



Instituto de Física
Universidade Federal do Rio de Janeiro

Estudo de Objetos Muito Vermelhos do Universo
Profundo: Origem de Galáxias Elípticas

Beatriz Henriques Ferreira Ramos

Orientador: Paulo S. S. Pellegrini (ON/MCT)

Orientador acadêmico: Ioav Waga (IF/UFRJ)

Rio de Janeiro
Fevereiro de 2009

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.



UFRJ

ESTUDO DE OBJETOS MUITO VERMELHOS DO UNIVERSO PROFUNDO:
ORIGEM DE GALÁXIAS ELÍPTICAS

Beatriz Henriques Ferreira Ramos

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Física, Instituto de Física, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor em Ciências (Física).

Orientador: Paulo S. S. Pellegrini (ON/MCT)

Orientador acadêmico: Ioav Waga (IF/UFRJ)

Rio de Janeiro

Fevereiro de 2009

Ramos, Beatriz Henriques Ferreira.

R175e Estudo de Objetos Muito Vermelhos do Universo Profundo: Origem de Galáxias Elípticas / Beatriz Henriques Ferreira Ramos. - Rio de Janeiro: UFRJ / IF, 2009.

xi, 312f.: il. ; 29,7cm.

Orientador: Paulo S. S. Pellegrini, Orientador acadêmico: Ioav Waga
Tese (doutorado) - UFRJ / Instituto de Física / Programa de Pós-graduação em Física , 2009.

Referências Bibliográficas: f. 280-283

1. Astrofísica Extragaláctica 2. Formação e Evolução de Galáxias 3. Galáxias em altos *redshifts*. 4. *Redshift* fotométrico. I. S. S. Pellegrini, Paulo. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Física, Programa de Pós-graduação em Física. III. Estudo de Objetos Muito Vermelhos do Universo Profundo: Origem de Galáxias Elípticas.

RESUMO

Estudo de Objetos Muito Vermelhos do Universo Profundo: Origem de Galáxias Elípticas

Beatriz Henriques Ferreira Ramos

Paulo Sérgio de Souza Pellegrini

Ioav Waga

Resumo da Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação do Instituto de Física, da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor em Ciências (Física).

O estudo de propriedades de objetos em altos *redshifts*, como suas cores e distribuição espacial, constitui uma importante metodologia para se compreender como galáxias se formam e evoluem para seus estados atuais. Mapeamentos fotométricos até *redshifts* $z \approx 1$ e maiores mostram a existência de objetos muito vermelhos (como EROs, DRGs e BzKs com atividade de formação estelar), provavelmente progenitores das galáxias Elípticas locais. Se confirmados como tal, será possível estabelecer vínculos importantes para se determinar a sua época de formação e sua evolução. Esse trabalho tem como objetivo investigar esta questão e se baseia em dados de dois levantamentos fotométricos: 1) o *Deep Public Survey*, cobrindo cerca de 2.75 graus quadrados de céu em 3 direções distintas em 5 bandas fotométricas no óptico, contendo também observações no infravermelho próximo, mas com uma área menor de cobertura do céu (≈ 0.54 graus quadrados na banda J e ≈ 1.27 graus quadrados na banda K); 2) um dos campos do *Canada-France-Hawaii Telescope Legacy Survey*, com fotometria em 9 bandas do óptico em 0.78 graus quadrados, dos quais 0.045 também foram cobertos em 2 bandas do infravermelho. A partir de catálogos de cores elaborados com diferentes bandas fotométricas, amostras das principais famílias de objetos vermelhos já conhecidas foram obtidas para os levantamentos menciona-

dos, limitadas às sub-áreas contendo observações na banda K. Definimos, então, um método alternativo para selecionar galáxias com propriedades de Elípticas apenas com as bandas ópticas, utilizando a cor $r'-z'$, o qual foi aplicado aos dados do CFHTLS, mostrando bons resultados na seleção de Elípticas luminosas. Para os objetos de diferentes morfologias, assim como os muito vermelhos, nos dois levantamentos, foram determinados *redshifts* fotométricos (ou usados os disponíveis) e avaliados diferentes métodos para seu cálculo. Algumas das principais características dos objetos muito vermelhos foram determinadas até $z \approx 2.5$, como funções de correlação angular, densidade de objetos e estimativas de taxas de formação estelar e massas. Um quadro evolutivo simples foi obtido para estas classes de objetos, em função do *redshift* fotométrico, indicando que há uma sequência evolucionária BzKs ativas - DRGs - EROs dando origem às galáxias Elípticas luminosas do Universo local. As diferenças encontradas entre os resultados das diversas áreas de céu analisadas e comparações com áreas semelhantes na literatura indicam que estas ainda sofrem o efeito de variância cósmica. As ferramentas e metodologias de análise desenvolvidas nesse projeto serão incorporadas ao sistema sendo construído para a análise dos dados provenientes do *Dark Energy Survey*, um mapeamento mais extenso com grande potencial para contribuir para uma maior compreensão dos processos de formação e evolução de galáxias até $z \approx 1.5$.

Palavras-chave: galáxias: Elíptica - galáxias: formação - galáxias: evolução - galáxias: *redshift* fotométrico

Rio de Janeiro

Fevereiro de 2009

ABSTRACT

Study of Very Red Objects: the Origin of Elliptical Galaxies

Beatriz Henriques Ferreira Ramos

Paulo Sérgio de Souza Pellegrini

Ioav Waga

Abstract da Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação do Instituto de Física da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor em Ciências (Física).

The colors and spatial distribution of high redshifts objects are important topics to understand how galaxies are formed and evolve to their current state. Photometric surveys reaching redshifts at $z \approx 1$ and higher show the existence of very red objects (such as EROs, DRGs and BzKs with star formation activity), which are probably the progenitors of local Elliptical galaxies. If confirmed as such, it would be possible to establish important constraints to determine their formation epoch and evolution. This work investigates this issue and is based on data from two photometric surveys: 1) the *Deep Public Survey*, covering about 2.75 squared degrees of the sky in 3 different directions using 5 optical bands, including also near infrared observations, but with a smaller coverage area of the sky (≈ 0.54 squared degrees in the J band and ≈ 1.27 squared degrees in the K band), 2) one of the *Canada-France-Hawaii Telescope Legacy Survey* fields, with photometry in 9 optical bands for 0.78 squared degrees, of which 0.045 were also covered in 2 near infrared bands. From color catalogs prepared with different photometric bands, samples of the main families of red objects already known were obtained for the surveys mentioned, limited to sub-areas with K-band observations. We defined an alternative method to select galaxies with properties of Ellipticals using only the optical bands,

using the $r'-z'$ color, which was applied to the CFHTLS data, showing good results in the selection of bright Ellipticals. In the two surveys, for objects of different morphologies, as well as the very red ones, we determined photometric redshifts (or used the available) and compared different methods to this calculation. Some of the main characteristics of very red objects were determined up to $z \approx 2.5$, such as angular correlation functions, number density of objects, and estimates of star formation rates and masses. A simple evolutionary scenario was obtained for these classes of objects, according to the photometric redshift, indicating that there is an evolutionary sequence of active BzKs - DRGs - EROs leading to bright Elliptical galaxies in the local Universe. The differences between the results found for the several analyzed areas of the sky and the comparisons with similar areas in the literature indicate that they still suffer from cosmic variance. The analysis tools and methodologies developed in this project will be part of the system being built to analyze the data from the *Dark Energy Survey*, a more extensive mapping with great potential to contribute to a better understanding of the processes of formation and evolution of galaxies up to $z \approx 1.5$.

Key-words: galaxies: Elliptical - galaxies: formation - galaxies: evolution - galaxies: photometric redshift

Rio de Janeiro

Fevereiro de 2009

*A porta da verdade estava aberta,
mas só deixava passar
meia pessoa de cada vez.*

*Assim não era possível atingir toda a verdade,
porque a meia pessoa que entrava
só trazia o perfil de meia verdade.
E sua segunda metade
voltava igualmente com meio perfil.
E os meios perfis não coincidiam.*

*Arrebentaram a porta. Derrubaram a porta.
Chegaram ao lugar luminoso
onde a verdade esplendia seus fogos.
Era dividida em metades
diferentes uma da outra.*

*Chegou-se a discutir qual a metade mais bela.
Nenhuma das duas era totalmente bela.
E carecia optar. Cada um optou conforme
seu capricho, sua ilusão, sua miopia.*

Agradecimentos

A todos com quem convivi, agradeço muitíssimo pelos exemplos de como seres humanos e profissionais devem ser e agir.

Em particular agradeço a pessoas muito especiais, minha família e meus amigos, especialmente Ricardo Ogando. O constante apoio de todos foi fundamental e crucial para que eu chegasse até esse momento, além de terem apresentado uma paciência infinita com minha impaciência e ansiedade nos últimos meses.

Sou muito grata também ao Ricardo Ogando e Fernando de Simoni pelas contribuições relevantes ao meu trabalho, e aos amigos da casa 6 por toda ajuda “informática”, companhia e caronas.

Ao meu orientador, Paulo Pellegrini, muito obrigada por mais essa oportunidade de crescimento e aprendizado, e pela mais que importante ajuda para a conclusão desse trabalho. Agradeço a Luiz Nicolaci, cuja coordenação da participação brasileira no projeto DES possibilitou e deu origem ao desenvolvimento de muitas atividades apresentadas nesta tese. Sou muito grata aos membros do EIS pela ajuda para começar esse projeto. E também agradeço a Ioav Waga por seu apoio em continuar a ser meu orientador acadêmico.

Meus agradecimentos ao Casé e a Cristina da secretaria da Pós-Graduação do Instituto de Física por toda ajuda ao longo dos anos em que fui aluna, desde o mestrado.

O presente trabalho foi possível graças às bolsas dos programas de pós-graduação da CAPES e do CNPq, e das infra-estruturas do Observatório Nacional e do Instituto de Física da UFRJ.

Conteúdo

1	Introdução	1
2	Dados	8
2.1	<i>Deep Public Survey</i>	8
2.1.1	Descrição	8
2.1.2	Catálogos de Cor	22
2.1.3	Classificação Estrela-Galáxia	29
2.2	<i>CFHT Legacy Survey</i>	47
2.3	Resumo do Capítulo	54
3	<i>Redshifts</i> Fotométricos	55
3.1	Métodos de Obtenção	55
3.2	Aplicando ao DPS	62
3.2.1	Comparação dos Resultados de Cada Código	62
3.2.2	Resultados	72
3.3	CFHTLS	81
3.3.1	Outros Resultados	109
3.4	Resumo do Capítulo	117
4	Seleção de Objetos por Cor	118
4.1	Famílias em Altos <i>Redshifts</i>	118
4.1.1	EROs	118
4.1.2	DRGs	122

4.1.3	BzKs	123
4.1.4	Novo Critério	125
4.2	Aplicando ao DPS	126
4.2.1	Amostra	126
4.2.2	<i>Redshifts</i> Fotométricos	138
4.2.3	Outro Critério de Seleção	162
4.3	Aplicando ao CFHTLS	186
4.4	Resumo do Capítulo	204
5	Função de Correlação Angular	207
5.1	Definição	207
5.2	Aplicando ao DPS	210
5.3	Aplicando ao CFHTLS	228
5.4	Resumo do Capítulo	255
6	Discussões e Conclusões	257
6.1	Perspectivas Futuras	278
	Bibliografia	279
A	Portal Científico	284
B	Classificação Estrela-Galáxia	291

Capítulo 1

Introdução

A área de Astrofísica Extragaláctica vem reunindo ao longo dos últimos anos uma enorme quantidade de dados e informações relativas à distribuição espacial e propriedades intrínsecas de galáxias, com o objetivo de compreender sua origem e evolução. Os avanços tecnológicos nos últimos anos têm gerado um aumento não só na quantidade como na qualidade dos dados, aumentando, com isso, a confiança nos resultados encontrados e restringindo os modelos existentes para formação e evolução desses objetos.

Apesar de inúmeros trabalhos a respeito, esse tópico permanece uma questão ainda em debate e de grande interesse. Basicamente, dois modelos procuram descrever adequadamente um cenário para a formação de galáxias. Em um deles, usualmente denominado de colapso monolítico, galáxias se formam a partir de um colapso dissipativo (Larson, 1974; Larson, 1975; Carlberg, 1984a; Carlberg, 1984b), no qual uma nuvem de gás colapsa num curto tempo por dissipação de energia cinética de suas partículas, devido à colisões inelásticas que ocorrem entre elas em seus movimentos aleatórios. Durante o colapso, com o aumento da densidade, as estrelas se formam, praticamente consumindo todo o gás. Este processo formaria as galáxias Elípticas e os bojos de galáxias Lenticulares e Espirais, onde as estrelas se moveriam em órbitas randômicamente distribuídas. As componentes disco de Espirais se formariam numa escala de tempo relativamente mais longa, através do gás acretado por queda contínua de um envelope gasoso tênue, como sugerido por

Larson, Tinsley e Caldwell (1980).

Uma outra proposta é o modelo de aglutinação hierárquica, um processo mais lento onde a formação de uma galáxia ocorre pela coalescência de nuvens menores de gás primordial, nas quais já pode estar ocorrendo formação estelar. Simulações numéricas de formação de estruturas utilizando matéria escura fria, como as de Baugh, Cole e Frenk (1996), Kauffmann e Charlot (1998) e Navarro, Frenk e White (1997), mostram como um cenário deste tipo reproduz muitas das características e propriedades das galáxias. Além disso, este cenário tem a seu favor: (a) o fato de que são observados eventos de formação estelar mais recentes, mesmo em Elípticas e (b) a existência de objetos que se acredita serem resultados de fusões mais recentes de outras galáxias, como por exemplo, as galáxias de morfologias peculiares e as galáxias centrais de aglomerados. As simulações numéricas também mostram que relações paramétricas, como as observadas em galáxias tipo *early* (por exemplo, o Plano Fundamental), são esperadas no cenário hierárquico (por exemplo, Bekki, (1998)). No entanto, esse modelo prevê uma formação mais recente para as galáxias Elípticas (pois é um processo mais lento), o que é incompatível com o fato de se observar Elípticas de alta massa já em altos *redshifts*¹ (por exemplo, como encontrado em $1.6 < z < 1.9$ por Cimatti et al. (2004)).

Como ambos modelos explicam diferentes propriedades observadas das galáxias, uma outra possibilidade explorada por alguns trabalhos é a de um cenário híbrido reunindo características dos dois modelos anteriores (Kobayashi, 2004). Os resultados apresentados em Ogando et al. (2005) da análise de gradientes de metalicidade de galáxias tipo *early* em função de suas dispersões de velocidade (parâmetro diretamente relacionado com a massa) indicam que tanto o modelo de formação hierárquica quanto o de colapso monolítico, separados ou em conjunto, devem fazer parte do processo de formação de galáxias. Somerville (2005) coloca esse mesmo conceito de uma forma diferente, dizendo que falta nos modelos hierárquicos um mecanismo físico que produza um efeito similar ao do colapso monolítico.

¹O deslocamento para o vermelho (para comprimentos de onda maiores) observado no espectro eletromagnético de um objeto devido a seu movimento de recessão.

Uma possível forma para discriminar qual o melhor cenário é determinar a evolução de propriedades de galáxias com *redshift*, como suas densidades e nível de aglomeração espacial, e confrontar com o que é esperado dos diferentes modelos de formação. Nos últimos anos, a seleção por cor (diferença de magnitudes em diferentes bandas) de objetos combinando fotometria no óptico e no infravermelho próximo em mapeamentos profundos têm obtido sucesso em definir amostras de objetos em altos *redshifts* (por exemplo, galáxias Elípticas em $z > 1$) visando estes estudos. Em particular, estão nesta categoria os Objetos Extremamente Vermelhos (*Extremely Red Objects*, denominados EROs, por exemplo, Elston et al. (1988)), definidos como objetos cuja cor $(R - K)_{Vega} > 5$, as Galáxias Vermelhas Distantes (*Distant Red Galaxies*, denominadas DRGs, por exemplo, Franx et al. (2003)) definidas como objetos com cores $(J - K)_{Vega} > 2.3$ e as galáxias BzKs (Daddi et al. (2004)), selecionadas utilizando as cores (B-z) e (z-K), separando limites onde $BzK = (z - K)_{AB} - (B - z)_{AB}$ é maior ou menor que -0.2, respectivamente para objetos com formação estelar ativa ou essencialmente esgotada.

Essas escolhas de limites de cor são decorrentes das características de supostos progenitores de galáxias Elípticas, como definidas por modelos de evolução espectrofotométrica de galáxias (Bruzual e Charlot, 2003). Desta forma, estes objetos são excelentes candidatos para investigar o processo de formação de galáxias, focando a atenção na origem das Elípticas que representam uma classe de objetos que supostamente seriam os primeiros a se formar nos picos de densidade da distribuição de matéria escura.

De fato, diversos trabalhos têm aparecido na literatura procurando fazer a conexão entre esses objetos vermelhos e as galáxias Elípticas do Universo local (Brown et al., 2003; Brown et al., 2005; Daddi et al., 2004; Grazian et al., 2006b; Kong et al., 2006; Conselice et al., 2008; Lane et al., 2007). Essencialmente procura-se mostrar a semelhança de propriedades entre parâmetros como luminosidades, densidades, estimativas de massa e taxas de formação estelar assim como de suas propriedades de aglutinação. Todos têm apontado a existência dessa conexão utilizando amostras usualmente constituídas de cada uma destas classes de objetos. Como os critérios

de seleção são exclusivamente provenientes de cores, as amostras obtidas podem representar distintas populações de objetos em diferentes domínios de *redshift*.

Além disso, um considerável grau de complexidade é trazido para a análise de objetos muito vermelhos pelo fato de que galáxias com intensa atividade de formação estelar contêm grande quantidade de poeira, que produz intenso avermelhamento de seus espectros. Desta forma, a identificação de um ERO não significa necessariamente a identificação de uma galáxia Elíptica, pois tal objeto pode ser uma galáxia Espiral ou de tipo mais tardio com grande conteúdo de poeira (por exemplo, Pozzetti e Mannucci (2000)). Essa degenerescência tem sido uma questão importante para as análises de objetos muito vermelhos.

Por outro lado, apontando na direção de um quadro que indica uma natureza semelhante para as diferentes classes de objetos muito vermelhos, alguns autores (por exemplo, Lane et al. (2007)) têm mostrado que alguns desses objetos estão presentes em mais de uma das amostras selecionadas como EROs, DRGs ou BzKs. O quadro geral que tem sido formado é que as galáxias selecionadas como EROs devam ser galáxias Elípticas em $z \approx 1$, enquanto as galáxias selecionadas pelo critério BzK representem objetos em $z > 1.4$. Já as DRGs, de acordo com os primeiros estudos seriam objetos em $z \approx 2$. Entretanto, trabalhos mais recentes (por exemplo, Lane et al. (2007)) têm indicado a detecção de DRGs em $z = 1$. Desta forma levantamentos multi-banda, incluindo os filtros ópticos e obviamente os filtros J e K, são essenciais para um estudo incluindo todas as classes de objetos muito vermelhos.

Apesar de as primeiras observações de objetos muito vermelhos já datarem de cerca de 20 anos (por exemplo, Elston, Rieke e Rieke (1988) e McCarthy, Persson e West (1992)), o número de objetos estudados vem crescendo lentamente apesar do aumento de levantamentos de dados com fotometria cobrindo tanto a parte óptica do espectro quanto o infravermelho próximo. De fato, devido a diversos aspectos observacionais, como dificuldades inerentes ao tratamento dos dados no infravermelho e à grande distância média desses objetos, quase todos os trabalhos realizados até então são limitados por uma baixa estatística de dados resultante de uma pequena área coberta do céu ou de uma magnitude limite brilhante. Isso os torna

mais suscetíveis a efeitos de variância cósmica, que, de uma forma simplificada, é a variação na medida de propriedades dos objetos de região para região do Universo devido à existência de variações da densidade local. Exemplos podem ser citados como o NOAO Deep Wide-Field Survey (Jannuzi e Dey, 1999) e o K20 (Cimatti et al., 2002; Daddi et al., 2002).

Entretanto, a tendência é de que amostras maiores e mais profundas desses objetos sejam elaboradas a partir dos grandes levantamentos da nova geração, em particular aqueles realizados no infravermelho, como o *UKIRT Infrared Deep Sky Survey* (UKIDSS - Lawrence et al. (2007)), e aqueles previstos para o *Visible and Infrared Survey Telescope for Astronomy* (VISTA) e o *Dark Energy Survey* (DES). As atuais amostras de centenas a no máximo alguns milhares de objetos serão ultrapassadas por esses novos levantamentos, que chegarão a produzir amostras de milhões desses objetos.

Entre as amostras profundas disponíveis atualmente destaca-se o *Deep Public survey* (DPS), um levantamento planejado para prover dados para o estudo da distribuição em grande escala de galáxias em $z \sim 1$ e identificação de objetos em altos *redshifts*, como EROs, que poderiam ser alvos de novas observações usando o VLT. O DPS apresenta uma relação adequada entre sua cobertura angular e o limite de magnitude para a análise pretendida, com a vantagem adicional de dispor de dados em três regiões independentes do céu. Com isso, a análise desses dados pode representar a possibilidade de avaliar a variância cósmica, e desta forma, melhorar a estatística na determinação das densidades dos EROS e outros objetos muito vermelhos. Além deste, deve-se destacar os dados do *Canada-France-Hawaii Telescope Legacy Survey* (CFHTLS), outro levantamento com fotometria em diversas bandas do óptico com os objetivos de detectar e monitorar supernovas tipo Ia e de estudar a distribuição de galáxias e o lenteamento gravitacional fraco. Este mapeamento é um dos mais homogêneos em termos de cobertura de céu, possui superposição com outro levantamento fotométrico num sistema diferente de filtros e com um levantamento espectroscópico, ambos produzidos pelo *VIMOS VLT Deep Survey* (VVDS). Em função destes pontos e da disponibilidade dos dados destes mapeamentos, tanto

brutos como processados, eles representam boas amostras para os objetivos de estudar a inter-relação de objetos muito vermelhos e as Elípticas do Universo local. Além disso, não foram ainda realizadas análises baseadas nos dados de ambos os levantamentos para estudar esta questão.

É importante destacar o papel importante que ferramentas de trabalho voltadas para a determinação de *redshifts* fotométricos podem desempenhar nesse tipo de estudo, fornecendo informações adicionais para a análise das amostras selecionadas pelos diferentes critérios de cor. É o caso de códigos públicos como o Hyperz (Bonzonella et al., 2000) e Le Phare (Ilbert et al., 2006) que têm como objetivo primário estimar *redshifts* a partir das medidas de magnitudes dos filtros fotométricos. No caso desses dois códigos, esse processo envolve a busca pelo melhor ajuste entre as magnitudes nas bandas observadas e as previstas por *templates* de diferentes tipos de objetos e, desse modo, eles também fornecem uma classificação espectral para o objeto investigado. Esses novos dados possibilitam a avaliação de propriedades das famílias de EROs, DRGs e BzKs, em termos de seus conteúdos de diferentes populações espectrais, auxiliando em seu estudo.

Pretendemos contribuir com este trabalho para a investigação da existência de uma conexão entre essas diferentes famílias e os objetos mais evoluídos no Universo local, as galáxias Elípticas, utilizando amostras cobrindo um amplo domínio de *redshifts* com fotometria no óptico e no infravermelho, como o DPS e o CFHTLS. Utilizaremos e avaliaremos aqui ferramentas para a obtenção de *redshifts* fotométricos visando tirar benefício de suas classificações espectrais. Duas linhas de análise serão desenvolvidas procurando investigar as semelhanças dos objetos muito vermelhos com as Elípticas: suas propriedades de aglutinação como medidas pela função de correlação angular e suas propriedades gerais como luminosidades, densidades, taxas de formação estelar e massa. O principal objetivo é comparar a evolução dessas propriedades dos EROs, DRGs e BzKs em função do *redshift*, com aquela de Elípticas, contribuindo para a elaboração de um cenário mais coerente de como galáxias são formadas e como evoluem.

Também tivemos como objetivo a construção de ferramentas e de uma metodo-

logia para analisar, de modo eficiente e rápido, grandes volumes de dados, como os que estarão disponíveis com o DES. Esse será um dos importantes mapeamentos fotométricos do Universo da próxima década, do qual estamos participando ativamente já na sua fase de planejamento. Desta forma, todas as ferramentas de análise aqui desenvolvidas estarão disponíveis no portal brasileiro do projeto DES.

O presente trabalho foi organizado da forma a seguir. As propriedades dos levantamentos DPS e CFHTLS, que formam a base de toda a análise, são descritas no capítulo 2. Esse é seguido, no capítulo 3, pela apresentação e avaliação dos métodos de cálculo de *redshift* fotométrico e os resultados de suas aplicações às amostras de galáxias definidas no capítulo anterior. O capítulo 4 mostra os diferentes critérios de seleção de objetos estudados, aplicados aos levantamentos disponíveis. Finalmente, os resultados obtidos para essas amostras quanto aos cálculos das funções de correlação e propriedades gerais dos objetos e as conclusões são apresentados nos capítulos 5 e 6. As contribuições ao projeto do Portal Científico, relacionado em parte com a colaboração brasileira ao projeto DES, estão resumidas no apêndice A.

Capítulo 2

Dados

Neste trabalho utilizamos duas bases de dados: o *Deep Public Survey* (DPS), um levantamento fotométrico realizado pelo projeto *ESO Imaging Survey* (EIS, Olsen et al. (2006a; 2006b) e Mignano et al. (2007)) e o *Canada-France-Hawaii Telescope Legacy Survey* (CFHTLS). O primeiro deles nos permitiu principalmente o aprendizado das propriedades relevantes e problemas potenciais de catálogos de uma única banda e de muitas bandas, assim como a elaboração (a partir dos dados disponíveis) de um catálogo de cor e a avaliação de sua qualidade científica. Por essa razão estes aspectos são descritos em maior detalhe para o DPS nas diferentes seções desta tese. Já os dados do CFHTLS possuem uma versão de catálogo de cor de domínio público e não foram aqui reavaliados. Entretanto apresentamos neste trabalho diversas propriedades de uma versão aprimorada deste catálogo.

2.1 *Deep Public Survey*

2.1.1 Descrição

O levantamento DPS compreende 3 regiões no céu, denominadas *Deep1*, *Deep2* e *Deep3*, observadas no óptico e no infravermelho próximo (dados necessários para busca de objetos distantes como EROs e DRGs). Cada uma dessas faixas foi subdividida em 4 campos menores, denominadas *a*, *b*, *c* e *d*.

Os dados no óptico foram obtidos pelos seus autores em 5 bandas diferentes (UB-VRI), cobrindo aproximadamente 1 grau quadrado no céu para cada uma das regiões observadas (cerca de 2.75 graus quadrados no total). Nessas observações foi utilizada a câmera CCD *Wide Field Imager* (WFI) montada no telescópio ESO/MPG de 2.2m em La Silla, Chile. As medianas das magnitudes limites (abertura de 2", limite de detecção de 5σ) de todos os campos são $U_{AB}=25.65$, $B_{AB}=25.54$, $V_{AB}=25.18$, $R_{AB}=24.8$, $I_{AB}=24.12$.

Nas observações no infravermelho próximo foi utilizada a câmera SOFI montada no *New Technology Telescope* (NTT) de 3.5m também em La Silla, e os filtros J e Ks, sendo que as áreas de céu observadas dependem da banda e do campo, porém são menores que no óptico. Outra particularidade é que na banda Ks, as regiões foram observadas com 2 tipos de estratégias: uma com menor profundidade na magnitude desta banda, cobrindo boa parte da área observada também nas bandas do óptico, e outra com maior profundidade, mas cobrindo uma área menor do centro de cada campo. Aproximadamente, a área total coberta pela banda J é 0.55 graus quadrados (alcançando magnitude limite $J_{AB}=23.06$), enquanto para banda Ks com menor profundidade é 1.27 graus quadrados e com maior profundidade é 0.50 graus quadrados (com suas respectivas magnitudes limites sendo $Ks_{AB}=21.41$ e $Ks_{AB}=22.16$). Como o campo de visão da SOFI é pequeno ($4'.9 \times 4'.9$), foram necessárias vários apontamentos para cobrir as regiões pretendidas. Devido à necessidade de usar apenas as imagens com alta qualidade, os mosaicos dos campos observados nas bandas J e Ks (em particular a segunda) apresentam uma certa complexidade e incompletude, conforme ilustrado nas figuras 2.1, 2.2 e 2.3. As que apresentam algumas regiões não cobertas (especialmente as Deep1a e Deep1b com menor profundidade) geram algumas dificuldades como, por exemplo, a obtenção de uma função de correlação estatisticamente confiável. Portanto, optamos por utilizar apenas as regiões observadas com maior profundidade dos campos Deep1a, Deep1b e Deep2c, enquanto para os demais todas as áreas cobertas foram consideradas.

Informações sobre os filtros utilizados mencionados anteriormente estão na tabela 2.1 e são, nessa ordem, o nome da banda como será usado ao longo desse trabalho,

Tabela 2.1: Informações dos filtros usados nas observações do DPS (obtidas nas páginas oficiais dos telescópios) e fator de conversão entre os sistemas AB e Vega.

Banda	idESO	$\lambda_{central}(\text{\AA})$	$FWHM(\text{\AA})$	f_{conv}
u	#841	3636.90	382.64	0.795
U	#877	3404.00	732.00	1.036
B	#842	4562.52	990.14	-0.112
V	#843	5395.62	893.86	-0.009
R	#844	6517.25	1621.84	0.193
I	#845	7838.45	-	0.497
J	-	12470.00	2900.00	0.904
Ks	-	21620.00	2750.00	1.841

o número de identificação do filtro no ESO (quando houver um), o comprimento de onda central (em angstroms), a FWHM (em angstroms) e o fator de conversão entre os sistemas AB e Vega ($mag_{Vega} = mag_{AB} - f_{conv}$).

Devido a essas características, a amostra do DPS é complementar a outras amostras disponíveis na literatura. A figura 2.4 mostra uma comparação aproximada (áreas e magnitude não padronizadas) entre levantamentos de dados, com suas diferentes áreas observadas até suas respectivas magnitudes limite em K. Os levantamentos apresentados são alguns dos mais citados na literatura atual, sendo que os maiores e mais profundos (como UKIDSS e FLAMEX) são recentes e ainda incompletos. Nota-se claramente o compromisso existente entre área de céu coberta e profundidade.

Deve-se ressaltar, no entanto, que nem todas as regiões no DPS foram observadas em todas as bandas no óptico e no infravermelho mencionadas anteriormente. Como para o presente trabalho nos interessam apenas regiões com dados nessas 2 faixas do espectro, essas estão listadas na tabela 2.2 com os devidos conjuntos de bandas em que foram observadas.



Figura 2.1: Regiões referentes ao campo Deep1 (norte para cima e leste para esquerda), mais especificamente as imagens da esquerda são de Deep1a e as da direita são de Deep1b. De cima para baixo, as bandas em que foram observadas são J ($51'.8 \times 19'.0$), K_s deep ($51'.9 \times 19'.1$), e K_s shallow ($64'.3 \times 31'.5$). Figuras reproduzidas de Olsen et al. (2006a).

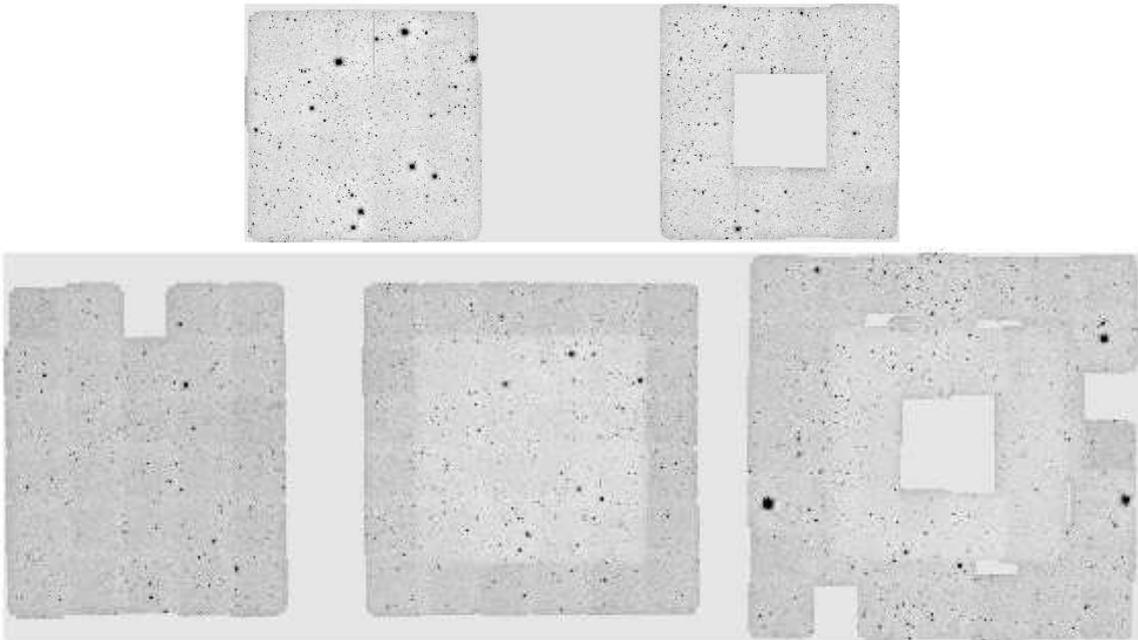


Figura 2.2: Regiões referentes ao campo Deep2 (norte para cima e leste para esquerda), onde no painel superior temos Deep2b à esquerda e Deep2c à direita, enquanto no inferior, da esquerda para a direita, estão Deep2a, Deep2b e Deep2c. De cima para baixo, as bandas em que foram observadas são J ($52'.5 \times 19'.3$) e Ks ($90'.8 \times 31'.2$), sendo que nesta última as estratégias *deep* e *shallow* estão juntas (área central corresponde a *deep*, exceto para Deep2a que só teve a *shallow*). Figuras reproduzidas de Olsen et al. (2006a).

Tabela 2.2: Lista das bandas em que cada campo do DPS foi observado (apenas campos com infravermelho presente).

Campo	Bandas
Deep1a	uUBRJK
Deep1b	UBVRIJK
Deep2a	RK
Deep2b	UBVRIJK
Deep2c	UBVRIJK
Deep3a	uUBVRJK
Deep3b	UBVRIJK

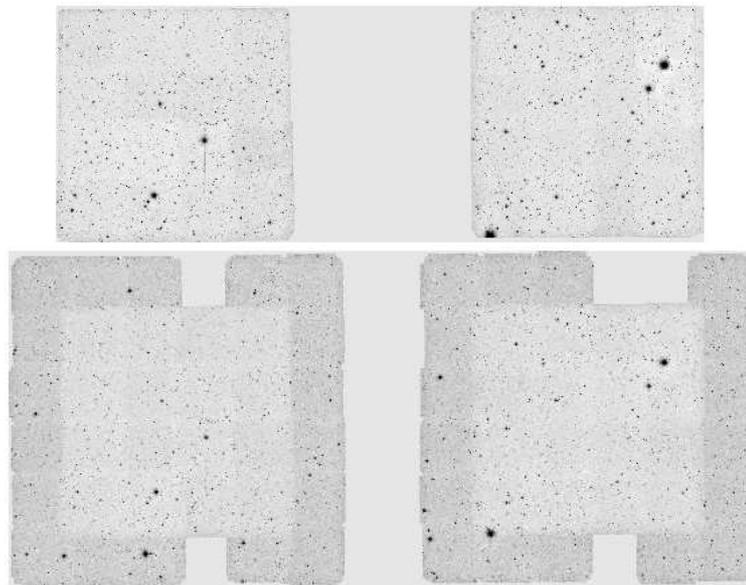


Figura 2.3: Regiões referentes ao campo Deep3a à esquerda e ao Deep3b à direita (norte para cima e leste para esquerda). De cima para baixo, as bandas em que foram observadas são J (52'.0 x 19'.1) e Ks (60'.1 x 27'.3), sendo que nesta última as estratégias *deep* e *shallow* estão juntas (área central corresponde a *deep*). Figuras reproduzidas de Olsen et al. (2006a).

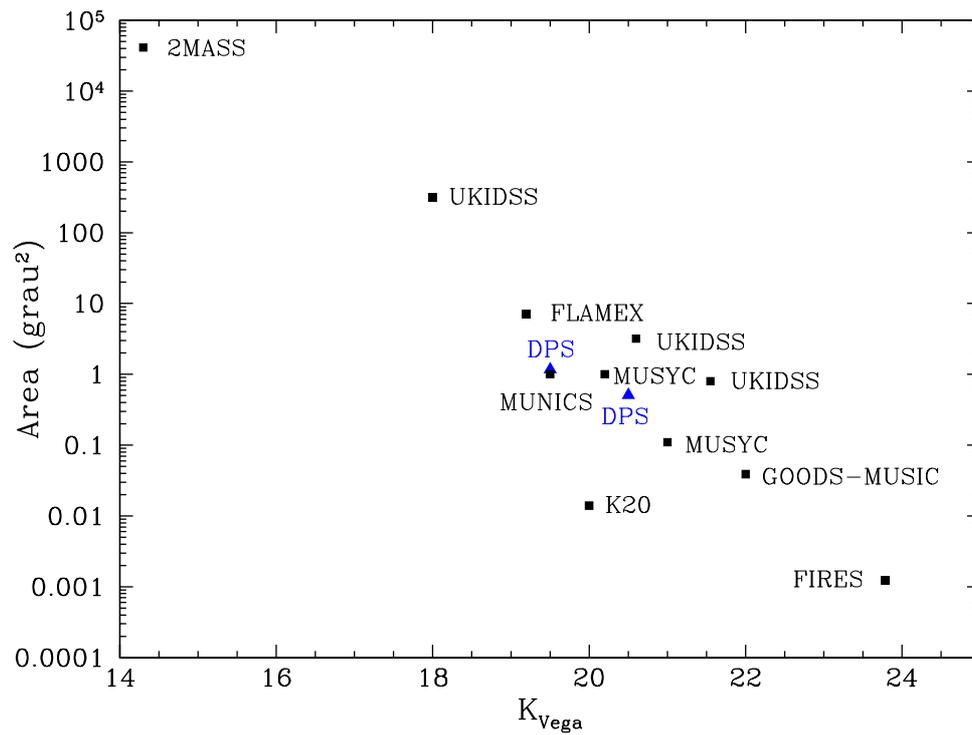


Figura 2.4: Comparação das áreas cobertas até uma dada magnitude limite em K entre diferentes levantamentos de dados (destacando em azul os referentes ao DPS): DPS (Olsen et al., 2006a), FIRES (Labbé et al., 2003), FLAMEX (Elston et al., 2006), GOODS-MUSIC (Grazian et al., 2006a), K20 (Cimatti et al., 2002), MUNICS (Drory et al., 2001), MUSYC (Quadri et al., 2007; Gawiser et al., 2006), 2MASS (Skrutskie et al., 2006), UKIDSS (Warren et al., 2007).

Tabela 2.3: Posição central e magnitude limite por banda (sistema Vega, abertura de 2", limite de detecção de 5σ) dos campos do DPS com a cobertura de bandas apropriada para o estudo de EROs (maiores detalhes em Olsen et al. (2006a; 2006b) e Mignano et al. (2007)). RA em unidades de hora, minuto e segundo, e DEC em grau, minuto e segundo de arco. Para as bandas J e Ks, suas magnitudes limites são, na verdade, a média daquelas apresentadas pelas imagens que compõe seu mosaico. No caso do campo Deep2c, as magnitudes entre parênteses se referem a sua área central.

Campo	RA(J2000)	DEC(J2000)	U	u	B	V	R	I	J	Ks(shallow)	Ks(deep)
Deep1a	22:55:00.0	-40:13:00	25.26	24.42	25.85	-	25.74	-	22.17	19.57	20.07
Deep1b	22:52:07.1	-40:13:00	24.62	-	25.66	25.35	25.32	24.19	22.14	19.38	20.24
Deep2a	03:37:27.5	-27:48:46	-	-	-	-	24.51	-	-	19.43	-
Deep2b	03:34:58.2	-27:48:46	23.87	-	26.48	25.19	25.06	23.77	22.06	19.47	20.44
Deep2c	03:32:29.0	-27:48:46	25.05	24.56	-	24.94	-	23.94	22.01(22.49)	19.62	20.30(20.84)
Deep3a	11:24:50.0	-21:42:00	24.29	24.11	27.73	25.10	24.99	-	22.02	19.39	20.34
Deep3b	11:22:27.9	-21:42:00	24.39	-	27.20	26.68	24.73	23.35	22.05	19.30	20.26

Algumas informações sobre os campos utilizados nesse trabalho (listados na tabela 2.2), como a posição central e as magnitudes limites em cada banda, foram coletadas dos trabalhos originais (Olsen et al., 2006a; Olsen et al., 2006b; Mignano et al., 2007) e estão disponíveis na tabela 2.3.

O processo de geração da amostra a ser analisada começa com a obtenção de catálogos de objetos em uma só banda para cada campo em cada banda observada, o que é feito de forma automatizada aplicando um programa de extração de fontes sobre cada imagem. O SExtractor (Bertin e Arnouts, 1996) é um dos mais utilizados e reconhecidamente eficientes (Becker et al., 2007), e foi o aplicado às imagens do DPS, pelos seus autores. Este programa identifica objetos nas imagens e calcula uma variedade de parâmetros fotométricos e de forma (assim como seus erros), entre outros.

Apesar de ser bastante confiável, o SExtractor pode fazer algumas falsas detecções de objetos devido a alguns efeitos presentes em uma imagem, como imagens fantasmas, halos e padrões de difração da haste do telescópio em estrelas brilhantes, ou resíduos de *fringing* não removido. Por isso, torna-se necessário realizar um procedimento para descartar da análise objetos localizados dentro de regiões afetadas. Na prática são criadas as chamadas máscaras, que definem os limites dessas regiões. A sua utilização é de suma importância para se construir uma amostra com boa fotometria, evitando não só grande parte das falsas detecções, como também os objetos próximos a objetos brilhantes cujas magnitudes muito provavelmente estão contaminadas por seu brilho.

Os catálogos de cada banda do DPS foram criados, avaliados e aprovados pelos membros do projeto EIS (do qual o DPS é um produto); informações sobre esses processos podem ser encontradas nos trabalhos Olsen et al. (2006a; 2006b) e Mignano et al. (2007). Nos dados no óptico permaneceram apenas objetos com razão sinal/ruído $S/N > 5$, enquanto nos das bandas do infravermelho foram aceitos para análise objetos com razão sinal/ruído $S/N > 3$. Em todos, as magnitudes dos objetos foram corrigidas da extinção galáctica com base em Schlegel et al. (1998). Além

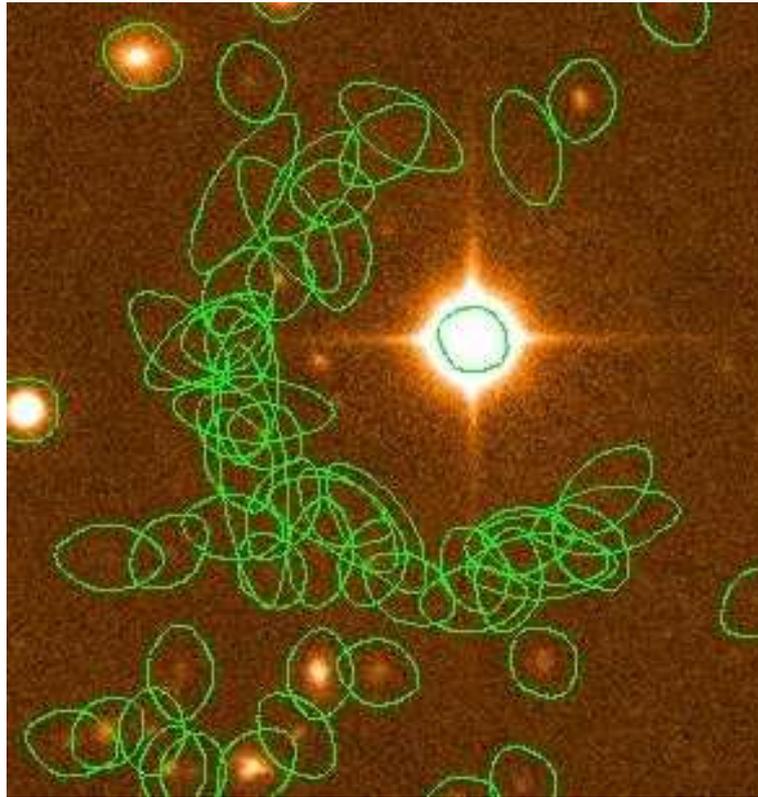


Figura 2.5: Pequena região da imagem na banda I do campo Deep2b em torno de uma estrela brilhante, com o catálogo na mesma banda superposto (objetos detectados estão representados pelas elipses verdes). Grande concentração de falsos objetos presente no halo da estrela.

dos parâmetros fornecidos pelas rodadas do SExtractor, esses catálogos, que estão no formato FITS, incluem uma série de informações com o objetivo de auxiliar em algumas questões relevantes, como será apresentado a seguir.

Uma tabela foi adicionada pelos autores do DPS a cada um dos catálogos contendo suas respectivas máscaras, que são os limites de regiões em torno de objetos brilhantes e/ou saturados. Como ilustração de casos, mencionados anteriormente, em que a existência de máscaras é fundamental para manter a qualidade do catálogo a ser analisado, as figuras 2.5 e 2.6 mostram pequenas regiões de imagens do DPS com seus catálogos correspondentes superpostos, onde falsas detecções em halos e padrões de difração da haste do telescópio nas estrelas estão claramente presentes. Uma forma usual de representar uma máscara é por um polígono, sendo que, na

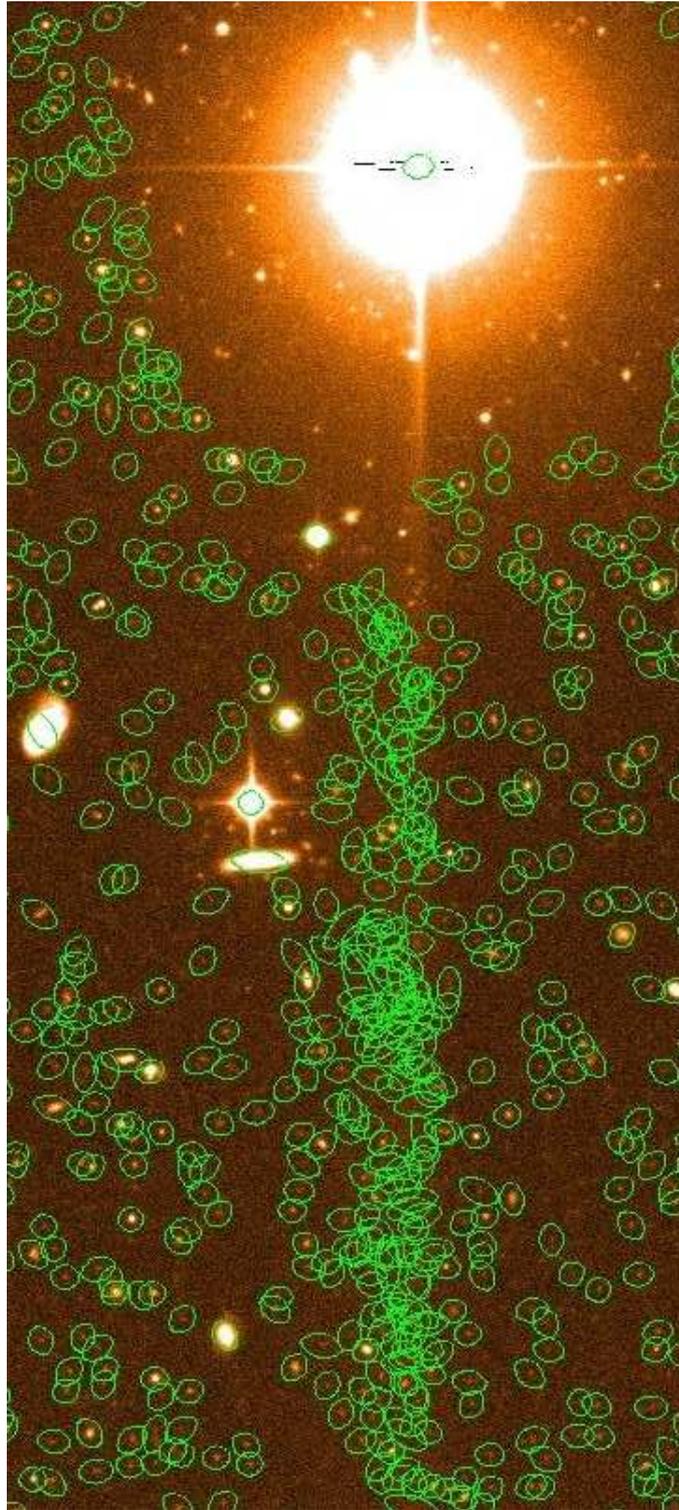


Figura 2.6: Pequena região da imagem na banda B do campo Deep2b próxima de uma estrela brilhante, com o catálogo na mesma banda superposto (objetos detectados estão representados pelas elipses verdes). Grande concentração de falsos objetos presente na direção de um padrão de difração da haste do telescópio na estrela.

prática, é elaborada uma lista com as posições dos vértices desse polígono. Seu tamanho, e mesmo sua própria existência, podem variar de um filtro para outro, refletindo as características do objeto central. Essa lista de posições pode ser construída de forma manual, usando um programa de visualização de imagens para definir os limites, ou automática, utilizando como critério de seleção de objetos as suas magnitudes e estabelecendo qual o tipo de polígono e o critério para definir seu tamanho. Obviamente o primeiro método é mais preciso, garantindo a remoção de regiões indesejáveis e evitando a perda daquelas que ainda são válidas (o que pode acontecer com máscaras obtidas de modo automático), no entanto, o fator tempo não compensa, ainda mais em casos de grandes áreas de céu. No caso do DPS, seus autores seguiram o método automático, onde as máscaras são criadas sobre objetos saturados e sobre os mais brilhantes que uma dada magnitude. Seu formato é o de um losango, com uma das diagonais na direção Norte-Sul (buscando cobrir os padrões de difração da haste do telescópio), e com tamanho proporcional ao eixo maior do próprio objeto (parâmetro fornecido pelo SExtractor). Além da lista de máscaras em si, foi adicionado ao catálogo um parâmetro denominado *FlagMask*, que indica se um objeto se encontra dentro ($FlagMask = 1$) ou fora ($FlagMask = 0$) das áreas mascaradas presentes na lista mencionada.

Seguindo o mesmo princípio, os autores do DPS adicionaram aos catálogos de cada só banda os parâmetros *FlagTrim* e *FlagStar*, que também só apresentam valores 0 ou 1. O primeiro mostra se um objeto está dentro ou fora da área cortada na borda da imagem de onde o catálogo se originou (área com baixo peso com base no *weight-map*). O segundo classifica os objetos encontrados como galáxias ou estrelas, de acordo com critérios baseados em parâmetros fornecidos pelo SExtractor. Esses critérios variam um pouco do óptico para o infravermelho, mas basicamente fazem uso do parâmetro *ClassStar* fornecido pelo SExtractor, que indica o quão pontual é uma fonte (na prática, seus valores podem variar entre 0 e 1, sendo que quanto mais próximo de 1, mais pontual é o objeto). Então são classificados como estrelas os objetos que tenham $ClassStar > 0.95$ e magnitude $< M$, onde M varia de acordo com a banda (mais raso no infravermelho). Nos trabalhos já mencionados do DPS,

que definiram estes valores, foram feitos os gráficos com as contagens de galáxias por grau quadrado e constatado que, em geral, coincidem com os resultados de outros autores (independente da banda). Também foi encontrada uma boa comparação das contagens de estrelas por grau quadrado com as previsões de modelo galáctico de Girardi et al. (2005). Todos esses resultados indicam que os critérios adotados de classificação estrela-galáxia são aceitáveis.

O programa SExtractor também fornece um parâmetro relacionado à confiabilidade de seus resultados chamado *Flag*, em cujo melhor caso tem valor 0. No entanto, um objeto receber $Flag \neq 0$ não necessariamente indica que ele deva ser descartado da análise, existem alguns valores de *Flag* aceitáveis. Para facilitar o manuseio dos catálogos, os autores do DPS incluíram um parâmetro denominado *FlagState*, que, assim como outros mencionados anteriormente, só pode receber valor 0 ou 1 (de acordo com os critérios aceitos para este trabalho) e dessa forma indica os objetos com fotometria confiável. Foram considerados inaceitáveis os objetos que apresentaram pelo menos 1 pixel saturado, os que estavam truncados (se muito perto da borda da imagem), e aqueles onde no processo de *deblending* ou na extração ocorreu transbordamento de memória.

A imagem na figura 2.7 é de uma região do campo Deep2b, onde as elipses verdes marcam apenas os objetos localizados fora das máscaras e que apresentaram *FlagState* considerado bom, os quais formarão o catálogo a ser analisado. Nota-se uma perda de objetos nesse catálogo, porém o objetivo é manter o compromisso entre estatística e completeza com a qualidade fotométrica e confiabilidade da amostra.

Embora nunca tenha sido completada a cobertura planejada do DPS de todas as regiões e em todas as bandas, seja porque imagens foram descartadas para manter apenas as de melhor qualidade fotométrica e/ou devido ao tempo designado de observação, ainda assim esse levantamento dispõe de áreas efetivas¹ (ou seja, já

¹Para o cálculo de uma área efetiva gera-se um grande número de pontos aleatórios cobrindo a área total e em seguida se contabiliza quantos pontos se encontram dentro de máscaras e nas bordas. A razão desse número pelo total de pontos, multiplicada pela área total, é a área das regiões descartadas da análise. Subtraindo essa área da total encontra-se a área efetiva.

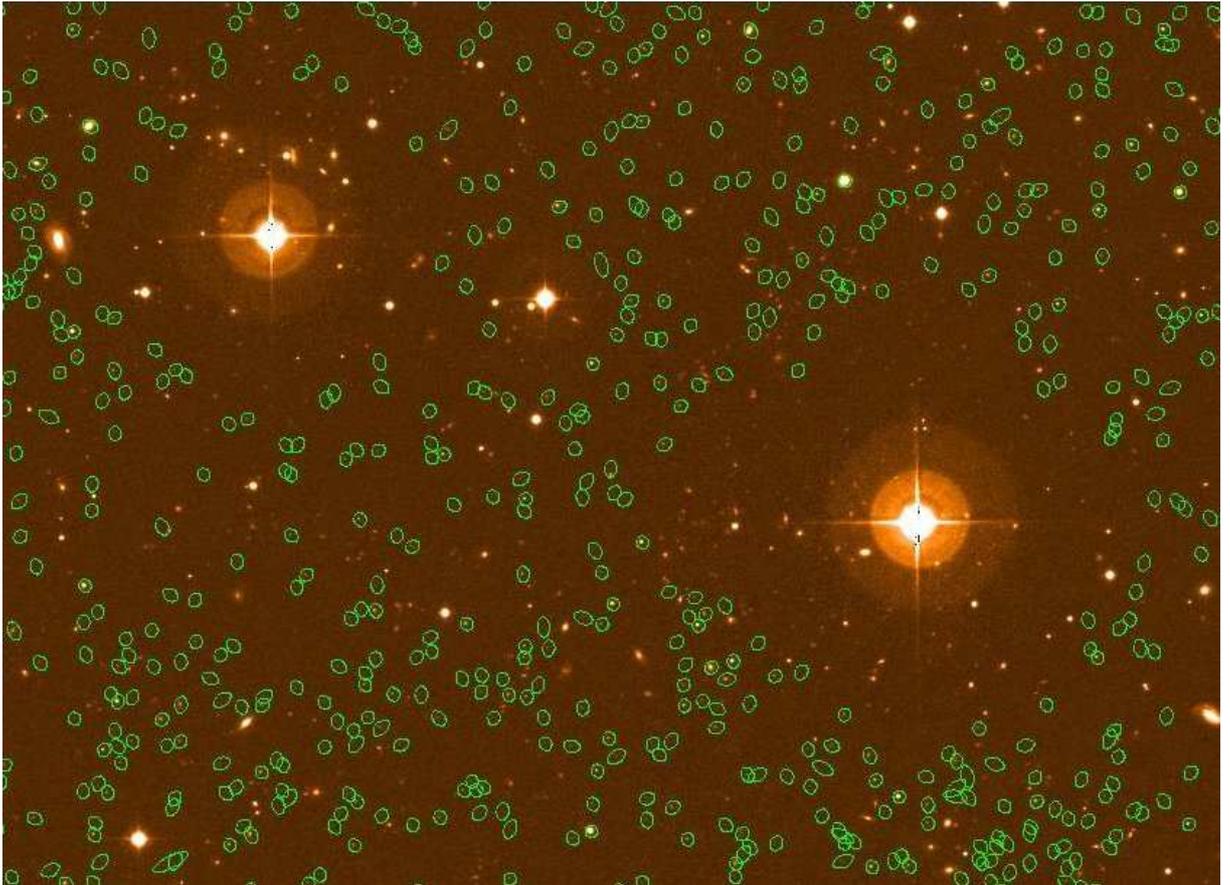


Figura 2.7: Região da imagem na banda I do campo Deep2b, com o catálogo na mesma banda superposto (objetos localizados fora das máscaras e com *FlagState* considerado bom estão representados pelas elipses verdes).

Tabela 2.4: Áreas efetivas (em graus quadrados) cobertas por diferentes bandas em cada campo do DPS (apenas campos com óptico e infravermelho observados, os mesmos presentes na tabela 2.2).

Bandas	Deep1a	Deep1b	Deep2a	Deep2b	Deep2c	Deep3a	Deep3b
u	0.3176	-	-	-	-	0.3132	-
U	0.3294	0.3118	-	0.3164	0.3161	0.3184	0.3208
B	0.3077	0.2968	-	0.3010	0.3087	0.3014	0.3007
V	-	0.3003	-	0.3047	0.3128	0.3107	0.3057
R	0.2988	0.3095	0.3028	0.3038	0.3217	0.2982	0.2969
I	-	0.2986	-	0.2931	0.3327	-	0.2953
J	0.0950	0.0773	-	0.0937	0.0980	0.0959	0.0907
K	0.0856	0.0875	0.1558	0.1941	0.0979	0.1888	0.1814

descartando áreas das máscaras e das bordas) razoáveis com fotometria disponível em várias bandas (como mostra a tabela 2.4). Isso permite a seleção e o estudo de uma considerável amostra de EROs presentes em áreas de apontamentos distintos.

2.1.2 Catálogos de Cor

Um produto essencial para este trabalho, construído a partir do levantamento de dados em várias bandas do DPS, foi um catálogo de cor. Esse é um catálogo especial, que reúne os dados obtidos em cada banda (como a posição, magnitudes e seus erros, entre vários outros parâmetros), de modo que cada uma de suas linhas contenha todas as informações de um mesmo objeto.

Foi no contexto de construção de um catálogo único de cor para os dados do DPS que foi desenvolvido o trabalho desta tese. Esse processo foi feito em colaboração de C. Benoist, com nossa participação especialmente na avaliação e validação dos catálogos de cor produzidos. Note-se que tal catálogo ainda não havia sido produzido

e sua avaliação foi exaustivamente feita neste trabalho. Isto requereu prática e testes com ferramentas como o SExtractor e a elaboração de procedimentos de tratamento desses dados.

De forma resumida, a seqüência de etapas para se obter cada um desses catálogos começou com imagens em diferentes bandas, cada uma gerando um catálogo de objetos de uma só banda (através do uso de programas de extração de fontes, como o SExtractor mencionado anteriormente), e as informações contidas nesse conjunto de catálogos, a partir da associação entre seus objetos, sendo reunidas num único arquivo que denominamos catálogo de cor.

Existem diferentes modos de construção de um catálogo de cor, que estão vinculados à forma como os catálogos individuais de cada banda foram gerados. É possível executar o SExtractor no modo de uma única imagem ou no de duas imagens, sendo que nesse segundo caso, uma delas é usada apenas no processo de detecção de objetos (a imagem de referência), enquanto apenas na segunda imagem é que são realizadas as medidas fotométricas. Obviamente, no modo de uma única imagem, essas medidas são feitas sobre a posição dos objetos localizados na mesma imagem.

Quando catálogos de diferentes bandas são obtidos executando o SExtractor nesse modo de duas imagens, a associação entre seus objetos é direta, com a posição de cada objeto dada pela imagem de referência. Essa imagem pode ser uma imagem num dado filtro, como também pode ser uma resultante da combinação de imagens em diferentes filtros, podendo-se usar desde uma simples soma à criação de uma imagem χ^2 (Szalay et al., 1999). Essa forma de associação é interessante por ser precisa, pois sabe-se exatamente quais são os objetos em todos os catálogos individuais. No entanto, o fato de se estar usando uma imagem específica como referência para a detecção de objetos pode levar à perda de objetos no catálogo de cor, já que um objeto detectado num filtro pode não ser detectado em outro. Na verdade, uma imagem de referência combinada aparece como uma opção para minimizar exatamente esse efeito.

Já quando se executa o SExtractor no modo de uma única imagem, a associação entre objetos de catálogos de diferentes bandas tem que ser feita a partir da posição

desses objetos, fazendo uma busca dentro de um certo raio (tipicamente de segundos de arco). Esse método foi usado neste trabalho para o DPS, onde a posição de cada objeto foi adotada como a posição média de todas as bandas em que o objeto tenha sido detectado. A vantagem deste é que todos os objetos detectados nas imagens de todas as bandas estão presentes no catálogo de cor correspondente. Entretanto, o processo de associar um objeto observado numa banda a outro em outra banda não é simples, pois, como já foi mencionado, um objeto detectado numa banda pode não ser em outra ou pode haver mais de um objeto muito próximo da sua posição, o que leva a múltiplas associações.

Estes aspectos mostram que um catálogo de cor é um conjunto de dados particular, com características próprias decorrentes do fato de ter origem em vários catálogos de uma só banda onde cada um tem suas propriedades. Por essa razão, consideramos alguns parâmetros para facilitar sua administração e validação, sendo os de maior relevância conhecidos como *ColorContext* e *AssociationContext*. Eles são responsáveis por informar, respectivamente, se um objeto se encontra na área útil de uma imagem numa certa banda e se ele recebeu múltiplas associações ou não numa dada banda, sendo isso feito para todas as bandas (apresentam formato *string* de 0 e 1).

Antes de analisar os dados presentes nos catálogos de cor é necessário passá-los por um processo de filtragem, de modo a manter apenas objetos que estejam localizados fora das regiões mascaradas e das bordas das imagens (descritas na seção anterior), que não tenham mais que uma associação (ou seja, que não tenha mais de um objeto associado àquela posição) e que tenham sido considerados confiáveis pelo SExtractor. Esses critérios devem ser aplicados para dados de todos os filtros que nos interessarem (dependendo do *ColorContext*) simultaneamente, de forma que no catálogo de cor que será analisado só fiquem objetos confiáveis nesses filtros. Um exemplo da importância desse cuidado pode ser mencionado: se estivermos trabalhando com filtros que cobrem tanto o lado mais azul quanto o mais vermelho do espectro óptico, e considerarmos apenas as máscaras do mais azul, podemos estar permitindo a permanência no catálogo de cor de objetos contaminados pelo brilho

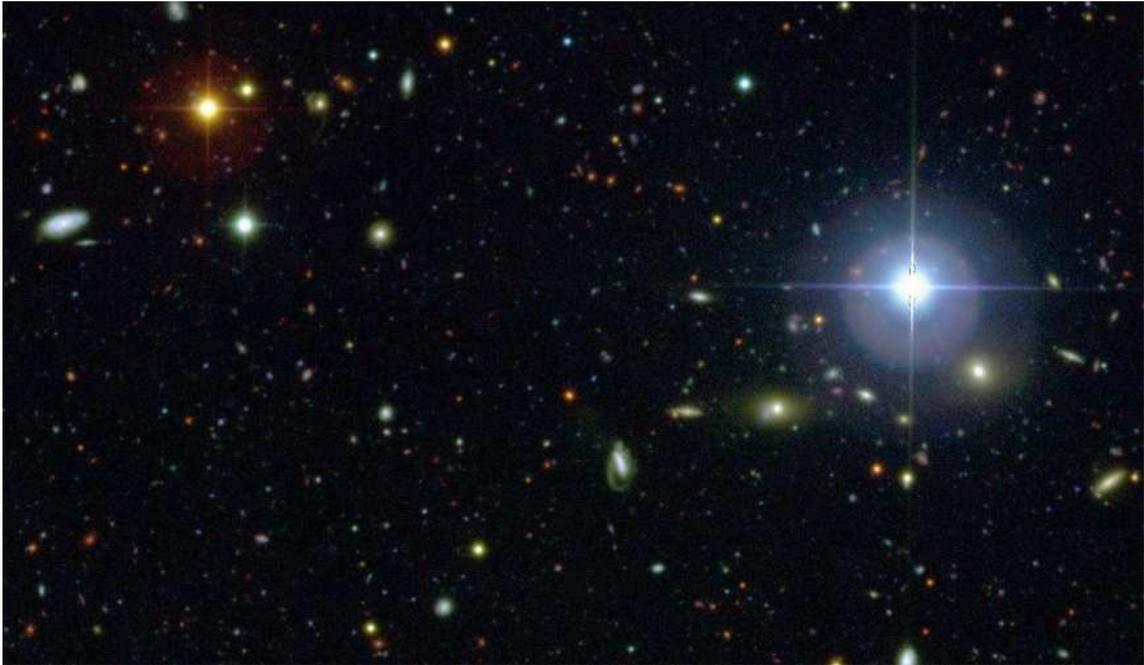


Figura 2.8: Região de uma imagem colorida do campo Deep2c, obtida a partir da combinação das imagens nos filtros U, V e I.

de uma estrela muito brilhante no vermelho. A figura 2.8 mostra uma região de uma imagem produto da combinação de 3 outras nos filtros U, V e I do campo Deep2c, onde nota-se estrelas com cores distintas.

Note-se que, obviamente, a área efetiva de um conjunto de filtros é menor que a área efetiva de um desses filtros individualmente, como se pode notar comparando os conteúdos das tabelas 2.4 e 2.5. Porém essa perda é compensada pelo ganho em confiabilidade da amostra a ser analisada, especialmente quando se usa as magnitudes em todas as bandas com um só propósito, como é o caso no cálculo de *redshifts* fotométricos (que será visto no próximo capítulo).

Durante o processo de avaliação dos catálogos de cor, encontramos alguns problemas que foram sanados. Os de maior proporção foram a existência de faixas vazias de objetos nos catálogos das bandas do infravermelho de alguns dos campos e a diferença entre as posições de objetos nas bandas do óptico e do infravermelho. O primeiro caso foi constatado ser um problema na associação dos catálogos de cada imagem do infravermelho que gera o catálogo final das bandas J e Ks. De fato,

Tabela 2.5: Áreas efetivas (em graus quadrados) cobertas por diferentes conjuntos de bandas em cada campo do DPS. As siglas Opt e IR mostram que as bandas consideradas foram, nessa ordem, todas as do óptico disponíveis para o campo em questão e as duas do infravermelho (J e K).

Bandas	Deep1a	Deep1b	Deep2a	Deep2b	Deep2c	Deep3a	Deep3b
Opt	0.2775	0.2783	0.3028	0.2722	0.2876	0.2771	0.2591
Opt+K	0.0780	0.0788	0.1462	0.1734	0.0968	0.1702	0.1605
Opt+IR	0.0774	0.0689	-	0.0813	0.0964	0.0916	0.0856

nota-se na figura 2.9 que objetos foram detectados (como se pode ver marcados como pontos vermelhos e brancos, cada cor referente a um catálogo de uma imagem), mas não estão presentes no catálogo final (cujos objetos estão marcados por elipses verdes). Já as diferenças nas posições, ilustradas na figura 2.10, provavelmente foram devido à utilização de 2 diferentes catálogos de referência para calibração da astrometria: o catálogo Guide Star Catalog (GSC2.2) foi utilizado no óptico e catálogo U.S. Naval Observatory (USNO-B) no infravermelho. Uma correção foi feita com base na diferença encontrada entre os dois.

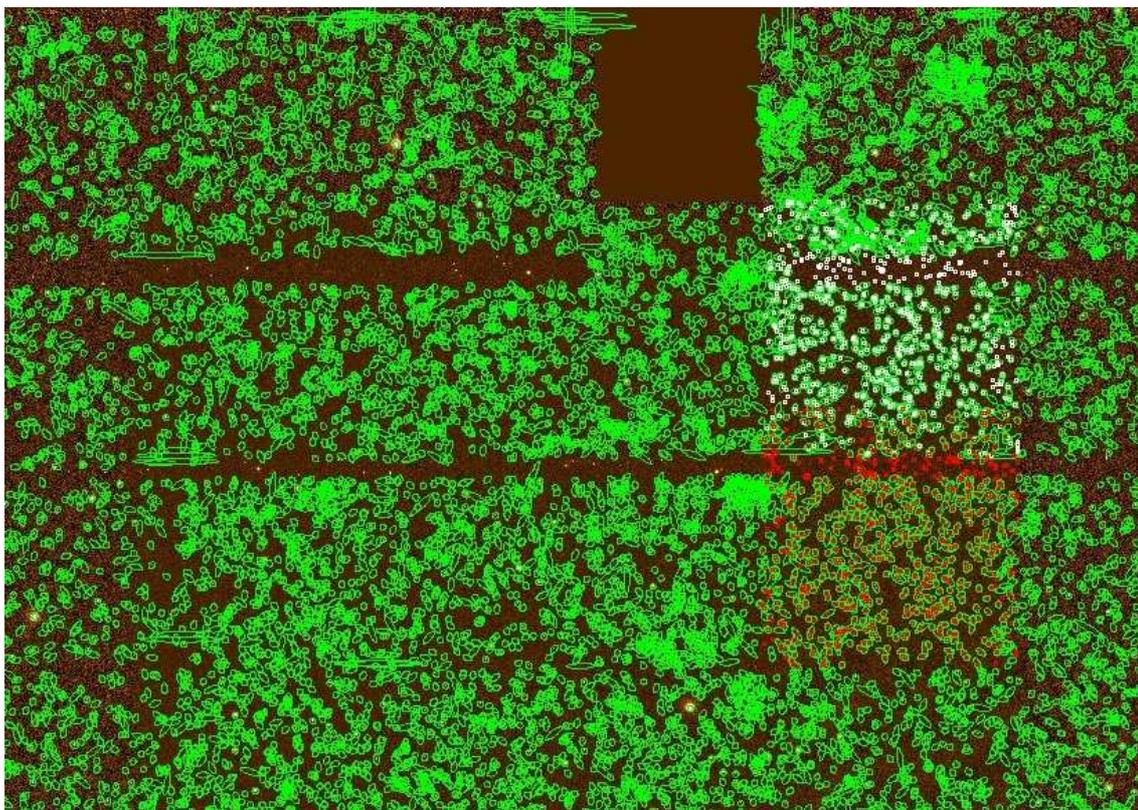


Figura 2.9: Região de uma imagem na banda Ks do campo Deep3a com seu catálogo sobreposto.

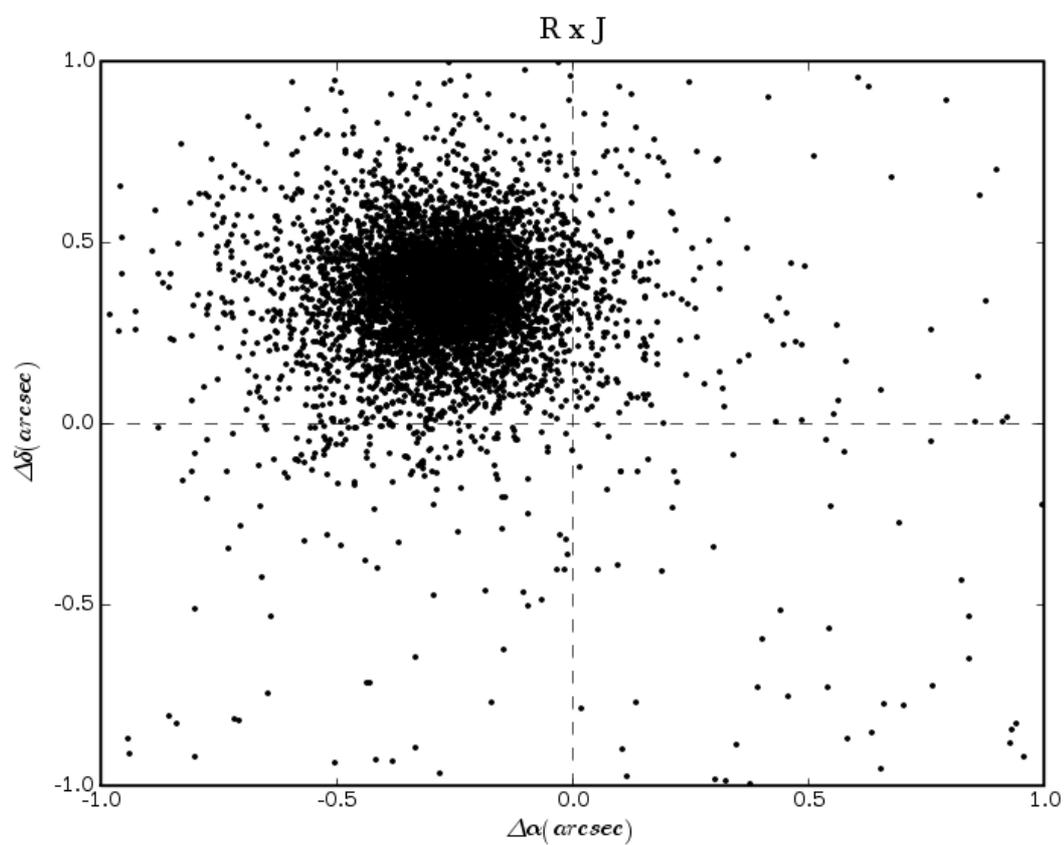


Figura 2.10: Diferenças em ascensão reta e declinação dos objetos detectados nas bandas R e J do campo Deep3b.

2.1.3 Classificação Estrela-Galáxia

Olsen et al. (2006a; 2006b) e Mignano et al. (2007) estabeleceram seus critérios de classificação dos objetos detectados em estrelas ou galáxias para cada banda individualmente. Todavia, a utilização de um novo critério foi necessário para se trabalhar com um catálogo de cor. A forma mais simples considerada foi seguir a classificação que o objeto ganhou no catálogo individual em um filtro específico, podendo ser o filtro com menor *seeing* (a largura do perfil de dispersão de uma fonte pontual) ou o que alcance um limite mais fundo em magnitude. Tendo-se a disposição um catálogo de cor, outras possibilidades se apresentam, como fazer uso de um programa de ajuste de *templates* (como o Le Phare, que será apresentado no próximo capítulo sobre cálculo de *redshifts* fotométricos), que busca a que melhor se ajusta ao conjunto de magnitudes nas bandas disponíveis, ou utilizar o espaço cor-cor e procurar por *loci* definidos das duas famílias de objetos (o que pode ser realizado com programas que buscam modelar as características das populações estelares de nossa galáxia, como o código desenvolvido por Basílio Santiago e o Trilegal desenvolvido por Leo Girardi, veja Girardi et al. (2005)), ou ainda usar ambos procedimentos de forma complementar.

Nesse trabalho, consideramos, além das condições mencionadas na seção anterior, para inclusão de um objeto na amostra de estrelas se foi classificado como tal na banda R, ou seja, aqueles que possuem $ClassStar(R) > 0.95$ e $R_{Vega} < 21.5$. Todos os objetos de um conjunto que não foram classificados como estrelas, formam a amostra de galáxias. A banda R foi escolhida por ter sido observada em todos os campos sob análise, além de apresentar um dos menores *seeing* entre as bandas BVR (a banda U não atinge limites fundos em magnitude, enquanto a banda I tem as imagens com pior qualidade devido à remoção incompleta do padrão de *fringing* em alguns campos). As figuras de 2.11 e 2.12 mostram o efeito dessa escolha sobre as demais bandas (que não a R) para o campo Deep3b, através da distribuição do índice de estelaridade *ClassStar* e do raio que engloba 50% do fluxo do objeto (denominado *FluxRadius*) em função da magnitude em cada banda (esses gráficos para

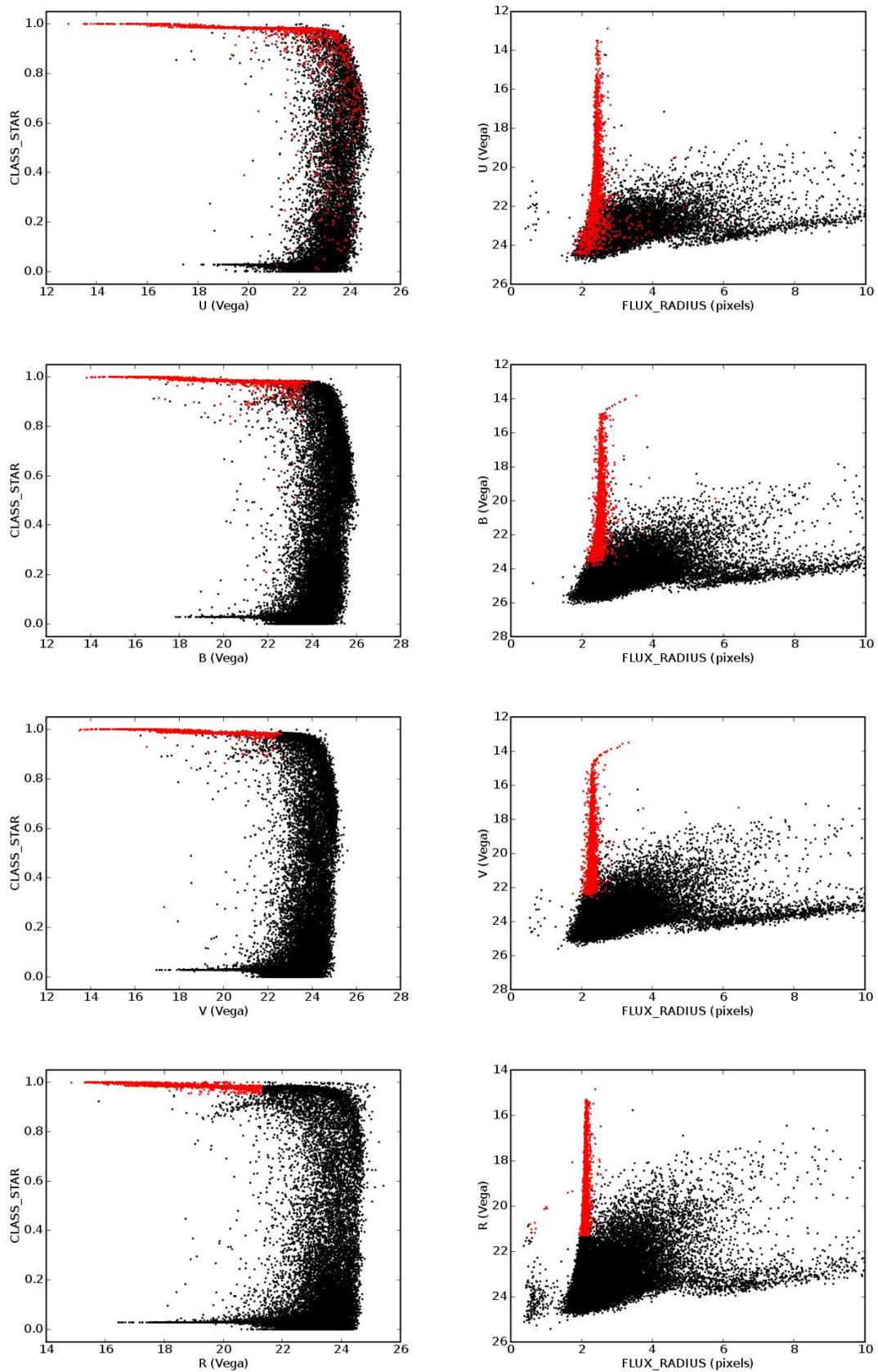


Figura 2.11: *ClassStar* em função da magnitude nas bandas UBVR (nessa ordem de cima para baixo) e magnitude em função de *FluxRadius* para o campo Deep3b: galáxias em preto e estrelas em vermelho (adotando a classificação da banda R).

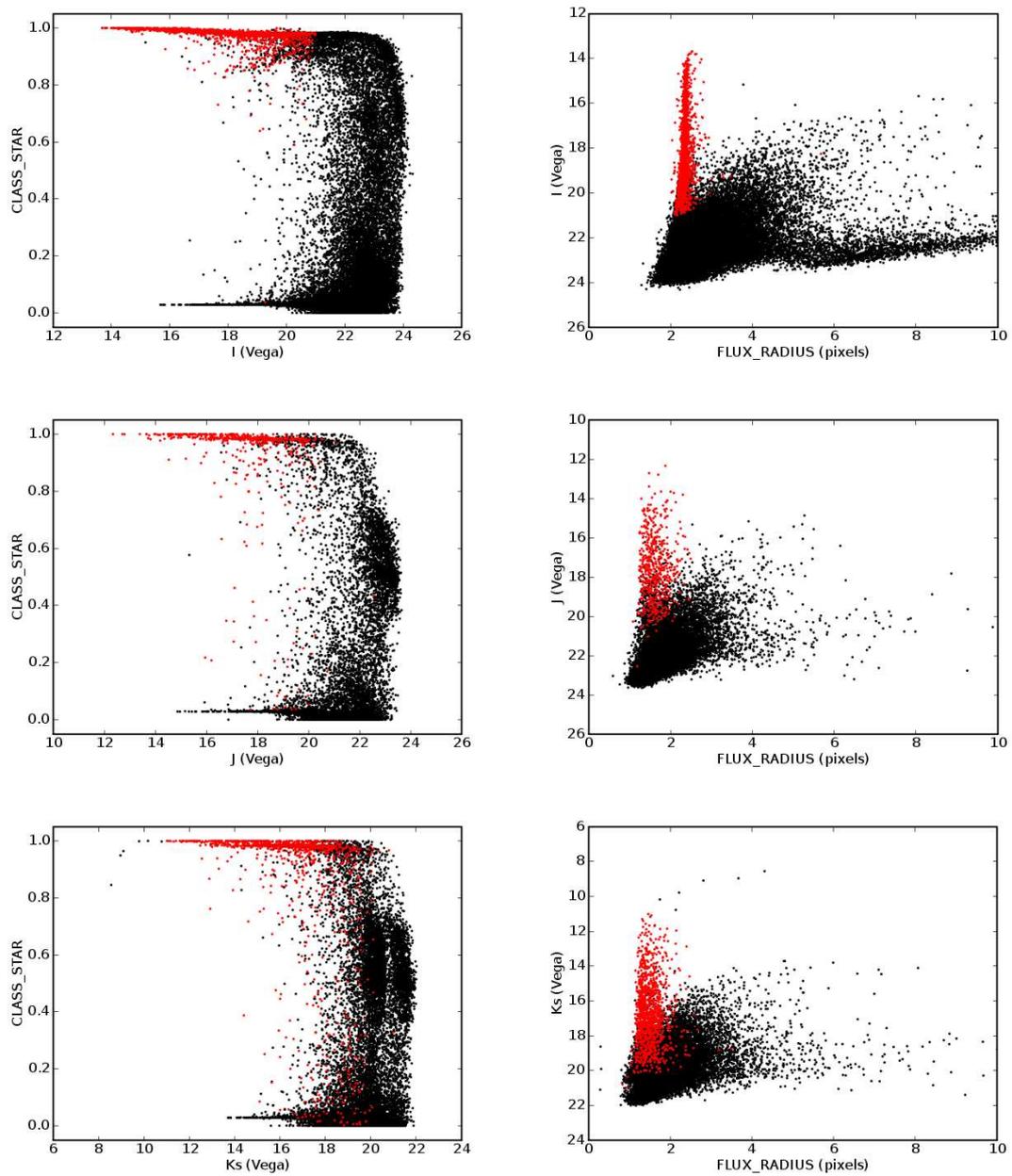


Figura 2.12: *ClassStar* em função da magnitude nas bandas IJK (nessa ordem de cima para baixo) e magnitude em função de *FluxRadius* para o campo Deep3b: galáxias em preto e estrelas em vermelho (adotando a classificação da banda R).

os demais campos são apresentados no Apêndice B). Espera-se que estrelas ocupem determinadas regiões, como ilustram bem os gráficos relativos à banda R, devendo estar concentradas em altos valores de *ClassStar* e com *FluxRadius* em torno de um valor independente da magnitude. Entretanto, pode ser visto nestas figuras que escolher a classificação da banda R pode levar a uma pequena contaminação por estrelas na amostra de galáxias, e vice-versa, visto que são encontrados pontos vermelhos (supostamente estrelas) nas regiões esperadas de objetos extensos (baixo *ClassStar*, por exemplo) e pontos pretos (supostamente galáxias) nas regiões esperadas de estrelas. Deve-se levar em conta também que é possível encontrar estrelas com valores mais baixos de *ClassStar*, devido ao fato de nem sempre aparecerem como fontes pontuais perfeitas por causa de um eventual alto valor do *seeing* no momento de sua observação.

Com o objetivo de também avaliar o método de classificação, foram construídos para o catálogo único de cor os gráficos de densidade diferencial de galáxias e de estrelas que apresentam o número de objetos por unidade de área encontrados em intervalos de 0.5 magnitude. Como exemplos, apresentamos nas figuras 2.13 e 2.14 essas contagens normalizadas de galáxias, e as de estrelas nas figuras 2.15 e 2.16 para todas as bandas disponíveis nos campos Deep2c e Deep3b (para os demais campos, figuras similares são apresentadas no Apêndice B). Esses gráficos foram construídos a partir de dados presentes em seus catálogos de cor, de onde selecionamos apenas os objetos fora das regiões mascaradas e das bordas dos campos na banda em questão, e os que receberam *FlagState* bom e uma associação em todas as bandas (podendo receber nenhuma associação em algumas bandas). Em cada um também são apresentadas as magnitudes de completeza de 80% (linha tracejada azul) alcançadas por cada amostra de objetos extensos, cujos valores podem ser encontrados na tabela 2.6. No caso da banda Ks, devido ao fato de haver duas estratégias de observação realizadas para alguns campos com diferentes profundidades, separamos suas amostras (Deep2b, Deep2c, Deep3a e Deep3b) em outras duas: objetos localizados na região das observações mais profundas, e objetos localizados fora dela. As densidades de galáxias de ambas sub-amostras estão superpostas, re-

Tabela 2.6: Magnitudes de completeza (80%, em Vega) de cada campo do DPS apresentado na tabela 2.2 (Olsen et al. (2006a; 2006b)). Para as bandas J e Ks, suas magnitudes são, na verdade, a média daquelas apresentadas pelas imagens que compõe seu mosaico. No caso do campo Deep2c, as magnitudes entre parênteses se referem a sua área mais central.

Campo	U	u	B	V	R	I	J	Ks(shallow)	Ks(deep)
Deep1a	23.80	22.56	24.86	-	23.94	-	21.50	-	19.40
Deep1b	23.39	-	24.51	23.81	24.19	22.90	21.57	-	19.57
Deep2a	-	-	-	-	23.54	-	-	19.05	-
Deep2b	22.99	-	24.81	23.81	23.75	22.32	21.48	19.05	19.70
Deep2c	23.83	-	-	24.12	-	-	21.41(21.61)	-	19.52 (19.53)
Deep3a	23.39	22.72	24.71	23.80	23.80	-	21.52	19.01	19.63
Deep3b	23.25	-	24.56	23.77	23.46	22.74	21.44	18.91	19.63

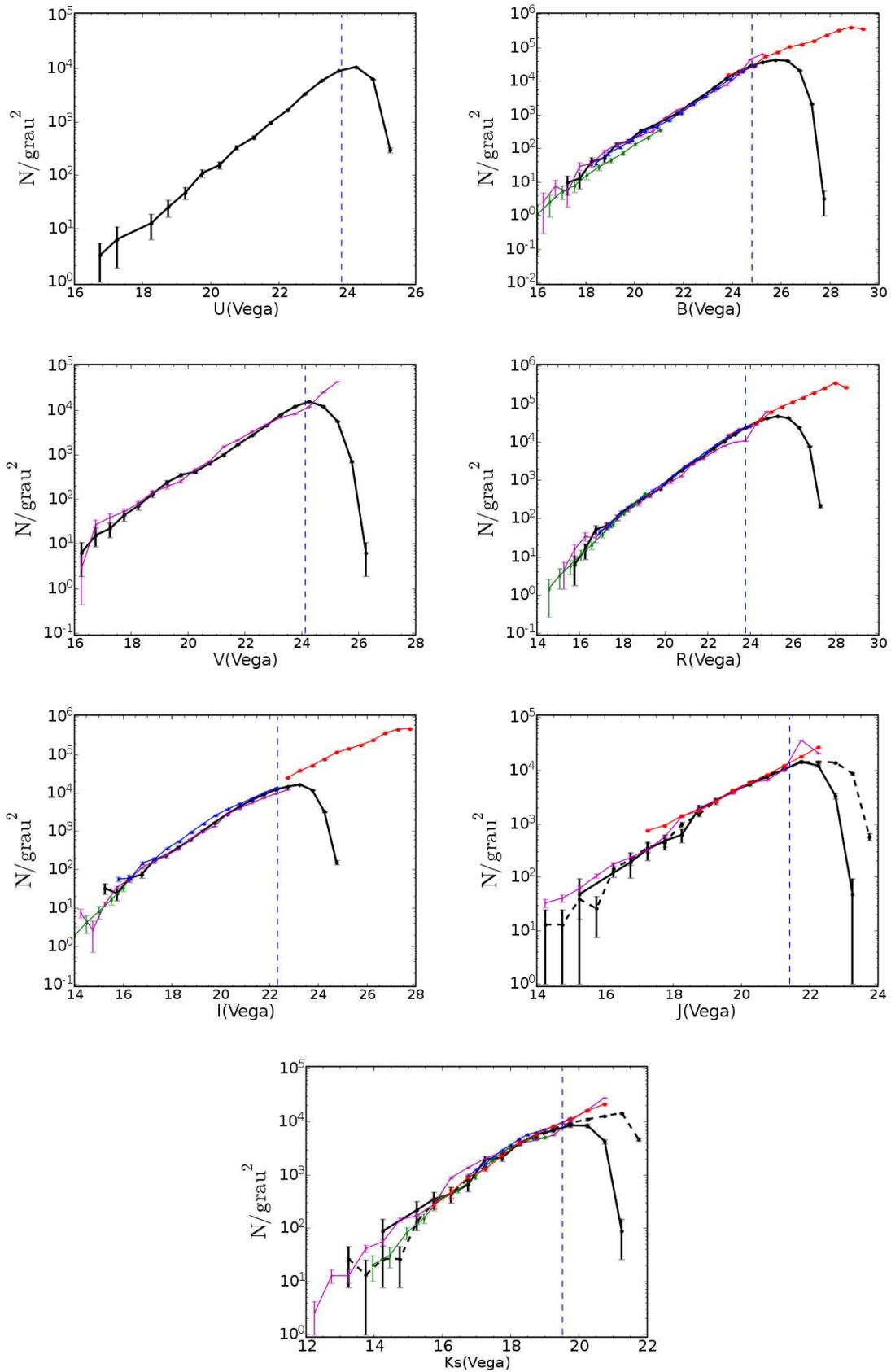


Figura 2.13: Densidade diferencial de galáxias em função da magnitude em cada banda para o campo Deep2c (em preto), e dados da literatura superpostos (detalhes no texto). Os pontos estão no centro de cada intervalo de magnitude (erros poissônicos).

