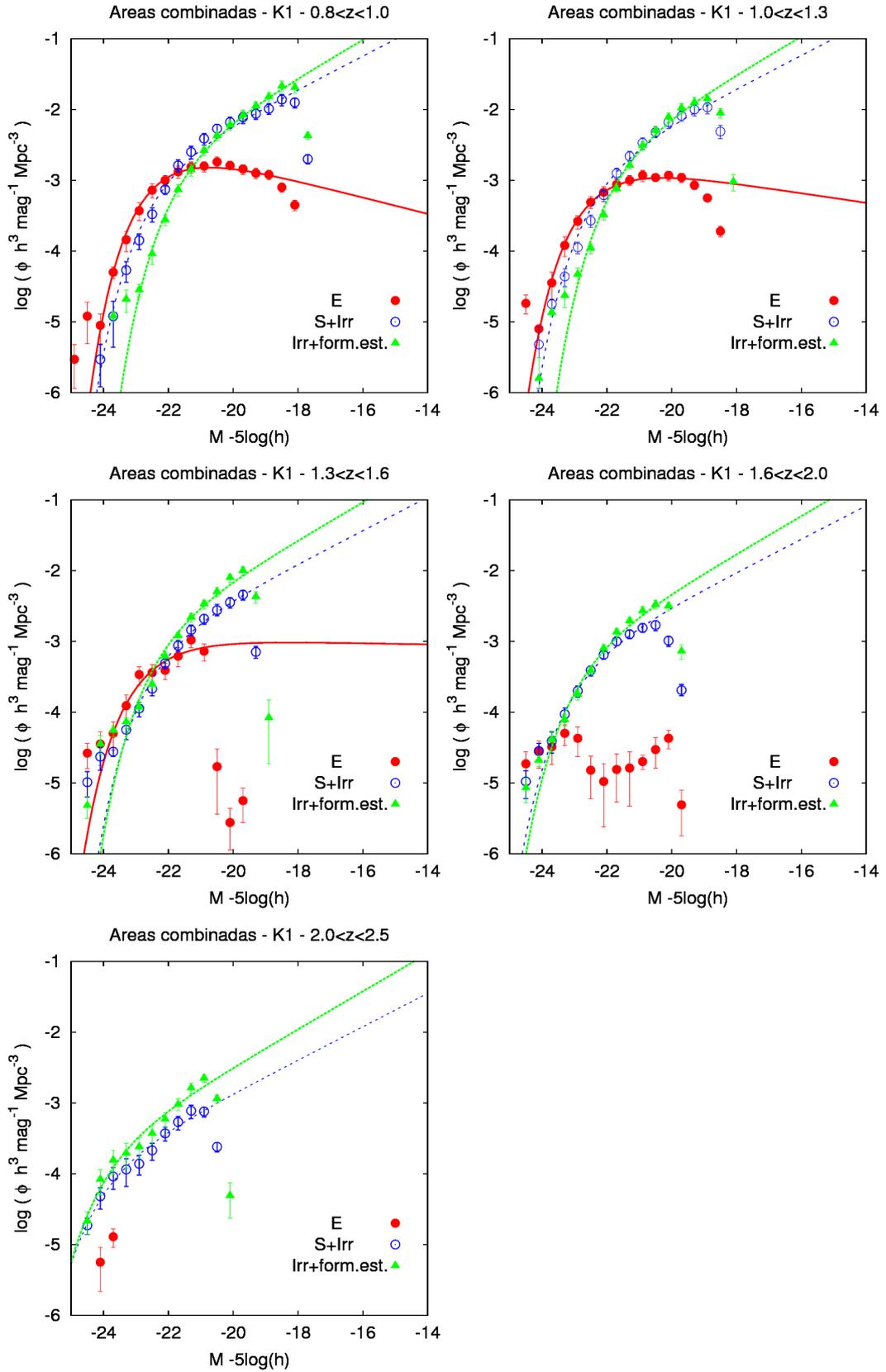


Figura 4.17: Funções de luminosidade e ajustes de Schechter para a combinação das quatro áreas do CFHTLS, no intervalo de 0.8 a 2.5, usando a correção K1. As Elípticas são mostradas com círculos cheios vermelhos, o conjunto Espirais + Irregulares e círculos vazios azuis e o conjunto Irregulares + galáxias dominadas por formação estelar com triângulos cheios verdes.

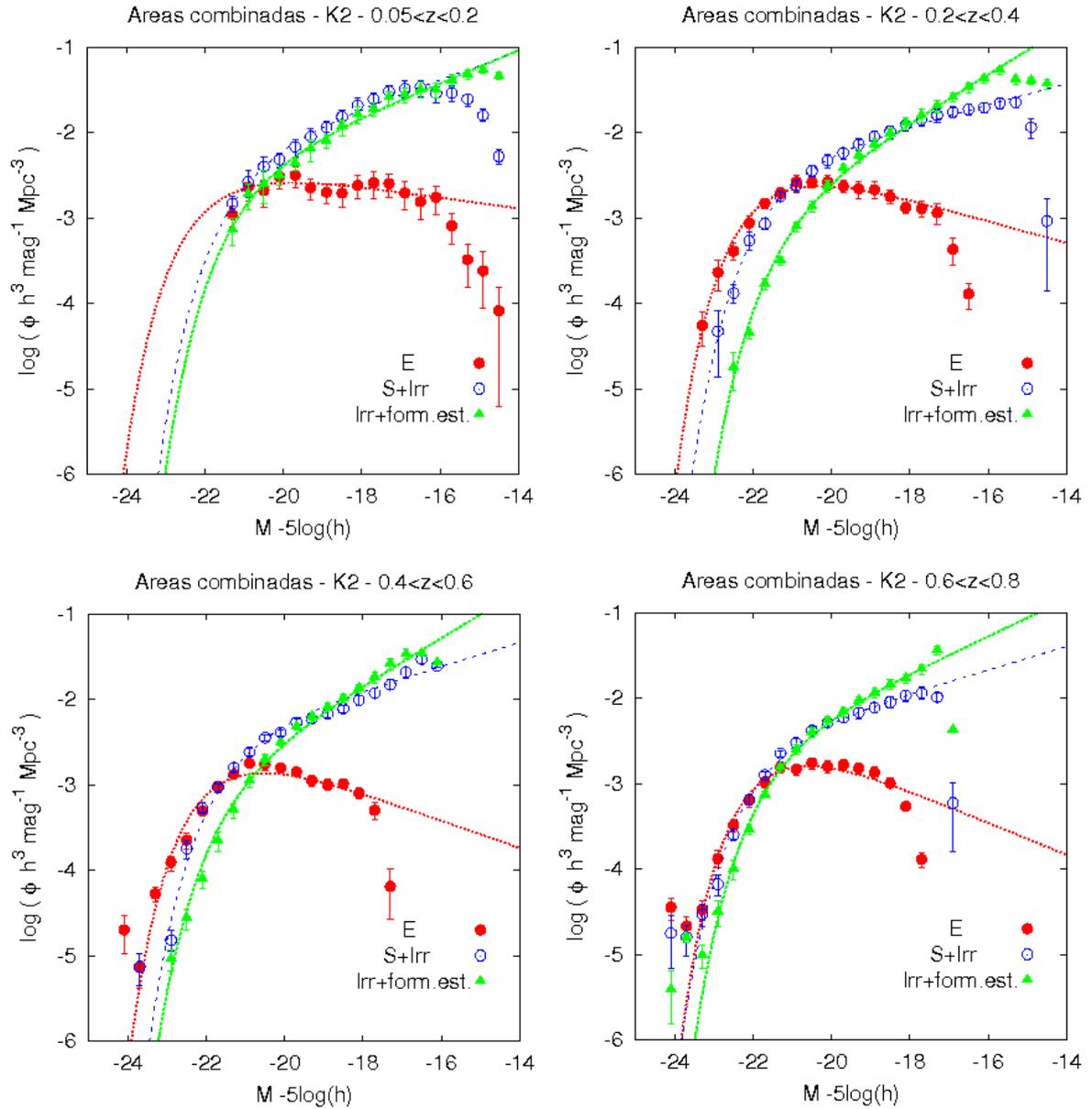


Figura 4.18: Funções de luminosidade e ajustes de Schechter para a combinação das quatro áreas do CFHTLS, no intervalo de 0.05 a 0.8, usando a correção K2. As Elípticas são mostradas com círculos cheios vermelhos, o conjunto Espirais + Irregulares e círculos vazios azuis e o conjunto Irregulares + galáxias dominadas por formação estelar com triângulos cheios verdes.