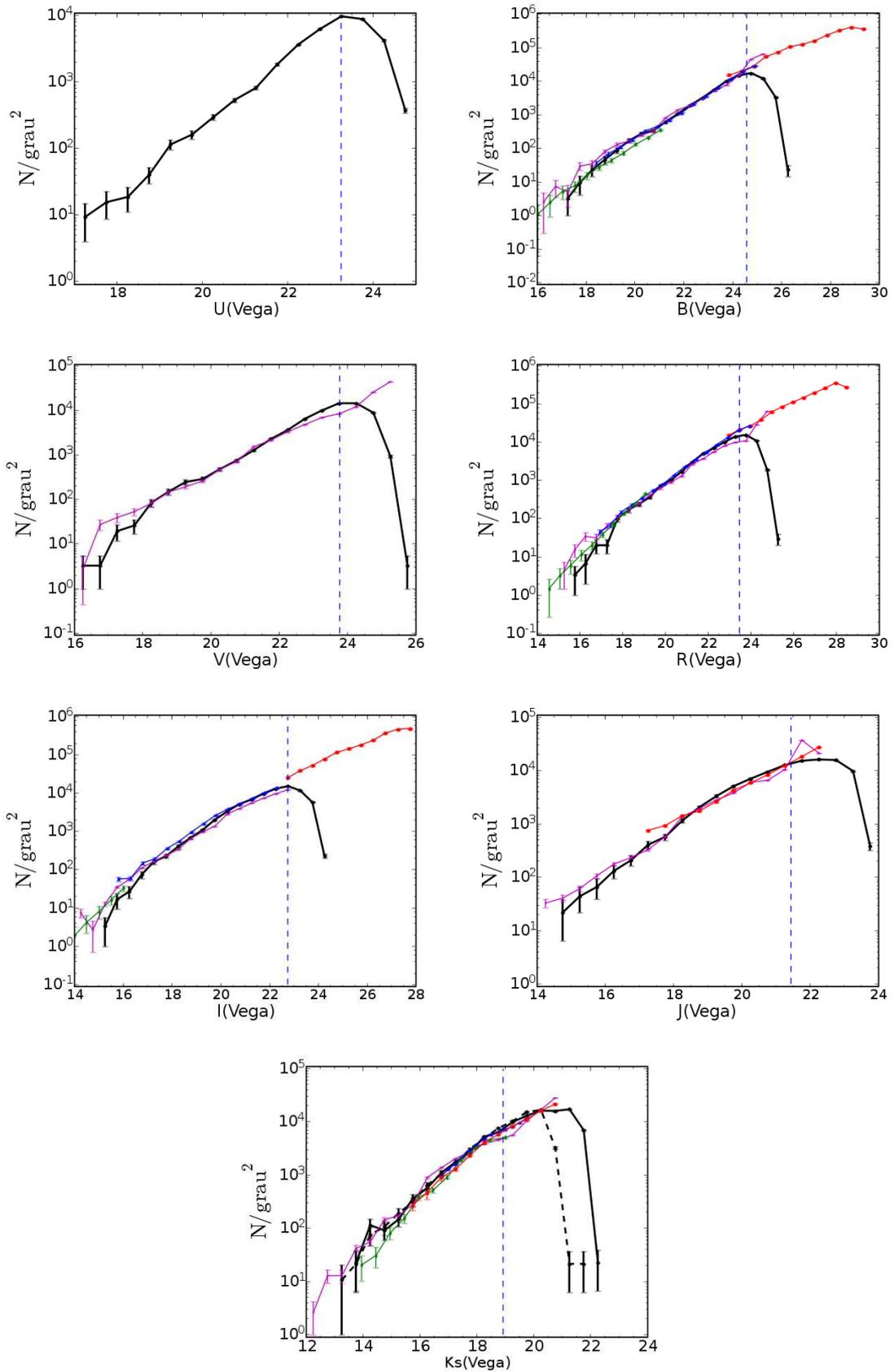


Figura 2.14: Densidade diferencial de galáxias em função da magnitude em cada banda para o campo Deep3b (em preto), e dados da literatura superpostos (detalhes no texto). Os pontos estão no centro de cada intervalo de magnitude (erros poissônicos).

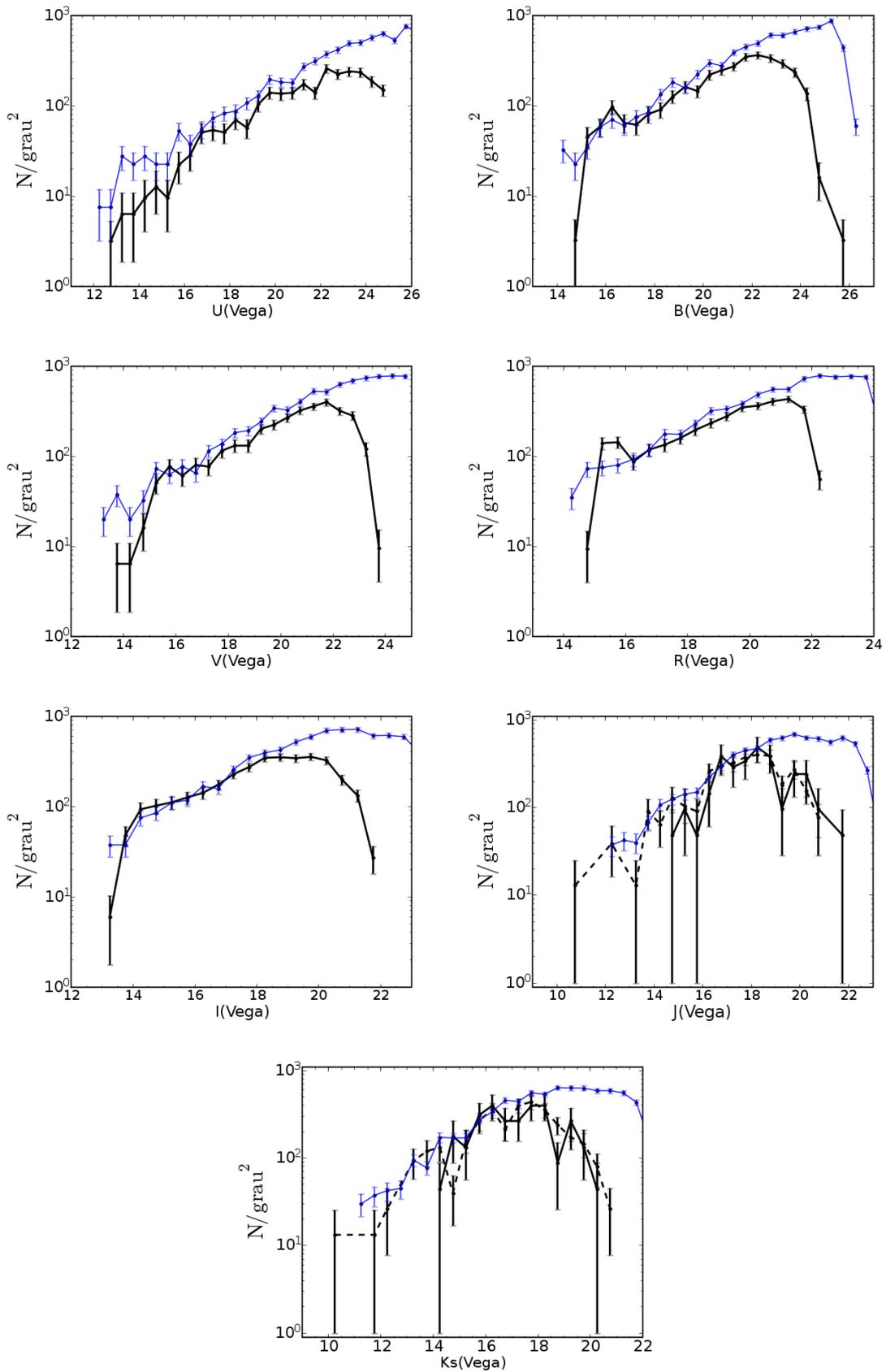


Figura 2.15: Densidade diferencial de estrelas em função da magnitude em cada banda para o campo Deep2c (em preto) comparada com modelo do Trilegal (em azul). Os pontos estão no centro de cada intervalo de magnitude (erros poissônicos).

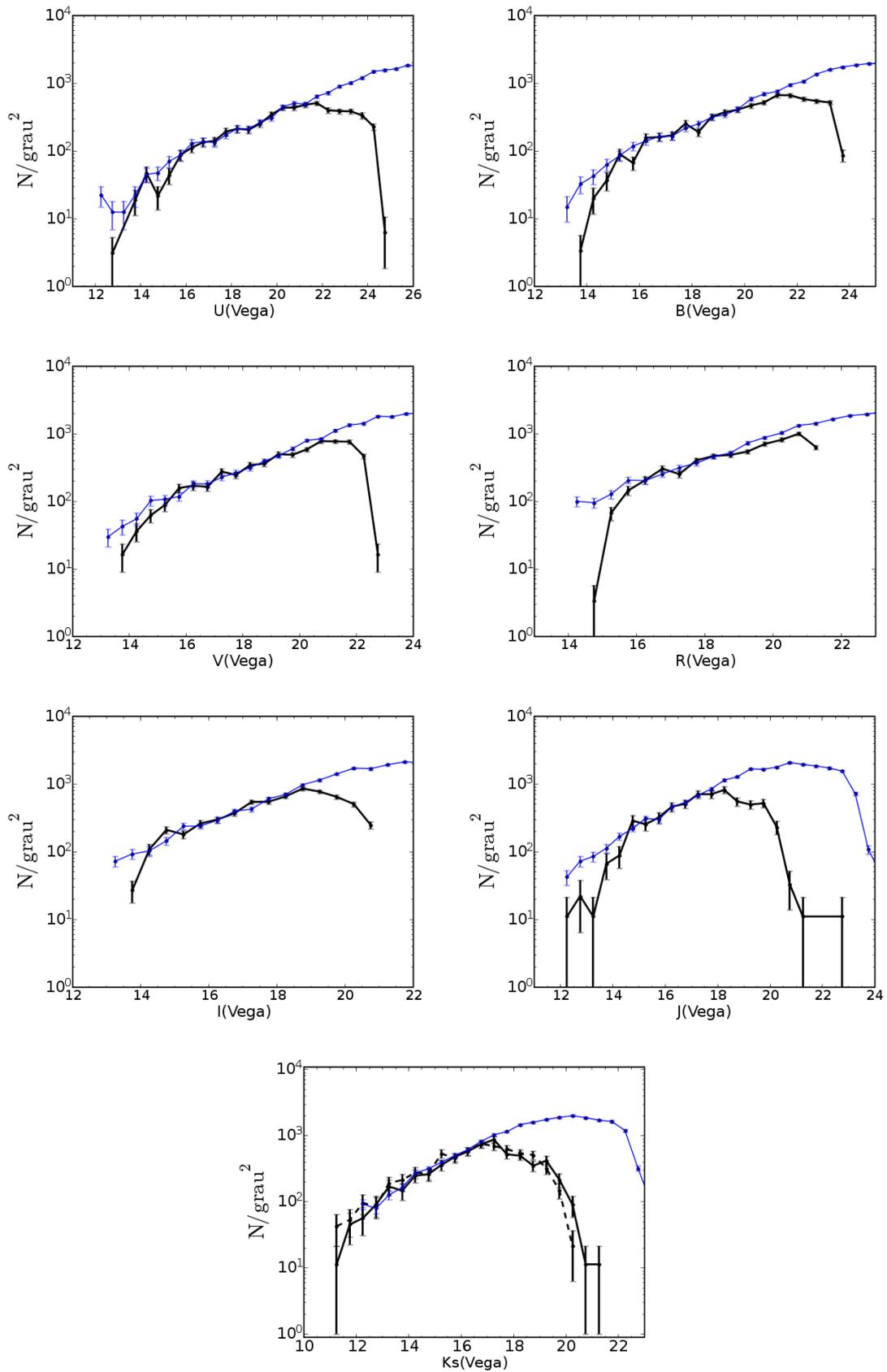


Figura 2.16: Densidade diferencial de estrelas em função da magnitude em cada banda para o campo Deep3b (em preto) comparada com modelo do Trilegal (em azul). Os pontos estão no centro de cada intervalo de magnitude (erros poissônicos).

presentadas pelas linhas contínua e tracejada respectivamente, assim podendo se ilustrar suas diferenças. Para evitar efeitos de incompletude e das diferenças de profundidade num mesmo campo, os resultados apresentados nos capítulos a seguir foram obtidos cortando as amostras de todos os campos em suas respectivas magnitude de completude na banda K (a mais brilhante, no caso dos campos com duas estratégias) e do campo Deep2c também na banda J. A perda de objetos por não considerar a região observada apenas no óptico não é vital para nosso trabalho, pois na definição dos objetos estudados (EROs), a banda K é necessária. Em particular para o campo Deep2c, as áreas efetivas considerando só a banda K ou em conjunto com a J são quase iguais (tabela 2.5).

Os dados da literatura são comparados com os do DPS nas figuras 2.13 e 2.14 utilizando-se os resultados de Feulner et al. (2007) (MUNICS, em rosa para todas as bandas), Metcalfe et al. (2000) e Arnouts et al. (2001) (respectivamente em vermelho e azul para as bandas B, R e I), Bertin et al. (1997) (em verde para as bandas B e R), Mamon et al. (1998) (em verde para banda I), Iovino et al. (2005) (em vermelho para as bandas J e K) e Kong et al. (2006) e Daddi et al. (2000) (respectivamente em azul e verde para a banda K). Os dados de Bertin et al. (1997), Mamon et al. (1998), Metcalfe et al. (2000), Arnouts et al. (2001) foram fornecidos por colaboradores. As contagens de galáxias estão em bom acordo com a literatura, apresentando para um ou outro campo e/ou banda uma maior diferença, a qual pode ser devida à variância cósmica. Ao comparar as curvas dos diferentes campos do DPS (figura 2.17), também foram encontradas diferenças de mesma ordem, lembrando que esses campos vêm de apontamentos distintos no céu e possuem áreas não muito grandes, portanto o efeito de variância cósmica deve estar presente. Concluindo, esses resultados indicam que, pelo menos no que diz respeito a números de objetos, o método de classificação é bom.

Nas figuras 2.15 e 2.16, as contagens de estrelas encontradas para os campos do DPS (em preto) são apresentadas juntamente com as contagens esperadas por modelos fornecidos pelo código Trilegal (construído um para cada campo, em azul). A concordância entre elas é muito boa, lembrando que aqui os modelos servem como

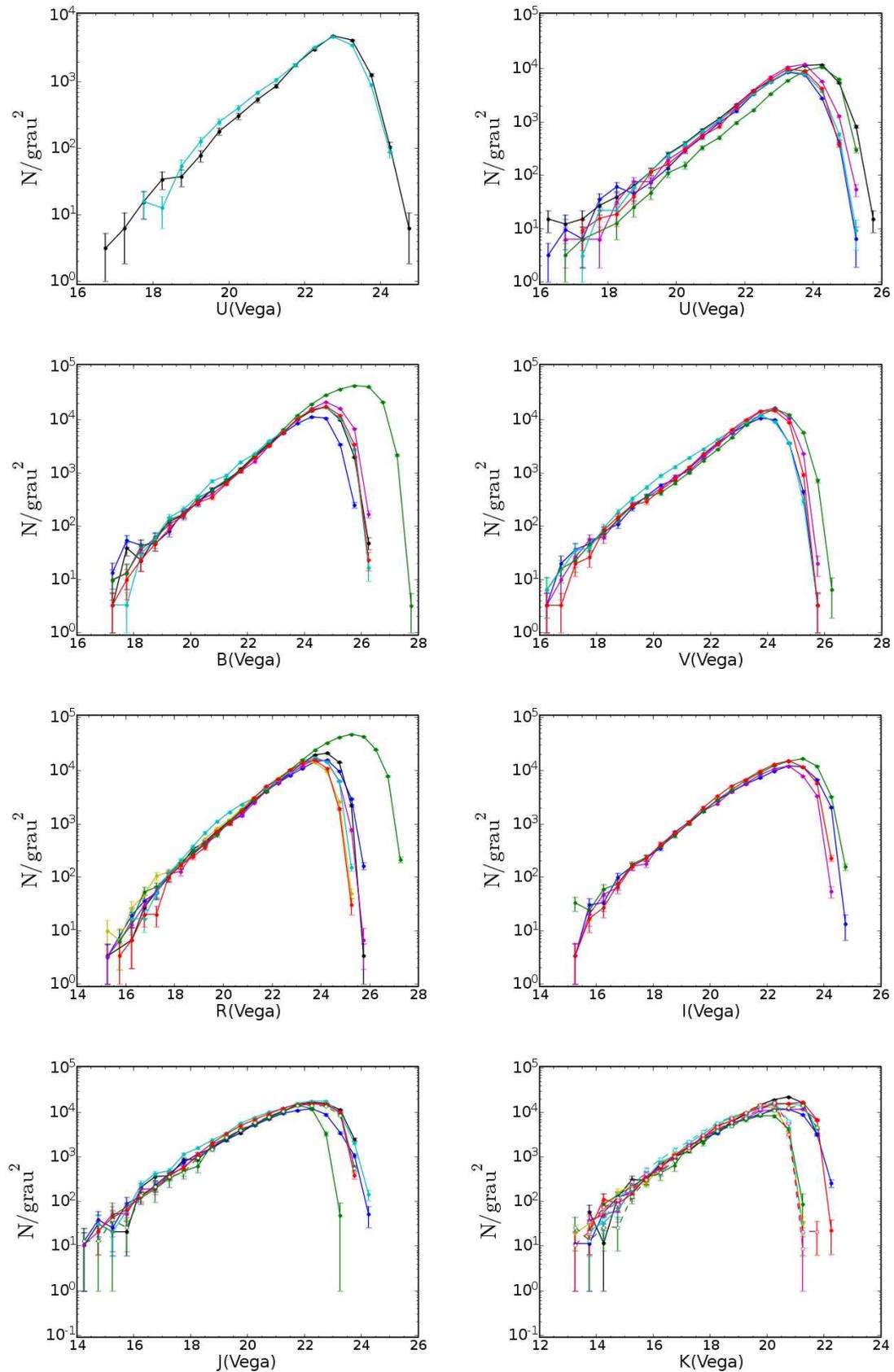


Figura 2.17: Superposição da densidade diferencial de galáxias em função da magnitude em cada banda dos campos Deep1a (preto), Deep1b (azul), Deep2a (amarelo), Deep2b (rosa), Deep2c (verde), Deep3a (azul claro) e Deep3b (vermelho).

um guia.

A distribuição espacial por banda dos objetos classificados como galáxias por esse método no campo Deep3a é apresentada como um exemplo na figura 2.18, onde estão também delimitadas as áreas das máscaras das bandas correspondentes. No caso da banda Ks, os objetos pertencentes às amostras mais profundas estão representados em azul, enquanto os das amostras menos fundas estão em preto. Fica claro nessa figura as diferenças de detecção de objetos entre bandas, apresentando menor número as bandas mais para o azul e para o infravermelho em parte devido às dificuldades inerentes de observação e tratamento de suas imagens (como tempo de exposição necessário muito maior para conseguir uma razoável relação sinal/ruído).

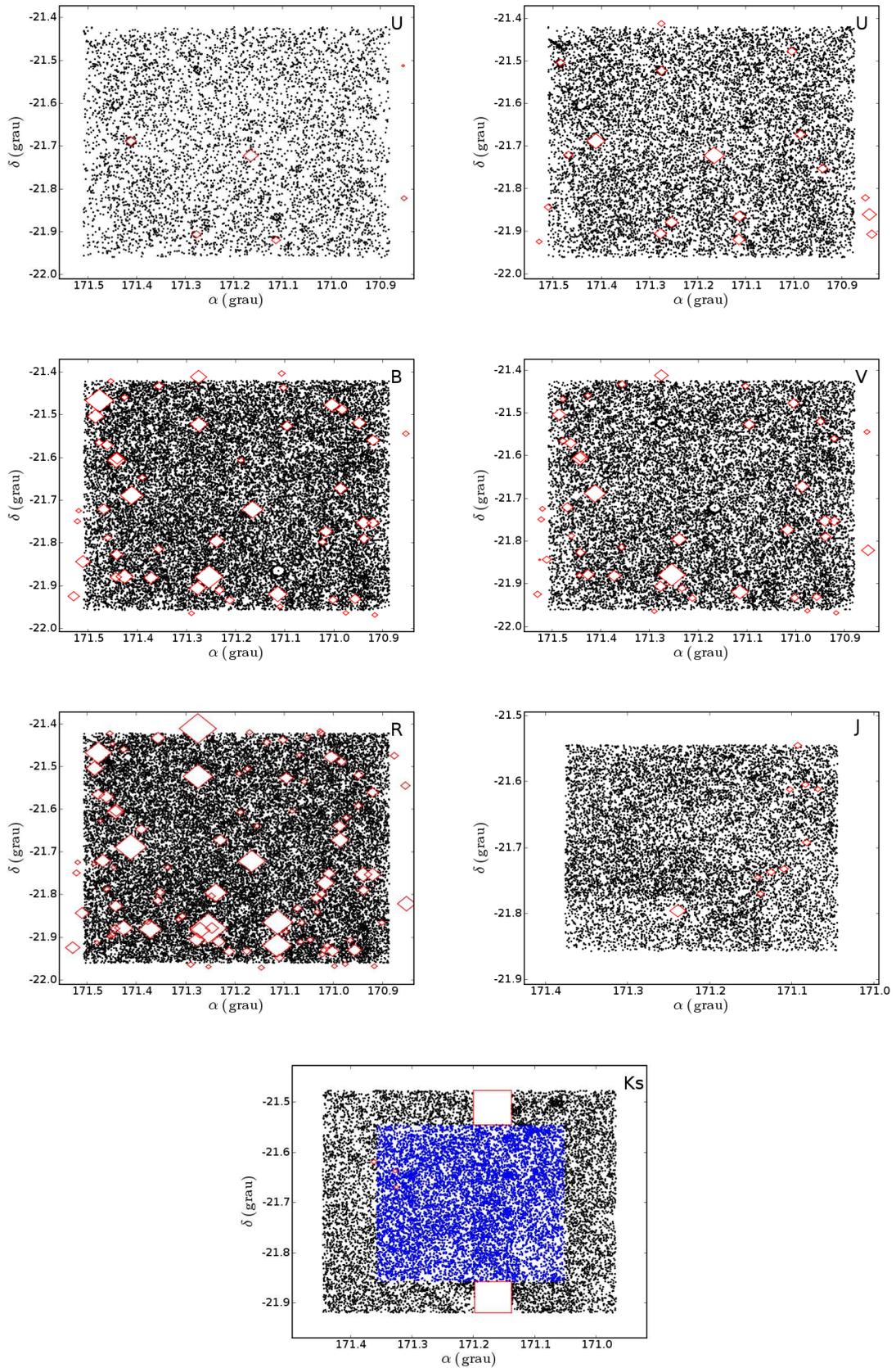


Figura 2.18: Distribuição espacial de galáxias em cada banda para o campo Deep3a.

Também foram calculadas as contagens normalizadas de galáxias e estrelas no contexto máximo, ou seja, selecionando apenas objetos localizados na área útil de todas as bandas simultaneamente. Os resultados são similares aos apresentados anteriormente para objetos localizados na área útil de uma banda específica, como esperado, uma vez que estão normalizados pela área.

Resumindo, o método de classificação estrela-galáxia adotado nesse trabalho para o catálogo único de cor, com base na classificação original na banda R, parece ser consistente, apesar de existir alguma possível pequena contaminação, aceitável para os objetivos aqui pretendidos. Obtivemos, então, um número total de galáxias encontradas em todos os campos do DPS de cerca de 220000 na banda R, 50000 na banda J e 70000 na banda Ks (os três filtros apresentados são os relevantes no estudo de EROs).

Outro critério considerado na construção do catálogo foi adotar como estrelas os objetos assim classificados em todas as bandas simultaneamente. No entanto, isso reduziu excessivamente o número desses objetos, de modo que esse método foi descartado.

Uma terceira abordagem avaliada foi utilizar o código Le Phare como classificador de objetos já que ele associa um objeto a uma família específica cuja *template* teve o melhor ajuste, esta podendo ser a de uma estrela. O número de estrelas por campo resultou no caso do código Le Phare em um número em geral maior do que o encontrado com o método adotado da classificação na banda R. Entretanto essa diferença depende do número de bandas utilizadas no ajuste (por exemplo, para o campo Deep2b no contexto somente do óptico, o Le Phare encontrou 50% mais estrelas, enquanto que no contexto máximo encontrou 160% a mais). Consequentemente ocorre o efeito inverso com o número de galáxias, que em geral é menor usando-se o código Le Phare que o encontrado pelo método aqui utilizado. É interessante destacar que quase todas as galáxias assim classificadas pelo Le Phare também o são pelo método adotado ($\approx 98\%$).

Como exemplo, a figura 2.19 traz a distribuição do parâmetro *ClassStar* e do parâmetro *FluxRadius* em função da magnitude nas bandas V e K do campo Deep3b,

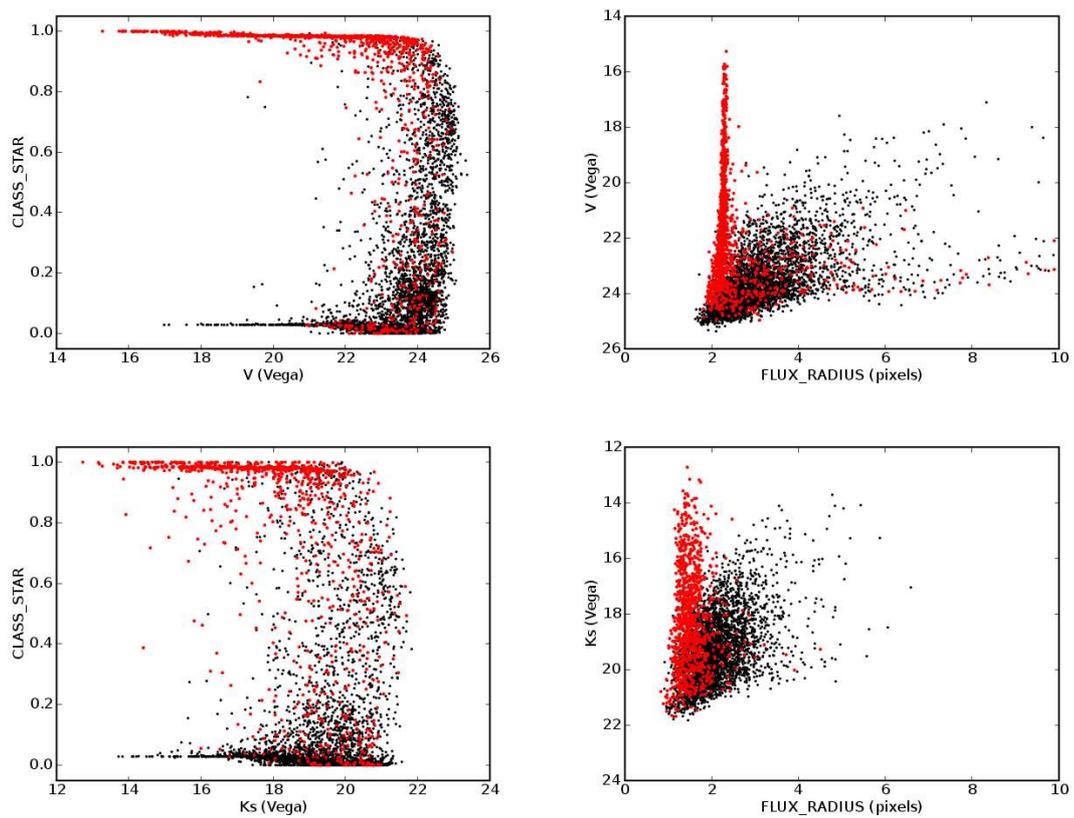


Figura 2.19: *ClassStar* em função da magnitude em cada banda e magnitude em função de *FluxRadius* para o campo Deep3b. Galáxias são representadas pelos pontos pretos, enquanto estrelas são os pontos vermelhos.

onde os objetos presentes são aqueles localizados na área útil de todas as bandas, ou seja, com contexto máximo, o que a princípio deve proporcionar os melhores ajustes do Le Phare. Nesses gráficos, as estrelas (pontos vermelhos) ocupam as regiões esperadas, mas aparentemente contaminam mais as amostras de galáxias (pontos pretos) se comparadas com as figuras 2.11 e 2.12. Se dentre essas estrelas forem selecionadas apenas as que tiverem sido de fato detectadas em todas as bandas, o resultado melhora significativamente, conforme mostra a figura 2.20, mas com a contrapartida de se diminuir o número de objetos. Para as mesmas bandas, a figura 2.21 apresenta as densidades diferenciais de estrelas definidas por dois diferentes critérios de seleção comparadas com modelo gerado pelo código Trilegal (em azul) nos campos Deep2c e Deep3b. As curvas preta e vermelha são referentes a objetos classificados segundo o método adotado com base na definição na banda R (respectivamente, estrelas localizadas na área útil da banda em questão e na área útil de todas as bandas, ou seja, com contexto máximo). As curvas magenta e verde representam estrelas selecionadas pelo melhor ajuste obtido pelo Le Phare (nos dois casos, estrelas com contexto máximo, onde na verde todas apresentam 1 associação em todas as bandas). Em geral, todas essas contagens estão em bom acordo, sendo que a de estrelas definidas pelo Le Phare com contexto máximo (em rosa) apresentam um maior número de objetos mais fracos (excessivo no caso de Deep2c).

Uma avaliação do código Le Phare para ser usado com essa finalidade de classificação está em andamento. Apesar de ser bastante promissor, não foi possível incluir esse método no presente trabalho devido à necessidade de mais testes sistemáticos com amostras conhecidas de cada tipo de objeto.

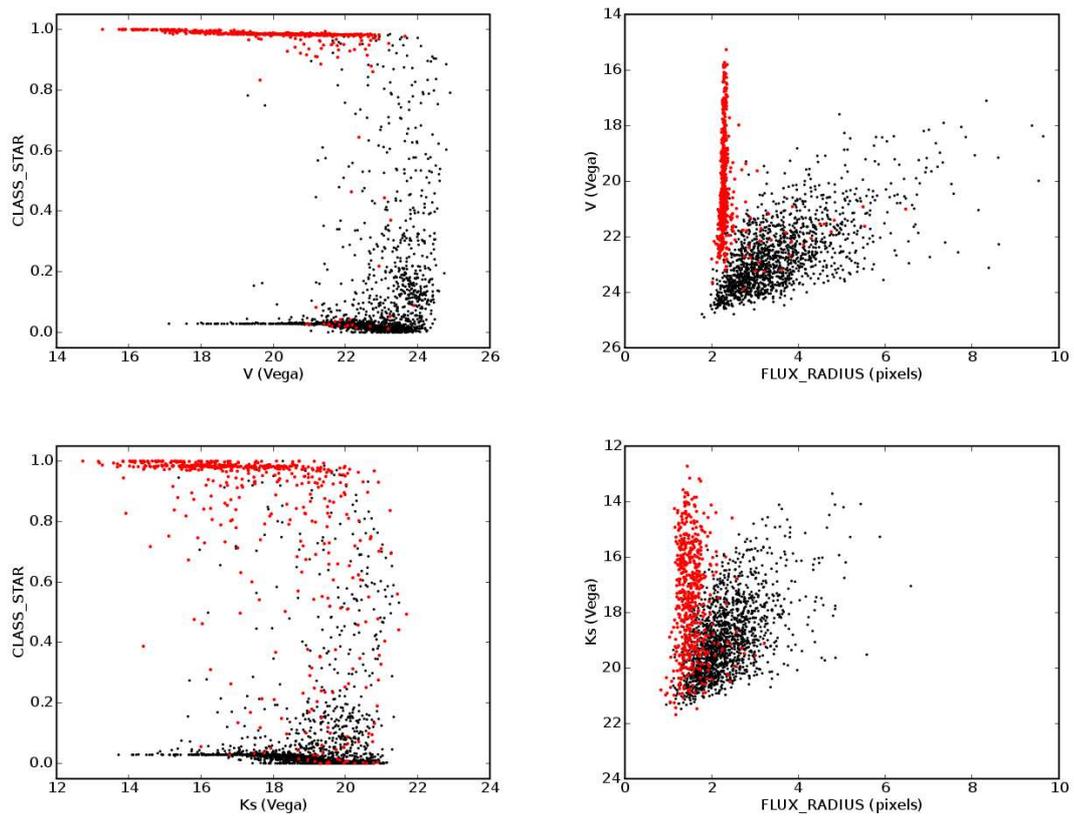


Figura 2.20: *ClassStar* em função da magnitude em cada banda e magnitude em função de *FluxRadius* para o campo Deep3b. Galáxias são representadas pelos pontos pretos, enquanto estrelas são os pontos vermelhos (a diferença para a figura 2.19 é que aqui são apresentados apenas os objetos detectados em todas as bandas).

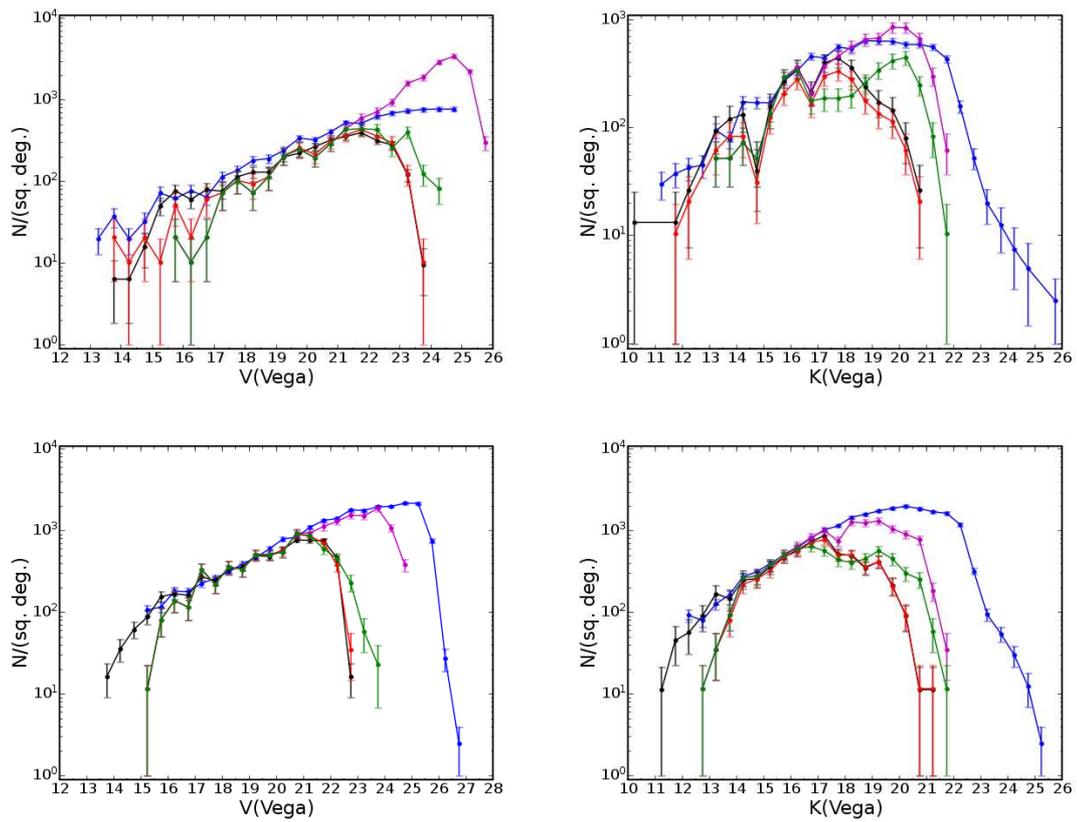


Figura 2.21: Densidade diferencial de estrelas em função da magnitude nas bandas V e K para os campos Deep2c (painéis superiores) e Deep3b (painéis inferiores). Os pontos estão no centro de cada intervalo de magnitude. Os erros apresentados são poissônicos.

2.2 *CFHT Legacy Survey*

Outro grande levantamento de dados fotométricos que utilizamos neste trabalho foi o *Canada-France-Hawaii Telescope Legacy Survey* (CFHTLS). Ele se baseia em observações realizadas com a câmera MegaCam no CFHT, um telescópio óptico/infravermelho de 3.6 metros localizado em Mauna Kea (Hawaii).

Na verdade, o CFHTLS se divide em 3 levantamentos com características distintas denominados *Very Wide* (com pouca profundidade em magnitude, mas com uma grande área de cerca de 400 graus quadrados nas bandas g', r', i'), *Wide* (também não muito profundo, mas com área de 170 graus quadrados nas bandas u^*, g', r', i', z') e *Deep* (formado por quatro campos, com cerca de 1 grau quadrado cada um, observados com maior profundidade nas bandas u^*, g', r', i', z'). Esse último é o que utilizamos no presente trabalho.

Conforme mencionado anteriormente, o levantamento *Deep* compreende 4 regiões do céu denominadas D1, D2, D3 e D4, cujas propriedades são apresentadas na tabela 2.7. Em particular, o campo D1 é bastante interessante para esse trabalho por ter observações tanto fotométricas quanto espectroscópicas do *VIMOS VLT Deep Survey* (VVDS). Sua fotometria foi obtida também no CFHT pela câmera CFH12K nas bandas B,V,R,I, cobrindo toda a região do campo D1 com suas respectivas magnitudes de completeza (50%) 26.5, 26.2, 25.9 e 25.0 (sistema AB). Além da cobertura no óptico (McCracken et al., 2003), uma pequena área (aproximadamente 0.05 graus quadrados) também foi observada no infravermelho pela câmera SOFI no NTT, alcançando magnitudes de completeza (50%) $J_{AB} \sim 24.1$ e $K_{AB} \sim 23.8$ (Iovino et al., 2005). As características de todos os filtros utilizados (com exceção de J e K, pois já foram apresentados na tabela 2.1) podem ser vistas na tabela 2.8. A espectroscopia foi obtida com o espectrógrafo VIMOS no VLT, para objetos selecionados no intervalo $17.5 \leq I_{AB} \leq 24.0$ (Le Fèvre et al., 2005b). Isso rendeu um total de 9231 objetos na mesma área do CFHTLS-D1 com *redshifts* entre 0 e 5, sendo que, dentre esses, 655 foram classificados como estrelas. A cada um dos *redshifts* foi atribuída, pelos seus autores uma flag de qualidade, indo desde uma me-

Tabela 2.7: Posição central, magnitude de completeza (50%) de cada banda no sistema AB e área efetiva (em graus quadrados) dos campos do CFHTLS. RA em unidades de hora minuto e segundo, e DEC em grau, minuto e segundo de arco.

Campo	RA(J2000)	DEC(J2000)	u*	g'	r'	i'	z'	Área Ef.
D1	02:25:59	-04:29:40	26.5	26.4	26.1	25.9	25.0	0.79
D2	10:00:28	+02:12:30	26.1	26.2	26.0	25.7	24.9	0.80
D3	14:19:27	+52:40:56	25.9	26.6	26.4	26.2	25.1	0.83
D4	22:15:31	-17:43:56	26.5	26.3	26.4	26.0	25.0	0.77

dida segura feita em um espectro com características marcantes (flag=4) a nenhuma medida devido à ausência de características no espectro (flag=0). Neste trabalho, nos concentramos apenas nos objetos com flag 2, 3 ou 4 (5754, já excluindo estrelas), o que segundo os autores implica em *redshifts* espectroscópicos $\sim 81\%$, 91-97% e 99% corretos. Toda essa riqueza de dados disponíveis para o campo D1 torna possível cálculos mais precisos de *redshifts* fotométricos assim como permite uma melhor avaliação da qualidade dessas estimativas comparando-as com *redshifts* espectroscópicos, o que será apresentado na seção 3.3. Por essa razão é que o trabalho ficou restrito ao campo D1, além do fato dele ter observações no infravermelho que utilizamos na seleção de EROs.

O processo de criação dos catálogos de cor do CFHTLS foi baseado (pelos seus autores) no uso do SExtractor no modo de duas imagens, utilizando para a detecção de objetos uma imagem χ^2 obtida por uma combinação das imagens nas bandas g',r',i'. Nesse modo, conforme foi mencionado na seção 2.1.2, os catálogos gerados para cada banda já têm seus objetos automaticamente associados entre si. A cada objeto desses catálogos foi associado uma flag que indica se ele é uma galáxia ou um estrela (não saturada), bem como se o objeto está dentro ou fora de uma máscara. Essas máscaras delimitam regiões ao redor de estrelas brilhantes e/ou saturadas,

Tabela 2.8: Informações dos filtros usados nas observações do CFHT (obtidas na página oficial do telescópio).

Banda	$\lambda_{central}(\text{\AA})$	Largura (\AA)
u*	3743	758
g'	4872	1455
r'	6282	1219
i'	7776	1508
z'	11702	6868
B	4312	990
V	5374	974
R	6581	1251
I	8223	2164

bordas da imagem, defeitos na imagem, entre outros, e são definidas automaticamente, embora alguns detalhes tenham sido feitos a mão utilizando o software DS9. Quanto à classificação dos objetos, foram considerados como estrelas aqueles que estivessem localizados no ramo vertical que esse tipo de objeto ocupa no gráfico de *FluxRadius* por magnitude da banda i', em diagramas análogos aos apresentados para o DPS. Para fins de informação, a figura 2.22 mostra as densidades diferenciadas de galáxias para cada banda, com todos os campos superpostos, obtidos pelos autores do CFHTLS e disponibilizados pelo site Terapix.

Utilizamos neste trabalho o catálogo de cor versão T0003 do campo D1 que, além dos dados fotométricos, contem os resultados de execuções do código Le Phare, e que foi cedido por C. Benoist. Os catálogos dos demais campos estão disponíveis (obtidos de http://terapix.iap.fr/rubrique.php?id_rubrique=227) para futuras análises, e também apresentam resultados do Le Phare. O catálogo do campo D1 é produto da associação entre os objetos do catálogo do CFHTLS com os do VVDS, de modo que para cada um de seus objetos estão presentes magnitudes nas bandas

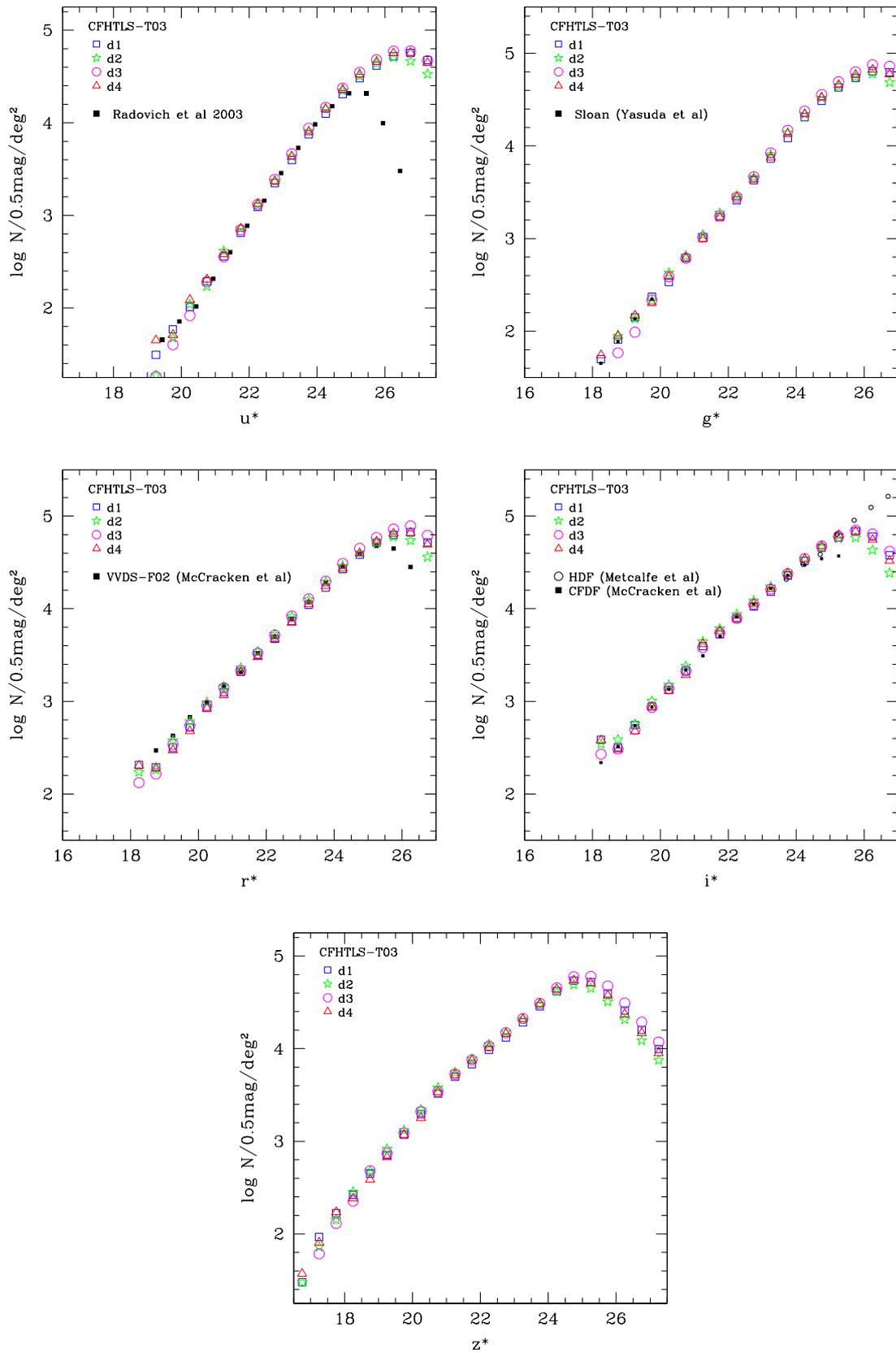


Figura 2.22: Densidade diferencial de galáxias em função da magnitude em cada banda para todos os campos (a título de comparação, dados da literatura estão superpostos em preto). Figuras fornecidas pelo Terapix.

$u^*, g', r', i', z', B, V, R, I, J, K$ (recebendo um valor qualquer quando o objeto não estiver dentro da área observada ou não tiver sido detectado), bem como *redshifts* espectroscópicos, quando disponíveis. Essas magnitudes estão no sistema AB e foram corrigidas da extinção galáctica usando mapas de Schlegel et al. (1998).

Embora ainda não exista um trabalho descrevendo os catálogos do CFHTLS-Deep, foi possível reunir as informações acima a partir daquelas disponíveis nas páginas do CFHTLS (<http://www.cfht.hawaii.edu/Science/CFHLS/>) e do Terapix (<http://terapix.iap.fr>), e também de Ilbert et al. (2006) e McCracken et al. (2008).

Como estamos interessados no trabalho com objetos distantes procuramos escolher como banda de seleção da amostra entre aquelas a mais próxima do infravermelho, optando pela banda i' devido ao fato de apresentar um limite de magnitude mais fundo, além de ser um filtro com características muito semelhantes ao filtro I utilizado no levantamento espectroscópico VVDS. A figura 2.23 apresenta os histogramas das magnitudes aparentes nos filtros i'_{AB} e I_{AB} para a amostra CFHTLS-D1. Como a diferença de magnitudes entre os filtros i' e I é de ≈ 0.07 , eles podem ser considerados essencialmente iguais para fins de comparação. A linha vertical em $I_{AB} = 24.0$ é o limite utilizado na análise do levantamento espectroscópico VVDS. A outra linha vertical representa o limite $i'_{AB} = 26.0$ que foi adotado neste trabalho. Este limite ultrapassa um pouco o limite de completeza da amostra, mas é essencial para permitir a análise de aglomeração até $z \approx 2.5$ com um número de galáxias que viabilize a determinação de funções de correlação.

Os erros em magnitude neste trabalho foram limitados ao valor máximo de 0.33 e a figura 2.24 apresenta a distribuição desses erros para os filtros r' e z' , que definem as cores utilizadas nas análises. Para melhor visualização da variação da densidade de pontos é apresentado no gráfico um conjunto de galáxias reduzido a cerca de 5% do número total de galáxias da amostra CFHTLS-D1. As linhas horizontal e vertical mostram os limites de erros mencionados. Este corte é importante especialmente para um cálculo mais confiável dos *redshifts* fotométricos, como mostraremos no próximo capítulo.

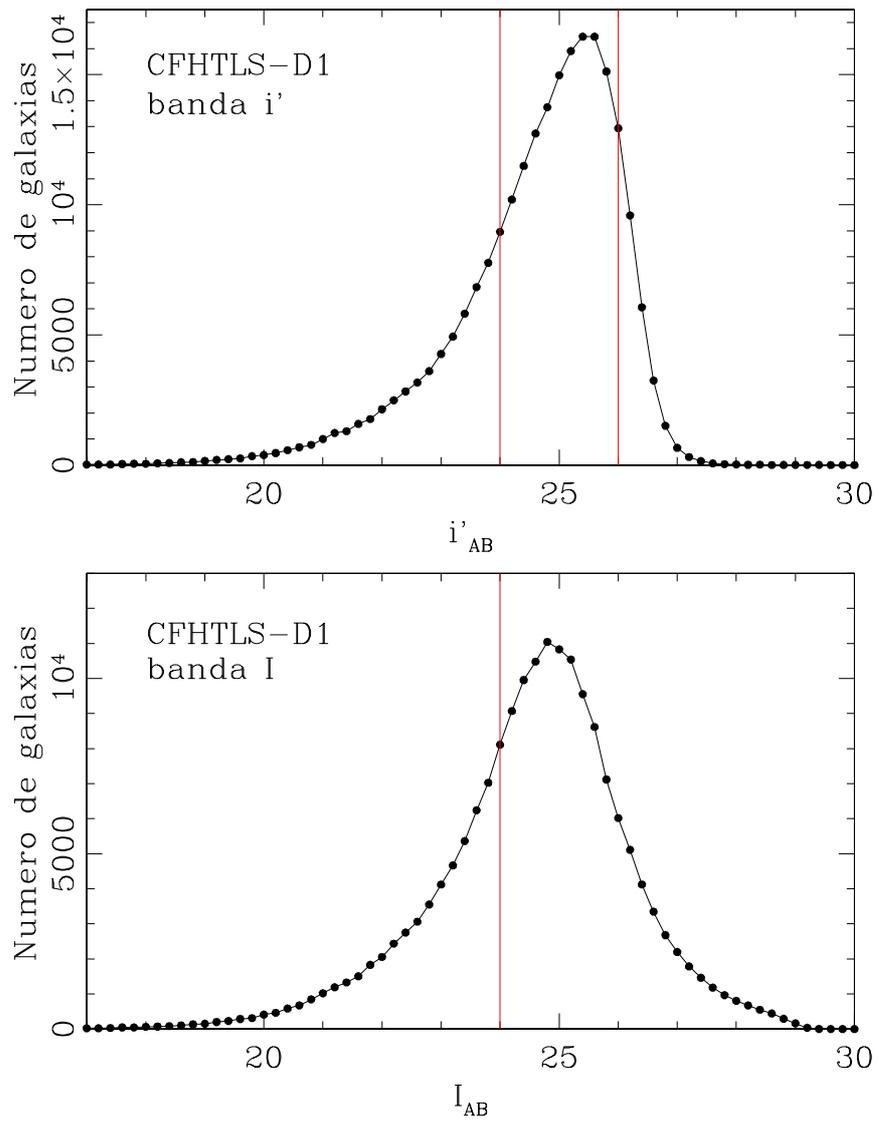


Figura 2.23: Histograma de magnitudes i e I .

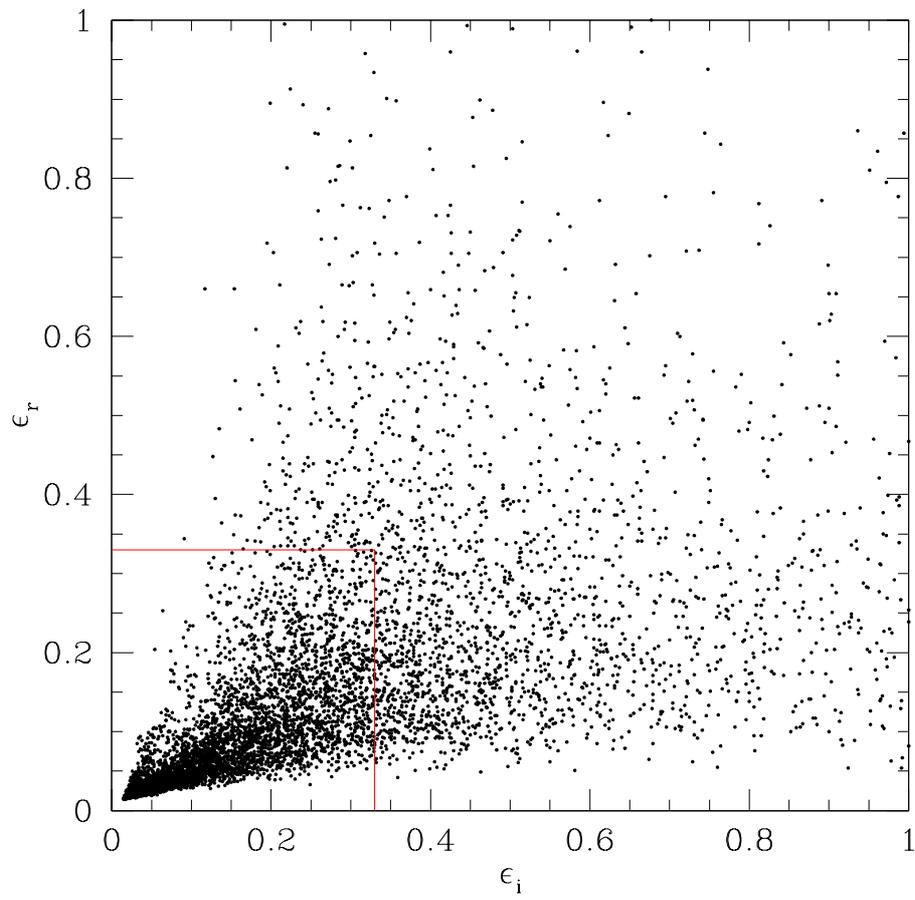


Figura 2.24: Erro na banda r versus erro na banda i .

2.3 Resumo do Capítulo

As bases de dados utilizadas neste trabalho são compostas por uma série de campos do levantamento DPS e um campo do CFHTLS, com observações no óptico e no infravermelho próximo.

O DPS (importante para o aprendizado da elaboração e tratamento dos catálogos) cobre diferentes regiões do céu em uma combinação de bandas pertencentes ao conjunto U,B,V,R,I,J,K, cada um desses campos tendo um catálogo de cor associado a ele. Tais dados possuem várias das dificuldades inerentes a amostras extensas como incompletezas espaciais, profundidades de observação diferentes e observações em partes das bandas fotométricas. Limites de completeza mais homogêneos resultaram numa redução significativa da amostra total.

No caso do CFHTLS, o trabalho se concentrou no seu campo de maior profundidade, escolhido por também ter disponível fotometria e espectroscopia oriundas do levantamento VVDS. Seu catálogo de cor dispõe de magnitudes nas diferentes bandas ($u^*, g', r', i', z', B, V, R, I, J, K$), assim como *redshifts* espectroscópicos e fotométricos obtidos com o código Le Phare. O CFHTLS apresenta uma amostra bastante homogênea, com observações na banda K (VVDS) mais fundas. Os dados foram limitados apenas na magnitude aparente limite $i < 26$ e erros fotométricos $\epsilon_i < 0.33$.

Em todos os catálogos de cor foram selecionados apenas os objetos localizados fora das máscaras, de modo a evitar objetos com magnitudes contaminadas, assim como os localizados fora das bordas das imagens. Utilizando os critérios de classificação de imagens estelares (do DPS e do CFHTLS) foram selecionados apenas os objetos não estelares para as análises dos próximos capítulos. Comparações de densidades projetadas de objetos (tanto estrelas como galáxias) com dados da literatura indicam a adequação das amostras selecionadas dentro dos seus limites de completeza.

Capítulo 3

Redshifts Fotométricos

3.1 Métodos de Obtenção

Distâncias cosmológicas são usualmente determinadas com *redshifts* obtidos com espectroscopia. Entretanto, tal técnica demanda muito mais tempo de observação que a fotometria (para uma determinada magnitude), sendo poucos os dados disponíveis relativos a amostras profundas. Por outro lado, tem sido utilizada nos últimos anos para a determinação de *redshifts*, uma técnica alternativa a partir de dados fotométricos. Ela não é nova (Baum, 1962), mas se tornou viável e cada vez mais interessante com a maior disponibilidade de observações em diferentes bandas de uma mesma região do céu, além do aperfeiçoamento da própria metodologia. Basicamente é necessário dispor de fotometria de uma mesma região em pelo menos 3 bandas, com a qual se busca identificar características espectrais marcantes (em particular, quebras/descontinuidades no espectro). Quando comparado com os valores obtidos através de espectroscopia, os *redshifts* fotométricos apresentam vantagens e desvantagens. A seu favor está o fato de que a fotometria em várias bandas possibilita estimar *redshifts* para um número muito superior de objetos em uma mesma área coberta, com um mesmo tempo de observação, fornecendo resultados estatisticamente significativos. Também permite observar objetos muito mais fracos do que o limite prático para espectroscopia, alcançando ~ 3 ordens de magnitude

mais fraca, significando objetos mais distantes. A principal desvantagem é a grande imprecisão comparada com a de seu equivalente espectroscópico. Essa imprecisão pode ser minimizada aumentando o número de filtros (cobrindo faixas espectrais diferentes) e/ou diminuindo os erros fotométricos. No entanto ambos os fatores demandam mais tempo de observação, o que pode invalidar a vantagem do uso dessa metodologia.

De fato existem dois métodos de cálculo de *redshifts* fotométricos difundidos na literatura: o que usa um conjunto de treinamento empírico (*training set*) com *redshifts* espectroscópicos, e outro que busca o melhor ajuste de *templates*. Diferentes trabalhos exploram cada um desses métodos, com diferentes justificativas fornecidas para suas escolhas.

O uso de um conjunto de treinamento empírico é interessante porque não parte de qualquer pressuposto a respeito de espectros de galáxias e sua evolução (ou seja, não é necessário se preocupar em conhecer espectros em altos *redshifts*). Mas é imperativo se ter uma amostra representativa e estatisticamente considerável de *redshifts* espectroscópicos, sendo que as limitações em sua distribuição podem impor restrições na distribuição de suas contrapartidas fotométricas. A figura 3.1 (reproduzida de Banerji et al. (2008)) ilustra isso, mostrando em seu painel direito o espalhamento entre *redshifts* fotométricos obtidos com o programa *Artificial Neural Networks* (ANNz) (Collister e Lahav, 2004) e *redshifts* espectroscópicos provenientes das amostras DEEP2 (Davis et al., 2003) e VVDS-Deep (Le Fèvre et al., 2004; Le Fèvre et al., 2005b). O fato de a distribuição de *redshifts* de DEEP2 estar limitada em $z \approx 1.5$, como se pode ver no painel da esquerda da figura 3.1, se reflete em um maior espalhamento para *redshifts* maiores que esse valor.

Já o método de ajuste de *templates* é mais simples conceitualmente e não precisa de amostras de *redshifts* espectroscópicos. O que ele faz é comparar as magnitudes observadas nas diferentes bandas com as esperadas para *templates* de Distribuições de Energia Espectral (SED), calculadas nas mesmas bandas. As SEDs são modelos de espectros de galáxias evoluídos no tempo, ou seja, em função do *redshift*, para diferentes tipos de galáxias. Esta metodologia busca o *redshift* e a SED mais

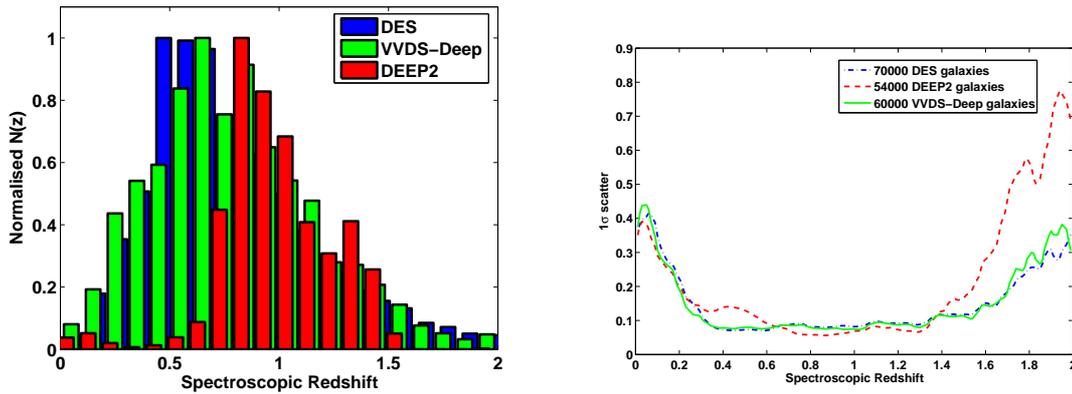


Figura 3.1: O painel da esquerda mostra as distribuições de *redshifts* espectroscópicas dos levantamentos de dados DEEP2 (Davis et al., 2003), VVDS-Deep (Le Fèvre et al., 2004; Le Fèvre et al., 2005b) e do catálogo simulado do DES (Lin et al., 2004; Oyaizu et al., 2006). Enquanto o da direita apresenta o espalhamento no *redshift* fotométrico (obtido com os filtros *grizYJHK_s*) em função do espectroscópico ao se usar as distribuições do outro painel na construção de *training sets* para o ANNz. Figuras reproduzidas de Banerji et al. (2008).

apropriados para a galáxia, no sentido de reproduzir as magnitudes nas bandas observadas.

Nesse trabalho nos concentramos na segunda possibilidade, em particular porque foi possível interagir diretamente com um dos responsáveis pelo desenvolvimento de uma das ferramentas disponíveis que se baseia no ajuste de *templates*, o programa Hyperz (Bolzonella et al., 2000), bastante citado e utilizado por outros autores. Outra ferramenta selecionada foi o programa Le Phare (Ilbert et al., 2006), que aprimorou o método em si ao possibilitar também o uso de um conjunto de treinamento empírico em conjunto com o ajuste de *templates*. Para ambos os programas são necessários catálogos de cor como os descritos na seção 2.1.2, e também arquivos de configuração com informações relativas a esses catálogos (como os filtros disponíveis) e relativas aos parâmetros do ajuste (como as *templates* dos diferentes tipos de galáxias que se deseja testar, podendo ser *templates* sintéticas ou empíricas).

Esses programas buscam o melhor ajuste a partir da minimização da função χ^2 :

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^{N_{\text{filtros}}} \left[\frac{F_{\text{obs},i} - b \times F_{\text{temp},i}}{\sigma_{\text{obs},i}} \right]^2 \quad (3.1)$$

onde $F_{\text{obs},i}$ e $\sigma_{\text{obs},i}$ são o fluxo observado no filtro i e sua incerteza, enquanto $F_{\text{temp},i}$ é o fluxo da *templates* no mesmo filtro, e b é um fator de normalização entre o “espectro” observado e a *template*.

A figura 3.2 serve de exemplo ao método de ajuste de *templates*, onde cada painel é referente a um objeto, e a linha azul é o melhor espectro ajustado às magnitudes observadas, que estão representadas em fluxo pelos quadrados coloridos (cada cor simbolizando uma banda).

O espalhamento na comparação entre *redshifts* espectroscópicos e fotométricos é sensível ao número de filtros usados no cálculo do *redshift* fotométrico (um maior número de filtros diminui esse espalhamento), bem como dos filtros em si, da faixa do espectro que cobrem e de sua eficiência. Por exemplo, uma banda U ($\lambda \approx 3500 \text{ \AA}$) é importante para melhor amostrar baixos *redshifts* ($z < 0.4$) porque nessa faixa nenhum outro filtro do óptico ou infravermelho consegue detectar quebras marcantes no espectro. Em outras palavras, ter disponível a fotometria nesse filtro diminui o espalhamento em baixos *redshifts*, como mostra a diferença entre os dois painéis superiores da figura 3.3, onde são apresentadas comparações entre *redshifts* obtidos com conjuntos de filtros diferentes. Ter disponível a fotometria nos filtros U ou B ($\lambda \approx 4600 \text{ \AA}$) auxilia na faixa $z > 3$, pois conseguem cobrir a descontinuidade de Lyman em $\lambda > 3600 \text{ \AA}$. Em particular as bandas do infravermelho próximo (como J, H e K) têm se mostrado fundamentais para melhorar a determinação dos *redshifts* fotométricos, tanto de um modo geral e em particular no intervalo $1.2 \leq z \leq 2.2$, porque cobrem a quebra a 4000 \AA . Além disso, nessa faixa de z há o agravante da descontinuidade de Lyman ainda não ser coberta pela banda U, então há uma ausência de assinaturas fortes no espectro óptico (Bolzonella et al., 2000). Esse ganho proporcionado pela presença de filtros no infravermelho pode ser notado ao se comparar as distribuições nos painéis superior direito e inferior da figura 3.3.

Outro fator essencial que influencia a melhor estimativa de *redshifts* fotométricos

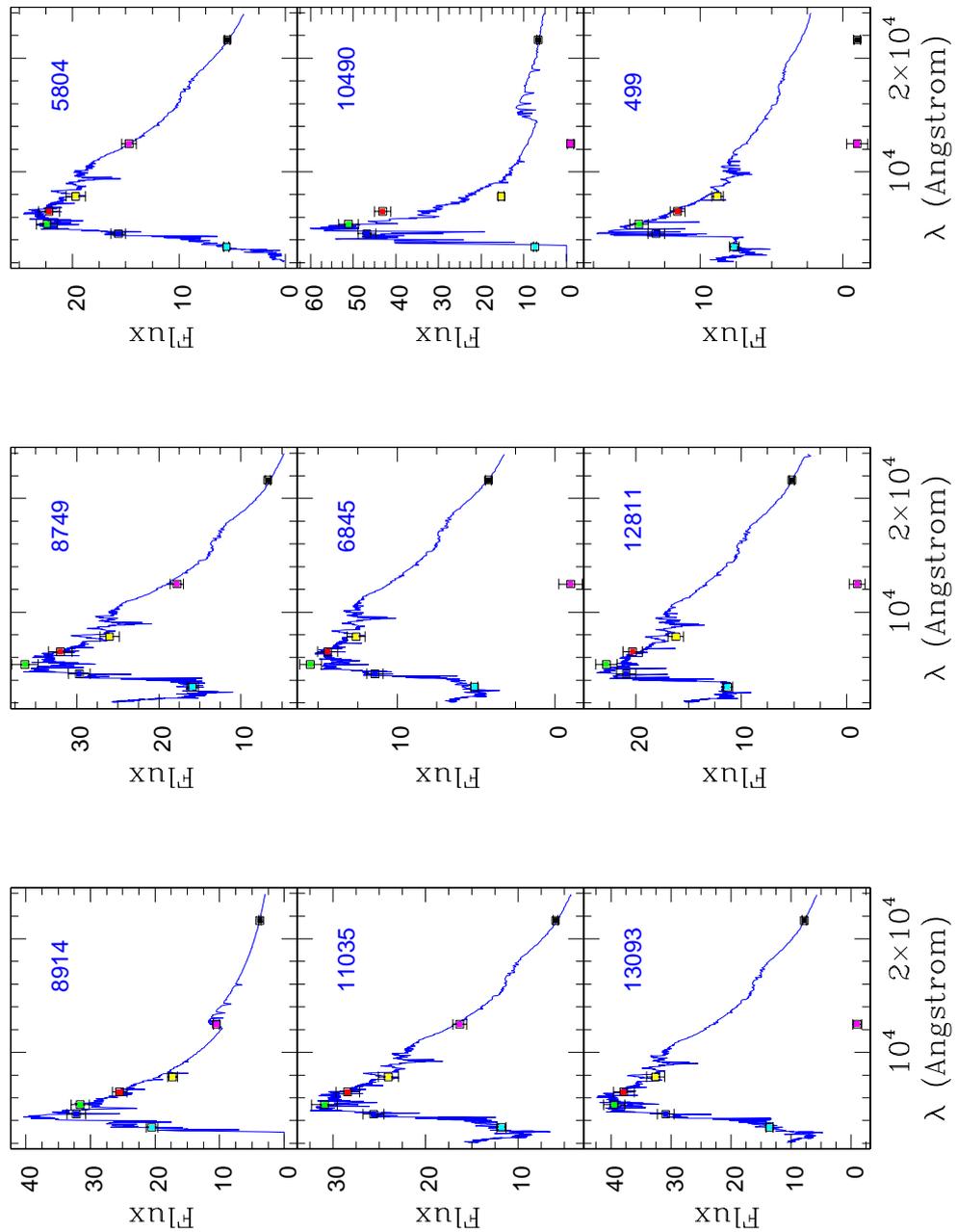


Figura 3.2: Exemplos de melhor modelo espectral obtidos com Hyperz (linha azul) comparados com os fluxos observados em diferentes bandas superpostos (U - azul claro, B - azul escuro, V - verde, R - vermelho, I - amarelo, J - magenta, K - preto; se $Fluxo < 0.0$, significa que o objeto não foi observado naquela banda).

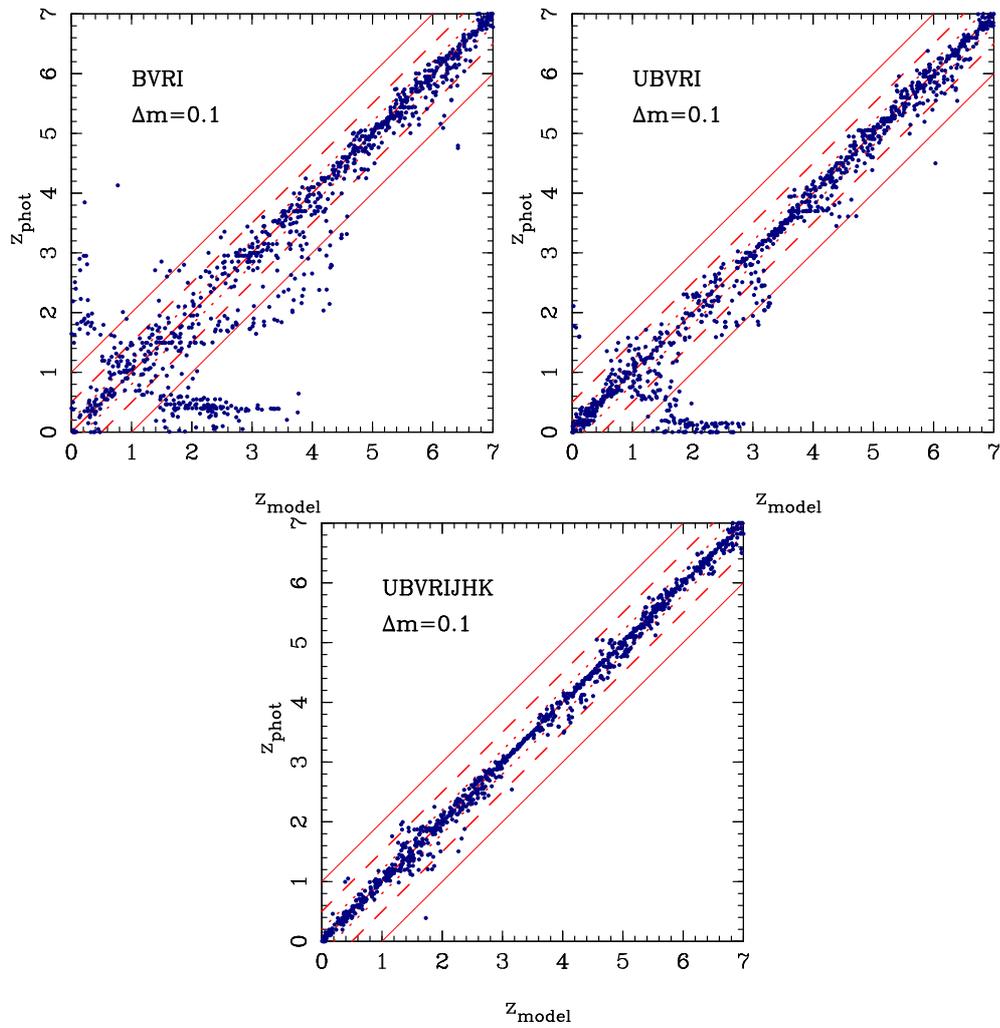


Figura 3.3: *Redshifts* fotométricos e reais de objetos vindos do catálogo simulado usado em testes do Hyperz (Bolzonella et al., 2000). Cada painel mostra resultados obtidos para diferentes conjuntos de filtros utilizados (da esquerda para a direita, BVRI, UBVR e UBVRJHK). Figuras reproduzidas de Bolzonella et al. (2000).

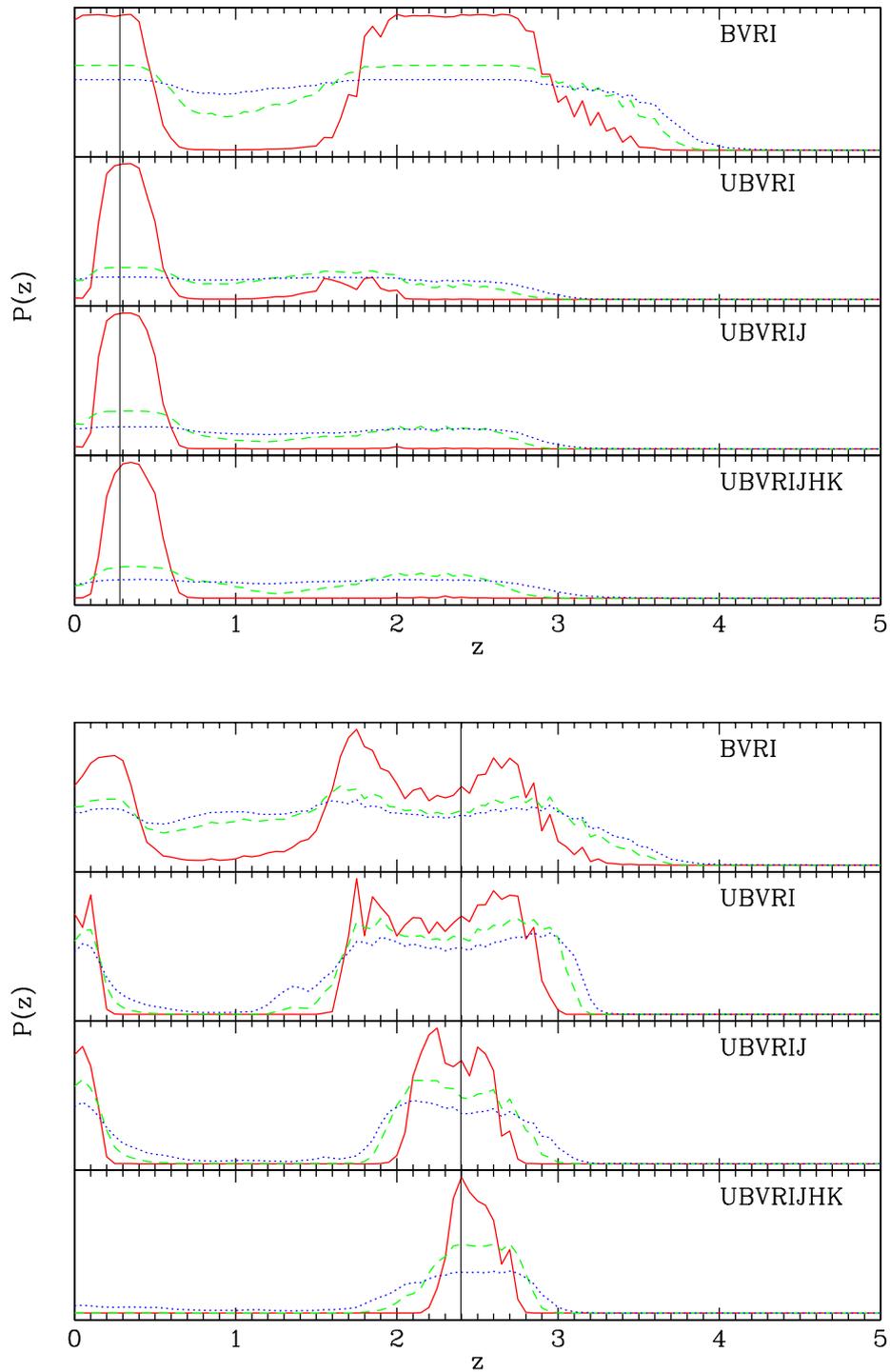


Figura 3.4: A distribuição de probabilidade associada a χ^2 em função dos *redshifts* obtidos a partir de diferentes conjuntos de filtros com diferentes erros de suas magnitudes (as linhas pontilhadas representam erros de 0.3mag, as tracejadas representam erros de 0.2mag e as contínuas erros de 0.1mag) para dois objetos do catálogo simulado usado em testes do Hyperz. No painel superior, $z_{real} = 0.282$, e, no inferior, $z_{real} = 2.396$, valores que são indicados pela linha vertical. Figuras reproduzidas de Bolzonella et al. (2000).

é o erro da fotometria utilizada, que quanto menor for, mais próximo do correto o resultado será ou pelo menos menor será a degenerescência de soluções possíveis. Isso está bem exemplificado pela figura 3.4 reproduzida de Bolzonella et al. (2000), que apresenta, para dois objetos, como varia a distribuição de probabilidade associada a χ^2 em função de *redshift* obtido utilizando diferentes conjuntos de filtros e com diferentes erros de suas magnitudes, destacando que a linha vertical indica o *redshift* verdadeiro do objeto.

Tendo em mente essas características e limitações dos *redshifts* fotométricos, apresentamos, então, nas próximas seções os resultados encontrados pelos códigos mencionados para os dados do DPS e do CFHTLS.

3.2 Aplicando ao DPS

3.2.1 Comparação dos Resultados de Cada Código

Em função da disponibilidade dos códigos Hyperz e LePhare, procuramos realizar uma série de testes com estes programas aplicando-os a dados espectroscópicos disponíveis, em comum com a fotometria com os dados deste trabalho. No caso do DPS, somente o campo Deep2c é que possui esta característica, por cobrir uma região do céu já muito observada (o campo *Chandra Deep Field South*) e para os quais estão disponíveis *redshifts* espectroscópicos do VVDS. Objetivamos com isso uma comparação entre ambos os códigos no sentido de verificar qual deles tem o melhor desempenho na obtenção dos valores de *redshift* mais acurados.

A partir de testes preliminares avaliamos quais os parâmetros de entrada se mostraram mais relevantes para a execução destes programas e buscamos uma padronização para avaliar os resultados. Por exemplo, a faixa de *redshift* foi escolhida de $z = 0$ a $z = 6$ em passos de 0.05; foram usadas cinco *templates* obtidas pelos modelos de Bruzual e Charlot (2003), entre elas uma de um único evento de formação estelar (denominada *Burst*), enquanto para as demais foram consideradas variadas taxas de formação estelar: com uma queda exponencial numa escala de tempo de

1, 3 e 15 Giga-anos para representar galáxias E, Sa e Sc, respectivamente, e com uma taxa constante para galáxias irregulares; e, para considerar o efeito de extinção devido à presença de poeira no próprio objeto, o modelo escolhido foi o de Calzetti et al. (2000).

Para uma avaliação mais controlada, nos restringimos aos objetos com boa qualidade espectroscópica (Flag = 2, 3 ou 4, iguais às descritas na seção 2.2) e que não apenas estivessem localizados na área efetiva de todas as bandas (do óptico e do infravermelho) mas também tivessem sido detectados em todas elas. O número de objetos é bastante reduzido com essa seleção (restando ≈ 159 , o que equivale a cerca de 8% da amostra total), porém torna a comparação mais confiável. Os resultados são apresentados nas figuras 3.5 a 3.7 para o Hyperz e nas 3.8 a 3.10 para o Le Phare. Nas figuras 3.5 e 3.8, estão superpostos os histogramas de z_{fot} (em vermelho) e z_{espec} (em azul), enquanto as figuras seguintes (3.6 e 3.9) apresentam a comparação entre essas duas medidas em escala logarítmica, onde a linha contínua representa $z_{fot} = z_{espec}$ e as linhas tracejadas representam:

$$z_{fot} = z_{espec} \pm 0.15(1 + z_{espec}) \quad (3.2)$$

Finalmente, as figuras 3.7 e 3.10 mostram o espalhamento:

$$1sigscatter = \langle (z_{espec} - z_{fot})^2 \rangle^{1/2} \quad (3.3)$$

em intervalos de 0.1 de z_{espec} (quando existem pontos no intervalo). O espalhamento obtido pelo Hyperz é consideravelmente menor do que o do Le Phare, e, apesar de apresentar diferenças, seus *redshifts* fotométricos cobrem a mesma faixa dos espectroscópicos. Fazendo uma análise mais quantitativa definimos, seguindo Ilbert et al. (2006), como erros catastróficos os objetos que apresentaram:

$$\frac{|z_{espec} - z_{fot}|}{(1 + z_{espec})} > 0.15 \quad (3.4)$$

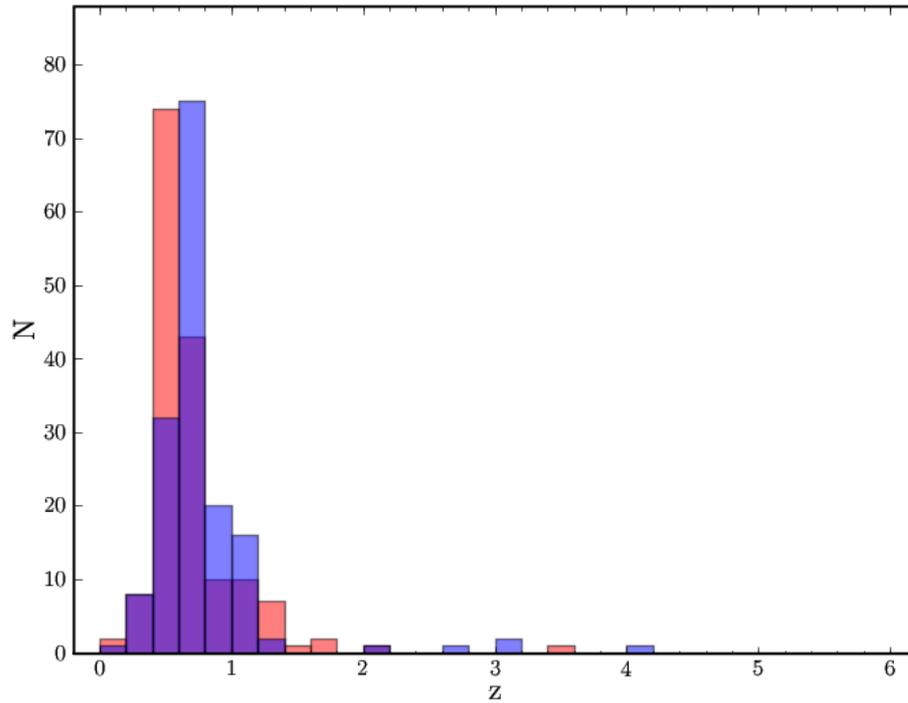


Figura 3.5: Histograma de *redshifts* obtidos pelo Hyperz para uma sub-amostra do campo Deep2c (em vermelho) comparados a dados espectroscópicos do VVDS (em azul).

presentes numa fração percentual denominada η (representados nas figuras 3.6 e 3.9 como os pontos fora dos limites das retas tracejadas), e como acurácia medida com a mediana normalizada do desvio absoluto:

$$\sigma = 1.48 \times \text{mediana} \left(\frac{|z_{\text{spec}} - z_{\text{fot}}|}{(1 + z_{\text{spec}})} \right) \quad (3.5)$$

Encontramos os valores presentes na tabela 3.1 para os resultados de cada código, os quais reforçam o que já era indicado pela comparação das figuras 3.5 a 3.7 e 3.8

Tabela 3.1: Estatísticas obtidas com Hyperz e Le Phare aplicados aos dados selecionados do campo Deep2c.

Código	$z_{\text{média}}$	z_{mediana}	$\epsilon z_{\text{média}}$	$\epsilon z_{\text{mediana}}$	η (%)	σ
Hyperz	0.70	0.60	0.03	0.03	11.95	0.10
Le Phare	1.00	0.60	0.07	0.04	42.77	0.17

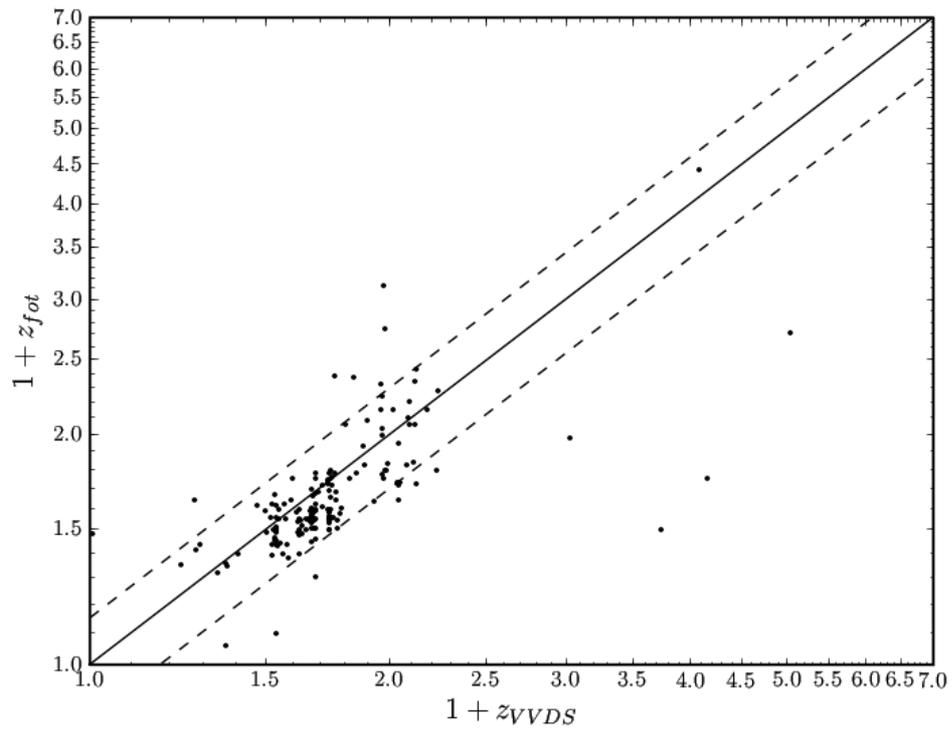


Figura 3.6: Comparação de *redshifts* obtidos pelo Hyperz para uma sub-amostra do campo Deep2c com *redshifts* espectroscópicos do VVDS.

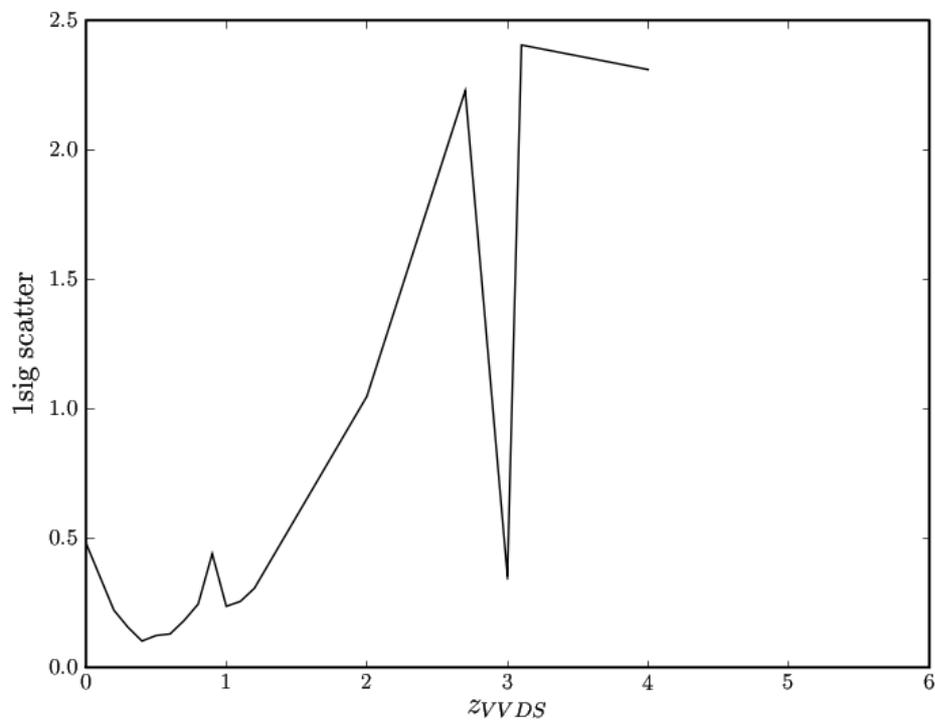


Figura 3.7: Espalhamento entre z_{fot} (obtido pelo Hyperz) e z_{espec} (VVDS) em função de z_{espec} para uma sub-amostra do campo Deep2c.

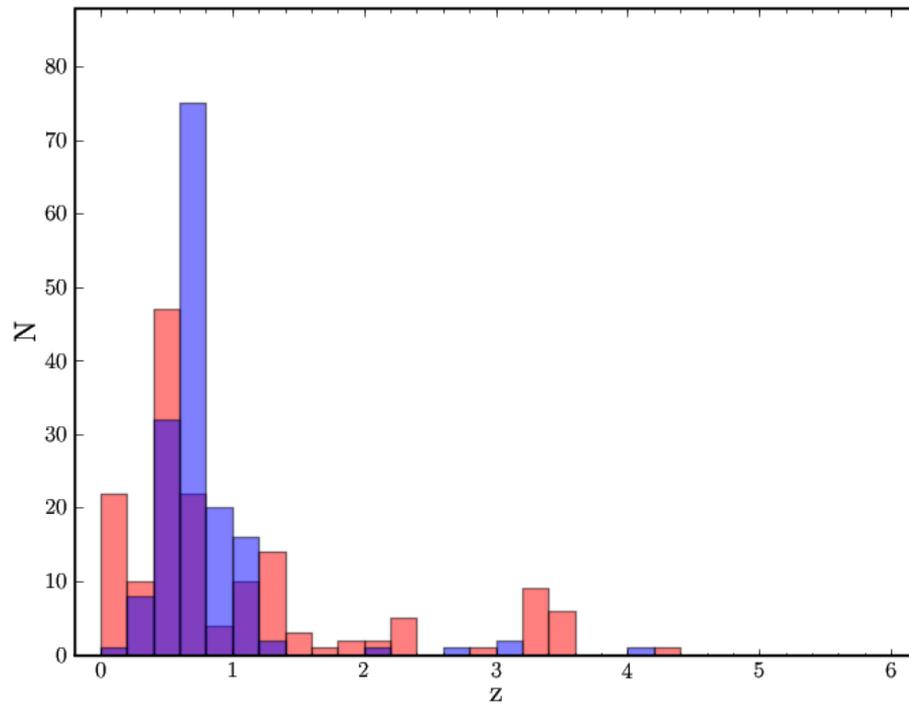


Figura 3.8: Histograma de *redshifts* obtidos pelo Le Phare para uma sub-amostra do campo Deep2c (em vermelho) comparados a dados espectroscópicos do VVDS (em azul).

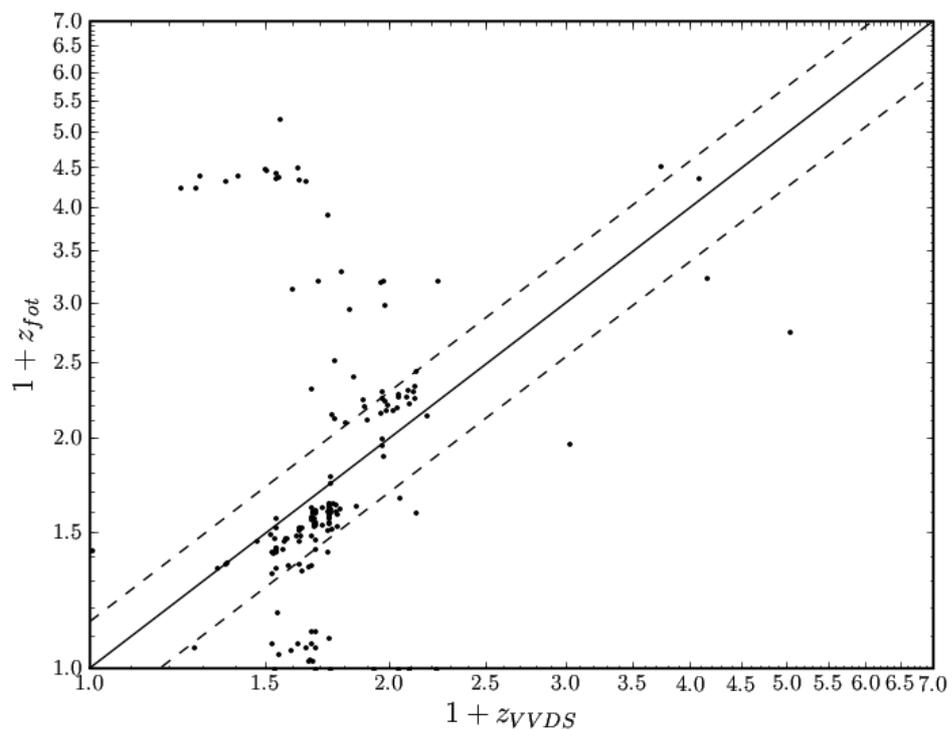


Figura 3.9: Comparação de *redshifts* obtidos pelo Le Phare para uma sub-amostra do campo Deep2c com *redshifts* espectroscópicos do VVDS.

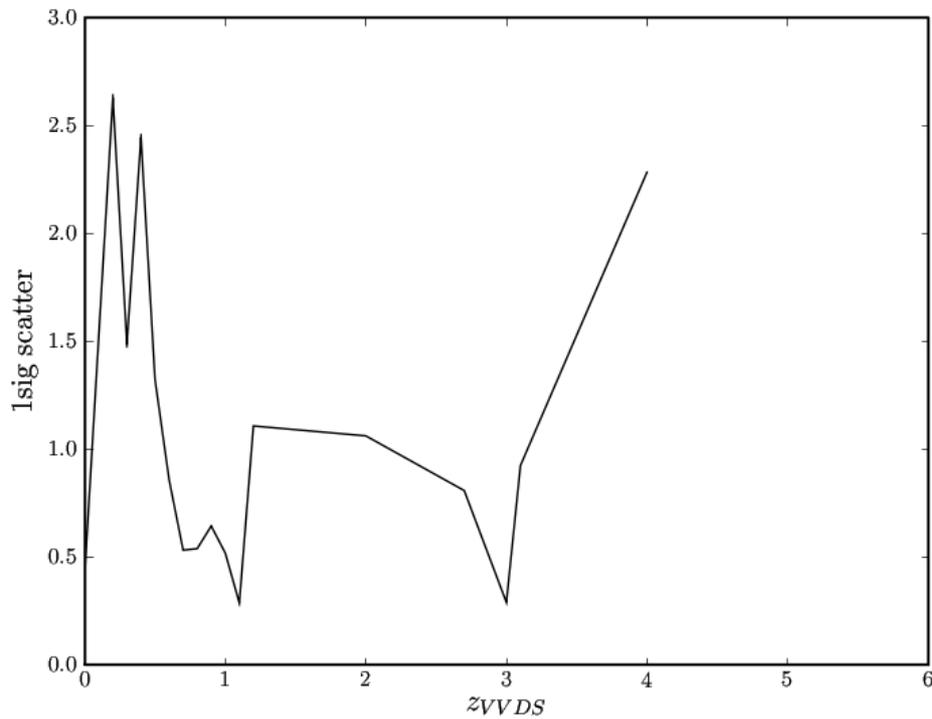


Figura 3.10: Espalhamento entre z_{phot} (obtido pelo Le Phare) e z_{spec} (VVDS) em função de z_{spec} para uma sub-amostra do campo Deep2c.

a 3.10. O código Hyperz obteve média e mediana de seus *redshifts* próximas dos valores obtidos para as contrapartidas espectroscópicas da mesma amostra: média do $z_{\text{spec}} = 0.79$ e sua mediana = 0.68. A fração de erros catastróficos η , bem como a acurácia σ , são menores do que no caso do Le Phare. Todos esses fatores indicam que o Hyperz obteve melhores estimativas de *redshift* fotométrico, portanto seus resultados são os utilizados nas análises realizadas com a amostra DPS. Deve-se notar também a melhora no espalhamento observado em $z_{\text{phot}} \times z_{\text{spec}}$ quando se acrescenta as bandas do infravermelho, o que pode ser notado ao comparar as figuras 3.5 a 3.7 e 3.11 a 3.13, onde essas últimas mostram os resultados obtidos utilizando apenas os filtros do óptico no ajuste de *templates*, com $\eta = 27.92\%$ e $\sigma = 0.13$.

Apesar da escolha deste código para a análise da amostra DPS, é importante ressaltar que não utilizamos o código LePhare em sua total potencialidade. De fato, Ilbert et al. (2006) mostram que, com o auxílio de uma amostra de treinamento, o código LePhare melhora consideravelmente seus resultados. Na verdade, tal código

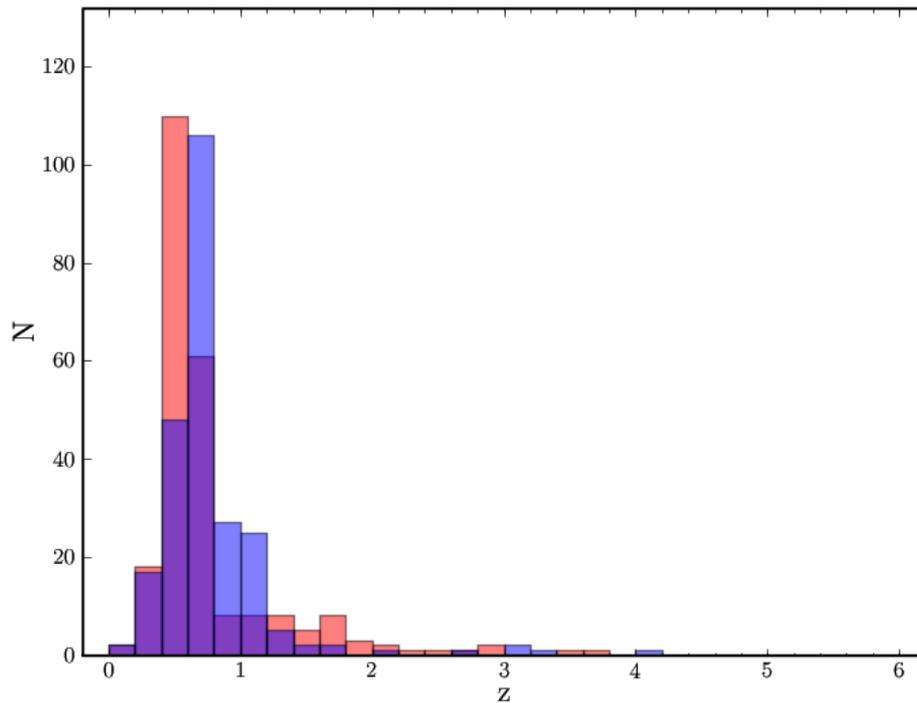


Figura 3.11: Histograma de *redshifts* obtidos pelo Hyperz para sub-amostra do Deep2c (óptico, em vermelho) comparados a dados espectroscópicos do VVDS (em azul).

com esse procedimento pode ser considerado intermediário entre os códigos de ajuste de *templates* e os que usam amostras de treinamento.

Também para fins de teste comparativo, aplicamos o código ANNz na amostra de galáxias detectadas em todas as bandas do óptico e do infravermelho, utilizando toda sua sub-amostra que possui z_{espec} como amostra de treinamento ($\approx 24.6\%$ do total de objetos) e 50% dos objetos desta (selecionados aleatoriamente) como amostra de validação. Os resultados são mostrados nas figuras 3.14 a 3.16, similares em conteúdo às figuras anteriormente apresentadas com os resultados da aplicação do Hyperz e do Le Phare. No caso do ANNz não foram impostos limites na qualidade dos z_{espec} . A grande concordância entre z_{fot} e z_{espec} para a sub-amostra com z_{espec} disponível (com $\eta = 15.59\%$ e $\sigma = 0.08$) mostra a potencialidade deste código. Por outro lado, é possível apontar como problemas um aparente viés para baixos *redshifts* e o fato de que os resultados confiáveis estão limitados pelo domínio da amostra de treinamento, conforme foi mostrado na figura 3.1. De fato, pode-se notar na figura

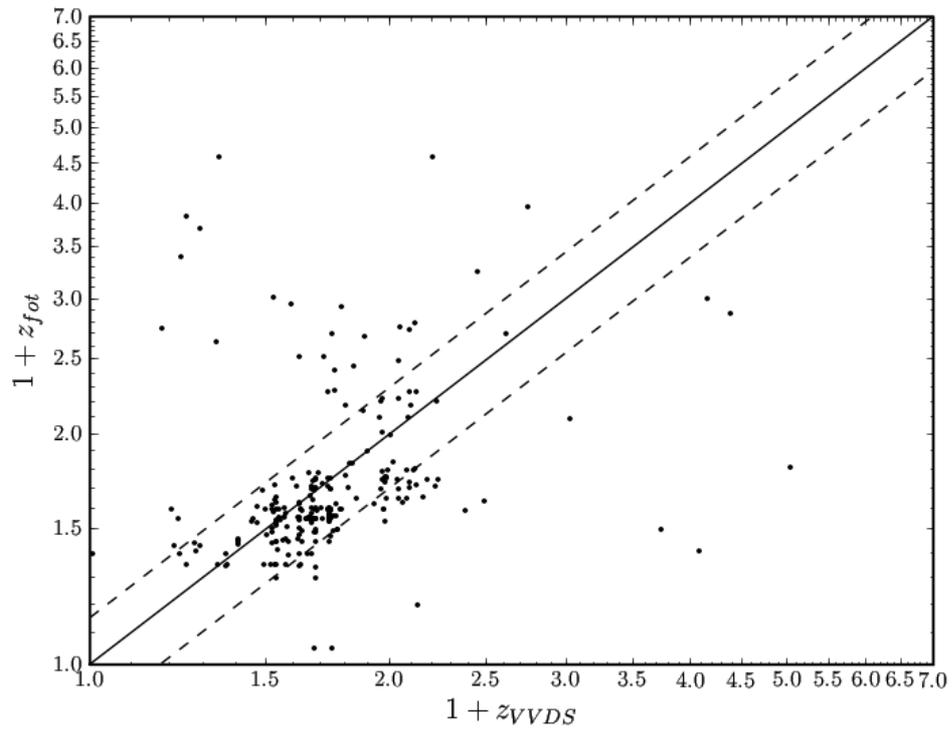


Figura 3.12: Comparação de *redshifts* obtidos pelo Hyperz para uma sub-amostra do Deep2c (óptico) com *redshifts* espectroscópicas do VVDS.

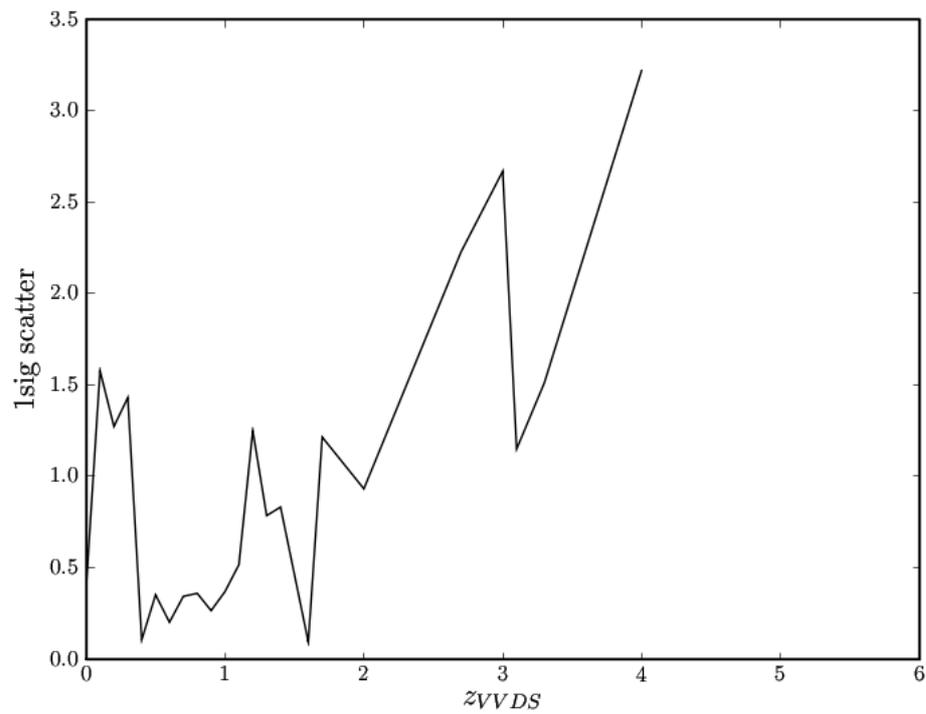


Figura 3.13: Espalhamento entre z_{fot} (obtido pelo Hyperz) e z_{espec} (VVDS) em função de z_{espec} para uma sub-amostra do campo Deep2c.

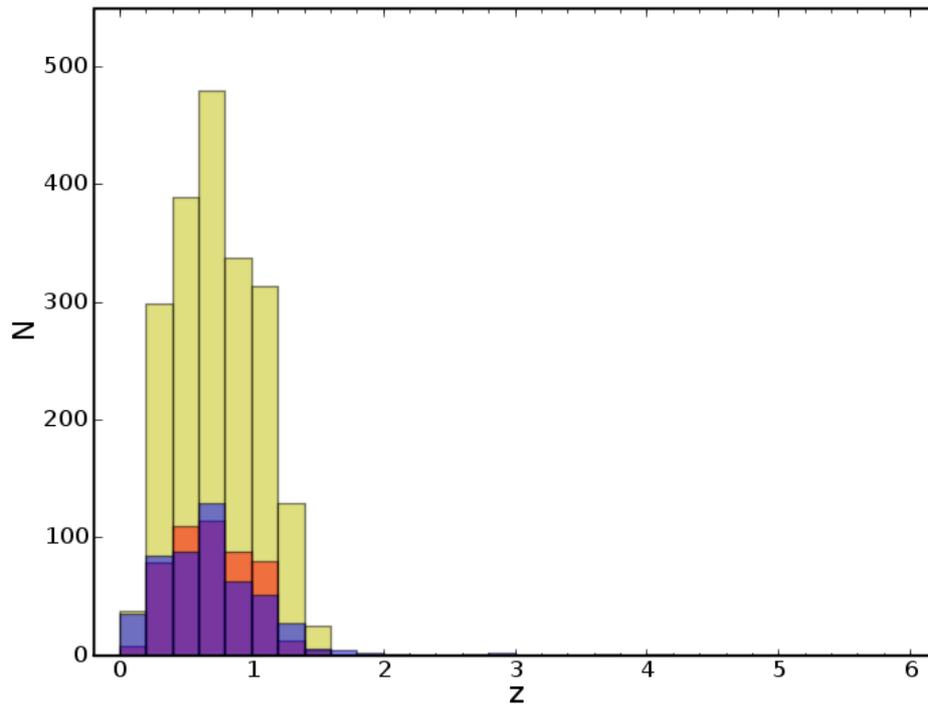


Figura 3.14: Histograma de z_{fot} obtidos pelo ANNz para campo Deep2c (vermelho), z_{espec} dos mesmos objetos (azul), e amostra completa (amarelo).

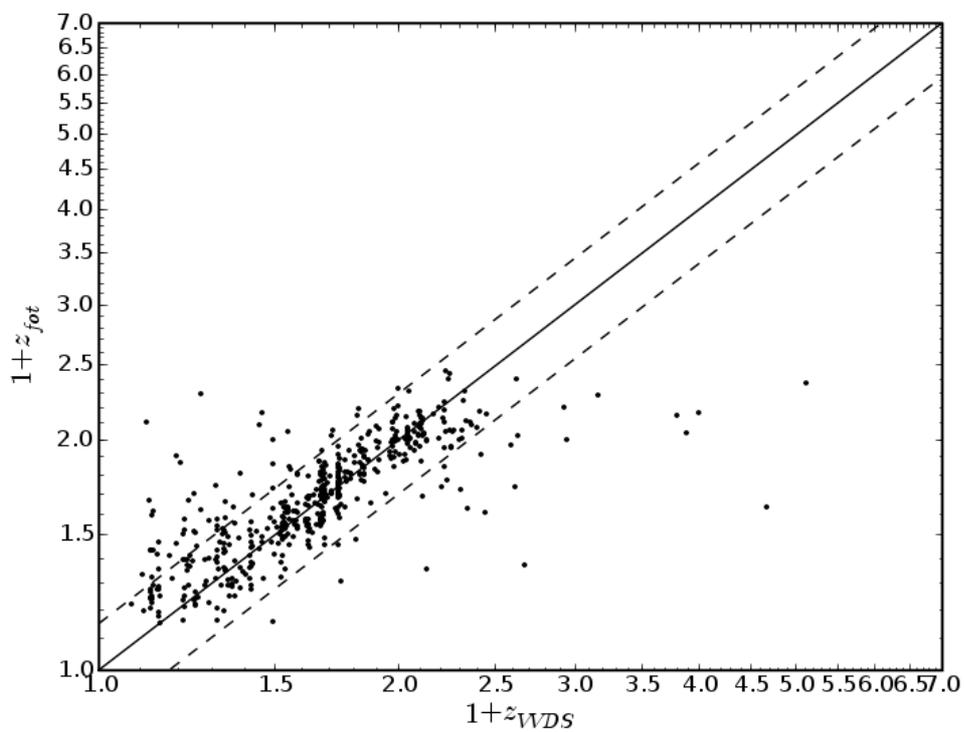


Figura 3.15: Comparação de *redshifts* obtidos pelo ANNz para uma sub-amostra do campo Deep2c com *redshifts* espectroscópicos do VVDS.

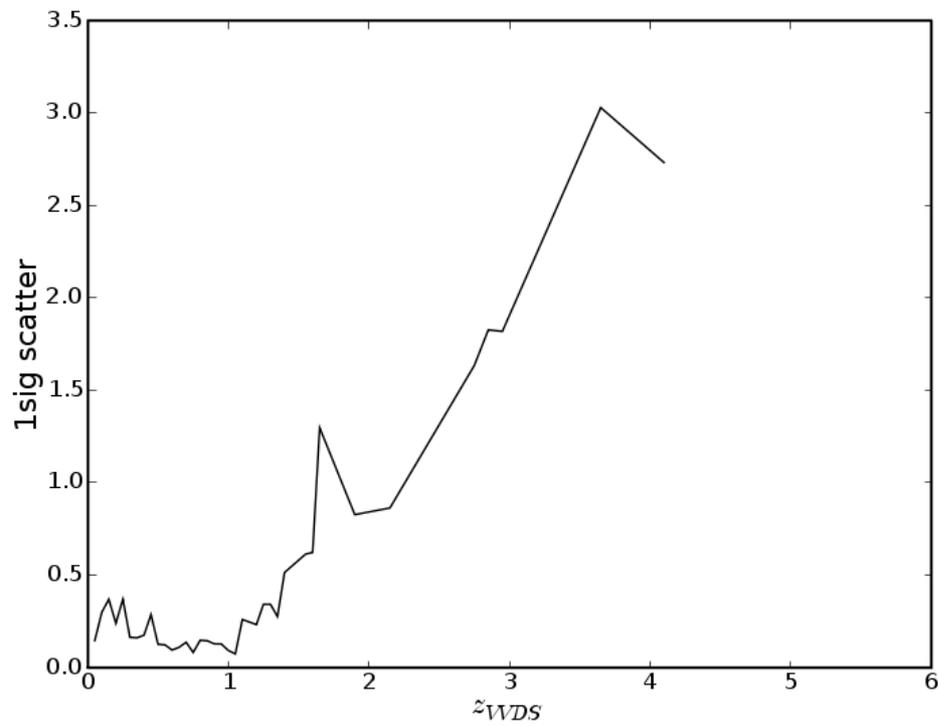


Figura 3.16: Espalhamento entre z_{fot} (obtido pelo ANNz) e z_{espec} (VVDS) em função de z_{espec} para uma sub-amostra do campo Deep2c.

3.14 que os z_{fot} da amostra completa (galáxias com ou sem z_{espec} , representadas no histograma amarelo) estão restritos nos mesmos limites de *redshift* da amostra espectroscópica.

3.2.2 Resultados

Tendo, então, aplicado o Hyperz aos dados fotométricos de galáxias de cada campo do DPS, obtivemos seus *redshifts*, cuja distribuição é apresentada nas figuras 3.17, 3.18 e 3.19. É importante destacar que para o cálculo desses *redshifts* (bem como para os de todas as outras amostras), só foram considerados objetos que foram detectados (ou seja, tinham magnitudes não nulas) em pelo menos 3 bandas, o que é o mínimo aceitável para execução o programa Hyperz com alguma confiança. Essa necessidade de um mínimo de bandas já restringe os campos observados do DPS, pois Deep2a possui apenas fotometria em dois filtros. Assim, os campos para os quais calculamos os *redshifts* fotométricos são Deep1a, Deep1b, Deep2b, Deep2c, Deep3a e Deep3b, apresentados nas figuras mencionadas. Conforme explicado no capítulo anterior, foram selecionadas galáxias que tenham sido detectadas na banda K, com magnitude menor ou igual que a magnitude de completeza mais fraca do campo em análise, com a mesma condição aplicada para a banda J no caso do campo Deep2c.

Cada uma dessas figuras mostra um contexto diferente, em outras palavras, um conjunto diferente de bandas nas quais os objetos estão localizados dentro de suas áreas efetivas (mesmo que não tenham sido detectados em alguma dessas bandas), sendo que em cada caso só foram utilizadas as bandas do contexto para o cálculo dos *redshifts* fotométricos. Na figura 3.17, apenas bandas do óptico foram consideradas, no que denominamos contexto máximo no óptico, enquanto na figura 3.18 foi acrescida a banda Ks às demais do óptico. Finalmente, a figura 3.19 traz a distribuição de *redshifts* de objetos com contexto máximo, pois todas as bandas do óptico e infravermelho são levadas em consideração.

A tabela 3.2 mostra informações dos resultados de execução do Hyperz que geraram as figuras 3.17, 3.18 e 3.19, como os números de objetos que satisfazem as condições anteriormente mencionadas sem e com corte nas magnitudes de completeza (N_{tot} e N_{ok} , respectivamente), a média (z_m) e a mediana (z_{med}) dos *redshifts*, bem como a média (ϵz_m) e a mediana (ϵz_{med}) de seus erros. A diferença entre os

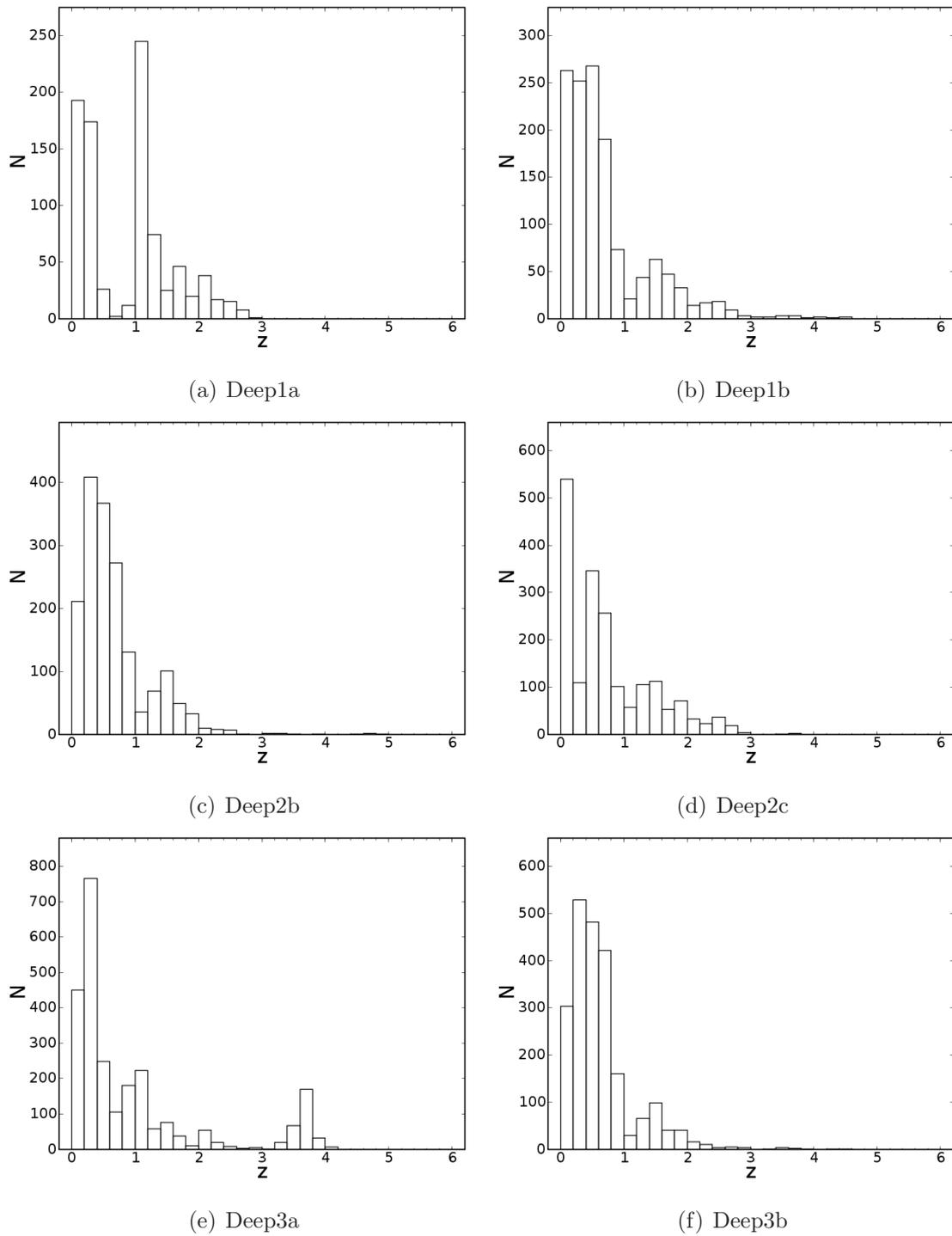


Figura 3.17: Distribuição de *redshift* fotométrico de galáxias para cada campo com 3 ou mais bandas disponíveis. No cálculo dos *redshifts* foram usadas apenas bandas do óptico, e apenas objetos localizados dentro de suas áreas efetivas.

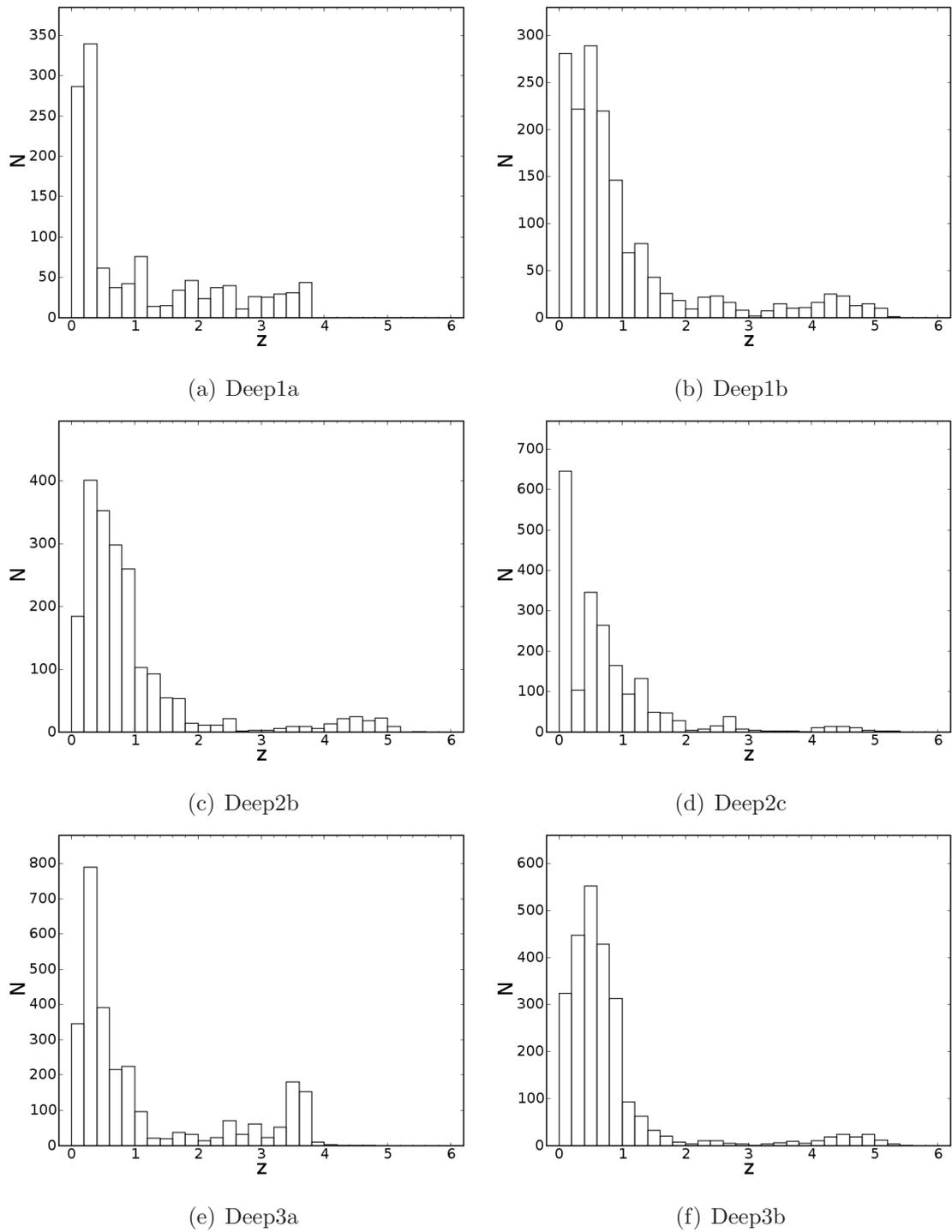


Figura 3.18: Distribuição de *redshift* fotométrico de galáxias para cada campo com 3 ou mais bandas disponíveis. Estão presentes apenas objetos localizados dentro das áreas efetivas das bandas do óptico e da Ks.

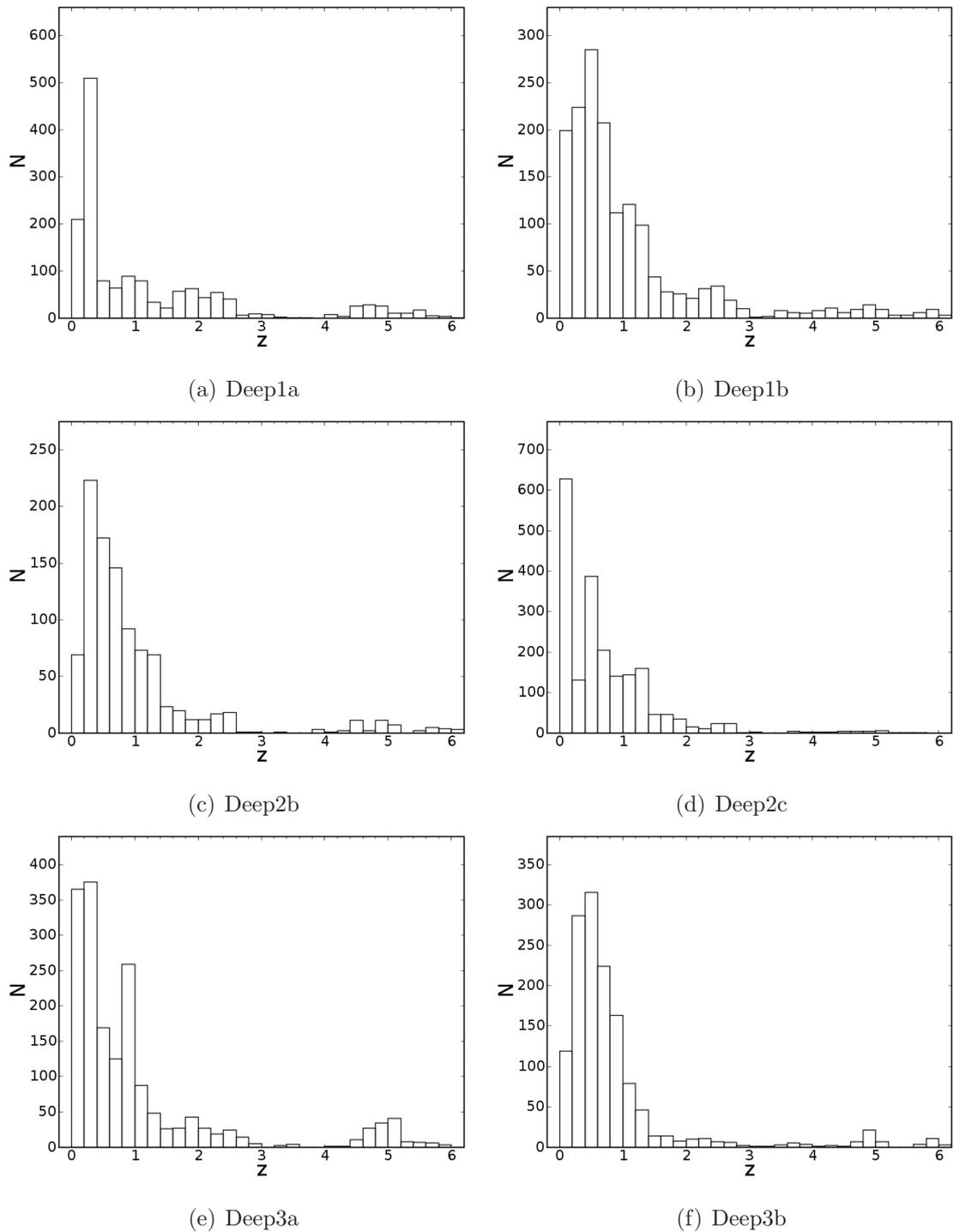


Figura 3.19: Distribuição de *redshift* fotométrico de galáxias para cada campo com 3 ou mais bandas disponíveis. Estão presentes apenas objetos localizados dentro das áreas efetivas das bandas do óptico e do infravermelho.

números N_{tot} e N_{ok} mostra a perda em estatística que sofremos na busca por uma maior qualidade dos dados fotométricos e coerência dos resultados, especialmente no cálculo da função de correlação, já que diferentes níveis de completeza num mesmo campo poderiam gerar uma falsa estrutura de objetos.

Os resultados para o contexto máximo só no óptico são apresentados apenas como uma comparação com os demais contextos, já que a inclusão de bandas no infravermelho é fundamental para uma melhor determinação e, em particular a banda K, é necessária para a seleção de EROs (realizada no próximo capítulo). O menor número de objetos comparado ao do contexto no óptico + K ocorre devido à imposição de um mínimo de 3 bandas onde o objeto tenha sido detectado.

Quando comparados os dados de cada campo na tabela 3.3 por limite de K, se nota que de uma forma geral, mesmo considerando os erros, os valores das densidades não coincidem, o que deve ser um efeito de variância cósmica. As densidades da amostra espectroscópica K20 (Mignoli et al., 2005), presentes na tabela 3.4, apresentam valores próximos (considerando as barras de erros) dos da tabela dos campos do DPS. Na mesma tabela também são apresentadas as densidades da amostra espectroscópica de um dos campos do VVDS (mesmo do campo D1 do CFHTLS). Nesse caso, as densidades são significativamente menores que nos anteriores porque tal amostra foi selecionada com o limite $I_{AB} \leq 24.0$, gerando uma incompleteza na sub-amostra aqui apresentada com corte em K. Para ilustrar essas comparações, mas em intervalos de *redshift*, mostramos nas figuras 3.20 e 3.21 os histogramas normalizados das galáxias com $K_{Vega} \leq 19.0$ dos campos do DPS (em preto), do K20 (em azul) e do VVDS (em vermelho).

Tabela 3.2: Informações dos resultados de rodadas do Hyperz para todas as combinações de campos e contextos.

Campo	N_{tot}	N_{ok}	z_m	z_{med}	ϵz_m	ϵz_{med}
Deep1a (Opt)	12285	896	0.88	1.06	0.08	0.05
Deep1a (Opt+K)	4379	1219	1.04	0.36	0.10	0.04
Deep1a (Opt+IR)	5432	1506	1.17	0.50	0.12	0.03
Deep1b (Opt)	14105	1331	0.72	0.47	0.07	0.04
Deep1b (Opt+K)	4431	1619	1.03	0.63	0.09	0.03
Deep1b (Opt+IR)	4409	1563	1.06	0.68	0.09	0.03
Deep2b (Opt)	13820	1712	0.67	0.49	0.08	0.04
Deep2b (Opt+K)	9877	1999	0.95	0.65	0.08	0.03
Deep2b (Opt+IR)	5218	1000	0.97	0.65	0.06	0.03
Deep2c (Opt)	26225	1869	0.74	0.58	0.05	0.03
Deep2c (Opt+K)	9566	2016	0.77	0.56	0.04	0.02
Deep2c (Opt+IR)	10070	2026	0.71	0.53	0.03	0.02
Deep3a (Opt)	14217	2545	0.96	0.41	0.11	0.05
Deep3a (Opt+K)	9867	2804	1.12	0.47	0.07	0.03
Deep3a (Opt+IR)	6550	1759	1.02	0.55	0.09	0.02
Deep3b (Opt)	16662	2215	0.63	0.46	0.06	0.03
Deep3b (Opt+K)	11459	2449	0.81	0.55	0.06	0.02
Deep3b (Opt+IR)	6959	1377	0.86	0.56	0.05	0.02

Tabela 3.3: Densidades de galáxias com *redshifts* calculados pelo Hyperz para todas as combinações de campos e contextos limitadas na magnitude da banda K indicada (erros são poissonicos).

Campo	K_{Vega} limite	Gal/ $(^\circ)^2$	Erro
Deep1a (Opt+K)	19.0	12071.51	393.31
Deep1a (Opt+K)	18.0	5856.35	273.95
Deep1a (Opt+IR)	19.0	14682.31	435.62
Deep1a (Opt+IR)	18.0	6384.74	287.26
Deep1b (Opt+K)	19.0	14335.37	426.45
Deep1b (Opt+K)	18.0	6317.71	283.10
Deep1b (Opt+IR)	19.0	15326.56	471.64
Deep1b (Opt+IR)	18.0	6473.15	306.51
Deep2b (Opt+K)	19.0	11040.61	252.36
Deep2b (Opt+K)	18.0	4245.50	156.49
Deep2b (Opt+IR)	19.0	11694.40	379.22
Deep2b (Opt+IR)	18.0	4500.68	235.25
Deep2c (Opt+K)	19.0	14641.94	389.79
Deep2c (Opt+K)	18.0	5821.50	245.78
Deep2c (Opt+IR)	19.0	14652.32	389.93
Deep2c (Opt+IR)	18.0	5800.74	245.35
Deep3a (Opt+K)	19.0	16349.61	309.98
Deep3a (Opt+K)	18.0	7675.27	212.38
Deep3a (Opt+IR)	19.0	19035.98	455.83
Deep3a (Opt+IR)	18.0	7618.76	288.37
Deep3b (Opt+K)	19.0	16398.96	319.65
Deep3b (Opt+K)	18.0	6529.68	201.70
Deep3b (Opt+IR)	19.0	17483.01	451.86
Deep3b (Opt+IR)	18.0	6516.71	275.87

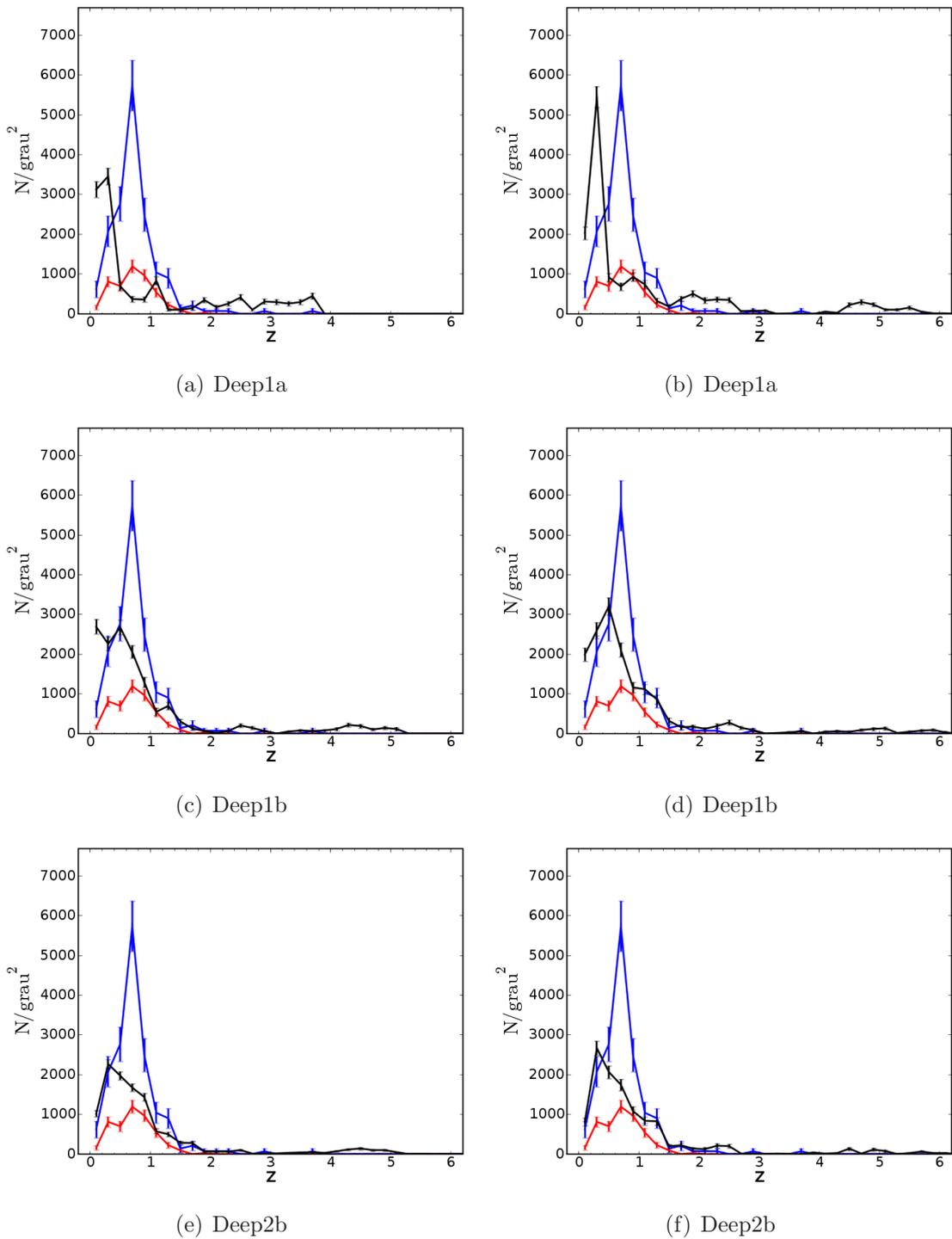


Figura 3.20: Distribuição de *redshifts* fotométricos de galáxias em alguns campos do DPS (em preto). No painel da esquerda, apenas objetos localizados dentro das áreas efetivas das bandas do óptico e da Ks, e no da direita objetos com contexto máximo, ambos limitados em $K \leq 19.0$. Dados da literatura: Mignoli et al. (2005) em azul e VVDS (mesmo do campo D1 do CFHTLS) em vermelho.

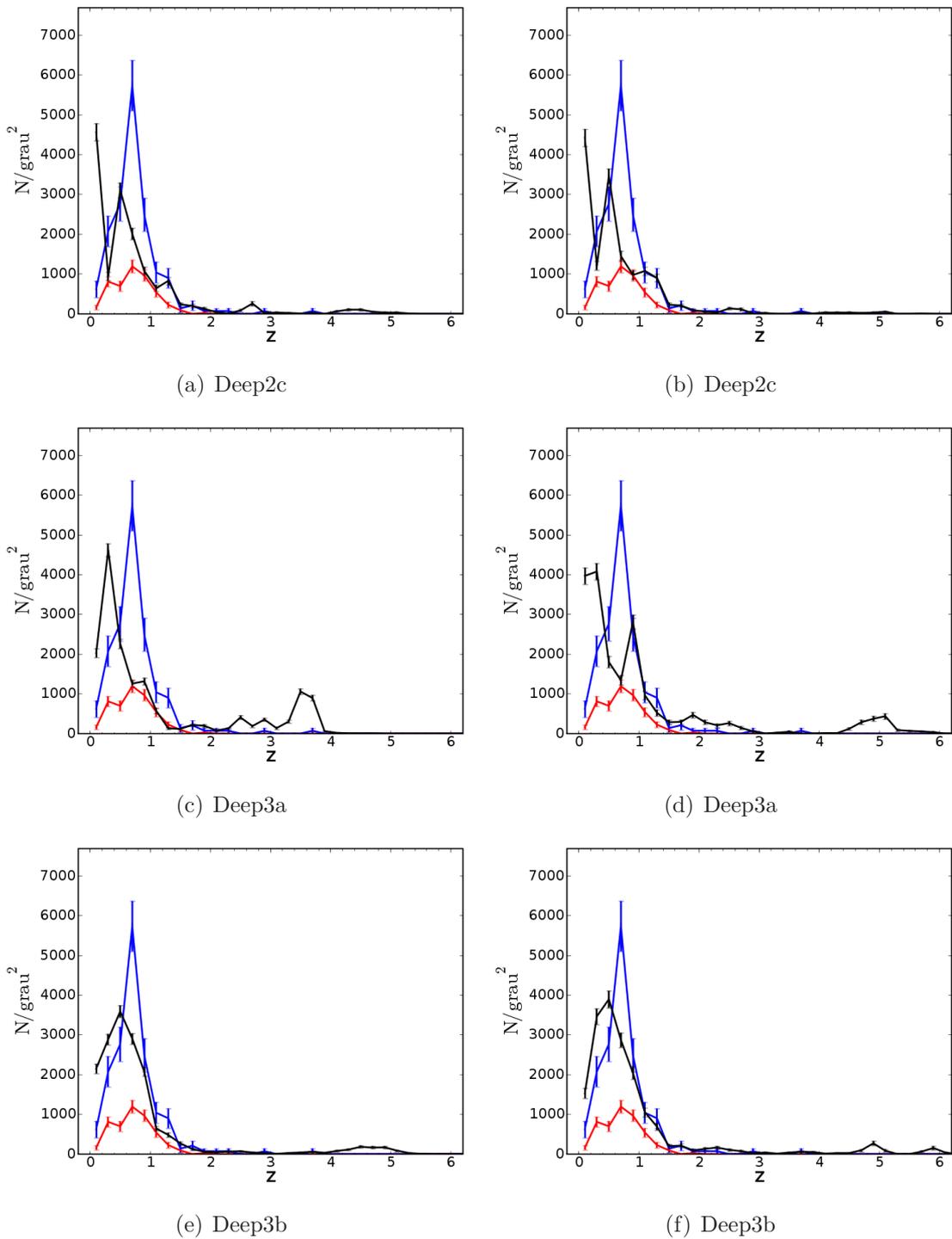


Figura 3.21: Distribuição de *redshifts* fotométricos de galáxias em alguns campos do DPS (em preto). No painel da esquerda, apenas objetos localizados dentro das áreas efetivas das bandas do óptico e da Ks, e no da direita objetos com contexto máximo, ambos limitados em $K \leq 19.0$. Dados da literatura: Mignoli et al. (2005) em azul e VVDS (mesmo do campo D1 do CFHTLS) em vermelho.

Tabela 3.4: Densidades de galáxias de amostras da literatura limitadas na magnitude da banda K indicada (erros são poissonicos). K20 é de Mignoli et al. (2005), enquanto VVDS veio do catálogo fornecido por C. Benoist (amostra da região também coberta pelo campo D1 do CFHTLS).

K_{Vega} limite	$Gal_{K20}/(^{\circ})^2$	$Erro_{K20}$	$Gal_{VVDS}/(^{\circ})^2$	$Erro_{VVDS}$
20.0	31776.92	1483.22	10440.00	484.67
19.0	16338.46	1063.54	5197.50	341.97
18.0	6092.31	649.44	1732.50	197.44

3.3 CFHTLS

Conforme mencionado na seção 2.2, utilizamos catálogos do CFHTLS com *redshifts* fotométricos obtidos com o código Le Phare, através do método descrito em Ilbert et al. (2006) e produzidos pelos times do Terapix e do VVDS. Em linhas gerais, o programa foi inicialmente aplicado numa amostra mais brilhante ($i'_{AB} \leq 22.5$) do campo D1 com *redshifts* espectroscópicos para que fossem calculados os pontos zeros de todas as bandas (correções que serão aplicadas aos modelos teóricos, que minimizam a sistemática entre $(mag_{obs} - mag_{modelo})$). Com eles, são então realizadas rodadas para as amostras completas de todos os campos fazendo uso de *templates* otimizadas a partir dos 4 padrões de Coleman, Wu e Weedman (relativos às morfologias E, Sbc, Scd, Irr) e uma *starburst* de Kinney et al. (1996). Nesse procedimento é utilizada uma abordagem Bayesiana para favorecer uma solução baseada na distribuição de *redshifts* espectroscópicos, quando há degenerescência. Outras características das execuções do Le Phare são a cobertura de *redshifts* permitidos, que é feita em passos de 0.04, e o modelo escolhido de extinção no objeto, que foi o de Prevot et al. (1984).

As figuras 3.22, 3.23 e 3.24, similares às presentes na seção 3.2.1, mostram a comparação entre *redshifts* fotométricos e espectroscópicos. Para tanto, selecionamos apenas galáxias (assim classificadas tanto no critério fotométrico quanto no

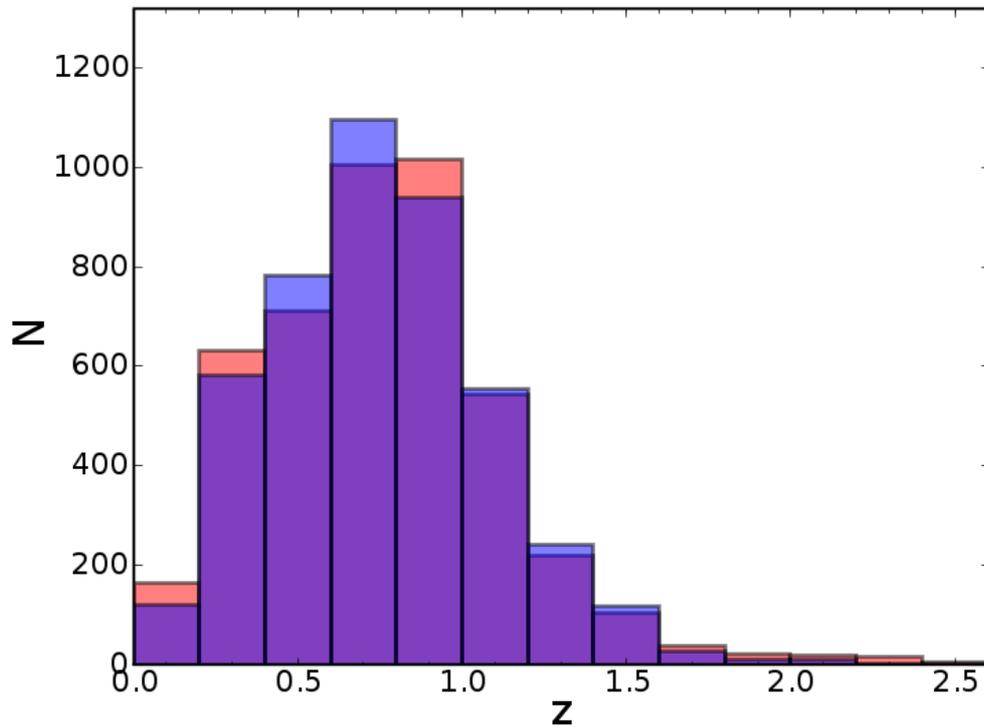


Figura 3.22: Histograma de *redshifts* obtidos pelo Le Phare para sub-amostra do CFHTLS-D1 (em vermelho) comparados a dados espectroscópicos do VVDS (em azul).

espectroscópico) com um mínimo de 3 bandas disponíveis, com boa qualidade espectroscópica (Flag = 2, 3 ou 4) e para as quais o Le Phare conseguiu calcular um *redshift*. Também nos concentramos apenas em objetos com *redshifts* ≤ 2.5 pois é o limite que será usado nas análises dos próximos capítulos. Esse valor já extrapola um pouco o z_{phot} limite de 1.5 indicado como o que garante resultados mais confiáveis por Ilbert et al. (2006). De fato, encontra-se menor espalhamento até esse valor como pode ser visto na figura 3.24. Deve-se notar que o número de objetos com z_{spec} entre 1.5 e 2.5 é muito baixo comparado com o número disponível até 1.5, de modo que a comparação com z_{phot} nesse intervalo pode estar comprometida por um efeito de baixa estatística.

Ilbert et al. (2006), obtiveram $\eta = 3.8\%$ e $\sigma = 0.029$ de um total de 2865 galáxias utilizando apenas os melhores z_{spec} . Como teste, incluímos também objetos com a *flag* do $z_{\text{spec}} = 2$, mantendo o mesmo corte $17.5 \leq i' \leq 24.0$ daqueles autores e encontramos 4258 galáxias das quais 9.25% foram consideradas erros catastróficos

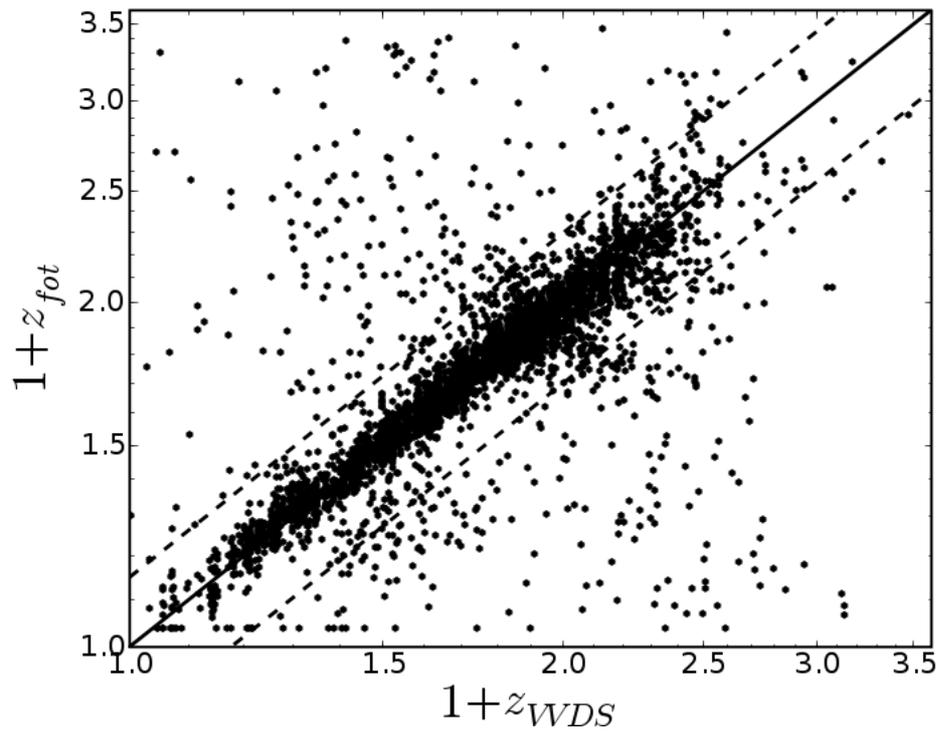


Figura 3.23: Comparação de *redshifts* obtidos pelo Le Phare para sub-amostra do CFHTLS-D1 com *redshifts* espectroscópicos do VVDS.

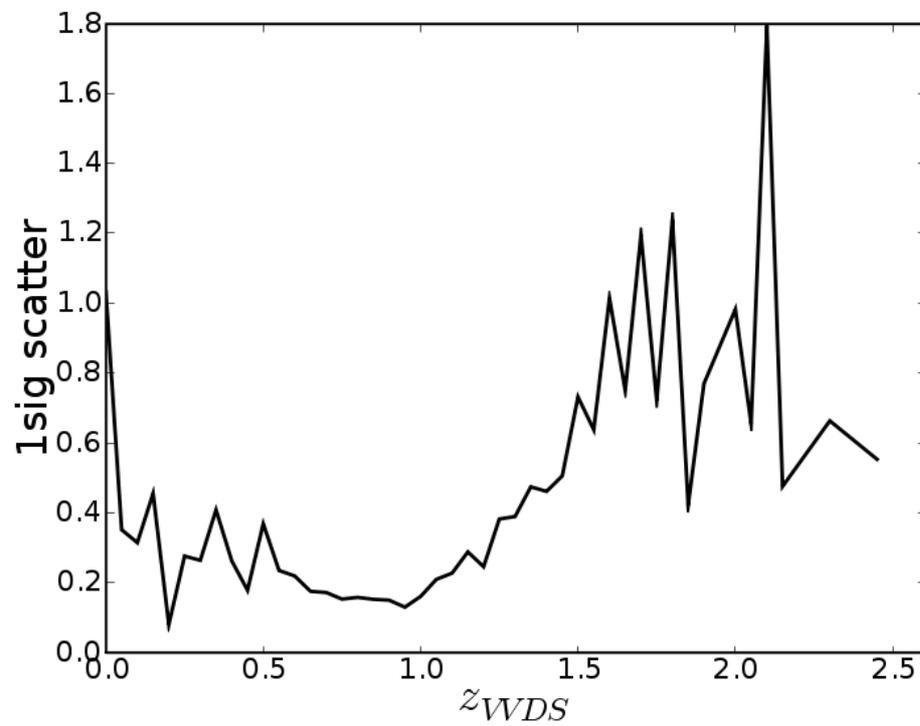


Figura 3.24: Espalhamento entre z_{fot} (obtido pelo Le Phare) e z_{espec} (VVDS) em função de z_{espec} para sub-amostra do CFHTLS-D1.

e com $\sigma = 0.035$, enquanto que aumentando o limite superior para $i'=25.0$, encontramos 4479 galáxias e $\eta = 10.00\%$ e $\sigma = 0.037$. Aumentando um pouco mais, até $i'=26.0$, o número reunido de galáxias não muda quase nada, alcançando 4483 com $\eta = 10.04\%$ e $\sigma = 0.037$. As figuras 3.22, 3.23 e 3.24 apresentam os resultados da comparação entre *redshifts* fotométricos e espectroscópicos para a amostra limitada em $17.5 \leq i' \leq 26.0$ e com erros nas magnitudes da banda $i \leq 0.33$, mostrando graficamente a grande compatibilidade entre as medidas fotométricas e espectroscópicas de *redshift* já visível pelas estatísticas mencionadas. As médias de z_{spec} e z_{fot} são 0.750 e 0.755, muito próximas como era de se esperar pela figura 3.22.

Apesar de $i'=25.0$ ser o valor indicado por Ilbert et al. (2006) como o de maior confiabilidade para análise da amostra CFHTLS-D1, resolvemos trabalhar com a amostra limitada em $i'=26.0$, que é o valor aproximado da magnitude de completeza (50%). Para minimizar os erros e manter maior qualidade fotométrica, utilizamos a restrição adicional do corte nos erros das magnitudes dessa banda em 0.33 mag. A vantagem desse limite maior ($i'=26.0$) é que implica em um ganho considerável no número de objetos. Quando não se impõe a existência de dados espectroscópicos, encontramos 54063 galáxias até $i'=24.0$, 108161 até $i'=25.0$ e 184996 até $i'=26.0$. A distribuição de z_{fot} desses objetos com limite máximo em $i'=26.0$ é apresentada na figura 3.25, tendo uma média de 0.965 (ligeiramente maior do que a da figura 3.22), e estão distribuídos quanto ao tipo espectral melhor ajustado conforme na figura 3.26.

Como as amostras de EROs, DRGs e BzKs estão limitadas à área que denominamos CFHTLS-aK, observada com a banda K (utilizada para seleção desses objetos), realizamos a mesma análise para os objetos localizados nesta área apresentando os resultados nas figuras 3.27, 3.28 e 3.29). No intervalo $17.5 \leq i' \leq 26.0$ e até o limite $z=2.5$ encontramos 11546 galáxias das quais 638 possuem determinações de *redshifts* espectroscópicos cuja comparação com *redshifts* fotométricos apresentam fração de erros catastróficos $\eta = 9.56\%$ e dispersão $\sigma = 0.04$. Os valores das médias de z_{spec} e z_{fot} dos objetos com ambas medidas são, respectivamente, 0.77 e 0.78. Contabilizando todos os objetos com *redshifts* fotométricos, a distribuição desses

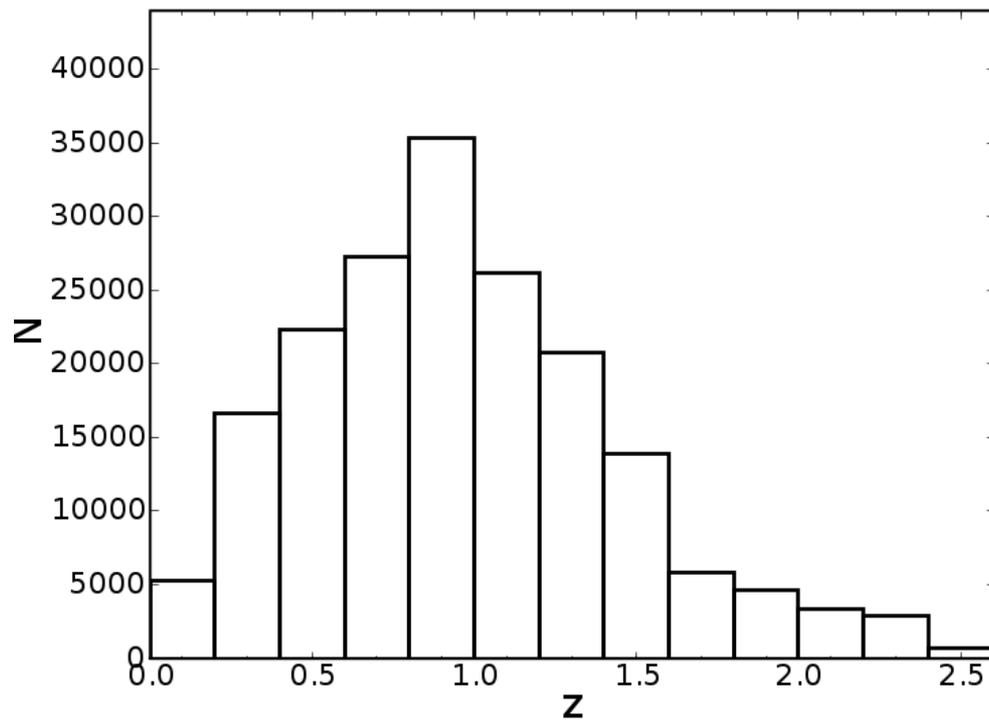


Figura 3.25: Histograma de *redshifts* obtidos pelo Le Phare para amostra do CFHTLS-D1.

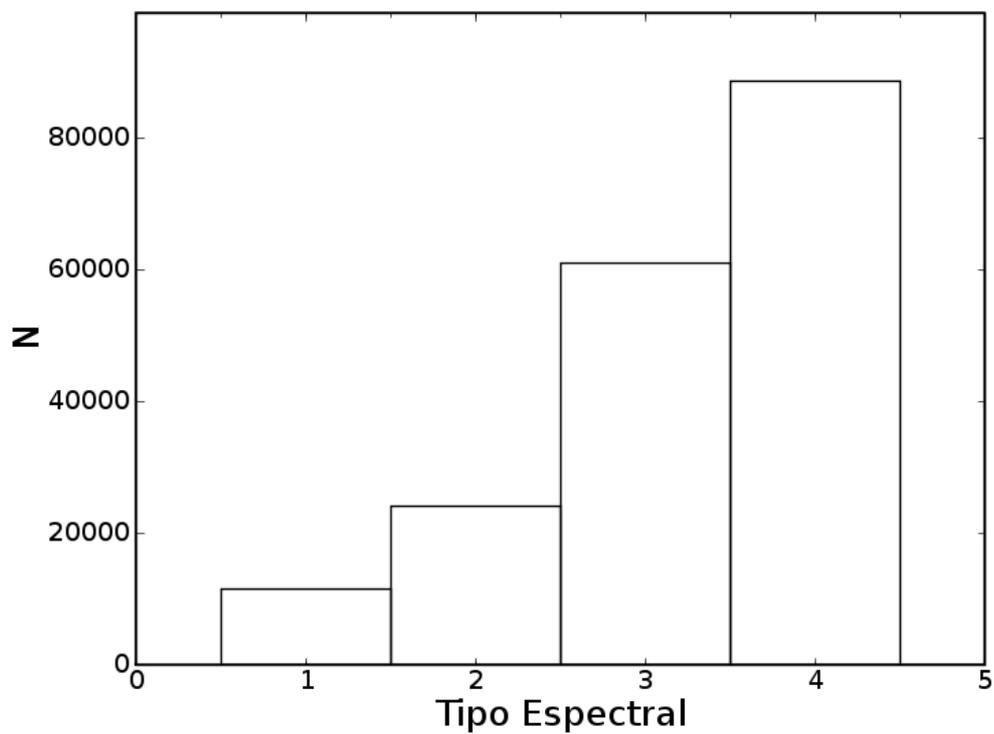


Figura 3.26: Histograma dos tipos espectrais obtidos pelo Le Phare para amostra do CFHTLS-D1. Os números representam: 1-E, 2-S, 3-Im e 4-*Starburst*.

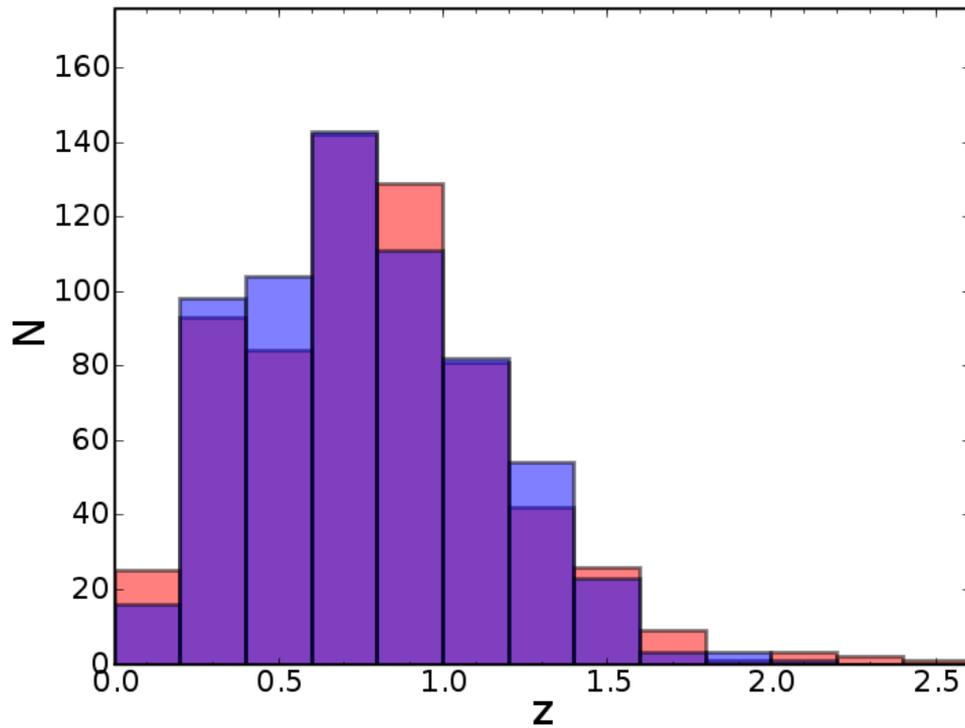


Figura 3.27: Histograma de *redshifts* obtidos pelo Le Phare para sub-amostra do CFHTLS-D1 na área da banda K (em vermelho) comparados a dados espectroscópicos do VVDS dos mesmos objetos (em azul).

z_{fot} é idêntica à da amostra completa (figura 3.25) com média 1.03. Ou seja, de um modo geral, os objetos nessa sub-região apresentam características similares às dos objetos presentes no campo D1 como um todo, nos quais vamos focar nossa análise no restante do capítulo.

Para comparar com outras amostras da literatura, fizemos uma seleção de objetos com mesmo corte $K_{AB} \leq 21.84$ ($K_{Vega} \leq 20.0$), com ou sem z_{espec} , cuja distribuição de z_{fot} é sobreposta a de z_{espec} do VVDS e de Mignoli et al. (2005) na figura 3.30. Com relação à comparação com o VVDS, como já foi mencionado na seção anterior, sua baixa densidade é devida à incompleteza na amostra, já que esta foi selecionada por $I_{AB} \leq 24.0$. Nossos resultados coincidem relativamente bem com os de Mignoli et al. (2005), apesar de possuir um *redshift* médio um pouco maior. No que concerne à densidade de galáxias com $K_{AB} \leq 21.84$ e $K_{AB} \leq 19.84$ obtivemos respectivamente 38137.50 (com erro poissonico de 926.33) e 6097.50 (com erro poissonico de 370.40),

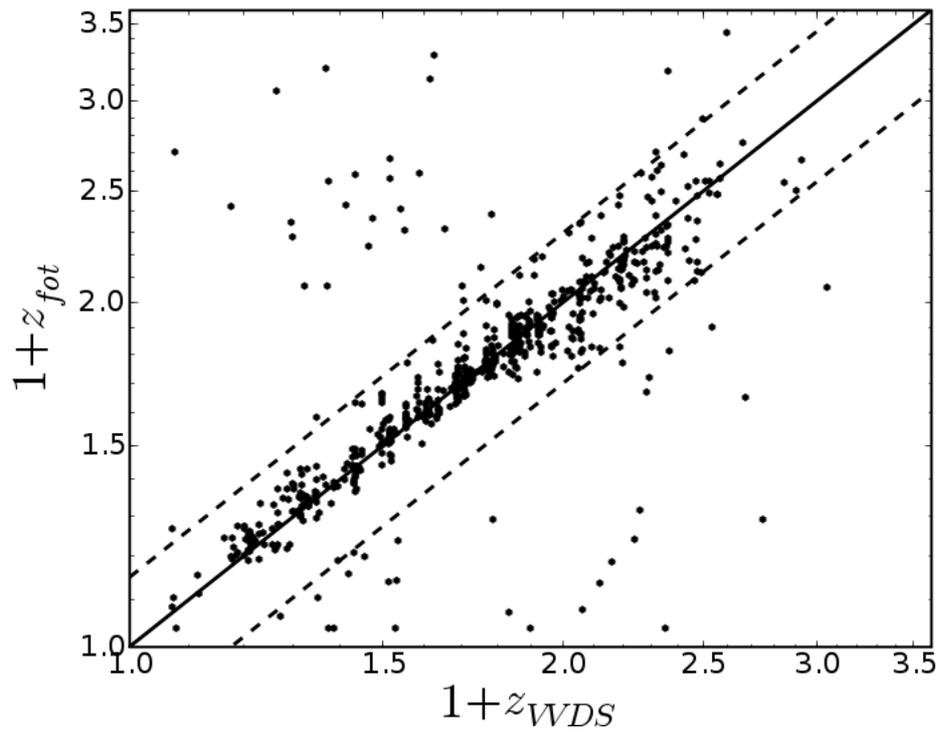


Figura 3.28: Comparação de *redshifts* obtidos pelo Le Phare para sub-amostra do CFHTLS-D1 na área da banda K com *redshifts* espectroscópicos do VVDS.

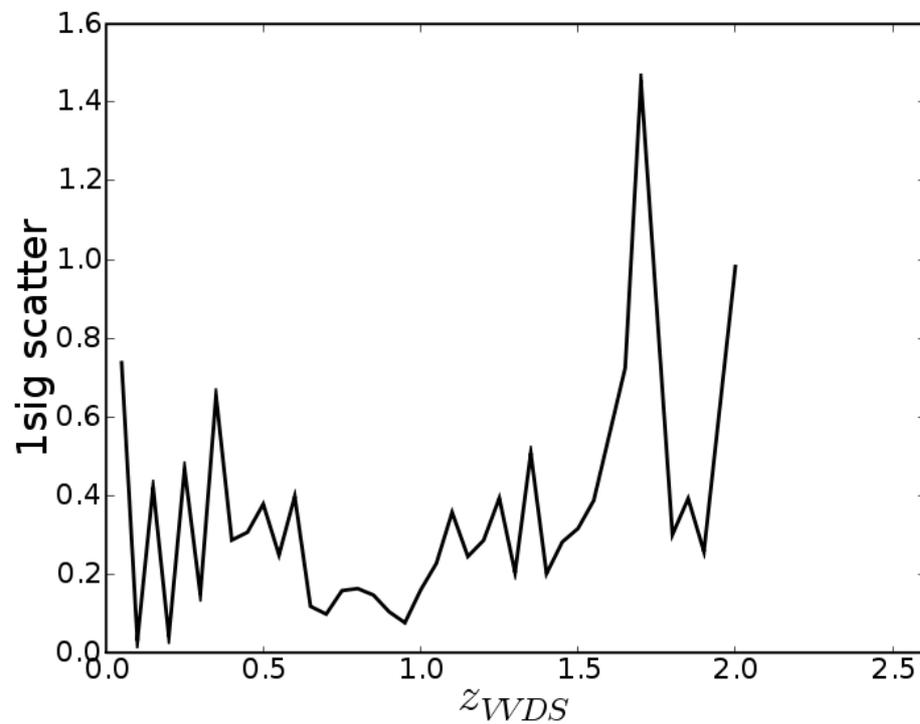


Figura 3.29: Espalhamento entre z_{fot} (obtido pelo Le Phare) e z_{espec} (VVDS) em função de z_{espec} para sub-amostra do CFHTLS-D1 na área da banda K.

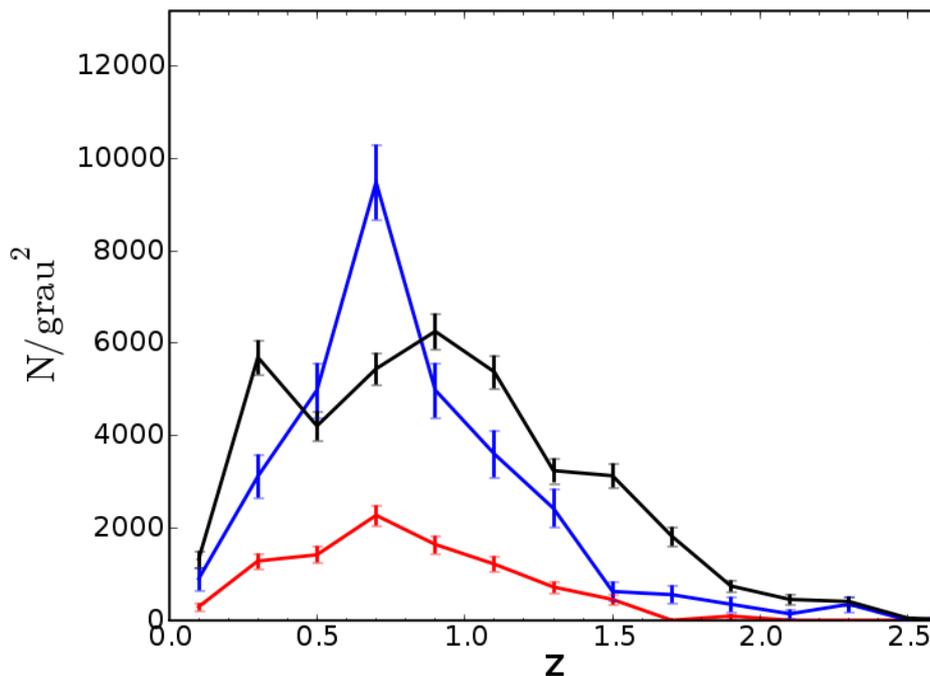


Figura 3.30: Histogramas normalizados de *redshifts* obtidos pelo Le Phare para amostra do CFHTLS-D1 na área da banda K (em preto) comparados a dados espectroscópicos do VVDS (em vermelho) e de Mignoli et al. (2005) (em azul).

enquanto os de Mignoli et al. (2005) estão apresentados na tabela 3.4, compatíveis com os que determinamos.

Os erros na determinação de *redshifts* fotométricos são usualmente muito altos. Reconhecidamente, esta técnica não tem sentido se aplicada a objetos individualmente, mas é de grande valor para a análise estatística de grandes bases de dados fotométricos como a amostra CFHTLS-D1. Algumas características importantes desses erros são discutidas a seguir. Em primeiro lugar, definimos como erro ϵ_z no *redshift* fotométrico z_{fot} um parâmetro calculado a partir das estimativas de valores máximo (z_u) e mínimo (z_l) para z_{fot} , relativos a um erro de $\pm 1\sigma$ no processo de determinação de *redshift* descrito anteriormente: $\epsilon_z = (z_u - z_l)/2$. A distribuição de ϵ_z para cerca de 5% da amostra do CFHT (selecionado por amostragem) é apresentada na figura 3.31, com o usual locus de erros mais altos. Pode-se notar que a maioria dos erros está abaixo de 0.4 em z , o que ainda significa uma grande incerteza da determinação individual de uma distância. Entretanto, a quantidade ϵ_z é resultado

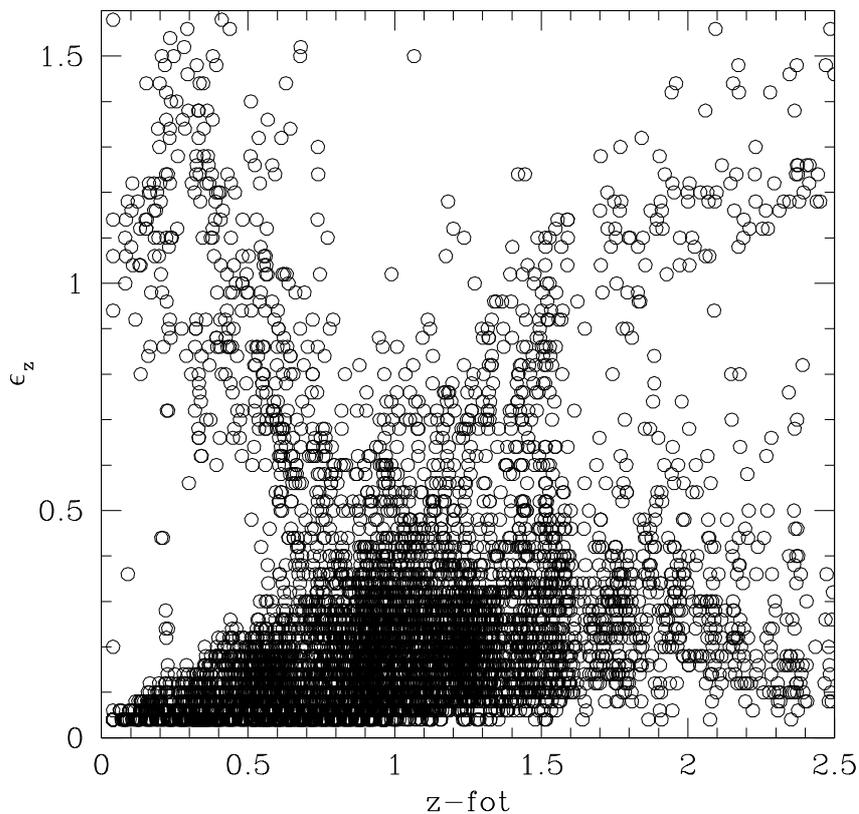


Figura 3.31: Erro no *redshift* versus *redshift*.

do complexo processo de obtenção da estimativa de *redshift* e pode não representar necessariamente o erro real em z_{phot} .

Como mostrado anteriormente na análise dos dados do DPS, uma forma adequada de visualizar os erros em z_{phot} é compará-lo com determinações espectroscópicas z_{spec} . Em particular no caso da amostra do CFHTLS tem-se a vantagem da existência do levantamento VVDS que cobre cerca de metade de sua área, disponibilizando um número estatisticamente significativo de objetos com z_{spec} . Procuramos avaliar se seria possível melhorar os resultados com algum corte nos erros dos z_{phot} , assim na figura 3.32 é mostrada a comparação entre *redshifts* em quatro painéis apresentando respectivamente toda a amostra comum entre os dois levantamentos e amostras limitadas a valores de ϵ_z inferiores a 0.1, 0.08 e 0.06. Pode-se perceber destes painéis que tais cortes não implicam numa diminuição seletiva das maiores

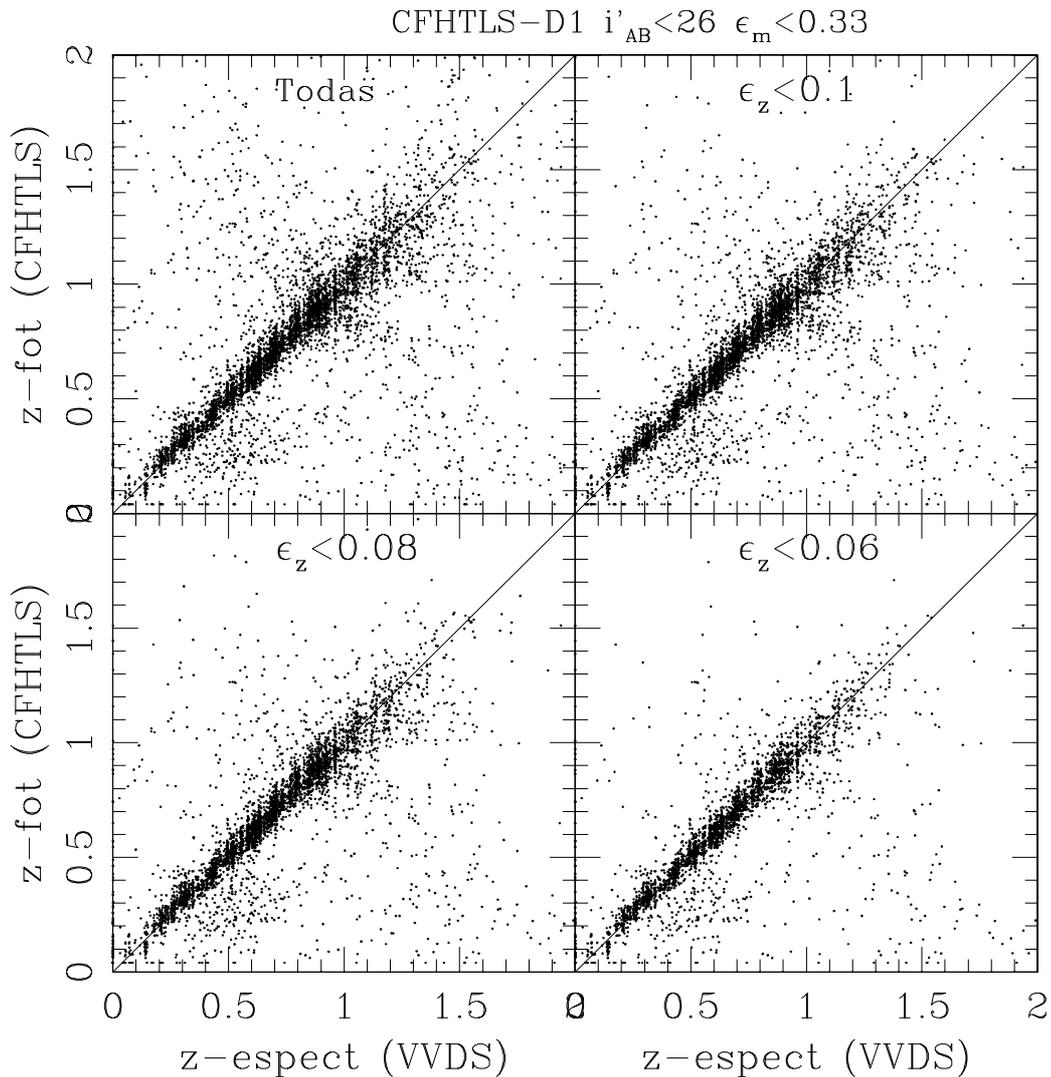


Figura 3.32: Comparação de z_{fot} com z_{espec} (1)

diferenças de z_{fot} e z_{espec} , e eliminam muitos objetos com $z_{fot} \approx z_{espec}$.