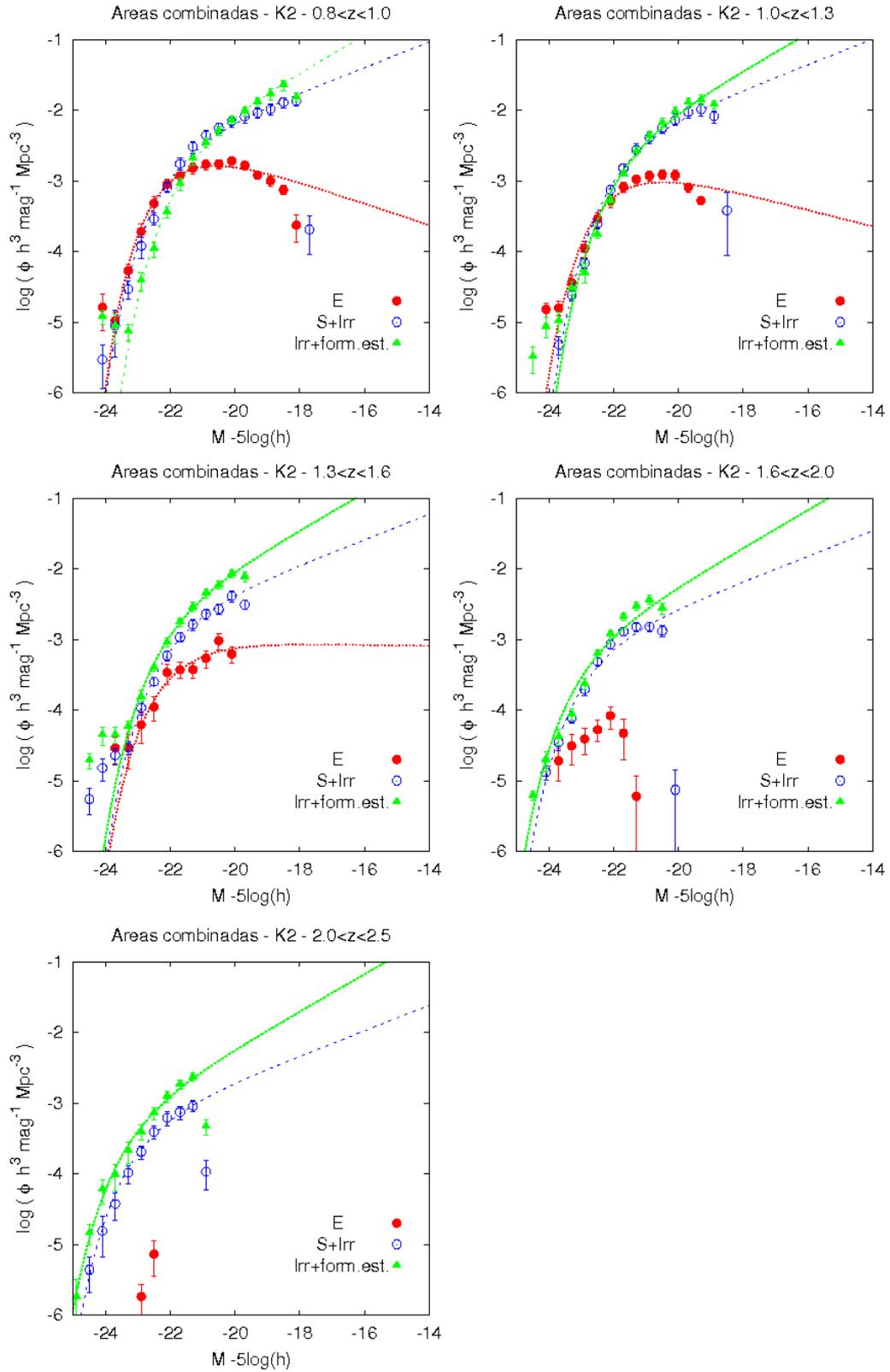


Figura 4.19: Funções de luminosidade e ajustes de Schechter para a combinação das quatro áreas do CFHTLS, no intervalo de 0.8 a 2.5, usando a correção K2. As Elípticas são mostradas com círculos cheios vermelhos, o conjunto Espirais + Irregulares e círculos vazios azuis e o conjunto Irregulares + galáxias dominadas por formação estelar com triângulos cheios verdes.

Tabela 4.5: Parâmetros M^* , ϕ^* e α dos ajustes da função de Schechter, e seus erros, para as diferentes classes espectrais do levantamento CFHTLS. Para os últimos intervalos de *redshif* das classes S+Irr e Irr+form.est. o valor de α está fixado naquele determinado no intervalo $z=[0.8-1.0]$

Elípticas												
K1							K2					
$\langle z \rangle$	M^*	ϵ_M	ϕ^*	ϵ_ϕ	α	ϵ_α	M^*	ϵ_M	ϕ^*	ϵ_ϕ	α	ϵ_α
0.10	-21.86	0.69	4.51	0.91	-0.82	0.07	-21.74	0.79	4.38	0.82	-0.84	0.07
0.30	-21.75	0.06	5.55	0.48	-0.62	0.05	-21.54	0.06	5.08	0.46	-0.68	0.05
0.50	-21.98	0.08	2.96	0.42	-0.58	0.08	-21.54	0.10	3.18	0.48	-0.60	0.08
0.70	-21.81	0.07	4.13	0.43	-0.49	0.07	-21.42	0.06	3.94	0.41	-0.53	0.07
0.90	-22.07	0.04	3.14	0.24	-0.71	0.04	-21.64	0.04	3.72	0.27	-0.62	0.05
1.15	-22.19	0.03	1.88	0.12	-0.83	0.04	-21.81	0.13	1.98	0.42	-0.71	0.16
1.45	-22.49	0.32	1.15	0.46	-0.98	0.32	-21.79	0.38	1.01	0.47	-0.98	0.35
S+Irr												
K1							K2					
$\langle z \rangle$	M^*	ϵ_M	ϕ^*	ϵ_ϕ	α	ϵ_α	M^*	ϵ_M	ϕ^*	ϵ_ϕ	α	ϵ_α
0.10	-21.00	0.24	6.56	1.77	-1.42	0.06	-20.95	0.22	6.97	1.75	-1.41	0.05
0.30	-21.42	0.04	4.74	0.32	-1.32	0.02	-21.32	0.04	5.01	0.37	-1.31	0.02
0.50	-21.57	0.07	3.26	0.41	-1.42	0.03	-21.23	0.08	4.88	0.86	-1.35	0.05
0.70	-21.67	0.02	4.06	0.20	-1.33	0.02	-21.63	0.07	3.98	0.57	-1.34	0.05
0.90	-22.18	0.08	2.15	0.42	-1.59	0.07	-21.83	0.08	3.88	0.72	-1.45	0.07
1.15	-22.09	0.06	2.31	0.28	-1.59	-	-21.69	0.05	4.52	0.55	-1.45	-
1.45	-22.20	0.06	1.37	0.14	-1.59	-	-21.86	0.02	2.46	0.11	-1.45	-
1.80	-22.75	0.06	0.77	0.07	-1.59	-	-22.61	0.09	1.05	0.17	-1.45	-
2.25	-23.87	0.12	0.18	0.02	-1.59	-	-22.88	0.05	0.66	0.07	-1.45	-
Irr+form.est.												
K1							K2					
$\langle z \rangle$	M^*	ϵ_M	ϕ^*	ϵ_ϕ	α	ϵ_α	M^*	ϵ_M	ϕ^*	ϵ_ϕ	α	ϵ_α
0.10	-20.55	0.13	6.64	1.17	-1.41	0.03	-20.84	0.16	4.82	0.96	-1.48	0.04
0.30	-20.97	0.09	2.12	0.66	-1.70	0.05	-20.99	0.06	2.09	0.27	-1.70	0.03
0.50	-21.16	0.07	2.10	0.38	-1.69	0.05	-21.23	0.09	2.04	0.42	-1.69	0.05
0.70	-21.52	0.06	3.00	0.37	-1.60	0.04	-21.35	0.05	4.01	0.42	-1.54	0.04
0.90	-21.38	0.06	3.81	0.53	-1.67	0.05	-21.40	0.07	4.69	0.76	-1.66	0.06
1.15	-21.45	0.05	4.06	0.45	-1.67	-	-21.67	0.08	4.22	0.76	-1.66	-
1.45	-22.07	0.10	2.37	0.43	-1.67	-	-21.99	0.04	3.36	0.25	-1.66	-
1.80	-22.60	0.09	1.09	0.15	-1.67	-	-22.86	0.10	1.06	0.23	-1.66	-
2.25	-23.72	0.14	0.35	0.07	-1.67	-	-23.16	0.04	0.93	0.09	-1.66	-