Uma outra possibilidade de estimar erros dos *redshifts* fotométricos poderia ser o uso do parâmetro χ^2 relativo ao ajuste da melhor distribuição espectral de energia às cores observadas do objeto. Entretanto, como este parâmetro está relacionado ao erro $\pm 1\sigma$ que leva aos parâmetros z_u e z_l mencionados acima, ele deve ser igualmente inadequado para uma estimativa real do erro no *redshift* fotométrico. De fato, a figura 3.33 mostra que para diferentes cortes em $\chi^2 = 20, 15$ e 10 objetos são removidos da amostra, mesmo que tenham boas determinações de *redshift* fotométrico

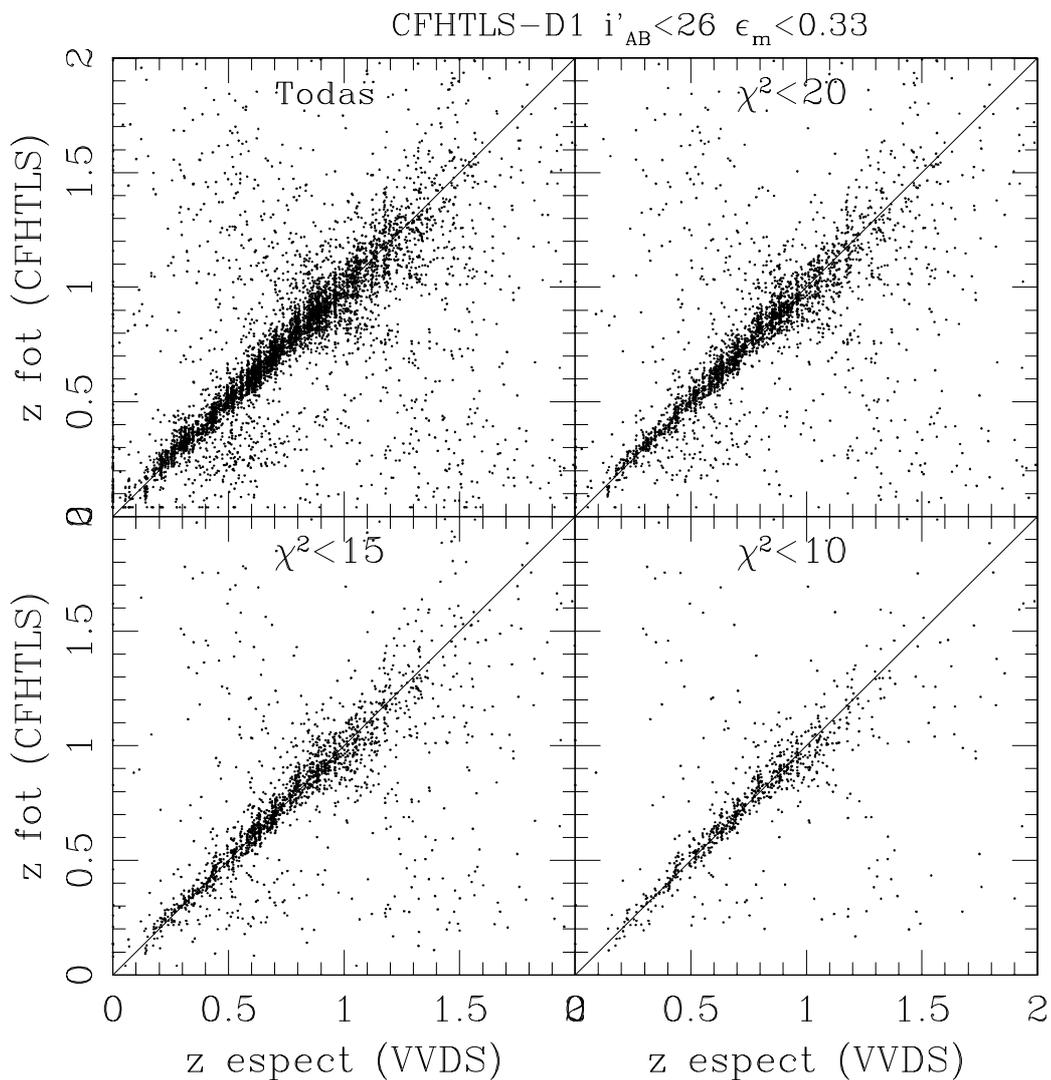


Figura 3.33: Comparação de z_{fot} com z_{espec} (2)

($z_{fot} \approx z_{espec}$).

A figura 3.34 apresenta uma visão unificada do efeito destes cortes tanto para todas as galáxias como para as seleções pelo erro ϵ_z ou por χ^2 do ajuste das cores aos espectros, mostrando o pequeno efeito destes cortes para a seleção de uma amostra com z_{fot} mais confiável. Por outro lado, o painel inferior direito, mostra um resultado ainda mais marcante: a melhor comparação de z_{fot} com z_{espec} acontece quando os z_{espec} de melhor qualidade são usados na comparação. Tendo em vista estes resultados, optamos neste trabalho por não realizar cortes na amostra baseados em

estimativas de erros no *redshifts* fotométricos. O principal corte aplicado se refere ao limite máximo de erro fotométrico de 0.33 mag (equivalente à razão $S/N > 3$). Como poderá ser visto mais adiante, isto representa um procedimento importante tanto na seleção fotométrica, quanto para as determinações dos *redshifts* fotométricos. De fato, poderíamos aplicar o mesmo corte em 0.33 mag para os erros nas magnitudes de todas as bandas usadas, o que provavelmente implicaria na manutenção apenas dos objetos com z_{fot} mais confiáveis. Entretanto, isso reduz a amostra significativamente e desse modo, optamos por impor essa restrição apenas à banda i e às bandas utilizadas na seleção de amostras particulares de galáxias.

O exame de classes de morfologias sob o ponto de vista de erros em z_{fot} ajuda bastante a identificação dos principais causadores desses erros. Devido a suas assinaturas espectrais diferenciadas, objetos de diferentes tipos apresentam graus diferentes de espalhamento entre *redshifts* espectroscópicos e fotométricos, sendo um pouco mais baixo para galáxias Elípticas (para as quais a descontinuidade de Balmer é mais intensa), e aumentando para os tipos mais tardios. Esse resultado foi obtido em Ilbert et al. (2006) para uma amostra limitada em $i' = 24.0$. Refizemos, então, as mesmas comparações entre z_{fot} e z_{spec} até o limite aqui utilizado $i'_{AB} = 26.0$, mas agora separadas por tipo morfológico, de fato encontramos um menor espalhamento no caso das Elípticas, como se nota na tabela 3.5 e pelas figuras 3.35, 3.36, 3.37 e 3.38. Estas figuras apresentam os objetos separados nas morfologias determinadas pelo código LePhare: Elípticas, Espirais, Irregulares e galáxias dominadas por formação estelar. De um modo geral, os resultados de percentagem de erros catastróficos e dispersão da comparação de *redshifts* fotométricos e espectroscópicos aumentam um pouco para a amostra que consideramos, no limite $i'_{AB} < 26.0$, se comparada aos resultados de Ilbert et al. (2006). Este resultado provavelmente é decorrente de estarmos incluindo um maior número de objetos mais tardios na nossa amostra. De qualquer forma é importante notar que os objetos nos quais estamos interessados neste trabalho - a família de Elípticas - são os que menos erros apresentam nos *redshifts* fotométricos.

Números globais para cada tipo morfológico das galáxias da amostra limitada

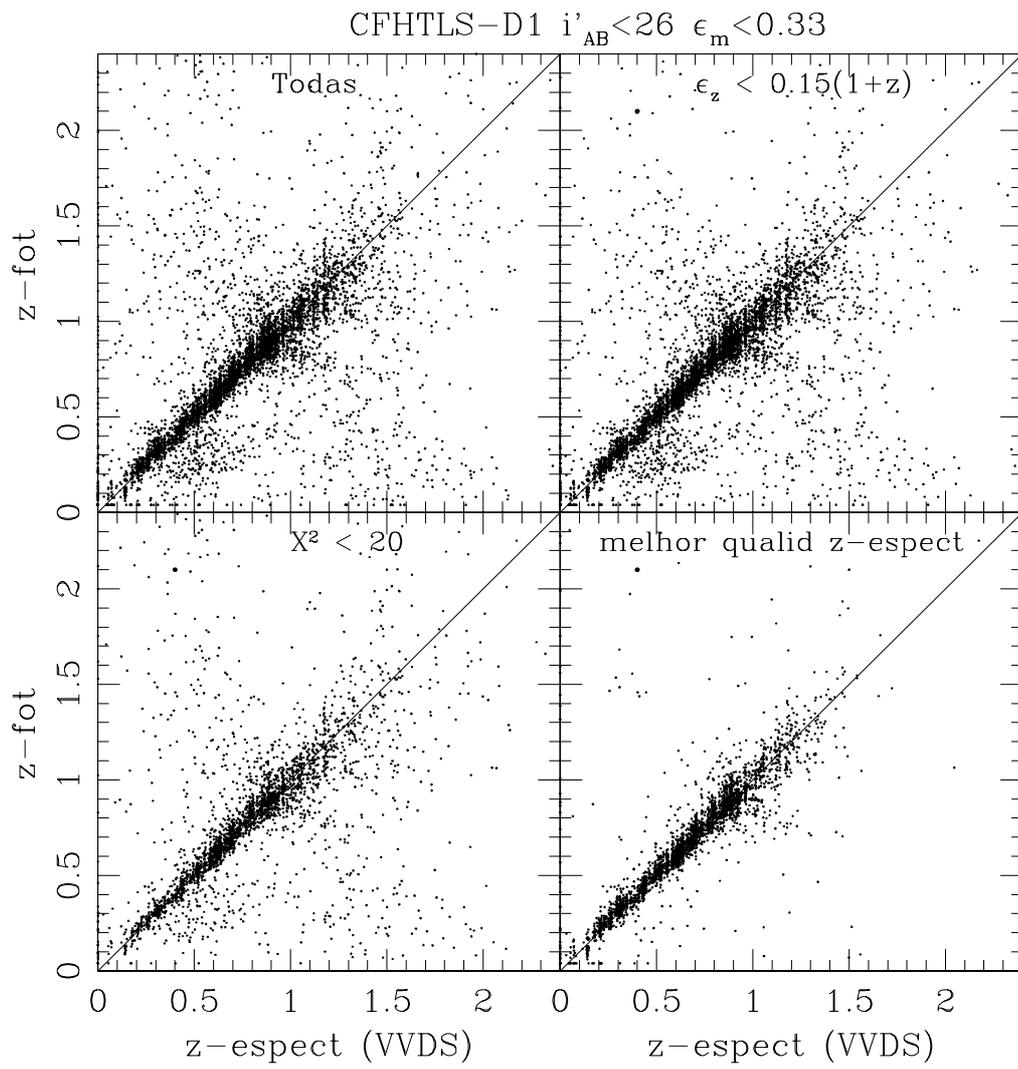


Figura 3.34: Comparação de z_{fot} com z_{espec} (3)

Tabela 3.5: Estatísticas obtidas pelo Le Phare aplicado a sub-amostras de diferentes tipos morfológicos de galáxias do CFHTLS-D1: número de galáxias com z_{espec} disponível, média e mediana de z_{fot} e z_{espec} , respectivamente, fração de erros catastróficos e acurácia.

Tipo	N	$z_{fot,m}$	$z_{fot,med}$	$z_{espec,m}$	$z_{espec,med}$	η (%)	σ
E	562	0.76	0.76	0.74	0.73	7.83	0.04
S	642	0.76	0.75	0.72	0.70	11.53	0.05
Im	1670	0.73	0.71	0.72	0.70	8.50	0.03
SB	1609	0.78	0.76	0.80	0.77	11.81	0.04

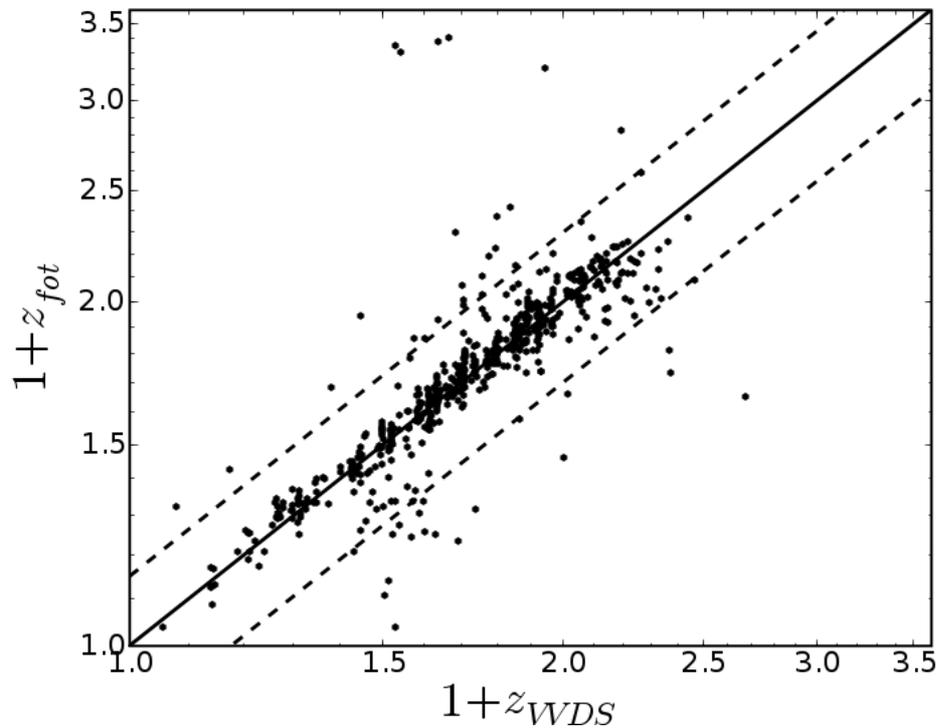


Figura 3.35: Comparação de *redshifts* obtidos pelo Le Phare para sub-amostra de Elípticas do CFHTLS-D1 com *redshifts* espectroscópicos do VVDS.

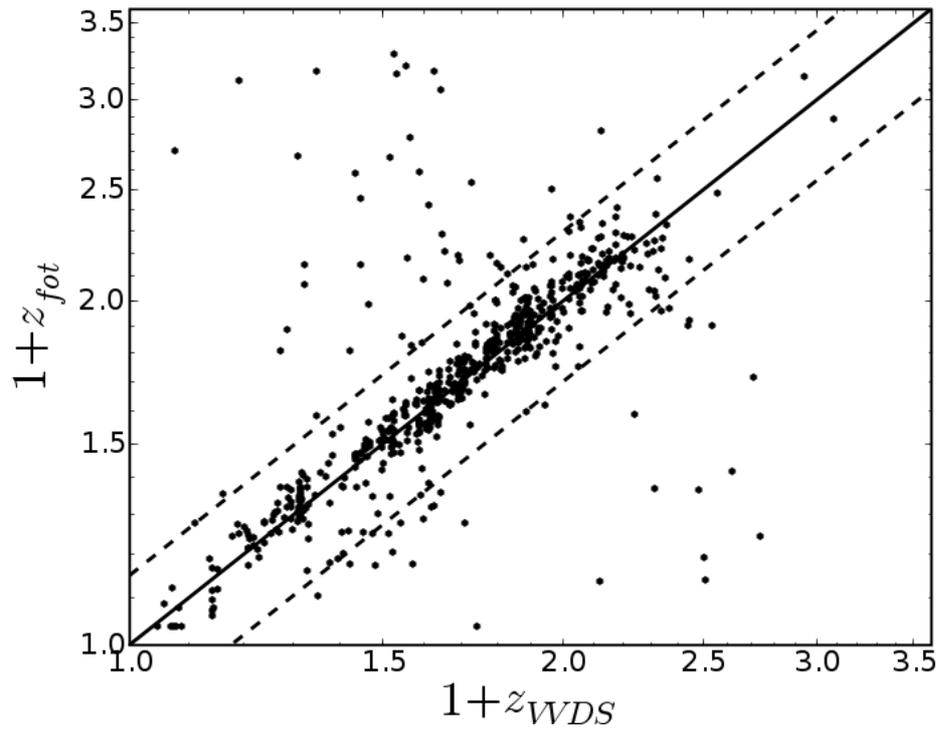


Figura 3.36: Comparação de *redshifts* obtidos pelo Le Phare para sub-amostra de Espirais do CFHTLS-D1 com *redshifts* espectroscópicos do VVDS.

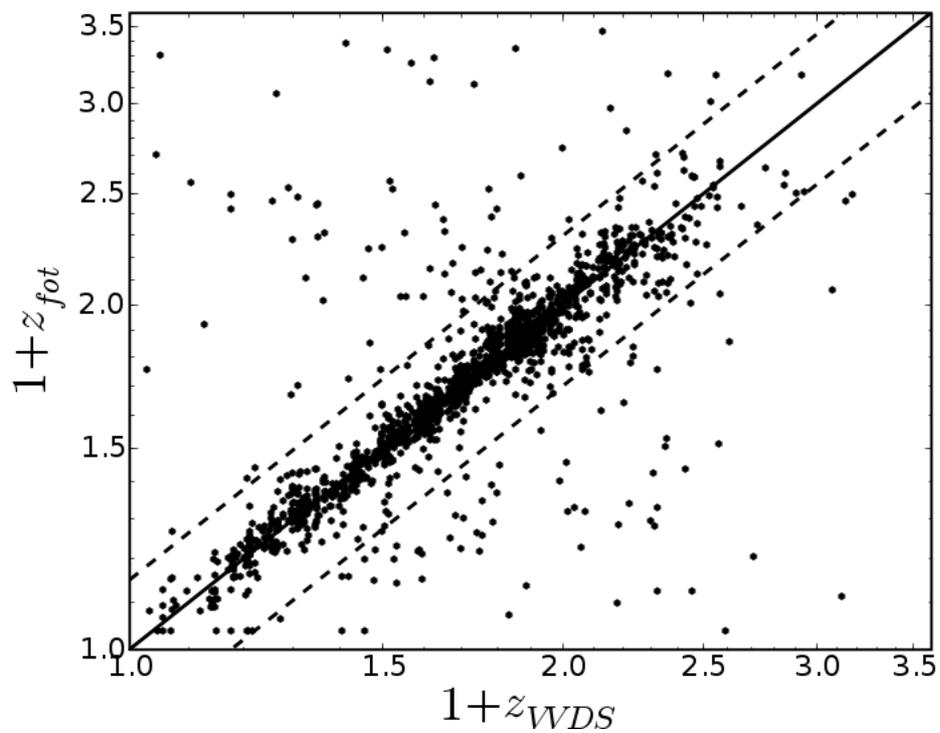


Figura 3.37: Comparação de *redshifts* obtidos pelo Le Phare para sub-amostra de Irregulares do CFHTLS-D1 com *redshifts* espectroscópicos do VVDS.

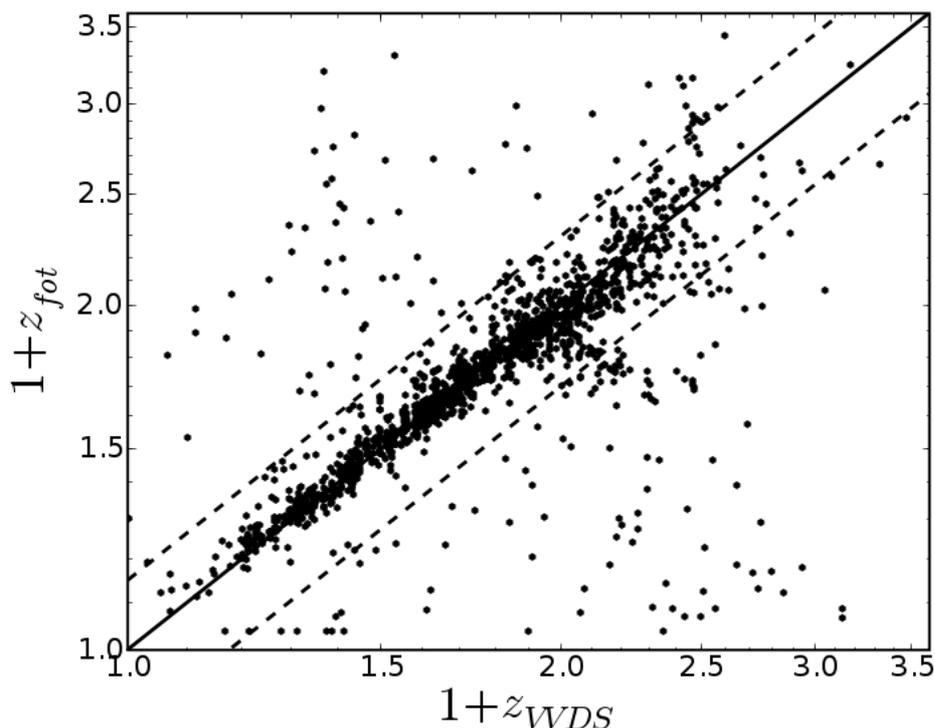


Figura 3.38: Comparação de *redshifts* obtidos pelo Le Phare para sub-amostra de *Starbursts* do CFHTLS-D1 com *redshifts* espectroscópicos do VVDS.

em $i'_{AB} < 26.0$ são apresentados na tabela 3.6, enquanto histogramas normalizados mostrando a distribuição de *redshifts* fotométricos para essas morfologias são apresentados na figura 3.39. Destacam-se nestes resultados o máximo de contagem relativa de Elípticas em $z \approx 0.9$, onde se espera encontrar EROS e o fato de que Elípticas são proporcionalmente poucas, frente às morfologias mais tardias em $z > 1.4$. Esses resultados serão abordados novamente mais adiante. Por outro lado, quando examinamos amostras mais brilhantes, por exemplo até $K_{AB} \leq 19.84$ ($K_{Vega} \leq 18.0$) encontramos uma maior densidade de Elípticas, conforme os dados da tabela 3.7, pois a maioria dos outros tipos de galáxias (em particular Irregulares e *Starbursts*) contribuem em magnitudes mais fracas.

Erros fotométricos altos podem ser um fator importante para as determinações de z_{fot} e com a finalidade de avaliar estes efeitos investigamos as relações desses erros na amostra CFHTLS-D1. A figura 3.40 mostra a distribuição de erros fotométricos na banda i' em função das magntidues aparentes i'_{AB} e de z_{fot} . Em ambos os painéis,

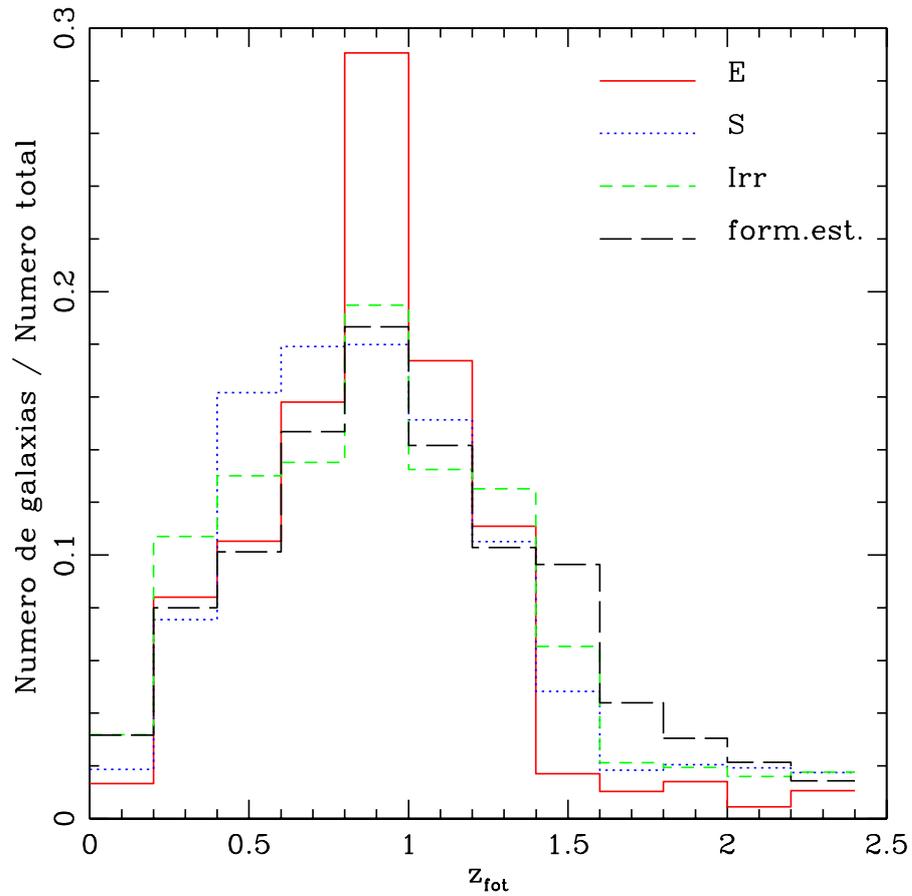


Figura 3.39: Histogramas normalizados da distribuição de *redshifts* fotométricos para cada morfologia obtida com o código LePhare, conforme indicado, para o campo CFHTLS-D1.

Tabela 3.6: Estatísticas obtidas pelo Le Phare quando aplicado às sub-amostras de diferentes tipos morfológicos de galáxias do CFHTLS-D1: número de galáxias com z_{fot} calculado, seguido de suas média e mediana, respectivamente.

Tipo	N	$z_{fot,m}$	$z_{fot,med}$
E	11438	0.91	0.89
S	24039	0.93	0.86
Im	60877	0.93	0.91
SB	88642	1.00	0.96

Tabela 3.7: Densidades de diferentes tipos morfológicos de galáxias do CFHTLS-D1 limitadas na magnitude $K_{AB} \leq 19.84$ (erros são poissonicos).

Tipo	Gal/($^{\circ}$)²	Erro
E	2542.50	239.18
S	2272.50	226.12
Im	1102.50	157.50
SB	180.00	63.64

a linha horizontal representa o erro fotométrico máximo aceito de 0.33 mag. Como pode ser visto, a grande maioria dos objetos selecionados até o limite $i'_{AB} = 26$ possui erros fotométricos abaixo deste limite. Mesmo assim, utilizamos o corte $\epsilon(i'_{AB}) < 0.33$ para as análises aqui realizadas.

Uma comparação entre o erro no *redshift* fotométrico ϵ_z e o erro fotométrico $\epsilon(i'_{AB})$ na banda i' é mostrada na figura 3.41. Nesta figura, uma amostragem de cerca de 5% de todas as galáxias do CFHTLS-D1 é utilizada para melhor visualização da densidade de objetos. Os objetos são separados em tipos morfológicos e o limite máximo de erro fotométrico é representado por uma linha vertical. A figura mostra que não existe uma correlação entre esses erros, sendo reproduzido o resultado mencionado anteriormente de que as Elípticas apresentam os menores erros em z_{fot} .

Como utilizaremos mais adiante os filtros r' e z' para definir uma cor para a seleção de objetos, analisamos também as distribuições dos erros fotométricos nessas bandas com o erro em z_{fot} . A primeira destas é mostrada na figura 3.42. A linha horizontal mostra o limite imposto de erro fotométrico de 0.33 mag. O painel superior mostra que este limite elimina objetos selecionados pela cor $r'-z'$ mais fracos que $i'_{AB} \approx 24.5$. Este aspecto será revisto mais adiante. Deve ser notado que o corte no erro fotométrico elimina os altos erros em $i'_{AB} > 25$. Estes por sua vez implicariam numa aparente concentração de objetos e $z_{\text{fot}} \approx 0.9$ e 1.35, como

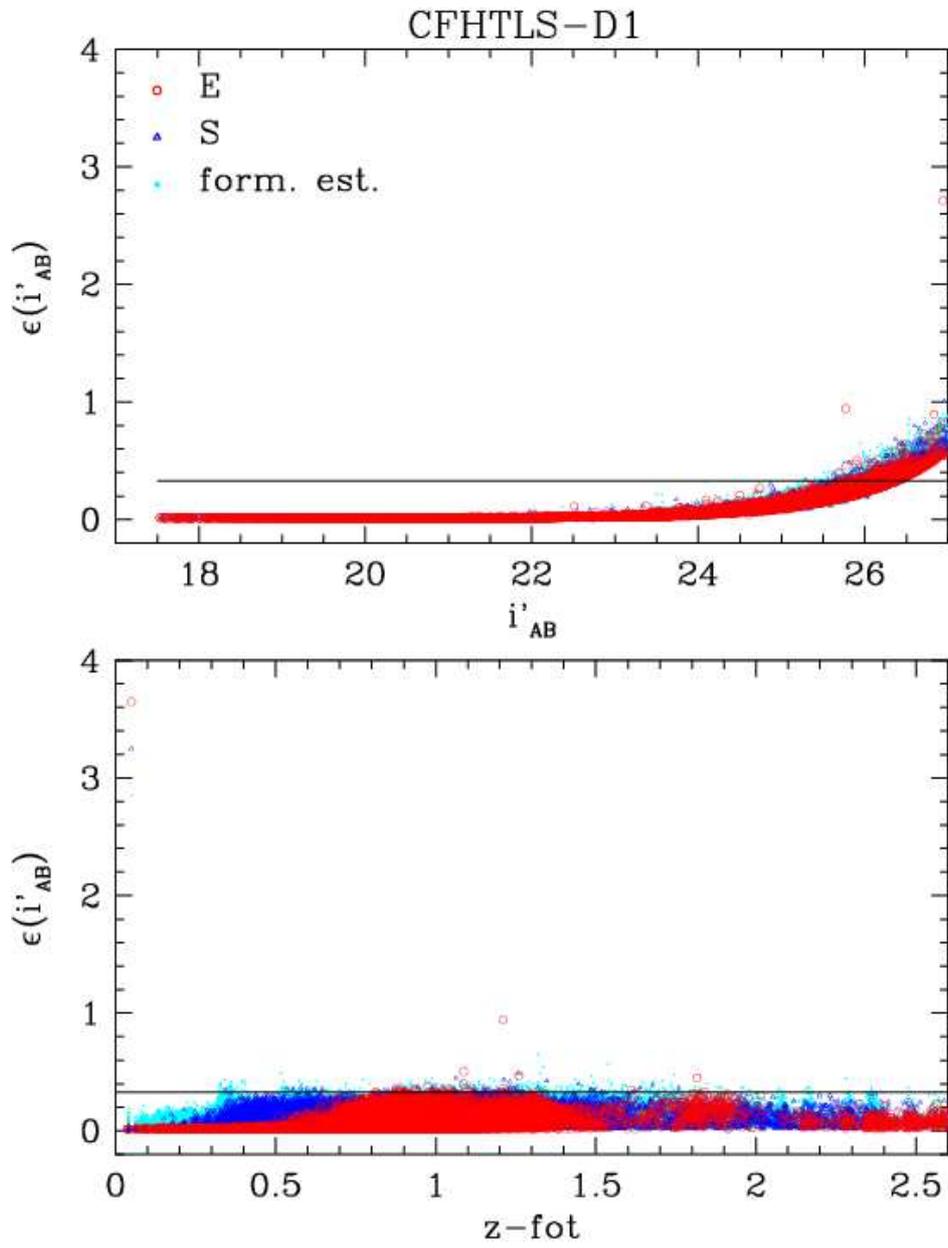


Figura 3.40: Erro fotométrico na banda i versus $\text{mag } i$ e redshift .

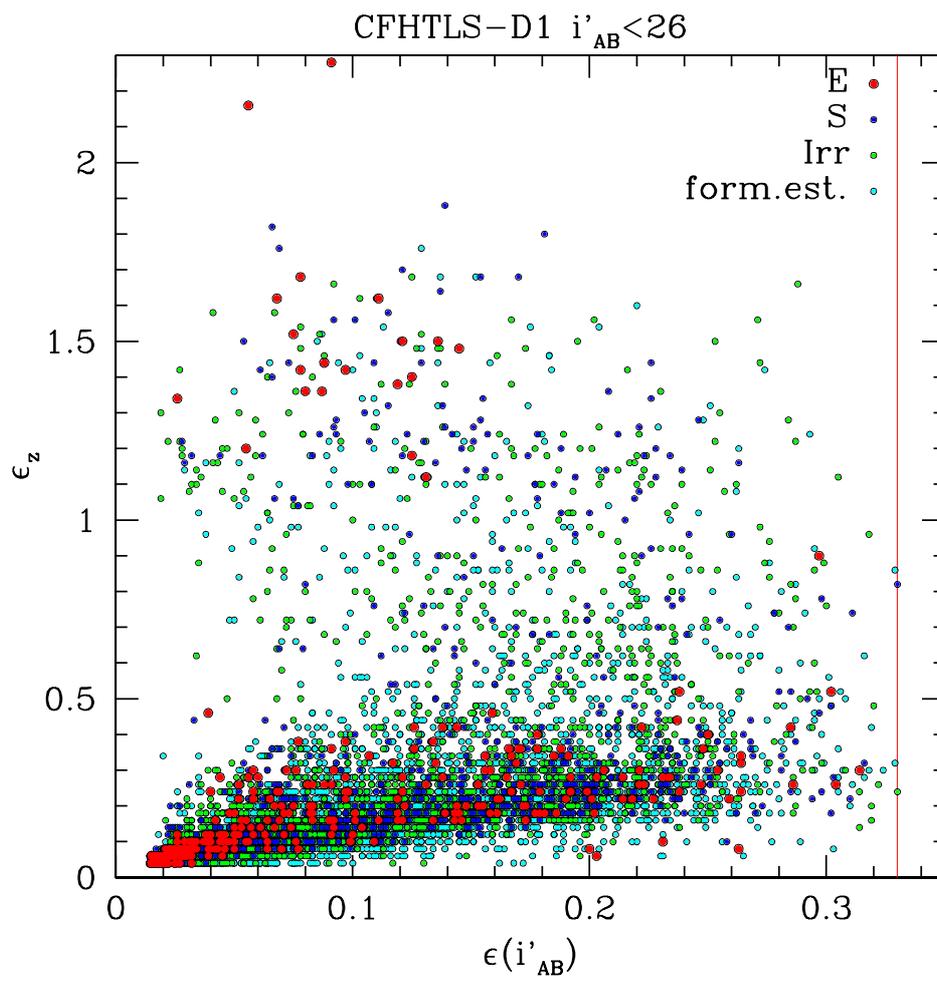


Figura 3.41: Erro na banda i versus erro no *redshift* para amostra $i < 26$.

mostra o painel inferior desta figura.

A distribuição de erros na magnitude z' é mostrada na figura 3.43 em função da magnitude i'_{AB} e de z_{fot} . Esta figura mostra que erros altos, eliminados com o corte no erro fotométrico acima de 0.33 mag, estão associados com domínios específicos de z e dependem de morfologia. No domínio de *redshift* de interesse $0.9 < z < 2.5$, os maiores erros são provenientes de galáxias com surto de formação estelar, enquanto as Elípticas sofrem poucos efeitos.

Uma visão mais clara do efeito dos erros fotométricos pode ser obtida da distribuição da cor $r'_{AB} - z'_{AB}$ em função do *redshift* fotométrico. Esta cor foi escolhida para uso neste trabalho em decorrência de testes preliminares feitos com a amostra CFHTLS-D1, do fato de ser uma cor mais próxima da região do infra-vermelho e por possibilitar uma separação bastante adequada da classe de Elípticas, como será visto mais adiante. A figura 3.44 mostra a distribuição dessa cor versus z_{fot} para as galáxias Elípticas, Espirais e galáxias dominadas por formação estelar. Apenas as galáxias Irregulares não são plotadas para melhor visualização da densidade de pontos; elas ocupam um locus intermediário entre as Espirais e as com surto de formação estelar. O painel superior apresenta as galáxias limitadas em magnitude aparente $i'_{AB} = 26$, enquanto o painel inferior acrescenta o corte no erro fotométrico de 0.33 para todas as magnitudes envolvidas. Em primeiro lugar deve-se notar que o corte no erro fotométrico, como esperado, remove os casos mais discrepantes e dá à distribuição de cor versus *redshift* a forma usual. As linhas horizontais representam limites de seleção de Elípticas que serão utilizados mais adiante na obtenção dos resultados deste trabalho.

Um ponto importante e que será analisado várias outras vezes neste trabalho é o aparente excesso vermelho na cor $r' - z'$ para as Elípticas no intervalo $1.5 < z_{\text{fot}} < 2.0$. Se for um efeito real, deve refletir um processo importante para a formação e evolução desta classe de galáxias. Por isso, realizamos alguns testes para verificar a possibilidade alternativa de ser um efeito observacional ou causado pelo processo de determinação dos *redshifts* fotométricos. Em virtude da qualidade da fotometria do CFHTLS e dos gráficos anteriores descartamos a possibilidade de erros fotométricos.

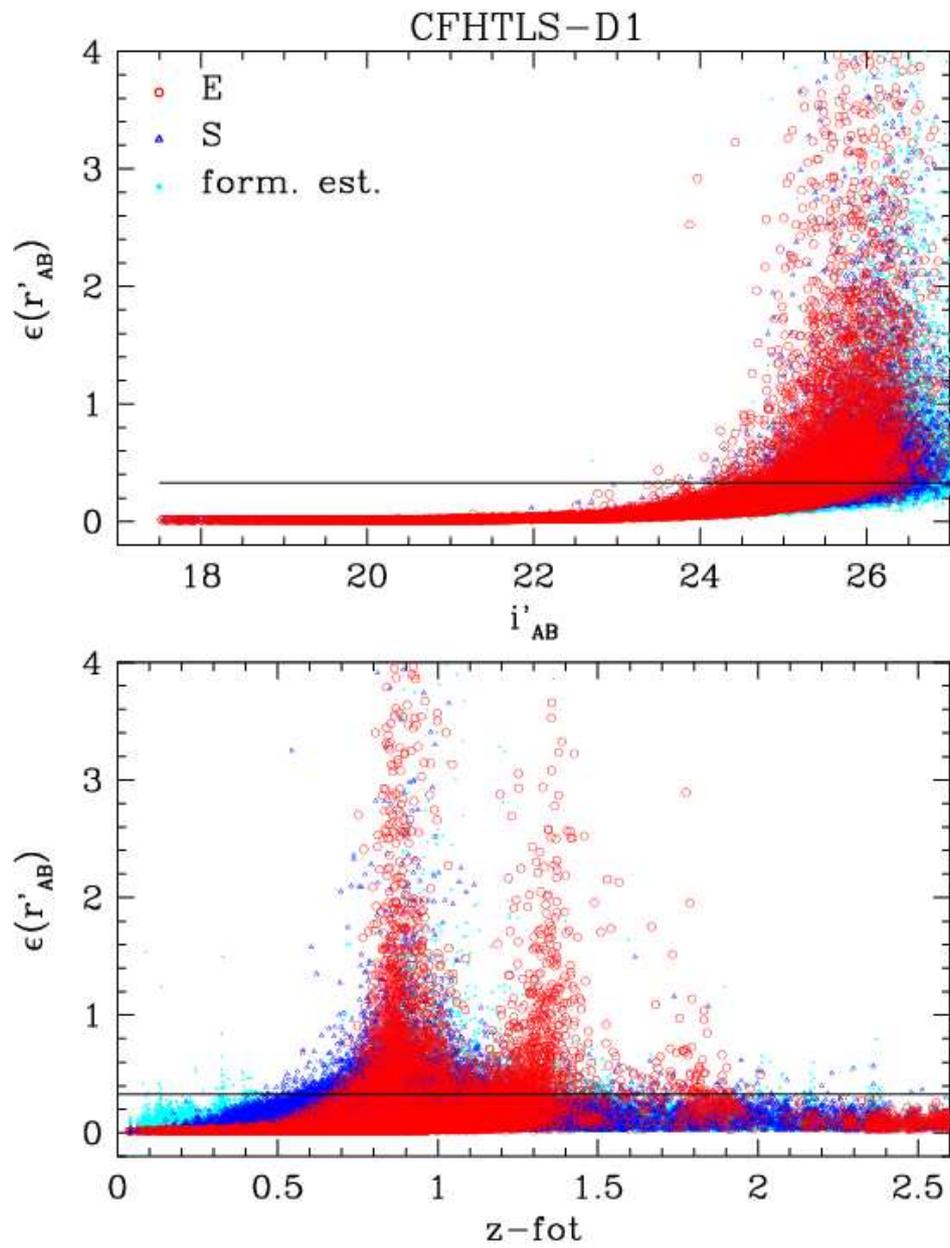


Figura 3.42: Erro fotométrico na banda r versus mag i e *redshift*.

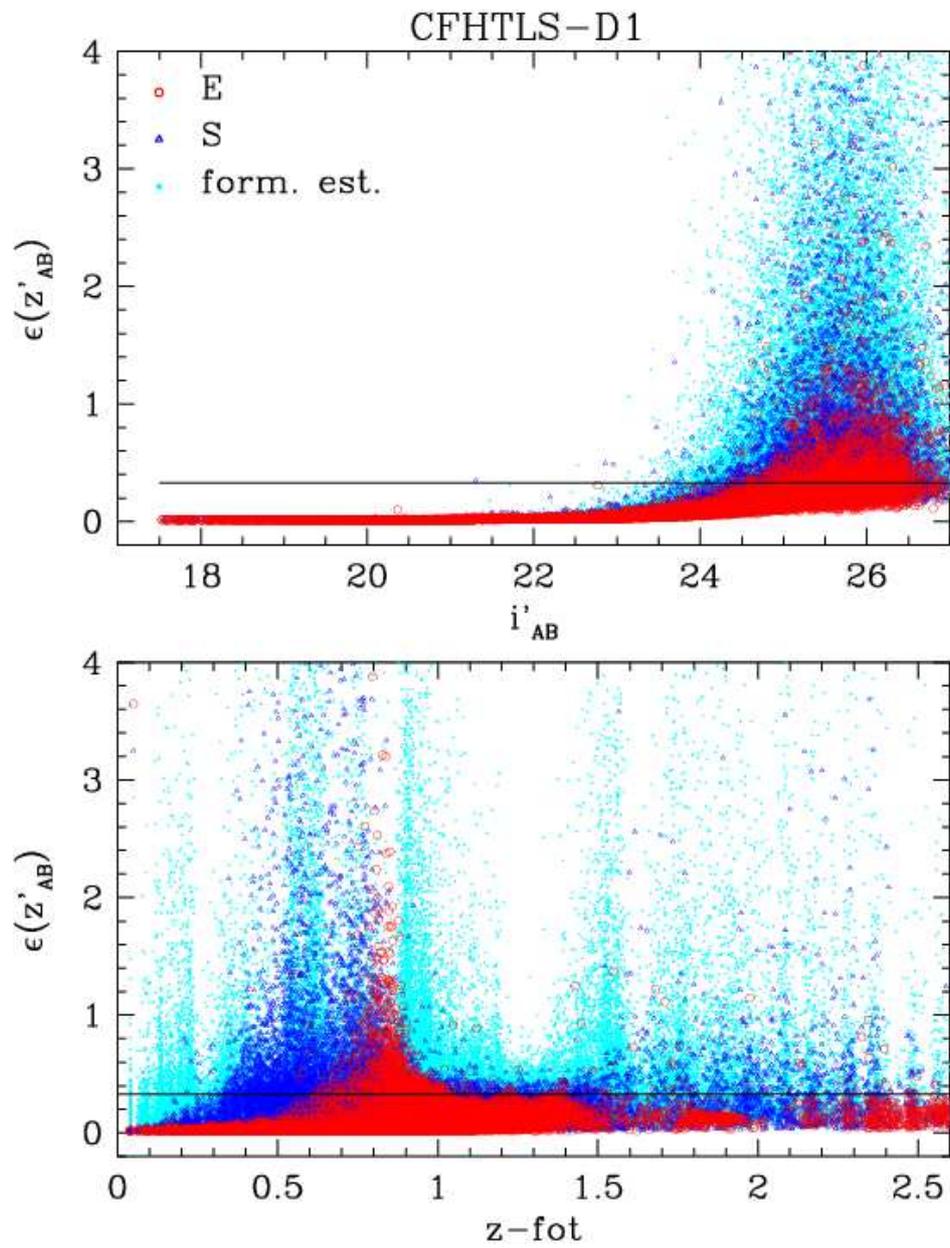


Figura 3.43: Erro fotométrico na banda z versus mag i e *redshift*.

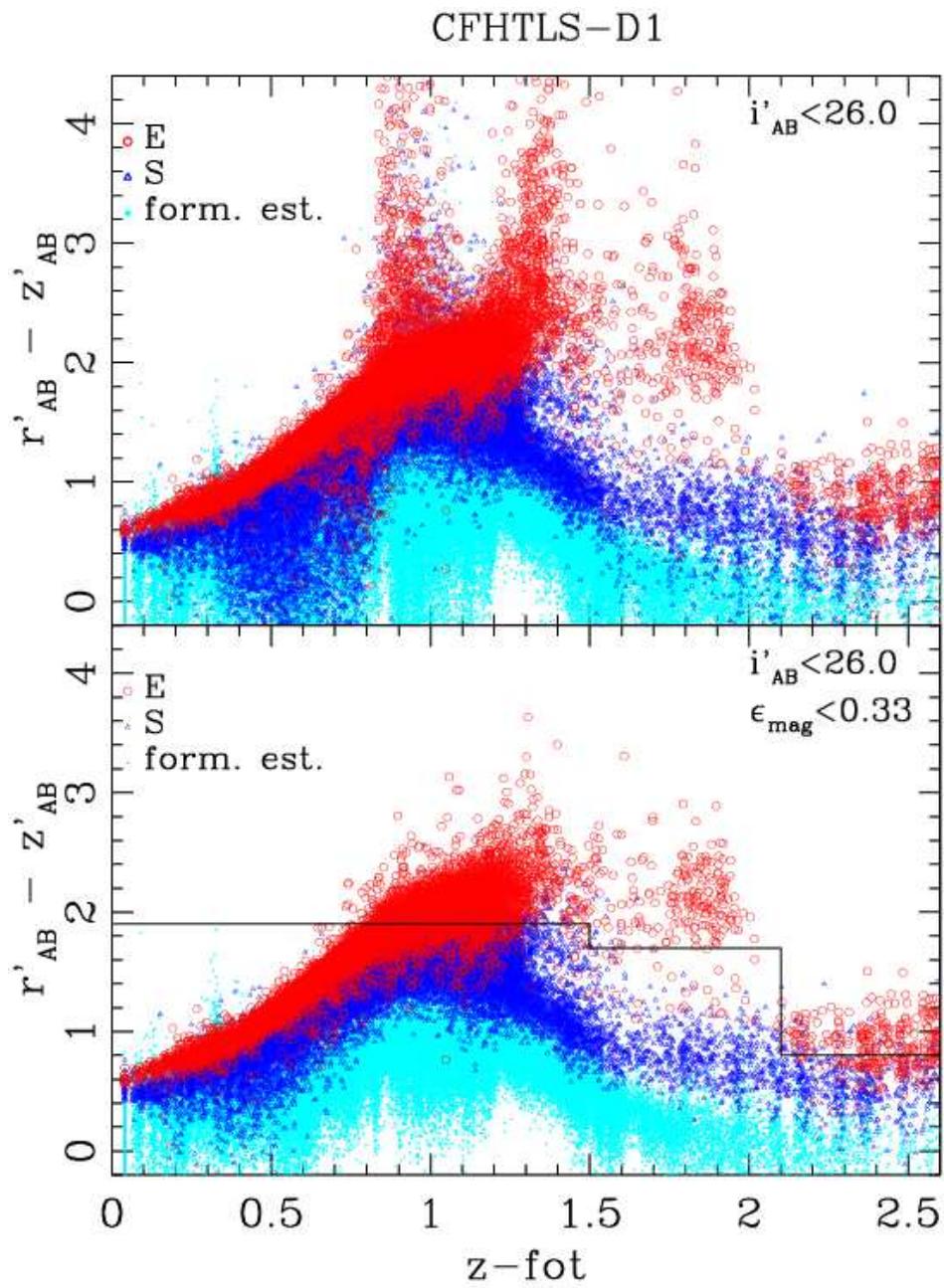


Figura 3.44: Cor r-z - redshift.

Mostramos a seguir algumas análises relativas à possibilidade de ser um efeito de determinação de z_{fot} .

Em primeiro lugar deve-se notar que o efeito só acontece com a classe de Elípticas e não com as demais morfologias que em princípio tendem a apresentar os maiores erros na determinação de z_{fot} . Em segundo lugar, se a fotometria é confiável e houvesse um erro sistemático na determinação de z_{fot} , as Elípticas que povoam o intervalo $1.5 < z_{fot} < 2.0$ deveriam ter sido removidas (por esse erro) do intervalo $0.9 < z - fot < 1.2$, já que é o único que apresenta as mesmas cores. Se este é o caso, para uma amostra limitada numa magnitude aparente i' , ao serem obtidas magnitudes absolutas Mi' determinadas com z_{fot} s incorretamente levados para valores maiores, a distribuição de Mi' deve estar deslocada artificialmente para valores mais brilhantes. Este teste pode ser feito comparando-se os dados do CFHTLS-D1 limitados em $i'_{AB} < 24$ com a amostra VVDS, que tem esse mesmo limite de magnitude, e que não sofre este efeito por ter *redshifts* determinados espectroscopicamente.

Determinamos magnitudes absolutas para as galáxias da amostra CFHTLS-D1 através da expressão:

$$Mi'_{AB} = i'_{AB} - 5\log(d(1 + z_{fot})) - 2.5\log(1 + z_{fot}) - 25 \quad (3.6)$$

onde d é distância co-móvel determinada com a cosmologia $\Omega_m = 0.3$, $\Omega_{Lambda} = 0.7$ e $H_0 = 100\text{km/s/Mpc}^3$ (estes parâmetros serão utilizados ao longo de todo este trabalho) e $-2.5\log(1+z_{fot})$ é a correção K. A partir destes dados, as figuras 3.45 e 3.46 mostram histogramas da distribuição de galáxias em diferentes intervalos de *redshift* e das magnitudes absolutas Mi'_{AB} nesses intervalos, respectivamente para as amostras CFHTLS-D1 e VVDS. Nos painéis inferiores destas figuras são indicadas as magnitudes absolutas médias em cada intervalo de *redshift*. É bastante claro o grande acordo entre esses dados, especialmente as médias de magnitudes absolutas, indicando a inexistência de uma família de objetos com z_{fot} sistematicamente errados em $1.5 < z_{fot} < 2.0$. Todos esses resultados apontam na direção do maior avermelhamento de Elípticas nesse intervalo de *redshifts* ser um efeito real.

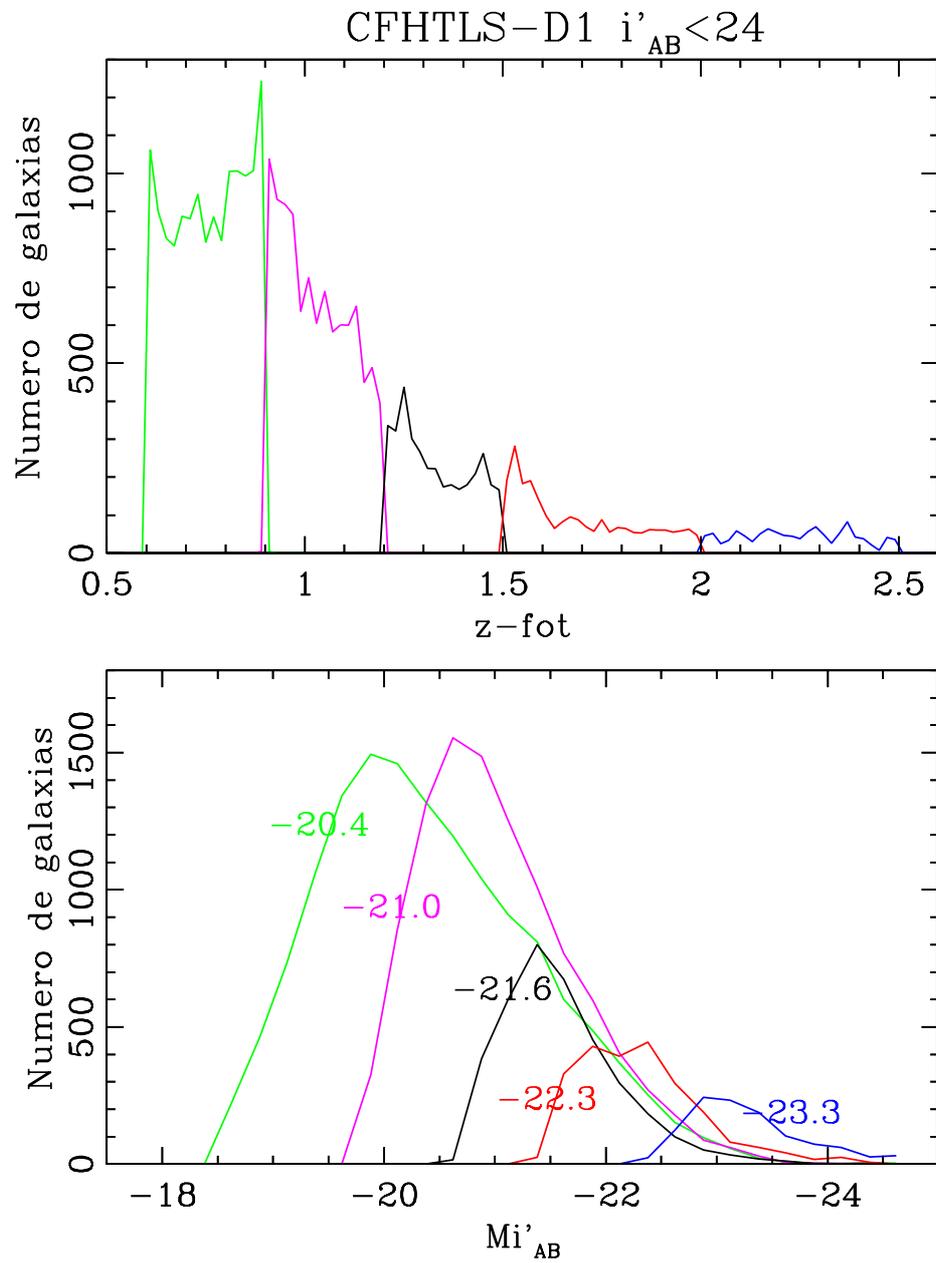


Figura 3.45: Histogramas de magnitude absoluta M_i para a amostra CFHTLS-D1 (números juntos às curvas são as magnitudes absolutas médias em cada intervalo de z , representados pelas diferentes cores).

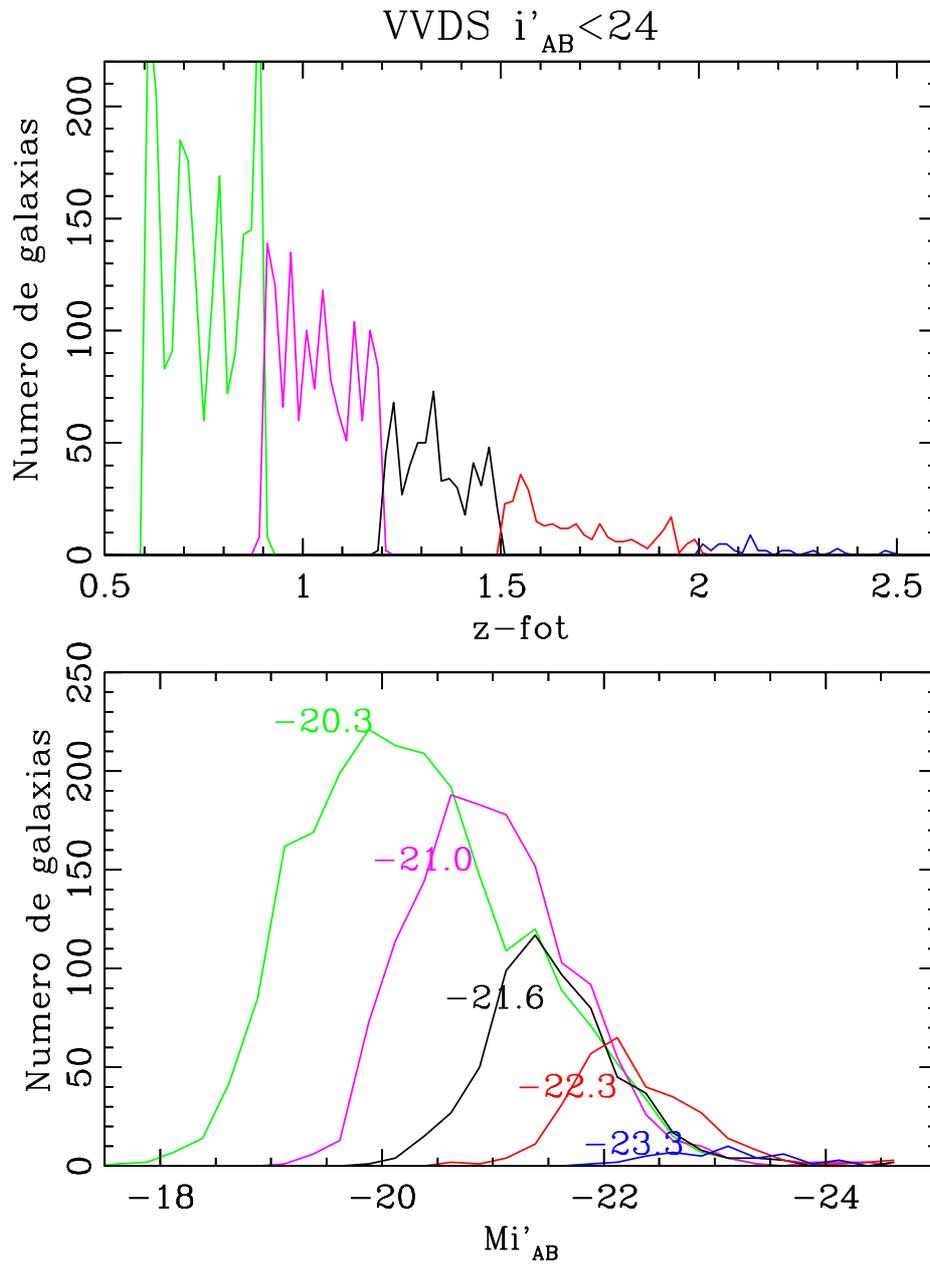


Figura 3.46: Histogramas de magnitude absoluta para a amostra espectroscópica VVDS (números juntos às curvas são as magnitudes absolutas médias em cada intervalo de z , representados pelas diferentes cores).

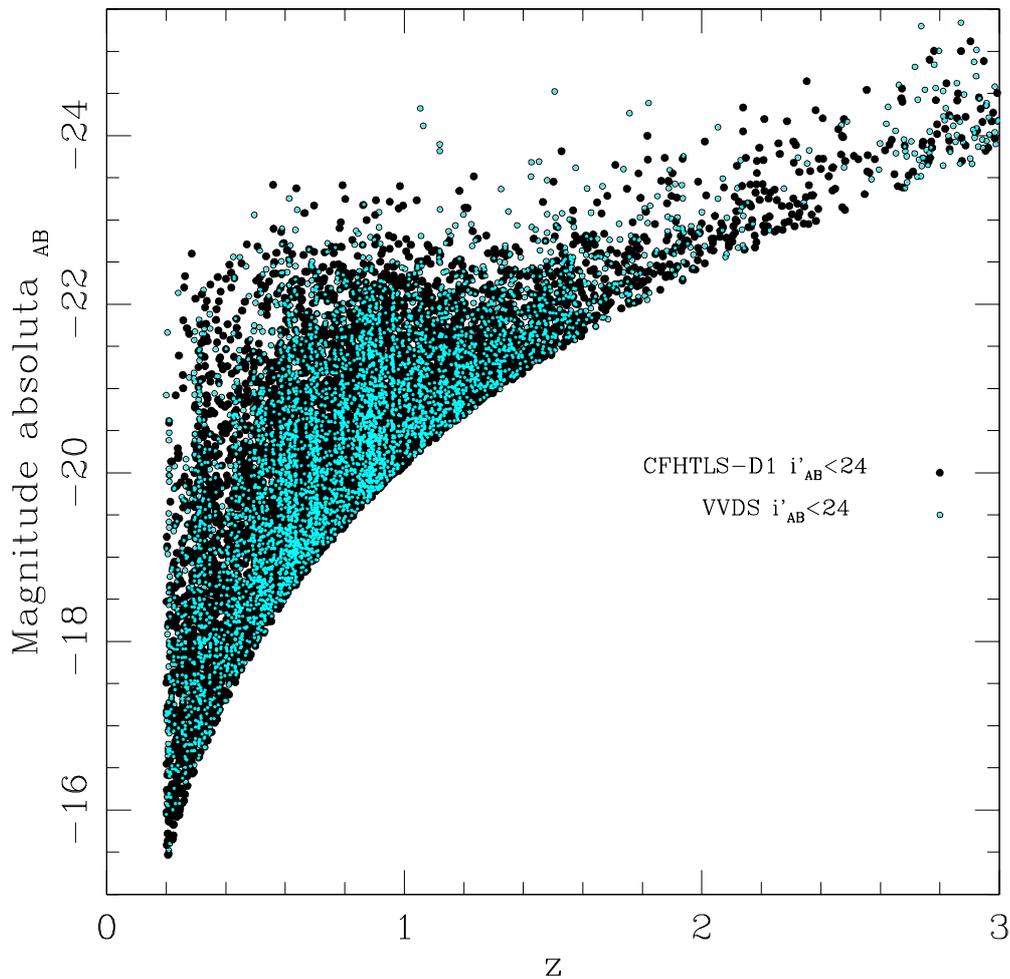


Figura 3.47: Magnitudes absolutas calculadas com *redshifts* fotométricos para a amostra CFHTLS-D1 e calculada com *redshifts* espectroscópicos do VVDS.

Finalmente é apresentada na figura 3.47 uma comparação global entre as magnitudes absolutas $M_{i'_{AB}}$ obtidas com os *redshifts* fotométricos para a amostra CFHTLS-D1 e com os *redshifts* espectroscópicos da amostra VVDS. Somente objetos em comum são apresentados e ambas as amostras foram limitadas na magnitude aparente $i'_{AB} \approx I_{AB} = 24.0$ que é o limite da amostra VVDS. O bom acordo das magnitudes mostra a adequação do uso dos *redshifts* fotométricos para a análise deste trabalho.

3.3.1 Outros Resultados

Embora na análise do dados da área CFHTLS-D1 nos Capítulos seguintes utilizaremos os *redshifts* fotométricos obtidos com o código Le Phare conforme publicado em Ilbert et al. (2006), para completeza dos testes aqui discutidos comparamos e avaliamos os resultados da aplicação dos códigos Hyperz e ANNz nos mesmos dados do campo D1.

As galáxias foram selecionadas a partir de critérios semelhantes aos usados anteriormente, apenas aqui não realizamos cortes quanto à qualidade dos dados espectroscópicos, sendo também requerido que todos os objetos tivessem sido detectados em todas as 11 bandas, do óptico ao infravermelho. Isto foi feito para obter o melhor resultado possível dos códigos, além de ser uma imposição do ANNz que só estima *redshifts* para objetos com detecções em todas as bandas que se pretende usar no cálculo. A amostra soma um total de 7007 galáxias, dentre as quais 814 possuem z_{spec} disponível do levantamento VVDS. Estas últimas estão distribuídas numa área menor, contida na área CFHTLS-D1. As comparações entre os resultados encontrados para essa sub-amostra com os dados espectroscópicos e a distribuição de *redshifts* fotométricos da amostra total obtidos com o ANNz são apresentados nas figuras 3.48 a 3.50, enquanto os obtidos com o Hyperz podem ser vistos nas figuras 3.51 a 3.53, seguidos pelos obtidos com o Le Phare nas figuras 3.54 a 3.56. O ANNz rodou a partir de uma amostra de treinamento composta pelas 814 galáxias com z_{spec} e uma amostra de validação definida pela seleção aleatória de 40% destas, enquanto o Hyperz foi usado de modo similar ao utilizado para os dados do DPS.

As estatísticas relacionadas aos resultados mostrados nessas figuras, para a sub-amostra de galáxias com z_{spec} , são apresentadas na tabela 3.8, onde encontramos valores próximos daqueles relativos aos dados espectroscópicos que são: média de 0.939 e mediana de 0.794. Na tabela 3.9 são apresentadas as mesmas estatísticas para a amostra completa, onde encontramos médias e medianas de z_{phot} com valores maiores que os da sub-amostra com z_{spec} , pois trata-se de uma amostra mais profunda.

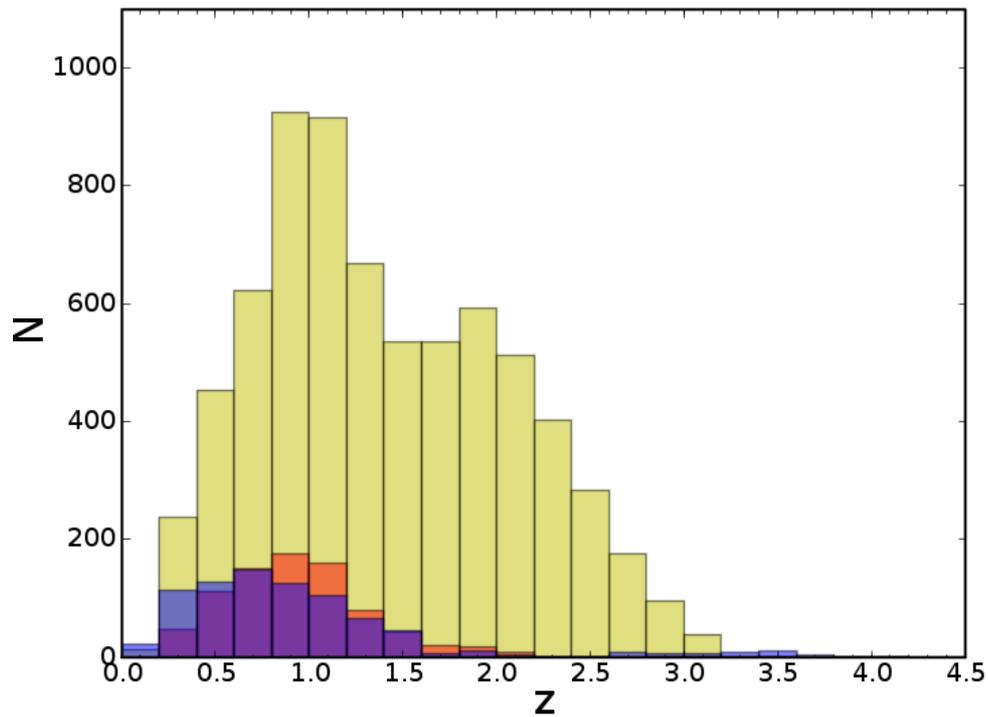


Figura 3.48: Histogramas de *redshifts* obtidos pelo ANNz para uma sub-amostra do campo CFHTLS-D1 (em vermelho) comparados a dados espectroscópicos do VVDS (em azul) dos mesmos objetos. A distribuição da amostra completa do CFHTLS-D1 é representada em amarelo.

Tabela 3.8: Estatísticas obtidas com ANNz, Hyperz e Le Phare aplicados às 814 galáxias com z_{espec} selecionadas do campo CFHTLS-D1.

Código	$z_{média}$	$z_{mediana}$	$\epsilon z_{média}$	$\epsilon z_{mediana}$	η (%)	σ
ANNz	0.94	0.93	0.10	0.06	31.70	0.11
Hyperz	0.80	0.75	0.02	0.02	25.06	0.09
Le Phare	0.81	0.73	0.06	0.04	24.94	0.07

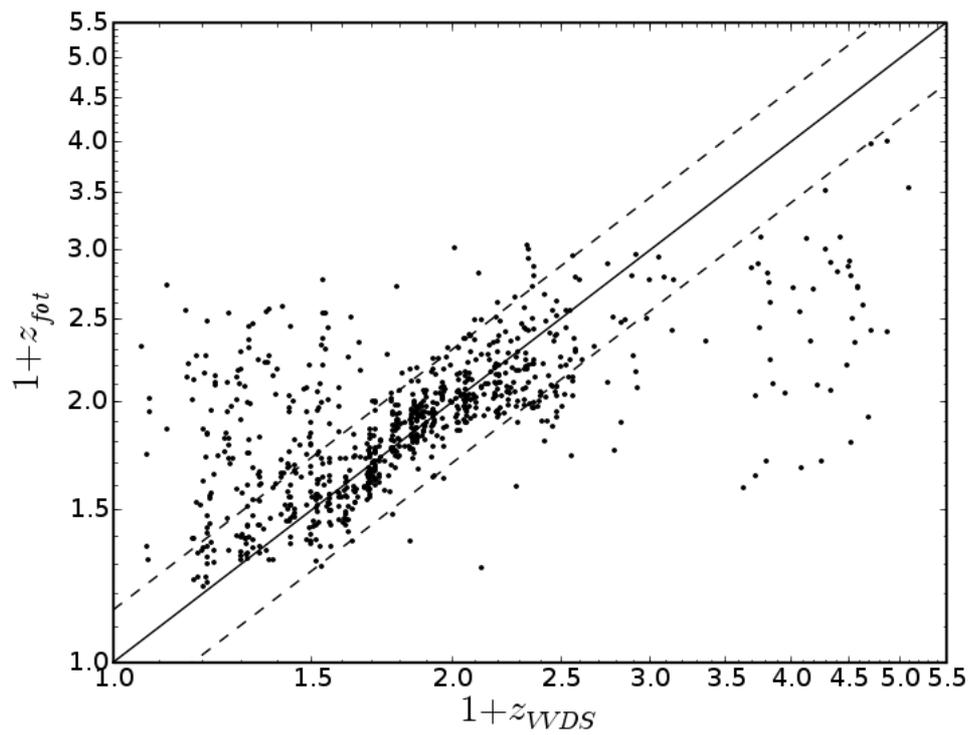


Figura 3.49: Comparação de *redshifts* obtidos pelo ANNz para uma sub-amostra do campo CFHTLS-D1 com *redshifts* espectroscópicos do VVDS.

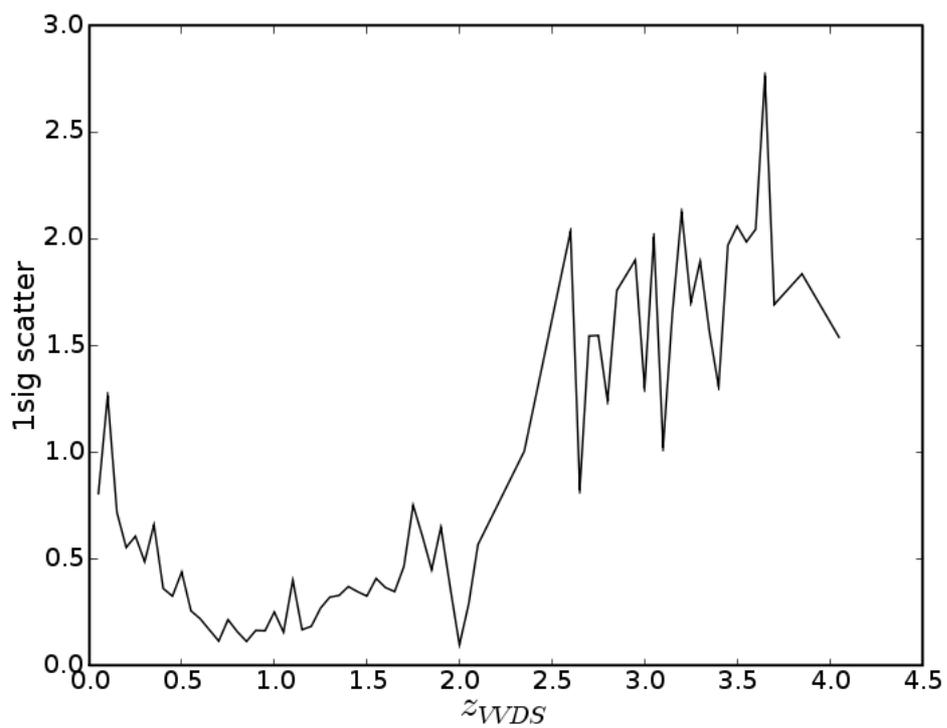


Figura 3.50: Espalhamento entre z_{fot} (obtido pelo ANNz) e z_{espec} (VVDS) em função de z_{espec} para uma sub-amostra do campo CFHTLS-D1.

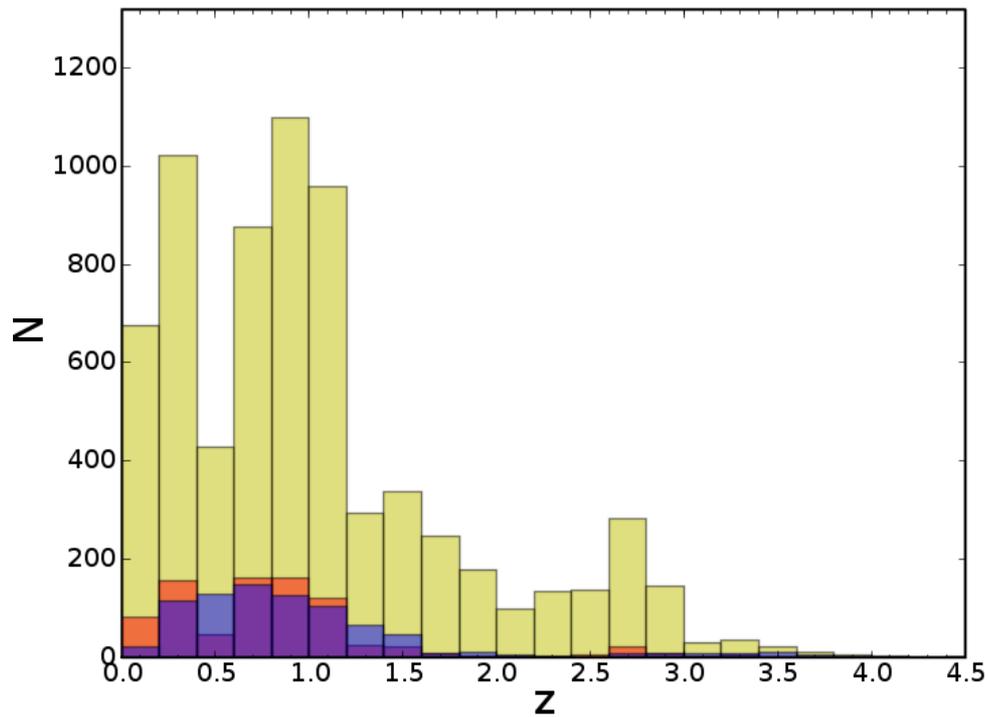


Figura 3.51: Histogramas de *redshifts* obtidos pelo Hyperz para uma sub-amostra do campo CFHTLS-D1 (em vermelho) comparados a dados espectroscópicos do VVDS (em azul) dos mesmos objetos. A distribuição da amostra completa do CFHTLS-D1 é representada em amarelo.

Tabela 3.9: Estatísticas obtidas com ANNz, Hyperz e Le Phare aplicados a todas as 7007 galáxias selecionadas do campo CFHTLS-D1.

Código	$z_{m\acute{e}dia}$	$z_{mediana}$	$\epsilon z_{m\acute{e}dia}$	$\epsilon z_{mediana}$
ANNz	1.41	1.30	0.28	0.17
Hyperz	1.04	0.91	0.08	0.04
Le Phare	1.06	0.83	0.19	0.08

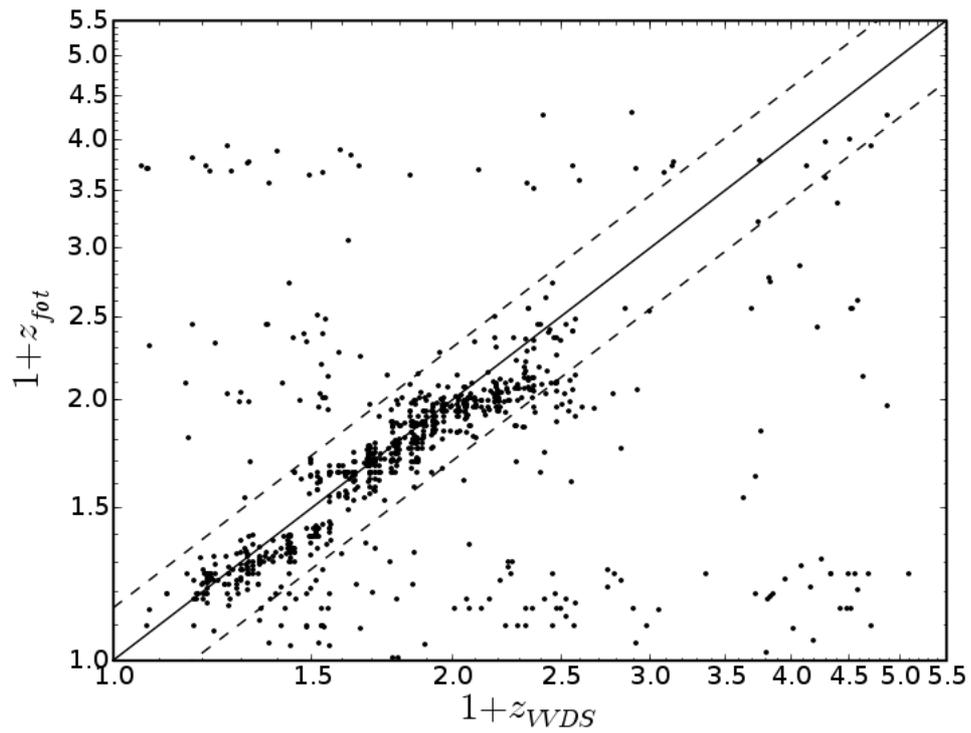


Figura 3.52: Comparação de *redshifts* obtidos pelo Hyperz para uma sub-amostra do campo CFHTLS-D1 com *redshifts* espectroscópicos do VVDS.

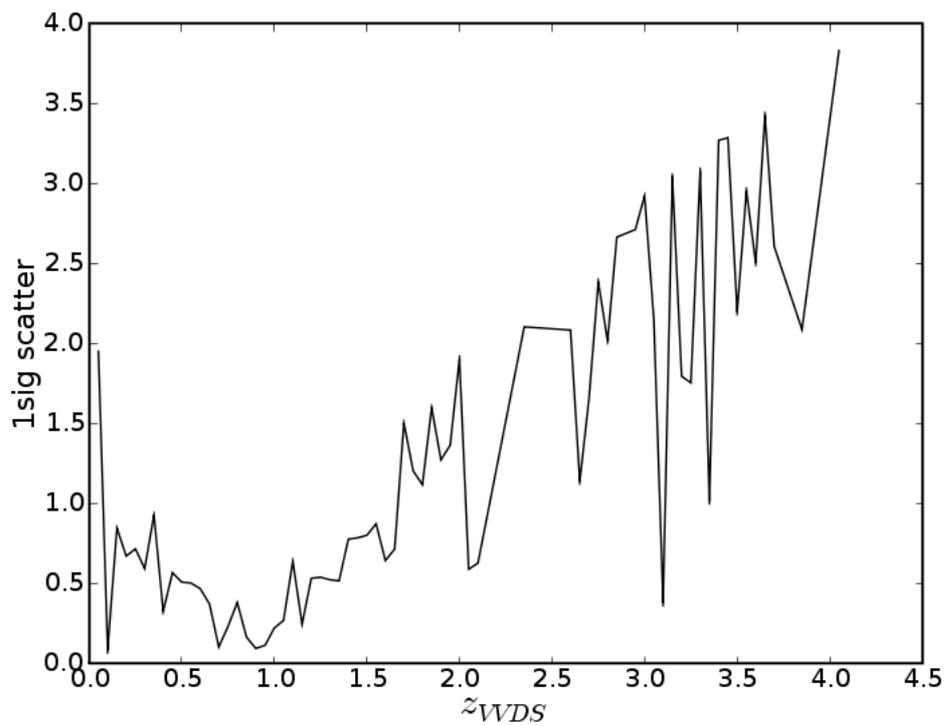


Figura 3.53: Espalhamento entre z_{fot} (obtido pelo Hyperz) e z_{espec} (VVDS) em função de z_{espec} para uma sub-amostra do campo CFHTLS-D1.

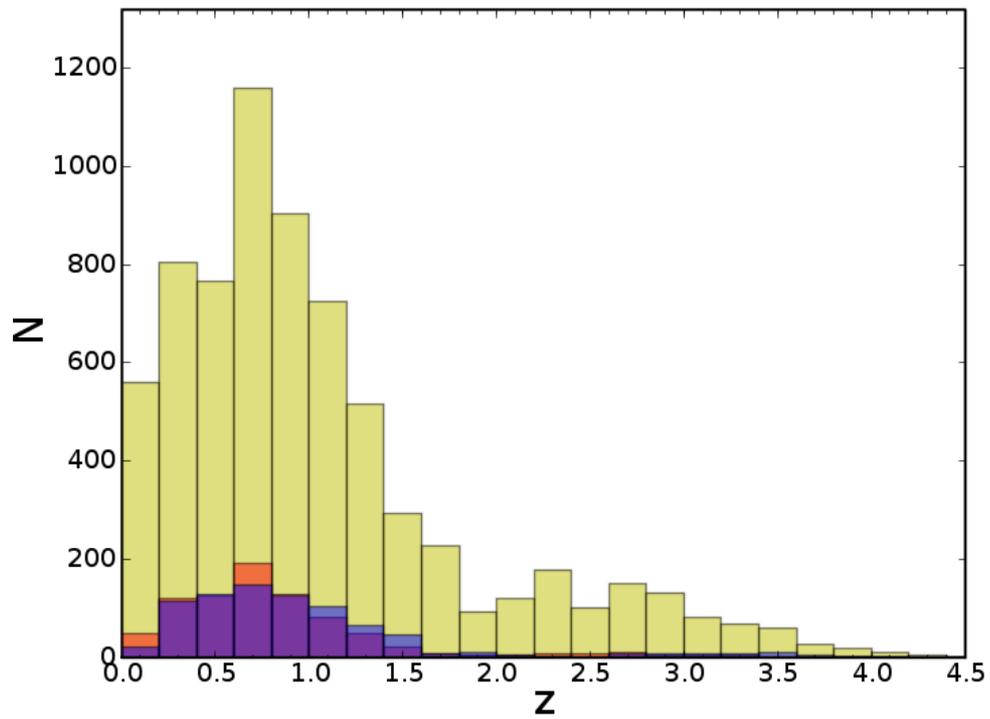


Figura 3.54: Histogramas de *redshifts* obtidos pelo Le Phare para uma sub-amostra do campo CFHTLS-D1 (em vermelho) comparados a dados espectroscópicos do VVDS (em azul) dos mesmos objetos. A distribuição da amostra completa do CFHTLS-D1 é representada em amarelo.

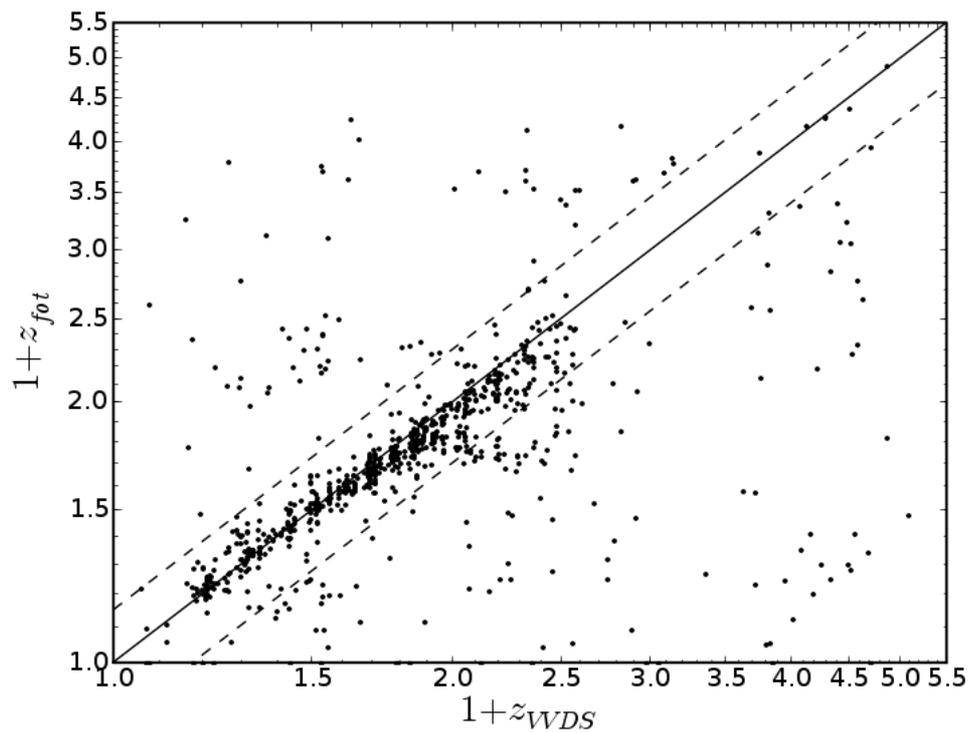


Figura 3.55: Comparação de *redshifts* obtidos pelo Le Phare para uma sub-amostra do campo CFHTLS-D1 com *redshifts* espectroscópicos do VVDS.

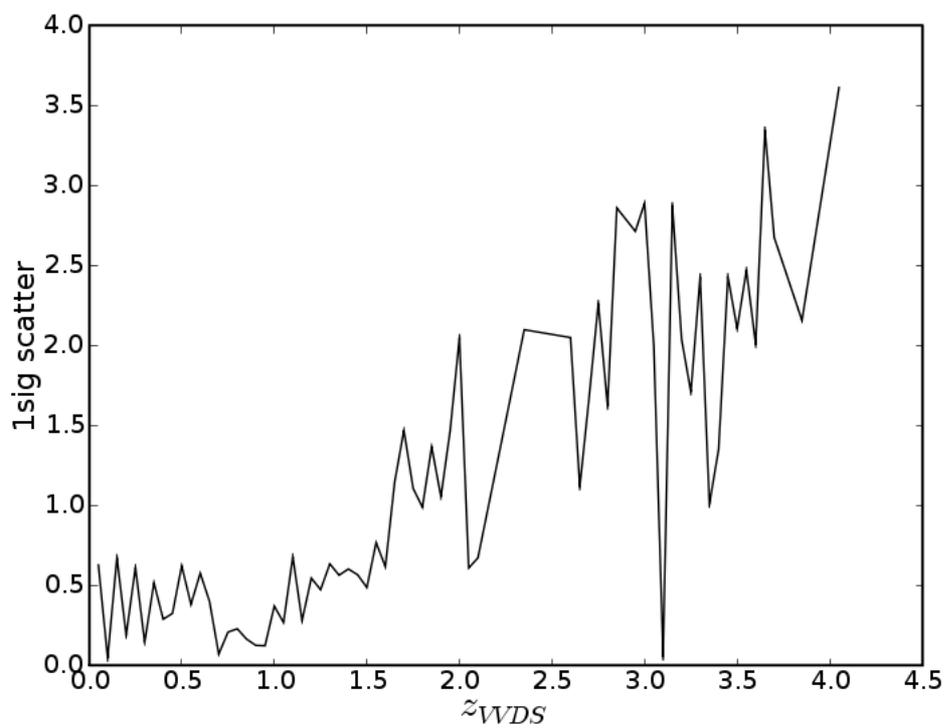


Figura 3.56: Espalhamento entre z_{phot} (obtido pelo Le Phare) e z_{spec} (VVDS) em função de z_{spec} para uma sub-amostra do campo CFHTLS-D1.

Cada código obteve distribuições de *redshifts* fotométricos particulares, com menores ou maiores diferenças comparadas com as dos espectroscópicos, o que também é evidente por suas médias e medianas. No entanto, é interessante notar que as distribuições da amostra completa seguem aproximadamente as da sub-amostra, porém apresentando um número muito maior de objetos por intervalo de *redshift*, já que são relativos a uma área maior. O resultado do Le Phare é um dos melhores, apresentando o menor número de erros catastróficos, uma distribuição de menor espalhamento na comparação entre z_{spec} e z_{fot} , especialmente até $z \approx 1.5$. Em *redshifts* intermediários e altos, o espalhamento encontrado pelo código ANNz é menor que para os demais códigos, entretanto o ANNz mostra uma tendência a designar um número excessivo de objetos para a faixa de *redshift* entre 0.6 e 1.6, o que é visível as figuras 3.48 e 3.49. Estes resultados corroboram a adequação de se utilizar o código Le Phare para a determinação de *redshifts* fotométricos para os dados do CFHTLS. Notamos que este resultado parece contraditório com os testes realizados com o Le Phare sobre os dados do DPS. Entretanto, é possível que o fato de que a amostra CFHTLS tenha disponível um maior número de bandas fotométricas, assim com um maior cobertura em comprimentos de onda, tenha propiciado ao código Le Phare um melhor desempenho com estes dados.

3.4 Resumo do Capítulo

Três códigos de cálculo de *redshift* (ANNz, Hyperz e Le Phare) foram aplicados às amostras de galáxias detectadas em pelo menos 3 bandas do DPS e do CFHTLS que tinham *redshifts* espectroscópicos (no DPS somente o campo Deep2c satisfizes essa última condição, com dados do VVDS). A partir da comparação com suas contrapartidas fotométricas, procurou-se definir qual código seria usado nas amostras selecionadas.

No caso do DPS, o que obteve melhor comparação foi o código Hyperz, apesar de ser interessante destacar que o Le Phare foi usado no seu modo básico de ajuste de *templates*, sem amostra de treinamento. Já para o CFHTLS, os resultados do código Le Phare vieram do seu uso no modo híbrido (do catálogo original, com amostra de treinamento), e obtiveram a melhor comparação com *redshifts* espectroscópicos. Assim foram utilizados no trabalho subsequente o Hyperz para todos os campos do DPS e o Le Phare para o CFHTLS.

Além disso, foi avaliado se parâmetros fornecidos pelos códigos, relacionados à confiança nos ajustes (erro do *redshift* fotométrico, e a melhor χ^2 do ajuste das *templates*) serviriam como indicadores dos objetos com maior diferença entre *redshifts* fotométricos e espectroscópicos. Nenhum desses parâmetros mostrou correlação com estimadores de erros, de modo que não foi realizado qualquer tipo de seleção nos erros estimados.

Resultados de testes corroboram fatores conhecidos que influenciam na incerteza dos *redshifts* fotométricos:

- o tipo espectral de Elíptica apresentando menores diferenças com os *redshifts* espectroscópicos;
- o uso do Le Phare com uma amostra de treinamento fornece resultados mais confiáveis.

Nenhuma indicação de viés na determinação dos *redshifts* fotométricos foi encontrada com o uso de amostras sem cortes nas estimativas de erros.

Capítulo 4

Seleção de Objetos por Cor

4.1 Famílias em Altos *Redshifts*

Nos últimos anos tem havido um aumento no número de levantamentos de dados no infravermelho próximo, possibilitando o estudo de objetos mais distantes de modo estatisticamente significativo. Com a diversidade de filtros disponíveis, é possível se encontrar na literatura diferentes critérios de cor selecionando um mesmo tipo de objeto. Esse é o caso das galáxias que se acredita serem progenitoras das Elípticas do Universo local. Algumas dessas famílias são apresentadas nesse capítulo, junto com alguns dos resultados encontrados para elas obtidos com os dados do DPS e do CFHTLS.