Pode-se verificar nessas figuras as distintas funções de luminosidade para as diferentes classes espectrais, guardando semelhança com outros trabalhos como Gabash et al. (2008) e Zucca et al. (2009) que analisam bandas mais vermelhas. A principal diferença no uso das diferentes correções K é para galáxias Elípticas, o que é esperado já que a correção K2 reflete essencialmente uma evolução passiva, característica desses objetos. O baixo número de Elípticas impede a determinação de uma função de luminosidade para $z_{phot} > 1.6$.

A evolução da magnitude M^* e da densidade ϕ^* características da função de luminosidade para as diferentes classes espectrais aqui consideradas são mostradas nas figuras 4.20 a 4.22 e 4.23 a 4.25 respectivamente. As diferenças decorrentes do uso das diferentes correções são apresentadas em cada painel.

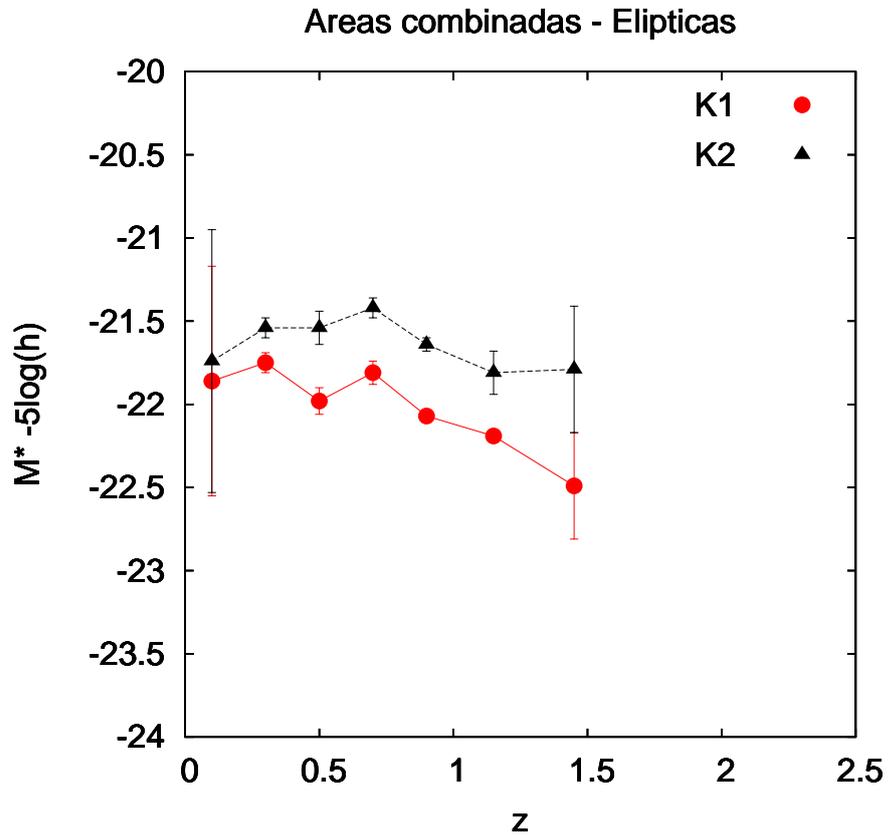


Figura 4.20: *Evolução da magnitude característica M^* da função de luminosidade de galáxias Elípticas para as correção K1 (círculos cheios vermelhos) e K2 (triângulos cheios pretos)*

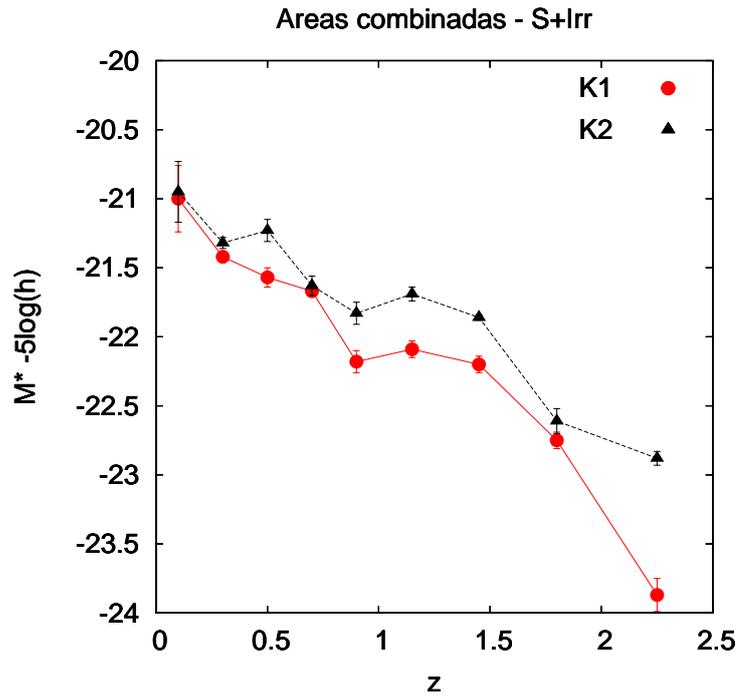


Figura 4.21: *Evolução da magnitude característica M^* da função de luminosidade de galáxias Espirais e Irregulares para as correção K1 (círculos cheios vermelhos) e K2 (triângulos cheios pretos)*