4.1.1 EROs

Conforme mencionado na introdução, a classificação de um objeto como *Extremely Red Object* (Elston et al., 1988) depende essencialmente de sua cor. Esta por sua vez é fortemente dependente da localização em sua SED da queda acentuada a 4000\AA (em $z=0$) característica dos espectros de galáxias elípticas. No lado mais azul da quebra, o fluxo é muito menor do que no lado mais vermelho, conforme se pode notar na figura 4.1 (onde SEDs de diferentes tipos morfológicos em $z=0$ estão

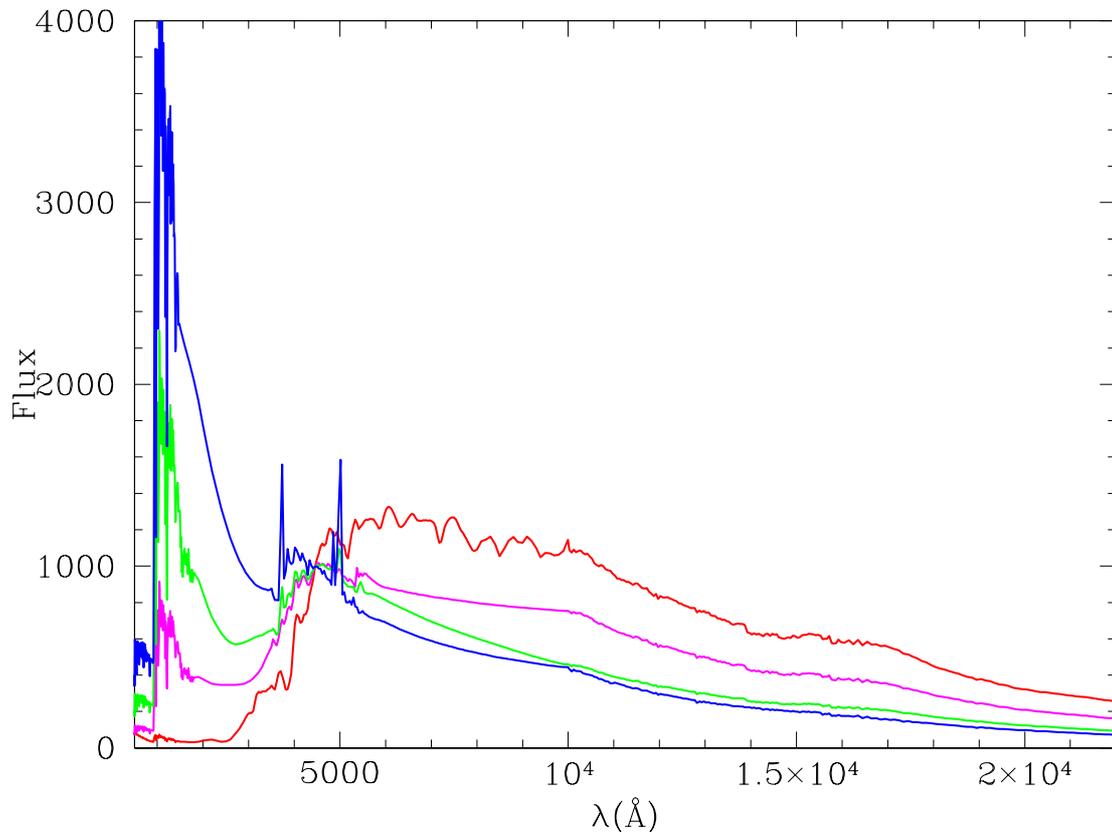


Figura 4.1: SEDs de galáxias E (em vermelho), Sbc (em magenta), Scd (em verde) e Im (em azul) de Coleman, Wu & Weedman (1980) fornecidas com o código Hyperz (*templates* originais extrapoladas no ultravioleta e no infravermelho próximo).

superpostas). Devido ao deslocamento para o vermelho das SEDs observadas, esta quebra se situa entre as bandas do óptico e do infravermelho. Por exemplo, em $z = 1$, a quebra está localizada em 8000Å , que é o limite das bandas ópticas. Isso mostra a necessidade de observações nessas duas regiões do espectro eletromagnético para encontrar essa classe de galáxias.

Como o próprio nome indica, os EROs são objetos muito vermelhos e seu principal critério de seleção deve buscar tal característica, levando em conta os *redshifts* de sua distribuição espectral. A escolha do critério de seleção foi feita baseada no conhecimento atual dos modelos de evolução de SEDs de galáxias, que estimam magnitudes e cores em função do *redshift*. Através do uso de modelos de Bruzual e Charlot (2003) para diferentes tipos de galáxias é possível justificar o melhor corte

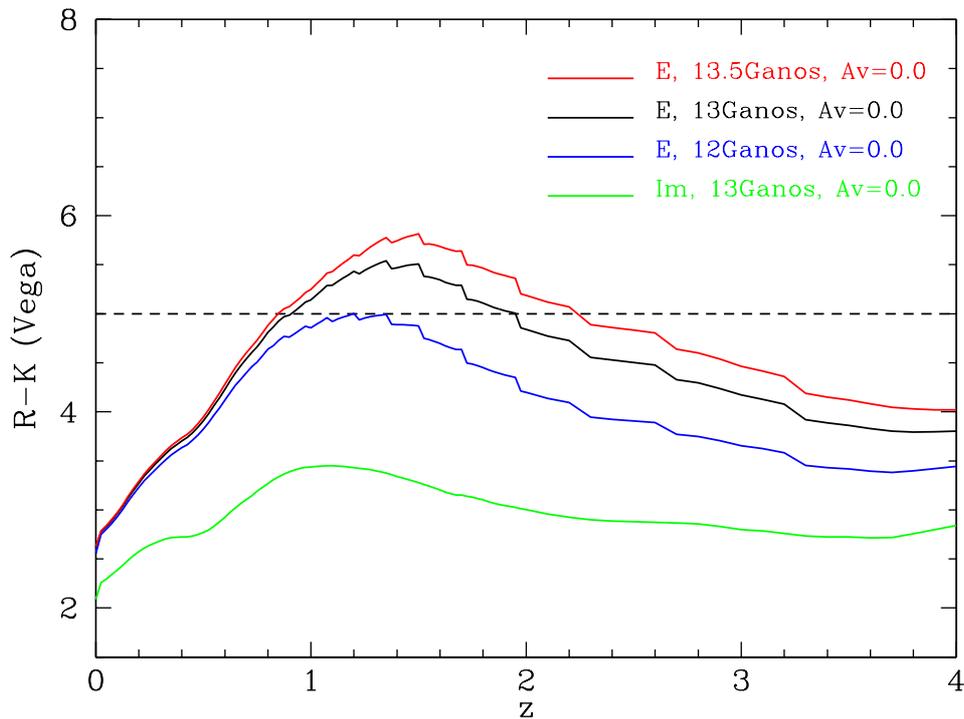


Figura 4.2: Modelos de evolução da cor (R-K) com *redshift* de SEDs de Elíptica, E (com uma queda exponencial da taxa de formação estelar numa escala de tempo de 1Giga-ano) e de Irregulares, Im (com taxa de formação estelar constante) com diferentes idades e sem poeira (extinção nula). A reta tracejada demarca o limite de seleção de EROs.

na cor (R-K) definindo a amostra de EROs. Assim, mostramos na figura 4.2, como exemplo, a evolução da cor (R-K) em função do *redshift* para uma Elíptica com idade alta e sem poeira. É possível constatar que o corte em $(R-K) \geq 5$ (representado pela reta tracejada) seleciona esse tipo de objeto entre os *redshifts* 0.9 e 1.8, aproximadamente, correspondendo ao que se espera dos EROs. Este é o valor usualmente escolhido em outros trabalhos encontrados na literatura.

Com o critério acima estabelecido temos confiança de estar selecionando objetos com as características esperadas para populações estelares velhas em torno de *redshift* ≈ 1 . No entanto, galáxias contendo muita poeira também são avermelhadas, mesmo que tenham SEDs intrinsecamente mais azuis, e isso faz com que esse outro tipo de objeto também passe pelo critério de seleção adotado, contaminando qual-

quer amostra. Tipicamente, essas são galáxias que apresentam intensa atividade de formação estelar, conhecidas como galáxias *starbursts*. Dessa forma, essa segunda família precisa ser identificada e eliminada da amostra de análise, assim como uma possível contaminação por estrelas muito vermelhas da nossa Galáxia. Dados espectroscópicos ajudariam a discriminar entre essas famílias, mas eles são escassos e de difícil obtenção, como por exemplo é mostrado por Cimatti et al. (2002), que utilizaram o *Very Large Telescope* (VLT) para obter espectros de EROs com $Ks \leq 20$. Na verdade, esses autores restringiram a análise em $Ks \leq 19.2$, pois nesse limite a relação entre completeza e estatística era melhor. Completeza aqui se refere ao percentual de espectros realmente identificados como um dos dois tipos de EROs, sendo maior para $Ks \leq 19.2$, que de 45 objetos com espectros, teve 30 classificados como EROs (67%), contra apenas 35 assim classificados entre 78 (44%), no caso de $Ks \leq 20$.

Esse resultado mostra que um critério de seleção de EROs baseado numa única cor produz uma mistura de objetos de naturezas distintas e depende do limite de magnitude utilizado. Entretanto, uma possível discriminação desses objetos pode ainda ser feita fotometricamente através, por exemplo, da escolha sugerida por Pozzetti e Mannucci (2000), representada pela relação abaixo:

$$(J - K)_{Vega} = 0.34(R - K)_{Vega} + 0.19 \quad (4.1)$$

que é válida para $(R - K)_{Vega} \geq 5.3$. Os objetos com (J - K) menor que a expressão 4.1 podem ser identificados como objetos compostos por população estelar velha e os com (J - K) maior são os com formação estelar obscurecidos por poeira.

Deve-se notar que um certo grau de contaminação pode estar presente em ambas as classificações, ou seja, deve-se encontrar objetos velhos do lado referente ao dos objetos com formação estelar e vice-versa. Cimatti et al. (2003), por exemplo, encontraram esse tipo de problema na discriminação para cerca de 20 a 30% da amostra que analisaram.

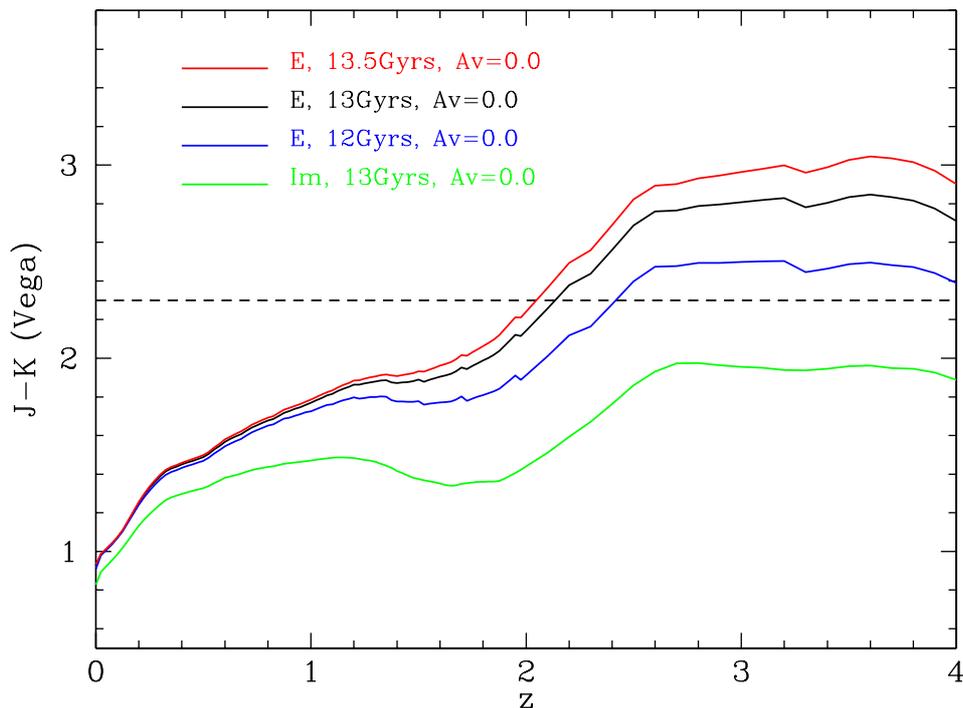


Figura 4.3: Modelos de evolução da cor ($J-K$) com *redshift* de SEDs de Elípticas, E (com uma queda exponencial da taxa de formação estelar numa escala de tempo de 1Giga-ano) e de Irregulares, Im (com taxa de formação estelar constante) com diferentes idades e sem poeira (extinção nula). A reta tracejada demarca o limite de seleção de DRGs.

4.1.2 DRGs

As *Distant Red Galaxies* (DRGs), como os EROs, são selecionadas a partir de uma amostra de galáxias por um critério de cor que busca objetos com a quebra a 4000\AA para $z \geq 2$ (como são objetos mais distantes, a quebra está deslocada ainda mais para o vermelho). Fazendo uso dos mesmos modelos usados para os EROs, agora no cálculo da cor ($J-K$), confirmamos que o critério $(J-K)_{Vega} \geq 2.3$ definido por Franx et al. (2003) deve selecionar objetos com $z \geq 2$ (figura 4.3).

Desse modo, selecionamos as DRGs dentre a amostra de galáxias do DPS e do CFHTLS como as que apresentaram $(J-K)_{AB} \geq 1.3$ (equivalente ao critério $(J-K)_{Vega} \geq 2.3$). No caso do DPS, devido a sua menor profundidade de amostragem,

o número de objetos é muito pequeno, e não realizamos uma análise dessa família.

4.1.3 BzKs

O método fotométrico proposto por Daddi et al. (2004) visa selecionar galáxias na faixa entre $1.4 < z < 2.5$. De modo semelhante a essas outras classificações, entre as BzKs se encontram tanto galáxias com formação estelar quanto aquelas que já evoluem passivamente. Entretanto, na própria definição deste critério de seleção, estas duas categorias já se encontram separadas. De fato, definindo o parâmetro:

$$BzK = (z - K)_{AB} - (B - z)_{AB} \quad (4.2)$$

cada classe de galáxias é selecionada por um dos critérios a seguir:

$$BzK \geq -0.2 \quad (4.3)$$

seleciona as com formação estelar, enquanto:

$$BzK < -0.2 \text{ e } (z - K)_{AB} > 2.5 \quad (4.4)$$

seleciona as com população estelar velha.

Este critério também faz uma interseção com EROs e DRGs: cerca de 35% dos EROs selecionados por Daddi et al. também satisfazem critério de BzKs de $z > 1.4$, percentuais similares tendo sido encontrados por Kong et al. (2006).

A figura 4.4, reproduzida de Lane et al. (2007), ilustra esses critérios, onde a reta inclinada representa $BzK = -0.2$, de modo que a região à sua esquerda é povoada por galáxias com formação estelar, enquanto as com população velha se encontram à sua direita, mas apenas para $(z - K) > 2.5$. As curvas representam os caminhos evolutivos de diferentes tipos de galáxias.

É interessante mencionar que uma das conclusões de Daddi et al. (2004) mais relevantes para este trabalho é a de que as BzKs luminosas com formação estelar podem ser progenitoras de EROs com população velha e de Elípticas do Universo

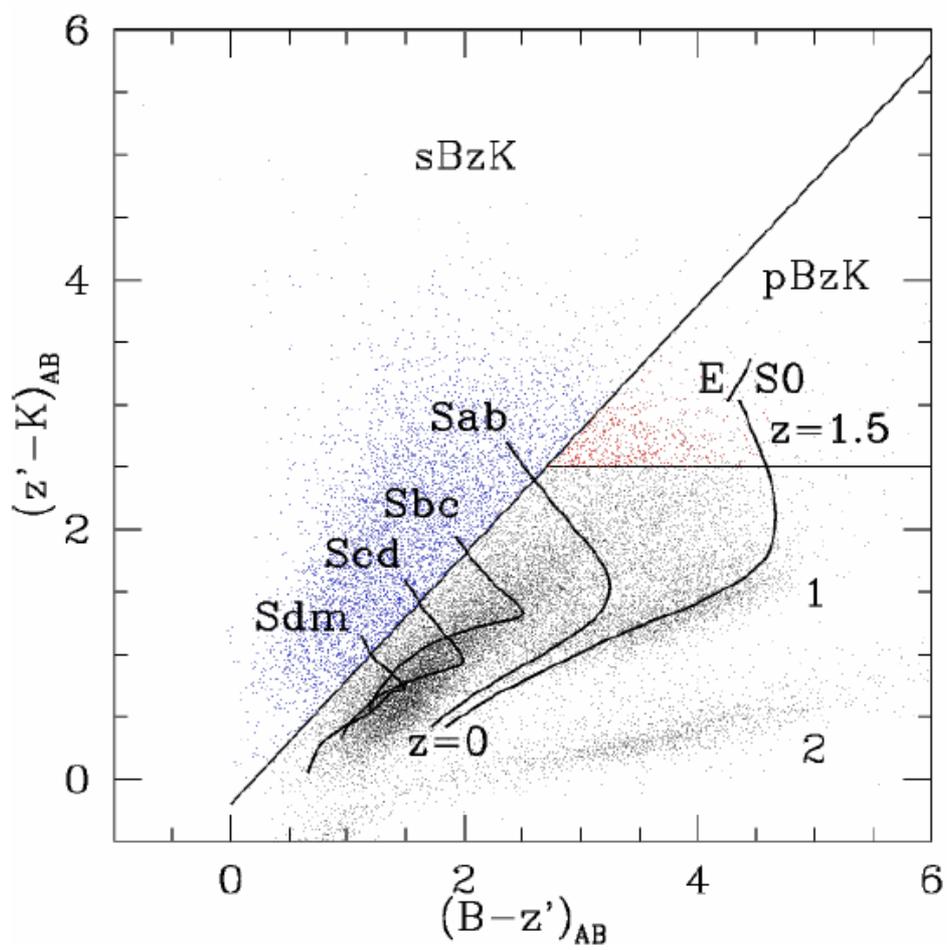


Figura 4.4: Diagrama cor-cor mostrando os limites que definem as BzKs, ativas em azul e passivas em vermelho. São mostradas trajetórias evolutivas de galáxias de diferentes morfologias, entre $z=0$ e 1.5. Figura reproduzida de Lane et al. (2007).

local, devido a várias propriedades encontradas desses objetos como suas altas massas, taxas de formação estelar e metalicidades, além de indicarem estar aglomeradas. Também chamam a atenção os fatos de que a comparação com resultados de modelos semi-analíticos mostra que esses subestimam a densidade de um ou ambos os tipos de BzKs na faixa esperada de *redshift* e que resultados mais promissores são apresentados por modelos hidrodinâmicos.

4.1.4 Novo Critério

Procuramos também explorar neste trabalho uma outra forma de selecionar galáxias com população estelar evoluída sem utilizar filtros do infravermelho próximo (como J e K). Uma das motivações foi tornar possível a busca por essa família de objetos nos demais campos observados pelo CFHTLS-Deep, para os quais só estão disponíveis os filtros $u^*g'r'i'z'$, além do ganho para o próprio campo D1, pois a área coberta pelos filtros J e K é significativamente menor do que a coberta nos filtros do óptico, o que diminui o número de objetos encontrados e aumenta o efeito de variância cósmica. Esse novo critério pode ser também interessante para o caso do levantamento DES, cujas observações serão realizadas nas bandas grizY. Observações nas bandas J e K talvez venham a ser realizadas na mesma região do DES, por outro levantamento chamado *VISTA Hemisphere Survey* (VHS).

Em função dos resultados encontrados a partir da figura 3.44 avaliamos, então, a utilização da cor $(r-z)$, similar a $(R-K)$, já que a banda z é a mais vermelha disponível no sistema natural do CFHTLS. Nesta figura pode-se verificar que, ao se sobrepor no mesmo gráfico $(r-z)$ em função de *redshift* os diferentes tipos espectrais ajustados pelo Le Phare, a localização das Elípticas está bem definida por $(r-z)_{AB} > 1.9$ na faixa de $z < 1.5$, $(r-z)_{AB} > 1.7$ na faixa de $1.5 < z < 2.1$ e $(r-z)_{AB} > 0.8$ na faixa de $2.1 < z < 2.5$. De fato, mostramos na figura 4.5 a evolução de $(r-z)$ em função de *redshift* para o modelo de Elípticas com idades altas e sem poeira, onde os mesmos limites de $(r-z)$ da figura 3.44 são representados pelas retas tracejadas. Pelo menos no intervalo $0.7 \leq z \leq 1.5$, um corte $r'-z' > 1.9$ é compatível com a seleção das Elípticas mais velhas. Amostras selecionadas desta forma serão analisadas e

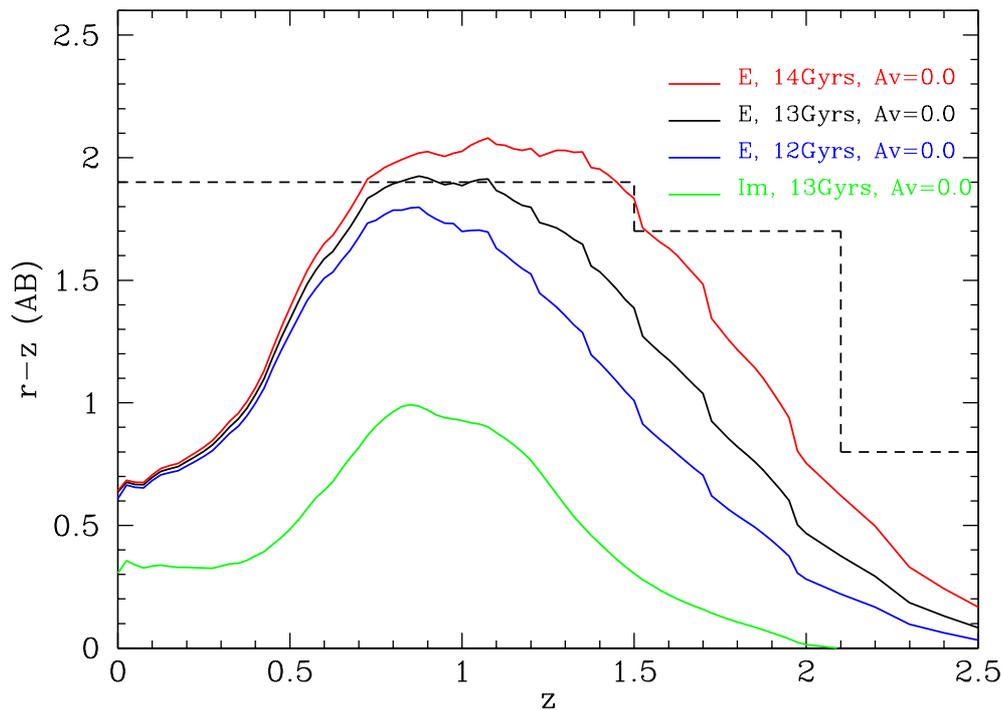


Figura 4.5: Modelos de evolução da cor ($r-z$) com *redshift* de SEDs de Elípticas e de Irregulares com diferentes idades e sem poeira (extinção nula). As retas tracejadas demarcam os limites de seleção.

comparadas às amostras de EROs e DRGs, nos Capítulos seguintes.

4.2 Aplicando ao DPS

4.2.1 Amostra

A seleção de EROS para a amostra DPS foi, então, feita utilizando-se o critério $(R-K)_{Vega} \geq 5$, como mostrado na figura 4.6. Na verdade, existem outros critérios de seleção de EROs usando, por exemplo, a cor (I-K), porém optamos pela cor (R-K), porque a fotometria na banda R é melhor que na banda I do DPS, além do fato dessa cor ser mais utilizada na literatura (Daddi et al., 2000; Daddi et al., 2002; Miyazaki et al., 2003; Kong et al., 2006; Elston et al., 2006), o que nos proporciona uma gama variada de trabalhos com os quais podemos comparar nossos resultados.

Note-se que, na figura 4.6, apenas estão presentes as regiões observadas nas bandas R e Ks, conforme a tabela 2.2.

A relação de Pozzetti e Mannucci é ilustrada pelo diagrama cor-cor na figura 4.7 referente aos EROs encontrados no DPS. Uma desvantagem da classificação através desta relação, para nossa análise, é o fato de depender de observações na banda J (além de R e K), o que nos campos do DPS foi feito em áreas menores. Portanto, isso implica em se descartar da análise alguns dos objetos que foram previamente selecionados apenas pelo critério $(R - K)_{Vega} \geq 5$, mas que poderiam ser aceitos pelo novo critério se tivessem observações na banda J.

Como mencionado anteriormente, pode haver uma contaminação das amostras de galáxias por estrelas, como por exemplo, por objetos com $(J - K)_{Vega} \approx 0.8$ (Elston et al., 2006), sendo necessária uma correção com o objetivo de remover estes casos. Entretanto, isto não constitui uma grande dificuldade. Na figura 4.7, as estrelas têm uma localização preferencial, como mostrado pelos pontos azuis oriundos de modelos obtidos com o código Trilegal, sendo possível remover da amostra de EROs os objetos que pertencem ao locus por elas definido (apesar de que menos de 1% das estrelas possuem cor $(R - K) > 5$). Com esse objetivo, também foi adotado o critério $(J - K)_{Vega} > 1.2$ (indicado na figura 4.7 pela reta tracejada azul) para definir a amostra de EROs com população estelar velha. Esse mesmo critério foi usado por Elston et al. (2006) para definir sua amostra de EROs, além de $(R - K)_{Vega} > 5.0$. Os números de objetos removidos por essa condição adicional ficaram entre 2 e 10% da amostra de EROs, e entre 3 e 17% da amostra de EROs de população velha, dependendo do campo.

Com a definição da amostra conforme descrito acima e considerando apenas as áreas efetivas de R e K, reunimos 1616 EROs em todos os campos do levantamento fotométrico DPS (selecionados apenas com o critério da cor R-K), dos quais 397 são classificados como objetos velhos pela relação de Pozzetti e Mannucci (ou seja, também passamos a considerar apenas objetos nas áreas efetivas do filtro J).

Deve-se ressaltar também que os cortes nas magnitudes de completeza da banda K não são suficientes para evitar efeitos de incompleteza na amostra de EROs.

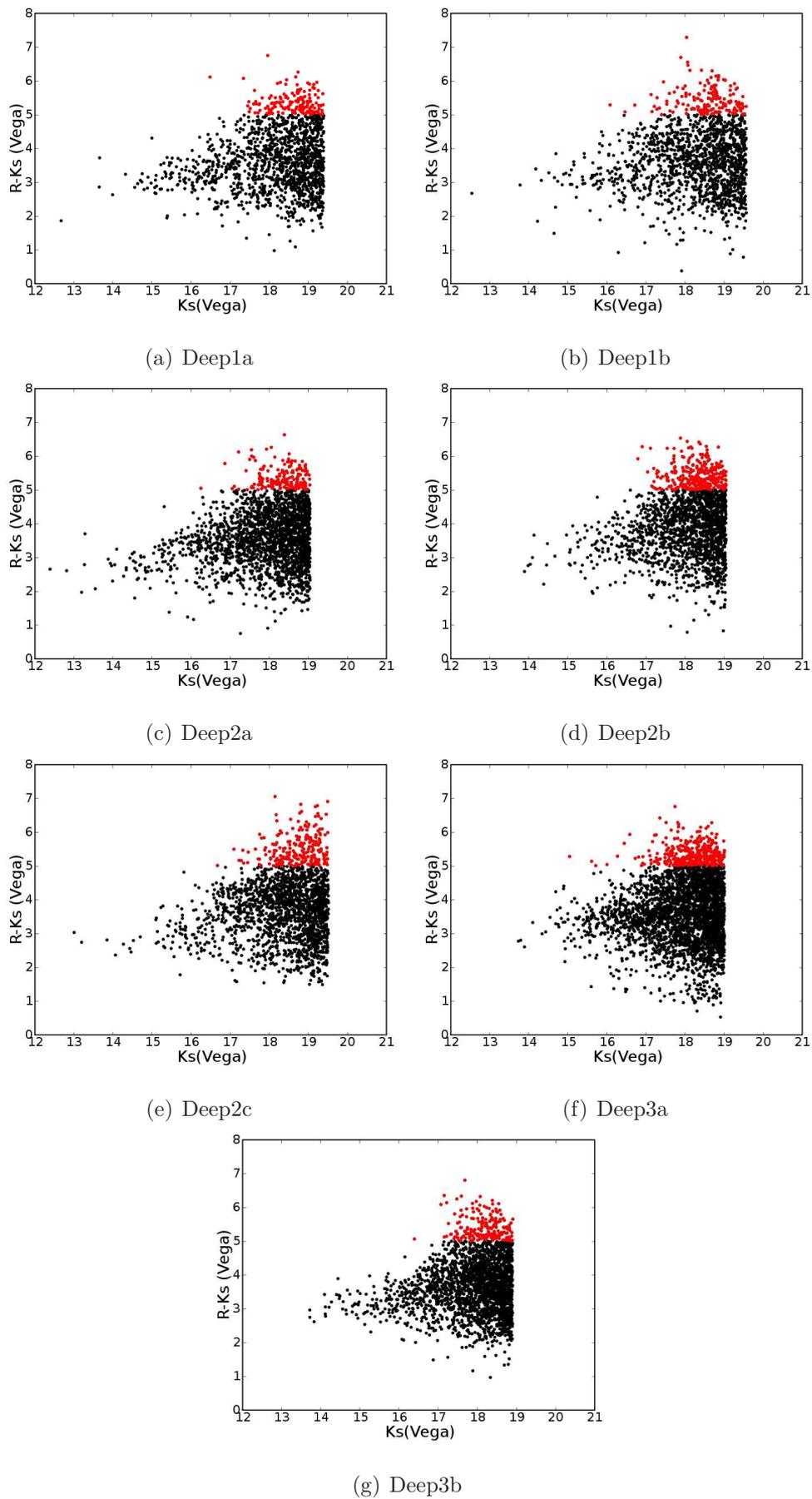


Figura 4.6: Diagramas cor-magnitude dos campos do DPS apresentando galáxias (pontos pretos) e EROs (pontos vermelhos).

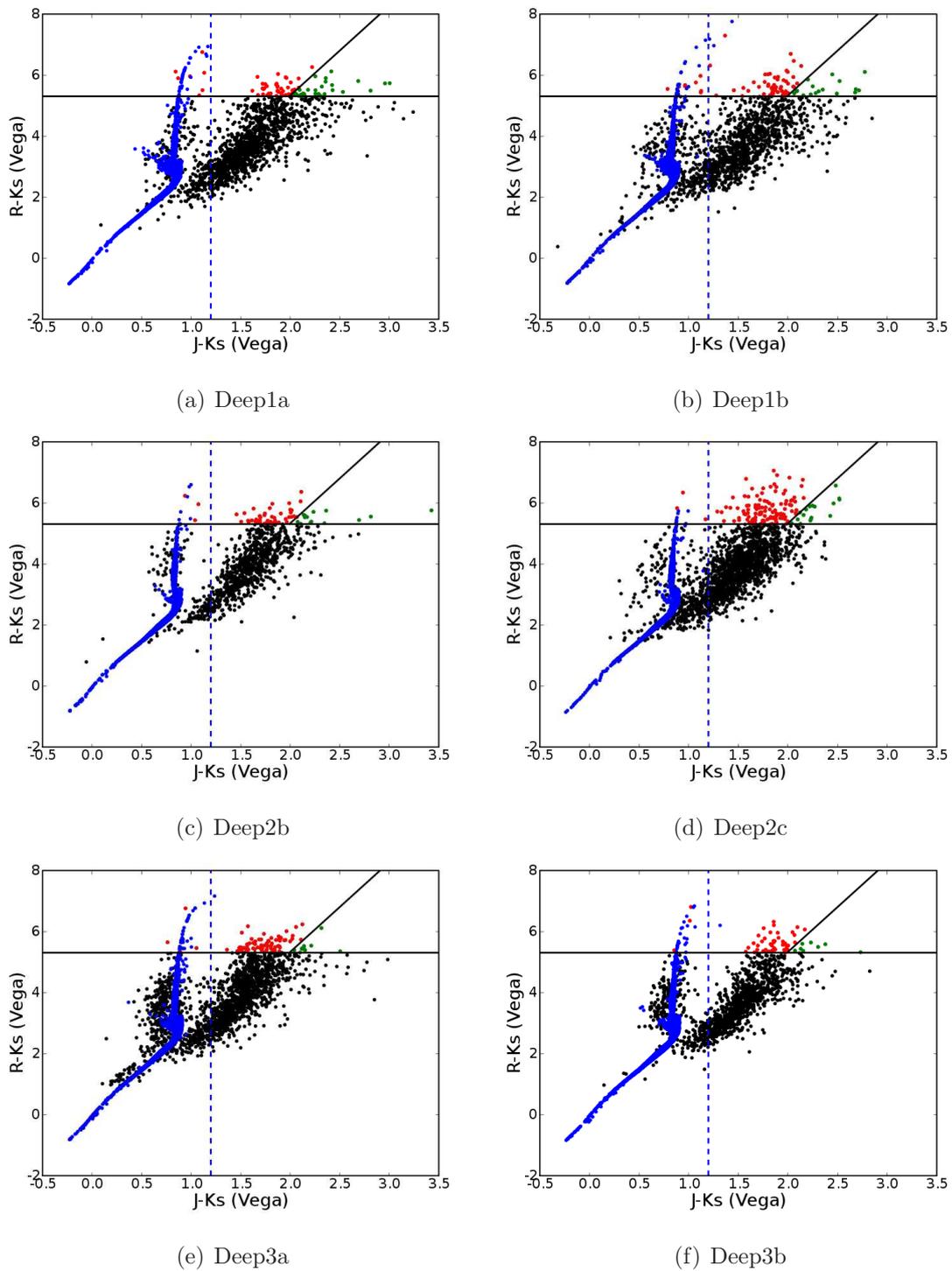


Figura 4.7: Diagrama cor-cor para campos do DPS com observações nas bandas R, J e K, mostrando galáxias (em preto), EROs formados por população estelar velha (em vermelho) e os com surto de formação estelar obscurecido por poeira (em verde). Estrelas oriundas de modelos teóricos (pontos azuis) estão superpostas aos dados. As retas contínuas representam os limites da relação que define as duas populações de EROs, e a tracejada mostra critério adicional para eliminar estrelas da amostra de EROs ($(J - K)_{Vega} > 1.2$).

Isso pode ser verificado calculando a densidade diferencial de EROs, definida como o número desses objetos por unidade de área encontrados num dado intervalo de magnitude, e que permite inferir a contribuição de cada intervalo de magnitude para a densidade total. As figuras 4.8 e 4.9 mostram as densidades diferenciais de EROs que obtivemos na banda Ks para cada um dos campos do DPS. Para comparação mostramos também os dados provenientes dos trabalhos de Elston et al. (2006) (FLAMEX), Kong et al. (2006) (Deep3aF) e Miyazaki et al. (2003). Deve ser destacado que a amostra Deep3aF é, de fato, composta pelos dados do DPS na banda Ks, os mesmos usados neste projeto referentes ao campo Deep3a, mas os dados na banda R chegam a profundidade maior, sendo provenientes do telescópio Subaru de 8m. Por esse motivo, esses dados de comparação apresentam contagens mais altas para os objetos mais fracos. Nessa figura pode-se constatar também um bom acordo com estes autores nas magnitudes mais brilhantes, podendo-se inferir um limite de completeza para nossa amostra de EROs na banda Ks entre 18 e 18.5 com base nessa comparação. Esse limite de completeza menor que os existentes para as amostras de galáxias em geral é imposto pelo critério $(R - K)_{Vega} > 5$, que implica que um ERO com magnitude Ks ≈ 18.5 teria magnitude $R_{Vega} > 23.5$, o que diminui sensivelmente o número de objetos já que esse valor é próximo dos próprios limites de completeza da banda R.

Mostramos também as densidades diferenciais das sub-amostras de EROs de população velha na figura 4.10, com dados da literatura, mostrando bom acordo com os resultados do FLAMEX e menor densidade que aqueles de Miyazaki et al. (2003) usando a classificação de Pozzetti e Mannucci. Como no caso das figuras 4.8 e 4.9, a maior diferença com os dados desse segundo trabalho é a maior profundidade alcançada na banda R. Para as sub-amostras de EROs de *Starburst*, o baixo número de objetos impede uma avaliação melhor.

Os números e densidades de EROs (total, de população velha e com formação estelar obscurecidos por poeira, identificados pelas siglas PV e SB, respectivamente) encontrados em cada campo do DPS são apresentados na tabela 4.1, com informações semelhantes na tabela 4.2 para o limite $K_{Vega} \leq 18.0$, feita com o in-

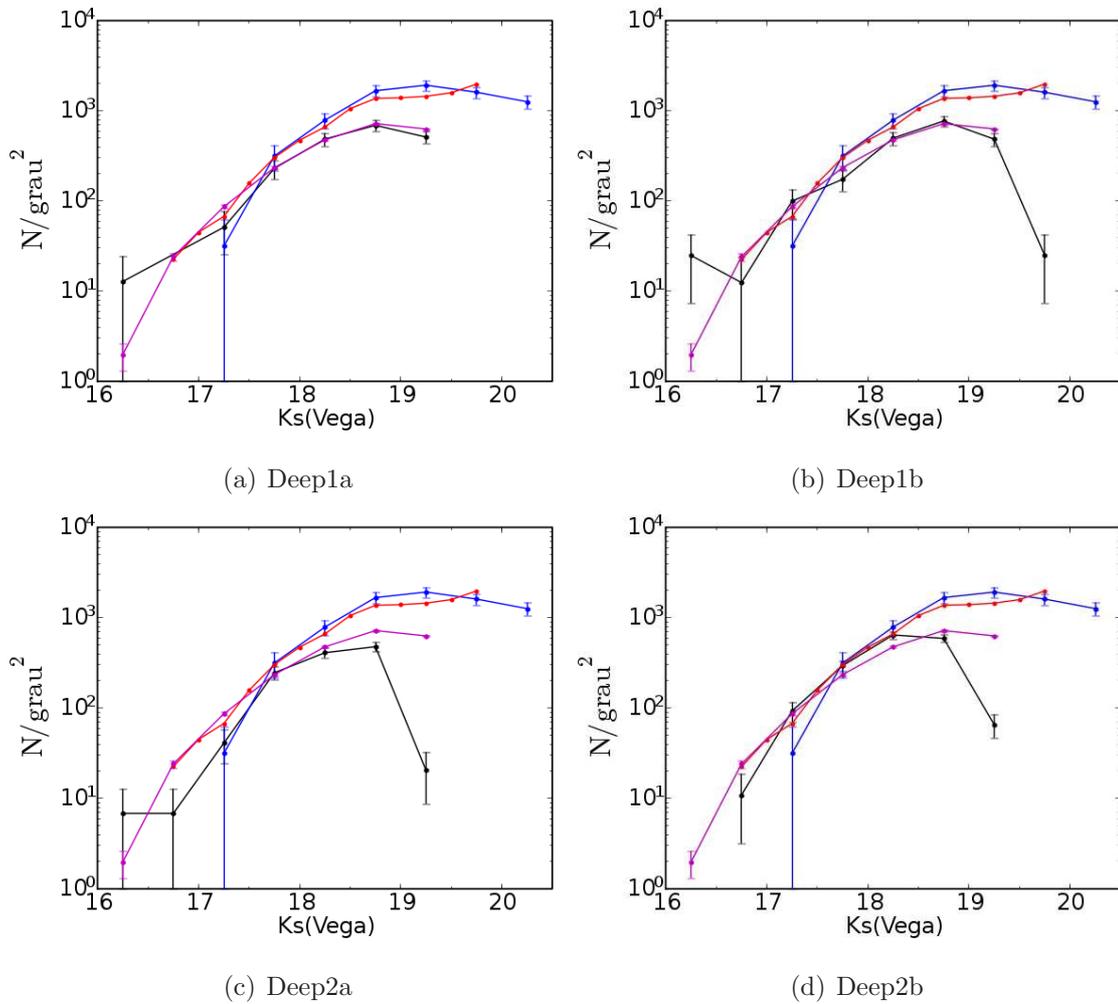


Figura 4.8: Densidade diferencial de EROs em função da magnitude K para campos do DPS com as bandas R e K disponíveis (em preto). Os erros apresentados são poissônicos. Dados da literatura sobrepostos: em rosa (Elston et al., 2006), em vermelho (Kong et al., 2006) e em azul (Miyazaki et al., 2003).

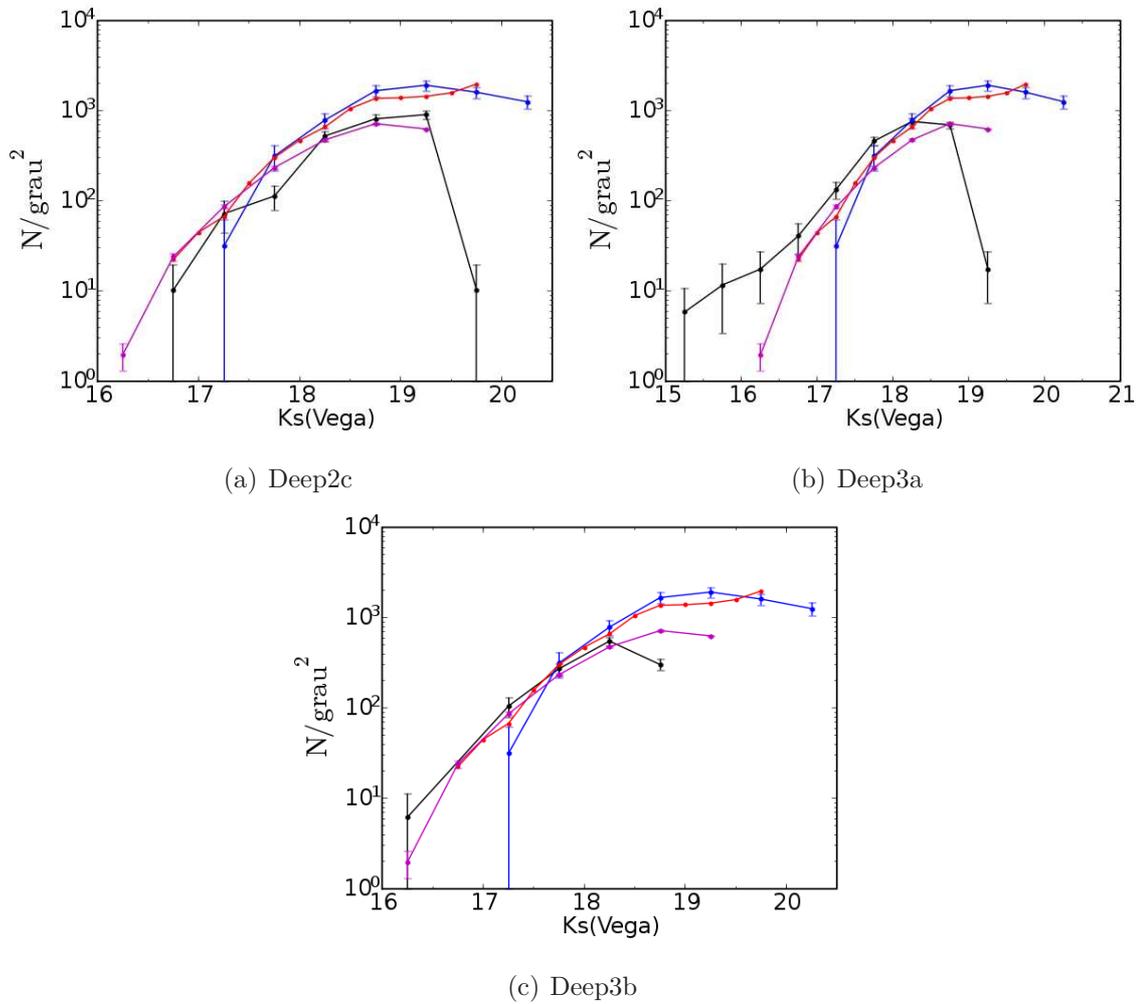


Figura 4.9: Densidade diferencial de EROs em função da magnitude K para campos do DPS com as bandas R e K disponíveis (em preto). Os erros apresentados são poissônicos. Dados da literatura sobrepostos: em rosa (Elston et al., 2006), em vermelho (Kong et al., 2006) e em azul (Miyazaki et al., 2003).

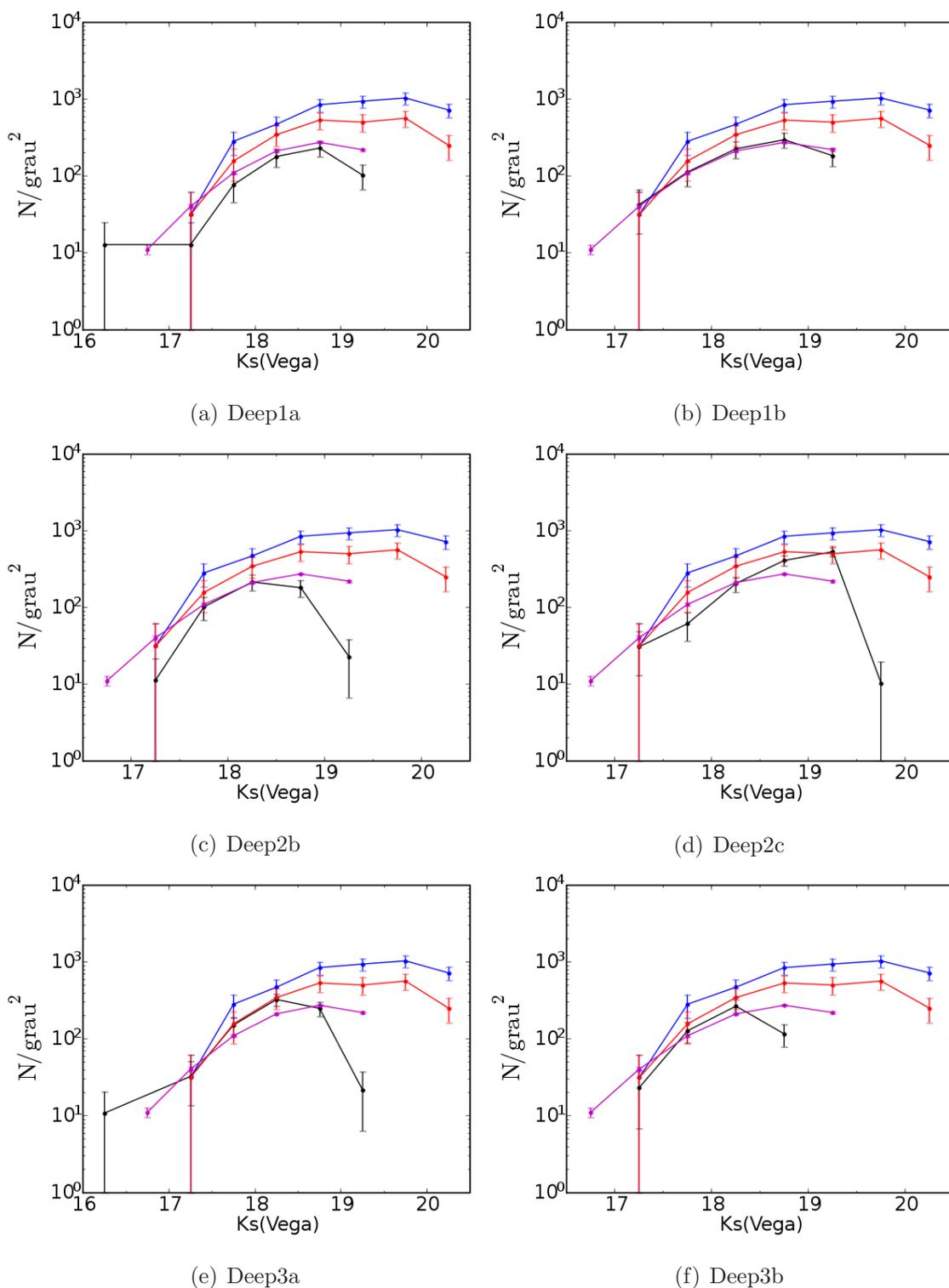


Figura 4.10: Densidade diferencial de EROs de população velha em função da magnitude K para campos do DPS com as bandas R, J e K disponíveis (em preto). Os erros apresentados são poissônicos. Dados da literatura sobrepostos: em rosa (Elston et al., 2006), em vermelho e em azul (Miyazaki et al., 2003), seguindo respectivamente as classificações de Pozzetti e Mannucci, e dos próprios autores.

Tabela 4.1: Número e densidade (por grau quadrado) de objetos por campo do DPS.

Campo	EROs	EROs/ $(^\circ)^2$	PV	PV/ $(^\circ)^2$	SB	SB/ $(^\circ)^2$
Deep1a	155	1984.74	48	619.84	27	348.66
Deep1b	168	2092.49	61	866.88	17	241.59
Deep2a	177	1211.04	-	-	-	-
Deep2b	311	1701.42	47	535.65	14	159.56
Deep2c	238	2459.08	122	1260.54	17	175.65
Deep3a	367	2155.56	73	796.56	10	109.12
Deep3b	200	1240.41	46	536.46	8	93.30

tuito de possibilitar uma comparação entre campos e com a literatura. Os valores das áreas usadas no cálculo das densidades de ambas as tabelas são apresentados na tabela 4.3. Então utilizando apenas EROs com $K_{Vega} \leq 18.0$, encontramos uma média de todos os campos de 366 por grau quadrado, o que está próximo dos valores encontrados por outros autores, conforme a tabela 4.4 ilustra.

Tabela 4.2: Número e densidade (por grau quadrado) de objetos por campo do DPS aplicando o corte $K_{Vega} \leq 18.0$.

Campo	EROs	EROs/ $(^\circ)^2$	PV	PV/ $(^\circ)^2$	SB	SB/ $(^\circ)^2$
Deep1a	23	294.51	8	103.31	2	25.83
Deep1b	25	311.38	11	156.32	1	14.21
Deep2a	44	301.05	-	-	-	-
Deep2b	73	399.37	10	113.97	2	22.79
Deep2c	19	196.31	9	92.99	1	10.33
Deep3a	115	675.45	18	196.41	3	32.74
Deep3b	62	384.53	13	151.61	0	0.00

Tabela 4.3: Áreas efetivas (em graus quadrados) cobertas por diferentes conjuntos de bandas em cada campo do DPS.

Campo	RK	RJK
Deep1a	0.0781	0.0774
Deep1b	0.0803	0.0704
Deep2a	0.1462	-
Deep2b	0.1828	0.0877
Deep2c	0.0973	0.0968
Deep3a	0.1703	0.0916
Deep3b	0.1612	0.0857

Tabela 4.4: Densidades de EROs de amostras da literatura limitadas na magnitude da banda K indicada (erros são poissonicos).

K_{Vega} limite	Gal/($^{\circ}$) ²	Erro	Origem
18.00	297.86	39.11	Daddi et al. (2000)
18.00	378.95	109.39	Miyazaki et al. (2003)
18.00	346.15	154.80	Mignoli et al. (2005)
17.90	261.15	16.32	Brown et al. (2005)
18.15	429.47	20.93	Brown et al. (2005)

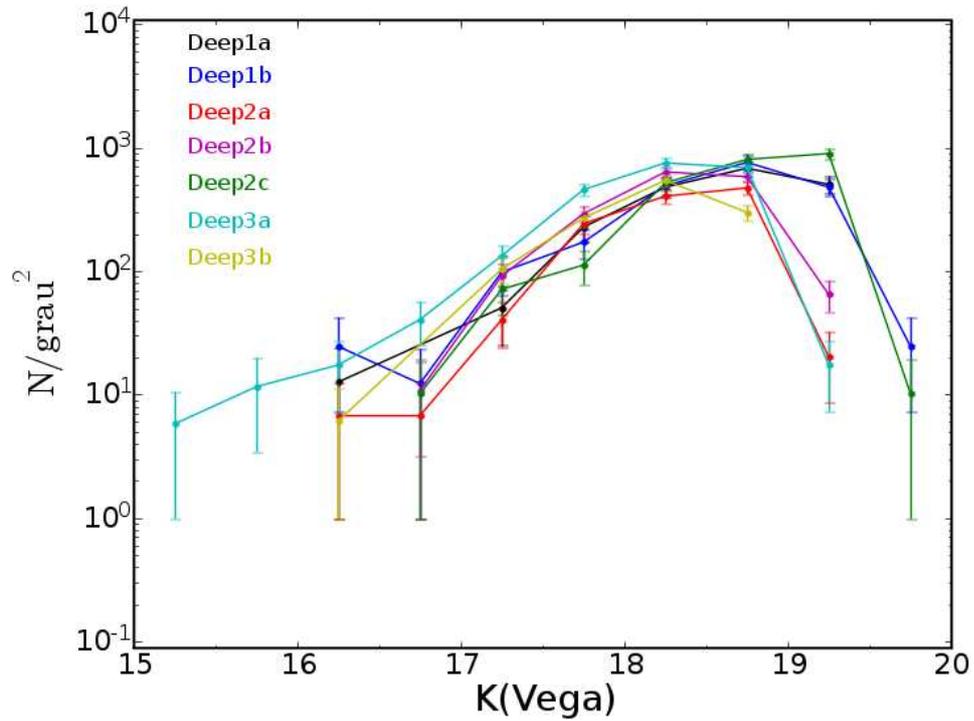


Figura 4.11: Densidade diferencial de EROs em função da magnitude K para campos do DPS com as bandas R e K disponíveis (erros poissônicos).

Ainda assim, da comparação das densidades de EROs, todos, de população estelar velha e *starbursts*, em todos os campos realizadas nas figuras 4.11, 4.12 e 4.13, nota-se a existência de uma variação das suas contagens, um provável reflexo da existência de variância cósmica entre eles.

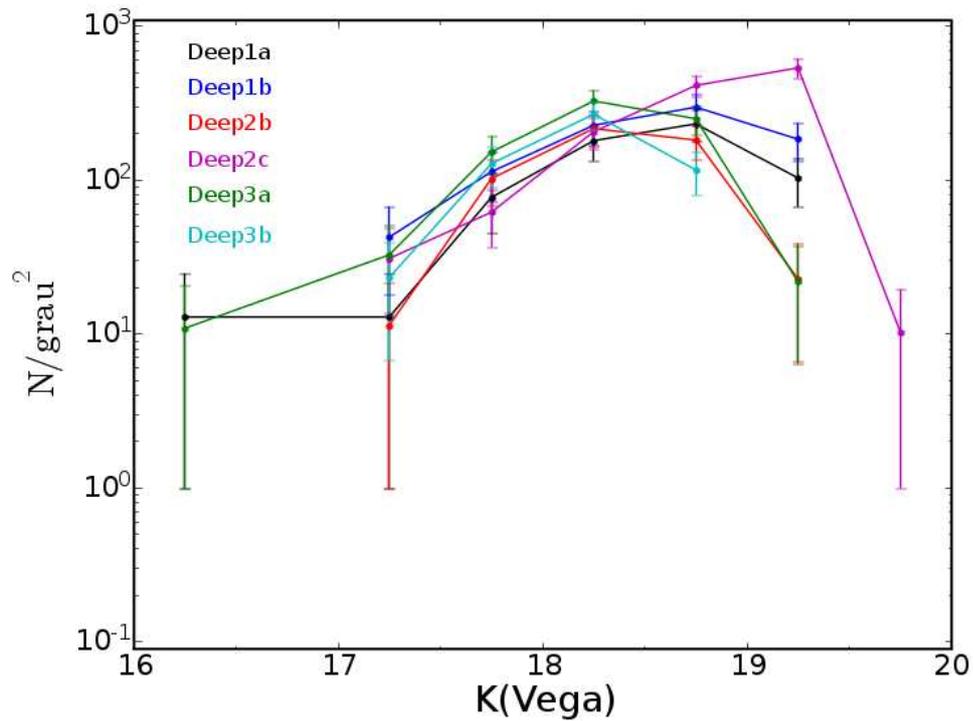


Figura 4.12: Densidade diferencial de EROs de população estelar velha em função da magnitude K para campos do DPS com as bandas R, J e K (erros poissônicos).

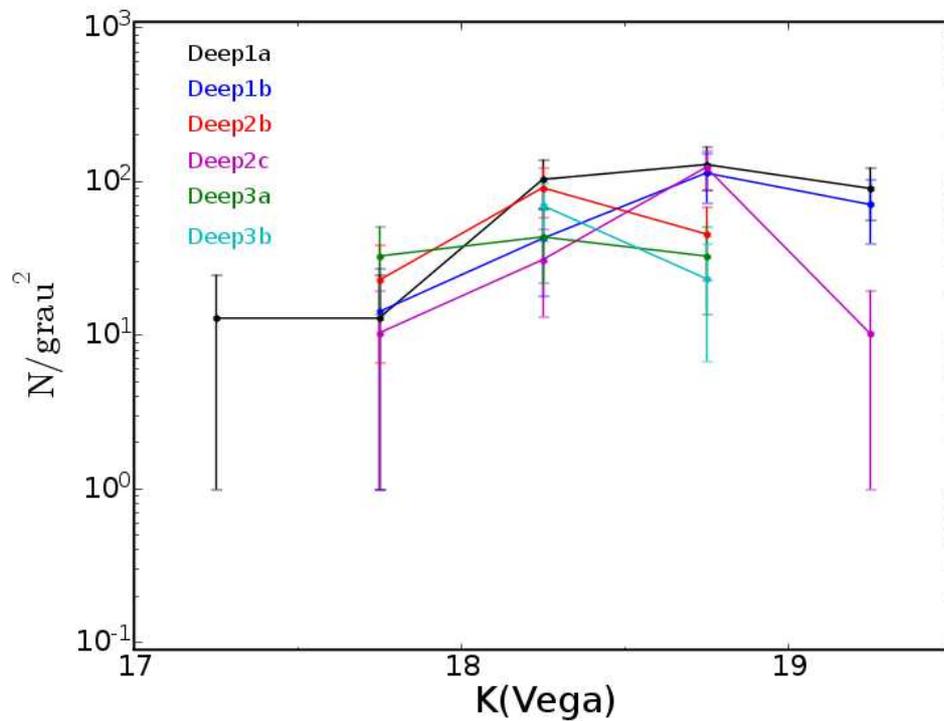


Figura 4.13: Densidade diferencial de EROs *starbursts* em função da magnitude K para campos do DPS com as bandas R, J e K (erros poissônicos).

4.2.2 *Redshifts* Fotométricos

A necessidade de se ter no mínimo 3 bandas para estimar *redshifts* restringe os campos observados do DPS para os quais podemos fazê-lo (como se pode notar pelo conteúdo da tabela 2.2), conforme mencionado no capítulo 3. A partir das amostras de galáxias com *redshift* fotométrico calculado (seção 3.2.2), selecionamos EROs, também separados nas classes de população estelar velha e *starbursts* segundo os critérios estabelecidos anteriormente.

Analizamos apenas os objetos com $z \leq 2.5$, para manter o limite adotado para os dados do CFHTLS, sendo possível, assim, a comparação direta dos resultados. O CFHTLS é um levantamento com características similares ao DPS em termos de cobertura de bandas (apesar de um pouco mais fundo em K), portanto devem apresentar um grau similar de confiança nos *redshifts* medidos até esse valor. Além disso, o número de EROs no DPS com *redshifts* maiores é muito pequeno, quando não é nulo, e esses *redshifts* são todos consequência de ajustes de *templates* de menor confiabilidade por serem baseados apenas em 3 bandas. Uma justificativa adicional para esse corte em $z = 2.5$ é o fato de já estar no limite da faixa de *redshift* esperada que a ser coberta por EROs (como mostra a figura 4.2).

As distribuições de *redshifts* de cada uma das amostras de EROs (completa, de população estelar velha e *starbursts*) são apresentadas, respectivamente, nas figuras 4.14, 4.16 e 4.18 para o contexto no óptico + K, e nas figuras 4.15, 4.17 e 4.19 para o contexto máximo.

As tabelas 4.5, 4.6 e 4.7 fornecem informações sobre a distribuição de *redshifts* obtida para cada campo e contexto analisados. Em quase todos os casos (em menor proporção para a amostra de EROs *starburst*) nota-se uma maior concentração de objetos em torno de $z = 1$ (como as médias e medianas de z de todos os campos nas tabelas mostram), o que era de se esperar da seleção de cor aplicada aos modelos teóricos da distribuição espectral de Elípticas. Este resultado fornece uma indicação independente de que os objetos selecionados constituem uma amostra na distância esperada para os progenitores de galáxias Elípticas.

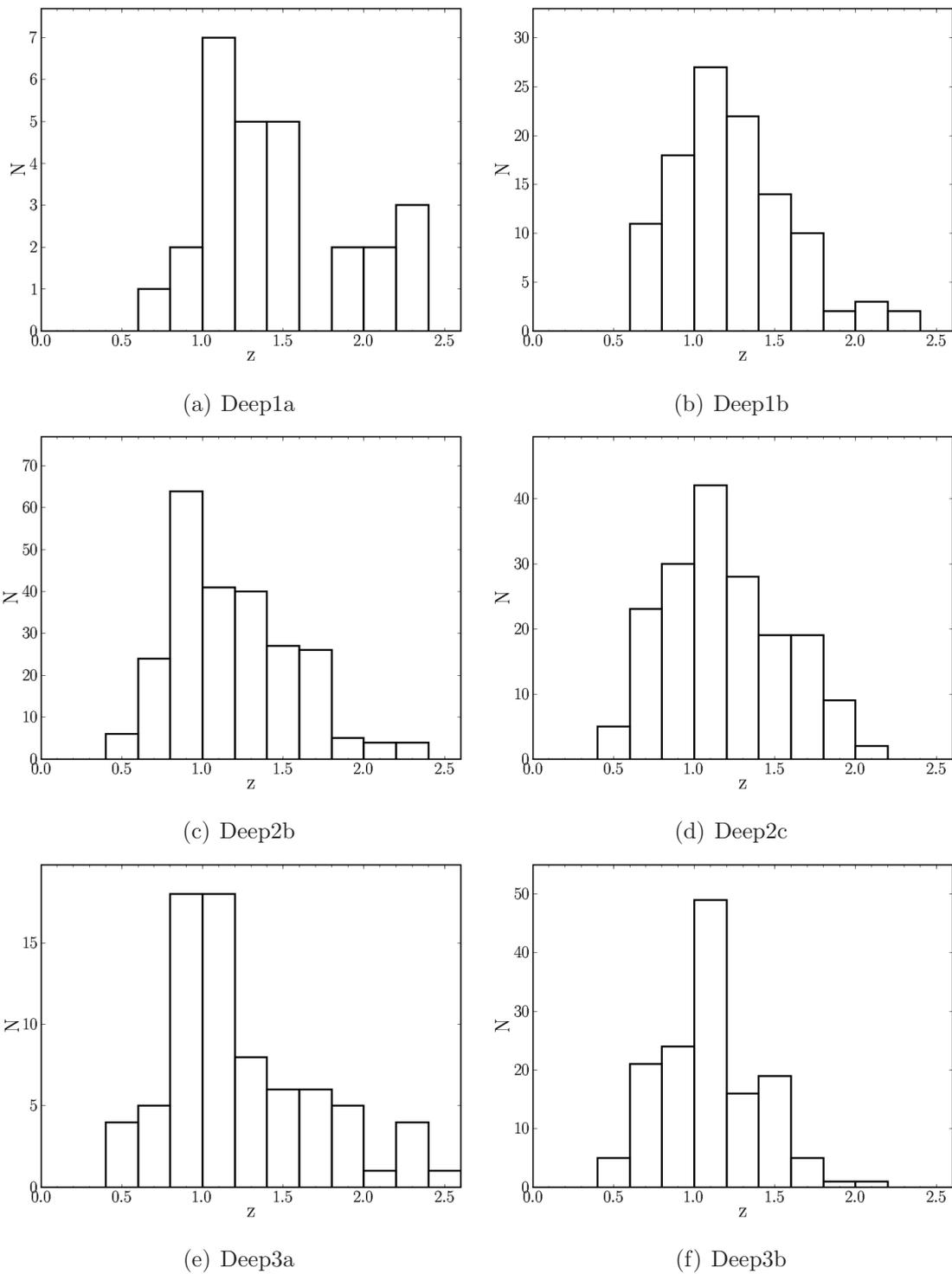


Figura 4.14: Distribuição de *redshift* fotométrico (óptico + K) de amostras de EROs para cada campo analisado.

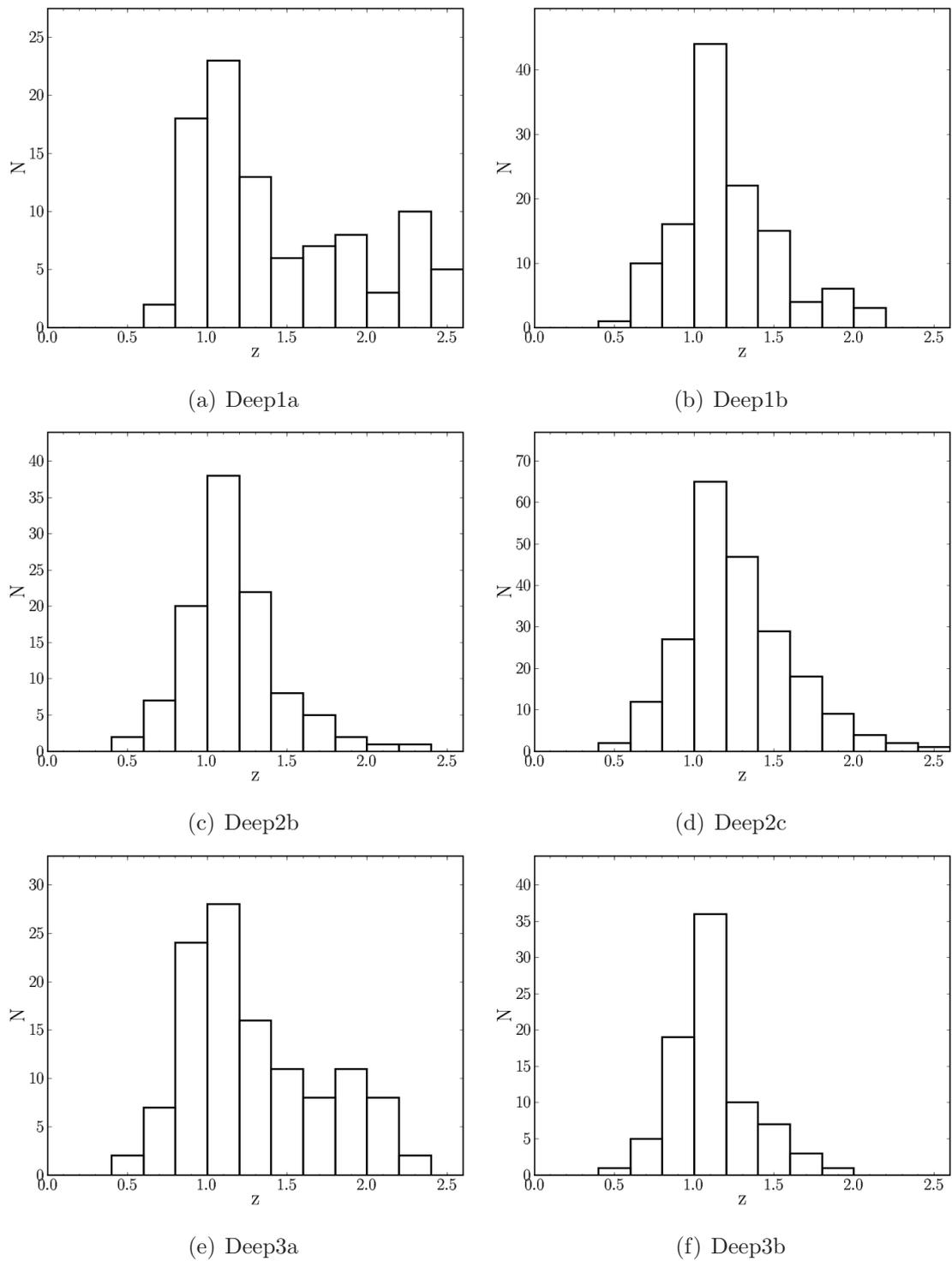


Figura 4.15: Distribuição de *redshift* fotométrico (óptico + IR) de amostras de EROs para cada campo analisado.

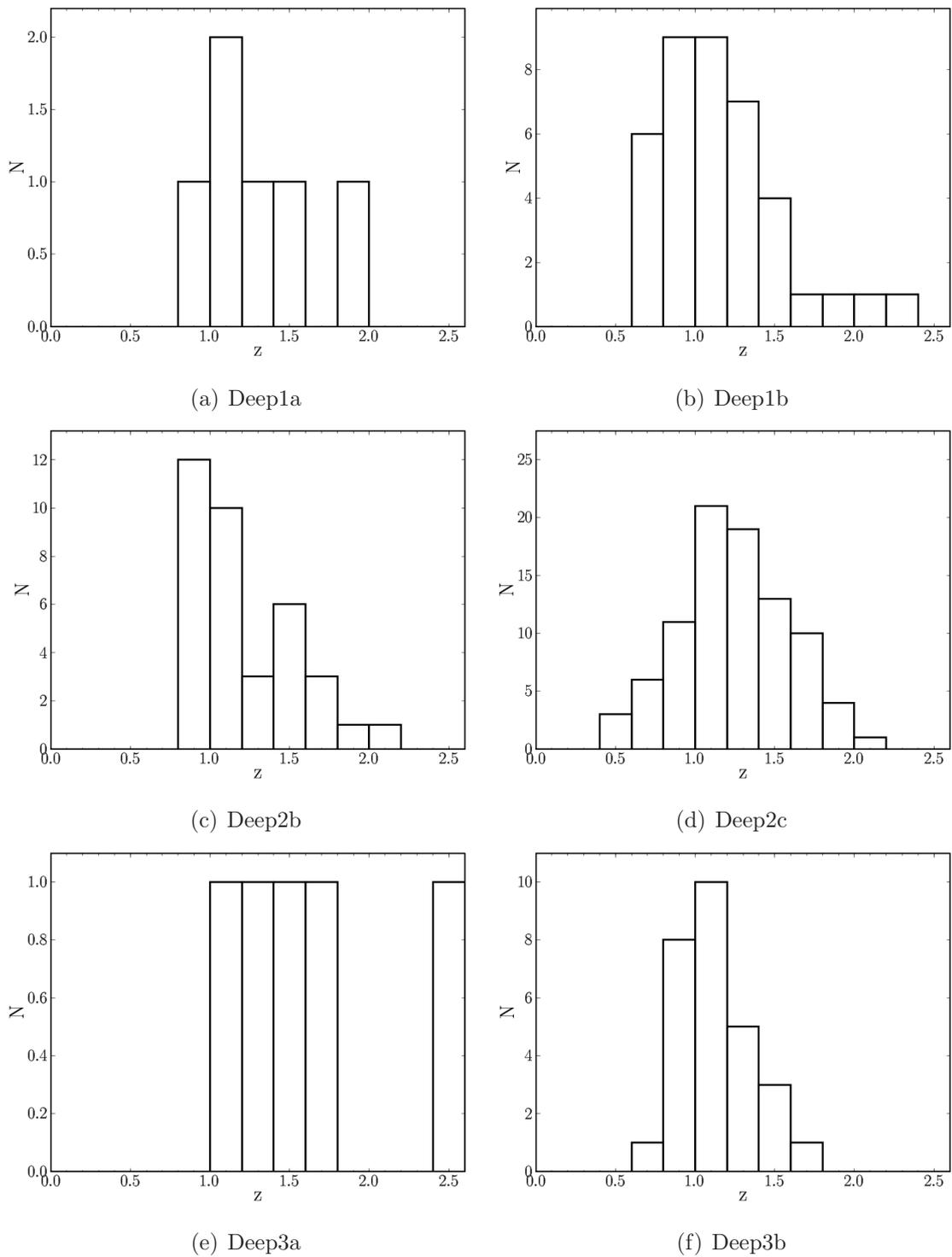


Figura 4.16: Distribuição de *redshift* fotométrico (óptico + K) de amostras de EROs de população estelar velha para cada campo analisado.

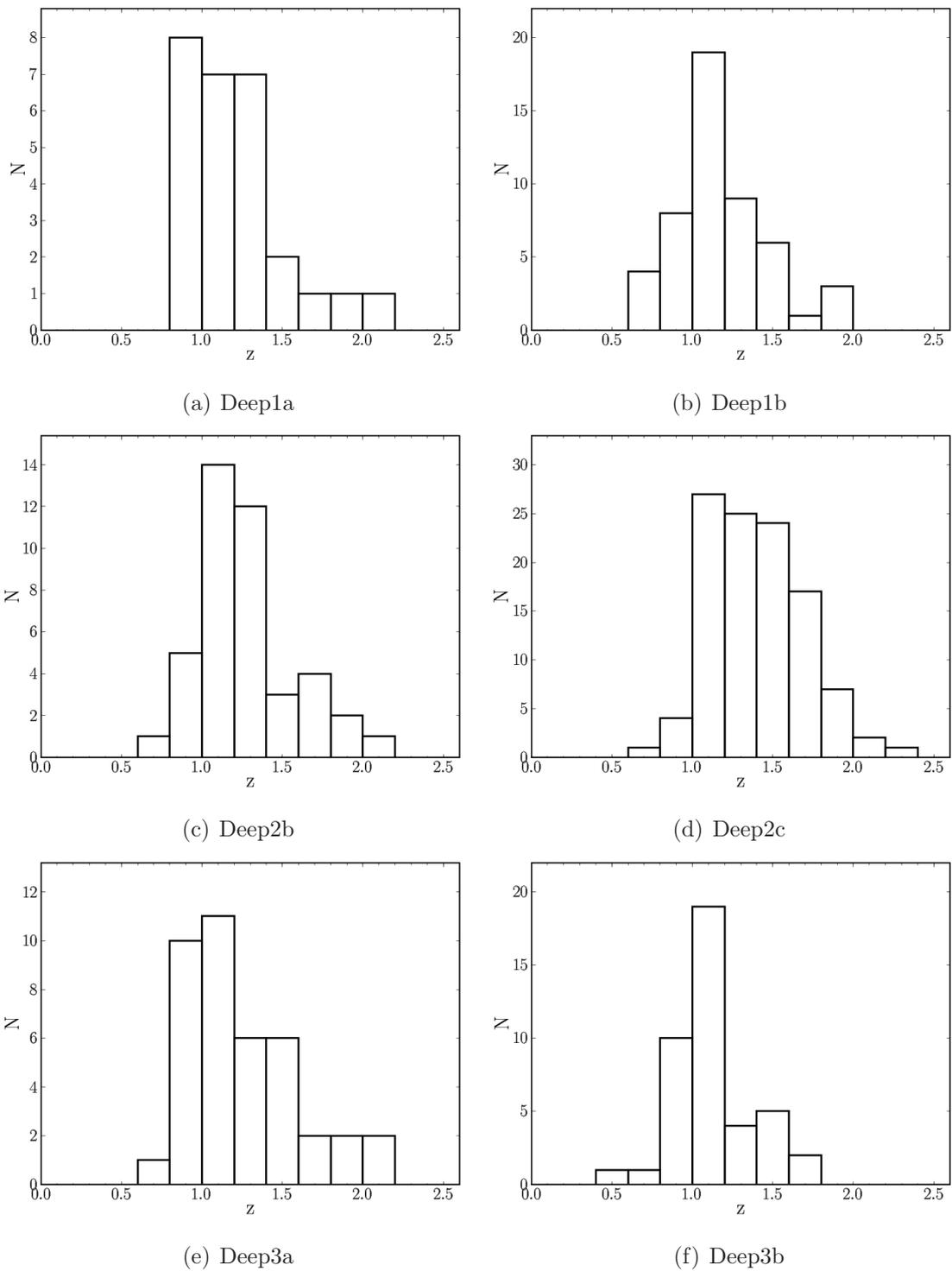


Figura 4.17: Distribuição de *redshift* fotométrico (óptico + IR) de amostras de EROs de população estelar velha para cada campo analisado.

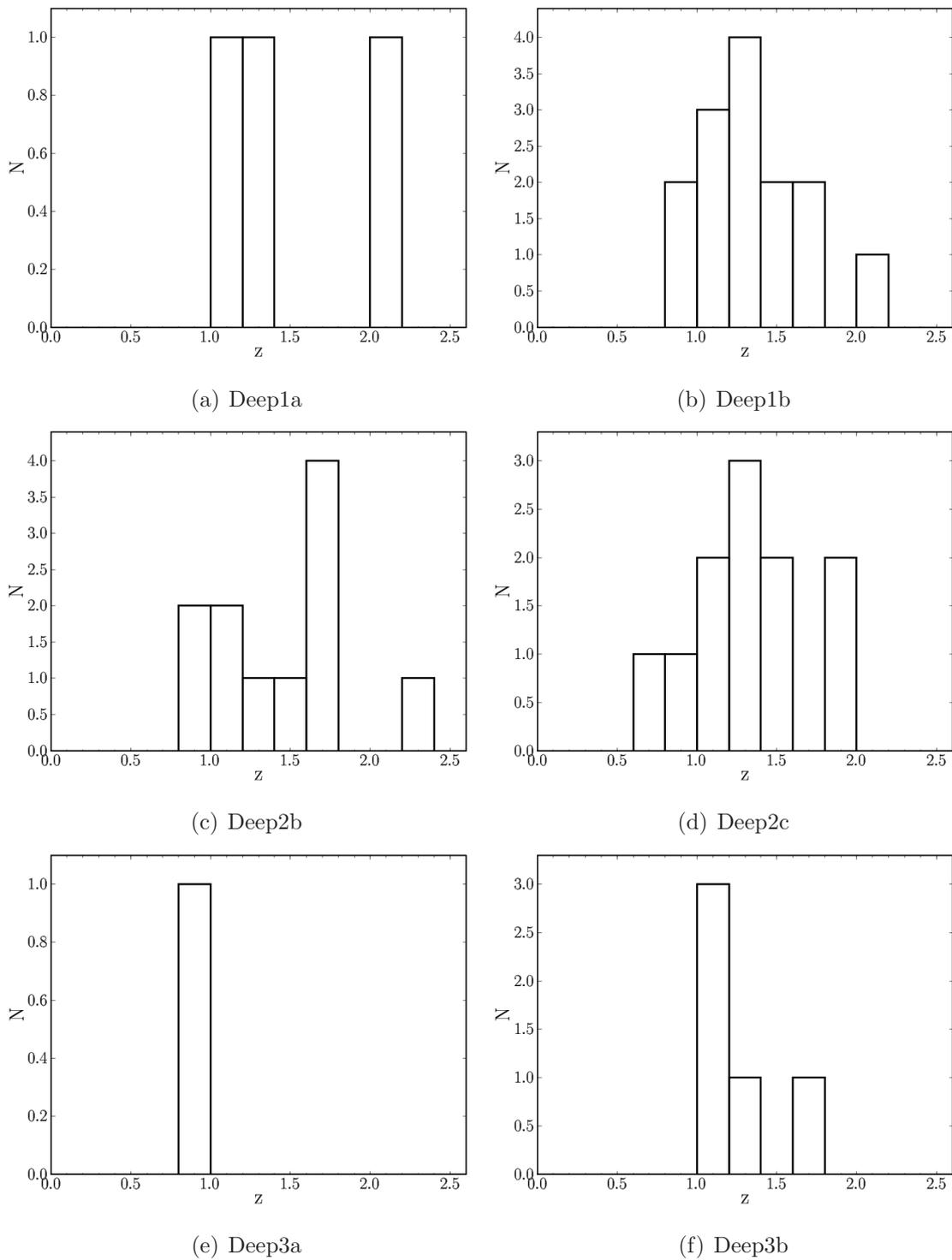


Figura 4.18: Distribuição de *redshift* fotométrico (óptico + K) de amostras de EROs *starburst* para cada campo analisado.

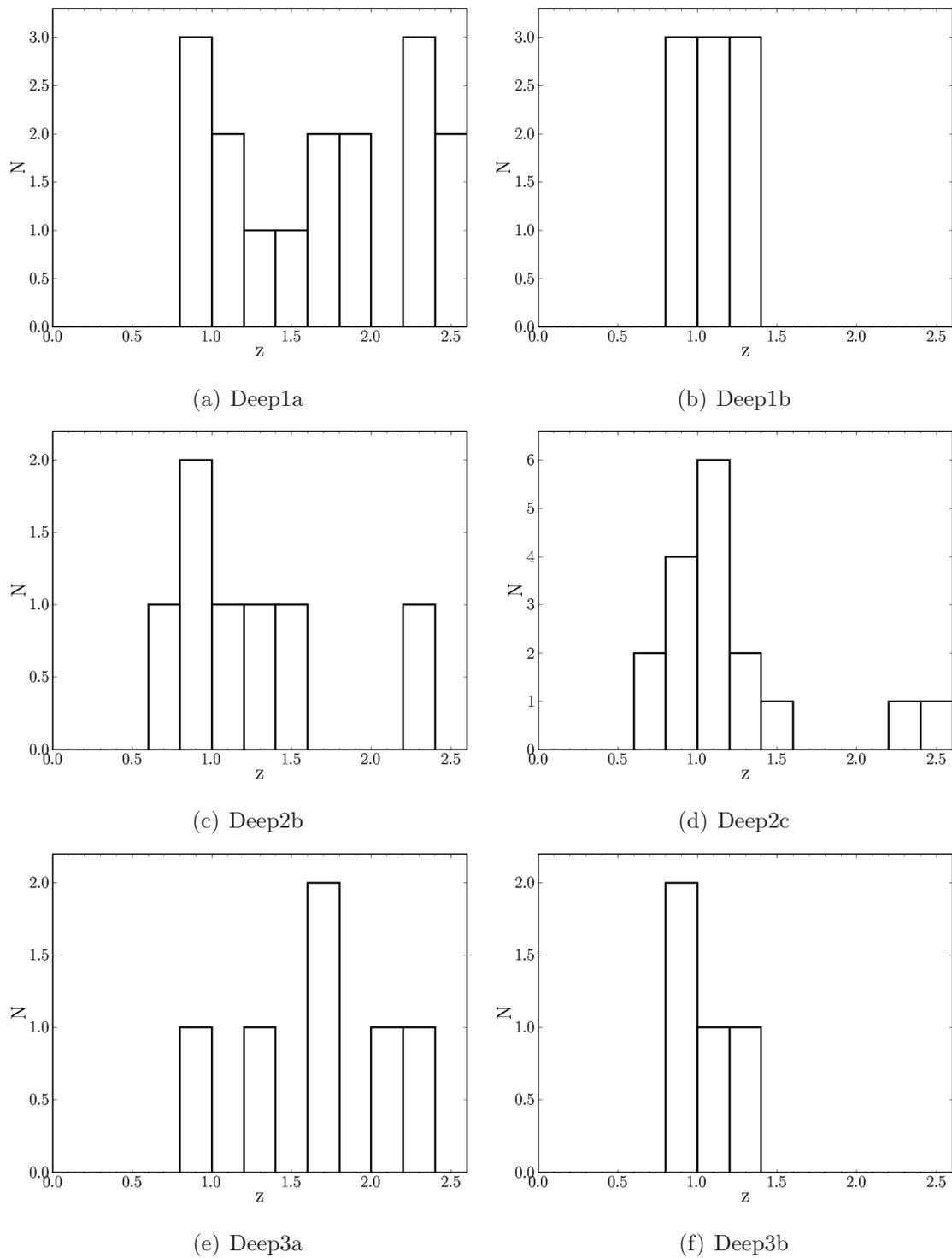


Figura 4.19: Distribuição de *redshift* fotométrico (óptico + IR) de amostras de EROs *starburst* para cada campo analisado.

Tabela 4.5: Informações dos resultados de rodadas do Hyperz em amostras de EROs para todas as combinações de campos e contextos.

Campo	N	z_m	z_{med}	ϵz_m	ϵz_{med}
Deep1a (Opt+K)	27	1.44	1.35	0.28	0.16
Deep1a (Opt+IR)	95	1.44	1.25	0.37	0.33
Deep1b (Opt+K)	109	1.23	1.20	0.29	0.30
Deep1b (Opt+IR)	121	1.21	1.15	0.13	0.12
Deep2b (Opt+K)	241	1.19	1.12	0.24	0.19
Deep2b (Opt+IR)	106	1.15	1.12	0.09	0.07
Deep2c (Opt+K)	177	1.19	1.14	0.14	0.06
Deep2c (Opt+IR)	216	1.26	1.22	0.08	0.04
Deep3a (Opt+K)	76	1.25	1.13	0.24	0.15
Deep3a (Opt+IR)	117	1.29	1.18	0.34	0.31
Deep3b (Opt+K)	141	1.09	1.09	0.24	0.20
Deep3b (Opt+IR)	82	1.11	1.07	0.09	0.07

Tabela 4.6: Informações dos resultados de rodadas do Hyperz em amostras de EROs de população velha para todas as combinações de campos e contextos.

Campo	N	z_m	z_{med}	ϵz_m	ϵz_{med}
Deep1a (Opt+K)	6	1.29	1.26	0.25	0.15
Deep1a (Opt+IR)	27	1.19	1.07	0.40	0.45
Deep1b (Opt+K)	39	1.14	1.05	0.31	0.30
Deep1b (Opt+IR)	50	1.19	1.13	0.16	0.14
Deep2b (Opt+K)	36	1.22	1.12	0.25	0.22
Deep2b (Opt+IR)	42	1.27	1.21	0.09	0.08
Deep2c (Opt+K)	88	1.25	1.25	0.20	0.11
Deep2c (Opt+IR)	108	1.40	1.39	0.09	0.06
Deep3a (Opt+K)	5	1.61	1.42	0.33	0.27
Deep3a (Opt+IR)	40	1.26	1.18	0.34	0.34
Deep3b (Opt+K)	28	1.11	1.08	0.22	0.17
Deep3b (Opt+IR)	42	1.12	1.07	0.10	0.09

Tabela 4.7: Informações dos resultados de rodadas do Hyperz em amostras de EROs *starburst* para todas as combinações de campos e contextos.

Campo	N	z_m	z_{med}	ϵz_m	ϵz_{med}
Deep1a (Opt+K)	3	1.47	1.25	0.40	0.44
Deep1a (Opt+IR)	16	1.68	1.74	0.32	0.21
Deep1b (Opt+K)	14	1.34	1.28	0.37	0.37
Deep1b (Opt+IR)	9	1.09	1.06	0.13	0.10
Deep2b (Opt+K)	11	1.46	1.53	0.32	0.39
Deep2b (Opt+IR)	7	1.28	1.12	0.10	0.10
Deep2c (Opt+K)	11	1.31	1.28	0.09	0.05
Deep2c (Opt+IR)	17	1.19	1.02	0.08	0.06
Deep3a (Opt+K)	1	0.86	0.86	0.09	0.09
Deep3a (Opt+IR)	6	1.68	1.71	0.41	0.55
Deep3b (Opt+K)	5	1.26	1.15	0.41	0.47
Deep3b (Opt+IR)	4	1.06	1.01	0.08	0.09

Novamente apresentamos uma comparação dos resultados obtidos a partir do DPS com outros trabalhos, agora nos histogramas normalizados de redshift, onde (com essa finalidade apenas) todos os dados foram selecionados por $K_{Vega} \leq 18.0$ (figuras 4.20, 4.22 e 4.24 para o contexto no óptico + K, e figuras 4.21, 4.23 e 4.25 para o contexto máximo). Os números e densidades de EROs (considerando ou não esse corte) são apresentados nas tabelas 4.8, 4.9 e 4.10. Essas tabelas contêm dados diferentes dos apresentados nas tabelas da seção anterior porque aqui também são considerados os critérios adotados para o cálculo de *redshifts* fotométricos. As diferenças encontradas com a distribuição de *redshifts* espectroscópicos de EROs de Mignoli et al. (2005) podem ser conseqüência da pequena área coberta por esse outro trabalho (52 minutos de arco ao quadrado). Também apresentamos a distribuição de *redshifts* fotométricos de Miyazaki et al. (2003), com dados do Subaru, que apesar da área coberta ser menor que a do DPS (114 minutos de arco ao quadrado), conta com observações feitas com maior profundidade nas bandas R e K. Pode-se perceber também, pela comparação entre campos, o efeito da variância cósmica nesses histogramas. De fato se encontra variações nas contagens de objetos entre diferentes regiões mapeadas pelo DPS, mesmo considerando as barras de erro.

Para comparação, algumas das densidades por grau quadrado encontradas na literatura para EROs são 346.15 (Mignoli et al., 2005), 378.95 (Miyazaki et al., 2003) e 67.50 (VVDS). Para EROs de população velha e *starburst* se encontra, respectivamente, em Miyazaki et al. (2003) 221.0526 e 63.1579 (usando relação Pozzetti e Mannucci), 347.3684 e 31.5789 (classificação dos autores), e 45.0000 e 22.5000 (do VVDS). Em todos os casos, foi considerado o limite de $K_{Vega} \leq 18.0$.

Examinamos também as distribuições em (R-K) x K (figuras 4.26 e 4.27) e em (R-K) x (J-K) (figuras 4.28 e 4.29) para todos os contextos e campos do DPS, sem encontrar um padrão com *redshift* que se sobressaísse. Os dois tipos de EROs não mostram qualquer localização preferencial, exceto uma leve tendência de *starburst* serem encontradas em (R-K) um pouco mais baixos, mas sua baixa estatística não nos permite uma conclusão confiável.

Tabela 4.8: Números e densidades (por grau quadrado) de EROs com *redshifts* calculados pelo Hyperz para todas as combinações de campos e contextos (o índice *lim* significa que foi aplicando o corte $K_{Vega} \leq 18.0$).

Campo	N	N_{lim}	$\mathbf{N}/(^{\circ})^2$	$N_{lim}/(^{\circ})^2$
Deep1a (Opt+K)	27	6	346.00	76.89
Deep1a (Opt+IR)	95	9	1227.83	116.32
Deep1b (Opt+K)	109	16	1382.79	202.98
Deep1b (Opt+IR)	121	19	1756.17	275.76
Deep2b (Opt+K)	241	61	1390.17	351.87
Deep2b (Opt+IR)	106	23	1303.48	282.83
Deep2c (Opt+K)	177	17	1836.73	176.41
Deep2c (Opt+IR)	216	17	2241.43	176.41
Deep3a (Opt+K)	76	34	446.65	199.82
Deep3a (Opt+IR)	117	30	1277.07	327.45
Deep3b (Opt+K)	141	41	878.52	255.45
Deep3b (Opt+IR)	82	23	957.65	268.61

Tabela 4.9: Números e densidades (por grau quadrado) de EROs de população velha com *redshifts* calculados pelo Hyperz para todas as combinações de campos e contextos (o índice *lim* significa que foi aplicando o corte $K_{Vega} \leq 18.0$).

Campo	N	N_{lim}	$N/(\text{°})^2$	$N_{lim}/(\text{°})^2$
Deep1a (Opt+K)	6	3	77.55	38.77
Deep1a (Opt+IR)	27	4	348.96	51.70
Deep1b (Opt+K)	39	6	566.04	87.08
Deep1b (Opt+IR)	50	9	725.69	130.62
Deep2b (Opt+K)	36	8	442.69	98.38
Deep2b (Opt+IR)	42	8	516.47	98.38
Deep2c (Opt+K)	88	8	913.18	83.02
Deep2c (Opt+IR)	108	8	1120.72	83.02
Deep3a (Opt+K)	5	2	54.58	21.83
Deep3a (Opt+IR)	40	10	436.60	109.15
Deep3b (Opt+K)	28	5	327.00	58.39
Deep3b (Opt+IR)	42	11	490.51	128.47

Tabela 4.10: Números e densidades (por grau quadrado) de EROs *starburst* com *redshifts* calculados pelo Hyperz para todas as combinações de campos e contextos (o índice *lim* significa que foi aplicando o corte $K_{Vega} \leq 18.0$).