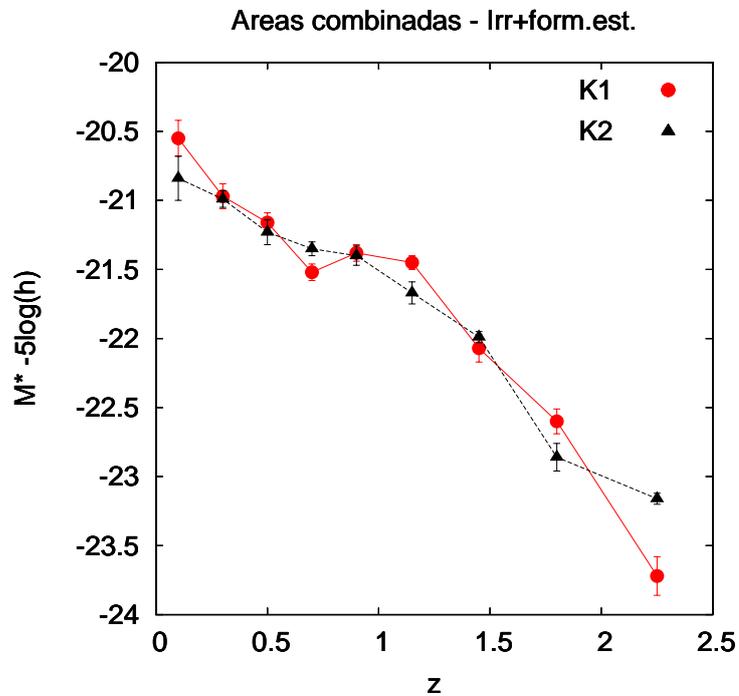


Figura 4.22: *Evolução da magnitude característica M^* da função de luminosidade de galáxias Irregulares e dominadas por formação estelar para as correção K1 (círculos cheios vermelhos) e K2 (triângulos cheios pretos)*

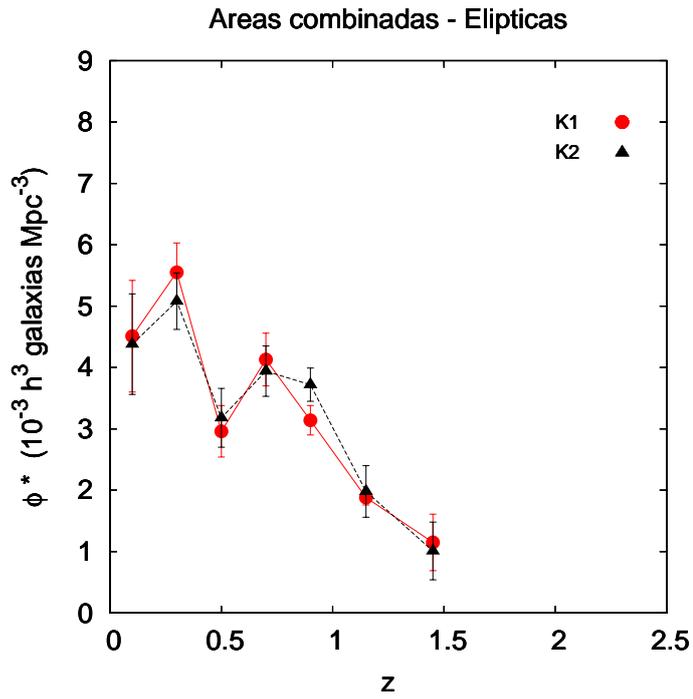


Figura 4.23: *Evolução da densidade característica ϕ^* da função de luminosidade de galáxias Elípticas para as correção K1 (círculos cheios vermelhos) e K2 (triângulos cheios pretos)*

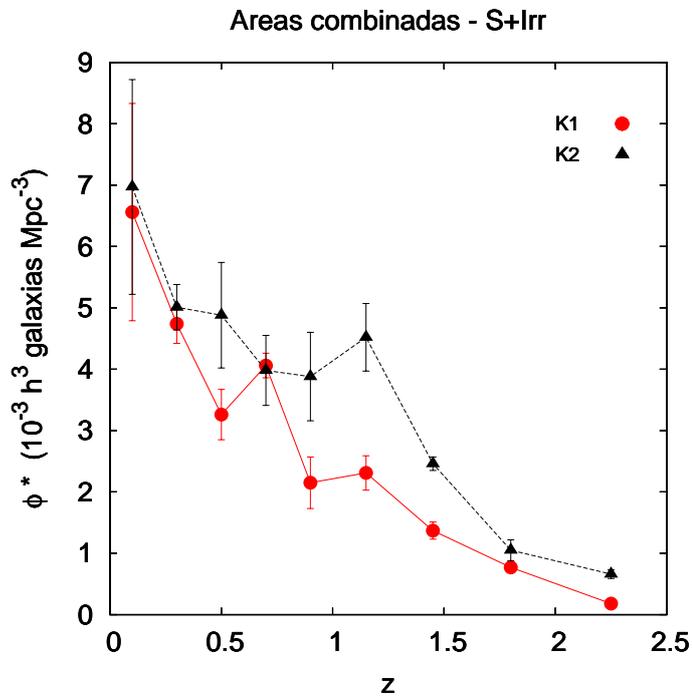


Figura 4.24: *Evolução da densidade característica ϕ^* da função de luminosidade de galáxias Espirais e Irregulares para as correção K1 (círculos cheios vermelhos) e K2 (triângulos cheios pretos)*

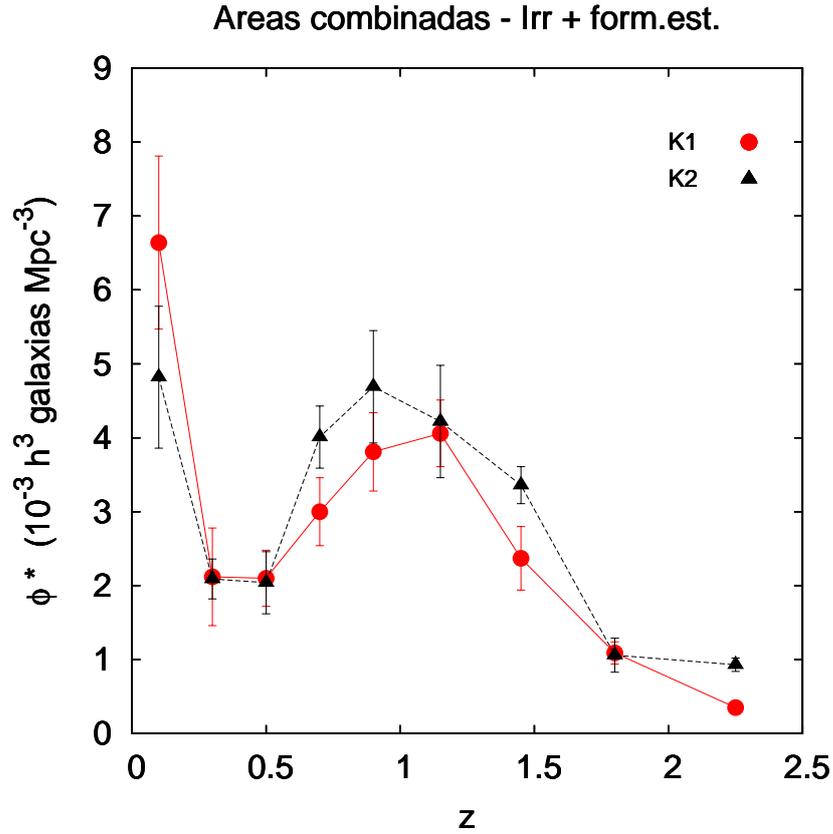


Figura 4.25: *Evolução da densidade característica ϕ^* da função de luminosidade de galáxias Irregulares e dominadas por formação estelar para as correção K1 (círculos cheios vermelhos) e K2 (triângulos cheios pretos)*

Esses resultados mostram clara evolução tanto em luminosidade como na densidade característica das funções de luminosidade. As galáxias Elípticas evoluem em luminosidade tornando-se mais fracas de $z = 1.5$ a $z = 0$ por ≈ 0.7 mag (em magnitude absoluta) e crescem em densidade numérica por um fator ≈ 5 . A evolução em luminosidade é razoavelmente bem representada por uma evolução passiva como mostra o resultado da correção K2, com a qual M^* pouco varia, sendo próxima de $-21.5 - 5\log(h)$.