Campo	N	N_{lim}	$N/(\text{°})^2$	$N_{lim}/(\text{°})^2$
Deep1a (Opt+K)	3	0	38.77	0.00
Deep1a (Opt+IR)	16	1	206.79	12.92
Deep1b (Opt+K)	14	1	203.19	14.51
Deep1b (Opt+IR)	9	1	130.62	14.51
Deep2b (Opt+K)	11	2	135.27	24.59
Deep2b (Opt+IR)	7	1	86.08	12.30
Deep2c (Opt+K)	11	1	114.15	10.38
Deep2c (Opt+IR)	17	1	176.41	10.38
Deep3a (Opt+K)	1	1	10.92	10.92
Deep3a (Opt+IR)	6	1	65.49	10.92
Deep3b (Opt+K)	5	0	58.39	0.00
Deep3b (Opt+IR)	4	0	46.71	0.00

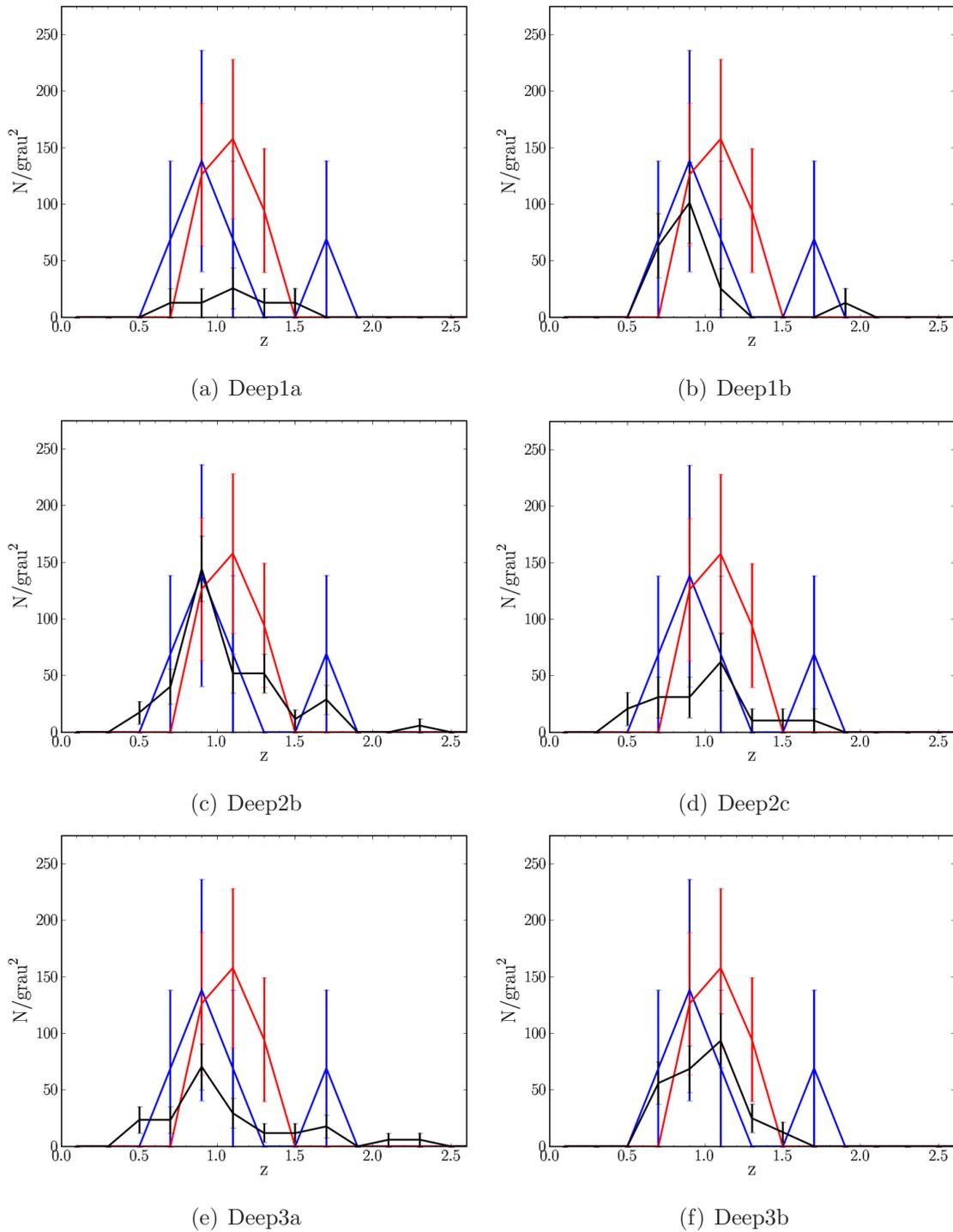


Figura 4.20: Distribuição de *redshift* fotométrico (óptico + K) de amostras de EROs para cada campo do DPS (em preto). Dados da literatura: Mignoli et al. (2005) em azul e Miyazaki et al. (2003) em vermelho. Todos erros são poissônicos.

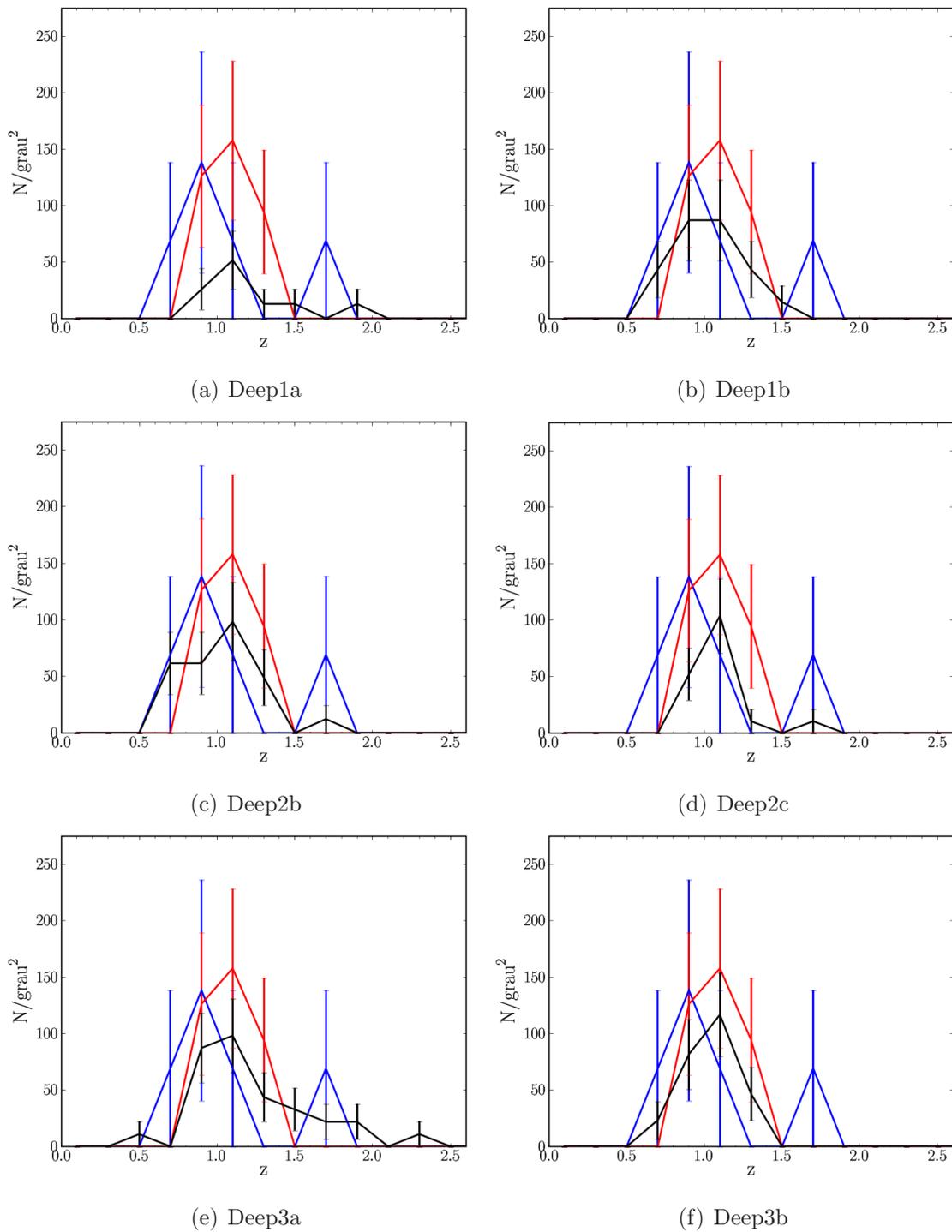


Figura 4.21: Distribuição de *redshift* fotométrico (óptico + IR) de amostras de EROs para cada campo do DPS (em preto). Dados da literatura: Mignoli et al. (2005) em azul e Miyazaki et al. (2003) em vermelho. Todos erros são poissônicos.

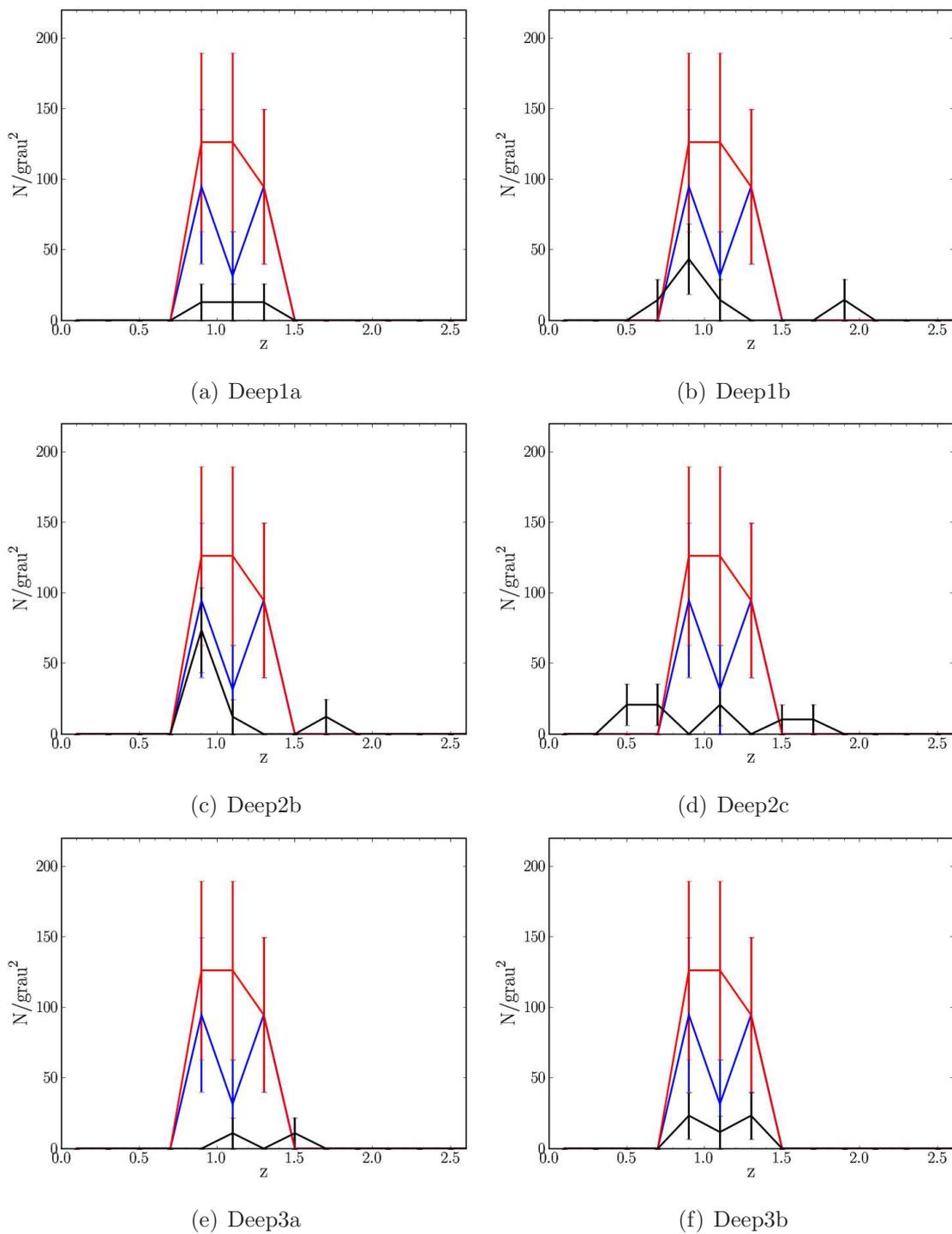


Figura 4.22: Distribuição de *redshift* fotométrico (óptico + K) de amostras de EROs de população estelar velha para cada campo do DPS (em preto). Dados da literatura: Miyazaki et al. (2003), em vermelho para objetos que foram selecionados pelo critério do artigo, e em azul para os selecionados pela relação de Pozzetti e Mannucci. Todos erros são poissônicos.

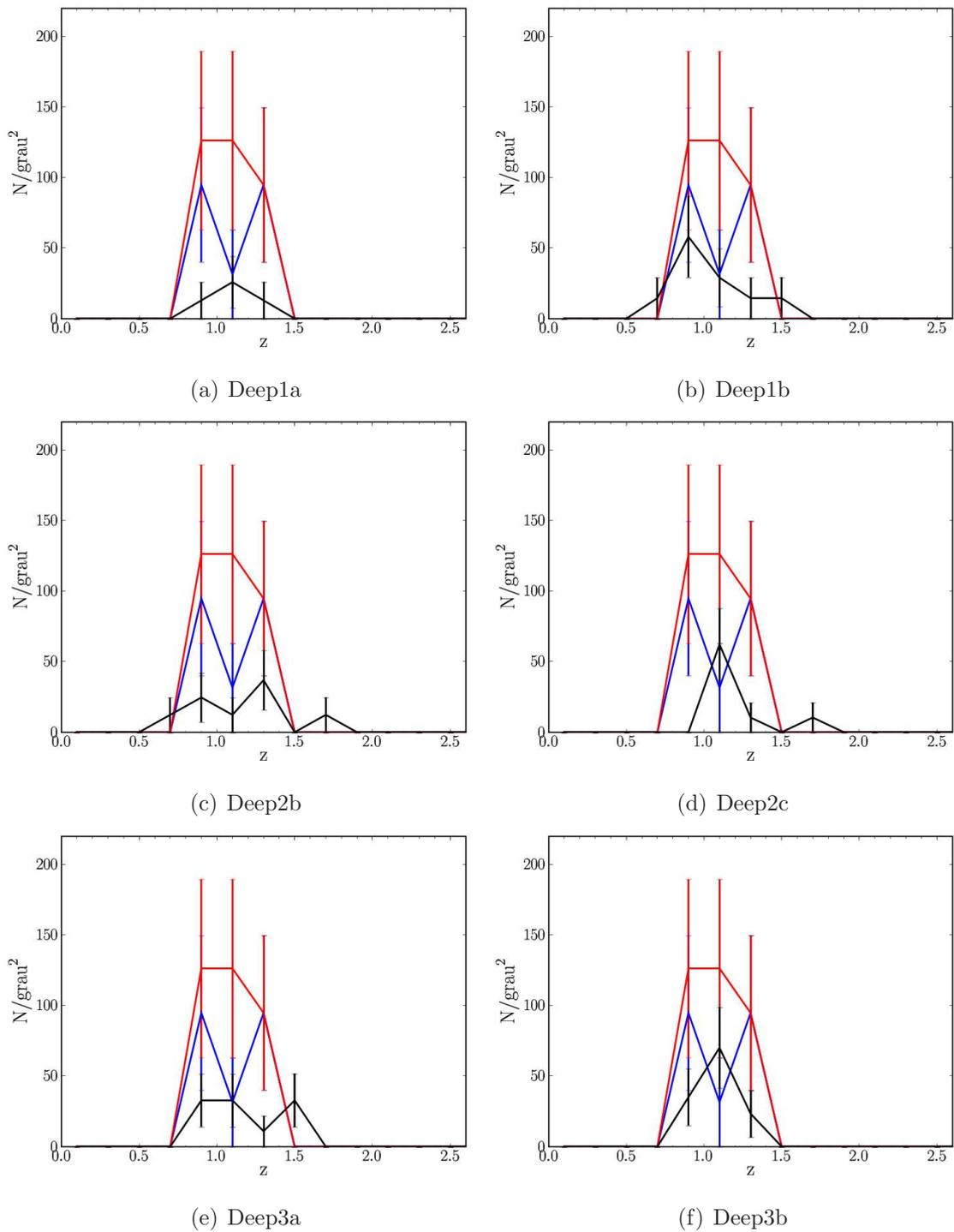


Figura 4.23: Distribuição de *redshift* fotométrico (óptico + IR) de amostras de EROs de população estelar velha para cada campo do DPS (em preto). Dados da literatura: Miyazaki et al. (2003), em vermelho para objetos que foram selecionados pelo critério do artigo, e em azul para os selecionados pela relação de Pozzetti e Mannucci. Todos erros são poissônicos.

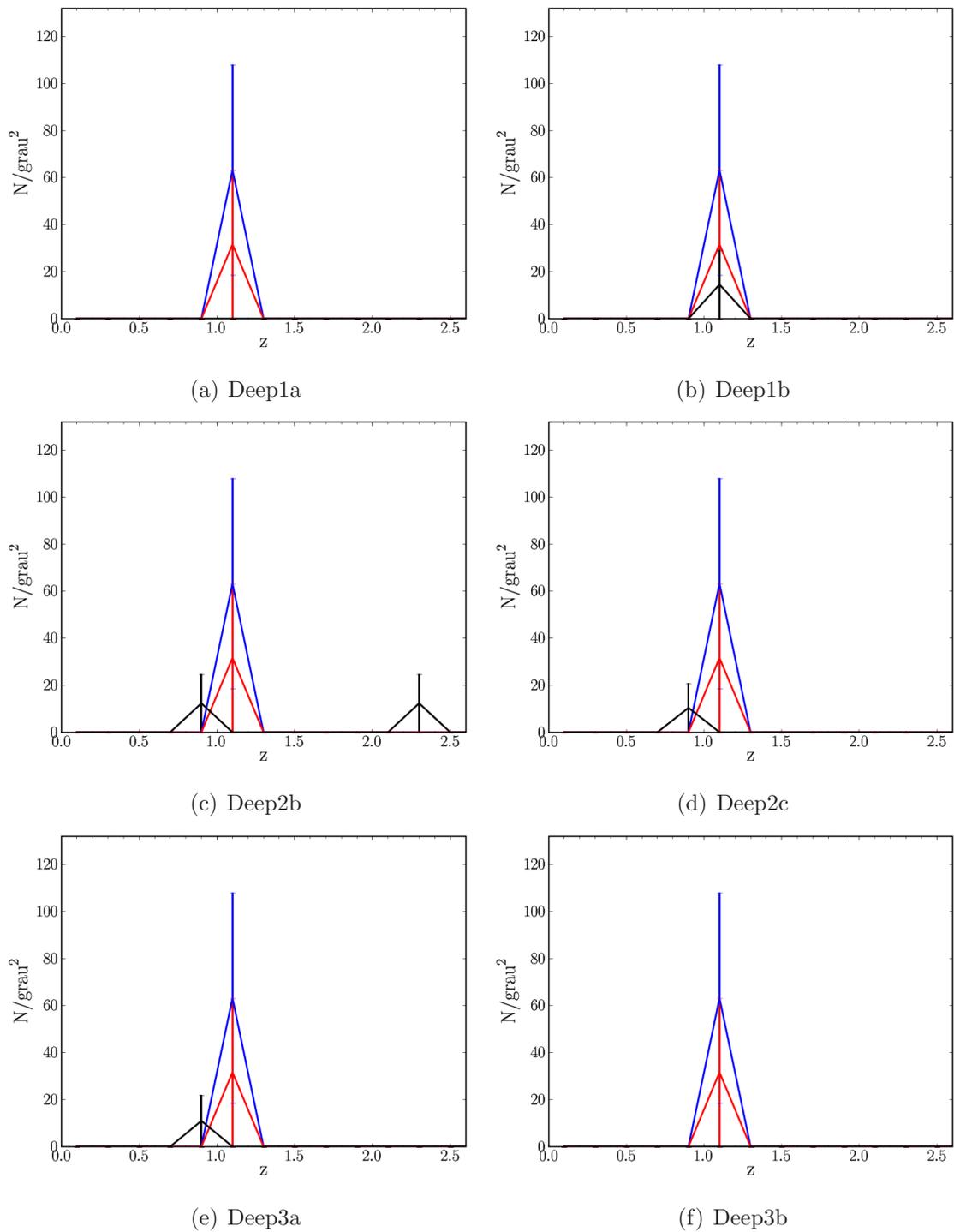


Figura 4.24: Distribuição de *redshift* fotométrico (óptico + K) de amostras de EROs *starburst* para cada campo do DPS (em preto). Dados da literatura: Miyazaki et al. (2003), em vermelho para objetos que foram selecionados pelo critério do artigo, e em azul para os selecionados pela relação de Pozzetti e Mannucci. Todos erros são poissônicos.

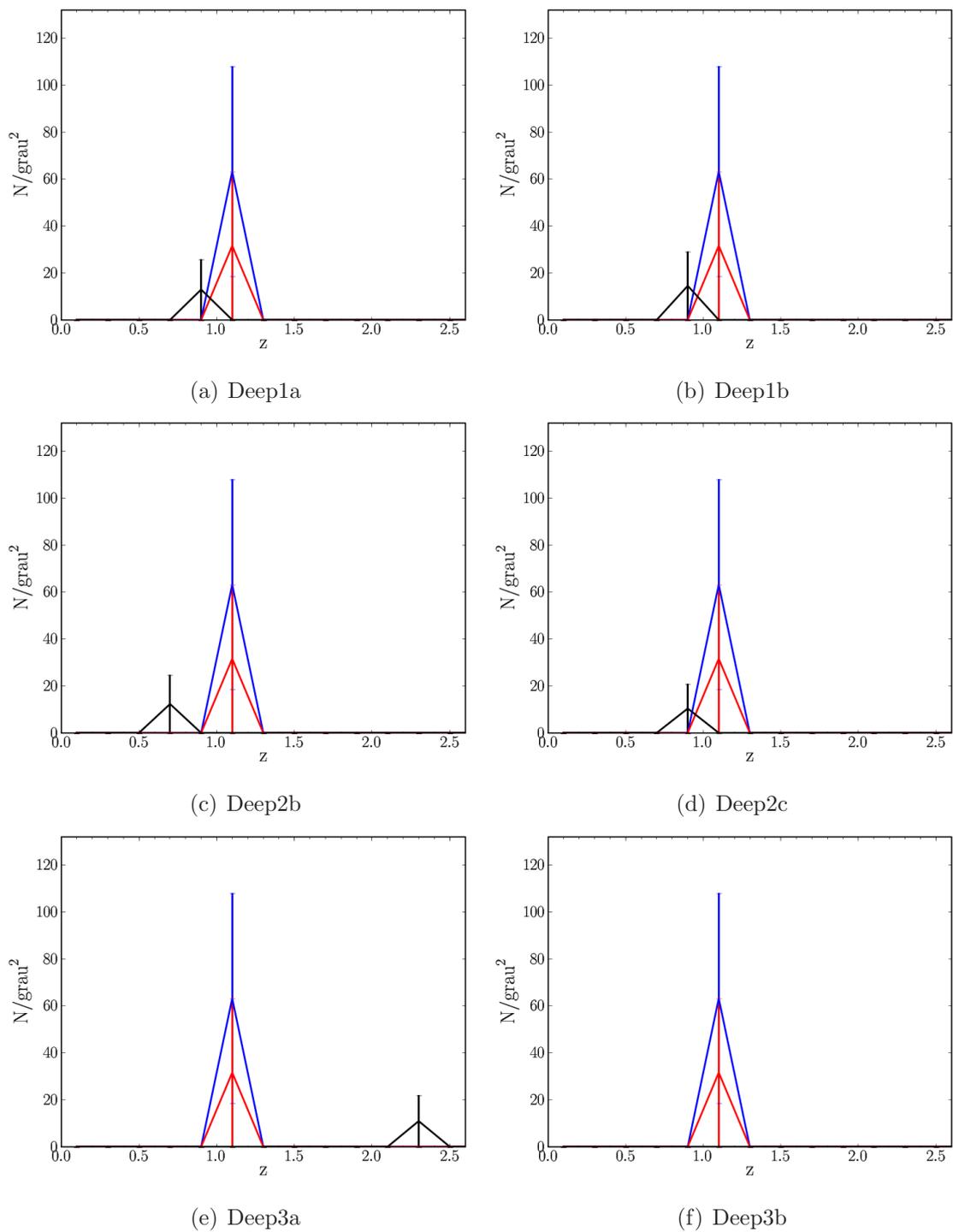


Figura 4.25: Distribuição de *redshift* fotométrico (óptico + IR) de amostras de EROs *starburst* para cada campo do DPS (em preto). Dados da literatura: Miyazaki et al. (2003), em vermelho para objetos que foram selecionados pelo critério do artigo, e em azul para os selecionados pela relação de Pozzetti e Mannucci. Todos erros são poissônicos.

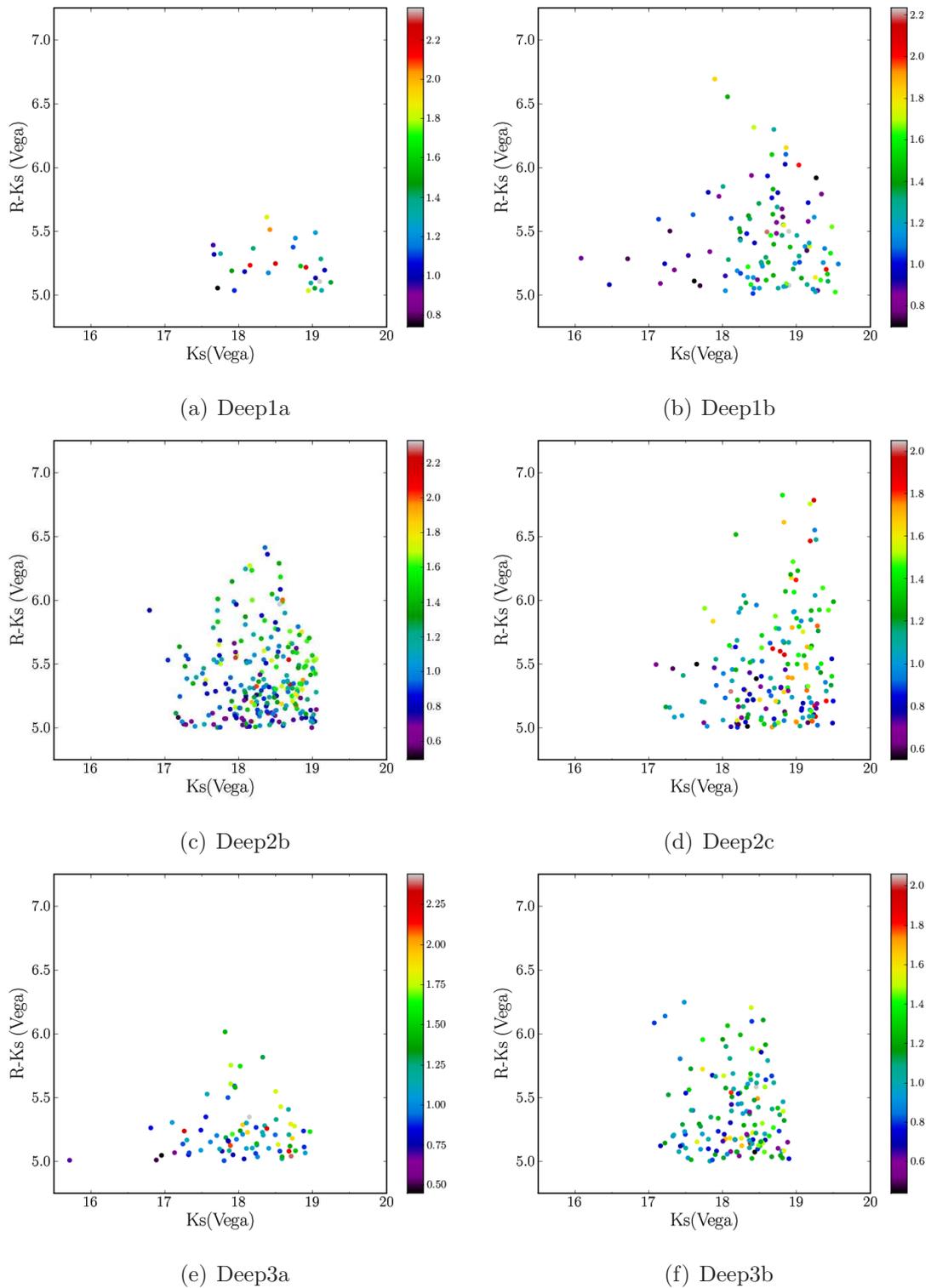


Figura 4.26: Diagramas cor-magnitude de EROs para cada campo do DPS. As cores indicam os *redshifts* dos objetos (óptico + K).

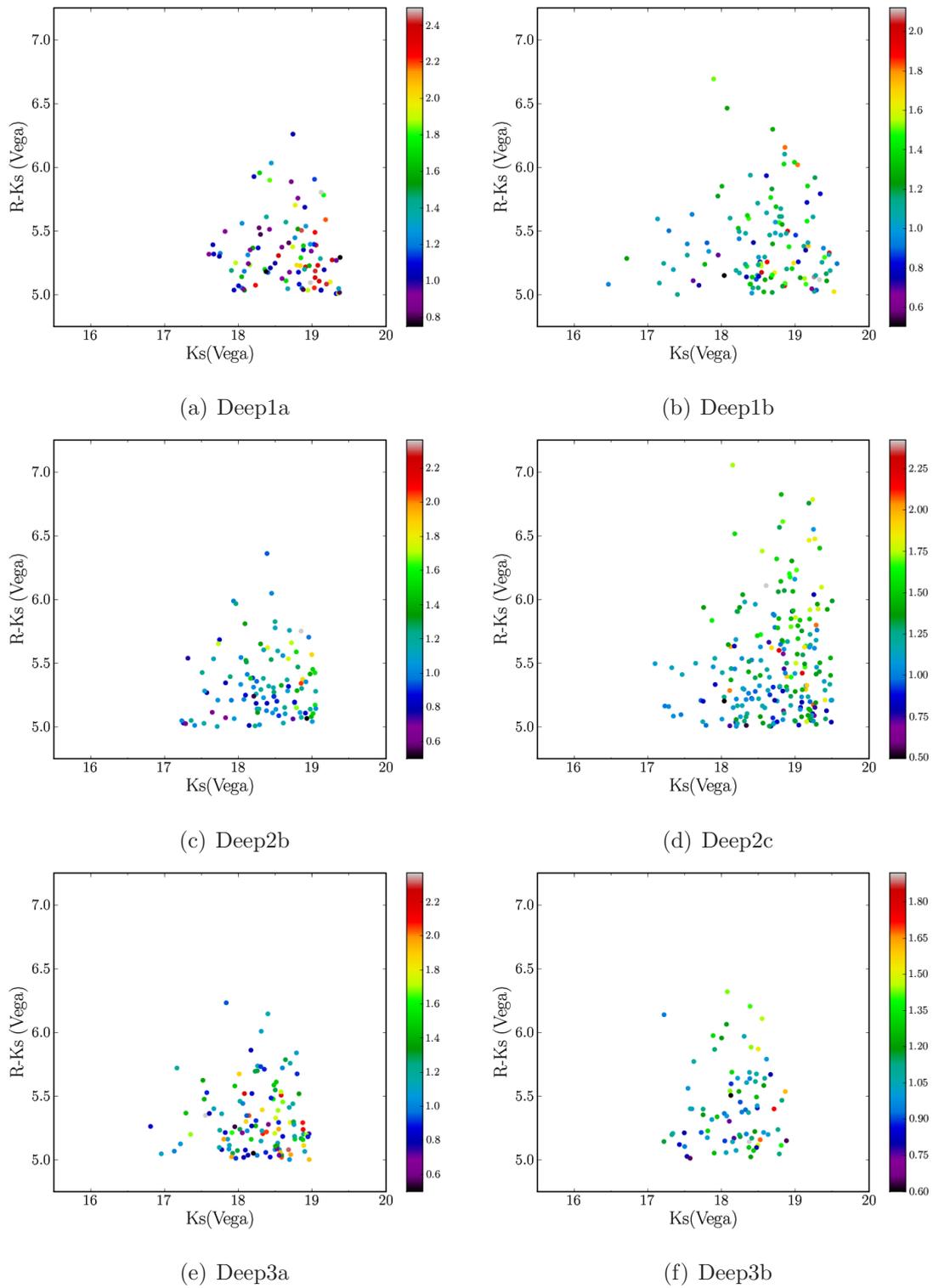


Figura 4.27: Diagramas cor-magnitude EROs para cada campo do DPS. As cores indicam os *redshifts* dos objetos (óptico + IR).

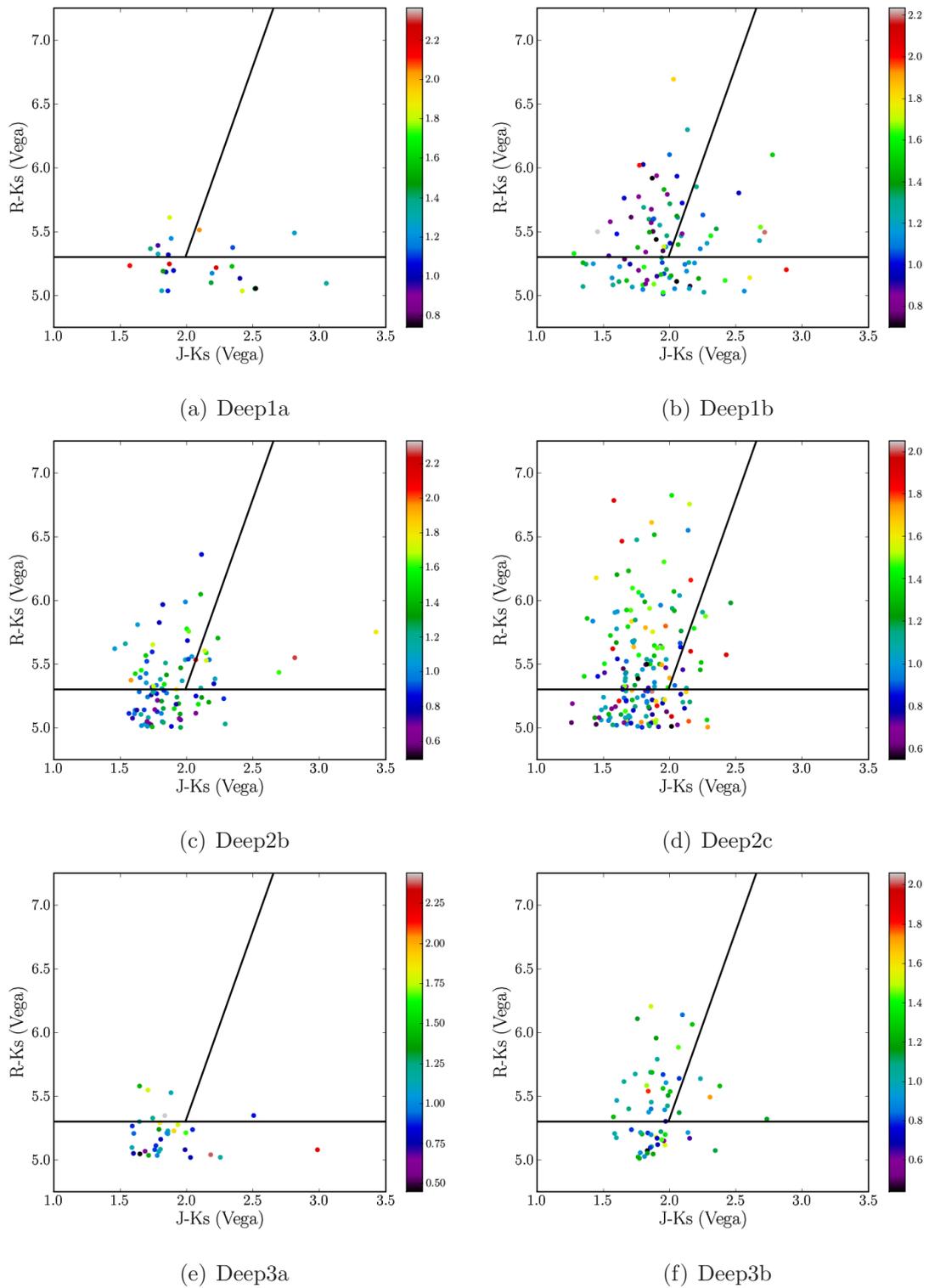


Figura 4.28: Diagramas cor-cor de EROs para cada campo do DPS. As cores indicam os *redshifts* dos objetos (óptico + K). As retas contínuas representam os limites da relação que define as duas populações de EROs (a reta horizontal indica $(R - K)_{Vega} > 5.3$).

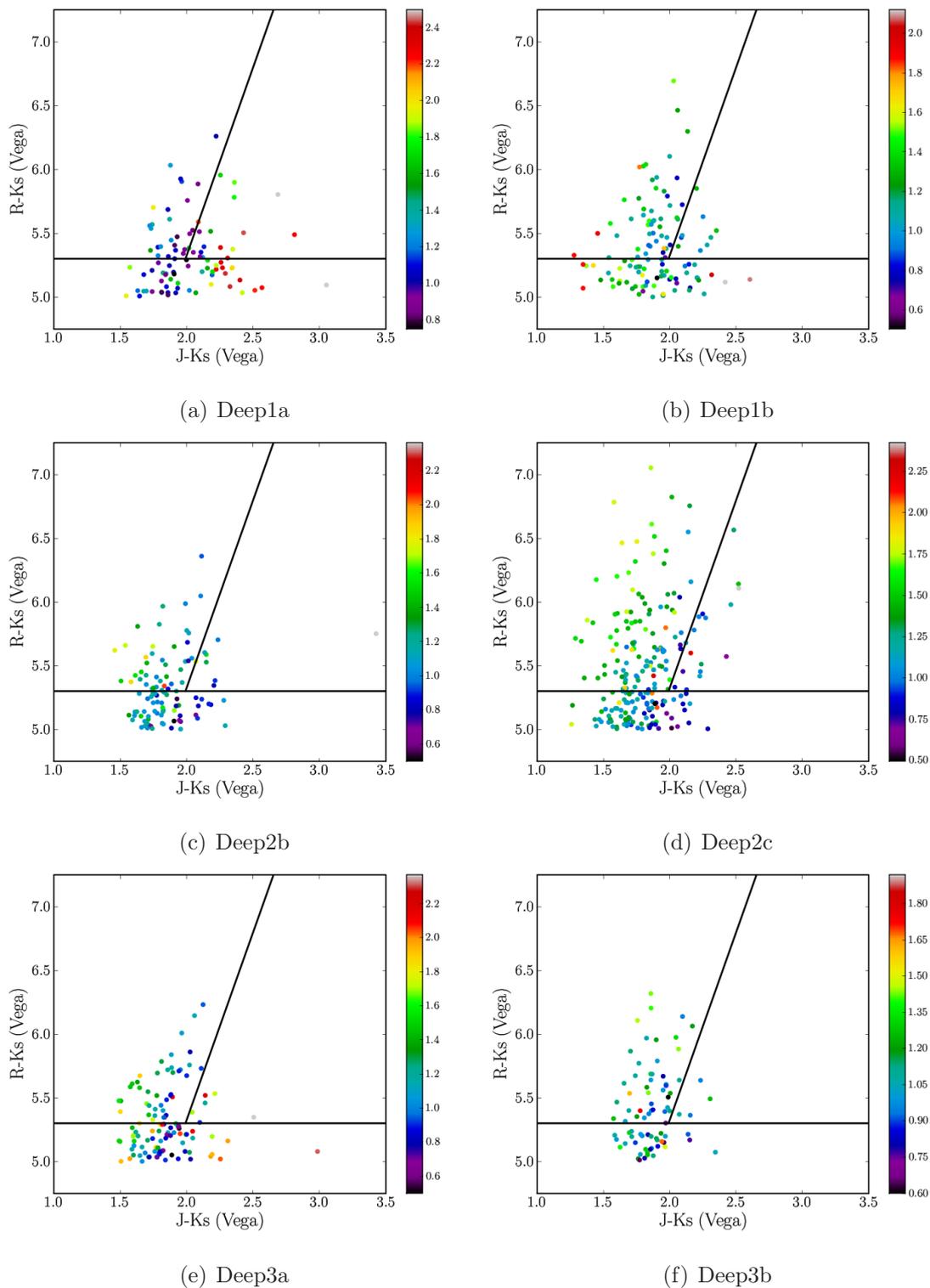
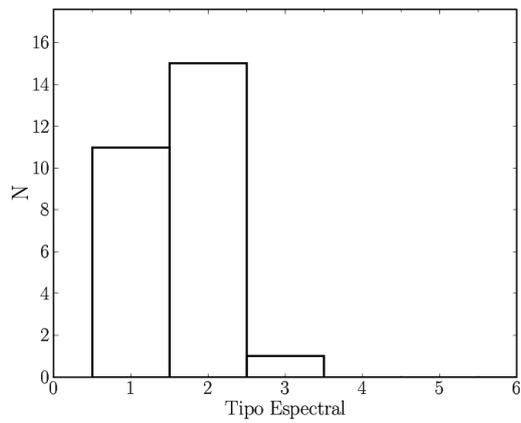


Figura 4.29: Diagramas cor-cor de EROs para cada campo do DPS. As cores indicam os *redshifts* dos objetos (óptico + IR). As retas contínuas representam os limites da relação que define as duas populações de EROs (a reta horizontal indica $(R - K)_{Vega} > 5.3$).

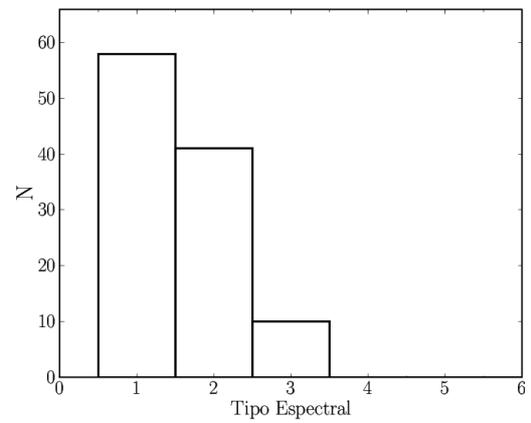
4.2.3 Outro Critério de Seleção

Até aqui foi utilizado o método de separação dos dois tipos de EROs levando em conta a relação de Pozzetti e Mannucci. No entanto, além de *redshift* fotométrico, os programas Hyperz e Le Phare também fornecem outras características, como idade, extinção A_v e tipo espectral do SED que melhor se ajustou aos dados. De posse dessas informações espectrais, julgamos interessante avaliar outro possível critério de seleção, considerando as propriedades que esperamos que cada tipo de EROs tenha.

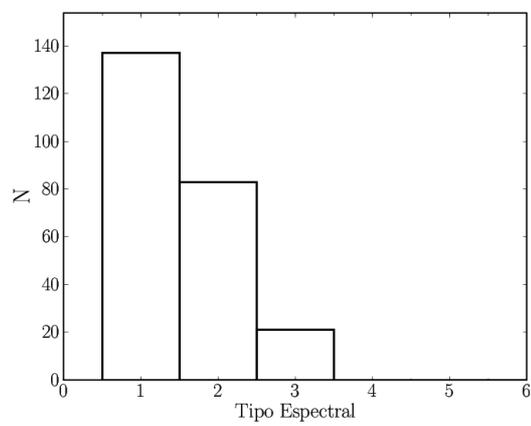
Consideramos classificar EROs através de uma composição de critérios com base nos valores de A_v e idade fornecidos pelos programas. Porém, devido a maiores incertezas associadas a esses parâmetros (Babbedge et al., 2005), uma vez que códigos como o Hyperz e o Le Phare estão otimizados para estimar *redshifts* fotométricos, julgamos mais apropriado classificar os objetos a partir de seu melhor tipo espectral ajustado: EROs compostos por população estelar velha foram selecionados pelos tipos *Burst* (representando no caso do Hyperz, um único evento de formação estelar) e Elíptica, enquanto os *starburst* foram selecionados pelos tipos mais tardios. As figuras 4.30 e 4.31 mostram o número de objetos que cada tipo apresenta nas amostras de EROs em geral dos campos do DPS, lembrando que os números de 1 a 5 representam, nessa ordem, um *Burst*, E, Sa, Sc e Im. Infelizmente, proporções similares a essas (um número maior de tipos 1 e 2) também estão presentes nas amostras de galáxias do DPS, o que vai contra o esperado. Parece haver uma tendência do Hyperz de classificar mais objetos com os tipos 1 e 2 do que de fato são, de acordo com resultados apresentados por simulações em Bolzonella et al. (2000). A razão disso é, segundo esse trabalho, a degenerescência entre os parâmetros fornecidos como entrada do código, entre eles as SEDs, idades e A_v , assim como a falta de resolução espectral já que fazemos o ajuste com base em fotometria de banda larga. No entanto, como parece que os tipos mais *early* de galáxias são identificados corretamente, demos prosseguimento a uma análise dos EROs que receberam essas classificações.



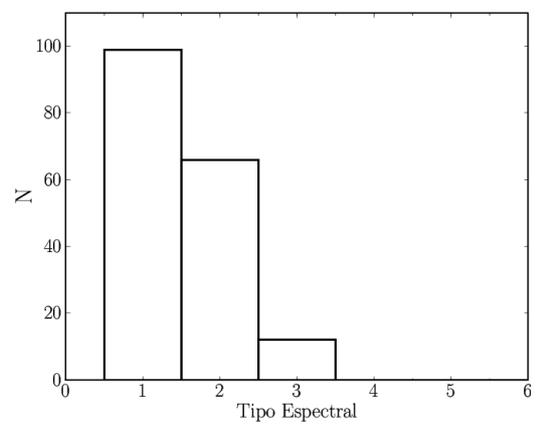
(a) Deep1a



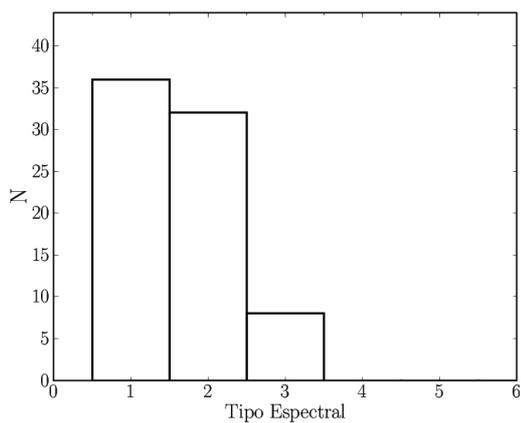
(b) Deep1b



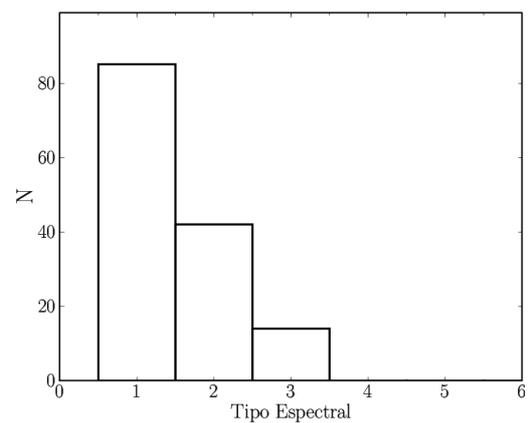
(c) Deep2b



(d) Deep2c



(e) Deep3a



(f) Deep3b

Figura 4.30: Histogramas de tipos morfológicos de EROs para cada campo do DPS (óptico + K).

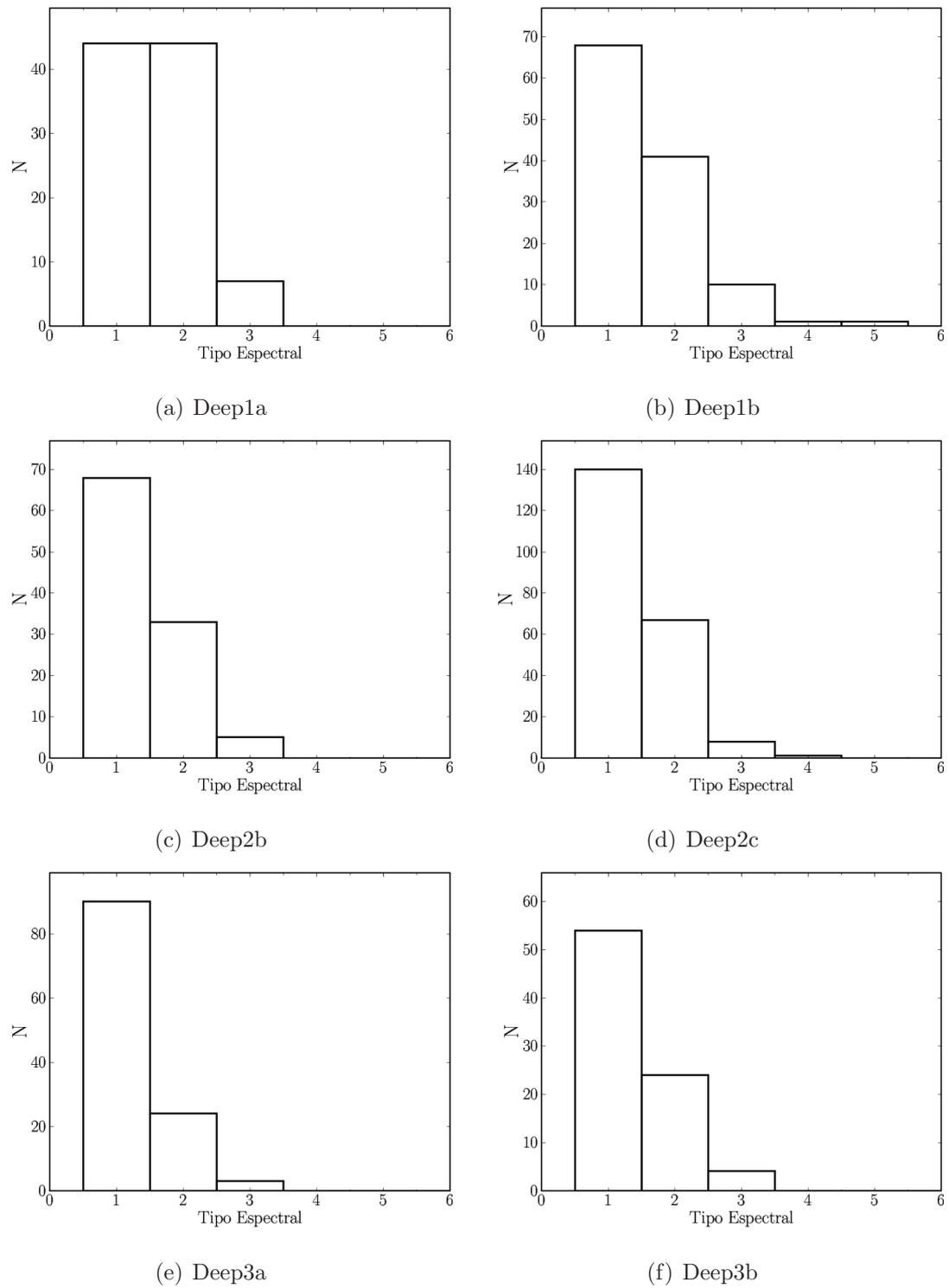


Figura 4.31: Histogramas de tipos morfológicos de EROs para cada campo do DPS (óptico + IR).

Avaliamos a distribuição de tipos morfológicos dos 2 tipos de EROs definidos pela relação de Pozzetti e Mannucci, definidos na seção anterior. Notamos que a maior parte dos de população velha tiveram como melhores ajustes os tipos *Burst* e Elíptica (com algumas poucas exceções e em alguns campos apenas). Já os *starburst* apresentam todos os tipos, mas ainda com uma predominância de *Burst* e Elíptica. Isto é compreensível, visto que na amostra de EROs em geral, a grande maioria dos objetos foram assim classificados. Deve-se destacar que a própria relação de Pozzetti e Mannucci apresenta um certo grau de contaminação nas duas famílias de objetos que ela pretende separar, conforme mencionado anteriormente.

Além disso, uma vantagem de substituir essa relação pela classificação morfológica é que enquanto a primeira usa um critério de apenas duas cores, a classificação segundo programas de ajuste de *templates* pode se basear em um número maior de cores e fica, portanto, menos sujeita a erros. Outro ponto positivo é não precisar de observações na banda J, o que no caso do DPS em particular implica no aumento do número de objetos. Isso fica claro ao se comparar os dados nas tabelas 4.9 e 4.10 com os da tabela 4.11.

Como mostra a tabela 4.11, no caso dos EROs *starburst* existem poucos objetos que tenham recebido essa mesma classificação em ambos os métodos. Já quase todos (ou até todos, para alguns campos) os EROs de população velha, assim classificados pela relação de Pozzetti e Mannucci (tabela 4.9), recebem a mesma classificação por esse outro método aqui descrito.

Vale ressaltar que independentemente do método e do campo é interessante o fato de que existe sempre um número maior de EROs classificados como possuidores de uma população estelar velha.

As densidades diferenciais dessas novas sub-amostras de população velha (figuras 4.32 e 4.33) também apresentam bons resultados quando comparadas com dados da literatura, e, novamente as de *starburst* (figuras 4.34 e 4.35) contêm poucos objetos para se fazer uma avaliação.

Tabela 4.11: Números e densidades (por grau quadrado) de EROs com *redshifts* calculados pelo Hyperz para todas as combinações de campos e contextos (o índice *lim* significa que foi aplicando o corte $K_{Vega} \leq 18.0$). A classificação nessas sub-amostras foi baseada no tipo melhor ajustado pelo Hyperz. As duas últimas colunas são os números de objetos em comum nos dois tipos de classificação.

Campo	PV	PV/(°) ²	PV _{lim}	PV _{lim} /(°) ²	SB	SB/(°) ²	SB _{lim}	SB _{lim} /(°) ²	PV _{comum}	SB _{comum}
Deep1a (Opt+K)	26	333.18	6	76.89	1	12.81	0	0.00	6	0
Deep1a (Opt+IR)	88	1137.36	8	103.40	7	90.47	1	12.92	27	1
Deep1b (Opt+K)	99	1255.93	14	177.61	10	126.86	2	25.37	39	1
Deep1b (Opt+IR)	109	1582.00	18	261.25	12	174.17	1	14.51	50	4
Deep2b (Opt+K)	220	1269.04	56	323.03	21	121.14	5	28.84	34	1
Deep2b (Opt+IR)	101	1241.99	22	270.53	5	61.48	1	12.30	42	1
Deep2c (Opt+K)	165	1712.20	17	176.41	12	124.52	0	0.00	87	0
Deep2c (Opt+IR)	207	2148.04	16	166.03	9	93.39	1	10.38	108	2
Deep3a (Opt+K)	68	399.63	32	188.06	8	47.02	2	11.75	5	0
Deep3a (Opt+IR)	114	1244.32	30	327.45	3	32.75	0	0.00	40	1
Deep3b (Opt+K)	127	791.29	36	224.30	14	87.23	5	31.15	27	0
Deep3b (Opt+IR)	78	910.94	22	256.93	4	46.71	1	11.68	42	2

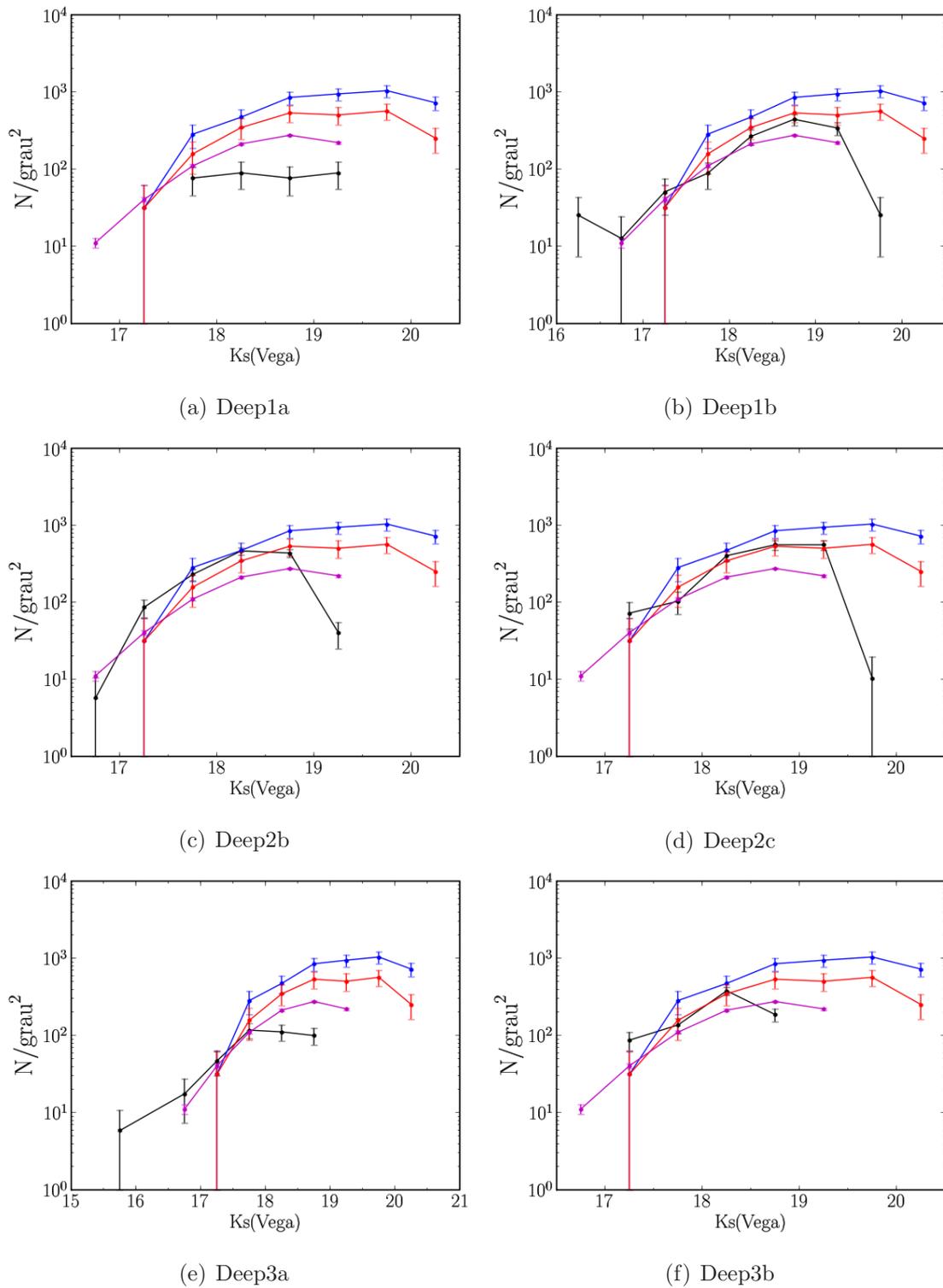


Figura 4.32: Densidade diferencial de EROs de população velha em função da magnitude K para campos do DPS (em preto, óptico + K). Os erros apresentados são poissônicos. Dados da literatura sobrepostos: em rosa (Elston et al., 2006), em vermelho e em azul (Miyazaki et al., 2003), seguindo respectivamente as classificações de Pozzetti e Mannucci, e dos próprios autores.

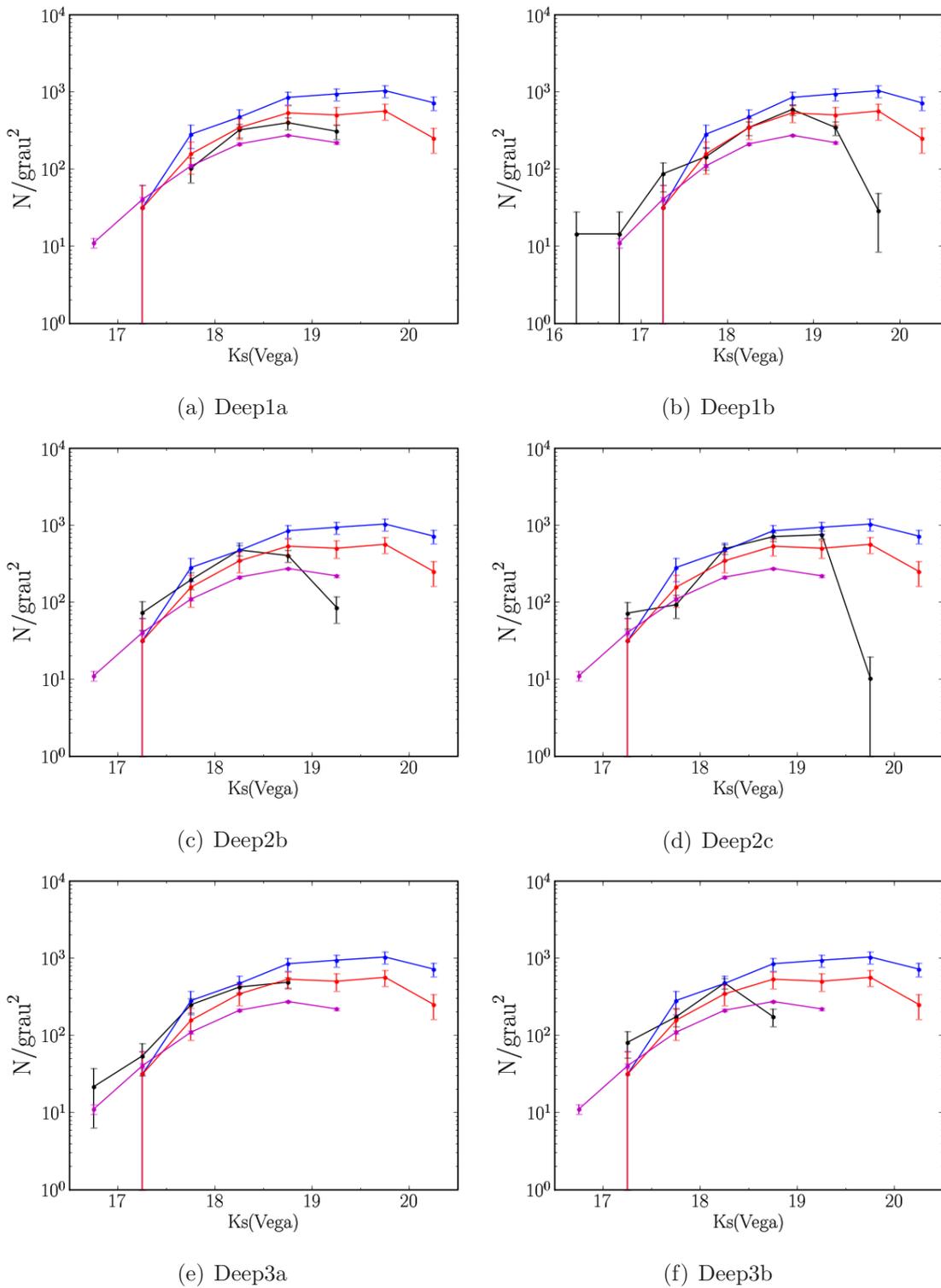


Figura 4.33: Densidade diferencial de EROs de população velha em função da magnitude K para campos do DPS (em preto, óptico + IR). Os erros apresentados são poissônicos. Dados da literatura sobrepostos: em rosa (Elston et al., 2006), em vermelho e em azul (Miyazaki et al., 2003), seguindo respectivamente as classificações de Pozzetti e Mannucci, e dos próprios autores.

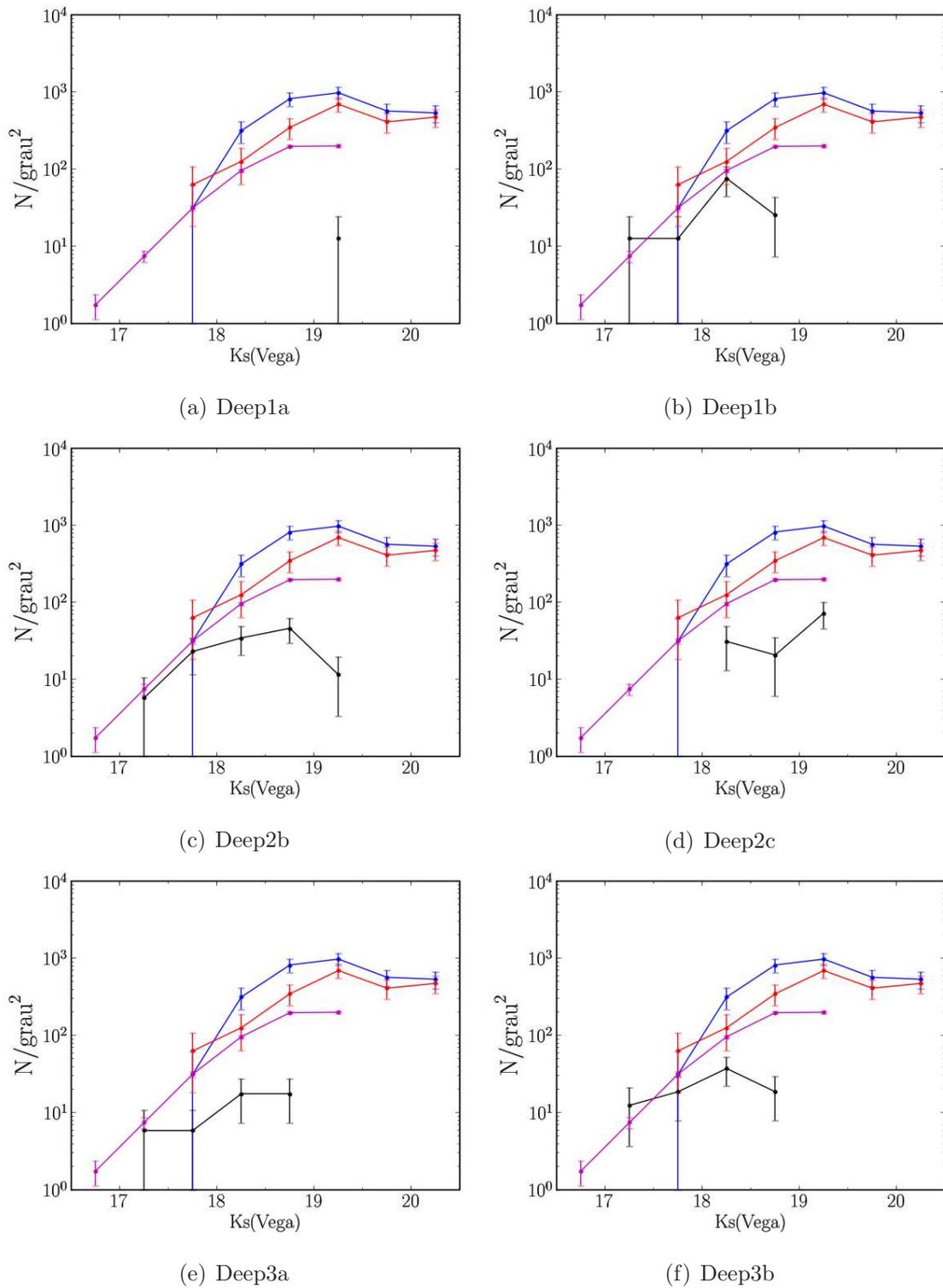


Figura 4.34: Densidade diferencial de EROs *starburst* em função da magnitude K para campos do DPS (em preto, óptico + K). Os erros apresentados são poissônicos. Dados da literatura sobrepostos: em rosa (Elston et al., 2006), em vermelho e em azul (Miyazaki et al., 2003), seguindo respectivamente as classificações de Pozzetti e Mannucci, e dos próprios autores.

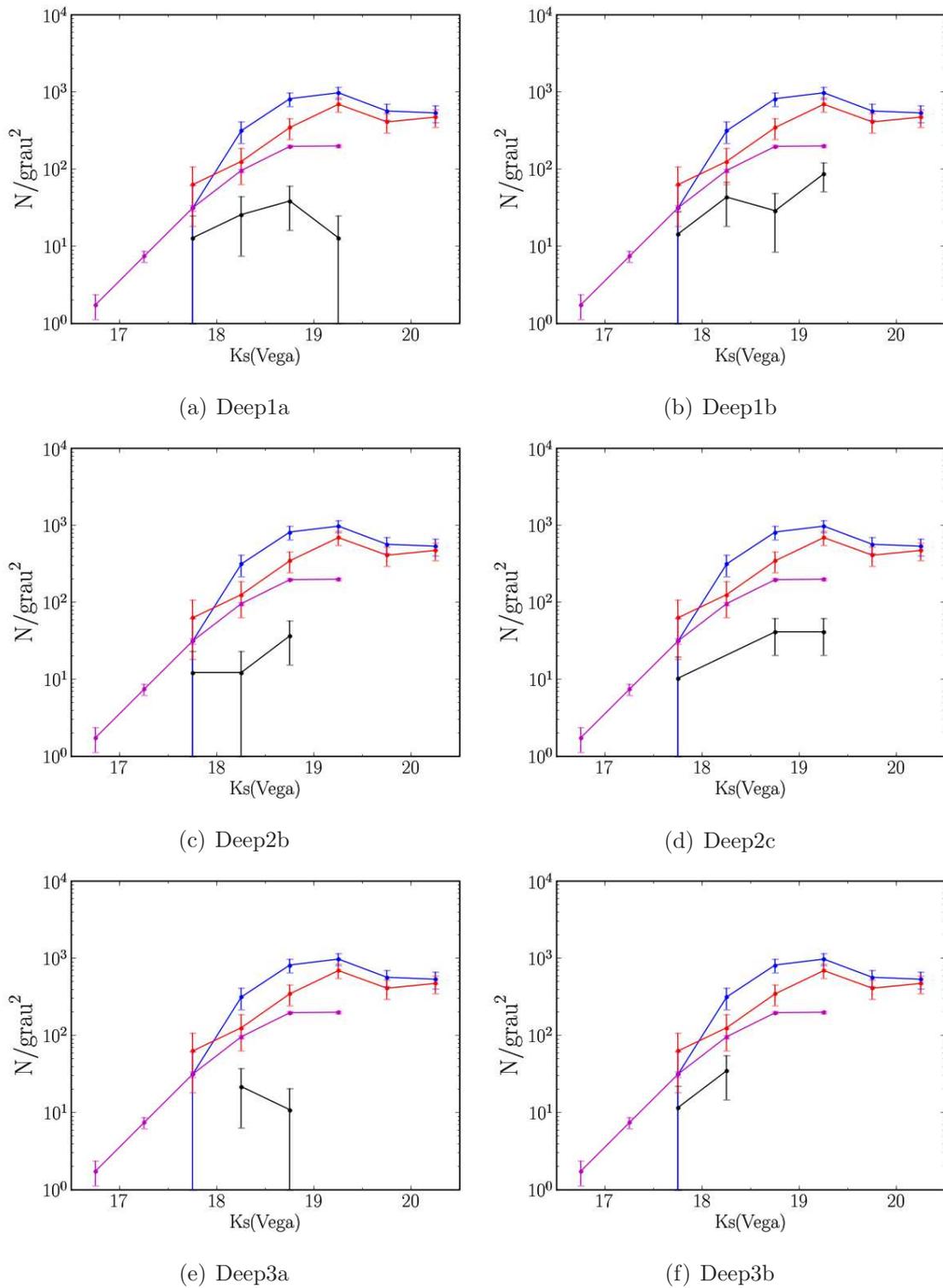


Figura 4.35: Densidade diferencial de EROs *starburst* em função da magnitude K para campos do DPS (em preto, óptico + IR). Os erros apresentados são poissônicos. Dados da literatura sobrepostos: em rosa (Elston et al., 2006), em vermelho e em azul (Miyazaki et al., 2003), seguindo respectivamente as classificações de Pozzetti e Mannucci, e dos próprios autores.

Examinamos também as distribuições em (R-K) x (J-K) (figuras 4.36, 4.37, 4.38 e 4.39), onde pode ser visto que para $(R - K) > 5.3$ a grande maioria dos EROs de população velha classificados pelo tipo morfológico se encontra na região esperada pela relação de Pozzetti e Mannucci, apesar de um bom número se localizar abaixo desse limite.

Verificamos também as distribuições em (R-K) x K, que para os EROs *starburst*, apesar de seu baixo número, quase sempre permanecem em $(R - K) < 5.5$, em alguns campos alcançando no máximo $(R - K) = 6.0$. Enquanto que a região de $(R - K) > 6.0$ é povoada apenas pelos de população velha, embora não seja grande o número de objetos aí localizados (como se pode ver nas figuras 4.26 e 4.27).

Finalmente, os histogramas de *redshifts* dessas novas sub-amostras de EROs são mostrados nas figuras 4.40, 4.41, 4.42 e 4.43 para os diferentes contextos, com as médias e medianas de z e de seus erros disponíveis nas tabelas 4.12 e 4.13. As versões normalizadas pela área e comparadas com outros autores (portanto apresentando apenas objetos com $K_{Vega} \leq 18.0$) seguem nas figuras 4.44, 4.45, 4.46 e 4.47.

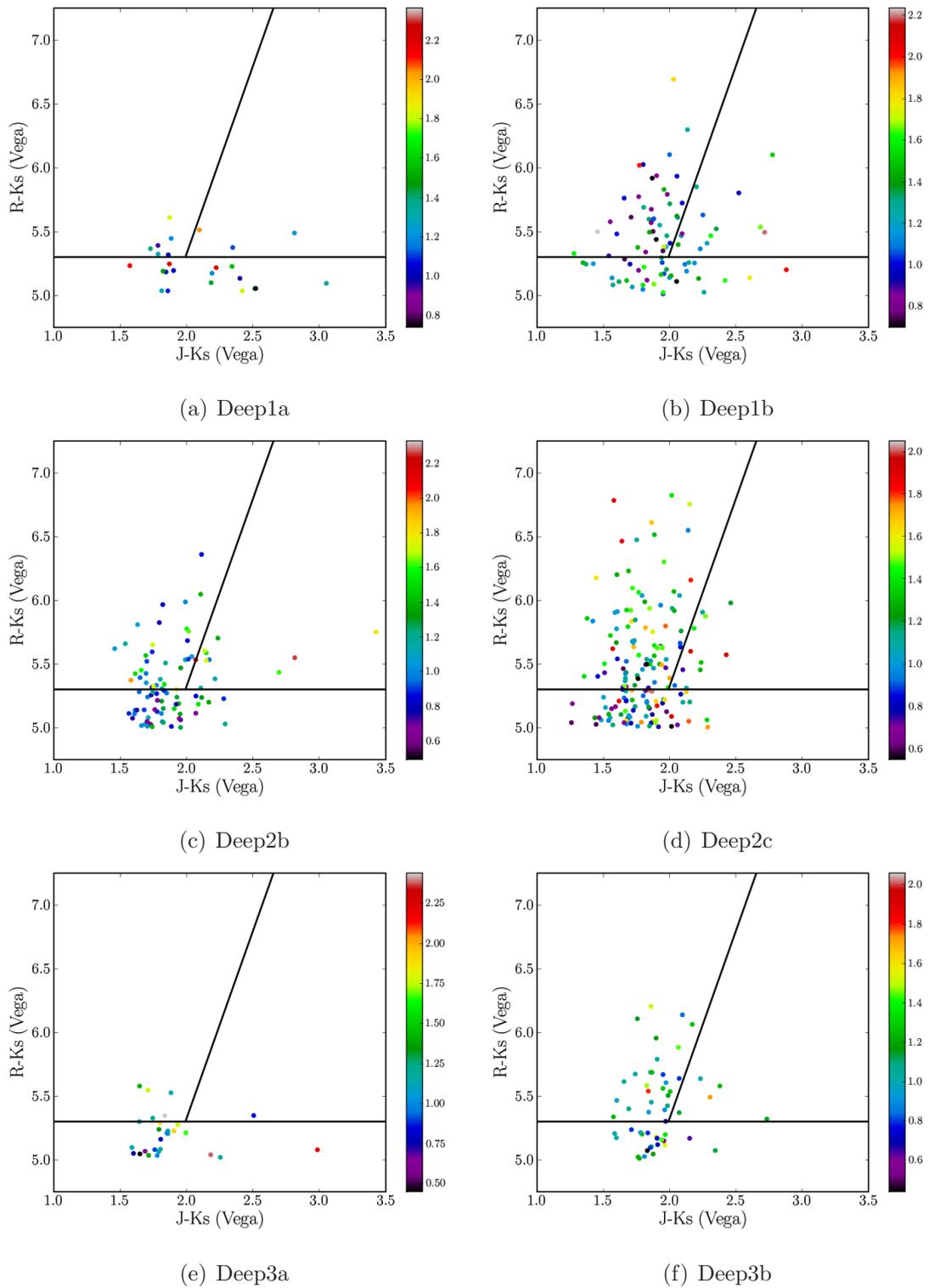


Figura 4.36: Diagramas cor-cor de EROs de população velha para cada campo do DPS. As cores indicam os *redshifts* dos objetos (óptico + K). As retas contínuas representam os limites da relação que define as duas populações de EROs (a reta horizontal indica $(R - K)_{Vega} > 5.3$).

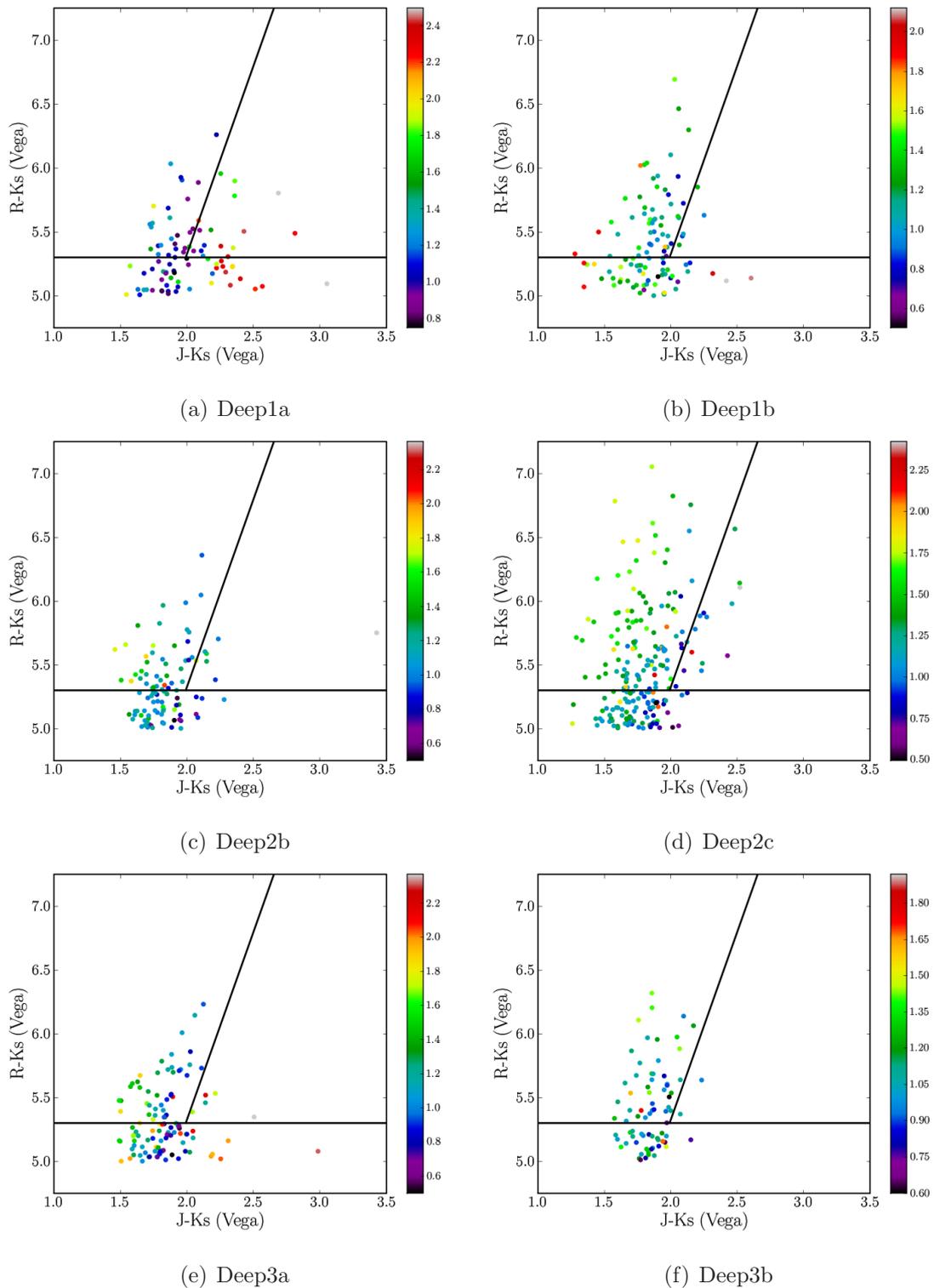


Figura 4.37: Diagramas cor-cor de EROs de população velha para cada campo do DPS. As cores indicam os *redshifts* dos objetos (óptico + IR). As retas contínuas representam os limites da relação que define as duas populações de EROs (a reta horizontal indica $(R - K)_{Vega} > 5.3$).

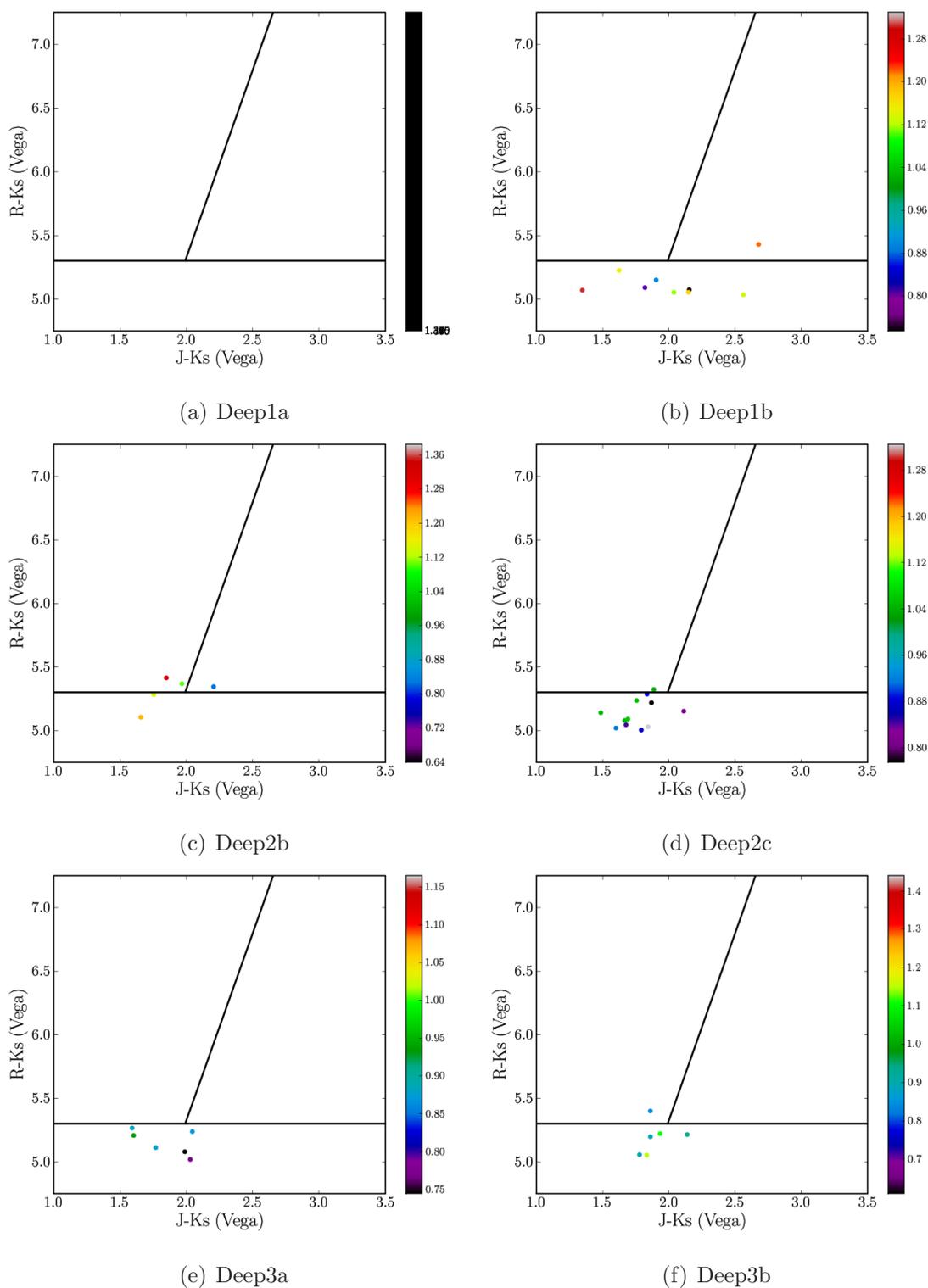


Figura 4.38: Diagramas cor-cor de EROs *starburst* para cada campo do DPS. As cores indicam os *redshifts* dos objetos (óptico + K). As retas contínuas representam os limites da relação que define as duas populações de EROs (a reta horizontal indica $(R - K)_{Vega} > 5.3$).

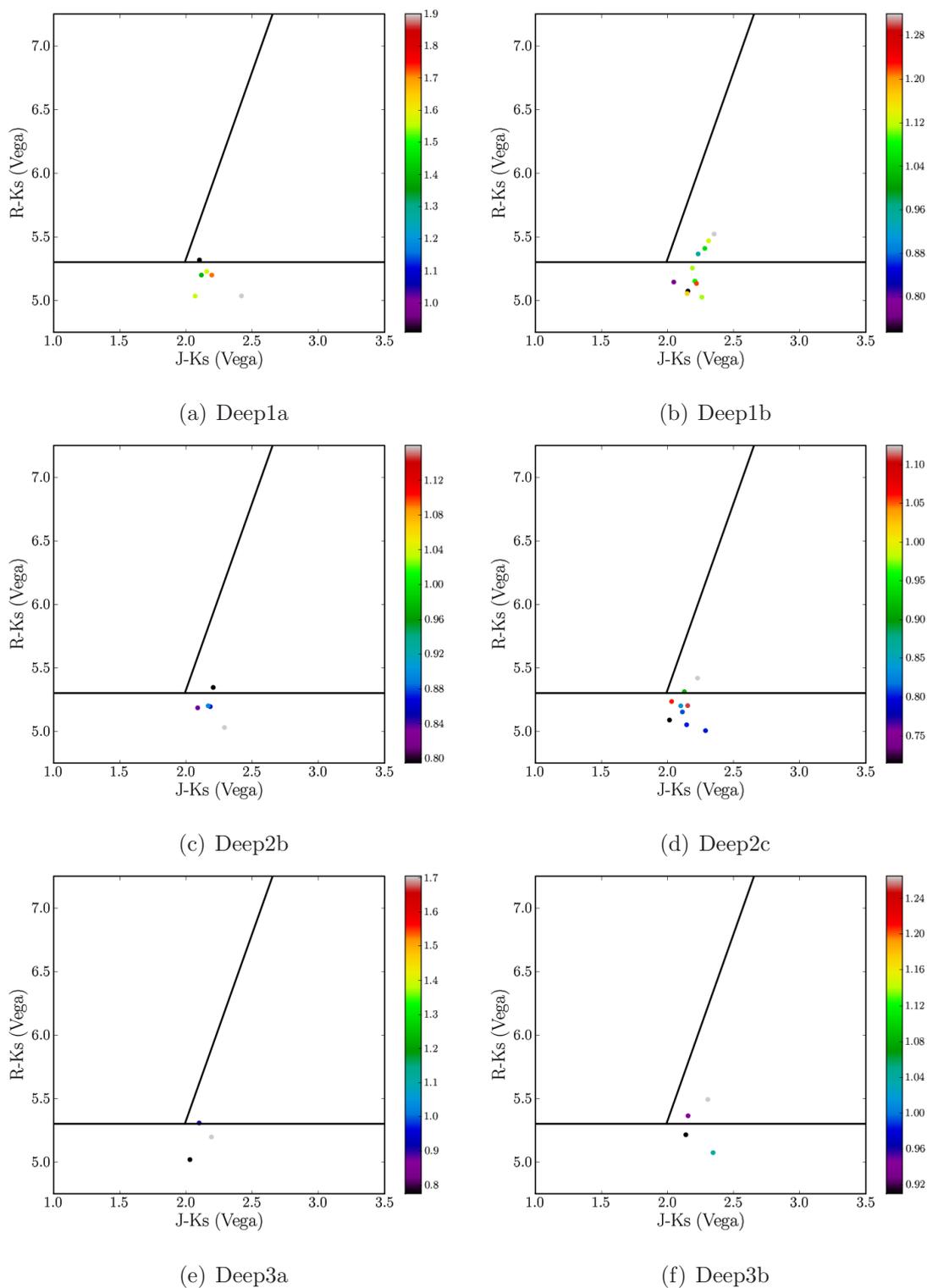


Figura 4.39: Diagramas cor-cor de EROs *starburst* para cada campo do DPS. As cores indicam os *redshifts* dos objetos (óptico + IR). As retas contínuas representam os limites da relação que define as duas populações de EROs (a reta horizontal indica $(R - K)_{Vega} > 5.3$).