As galáxias Espirais e Irregulares evoluem em luminosidade tornan-se menos luminosas, desde $z \approx 2.2$ até $z = 0$, por cerca de 2 magnitudes (em magnitude absoluta) e crescem em densidade numérica por um fator ≈ 6 .

A classe que reúne as galáxias com expressiva formação estelar, representada pelo conjunto de Irregulares e galáxias dominadas por formação estelar, decresce sua luminosidade de quase 3 mag (em magnitude absoluta na sua evolução entre $z \approx 2.2$ e $z = 0$). A evolução da densidade característica desses objetos apresenta um crescimento de um fator ≈ 4 entre $z \approx 2.2$ e $z \approx 1.2$, decresce por um fator ≈ 0.5 até $z \approx 0.3$. Em nossos resultados ϕ^* volta a crescer por um fator ≈ 3 até $z = 0$.

Capítulo 5

Conclusões e Perspectivas

Procuramos neste trabalho examinar a reprodutibilidade de resultados relativos à função de luminosidade de galáxias e sua evolução com o tempo cósmico, utilizando *redshifts* fotométricos. A disponibilidade dos dados dos campos Deep do CFHTLS foi fundamental para esta análise, assim como estudo feito anteriormente por Ilbert et al. (2005) utilizando *redshifts* espectroscópicos. Desta forma, baseamos toda nossa comparação neste trabalho, restringimo-nos à banda i' , pelas limitações de tempo para conclusão desta tese.

No que concerne a comparação de *redshifts* fotométricos e espectroscópicos deve-se mencionar que Ramos (2009) utilizando o mesmo campo D1 do CFHTLS para o estudo da função de correlação angular de galáxias mostra dois aspectos de interesse para as conclusões aqui apresentadas. Primeiramente, a dificuldade de se escolher uma estimativa de erro para os *redshifts* fotométricos, já que o parâmetro indicativo representado pela diferença $\Delta z = z_{\text{fot}} - z_{\text{esp}}$ não correlaciona com as incertezas provenientes dos ajustes da melhor SED para cada objeto, utilizando-se o código LePhare. Em segundo lugar Ramos (2008) chama atenção para o fato de que o menor espalhamento em Δz só ocorre quando se compara z_{fot} com uma amostra reduzida contendo as galáxias com menores incertezas em z_{esp} . Desta forma, no que concerne erros nos *redshifts* fotométricos avaliamos apenas uma possível eliminação de galáxias cujos erros em z_{fot} fossem superiores a $0.5 \times z_{\text{fot}}$. Os resultados mostraram que apenas no intervalo de $z_{\text{fot}} < 0.2$ os erros catastróficos poderiam causar diferenças nas funções de luminosidade, em geral no seu domínio de magnitudes fracas. Para manter homogeneidade na análise optamos neste trabalho por descartar galáxias apresentando erros na fotometria superiores a $\epsilon_m = 0.3$ e no *redshift* fotométrico superiores a $0.5 \times z_{\text{fot}}$. O número de objetos descartados é extremamente reduzido.

De um modo geral, o bom acordo geral das funções obtidas com *redshifts* fotométricos com aqueles provenientes de *redshifts* espectroscópicos de uma amostra idêntica na área do mapeamento VVDS e selecionada por conter ambos os *redshifts* mostra que os primeiros podem ser usados com confiança para análises envolvendo funções de luminosidade. Além disso, os resultados obtidos por Ilbert et al. (2005) são bastante bem reproduzidos

utilizando-se *redshifts* fotométricos. O limite de confiança parece se estender até *redshifts* $z \approx 2$ e os resultados mostram que futuros levantamentos fotométricos como o DES poderão utilizar os *redshifts* assim determinados para análises relevantes sobre a evolução de luminosidade de galáxias.

A chamada correção K é um fator essencial para a determinação das magnitudes absolutas e uma fonte de erro igualmente importante. Para sermos consistentes com o código de determinação de *redshifts* fotométricos, LePhare, utilizamos suas determinações de correção K, sem evolução de luminosidade, como a correção padrão deste trabalho. De fato, esta forneceu as funções de luminosidade, e suas evoluções, mais semelhantes às obtidas por Ilbert et al. (2005). Para avaliar o que seria esperado de uma evolução passiva, incluímos em todas as análises, os resultados decorrentes do uso da correção K como descrita por Annis (2000) para o SDSS. Apenas as galáxias Elípticas mostraram que sua evolução pode ser razoavelmente bem representada por uma correção deste tipo.

As análises realizadas tanto de áreas individuais como do conjunto de áreas do CFHTLS mostraram alguns resultados interessantes como discutidos a seguir.

As funções de luminosidade de cada área individualmente (cerca de 0.8 graus quadrados) mostram nas figuras 4.19 a 4.32 os efeitos da variância cósmica. É interessante notar que o campo D3 apresenta sistematicamente funções de luminosidade mais baixas para todos os intervalos de *redshift*. Este resultado não é esperado como mostram as figuras para os diferentes intervalos de *redshifts*, onde as outras tres áreas alternam suas posições relativas. Este resultado indica que o campo D3 pode sofrer de algum erro sistemático nos resultados aqui apresentados. Entretanto, a combinação das quatro áreas, equivalendo a cerca de 3 graus quadrados, mostra nas figuras 4.33 a 4.41 um efeito de variação cósmica bastante reduzido. As figuras 4.42 e 4.43 mostram que esse efeito na área combinada equivale, em $z \approx 1$, a uma incerteza na magnitude característica M^* de cerca de 0.05 mag e uma incerteza na densidade característica ϕ^* de cerca de $0.25 \times 10^3 h^3$ galáxias Mpc^{-3} .

Foi possível verificar no domínio de baixos *redshifts*, $z_{tot} < 0.4$ o crescimento da função de luminosidade no limite fraco de magnitudes como apontado por Blanton et al. (2003) e especialmente com a análise das quatro área do CFHTLS identificar este crescimento com a classe agrupando Irregulares e galáxias dominadas por formação estelar.

Os resultados da análise das quatro áreas do CFHTLS obtidos neste trabalho deixam pouca dúvida sobre a existência de evolução na luminosidade e na densidade de galáxias com magnitudes absolutas no entorno de M^* . A evolução da luminosidade na banda i' , com o tempo cósmico, é bastante significativa, cerca de 1 mag, de $z = 2.2$ a $z = 1.2$ como mostra a figura 4.42. De $z = 1.2$ a $z = 0.3$ a magnitude característica M^* permanece aproximadamente constante em $-22.4 - 5\log(h)$. De $z = 0.3$ a $z = 0$ a magnitude característica torna-se mais fraca em ≈ 1 mag. O uso de uma correção K com evolução passiva apenas muda o valor absoluto das magnitudes mantendo-se a mesma conclusão geral. Deve-se mencionar que Faber et al. analisando o DEEP2 e o COMBO-17 encontram uma evolução

semelhante na banda B para a qual eles encontram uma diminuição de luminosidade M^* de 1.2 - 1.3 mag, de $z = 1$ a $z = 0$, compatível com o que aqui deduzimos.

No caso do parâmetro característico da densidade, ϕ^* , encontramos neste trabalho um aumento muito expressivo da densidade (fator ≈ 3) no pequeno intervalo $z < 0.5$ comparado com um aumento (fator ≈ 2) num intervalo bem maior, entre $z = 2.2$ e $z = 0.5$ (figura 4.43). Neste caso, Faber et al. encontram que a densidade característica "pelo menos dobra", para $z < 1$ também mostrando grande semelhança com os resultados aqui obtidos.