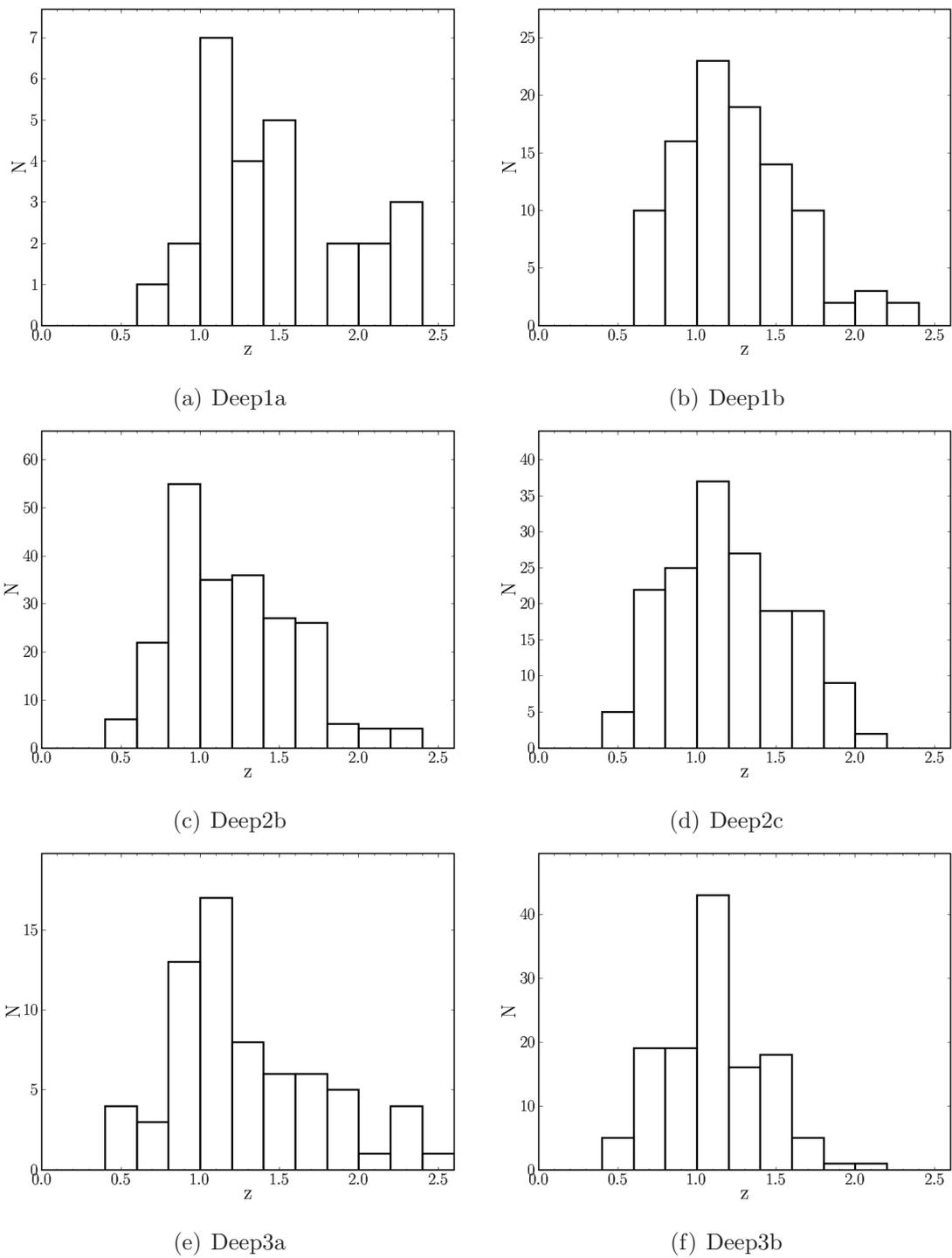


Figura 4.40: Distribuição de *redshift* fotométrico (óptico + K) de amostras de EROs de população velha para cada campo analisado.

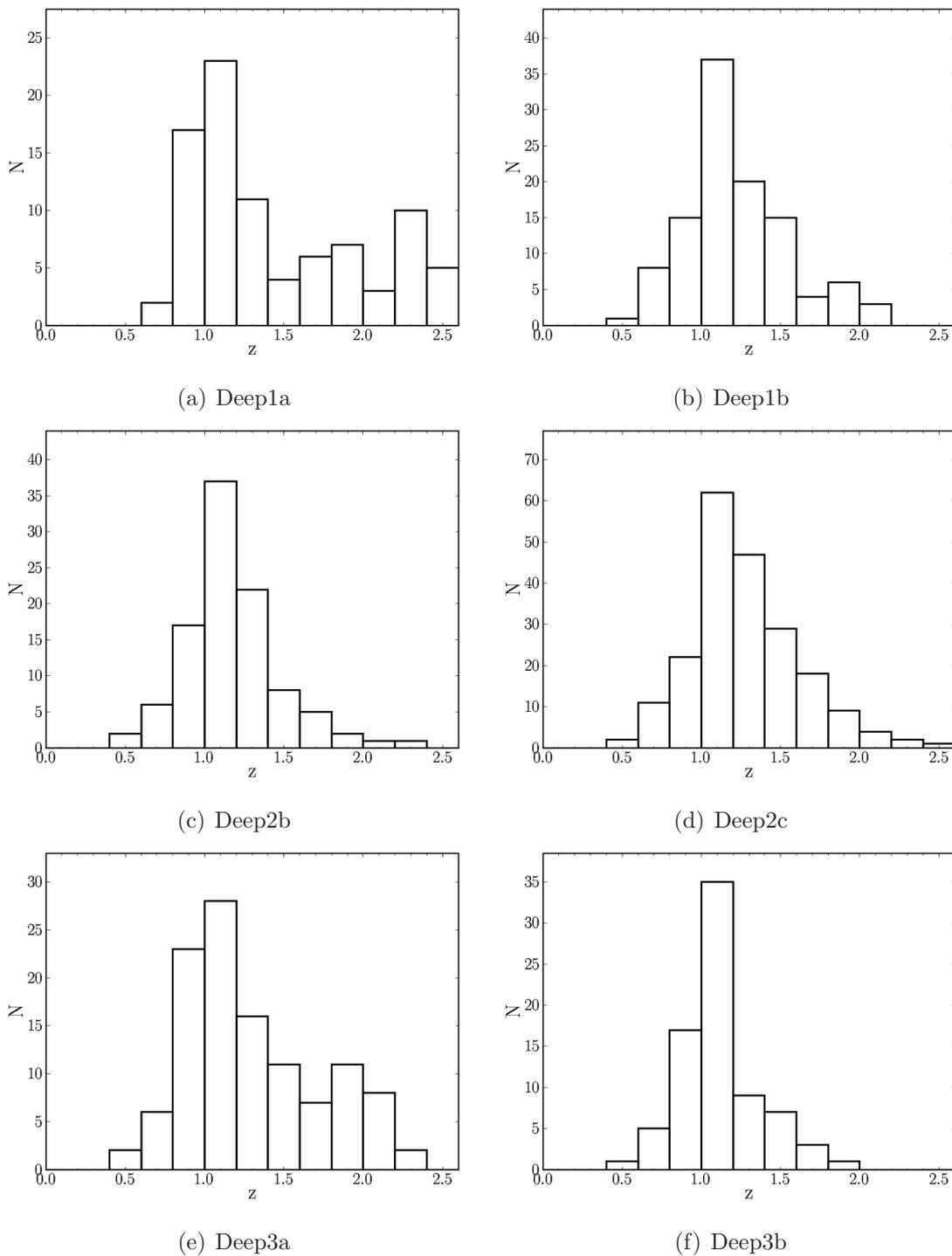


Figura 4.41: Distribuição de *redshift* fotométrico (óptico + IR) de amostras de EROs de população velha para cada campo analisado.

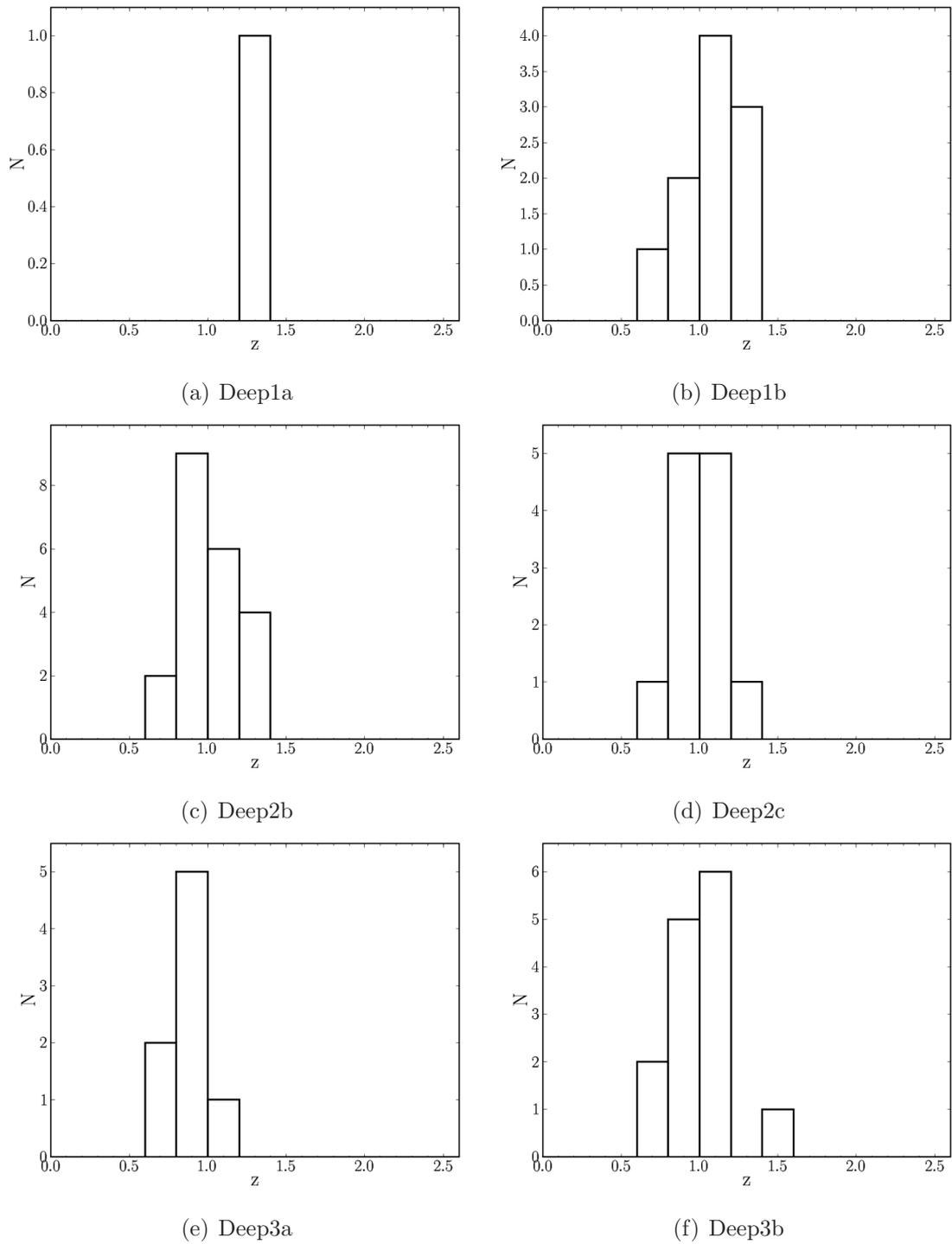


Figura 4.42: Distribuição de *redshift* fotométrico (óptico + K) de amostras de EROs *starburst* para cada campo analisado.

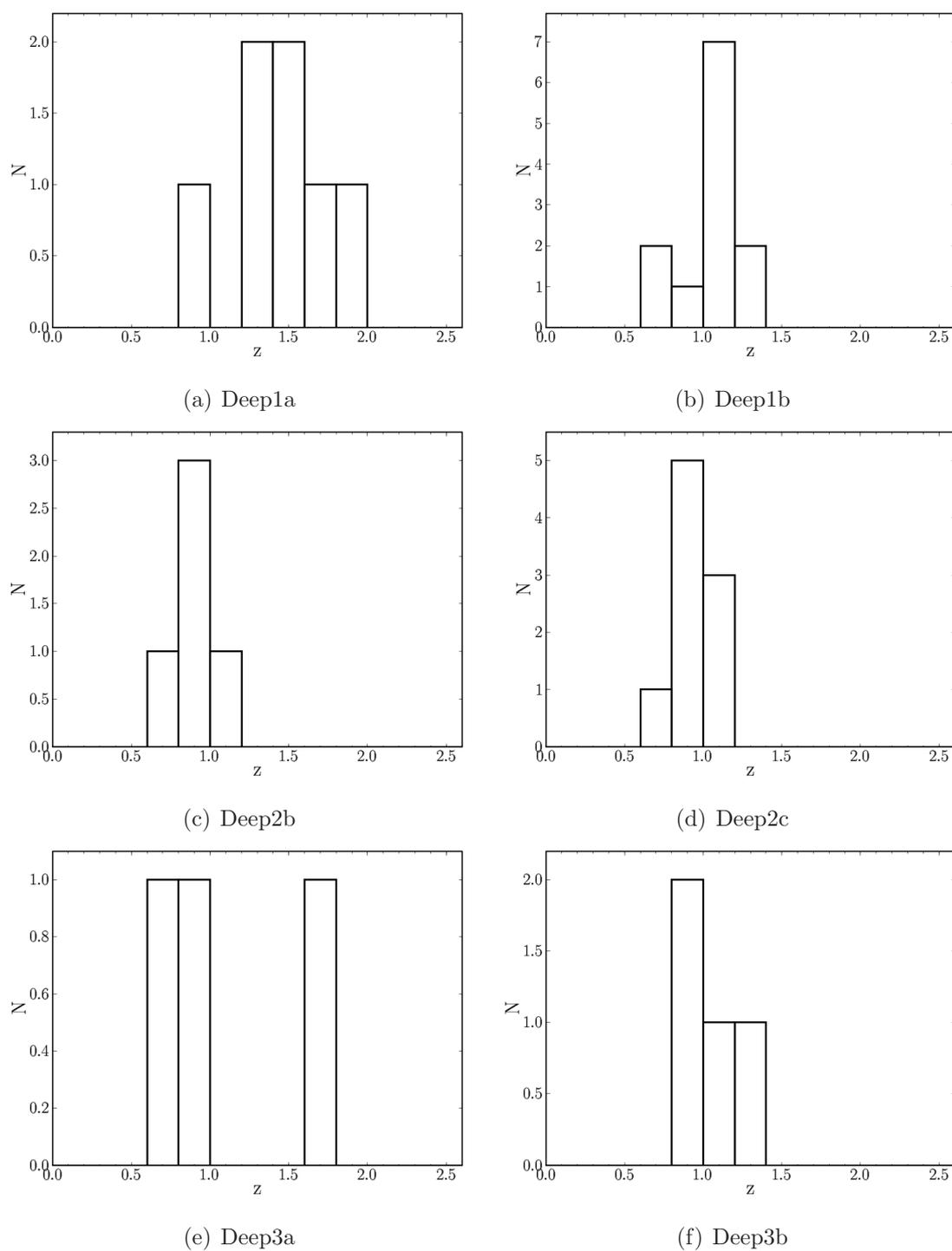


Figura 4.43: Distribuição de *redshift* fotométrico (óptico + IR) de amostras de EROs *starburst* para cada campo analisado.

Tabela 4.12: Informações dos resultados de rodadas do Hyperz em amostras de EROs de população velha para todas as combinações de campos e contextos.

Campo	N	z_m	z_{med}	ϵz_m	ϵz_{med}
Deep1a (Opt+K)	26	1.44	1.34	0.26	0.15
Deep1a (Opt+IR)	88	1.44	1.24	0.36	0.30
Deep1b (Opt+K)	99	1.25	1.24	0.30	0.32
Deep1b (Opt+IR)	109	1.23	1.15	0.14	0.12
Deep2b (Opt+K)	220	1.21	1.14	0.24	0.19
Deep2b (Opt+IR)	101	1.17	1.13	0.09	0.07
Deep2c (Opt+K)	165	1.20	1.16	0.14	0.06
Deep2c (Opt+IR)	207	1.28	1.26	0.08	0.05
Deep3a (Opt+K)	68	1.29	1.14	0.24	0.15
Deep3a (Opt+IR)	114	1.30	1.19	0.34	0.31
Deep3b (Opt+K)	127	1.10	1.10	0.25	0.20
Deep3b (Opt+IR)	78	1.11	1.08	0.09	0.07

Tabela 4.13: Informações dos resultados de rodadas do Hyperz em amostras de EROs *starburst* para todas as combinações de campos e contextos.

Campo	N	z_m	z_{med}	ϵz_m	ϵz_{med}
Deep1a (Opt+K)	1	1.39	1.39	0.78	0.78
Deep1a (Opt+IR)	7	1.49	1.56	0.48	0.53
Deep1b (Opt+K)	10	1.09	1.14	0.18	0.19
Deep1b (Opt+IR)	12	1.06	1.11	0.12	0.11
Deep2b (Opt+K)	21	1.00	0.93	0.23	0.16
Deep2b (Opt+IR)	5	0.91	0.87	0.09	0.08
Deep2c (Opt+K)	12	0.97	0.98	0.10	0.10
Deep2c (Opt+IR)	9	0.91	0.84	0.05	0.04
Deep3a (Opt+K)	8	0.89	0.88	0.31	0.20
Deep3a (Opt+IR)	3	1.13	0.91	0.43	0.60
Deep3b (Opt+K)	14	0.99	0.97	0.19	0.17
Deep3b (Opt+IR)	4	1.04	0.99	0.08	0.09

Todos esses resultados indicam que a separação entre as duas famílias de EROs realizada com base no tipo morfológico fornecido por um código de ajuste de *templates* é perfeitamente aceitável e promissora.

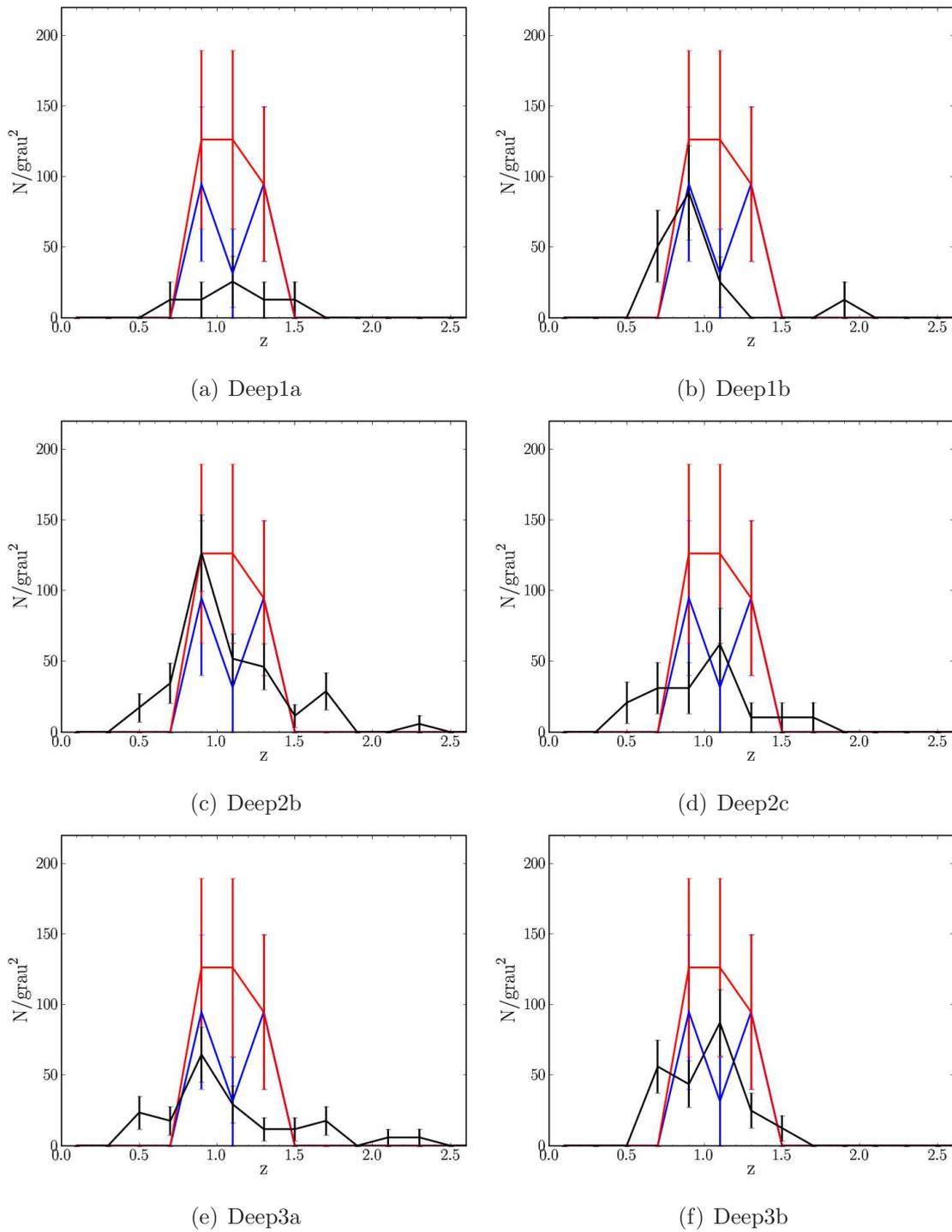


Figura 4.44: Distribuição de *redshift* fotométrico (óptico + K) de amostras de EROs de população velha para cada campo do DPS (em preto). Dados da literatura: Mignoli et al. (2005) em azul e Miyazaki et al. (2003) em vermelho. Todos erros são poissônicos.

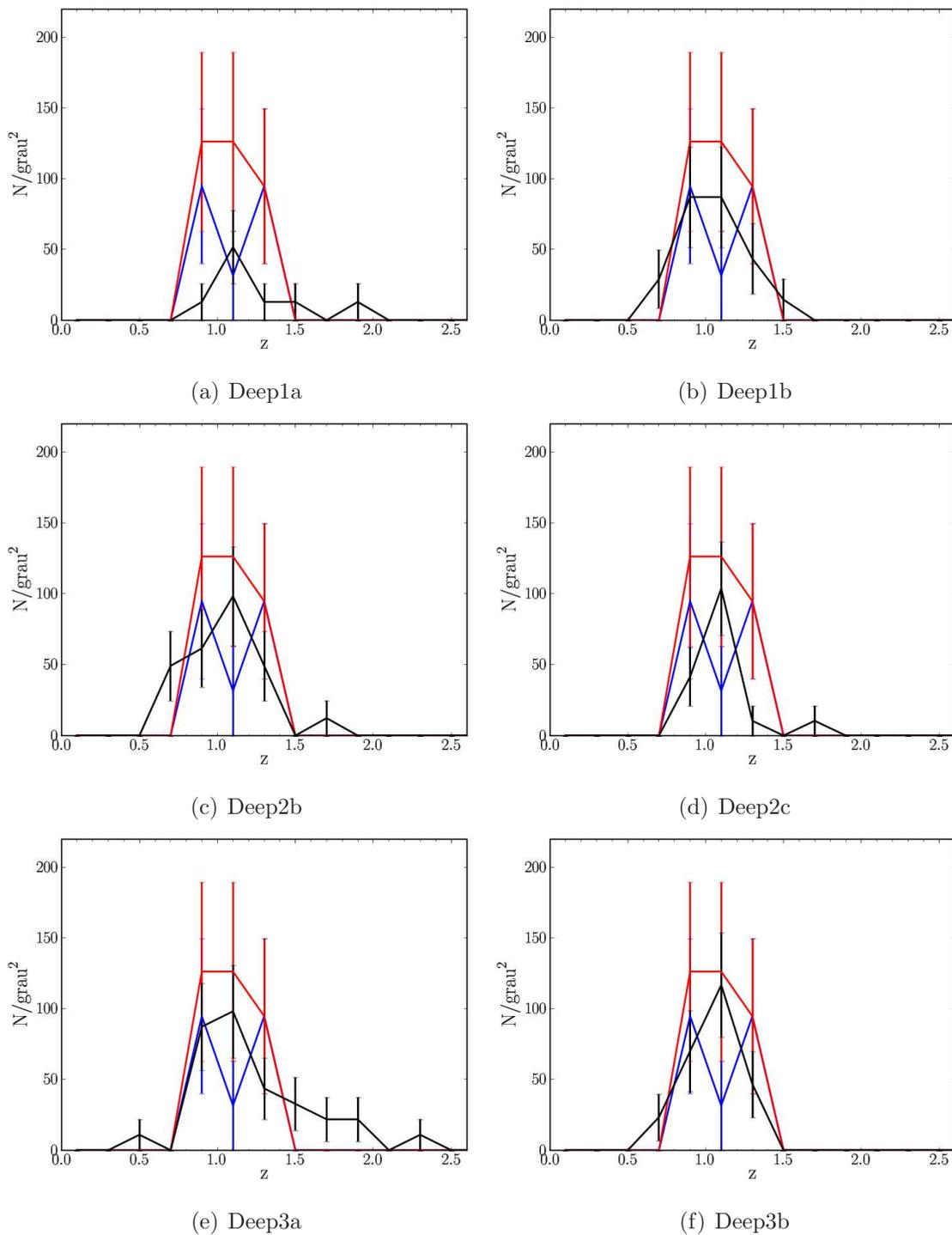


Figura 4.45: Distribuição de *redshift* fotométrico (óptico + IR) de amostras de EROs de população velha para cada campo do DPS (em preto). Dados da literatura: Mignoli et al. (2005) em azul e Miyazaki et al. (2003) em vermelho. Todos erros são poissônicos.

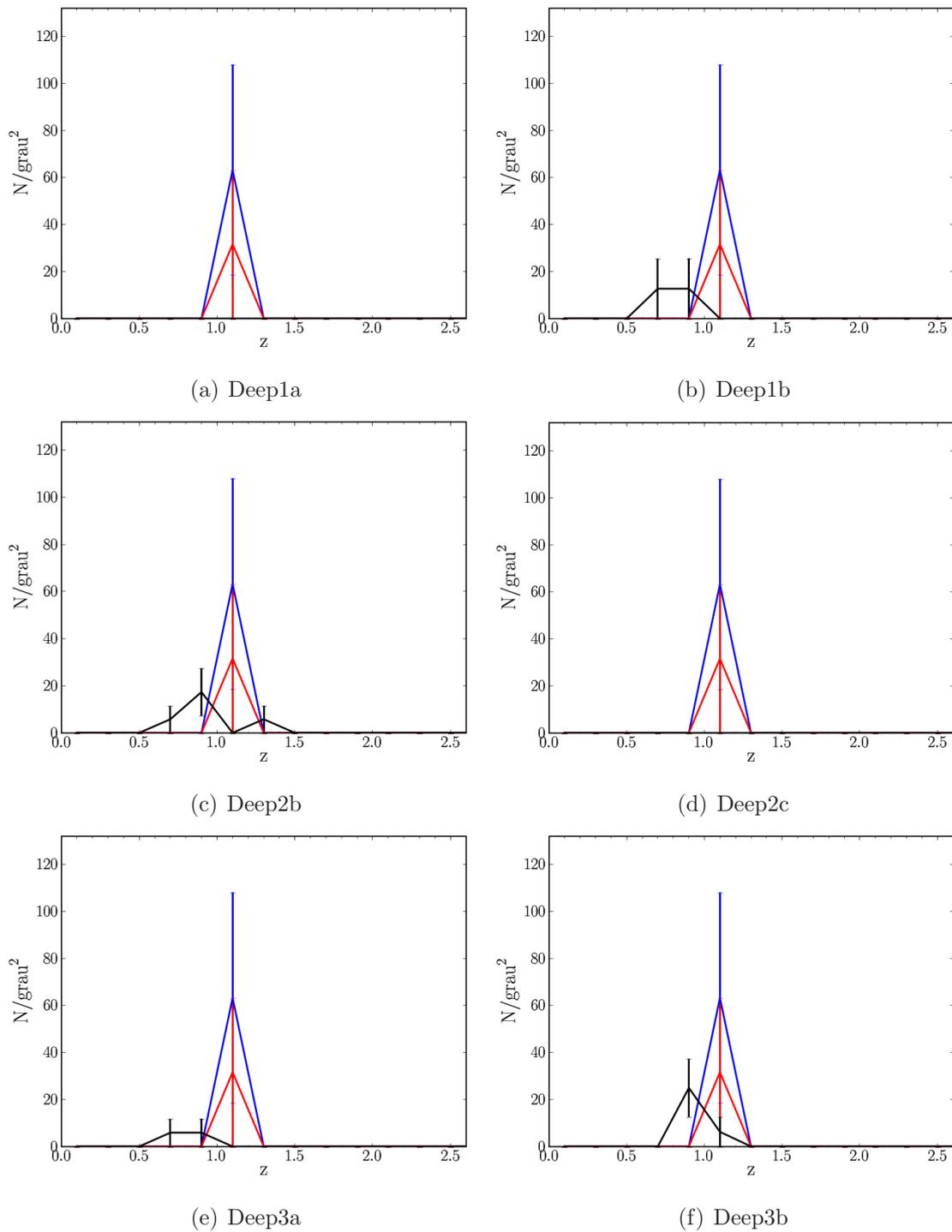


Figura 4.46: Distribuição de *redshift* fotométrico (óptico + K) de amostras de EROs *starburst* para cada campo do DPS (em preto). Dados da literatura: Mignoli et al. (2005) em azul e Miyazaki et al. (2003) em vermelho. Todos erros são poissônicos.

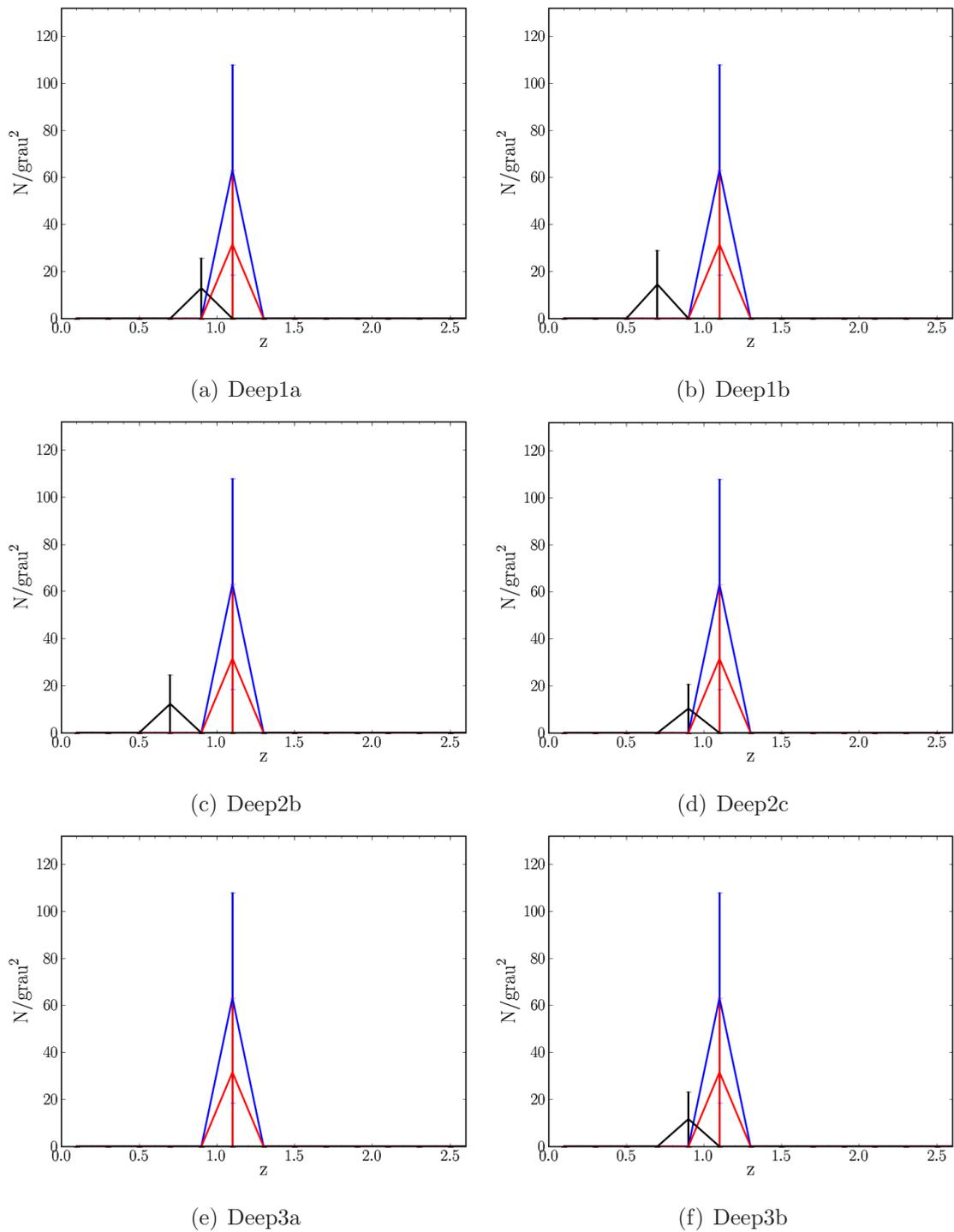


Figura 4.47: Distribuição de *redshift* fotométrico (óptico + IR) de amostras de EROs *starburst* para cada campo do DPS (em preto). Dados da literatura: Mignoli et al. (2005) em azul e Miyazaki et al. (2003) em vermelho. Todos erros são poissônicos.

4.3 Aplicando ao CFHTLS

Como mencionado anteriormente, utilizamos também neste trabalho a amostra do campo D1 do CFHTLS. Os dados desse levantamento apresentam grande homogeneidade de cobertura angular da área observada, incluindo 10 filtros fotométricos, em cerca de 1 grau quadrado de céu, e contem uma região com um levantamento espectroscópico. Tiramos proveito do fato de acessarmos um catálogo de cor já construído, tendo a ele associado uma série de parâmetros decorrentes do uso do código Le Phare. Consideramos para a análise a seguir uma amostra selecionada na banda i' até o limite 26.0. Como os dados fotométricos do CFHTLS estão calibrados no sistema AB, todas as magnitudes e amostras relativas a este levantamento estão neste sistema. Desta forma, EROs foram selecionados como objetos com cores $(R - K)_{AB} > 3.35$ e DRGs objetos com cores $(J - K)_{AB} > 1.3$. Ressaltamos que a área que possui fotometria nos filtros J e K do CFHTLS é pequena, da ordem de 160 minutos de arco ao quadrado, a qual denominamos CFHTLS-aK. Conforme discutido anteriormente eliminamos da análise objetos cujas magnitudes da banda de seleção i' apresentassem erros superiores a 0.33 magnitudes. No caso de estarmos selecionando EROs, DRGs, BzKs ou amostras definidas pela cor $r'-z'$ eliminamos objetos cujas magnitudes em qualquer dos filtros utilizados nos critérios de seleção apresentassem erros superiores a 0.33 magnitudes. Ressaltamos que para a amostra do CFHTLS não utilizaremos o critério de Pozzetti e Mannucci para seleção de EROs com populações estelares velhas, mas a própria classificação do código Le Phare das SEDs, neste caso, escolhendo objetos apontados como Elípticas. Além disso usamos também em algumas análises os resultados de Ilbert et al. (2005) relativos à evolução de luminosidade (ver figura 9 daquele trabalho). Este resultado indica a existência de tal evolução, que pode ser aproximada para os filtros V, R e I (este último idêntico ao filtro i') por:

$$\Delta M = 0.71 \times (z_2 - z_1) - 0.07 \quad (4.5)$$

onde ΔM é a diferença da magnitude absoluta característica da função de luminosidade

dade em z_2 e z_1 ($z_2 > z_1$). Ilbert et al. (2005) analisam esta evolução em diferentes filtros e por encontrar uma maior evolução nas bandas mais azuis concluem que ela deve ser devida principalmente à história de formação estelar que é mais intensa em maiores *redshifts* (até o limite estudado $z \approx 2.5$). Em todos os casos que esta correção for usada ela será denominada evolução de luminosidade.

Identificamos na amostra CFHTLS-D1 até $i'_{AB} < 26.0$ um total de 255 EROs (incluindo objetos velhos e *starbursts* correspondendo a uma densidade projetada de 4657 EROs por grau quadrado). Para fins de comparação com outras determinações, restringimos o limite de magnitude para $K_{AB} < 20$, resultando em 438 EROs por grau quadrado, compatível com o resultado encontrado com os dados do DPS e com a literatura.

Algumas características importantes desses EROs são apresentadas na figura 4.48. O painel superior mostra as magnitudes absolutas médias em função da média de z_{tot} nos intervalos de *redshift* $[0.9 - 1.2)$, $[1.2, 1.5)$, $[1.5, 2.0)$, $[2.0, 2.5]$. A linha contínua representa a esperada evolução de luminosidade mencionada acima e mostra que os EROs parecem representar uma classe de objetos com evolução de luminosidade semelhante ao conjunto total de galáxias. Os painéis inferiores da figura 4.48 mostram que EROs são objetos mais luminosos que a média das galáxias e com distribuição em *redshift* com máximo em $z \approx 1.2$.

Nos dados do campo CFHTLS-D1 encontramos um total de 99 DRGs, representando uma densidade projetada de 1808 DRGs por grau quadrado. Para fins de comparação com a literatura, limitamos a amostra a $K_{AB} < 22$, similar ao limite de Conselice et al. (2007) e encontramos uma densidade projetada de 1625 DRGs por grau quadrado, em bom acordo com o valor encontrado por aqueles autores de 1443 DRGs por grau quadrado.

O painel superior da figura 4.49 mostra que a evolução de luminosidade das DRGs é distinta da média das galáxias, apresentando maior gradiente na variação da luminosidade média. Em altos *redshifts*, $z \approx 2.3$, as DRGs têm em média $M'_{AB} \approx -22.2$ decrescendo quase 2 magnitudes para objetos em $z \approx 1$. Sua distribuição de magnitudes absolutas mostra que são poucos os objetos muito luminosos e a grande

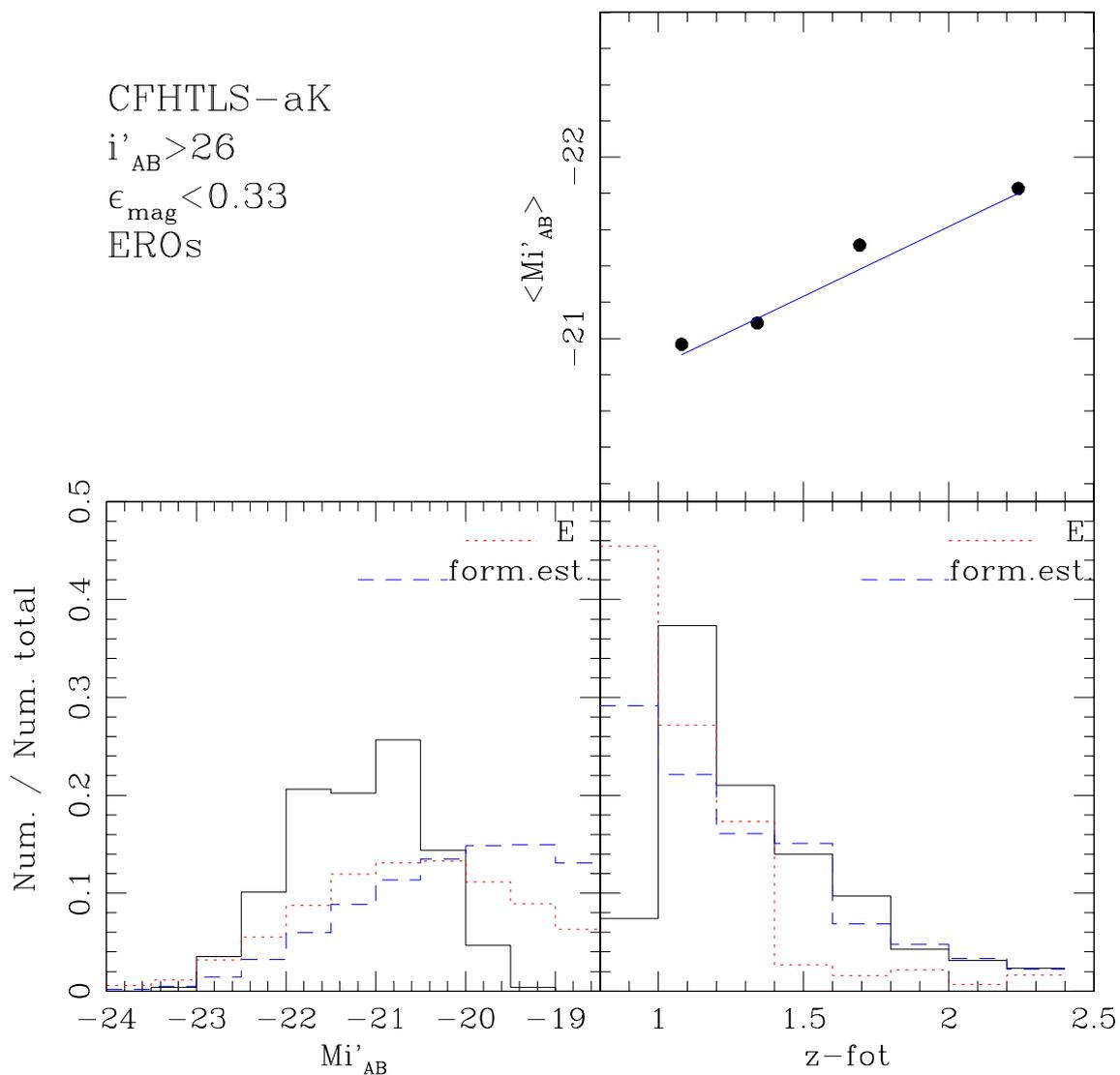


Figura 4.48: Variação da magnitude absoluta média $\langle Mi'_{AB} \rangle$ dos EROs em função do *redshift* fotométrico. Histogramas normalizados de $\langle Mi'_{AB} \rangle$ e z_{fot} para EROs, comparados com Elípticas e galáxias com surto de formação estelar. Histogramas obtidos para objetos no intervalo $0.9 \leq z \leq 2.5$.

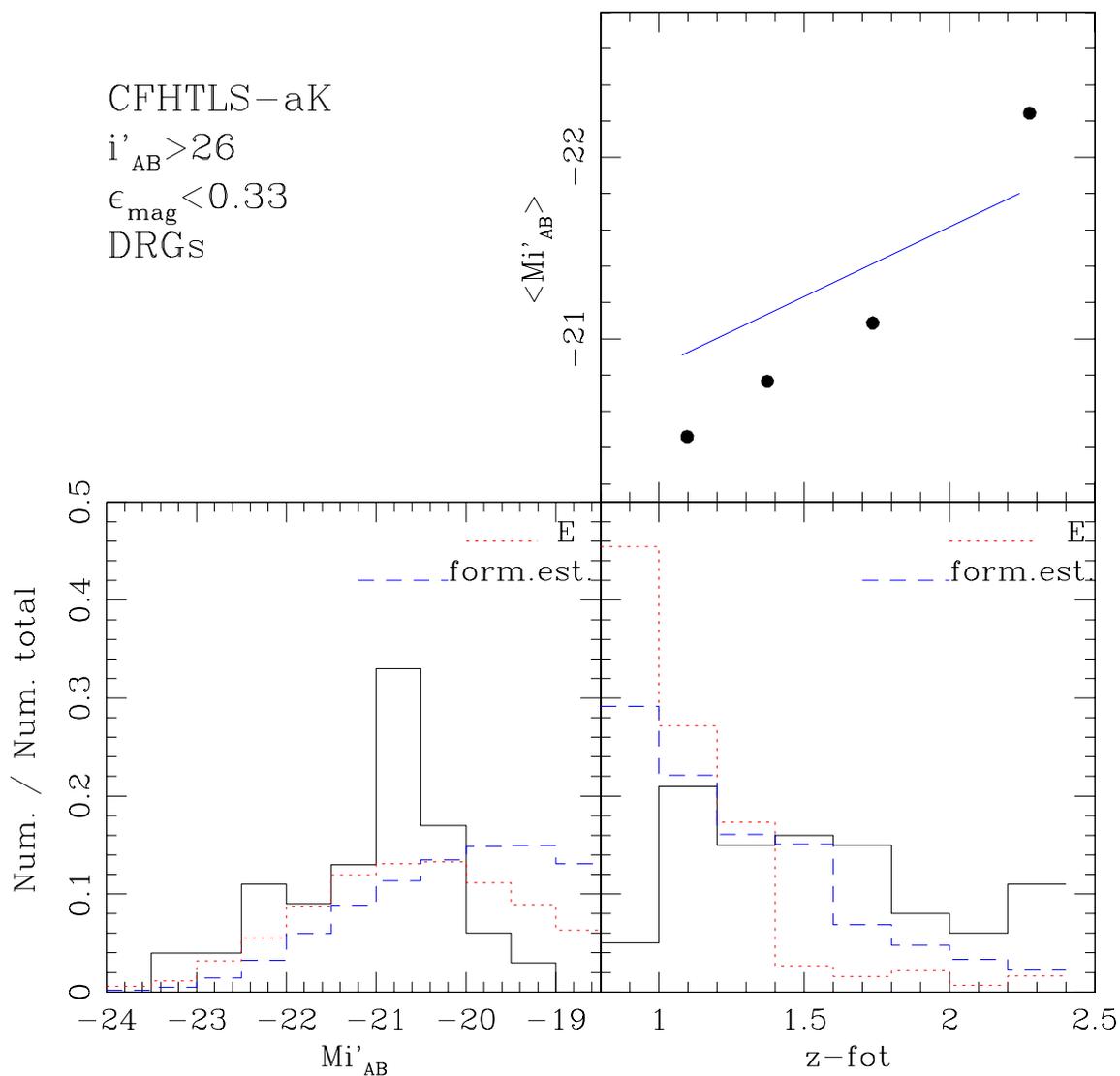


Figura 4.49: Variação da magnitude absoluta média $\langle Mi'_{AB} \rangle$ das DRGs em função do *redshift* fotométrico. Histogramas normalizados de $\langle Mi'_{AB} \rangle$ e z_{fot} para DRGs, comparados com Elípticas e galáxias com surto de formação estelar. Histogramas obtidos para objetos no intervalo $0.9 \leq z \leq 2.5$.

maioria se encontra no intervalo $-21.5 < Mi'_{AB} < -20.0$. Sua distribuição em *redshifts* é mais espalhada que a de EROS e tem média em $z \approx 1.6$, incluindo objetos até $z=1$.

Deve-se notar que a distribuição em z_{fot} é bastante diferente daquela prevista pelos modelos simples, como mostrados na figura 4.3, e dos resultados de Franx et al. (2003), que concluíram que DRGs representariam objetos com $z > 2$. Entretanto corroborando nossos resultados, Conselice et al. (2007) encontraram apenas $\sim 4\%$ das suas DRGs com $z > 2$ (amostra limitada em $K_{AB} < 22.34$), e Lane et al. (2007) concluíram que o critério de DRGs não só seleciona objetos em *redshifts* mais altos como também galáxias com formação estelar obscurecidas por poeira em $z \sim 1$. A razão dessas diferenças com relação ao trabalho de Franx et al. (2003) pode ser devida à diferença nas profundidades das amostras desses autores, assim como no fato do trabalho original estar baseado numa área muito pequena de céu (apenas 4.7 minutos de arco ao quadrado). Esses resultados indicam também que a simplicidade dos modelos teóricos não permite uma descrição adequada dos dados observacionais.

O critério de BzKs passivas não detectou objetos na área CFHTLS-aK. Embora ele seja desenhado para selecionar objetos em $z > 1.4$ é provável que a pequena dimensão angular da área CFHTLS-aK tenha sido responsável pela ausência desta detecção. Assim sendo, analisamos apenas o conjunto de objetos classificados como ativos pelo critério e que chamamos de BzKa. Encontramos no intervalo $0.9 \leq z \leq 2.5$, 250 BzKas com $K_{AB} < 22$, (equivalente a $K_{Vega} < 20$) resultando num densidade de 4566 objetos por grau quadrado, um valor comparável com os dados da literatura apresentados na seção 4.1.3. Por exemplo, Daddi et al. (2004) encontraram uma densidade de 3960 objetos por grau quadrado com $K_{Vega} < 20$, apresentando uma contaminação de galáxias com $z < 1.4$ de apenas 12% da amostra total de BzKs. Separando nas suas duas famílias, as densidades foram de 3168 BzKs com formação estelar por grau quadrado e 756 BzKs com população velha por grau quadrado. Já Kong et al. (2006) obtiveram 4320 e 1368 BzKs por grau quadrado, respectivamente para as classes de objetos com e sem formação estelar.

A figura 4.50 mostra apenas os objetos pertencentes à amostra extraída pelos

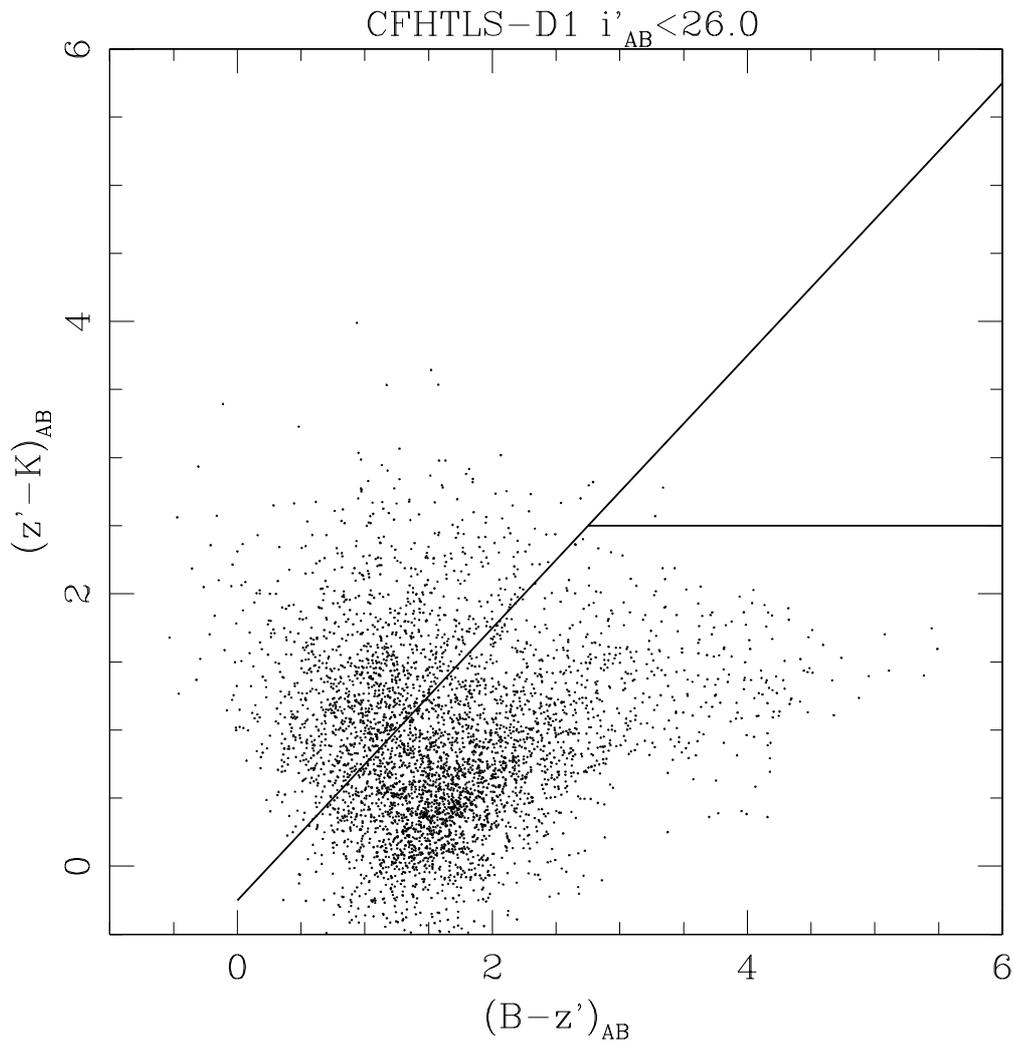


Figura 4.50: Diagrama cor-cor mostrando as BzKs encontradas no CFHTLS-D1, e os limites que as definiram.

critérios 4.3 e 4.4 dos dados da área CFHTLS-aK. As duas únicas BzKs passivas presentes nela foram eliminadas quando aplicamos os cortes nos erros das magnitudes nas bandas B, z e K, além dos limites em $i'_{AB} < 26$ e no erro na banda $i'_{AB} < 0.33$.

A evolução de luminosidade das BzKas é ainda mais acentuada que as DRGs como mostra o painel superior da figura 4.51. Sua variação de magnitude absoluta média é de 2.5 magnitudes de $z \approx 2.3$ a $z \approx 1$, bastante diferente da média das galáxias. Sua distância média é $z \approx 1.6$ e por isso, mesmo sendo objetos com significativa formação estelar, diferem em domínio de magnitudes absolutas desta

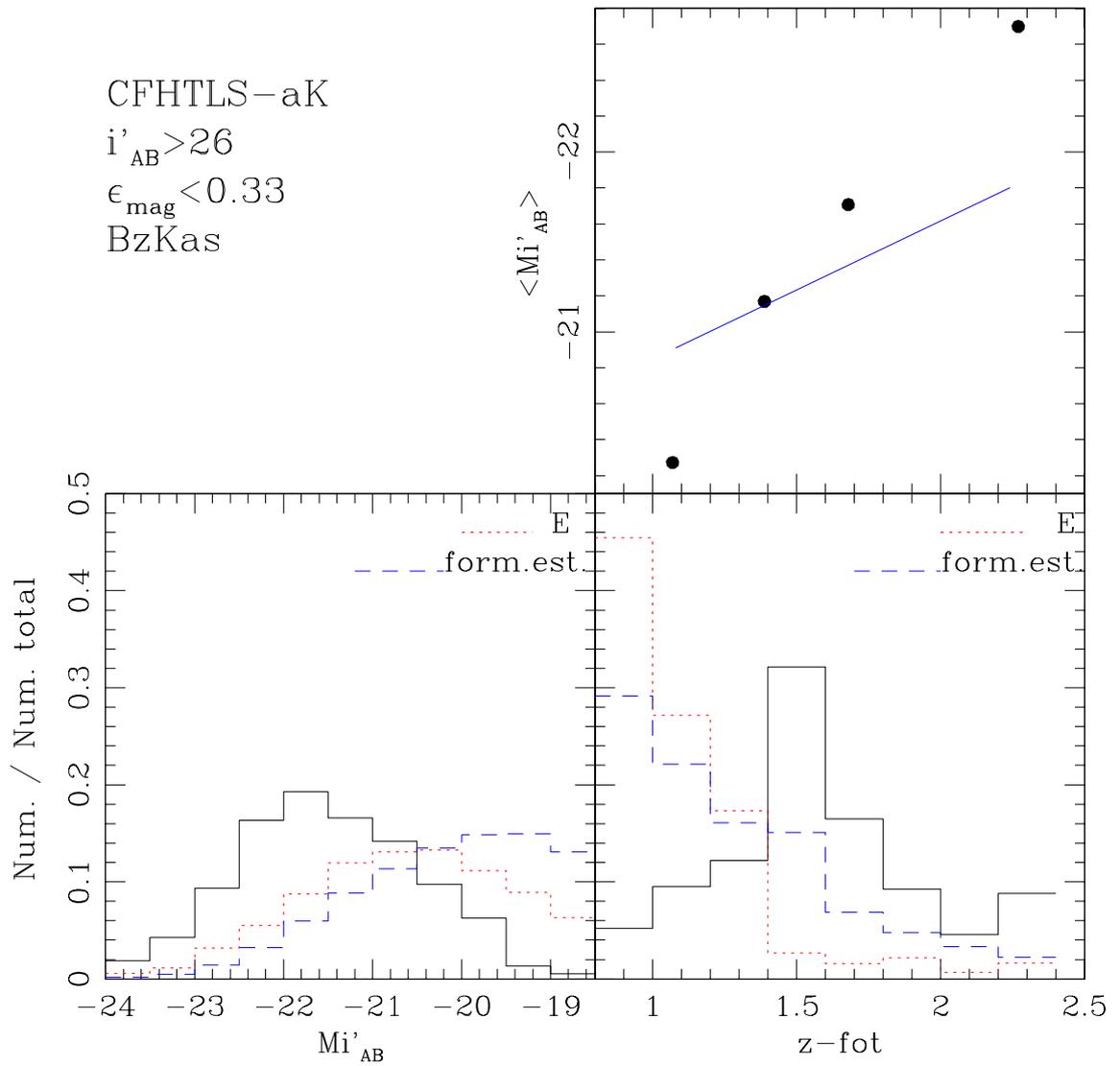


Figura 4.51: Variação da magnitude absoluta média $\langle Mi'_{AB} \rangle$ das BzKa em função do *redshift* fotométrico. Histogramas normalizados de $\langle Mi'_{AB} \rangle$ e z_{fot} para BzKa, comparados com Elípticas e galáxias com surto de formação estelar. Histogramas obtidos para objetos no intervalo $0.9 \leq z \leq 2.5$.

classe como um todo, sendo os seus objetos muito luminosos como mostra o painel inferior esquerdo da figura 4.51.

Assim como anteriormente mostramos a distribuição da cor $r'-z'$ em função do *redshift* fotométrico, é importante verificar em diferentes intervalos de *redshift* a distribuição dessa cor em função das magnitudes, tanto aparente como absoluta, para as classes de objetos vermelhos e distantes estudados nesse trabalho. Essa análise é útil para a obtenção e interpretação dos resultados mostrados a seguir. Primeiramente é mostrada na figura 4.52 essa distribuição em função da magnitude aparente i'_{AB} em quatro diferentes intervalos de z_{tot} . As linhas horizontais representam os limites definidos para seleção de Elípticas baseados na cor $r'-z'$ e são as mesmas mostradas na figura 3.44. As duas linhas verticais representam o limite adicional $i'_{AB} = 24.6$ adotado para a magnitude aparente acima da qual passa a existir uma séria contaminação de tipos morfológicos Espirais e mais tardios. Este limite deve ser adotado nas análises em que a cor $r'-z'$ for utilizada no intervalo $0.9 < z_{tot} < 1.5$. Em termos de percentagem de inclusão de outras morfologias que não Elípticas, pode-se notar que o intervalo $2.1 < z_{tot} < 2.5$ é o que mais sofre este efeito.

Os dois painéis superiores da figura 4.52 (ou a figura 3.44) mostram que a cor $r'-z' > 1.9$ é um ótimo discriminador de Elípticas até $z \approx 1.5$ numa amostra limitada em magnitude $i'_{AB} = 24.6$. É importante destacar que essa seleção pode ser feita mesmo sem a determinação de *redshifts*.

A figura 4.53 mostra o mesmo tipo de distribuição da cor $r'-z'$ agora em função da magnitude absoluta Mi'_{AB} . As linhas horizontais são os mesmos limites da figura 4.52. A linha vertical no painel relativo ao intervalo $0.9 < z_{tot} < 1.2$ representa o limite na magnitude absoluta além dos quais outros tipos morfológicos que não Elípticas, começam a contaminar significativamente a seleção na cor $r'-z' > 1.9$. Este limite é $Mi'_{AB} \approx -19.7$ e equivale ao limite $i'_{AB} = 24.6$ da figura 4.52.

No painel da figura 4.53 relativo ao intervalo $1.2 < z_{tot} < 1.5$, a linha vertical representa o limite de seleção de Elípticas (pela cor $r'-z'$) com baixa contaminação de outras morfologias e corresponde ao limite mostrado no painel esquerdo levando

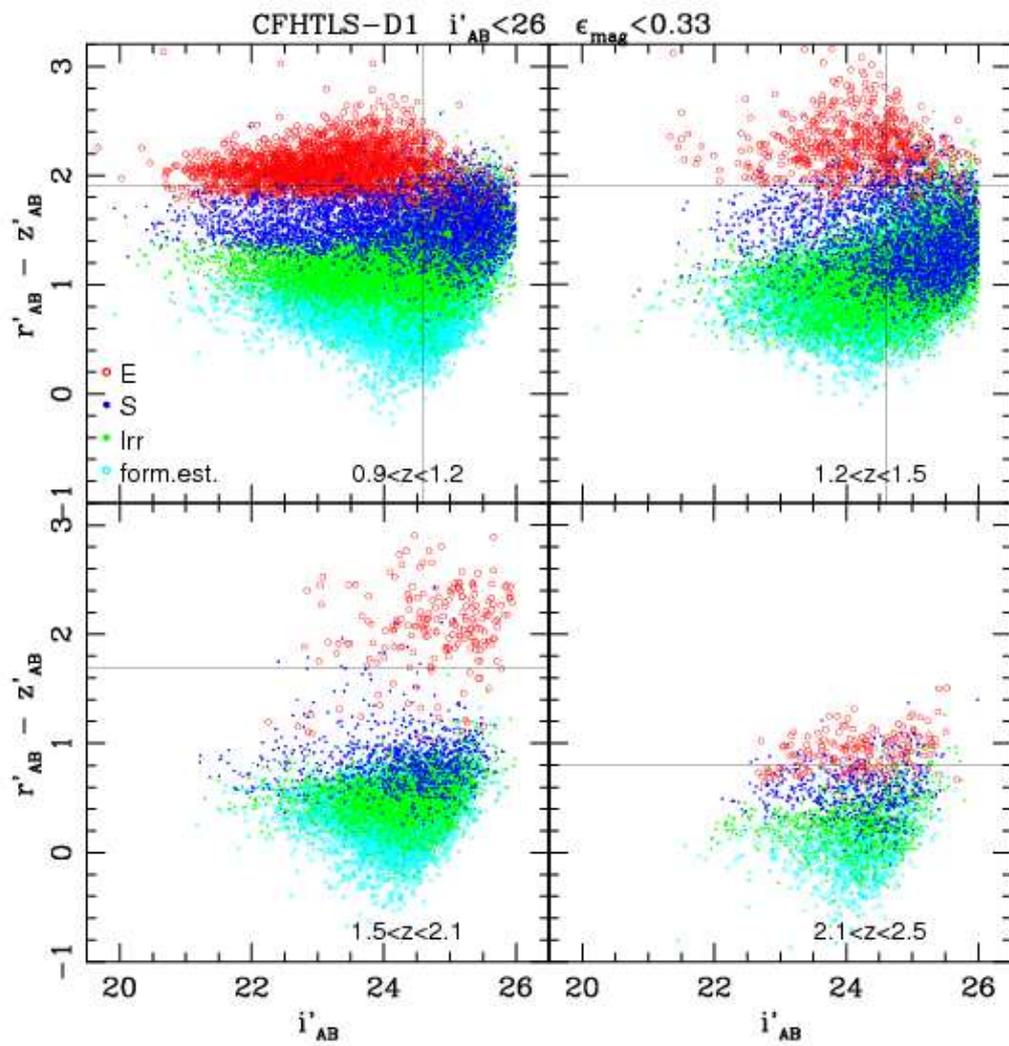


Figura 4.52: Cor r-z - magnitude aparente i' .

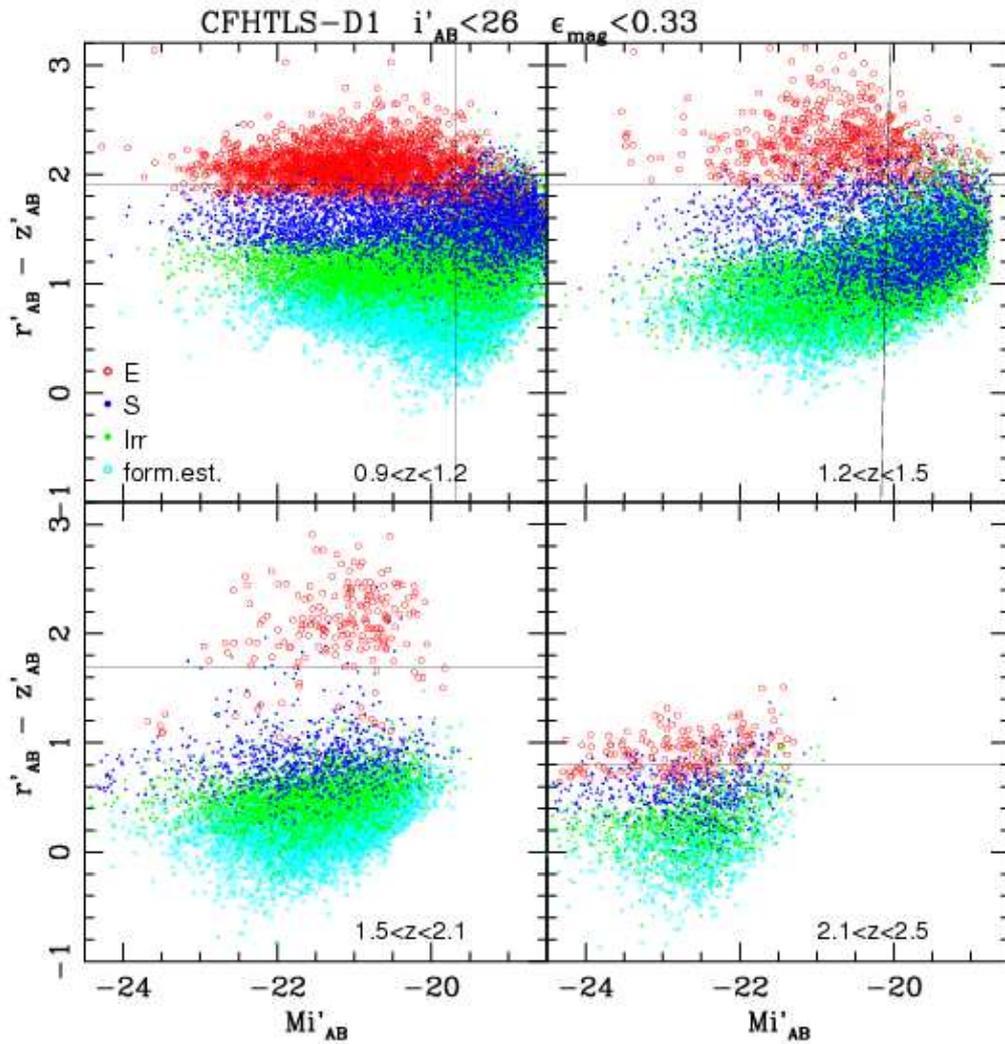


Figura 4.53: Cor $r-z$ - magnitude absoluta Mi' .

em conta a correção de evolução de luminosidade. Estes resultados indicam que Elípticas selecionadas pela cor $r'-z' > 1.9$ estão no intervalo $0.9 < z_{\text{fot}} < 1.5$ e são mais brilhantes que $Mi'_{AB} \approx -20$ em $z \approx 1.5$.

Seguindo esta mesma análise examinamos o diagrama cor $r'-z'$ versus magnitude absoluta Mi'_{AB} para os EROS encontrados na região coberta por observações na banda K do CFHTLS (área CFHTLS-aK). Na figura 4.54, estes objetos são mostrados superpostos às galáxias de toda a região CFHTLS-D1 separadas em morfologia como nas figuras anteriores. Do total de 255 EROs encontrados no intervalo

$0.9 < z_{phot} < 2.5$, 159 (62%) são classificadas como Elípticas. No que concerne às cores, 121 (47%) tem $r'-z' > 1.9$ (como a maioria das Elípticas) enquanto os restantes têm cores indicativas de objetos com formação estelar ativa. Em particular no domínio $1.5 < z < 2.0$, os EROS ocupam o intervalo de cores na transição Espirais - Elípticas. Como pode ser visto nos painéis superiores da figura, EROs são tipicamente objetos mais brilhantes que $Mi'_{AB} = -20$ em $z_{phot}=1.5$.

De modo similar ao que foi apresentado para os EROs é mostrada na figura 4.55 a distribuição de cor $r'-z'$ em função da magnitude absoluta Mi'_{AB} das DRGs, para diferentes intervalos de *redshift*, superposta à distribuição para todas as galáxias separadas pela morfologia. Das 99 DRGs identificadas, 48 (48%) são classificadas como Elípticas. Entretanto, apenas 25 (25%) têm cores $r'-z'$ características de Elípticas, sendo a maioria constituída de objetos com cores indicativas de formação estelar.

O mesmo tipo de resultado relativo à distribuição de cor $r'-z'$ em função da magnitude absoluta para as BzKas é mostrado na figura 4.56 para diferentes intervalos de *redshift*. Os painéis da figura mostram a boa concordância de uma seleção de objetos com atividade de formação estelar e a distribuição encontrada cobrindo cores relativas a morfologias do tipo Espiral, Irregulares e objetos dominados por formação estelar. De fato, das 732 BzKas encontradas apenas 7 (0.9%) são classificadas com Elípticas. No que concerne as cores $r'-z'$, apenas 14 (2%) BzKas tem cores de Elípticas. Desta forma, as BzKas serão consideradas para esta análise como objetos representativos de formação estelar.

Algumas propriedades de amostras definidas utilizando os diferentes critérios de seleção mencionados nessa seção, como o número de galáxias (por tipo morfológico) e as médias de *redshift* e de magnitude absoluta, são apresentadas nas tabelas 4.14, 4.15, 4.16 e 4.17.

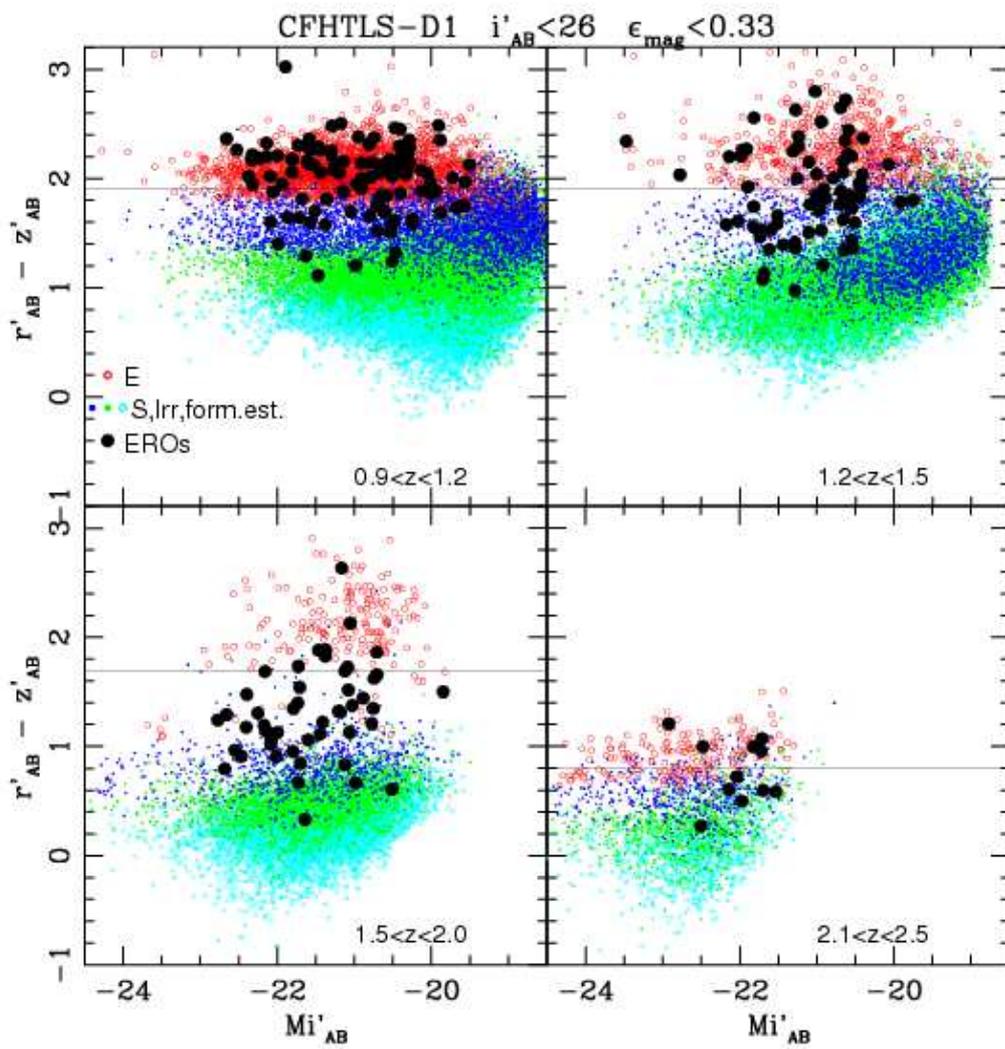


Figura 4.54: Cor $r-z$ - magnitude absoluta Mi' para EROs superposta a galáxias diferenciadas por morfologia.

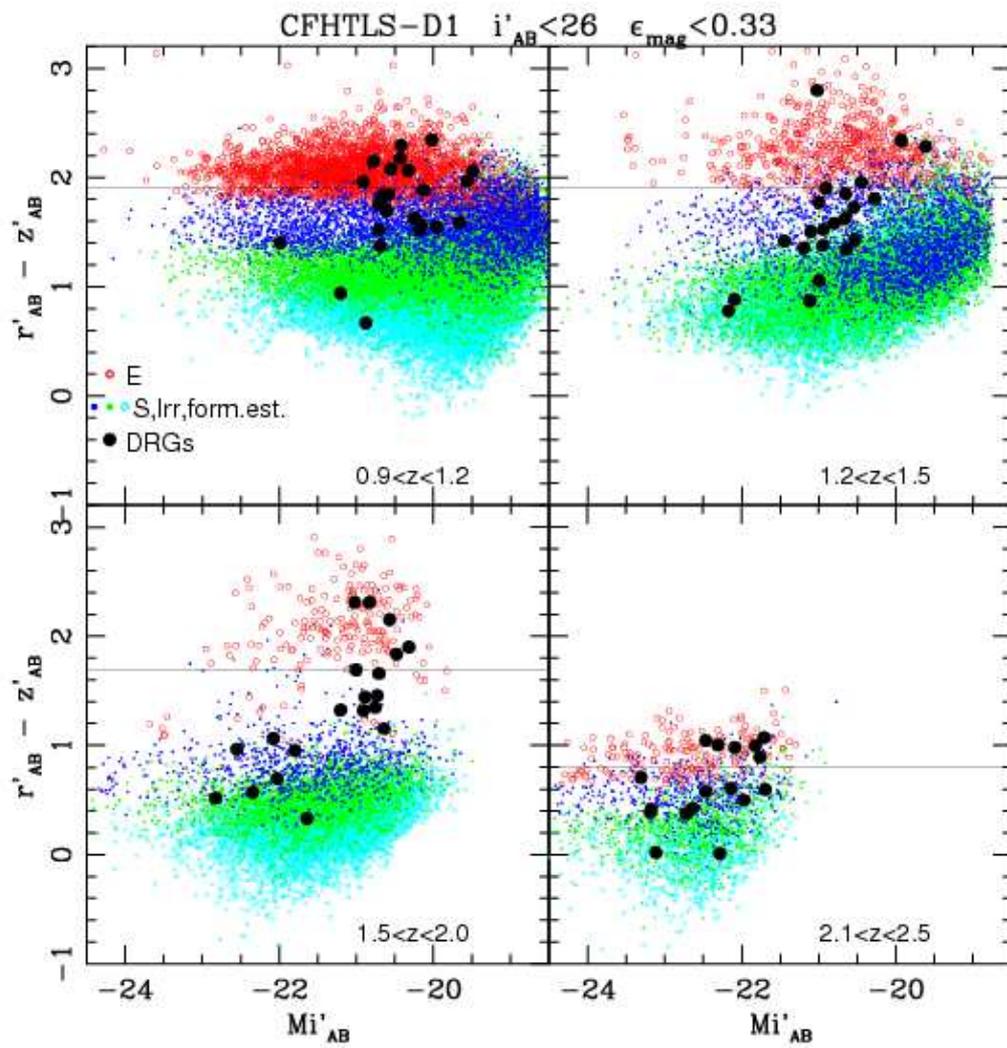


Figura 4.55: Cor r-z - magnitude absoluta para DRGs.

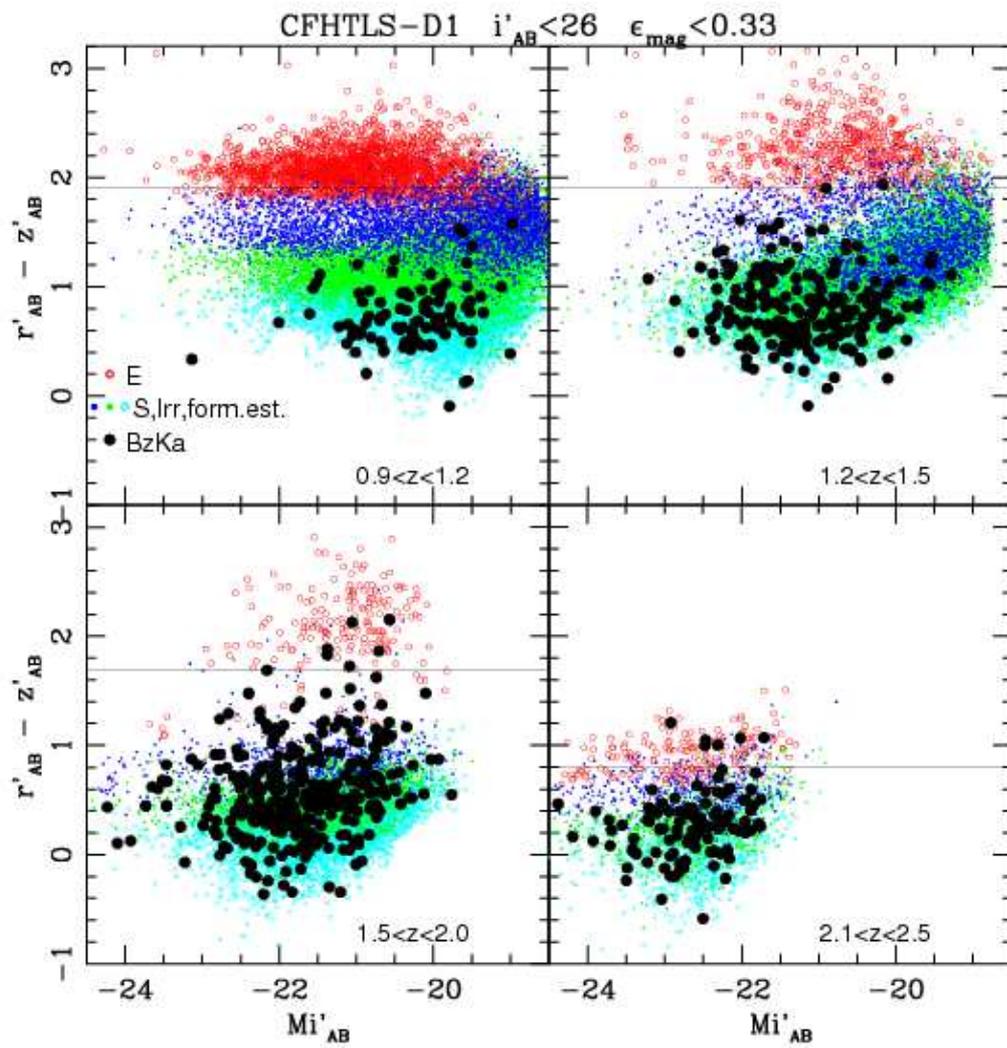


Figura 4.56: Cor r-z - magnitude absoluta para BzKa.

Tabela 4.14: Informações obtidas para amostras de diferentes morfologias e intervalos de *redshifts* do CFHTLS-D1.

amostra	Δz	N_g	$\langle z \rangle$	$\langle \epsilon_z \rangle$	$\langle Mi'_{AB} \rangle$	$\rho_{tfe}(M_{Sol}/ano/Mpc^3)$	$\langle Massa \rangle (M_{Sol})$
E	0.3-0.9	4869	0.68	0.12	-20.1	0.0020	8.9×10^{11}
S	0.3-0.9	10562	0.63	0.24	-18.4	0.0203	3.6×10^{11}
form.est.	0.3-0.9	30079	0.63	0.20	-18.0	0.0695	3.2×10^{10}
E	0.9-1.2	3146	1.03	0.15	-20.3	0.0012	3.1×10^{11}
S	0.9-1.2	5115	1.05	0.21	-19.7	0.0225	1.6×10^{11}
form.est.	0.9-1.2	20657	1.03	0.20	-19.3	0.1447	2.3×10^{10}
E	1.2-1.5	1275	1.30	0.23	-20.2	0.0004	2.3×10^{11}
S	1.2-1.5	2982	1.32	0.33	-20.1	0.0158	1.2×10^{11}
form.est.	1.2-1.5	11828	1.34	0.23	-20.0	0.1670	2.2×10^{10}
E	1.5-2.0	304	1.77	0.21	-20.9	0.0002	1.9×10^{11}
S	1.5-2.0	1213	1.73	0.61	-21.1	0.0122	9.5×10^{10}
form.est.	1.5-2.0	10338	1.68	0.31	-20.9	0.1856	2.2×10^{10}
E	2.0-2.5	235	2.34	0.59	-22.5	0.0006	3.0×10^{11}
S	2.0-2.5	907	2.23	0.75	-22.1	0.0184	9.0×10^{10}
form.est.	2.0-2.5	3088	2.20	0.31	-22.0	0.1357	2.9×10^{10}

Tabela 4.15: Informações obtidas para amostras de EROs com diferentes critérios de seleção e intervalos de *redshifts* do CFHTLS-D1.

amostra	Δz	N_g	N_E	N_S	N_{Irr}	$N_{f.e.}$	$\langle z \rangle$	$\langle \epsilon_z \rangle$	$\langle Mi'_{AB} \rangle$	$\rho_{tfe}(M_{Sol}/ano/Mpc^3)$	$\langle Massa \rangle (M_{Sol})$
todos	0.9-1.5	187	143	41	3	-	1.18	0.04	-21.0	0.0042	3.8×10^{11}
Poz-Man	0.9-1.5	107	92	15	-	-	1.20	0.06	-21.2	0.0020	4.4×10^{11}
$r'-z' > 1.9$	0.9-1.5	108	105	3	-	-	1.14	0.06	-21.1	0.0006	4.5×10^{11}
$r'-z' < 1.9$	0.9-1.5	76	35	38	3	-	1.24	0.08	-21.0	0.0771	3.0×10^{11}
todos	1.5-2.0	52	15	32	4	1	1.69	0.13	-21.5	0.0082	2.7×10^{11}
$r'-z' > 1.7$	1.5-2.0	8	6	2	-	-	1.62	0.09	-21.2	0.0003	2.8×10^{11}
$r'-z' < 1.7$	1.5-2.0	40	7	29	4	-	1.69	0.13	-21.6	0.0073	2.8×10^{11}

Tabela 4.16: Informações obtidas para amostras de DRGs e BzKas em diferentes intervalos de *redshifts* do CFHTLS-D1.

amostra	Δz	N_g	N_E	N_S	N_{Irr}	$N_{f.e.}$	$\langle z \rangle$	$\langle \epsilon_z \rangle$	$\langle Mi'_{AB} \rangle$	$\rho_{tfe}(M_{Sol}/ano/Mpc^3)$	$\langle Massa \rangle(M_{Sol})$
DRGs	0.9-1.5	52	31	13	7	1	1.24	0.09	-20.6	0.0025	2.2×10^{11}
DRGs	1.5-2.5	47	17	20	9	1	1.96	0.18	-21.6	0.0054	1.8×10^{11}
BzKas	0.9-1.5	303	1	33	117	152	1.29	0.12	-20.9	0.0561	1.2×10^{11}
BzKas	1.5-2.0	315	6	66	146	97	1.68	0.16	-21.7	0.1244	1.3×10^{11}
BzKas	2.0-2.5	114	-	17	49	48	2.27	0.17	-22.7	0.0997	9.5×10^{10}

Tabela 4.17: Informações obtidas para amostras selecionadas pela cor $r'-z'$ em diferentes intervalos de *redshifts* do CFHTLS-D1. Foi aplicado o corte em $i'_{AB} < 26.0$, exceto para $r'-z' > 1.9$ em que foi utilizado $i'_{AB} < 24.6$.

amostra	Δz	N_g	N_E	N_S	N_{Irr}	$N_{f.e.}$	$\langle z \rangle$	$\langle \epsilon_z \rangle$	$\langle Mi'_{AB} \rangle$	$\rho_{tfe}(M_{Sol}/ano/Mpc^3)$	$\langle Massa \rangle (M_{Sol})$
$r'-z' > 1.9$	0.9-1.5	2217	2097	101	17	2	1.09	0.09	-21.2	0.0002	2.4×10^{11}
$r'-z' > 1.7$	1.5-2.1	185	171	14	-	-	1.77	0.20	-21.2	0.0002	2.4×10^{11}
$r'-z' > 0.8$	2.1-2.5	191	122	50	17	2	2.30	0.53	-22.4	0.0018	1.3×10^{11}

4.4 Resumo do Capítulo

Tanto com dados do DPS e quanto do CFHTLS foram estudados os EROs (cor (R-K)); com o CFHTLS, além dos EROs ainda foi possível selecionar DRGs (cor (J-K)) e BzKs (cores (B-z) e (z-K)), todas famílias compostas por objetos mais evoluídos e outros dominados por formação estelar. Também avaliamos um novo critério de seleção de Elípticas com base na cor (r-z) com os dados do CFHTLS, buscando selecionar galáxias mais evoluídas em altos z sem usar infravermelho. Esse novo critério é bastante interessante, pois utiliza apenas bandas ópticas.

Essas famílias foram estudadas com base nos parâmetros fornecidos pelos códigos de cálculo de *redshift* fotométrico (Hyperz para DPS, Le Phare para CFHTLS). Como são baseados no ajuste de *templates*, esses códigos fornecem *redshifts* fotométricos, logo indiretamente também magnitudes absolutas, além dos tipos espectrais das galáxias.

O código Hyperz apresentou uma tendência de classificar galáxias de tipos tardios também como Elípticas, uma provável limitação em lidar com muitos parâmetros livres, como *templates* e idade do objeto. Entretanto, a grande maioria das Elípticas é identificada corretamente.

Já o CFHTLS apresentou *redshifts* fotométricos de boa qualidade e sua classificação espectral se mostrou bastante coerente. Esses fatores, juntamente com a maior homogeneidade de sua amostra, tornaram o campo do CFHTLS mais vantajoso que o DPS para os objetivos pretendidos nesse trabalho.

Um resumo dos resultados encontrados para as diferentes famílias de galáxias é:

- EROs:
 - estão distribuídos em torno de $z = 1$, o que é esperado por modelos;
 - a maioria é classificada como Elíptica;
 - na amostra CFHTLS:
 - * $\approx 75\%$ são classificadas como Elípticas na faixa $0.9 < z < 1.5$;

- * em *redshifts* maiores, o número de EROs é muito menor, e a maioria é classificada como galáxias de tipos mais tardios;
- * metade dos EROS se apresenta como vermelhos pela seleção baseada na cor (r-z);
- * independente de (r-z), EROs são brilhantes, apresentando magnitude absoluta média na banda i $\langle M_i \rangle \approx -21$ (em média mais brilhantes que as demais galáxias);
- * apresentam evolução da luminosidade semelhante à média das galáxias.

Esses resultados são compatíveis com a interpretação que EROs são Elípticas mais luminosas.

- DRGs:

- estão distribuídas quase uniformemente numa faixa grande de *redshift* (1.0 a 2.5), o que mostra como seu critério de seleção não é eficiente em escolher objetos com $z > 2$, que seria o esperado por modelos;
- aproximadamente 50% são classificadas como Elípticas;
- maioria ($\approx 75\%$) é selecionada como azul pelo critério da cor (r-z), indicando serem dominadas por formação estelar;
- são brilhantes, apresentando magnitude absoluta média $\langle M_i \rangle \approx -21$;
- apresentam evolução de luminosidade mais acentuada que a média das galáxias.

Tanto os EROs quanto as DRGs apresentam propriedades (classificação espectral e cor (r-z)) que refletem o fato de essas serem famílias compostas por uma população mista de tipos de galáxias.

- BzKs:
 - sua distribuição mostra o máximo em *redshift* ≈ 1.5 , estendendo-se até $z = 2.5$ (como esperado), apesar de também apresentar objetos com $z < 1.4$;
 - apenas BzKs ativas (aqui denominadas BzKas) foram selecionadas (nenhuma BzK passiva foi encontrada na amostra), e de fato quase todas ($\approx 99\%$) são classificadas como galáxias de tipos mais tardios;
 - apenas $\approx 2\%$ BzKas são consideradas vermelhas segundo o critério da cor (r-z) sendo mais um indicativo de que são galáxias dominadas por formação estelar;
 - são brilhantes, apresentando magnitude absoluta média $\langle M_i \rangle \approx -22$, mais brilhantes em média que EROs e DRGs;
 - apresentam evolução da luminosidade bem mais acentuada que a média das galáxias.

Capítulo 5

Função de Correlação Angular

5.1 Definição

Além de *redshifts* fotométricos, obtivemos também com os programas Hyperz e Le Phare estimativas de outras características, como o tipo espectral da SED que melhor se ajustou aos dados. No caso dos EROs presentes nas regiões do DPS e do CFHTLS, a maioria das SEDs melhor ajustadas foram as que apresentam características similares às de galáxias Elípticas. Apesar da possibilidade das classificações do Hyperz para os dados do DPS estarem contaminadas por objetos que seriam na verdade de tipos mais tardios, as fornecidas pelo Le Phare para os objetos do CFHTLS são coerentes (conforme foi mostrado nas seções 3.3 e 4.2.3). Dessa forma, esse resultado parece indicar uma conexão dos EROs com Elípticas do Universo local. O próximo passo é investigar se também possuem as mesmas características que as Elípticas quanto a sua distribuição espacial, já que estas estão tipicamente agrupadas em grandes aglomerações conforme a relação morfologia-densidade (Dressler, 1980). Isso implicaria também que os EROs poderiam ser bons traçadores para a localização de aglomerados em altos *redshifts*. Além disso, confirmada essa conexão com Elípticas, seria possível contribuir para a investigação da época de formação desses objetos, para a compreensão de sua natureza e para a elaboração de um melhor cenário para a origem e evolução de galáxias. É particularmente importante

neste trabalho a inclusão de outras galáxias, em altos *redshifts*, como as DRGs e BzKs e objetos com cores $r'-z'$ muito vermelhas numa análise simultânea.