Códigos para a determinação de *redshifts* fotométricos como o LePhare proporcionam a vantagem de fornecer uma classificação espectral das galáxias decorrente da associação de uma SED ao objeto estudado, por um processo de ajuste de mínimos quadrados das magnitudes (observadas e esperadas) nas diferentes bandas. Esta vantagem tem sido explorada por diferentes autores com vários resultados importantes (Gabash et al. 2004, 2006, Zucca et al. 2006, 2008). Usando as classificações espectrais provenientes do código LePhare separamos as galáxias em três classes distintas: (1) Elíptica, (2) Espirais + Irregulares e (3) Irregulares + galáxias dominadas por formação estelar. A análise destas classes em termos da função de luminosidade revela aspectos bastante interessantes para a melhor compreensão de um cenário correto para a formação e evolução de galáxias.

As galáxias Elípticas começam a se tornar relevantes numericamente em tempos cosmológicos mais recentes que $z = 1.6$ e suas funções de luminosidade são sempre bastante distintas das outras classes, indicando sempre uma diferença expressiva. A evolução de M^* é moderada, tornando-se mais fraca por 0.7 mag entre $z = 1.5$ e $z = 0$ (figura 4.62). Deve-se notar que Zucca et al. (2006), analisando a amostra espectroscópica VVDS, na banda B, encontram uma diferença de ≈ 0.5 no intervalo $1.1 > z > 0.3$, compatível com o que encontramos, se limitarmos nossos resultados ao mesmo intervalo. Analisando a amostra espectroscópica do z-Cosmos, na banda B, Zucca et al. (2009) também encontram um decréscimo de ≈ 0.6 mag entre $z = 1$ e $z = 0$. Esta evolução pode ser, em grande parte, explicada por evolução passiva, como pode-se constatar ao se utilizar uma correção como a K2, como neste trabalho. Esta correção reflete a evolução de luminosidade de uma população estelar formada num evento único de formação e quando utilizada fornece resultados quase constantes para as magnitudes absolutas M^* de $z = 1.6$ a $z = 0$.

No que concerne à densidade característica ϕ^* , as galáxias Elípticas crescem por um fator ≈ 5 no mesmo domínio $1.6 > z > 0$ (figura 4.65). Zucca et al. (2006) encontram resultado bastante semelhante: o crescimento por um fator ≈ 3 entre $z = 1.4$ e $z = 0.3$, enquanto para o z-Cosmos Zucca et al. (2009) estimam um crescimento em ϕ^* de um fator ≈ 1.7 entre $z = 1$ e $z = 0$, essencialmente o mesmo que encontramos limitando os dados do CHTLS a esse intervalo.

As galáxias da classe 2 são representativas das chamadas galáxias tipo *late*, incluindo de Espirais Sa a Irregulares. Eses objetos existem em todo o domínio de *redshidfts* aqui

analisado (até $z \approx 2.5$). Entre $z = 2.2$ e $z = 0$ estes objetos decaem na magnitude absoluta característica por cerca de 2 magnitudes (figura 4.63). Se limitarmos nosso resultado para o intervalo $z = 1.4$ a $z = 0.3$ ele é semelhante ao encontrado por Zucca et al. (2006) de uma variação de ≈ 0.5 mag no intervalo $z = 1.4$ a $z = 0.3$ para quase todos os tipos espectrais. Esses objetos também mostram na nossa análise um crescimento na densidade característica, ϕ^* , de um fator ≈ 6.5 de $z = 2.2$ a $z = 0$ (figura 4.66). Este resultado também é compatível com o encontrado por Zucca et al. (2006) de um fator ≈ 3 no intervalo $z = 1.4$ a $z = 0.3$ para as classes por eles definidas como "Type 2" e "Type 3", supostamente galáxias espirais. Por outro lado, tanto Faber et al. (2007) quanto Zucca et al. (2009) encontram pouca evolução em M^* e ϕ^* para suas classes espectrais intermediárias. Entretanto, pode ser que estas melhor representem as galáxias Espirais "early" do que o conjunto por nós considerado, incluindo Irregulares.

Finalmente a classe 3, aqui estudada, composta de Irregulares e galáxias dominadas por formação estelar mostra evolução na luminosidade semelhante à classe 2, mas atingindo quase 3 magnitudes entre $z = 2.2$ e $z = 0$ (figura 4.64). Esta classe também apresenta a maior evolução (decréscimo) em M^* na análise de Zucca et al. (2006): ≈ 1.5 mag entre $z = 1.4$ e $z = 0.3$ em concordância com o resultado aqui obtido. Os dados espectroscópicos do z-Cosmos analisados por Zucca et al. (2009) mostram também uma evolução semelhante para esses objetos, tornando M^* mais fraca por 0.5 mag de $z = 1$ a $z = 0$. Já a evolução de ϕ^* para estas galáxias apresenta em nossos resultados uma evolução mais complexa (figura 4.67). Esses objetos crescem em densidade numérica por um fator ≈ 4 de $z = 2.2$ a $z = 1.2$, decaindo em densidade por um fator ≈ 0.5 até $z \approx 0.3$ voltando a crescer por um fator ≈ 3 até $z = 0$. Zucca et al. (2006) registram também uma queda na densidade desses objetos por um fator ≈ 0.35 de $z = 1.1$ a $z = 0.3$, semelhante ao que encontramos neste trabalho. Por outro lado Faber et al. (2007) interpretam os dados do DEEP2 e do COMBO-17 como não havendo variação significativa de ϕ^* de $z = 1$ a $z = 0$, enquanto Zucca et al. (2009) mostram uma diminuição de ϕ^* para o z-Cosmos por um fator ≈ 0.5 de $z = 1$ a $z = 0$ sem mencionar um crescimento no Universo local.

O crescimento de ϕ^* para $z < 0.3$ para a classe 3, nos nossos resultados, não pode ser tomado com confiança devido à falta de definição da função de luminosidade em sua parte brilhante. Entretanto, se real, essa diferença com relação a Faber et al. (2007) e Zucca et al. (2009) pode ser interpretada como proveniente da diferença de bandas utilizadas: no nosso trabalho a banda i' e nos casos dos outros autores a banda B. Para as galáxias de expressiva formação estelar, ao se utilizar a banda i' está sendo observada a população de estrelas velhas desses objetos, enquanto ao se utilizar a banda B está sendo observada a população jovem responsável pela formação estelar. Em ambos os casos, ao longo do tempo cósmico, existe uma contribuição da história da formação estelar do Universo (ex. Madau 1998, Tresse 2007) com máximo em $z \approx 2.5$ e decrescente para menores valores de z e uma contribuição da taxa de fusão de objetos (ex. Conselice 2006) que se mantém

aproximadamente constante de $z = 2.5$ a $z = 0.4$, quando decresce significativamente. No caso da banda B, estamos vendo estrelas jovens que representam um processo com máximo em z entre 1 e 2 e provável declínio até $z = 0$. No caso da banda i' , podemos estar vendo a competição entre a formação estelar (novos objetos) e fusão (diminuição do número de objetos) ser dominada por este último por volta de $z = 0.9$. O declínio da taxa de fusão em $z \approx 0.4$ pode justificar um novo crescimento de ϕ^* já que estamos observando a população de estrelas resultantes desta evolução, em número sempre crescente.

Estes resultados mostram que reproduzimos com *redshifts* fotométricos os principais resultados de quatro levantamentos até $z \approx 1.2$ (VVDS, COMBO-17, DEEP2 e z-COSMOS), três dos quais realizados utilizando-se *redshifts* espectroscópicos. A extensão de nossos resultados a $z \approx 2.2$ parece compatível com os resultados encontrados em *redshifts* mais baixos, formando um quadro evolutivo coerente. Esses resultados mostram as diferentes histórias evolutivas das diferentes classes espectrais e suas contribuições relativas para a função de luminosidade global. Em particular, os resultados se mostram compatíveis com um cenário no qual o decréscimo da densidade de galáxias com expressiva formação estelar seja associado ao crescimento da densidade da classe de Elípticas, um processo que poderia ocorrer pela fusão das primeiras. Coerentemente com esta interpretação, Elípticas começam a dominar a parte brilhante da função de luminosidade em $z \approx 1$, como mostram as figuras 4.44 a 4.52.

Diversas análises seriam interessantes e necessárias como continuidade ao que foi investigado neste trabalho. Por exemplo, seria de grande importância uma comparação com resultados obtidos com *redshifts* espectroscópicos $z > 2$, o que deverá se tornar possível com amostras mais fundas que deverão ser obtidas durante os próximos anos.

Não analisamos neste trabalho a inclinação da função de luminosidade em sua parte fraca, por uma questão de limitação de tempo e pelo fato de que tal análise só pode ser feita com os dados aqui utilizados até $z = 1$. Uma inspeção na Tabela 4.4 sugere a diminuição de α com o tempo cósmico de ≈ 1.5 a ≈ 1.3 , entre $z - 1$ e $z = 0$. Existem divergências entre diferentes autores se esta inclinação varia e os resultados de análises de diferentes amostras são discrepantes. Esta talvez seja uma questão que também dependa de amostras mais fundas.

Uma forma diferente de análise, alternativa à função de luminosidade, é o estudo da densidade de luminosidade, bastante utilizada atualmente por diversos autores. Sua vantagem consiste no fato de que contabiliza um parâmetro de natureza física mais fundamental como a densidade de energia luminosa. A reanálise dos dados aqui estudados, sob este ponto de vista, pode ser mais reveladora dos processos físicos envolvidos na evolução das galáxias. A extensão desta análise para diferentes bandas, especialmente as mais azuis, pode permitir uma comparação mais direta com as análises dos outros autores aqui mencionados, além de permitir a investigação de taxas de formação estelar e ampliar a visão do processo evolutivo das galáxias aqui estudado.

Referências Bibliográficas

- Bernardi, M.; Sheth, R. K.; Annis, J. et al. Early-type Galaxies in the Sloan Digital Sky Survey. II. Correlations between Observables **Astronomical Journal**, v. 125, p. 1849-1865, 2003
- Blanton, M. R.; Dalcanton, J.; Eisenstein, D. et al. The Luminosity Function of Galaxies in SDSS Commissioning Data **Astronomical Journal**, v.121, p. 2358-2380, 20013
- Blanton, M. R.; Hogg, D. W.; Bahcall, N. A. et al. The Galaxy Luminosity Function and Luminosity Density at Redshift $z = 0.1$ **The Astrophysical Journal**, v.592, p. 819–838, 2003
- Binggeli, B.; Sandage, A.; Tammann, G. A. The Function of Luminosity of Galaxy **The Astronomical Journal**, v. 92, p. 1436-1444, 1986.
- Bromley, B. C.; Press, W. H.; Lin H.; Kirshner, R. P. Spectral Classification and Luminosity Function of Galaxies in the Las Campanas Redshift Survey **The Astrophysical Journal**, v.505, p. 25-36, 1998
- Bruzual, G. A.; Charlot, S. Spectral evolution of stellar populations using isochrone synthesis **The Astrophysical Journal**, v.405, p. 538-553, 1993
- Cimatti, A.; Mignoli, M.; Daddi, E. et al. III. Photometric and spectroscopic properties of the sample **Astronomy & Astrophysics**, v.392, p. 395-406,2002
- Cole, S.; Norberg, P.; Baugh, C. M. et al. The 2dF galaxy redshift survey: near-infrared galaxy luminosity functions **Mon. Not. R. Astron. Soc.**, v.326, p. 255–273, 2001
- Coleman G. D.; Wu Chi-Chao; Weedman D. W. Colors and magnitudes predicted for high redshift galaxies **Astrophysical Journal Supplement Series**, v. 43, p. 393-416, 1980
- Davis, M.; Faber, S. M.; Newman, J. A. et al. Science Objectives and Early Results of the DEEP2 Redshift Survey **SPIE**, v.4834, p. 161-172, 2003
- de Lapparent, V.; Galaz, G.; Bardelli, S.; Arnouts, S. The ESO-Sculptor Survey: Luminosity functions of galaxies per spectral type at redshifts 0.1-0.5 **Astronomy & Astrophysics**, v.404, p.831-860, 2003
- Dressler, A. Galaxy morphology in rich clusters - Implications for the formation and evolution of galaxies **Astronomy & Astrophysics**, v.236, p.351-365, 1980

- Eales S. Direct construction of the galaxy luminosity function as a function of redshift **The Astrophysical Journal**, v.404, p.51-62, 1993
- Faber, S. M.; Willmer, C. N. A.; Wolf, C. et al. Galaxy Luminosity Functions to $z = 1$ from DEEP2 and COMBO-17: Implications for Red Galaxy Formation **The Astrophysical Journal**, v.665, p.265-294, 2007
- Felten, J. E. Study of the luminosity function for field galaxies **Astronomy & Astrophysics**, v.82, p. 861-878, 1977
- Fioc, M.; Rocca-Volmerange, B. PEGASE: a UV to NIR spectral evolution model of galaxies. Application to the calibration of bright galaxy counts. **Astronomy & Astrophysics**, v.326, p.950-962, 1997
- Folkes, S.; Ronen, S.; Price, I. et al. The 2dF Galaxy Redshift Survey: spectral types and luminosity functions **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v.308, p. 459-472, 1999
- Gabasch, A.; Bender, R.; Seitz, S. et al. The evolution of the luminosity functions in the FORS Deep Field from low to high redshift. I. The blue bands **Astronomy & Astrophysics**, v.421, p.41-58, 2004
- Gabasch, A.; Hopp, U.; Feulner, G.; et al. The evolution of the luminosity functions in the FORS deep field from low to high redshift. II. The red bands **Astronomy & Astrophysics**, v.448, p. 101-121, 2006
- Heyl, J.; Colles, M.; Ellis, R. S.; Broadhurst, T. Autofib Redshift Survey - II. Evolution of the galaxy luminosity function by spectral type **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v.285, p. 613-634, 1997
- Ilbert, O.; Tresse, L.; Arnouts S. et al. Bias in the estimation of global luminosity functions **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v.351, p. 541-551, 2004
- Ilbert, O.; Tresse, L.; Zucca, E. et al. The VIMOS-VLT deep survey. Evolution of the galaxy luminosity function up to $z = 2$ in first epoch data **Astronomy & Astrophysics**, v.439, p. 863-876, 2005
- Ilbert, O. et al. Accurate photometric redshifts for the CFHT legacy survey calibrated using the VIMOS VLT deep survey **Astronomy & Astrophysics**, v. 89, p. 280-288, 1984.
- Ilbert, O.; Arnouts, S.; McCracken, H. J. et al. Accurate photometric redshifts for the CFHT legacy survey calibrated using the VIMOS VLT deep survey **Astronomy & Astrophysics**, v.457, p. 841-856, 2006
- Im, M.; Simard, L.; Faber, S. M. et al. The DEEP Groth Strip Survey. X. Number Density and Luminosity Function of Field E/S0 Galaxies at $z < 1$ **The Astrophysical Journal**, v.571, p. 136-171, 2002

- Jarrett, T. H.; Chester, T.; Cutri, R.; Schneider, S.; Skrutskie, M.; Huchra, J. P. 2MASS Extended Source Catalog: Overview and Algorithms **The Astronomical Journal**, v.119, p. 2498-2531, 2000
- Kinney A. L.; Calzetti D.; Bohlin R. C.; McQuade K.; Storchi-Bergmann T.; Schmitt H. R. Template Ultraviolet to Near-Infrared Spectra of Star-forming Galaxies and Their Application to K-Corrections **The Astrophysical Journal**, v.467, p.38-60, 1996
- Kochanek, C. S.; Pahre, M. A.; Falco, E. E.; Huchra J. P.; Mader J.; Jarret, T. H.; Cutri, R.; Schneider, S. E. The K-Band Galaxy Luminosity Function **The Astrophysical Journal**, v.560, p. 566-579, 2001
- Le Fevre, O.; Mellier, Y.; McCracken H. J. et al. The VIRMOS deep imaging survey. I. Overview, survey strategy, and CFH12K observations **Astronomy & Astrophysics**, v.417, p. 839-846, 2004
- Le Fevre, O.; Vettolani, G.; Garilli, B. et al. The VIMOS VLT deep survey. First epoch VVDS-deep survey: 11 564 spectra with $17.5 \leq I_{AB} \leq 24$, and the redshift distribution over $0 \leq z \leq 5$ **Astronomy & Astrophysics**, v.439, p. 845-862, 2005
- Lilly, S. J.;Tresse L.; Hammer F.; Crampton D.; Le Fèvre O. The Canada-France Redshift Survey. VI. Evolution of the Galaxy Luminosity Function to Z approximately 1 **The Astrophysical Journal**, v.455, p.108-124, 1995
- Lynden-Bell, D. A method of allowing for known observational selection in small samples applied to 3CR quasars **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v.155, p. 95-118, 1971
- Madau, P.; Pozzetti, L.; Dickinson M. The Star Formation History of Field Galaxies **The Astrophysical Journal**, v.498, p.106-116, 1998
- Madgwick, D. S.; Lahav, O.; Baldry, I. K. et al. The 2dF Galaxy Redshift Survey: galaxy luminosity functions per spectral type **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v.333, p. 133-144, 2002
- Marinoni, C.; Monaco, P.; Giuricin, G.; Costantini, B. The Nearby Optical Galaxy Sample: The Local Galaxy Luminosity Function **The Astrophysical Journal**, v.521, p. 50-63, 1999
- Marzke, R. O.;Huchra J. P.; Geller M. J. The luminosity function of the CfA Redshift Survey **The Astrophysical Journal**, v.428, p. 43-50, 1994
- Marzke, R. O.; da Costa, L. N. The Galaxy Luminosity Function at $z \leq 0.05$: Dependence on Color **The Astronomical Journal**, v.113, p.185-196, 1997
- Marzke, R. O.; da Costa, L. N.; Pellegrini, P. S.; Willmer, C. N. A.; Geller, M. J. The Galaxy Luminosity Function at $Z \leq 0.05$: Dependence on Morphology **The Astrophysical Journal**, v.503, p.617-631, 1998

- McCracken, H.J.; Radovich, M.; Bertin, E.; Mellier, Y.; Dantel-Fort, M.; Le Fèvre, O.; Cuillandre, J. C.; Gwyn, S.; Foucaud, S.; Zamorani, G. The VIRMOS deep imaging survey. II: CFH12K BVRI optical data for the 0226-04 deep field **Astronomy & Astrophysics**, v.410, p. 17-32, 2003
- Norberg, P.; Cole, S.; Balgh, C. M. et al. The 2dF Galaxy Redshift Survey: the bJ-band galaxy luminosity function and survey selection function **Monthly Notice of the Royal Astronomical Society**, v.336, p. 907-931, 2002
- Pozzetti, L.; Cimatti, A.; Zamorani, G. et al. The K20 survey. V. The evolution of the near-IR Luminosity Function **Astronomy & Astrophysics**, v.402, p.837-848, 2003
- Ramos, B. Estudo de Objetos Muito Vermelhos do Universo Profundo: Origem de Galáxias Elípticas. Tese de Doutorado. **UFRJ**, 2009
- Sandage, A.; Binggeli B.; Tammann G. A. Studies of the Virgo Cluster - Part Five - Luminosity Functions of Virgo Cluster Galaxies **The Astronomical Journal**, v.90, p. 1759-1771, 1985
- Sandage, A. Tammann G. A.; Amos Yahil. The velocity field of bright nearby galaxies. I - The variation of mean absolute magnitude with redshift for galaxies in a magnitude-limited sample **The Astrophysical Journal**, v.232, p. 352-364, 1979
- Schechter, P. An analytic expression for the luminosity function for galaxies. **Astronomy & Astrophysics**, v.203, p. 297-306, 1976
- Schmidt, Maarten. Space Distribution and Luminosity Functions of Quasi-Stellar Radio Sources **The Astrophysical Journal**, v.151, p. 393-409, 1968
- Stoughton, C.; Lupton, R. H.; Bernard, M. et al. Sloan Digital Sky Survey: Early Data Release **The Astronomical Journal**, v.123, p. 485-548, 2002
- Tresse, L.; Ilbert, O.; Zucca, E. et al. The cosmic star formation rate evolution from $z = 5$ to $z = 0$ from the VIMOS VLT deep survey **Astronomy & Astrophysics**, v.472, p. 403-419, 2007
- Willmer, C. N. A.; da Costa, L. N.; Pellegrini, P. S. Southern Sky Redshift Survey: Clustering of Local Galaxies **The Astronomical Journal**, v.115, p. 869-884, 1998
- Willmer, C. N. A.; Faber, S. M.; Koo, D. C. et al. The Deep Evolutionary Exploratory Probe 2 Galaxy Redshift Survey: The Galaxy Luminosity Function to $z = 1$ **The Astrophysical Journal**, v.647, p. 853-873, 2006
- Wolf, C.; Meisenheimer, K.; Rix, H.-W.; Borch, A.; Dye, S.; Kleinheinrich, M. The COMBO-17 survey: Evolution of the galaxy luminosity function from 25 000 galaxies with $0.2 < z < 1.2$ **Astronomy & Astrophysics**, v.401, p.73-98, 2003

Zucca, E.; Ilbert, O.; Bardelli, S. et al. The VIMOS VLT Deep Survey. Evolution of the luminosity functions by galaxy type up to $z = 1.5$ from first epoch data **Astronomy & Astrophysics**, v.455, p. 879-890, 2006

Annis, J. 2000 <http://home.fnal.gov/~annis/astrophys/kcorr/sdss.kcorr.fits>

Apêndice A

Número de Galáxias nas Diferentes Amostras

Tabela A.1: Número de galáxias nas diferentes amostras analisadas neste trabalho, em cada intervalo de *redshift* indicado, Δz . AE se refere à Amostra Espectroscópica, VVDS à amostra selecionada na área do levantamento VVDS. As quatro áreas do CFHTLS são as colunas D1, D2, D3 e D4. Total se refere à combinação dessas quatro áreas e E, S+Irr e Irr+fe às três classes espectrais definidas no texto, na área combinada. Da segunda à sétima coluna as amostras estão limitadas a $i'_{AB} \leq 24$ e $z_{phot} \leq 2.0$. As quatro últimas colunas representam amostras limitadas em $i'_{AB} \leq 25$ e $z_{phot} \leq 2.5$.

Δz	AE	VVDS	D1	D2	D3	D4	Tot	E	S+Irr	Irr+fe
0.05-0.2	201	1032	2346	2481	2549	3390	13465	722	7421	11174
0.2-0.4	721	3765	7327	8616	8452	5515	45363	3762	5422	36903
0.4-0.6	784	3899	7345	7934	9242	6541	55886	4633	34146	44617
0.6-0.8	1043	4714	8483	10364	11218	7320	63673	7501	34312	48798
0.8-1.0	1082	5097	9314	9875	9534	9584	71572	9096	41379	51569
1.0-1.3	708	3977	7497	7541	8240	9508	75876	8598	46225	55710
1.3-2.0	274	2176	5022	4200	5073	5470	-	-	-	-
1.3-1.6	-	-	-	-	-	-	36104	3130	16339	31928
1.6-2.0	-	-	-	-	-	-	23971	453	12565	22594
2.0-2.5	-	-	-	-	-	-	15556	13	6849	15338