Para investigar o grau de aglomeração desses objetos, fizemos uso da função de correlação angular calculada a partir do estimador de Landy e Szalay (Landy e Szalay, 1993):

$$\omega(\theta) = \frac{DD - 2DR + RR}{RR} \quad (5.1)$$

onde DD, DR e RR são números de pares de objetos separados por uma distância angular entre θ a $\theta + d\theta$. As contagens DD são realizadas na amostra observada de galáxias, enquanto RR é realizada numa amostra aleatória distribuída pela mesma área da amostra de galáxias e as contagens DR são relativas a todos os pares galáxia - pontos aleatórios. As amostras aleatórias que geramos contiveram 40000 pontos, sendo significativamente maiores que as amostras dos objetos estudados e tiveram seus pontos com localização dentro das regiões mascaradas excluídos, como ocorreu para os dados reais. O estimador de Landy e Szalay é um dos mais utilizados na literatura, e em princípio minimiza alguns problemas de natureza estatística (ex. Kerscher, Szapudi e Szalay (2000)). A função de correlação angular, dessa forma, mostra o quanto uma dada amostra de galáxias se encontra mais (ou menos) aglomerada quando comparada com uma amostra homogeneamente distribuída (representada pelo conjunto de pontos aleatórios).

É usualmente assumido que a função de correlação angular segue uma lei de potência como:

$$\omega(\theta) = A\theta^{-\delta}. \quad (5.2)$$

Reescrevendo a expressão 5.2 com seu logaritmo encontramos:

$$\log\omega(\theta) = \log A - \delta \log\theta. \quad (5.3)$$

Assim é possível obter os valores de δ e A a partir de um ajuste linear da função de correlação. É comum na literatura se encontrar ajustes com valor de δ fixo em 0.8, um valor de origem observacional (Daddi et al., 2000; Roche et al., 2002;

Georgakakis et al., 2005). No entanto optamos por deixar também esse parâmetro livre, pois o ajuste com δ fixo não foi compatível com a variedade de resultados para a função de correlação angular no grande domínio de *redshifts* que examinamos. Para realizar os ajustes foi utilizado o método de mínimos quadrados.

Os erros em $\omega(\theta)$ são poissônicos, dados pela expressão (Quadri et al., 2007):

$$\delta\omega(\theta) = \frac{1 + \omega(\theta)}{\sqrt{DD}}. \quad (5.4)$$

Para completar esse estudo das propriedades de aglomeração das diferentes famílias de galáxias em altos *redshifts*, utilizamos a equação de Limber (Limber, 1953) para obter a escala de correlação r_0 de uma função de correlação espacial:

$$\xi(r) = \left(\frac{r}{r_0}\right)^{-\gamma} \quad (5.5)$$

onde $\gamma = \delta + 1$, a partir dos coeficientes do ajuste da função de correlação angular de uma dada amostra, assim como da distribuição de *redshifts* dN/dz da mesma. Usamos a expressão da equação de Limber na forma apresentada por Grazian et al. (2006b), e para obtê-la, foi assumido que uma aproximação de ângulos pequenos (o que não afeta nossos resultados já que lidamos com pequenas separações) e também que a função de correlação espacial segue uma lei de potência como na equação 5.5. Desta forma a expressão é dada por:

$$\omega(\theta) = \sqrt{\pi} \frac{\Gamma\left(\frac{\gamma-1}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{\gamma}{2}\right)} \frac{\theta^{1-\gamma} r_0^\gamma \int_0^\infty \left(\frac{dN}{dz}\right)^2 r^{1-\gamma} \left(\frac{dz}{dr}\right) dz}{N_{obj}^2} \quad (5.6)$$

onde Γ é a função Gama e dz/dr é a relação entre o *redshift* e a distância co-móvel, para cujo cálculo utilizamos $\Omega_m = 0.3$, $\Omega_\Lambda = 0.7$ e $H_0 = 100h$ km/s/Mpc:

$$dz/dr = \frac{H_0 \sqrt{\Omega_m (1+z)^3 + \Omega_\Lambda}}{c}. \quad (5.7)$$

A escala de correlação r_0 é obtida da equação 5.6, onde se conhece $\omega(\theta)$, γ (vindo do ajuste de $\omega(\theta)$), a integral é resolvida como um somatório em faixas de z (sendo

conhecida sua distribuição finita dN/dz), e a distância co-móvel é calculada para o z médio de cada faixa.

Tendo disponíveis *redshifts* fotométricos para as amostras, optamos por definir intervalos em z_{phot} e calcular a função de correlação angular para os objetos localizados dentro de cada um. Esses intervalos foram suficientemente grandes ($\Delta z_{phot} \approx 0.5$) para minimizar os efeitos dos altos erros em z_{phot} . Pretendemos com isso avaliar a evolução da função de correlação angular com z_{phot} e, com isso, a evolução das diferentes classes de galáxias. Esse estudo é apresentado nas seções a seguir. Os intervalos de *redshifts* foram escolhidos com base nas amostras de galáxias do campo D1 do CFHTLS, também com a preocupação de manter um número razoável de objetos em cada um. Esses mesmos intervalos foram mantidos na análise dos dados do DPS.

5.2 Aplicando ao DPS

Seguindo o método descrito na seção anterior, foram obtidas as funções de correlação angular das amostras completas de EROs encontradas em cada campo do DPS em dois intervalos de *redshift*. Elas são comparadas com as funções de correlação de EROs cujas classificações morfológicas foram Elípticas ou *Burst* pelo código Hyperz, assim como as de galáxias em geral que também receberam essas mesmas classificações. Conforme foi explicado na seção 4.2.3, essas classificações são sub-produtos deste código e sofrem da degenerescência de possíveis ajustes de diferentes *templates*, levando à existência de alguma contaminação de objetos mais tardios nesses dois tipos selecionados. No entanto, resolvemos calcular as funções de correlação dessas amostras E + Bursts para servirem como um padrão de comparação desta classe, e elas são mostradas para os campos Deep2c e Deep3b na figura 5.1. É possível inferir o aumento da escala de correlação para as amostras mais distantes e como essas amostras são limitadas em magnitude aparente, atribuir este efeito ao fato de que elas contêm objetos mais luminosos e, como se espera de galáxias Elípticas, mais aglomerados.

É importante destacar logo que, apesar de apresentarmos os resultados tanto

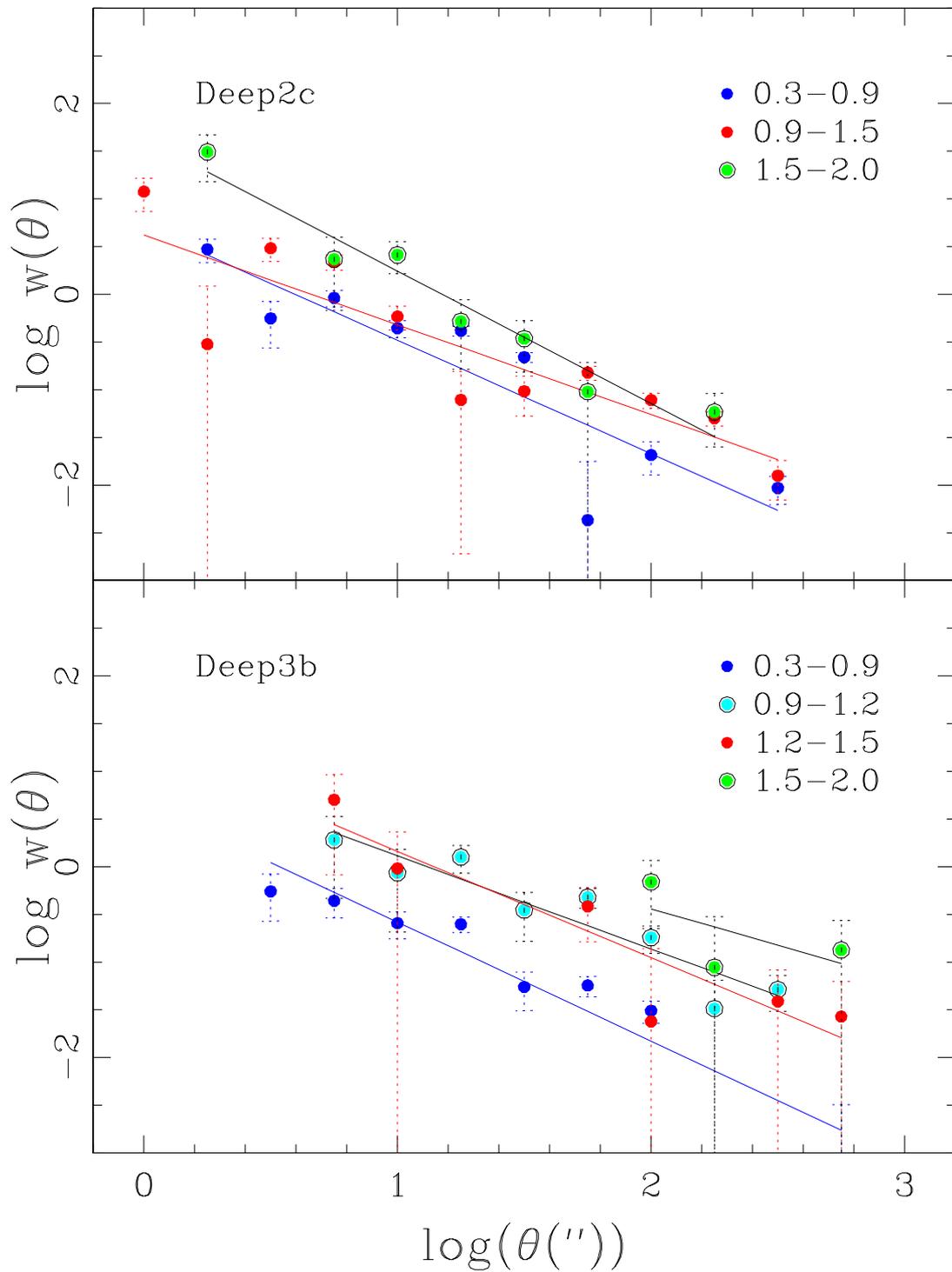


Figura 5.1: Função de correlação angular para amostra de E+Burst nos intervalos de *redshifts* indicados dos campos Deep2c e Deep3b (z obtidos no contexto óptico+infravermelho).

para as amostras definidas no contexto Óptico+K quanto no contexto máximo (Óptico+Infravermelho), as funções de correlação para o primeiro caso podem fornecer resultados menos precisos em alguns campos. Isso ocorre porque nas amostras no contexto Óptico+K somente são incluídos objetos que foram detectados no mínimo em três bandas, sem considerar a banda J, de modo que alguns objetos podem não estar sendo considerados no cálculo da função de correlação, assim favorecendo ou desfavorecendo aglomerações em certas escalas. Outro ponto favorável aos resultados obtidos para as amostras no contexto máximo é que a princípio mais uma banda utilizada no cálculo dos *redshifts* fotométricos fornece uma estimativa mais confiável desse parâmetro. O ponto favorável às amostras no contexto Óptico+K, para alguns campos, é que estas cobrem uma área maior e apresentam um maior número de objetos, o que pode melhorar suas respectivas funções de correlação.

As comparações com as funções de correlação dessas diferentes amostras de objetos em todos os campos do DPS são apresentadas nas figuras 5.2 a 5.5, sendo duas para cada contexto utilizado no cálculo dos *redshifts*, indicados nas respectivas legendas. Cada figura apresenta 3 campos do DPS. Os EROs com todos os tipos morfológicos são representados pelos pontos pretos fechados, e os que receberam classificação do Hyperz de Elíptica ou *Burst* são os pontos vermelhos abertos, enquanto as retas ajustadas a cada um desses conjuntos de pontos são as contínuas pretas e vermelhas, respectivamente. As galáxias Elípticas ou *Burst* são representadas pelos pontos vermelhos fechados, e suas retas ajustadas são as tracejadas vermelhas. Os números de objetos usados na obtenção dessas funções estão disponíveis nas tabelas 5.1 e 5.2, cada uma referente a um intervalo de *redshift*. Uma outra forma de visualizar essas comparações é através das figuras 5.6 a 5.9 que mostram os coeficientes das retas ajustadas aos pontos das funções com suas respectivas barras de erro. As propriedades desses ajustes (quando puderam ser feitos) estão apresentados nas tabelas 5.3 a 5.6. Em todas as figuras, a função obtida por Brown et al. (2005) para EROs está presente para comparação (pontos pretos abertos), e nosso ajuste desses dados, representado pela reta tracejada preta, apresentou os seguintes coeficientes e respectivos erros: $\delta = 0.93$, $\text{erro}(\delta) = 0.11$, $\log A = 1.02$, $\text{erro}(\log A) = 0.24$.

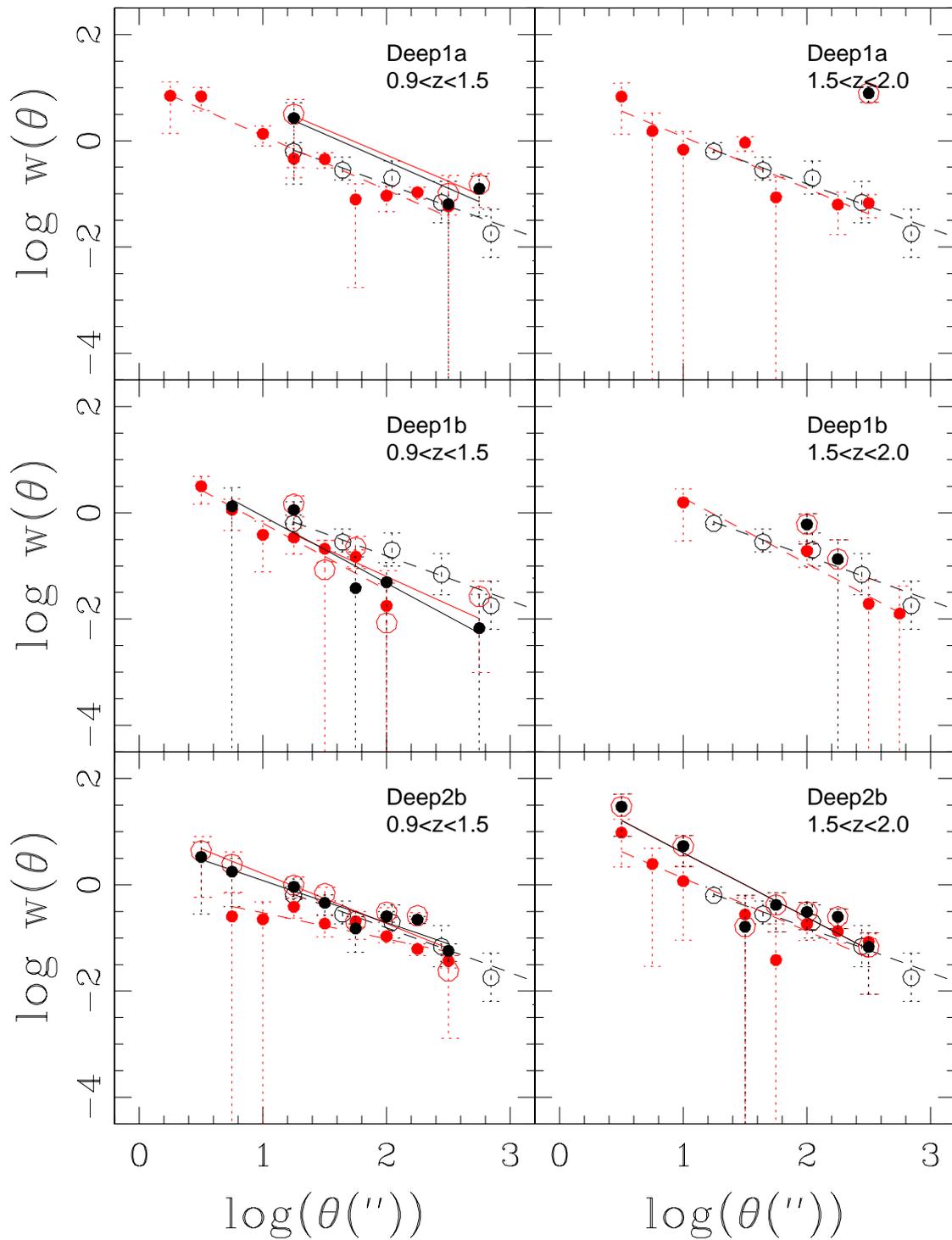


Figura 5.2: Função de correlação angular para amostra de E+Burst (pontos vermelhos fechados) e EROs (todos são os pontos pretos fechados e E+Burst os vermelhos abertos) nos intervalos de *redshifts* e campos indicados do DPS (*z* obtidos no contexto óptico+K).

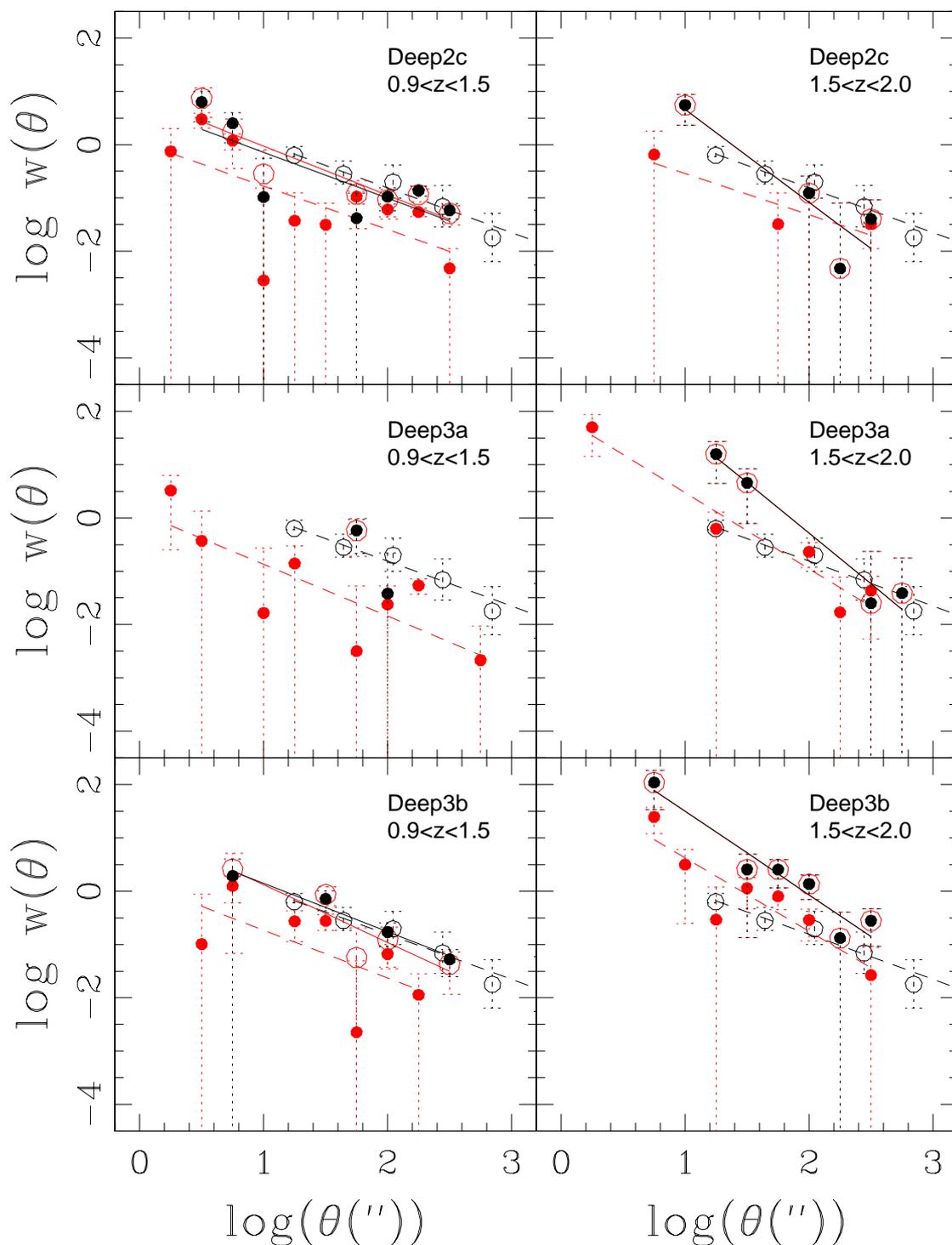


Figura 5.3: Função de correlação angular para amostra de E+Burst (pontos vermelhos fechados) e EROs (todos são os pontos pretos fechados e E+Burst os vermelhos abertos) nos intervalos de *redshifts* e campos indicados do DPS (*z* obtidos no contexto óptico+K).

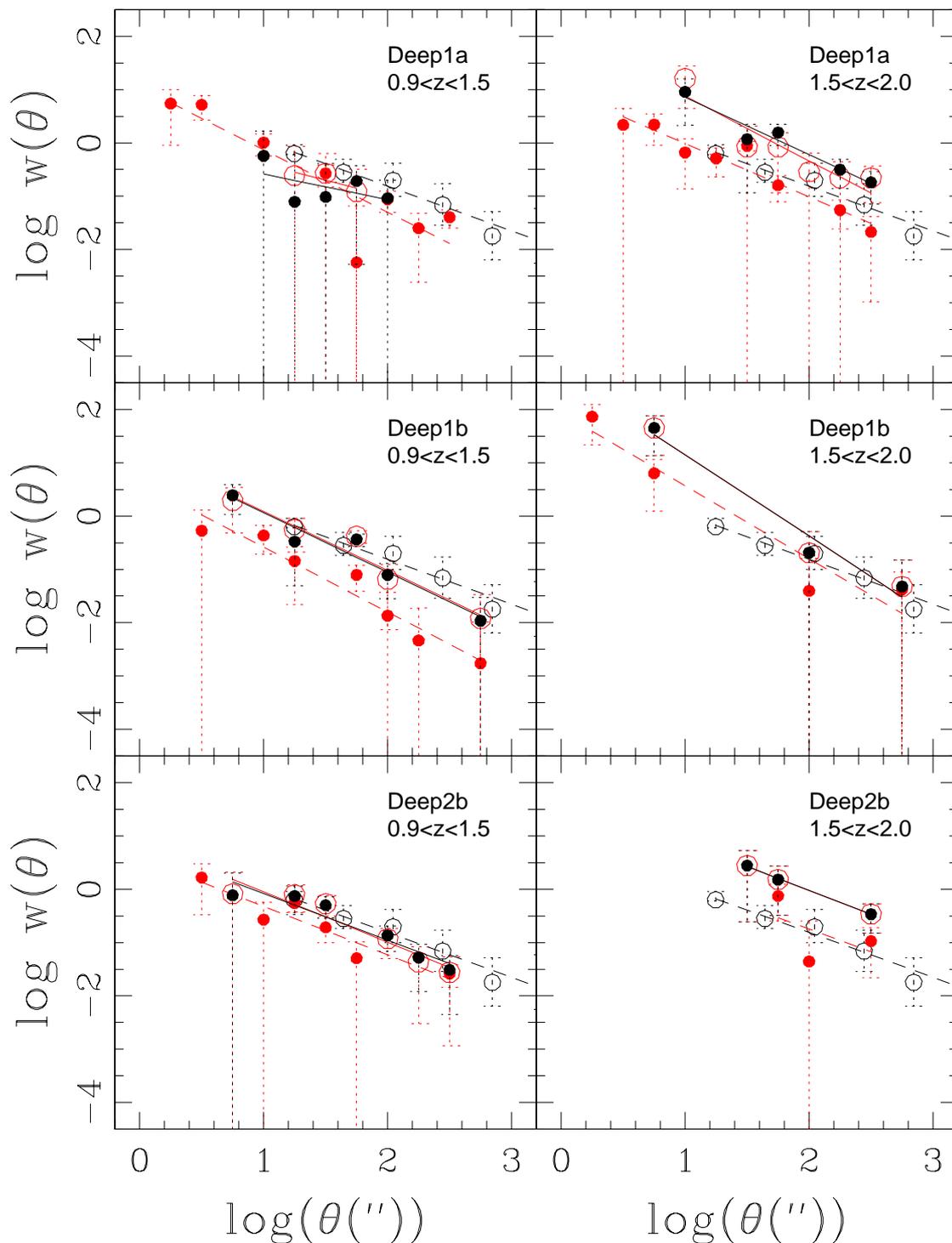


Figura 5.4: Função de correlação angular para amostra de E+Burst (pontos vermelhos fechados) e EROs (todos são os pontos pretos fechados e E+Burst os vermelhos abertos) nos intervalos de *redshifts* e campos indicados do DPS (*z* obtidos no contexto óptico+infravermelho).

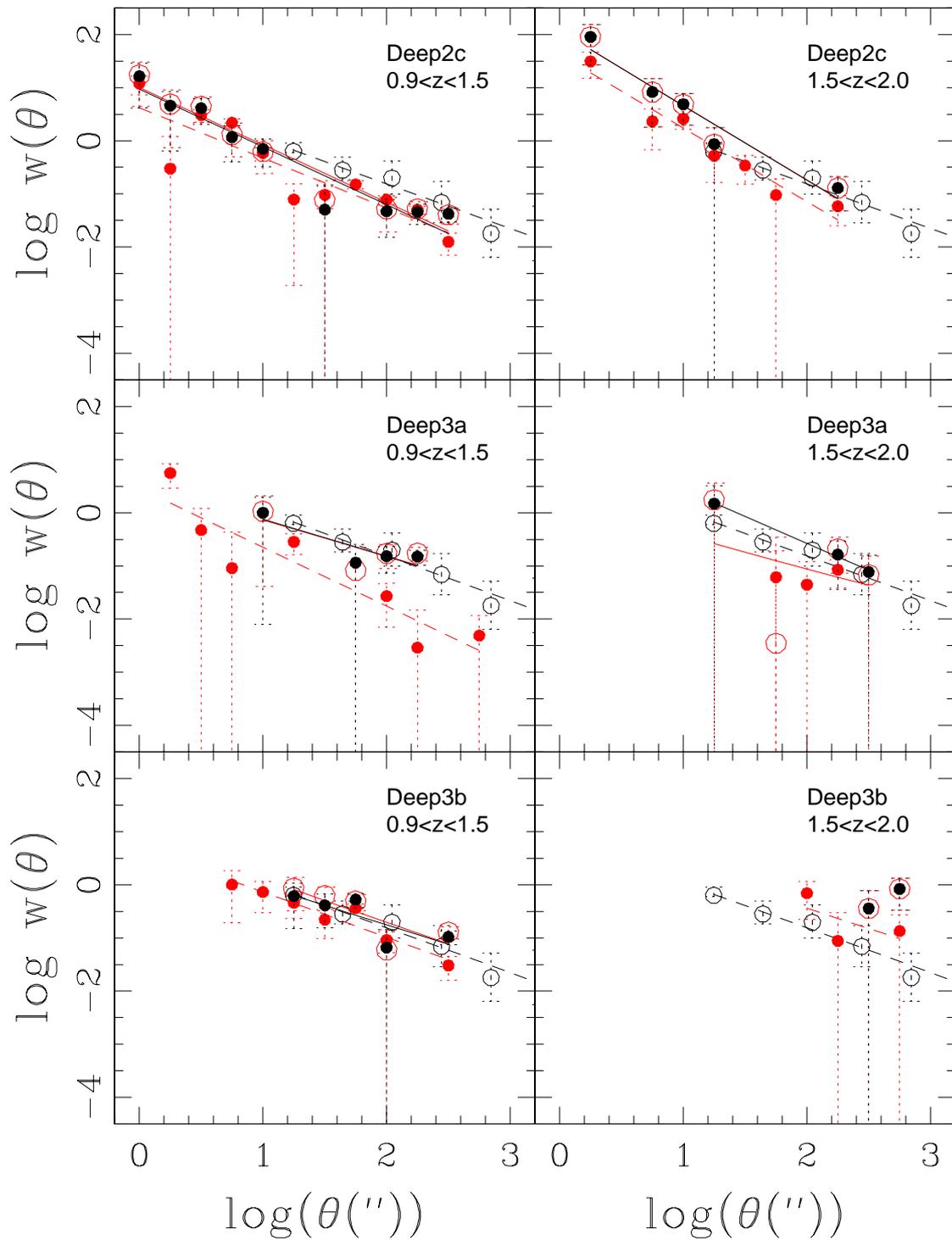


Figura 5.5: Função de correlação angular para amostra de E+Burst (pontos vermelhos fechados) e EROs (todos são os pontos pretos fechados e E+Burst os vermelhos abertos) nos intervalos de *redshifts* e campos indicados do DPS (*z* obtidos no contexto óptico+infravermelho).

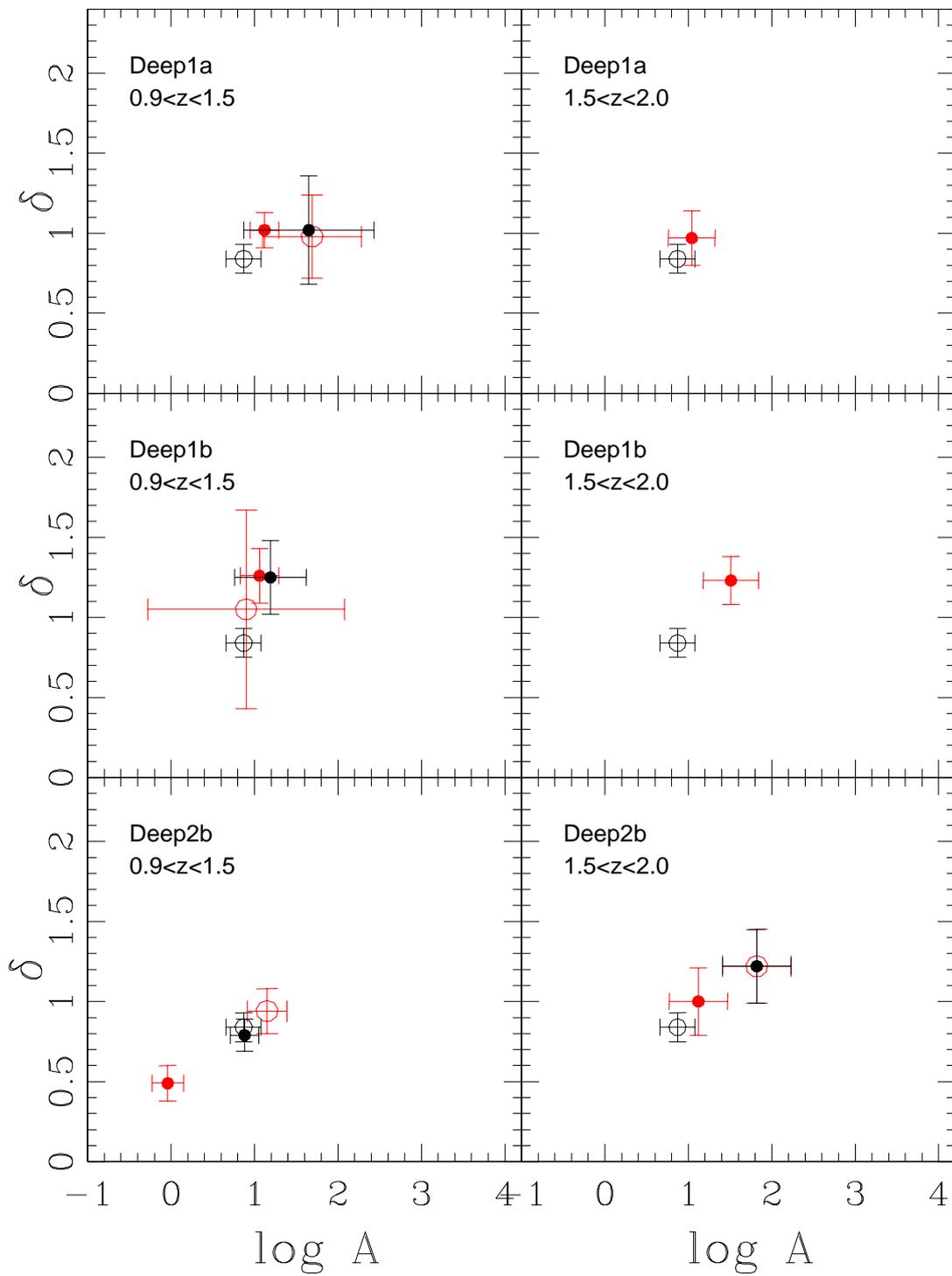


Figura 5.6: Coeficientes dos ajustes das funções de correlação angular apresentadas na figura 5.2, usando mesmos símbolos (z obtidos no contexto óptico+K).

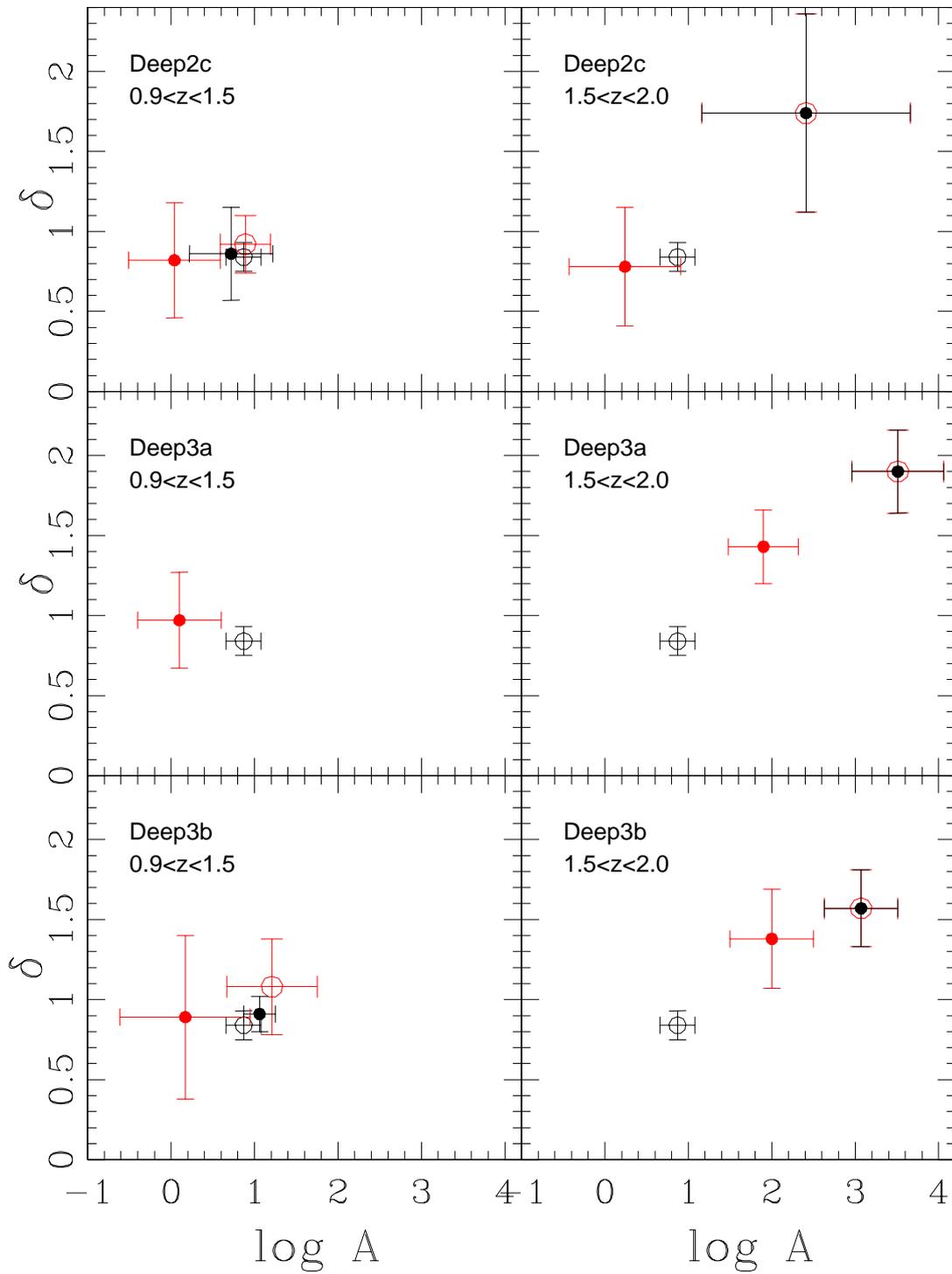


Figura 5.7: Coeficientes dos ajustes das funções de correlação angular apresentadas na figura 5.3, usando mesmos símbolos (z obtidos no contexto óptico+K).

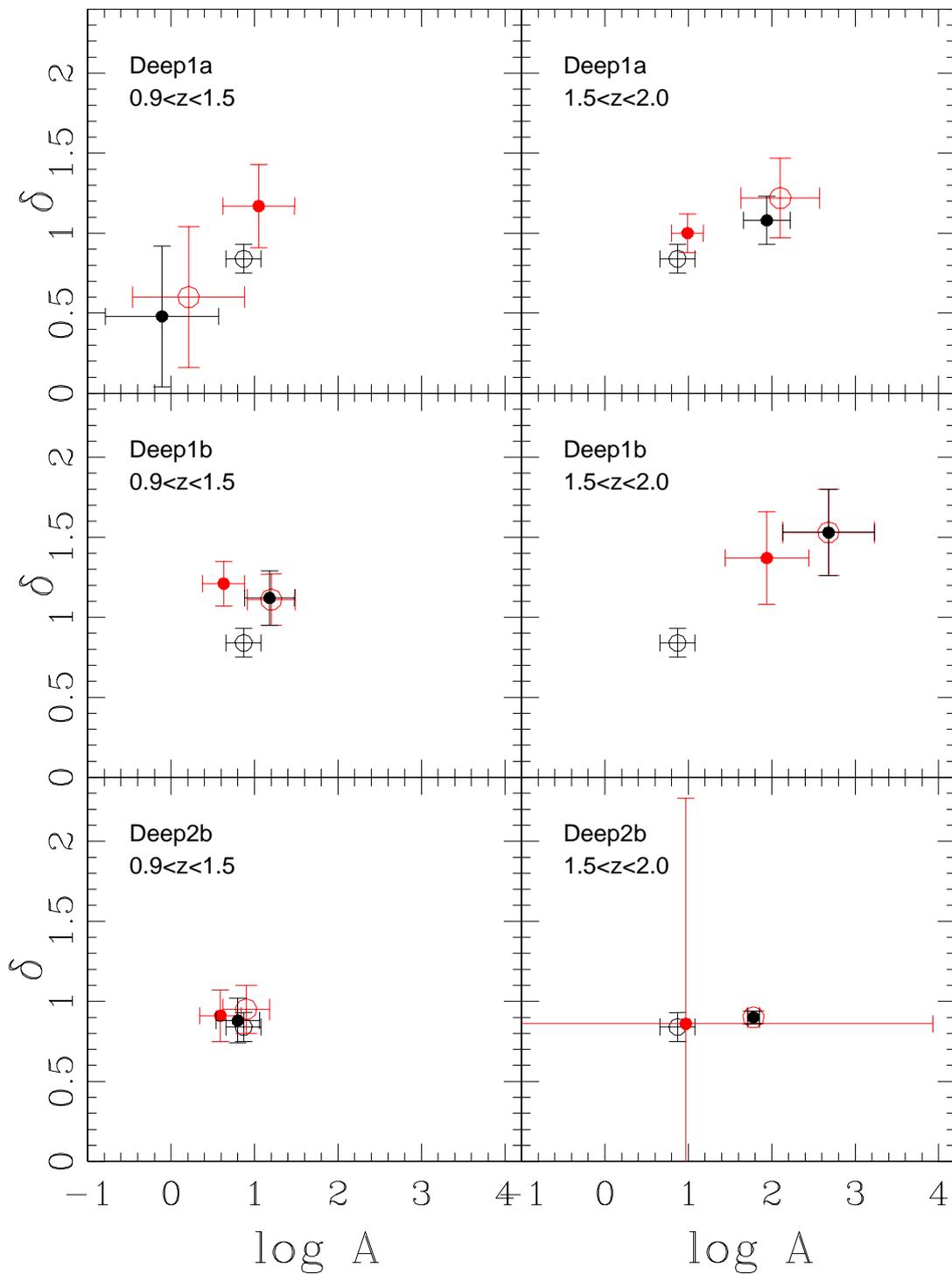


Figura 5.8: Coeficientes dos ajustes das funções de correlação angular apresentadas na figura 5.4, usando mesmos símbolos (z obtidos no contexto óptico+infravermelho).

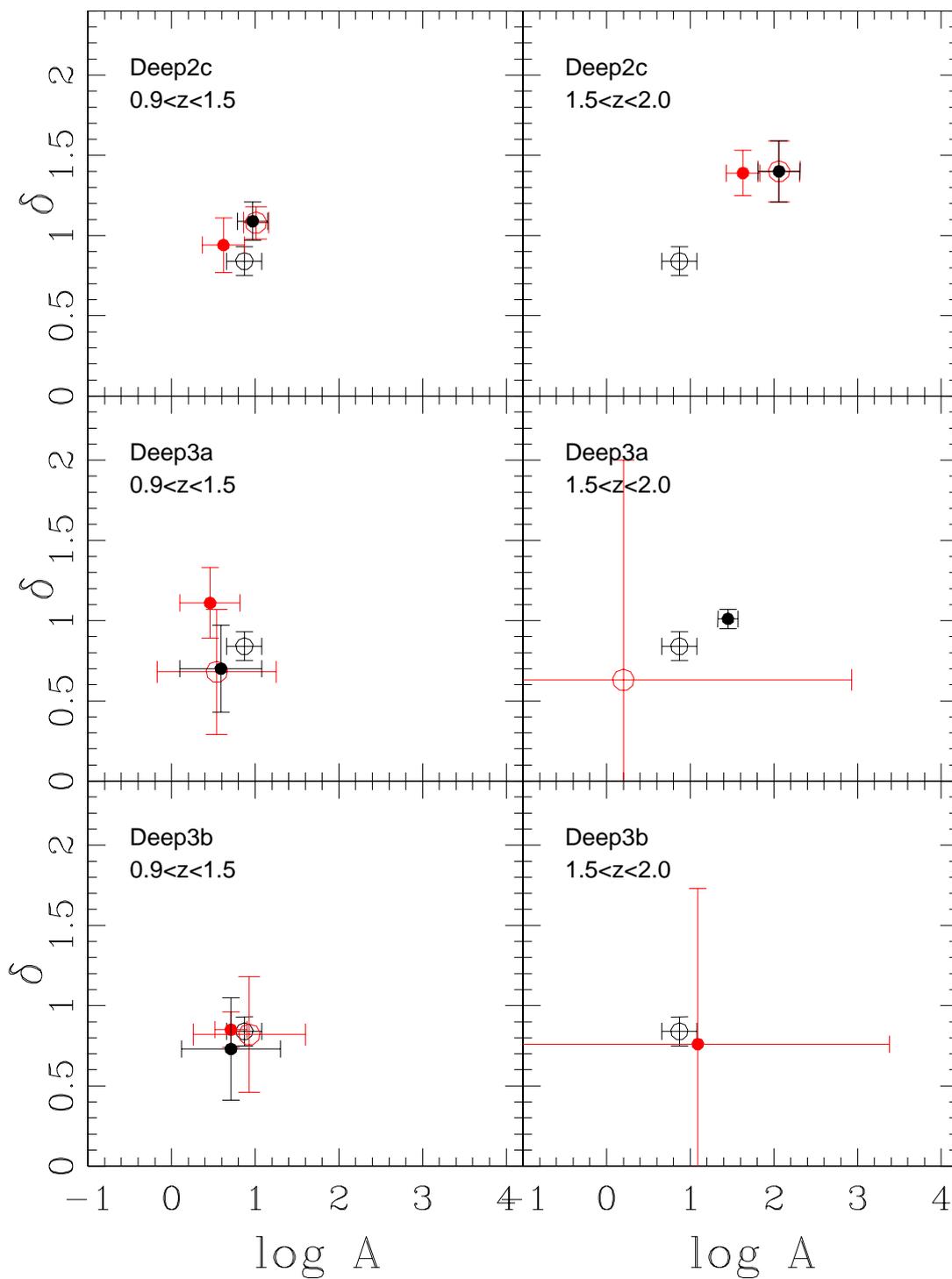


Figura 5.9: Coeficientes dos ajustes das funções de correlação angular apresentadas na figura 5.5, usando mesmos símbolos (z obtidos no contexto óptico+infravermelho).

Tabela 5.1: Números de objetos usados no cálculo da função de correlação em cada campo do DPS no intervalo $0.9 < z < 1.5$.

Campo	Gal(E+Burst)	EROs	EROs(E+Burst)
Deep1a (Opt+K)	111	18	17
Deep1a (Opt+IR)	125	45	42
Deep1b (Opt+K)	152	67	59
Deep1b (Opt+IR)	186	86	76
Deep2b (Opt+K)	267	125	113
Deep2b (Opt+IR)	152	75	74
Deep2c (Opt+K)	292	101	94
Deep2c (Opt+IR)	338	148	144
Deep3a (Opt+K)	225	40	38
Deep3a (Opt+IR)	228	60	59
Deep3b (Opt+K)	236	85	77
Deep3b (Opt+IR)	126	64	60

O primeiro fato que merece atenção nas figuras 5.2 a 5.5 é que, para algumas das amostras em alguns campos, as funções de correlação foram definidas com poucos pontos ou são bem ruidosas e com grandes erros, devido às baixas estatísticas disponíveis nesses casos, como mostram as tabelas 5.1 e 5.2. A faixa de maiores *redshifts* foi particularmente prejudicada, sendo que as amostras referentes a ela são as que mais apresentam esses problemas.

Ainda assim é possível notar que as funções de correlação angular dos EROs apresentam uma forte inclinação e grande valor de amplitude, conforme se espera para objetos aglomerados. Em muitos casos a escala de correlação é superior àquelas das galáxias E + Bursts. É interessante notar que na faixa de *redshifts* menores, os coeficientes ajustados apresentam valores próximos dos de Brown et al. (2005). Isso fica claro nas figuras 5.6 a 5.9, assim como o fato de que os EROs do DPS

Tabela 5.2: Números de objetos usados no cálculo da função de correlação em cada campo do DPS no intervalo $1.5 < z < 2.0$.

Campo	Gal(E+Burst)	EROs	EROs(E+Burst)
Deep1a (Opt+K)	65	3	3
Deep1a (Opt+IR)	99	19	15
Deep1b (Opt+K)	52	17	17
Deep1b (Opt+IR)	35	15	15
Deep2b (Opt+K)	81	48	48
Deep2b (Opt+IR)	22	11	11
Deep2c (Opt+K)	86	35	35
Deep2c (Opt+IR)	86	37	37
Deep3a (Opt+K)	66	13	13
Deep3a (Opt+IR)	64	23	22
Deep3b (Opt+K)	41	15	15
Deep3b (Opt+IR)	13	5	5

localizados em *redshifts* maiores têm funções de correlação ajustadas com amplitudes e inclinações ainda maiores. Esses resultados podem ser notados também na tabela 5.7, onde são apresentados os valores médios encontrados, para a inclinação δ e a amplitude $\log A$, ao se considerar todos os campos, nos dois intervalos de *redshift* avaliados, para as amostras de galáxias com classificação de Elíptica ou *Burst* e EROs, juntamente com seus respectivos desvios padrões. De um modo geral, os EROS se mostram objetos com escala de aglomeração semelhante, e em muitos casos maior, que as galáxias classificadas como Elípticas, indicando que são em média mais aglomerados, compatível com objetos mais luminosos desta classe.

Em particular se esperava poder comparar a intensidade de aglomeração dos EROS de populações velhas com aquela dos EROS de galáxia com formação estelar e poeira. No entanto, os números de objetos nessa segunda família são muito baixos,

Tabela 5.3: Informações vindas dos ajustes de retas às funções de correlação apresentadas na figura 5.2: coeficientes angular e linear seguidos de seus respectivos erros.

Campo	z	Tipo	δ	err(δ)	log A	err(log A)
Deep1a	0.9 a 1.5	EROs(E+Burst)	0.98	0.26	1.69	0.59
Deep1a	0.9 a 1.5	E+Burst	1.02	0.11	1.12	0.17
Deep1a	0.9 a 1.5	EROs	1.02	0.34	1.65	0.78
Deep1a	1.5 a 2.0	E+Burst	0.97	0.17	1.04	0.28
Deep1b	0.9 a 1.5	EROs(E+Burst)	1.05	0.62	0.90	1.18
Deep1b	0.9 a 1.5	E+Burst	1.26	0.17	1.06	0.23
Deep1b	0.9 a 1.5	EROs	1.25	0.23	1.19	0.43
Deep1b	1.5 a 2.0	E+Burst	1.23	0.15	1.51	0.33
Deep2b	0.9 a 1.5	EROs(E+Burst)	0.94	0.14	1.15	0.24
Deep2b	0.9 a 1.5	E+Burst	0.49	0.11	-0.04	0.19
Deep2b	0.9 a 1.5	EROs	0.79	0.10	0.88	0.17
Deep2b	1.5 a 2.0	EROs(E+Burst)	1.22	0.23	1.82	0.41
Deep2b	1.5 a 2.0	E+Burst	1.00	0.21	1.12	0.35
Deep2b	1.5 a 2.0	EROs	1.22	0.23	1.82	0.41

levando à impossibilidade de se obter funções de correlação. Infelizmente, também as conclusões relacionadas às comparações dos resultados encontrados para galáxias e EROs foram prejudicadas pelo próprio fato de as funções apresentarem grandes incertezas e também pela classificação morfológica duvidosa fornecida pelo Hyperz. Resultados mais interessantes e conclusivos foram encontrados para os dados do CFHTLS.

Tabela 5.4: Informações vindas dos ajustes de retas às funções de correlação apresentadas na figura 5.3: coeficientes angular e linear seguidos de seus respectivos erros.

Campo	z	Tipo	δ	$\text{err}(\delta)$	$\log A$	$\text{err}(\log A)$
Deep2c	0.9 a 1.5	EROs(E+Burst)	0.92	0.18	0.89	0.30
Deep2c	0.9 a 1.5	E+Burst	0.82	0.36	0.04	0.55
Deep2c	0.9 a 1.5	EROs	0.86	0.29	0.72	0.50
Deep2c	1.5 a 2.0	EROs(E+Burst)	1.74	0.62	2.41	1.25
Deep2c	1.5 a 2.0	E+Burst	0.78	0.37	0.24	0.67
Deep2c	1.5 a 2.0	EROs	1.74	0.62	2.41	1.25
Deep3a	0.9 a 1.5	E+Burst	0.97	0.30	0.10	0.50
Deep3a	1.5 a 2.0	EROs(E+Burst)	1.90	0.26	3.51	0.55
Deep3a	1.5 a 2.0	E+Burst	1.43	0.23	1.90	0.42
Deep3a	1.5 a 2.0	EROs	1.90	0.26	3.51	0.55
Deep3b	0.9 a 1.5	EROs(E+Burst)	1.08	0.30	1.21	0.54
Deep3b	0.9 a 1.5	E+Burst	0.89	0.51	0.17	0.78
Deep3b	0.9 a 1.5	EROs	0.91	0.11	1.06	0.19
Deep3b	1.5 a 2.0	EROs(E+Burst)	1.57	0.24	3.07	0.44
Deep3b	1.5 a 2.0	E+Burst	1.38	0.31	2.00	0.50
Deep3b	1.5 a 2.0	EROs	1.57	0.24	3.07	0.44

Tabela 5.5: Informações vindas dos ajustes de retas às funções de correlação apresentadas na figura 5.4: coeficientes angular e linear seguidos de seus respectivos erros.

Campo	z	Tipo	δ	$\text{err}(\delta)$	$\log A$	$\text{err}(\log A)$
Deep1a	0.9 a 1.5	EROs(E+Burst)	0.60	0.44	0.21	0.67
Deep1a	0.9 a 1.5	E+Burst	1.17	0.26	1.05	0.43
Deep1a	0.9 a 1.5	EROs	0.48	0.44	-0.11	0.68
Deep1a	1.5 a 2.0	EROs(E+Burst)	1.22	0.25	2.10	0.47
Deep1a	1.5 a 2.0	E+Burst	1.00	0.12	0.99	0.19
Deep1a	1.5 a 2.0	EROs	1.08	0.15	1.94	0.28
Deep1b	0.9 a 1.5	EROs(E+Burst)	1.11	0.16	1.20	0.29
Deep1b	0.9 a 1.5	E+Burst	1.21	0.14	0.63	0.25
Deep1b	0.9 a 1.5	EROs	1.12	0.17	1.18	0.30
Deep1b	1.5 a 2.0	EROs(E+Burst)	1.53	0.27	2.68	0.55
Deep1b	1.5 a 2.0	E+Burst	1.37	0.29	1.94	0.50
Deep1b	1.5 a 2.0	EROs	1.53	0.27	2.68	0.55
Deep2b	0.9 a 1.5	EROs(E+Burst)	0.95	0.15	0.90	0.28
Deep2b	0.9 a 1.5	E+Burst	0.91	0.16	0.59	0.25
Deep2b	0.9 a 1.5	EROs	0.88	0.14	0.80	0.26
Deep2b	1.5 a 2.0	EROs(E+Burst)	0.90	0.04	1.78	0.07
Deep2b	1.5 a 2.0	E+Burst	0.86	1.41	0.97	2.96
Deep2b	1.5 a 2.0	EROs	0.90	0.04	1.78	0.07

Tabela 5.6: Informações vindas dos ajustes de retas às funções de correlação apresentadas na figura 5.5: coeficientes angular e linear seguidos de seus respectivos erros.

Campo	z	Tipo	δ	$\text{err}(\delta)$	$\log A$	$\text{err}(\log A)$
Deep2c	0.9 a 1.5	EROs(E+Burst)	1.08	0.10	1.01	0.15
Deep2c	0.9 a 1.5	E+Burst	0.94	0.17	0.62	0.25
Deep2c	0.9 a 1.5	EROs	1.09	0.12	0.97	0.18
Deep2c	1.5 a 2.0	EROs(E+Burst)	1.40	0.19	2.06	0.25
Deep2c	1.5 a 2.0	E+Burst	1.39	0.14	1.63	0.20
Deep2c	1.5 a 2.0	EROs	1.40	0.19	2.06	0.25
Deep3a	0.9 a 1.5	EROs(E+Burst)	0.68	0.39	0.54	0.71
Deep3a	0.9 a 1.5	E+Burst	1.11	0.22	0.46	0.36
Deep3a	0.9 a 1.5	EROs	0.70	0.27	0.59	0.49
Deep3a	1.5 a 2.0	EROs(E+Burst)	0.63	1.37	0.20	2.73
Deep3a	1.5 a 2.0	EROs	1.01	0.06	1.45	0.12
Deep3b	0.9 a 1.5	EROs(E+Burst)	0.82	0.36	0.93	0.67
Deep3b	0.9 a 1.5	E+Burst	0.85	0.11	0.71	0.19
Deep3b	0.9 a 1.5	EROs	0.73	0.32	0.71	0.59
Deep3b	1.5 a 2.0	E+Burst	0.76	0.97	1.09	2.29

Tabela 5.7: As médias, considerando todos os campos do DPS, dos coeficientes dos ajustes apresentados nas tabelas 5.3 a 5.6, seguidas de seus respectivos desvios padrões, para galáxias com classificação de Elíptica ou *Burst* e EROs em duas faixas de *redshift*.

z	Tipo	δ	σ_δ	log A	$\sigma_{\log A}$
0.9 a 1.5 (Opt+K)	E+Burst	0.91	0.25	0.41	0.53
0.9 a 1.5 (Opt+K)	EROs	0.97	0.18	1.10	0.36
1.5 a 2.0 (Opt+K)	E+Burst	1.13	0.26	1.30	0.65
1.5 a 2.0 (Opt+K)	EROs	1.61	0.29	2.70	0.74
0.9 a 1.5 (Opt+IR)	E+Burst	1.03	0.15	0.68	0.20
0.9 a 1.5 (Opt+IR)	EROs	0.83	0.25	0.69	0.44
1.5 a 2.0 (Opt+IR)	E+Burst	1.08	0.29	1.32	0.44
1.5 a 2.0 (Opt+IR)	EROs	1.18	0.27	1.98	0.45

5.3 Aplicando ao CFHTLS

O mesmo procedimento descrito na seção 5.1 foi aplicado às amostras do campo D1 do CFHTLS e graças a uma classificação mais confiável dos tipos de galáxias, foi possível uma avaliação mais detalhada das propriedades de aglomeração de diferentes amostras.

Para a determinação de funções de correlação angular, devido ao grande número de objetos na amostra CFHTLS-D1 até o limite de magnitude aparente $i' = 26.0$, foi possível subdividi-la em 5 intervalos de *redshift* conforme mostrados na figura 5.10. Utilizando as classificações morfológicas do código LePhare, pode-se verificar que a percentagem de galáxias Elípticas em cada um dos intervalos de *redshift* é: 7%, 7%, 5%, 2%, 4% respectivamente para os intervalos de $z = [0.3, 0.9]$, $[0.9, 1.2]$, $[1.2, 1.5]$, $[1.5, 2.0]$ e $[2.0, 2.5]$, refletindo a crescente fração de Elípticas com a idade do Universo. A maior amplitude de correlação desta classe de galáxias é perceptível nos diferentes painéis da figura 5.10, destacando-se um significativo aumento da escala de correlação no intervalo $1.5 \leq z \leq 2.0$. Deve-se destacar que neste domínio de *redshift*, a figura 3.44 mostrou um aparente e significativo avermelhamento das Elípticas. A figura 5.10 aparentemente indica que estas Elípticas muito vermelhas estão também muito aglomeradas. As diferenças encontradas entre as funções dos tipos morfológicos avaliados estão claras na figura 5.11, onde são apresentados os coeficientes dos ajustes lineares dessas funções, seguindo a equação 5.3. Esses coeficientes são listados na tabela 5.8.

Os resultados da análise das propriedades de aglomeração para as amostras selecionadas na cor $r' - z'$ são mostrados a seguir. Deve-se ressaltar primeiramente que no intervalo $0.9 \leq z \leq 1.5$, a análise deve ser restrita ao limite de magnitude aparente $i'_{AB} < 24.6$, definido anteriormente para minimizar a contaminação da amostra de Elípticas com outros tipos morfológicos. Nos outros intervalos de *redshift* o limite de magnitude aparente utilizado pode ser estendido até $i'_{AB} < 26.0$. Desta forma, por construção, as amostras com cores $r' - z'$ mais vermelhas nos diferentes intervalos de *redshift* devem representar galáxias Elípticas. De fato, no intervalo $0.9 \leq z \leq 1.5$,

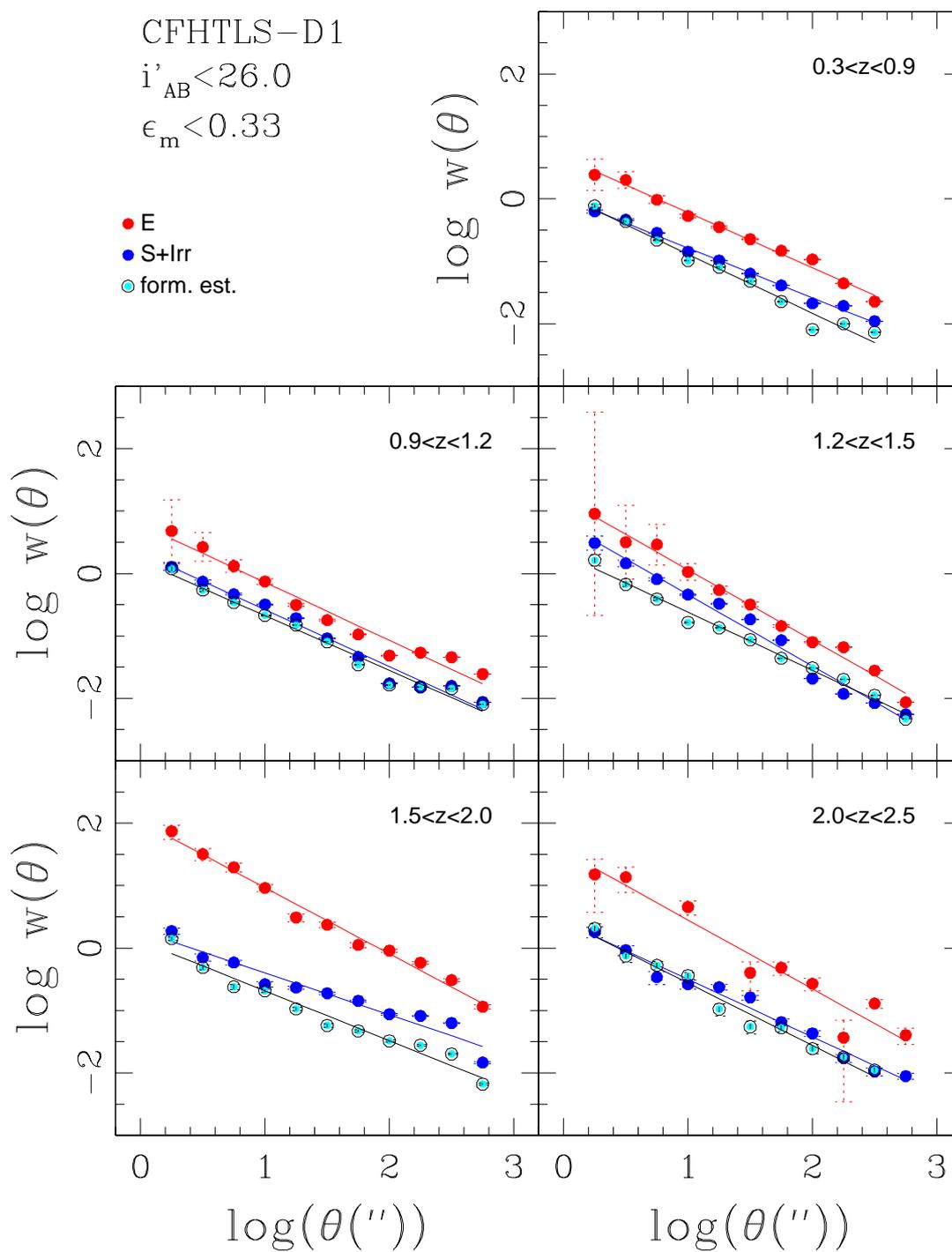


Figura 5.10: Função de correlação angular para diferentes tipos morfológicos em diferentes intervalos de *redshift*.

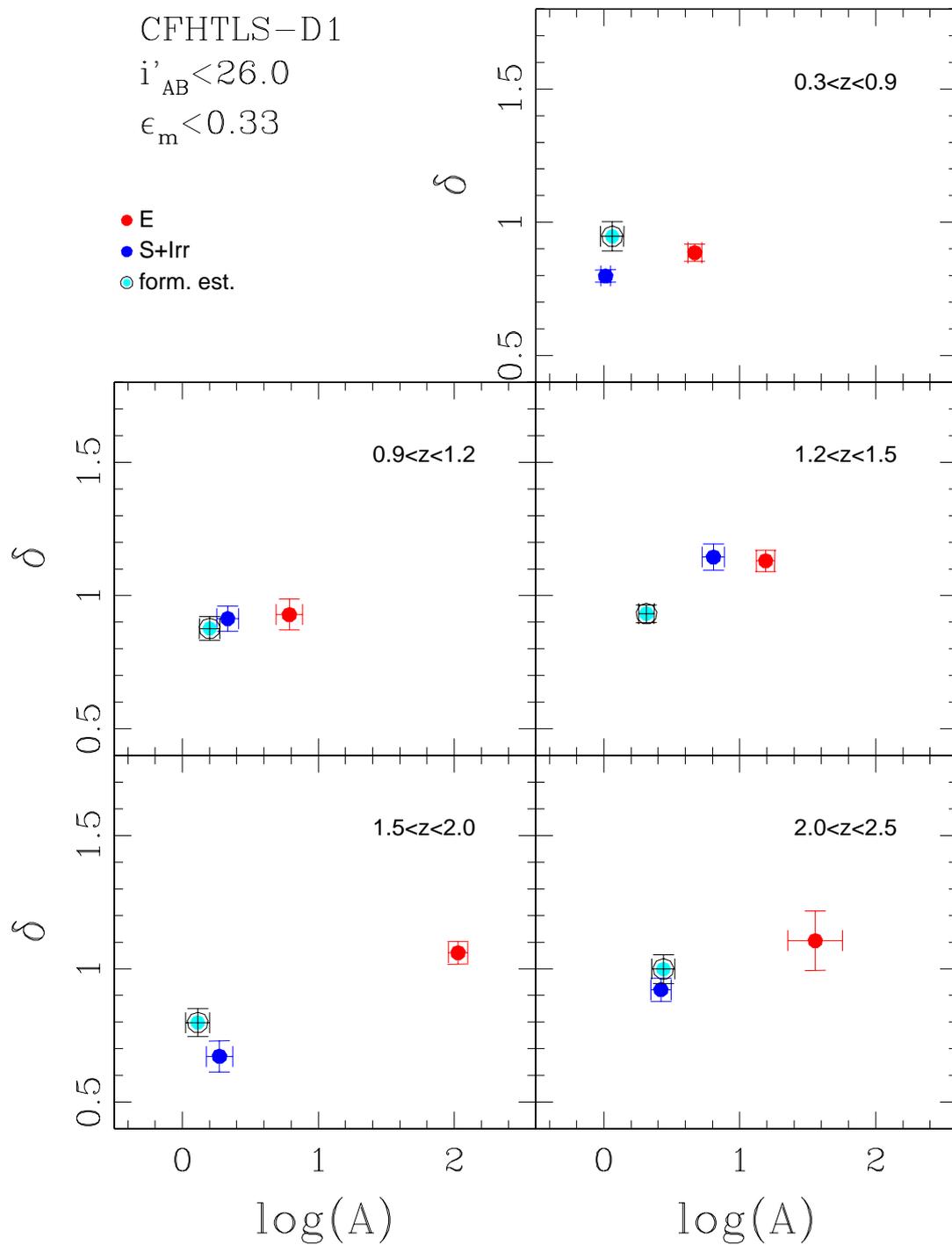


Figura 5.11: Coeficientes dos ajustes lineares obtidos para as funções de correlação para diferentes tipos morfológicos em diferentes intervalos de *redshift*.

Tabela 5.8: Informações vindas dos ajustes de retas às funções de correlação apresentadas na figura 5.10: coeficientes angular e linear seguidos de seus respectivos erros.

z	Tipo	δ	$\text{err}(\delta)$	$\log A$	$\text{err}(\log A)$
0.3 a 0.9	E	0.89	0.03	0.67	0.05
0.3 a 0.9	S+Irr	0.80	0.02	0.01	0.04
0.3 a 0.9	form. est.	0.95	0.06	0.06	0.09
0.9 a 1.2	E	0.93	0.06	0.79	0.10
0.9 a 1.2	S+Irr	0.91	0.05	0.33	0.08
0.9 a 1.2	form. est.	0.88	0.05	0.20	0.08
1.2 a 1.5	E	1.13	0.04	1.19	0.07
1.2 a 1.5	S+Irr	1.14	0.05	0.81	0.08
1.2 a 1.5	form. est.	0.93	0.03	0.31	0.06
1.5 a 2.0	E	1.06	0.04	2.03	0.07
1.5 a 2.0	S+Irr	0.67	0.06	0.27	0.10
1.5 a 2.0	form. est.	0.80	0.05	0.11	0.09
2.0 a 2.5	E	1.11	0.11	1.56	0.20
2.0 a 2.5	S+Irr	0.92	0.04	0.42	0.07
2.0 a 2.5	form. est.	1.00	0.05	0.44	0.08

das 2217 galáxias mais vermelhas, 2097 (95%) são classificadas como Elípticas, enquanto apenas 101 são Espirais, 17 são Irregulares e 2 são galáxias com domínio de formação estelar. Este resultado justifica o bom acordo com a função de correlação angular das Elípticas verificada na figura 5.12, e também visível na 5.13 através da comparação dos coeficientes ajustados que são apresentados na tabela 5.9.

Além disso, a magnitude absoluta média da família de galáxias mais vermelhas é $\langle M'_{AB} \rangle = -21.2$ e sua função de correlação pouco difere daquela obtida selecionando-se Elípticas mais brilhantes que $M'_{AB} = -20.0$ em $z_{\text{tot}} = 1.5$, cuja média de magnitudes absolutas é -21.0 . Já no intervalo $1.5 \leq z \leq 2.1$, a amostra

Tabela 5.9: Informações vindas dos ajustes de retas às funções de correlação apresentadas na figura 5.12: coeficientes angular e linear seguidos de seus respectivos erros.

z	Tipo	δ	$\text{err}(\delta)$	$\log A$	$\text{err}(\log A)$
0.9 a 1.5	r-z>1.9	1.01	0.05	1.00	0.08
0.9 a 1.5	E	0.96	0.05	0.92	0.08
0.9 a 1.5	E $Mi' < -20$	1.03	0.05	1.04	0.09
1.5 a 2.1	r-z>1.7	1.40	0.07	2.41	0.11
1.5 a 2.1	E	1.07	0.04	2.02	0.07
1.5 a 2.1	E $Mi' < -20.5$	1.24	0.11	2.11	0.18
2.1 a 2.5	r-z>0.8	1.28	0.16	1.64	0.26
2.1 a 2.5	E	0.97	0.33	1.19	0.57
2.1 a 2.5	E $Mi' < -21.5$	1.22	0.16	1.77	0.30

de galáxias mais vermelhas apresenta função de correlação angular mais inclinada que a família de Elípticas, guardando mais semelhança com a amostra de Elípticas mais brilhantes que $Mi'_{AB} = -20.5$, indicando um pequeno aumento na luminosidade média desses objetos. De fato este valor é $\langle Mi'_{AB} \rangle = -21.2$ próximo à média de magnitudes absolutas -21.4 da amostra de Elípticas mais brilhantes que $Mi'_{AB} = -20.5$, em $z_{tot} = 1.5$. Um resultado semelhante é obtido no domínio de *redshifts* $2.1 \leq z \leq 2.5$, onde a amostra mais vermelha ($r'-z' > 0.8$) tem magnitude absoluta média $Mi'_{AB} = -22.4$, idêntico ao valor relativo à média de magnitudes absolutas tanto para a família de Elípticas como de Elípticas mais brilhantes que $Mi'_{AB} = -21.5$, em $z_{tot} = 2.5$.

As figuras 5.14 e 5.15 mostram, respectivamente, as funções de correlação angular e os coeficientes de seus ajustes para a amostra CFHTLS-D1, selecionada pela cor r'-z' mais azul. Os coeficientes são apresentados na tabela 5.10. Para todos os intervalos de *redshift* mostrados na figura, pode-se constatar que as galáxias com cor r'-z' mais azul têm funções de correlação angular bastante semelhantes aos

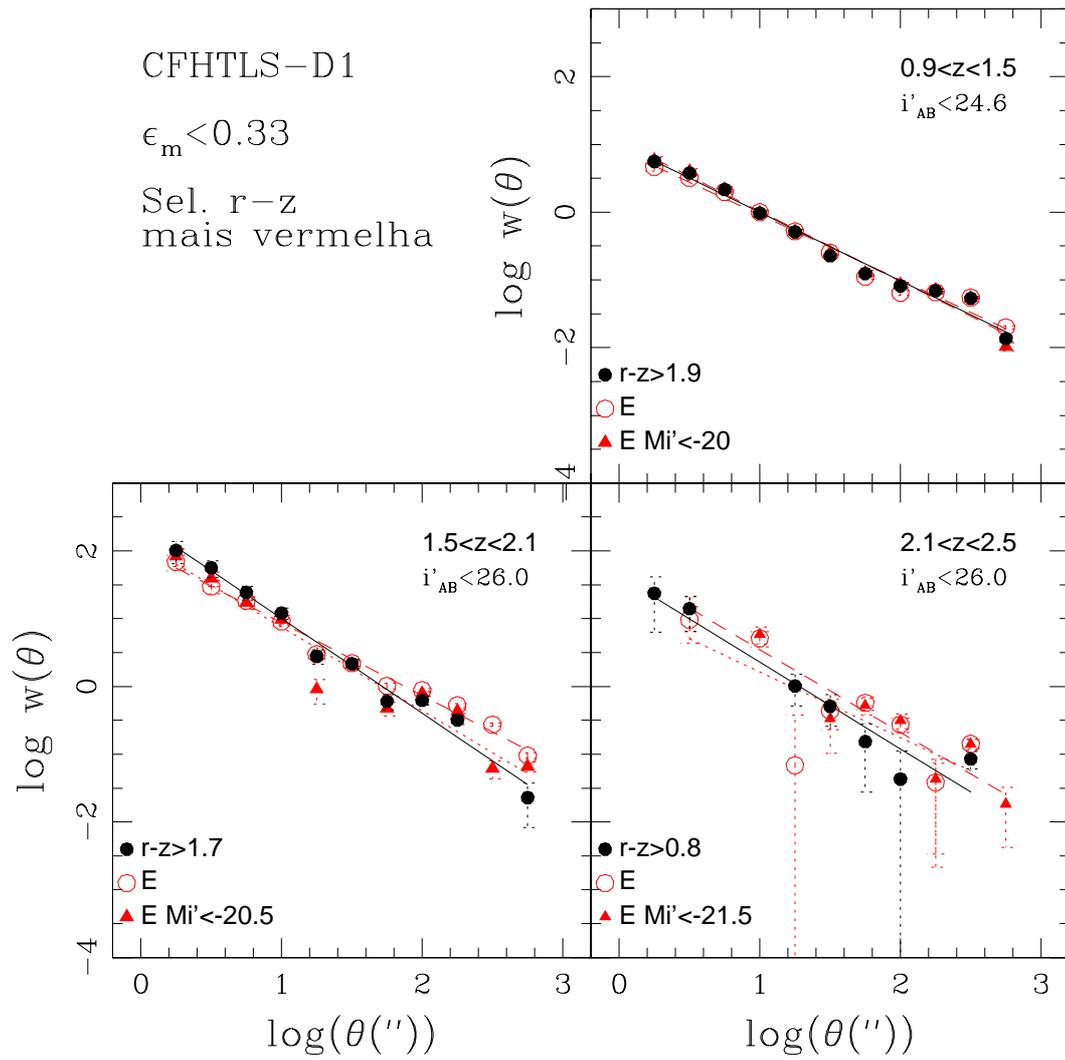


Figura 5.12: Função de correlação angular para a amostra CFHTLS-D1, selecionada pela cor r-z mais vermelha.

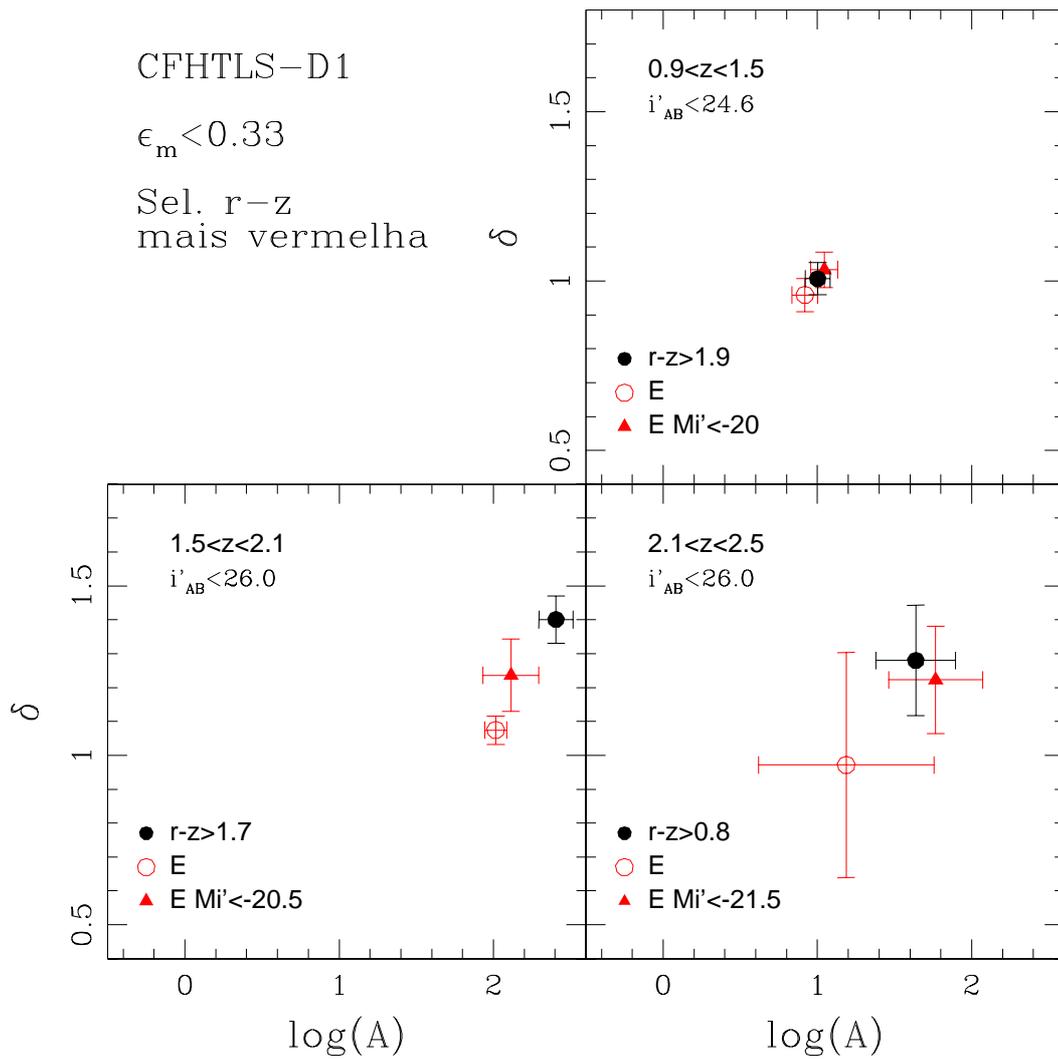


Figura 5.13: Coeficientes dos ajustes lineares obtidos para as funções de correlação angular para amostra CFHTLS-D1, selecionada pela cor r-z mais vermelha.

Tabela 5.10: Informações vindas dos ajustes de retas às funções de correlação apresentadas na figura 5.14: coeficientes angular e linear seguidos de seus respectivos erros.

z	Tipo	δ	$\text{err}(\delta)$	$\log A$	$\text{err}(\log A)$
0.9 a 1.5	r-z<1.9	0.77	0.03	-0.01	0.06
0.9 a 1.5	Esp+Irr	0.86	0.03	0.24	0.06
0.9 a 1.5	form. est.	0.77	0.05	-0.01	0.08
1.5 a 2.0	r-z<1.7	0.69	0.06	-0.04	0.10
1.5 a 2.0	Esp+Irr	0.67	0.06	0.27	0.10
1.5 a 2.0	form. est.	0.80	0.05	0.11	0.09
2.0 a 2.5	r-z<0.8	0.84	0.04	0.24	0.07
2.0 a 2.5	Esp+Irr	0.92	0.04	0.42	0.07
2.0 a 2.5	form. est.	1.00	0.05	0.44	0.08

tipos tardios. No intervalo $0.9 < z < 1.5$, das 875 galáxias selecionadas, apenas 18 (2%) são classificadas como Elípticas, enquanto 111 são Espirais, 340 são Irregulares e 406 apresentam domínio de formação estelar. Estas estatísticas mostram que galáxias selecionadas pela cor $r'-z' < 1.9$ representam objetos onde ocorre intensa formação estelar. Este efeito é mais intenso, no intervalo $1.5 < z < 2.0$, onde das 312 galáxias mais azuis, apenas 2 (0.6%) são Elípticas, enquanto 29 são Espirais, 96 são Irregulares e 185 apresentam surto de formação estelar. Em *redshifts* mais altos ($2.0 < z < 2.5$), a estatística de morfologia é similar ao intervalo mais próximo: das 119 galáxias com $r'-z' < 0.8$, 3 (2.5%) são Elípticas, 19 são Espirais, 46 são Irregulares e 51 mostram predominância de formação estelar.

Para a maioria das amostras de EROS, o domínio possível de *redshifts* para esta análise foi $0.9 \leq z \leq 1.5$. Em *redshifts* maiores, o número destes objetos é muito pequeno para fornecer uma função de correlação minimamente aceitável. No painel superior esquerdo da figura 5.16 pode-se verificar que a amostra total de EROS apresenta no intervalo $0.9 \leq z \leq 1.5$ uma relação inclinada, próxima às Elípticas

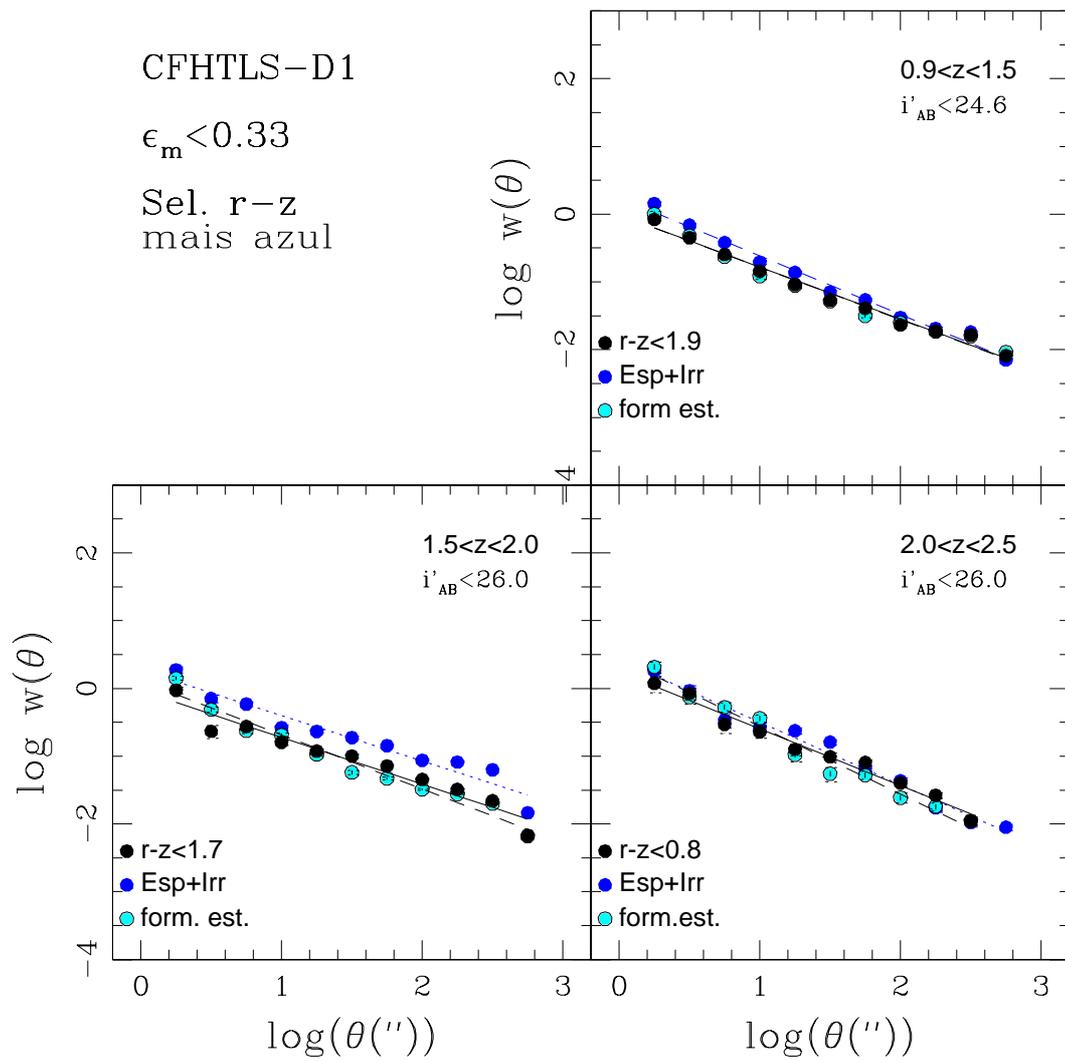


Figura 5.14: Função de correlação angular para a amostra CFHTLS-D1, selecionada pela cor r-z mais azul.

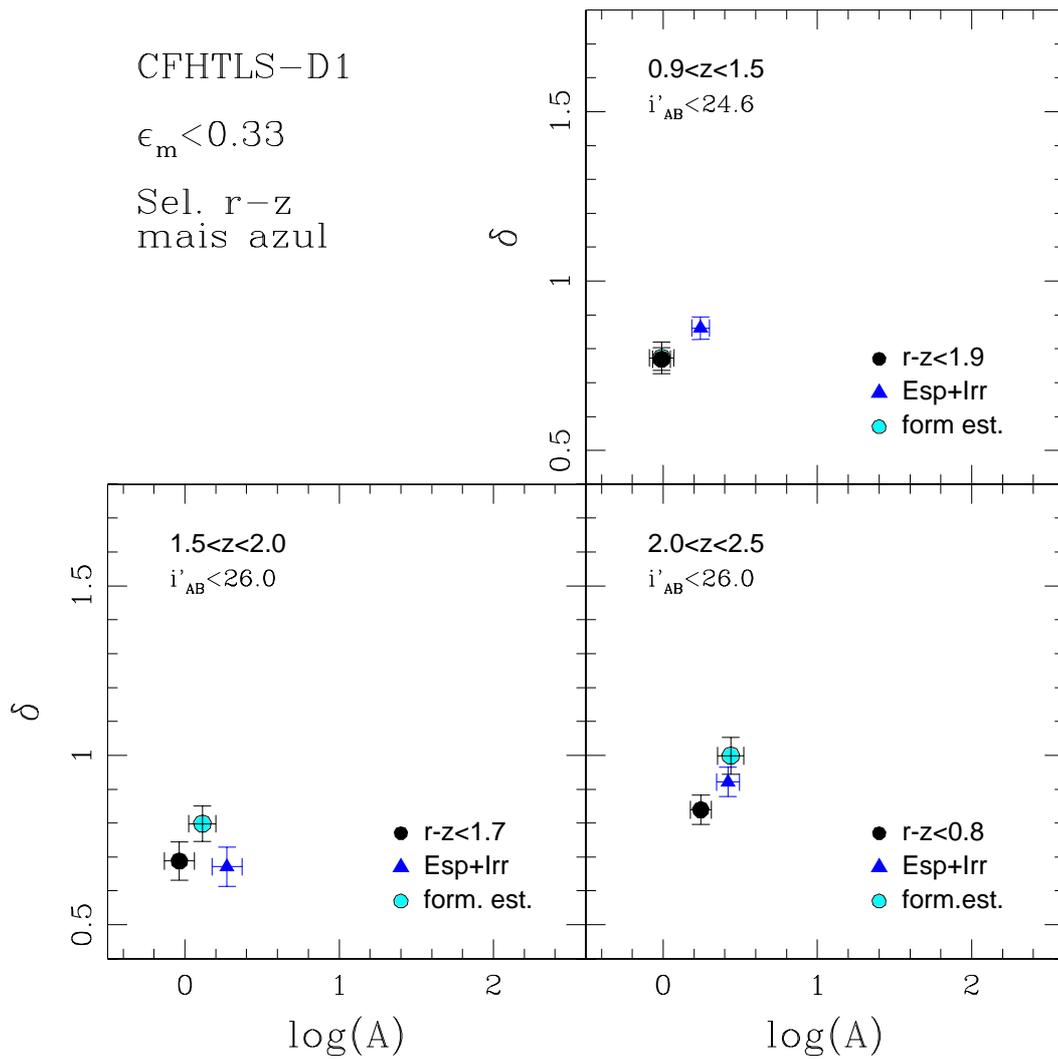


Figura 5.15: Coeficientes dos ajustes lineares obtidos para as funções de correlação angular para amostra CFHTLS-D1, selecionada pela cor r-z mais azul.

em pequenas escalas e próxima a tipos late e com formação estelar em grandes escalas. Este resultado reflete a existência de uma população mista de galáxias. É interessante notar que segundo a classificação morfológica do LePhare, os 187 EROs, neste intervalo de *redshift*, são constituídos de 143 Elípticas (76%), 41 Espirais e 3 Irregulares. Por outro lado, a amostra de EROS com seleção adicional de objetos velhos, de acordo com a relação de Pozzetti e Mannucci, também apresenta uma relação inclinada como mostra o painel superior direito, diferente dos resultados da amostra de EROs de Brown et al. (2005) e de Elípticas mais brilhantes que $Mi'_{AB} < -21$ e $Mi'_{AB} < -22$. Entretanto, no painel inferior esquerdo, a amostra de EROS com seleção adicional de $r'-z' > 1.9$ é formada de 97% de galáxias classificadas como Elípticas (103 de 108 objetos) além de apresentar bom acordo com a amostra de Brown et al. (2005) e com as amostras de galáxias brilhantes. Com isto, é possível concluir que o critério adicional na cor $r'-z'$ mais vermelha seleciona Elípticas luminosas de forma mais eficiente que a relação de Pozzetti e Mannucci. A figura 5.17 apresenta os coeficientes dos ajustes das funções de correlação dos EROs (cujos valores seguem na tabela 5.11) e permite uma rápida visualização das comparações mencionadas.

Resultados para a amostra de EROs com cor $r'-z'$ mais azul são mostrados nas figuras 5.18 e 5.19, com os valores dos coeficientes dos ajustes de suas funções de correlação sendo fornecidos na tabela 5.12. No intervalo $0.9 \leq z \leq 1.5$, os EROs com $r'-z' < 1.9$ apresentam função de correlação intermediária entre Elípticas e galáxias de tipo morfológico late. Analogamente ao caso dos EROs mais vermelhos, os 76 objetos mais azuis aqui analisados são constituídos de 35 Elípticas (46%), 38 Espirais e 3 Irregulares. Se são selecionados apenas os 35 EROS também classificados como Elípticas, estes apresentam função de correlação bastante similar à de Elípticas com magnitudes absolutas $Mi'_{AB} < -21$, mostrando que são também objetos bastante brilhantes. Já no intervalo $1.5 < z < 2.0$ os EROS mais azuis, ($r'-z' < 1.7$) têm maior semelhança na sua função de correlação com galáxias onde a formação estelar é intensa. De fato, dos 40 EROs selecionados neste intervalo, apenas 7 ($\approx 17\%$) são classificados como Elípticas, 29 como Espirais e 4 como Irregulares. Entretanto, este

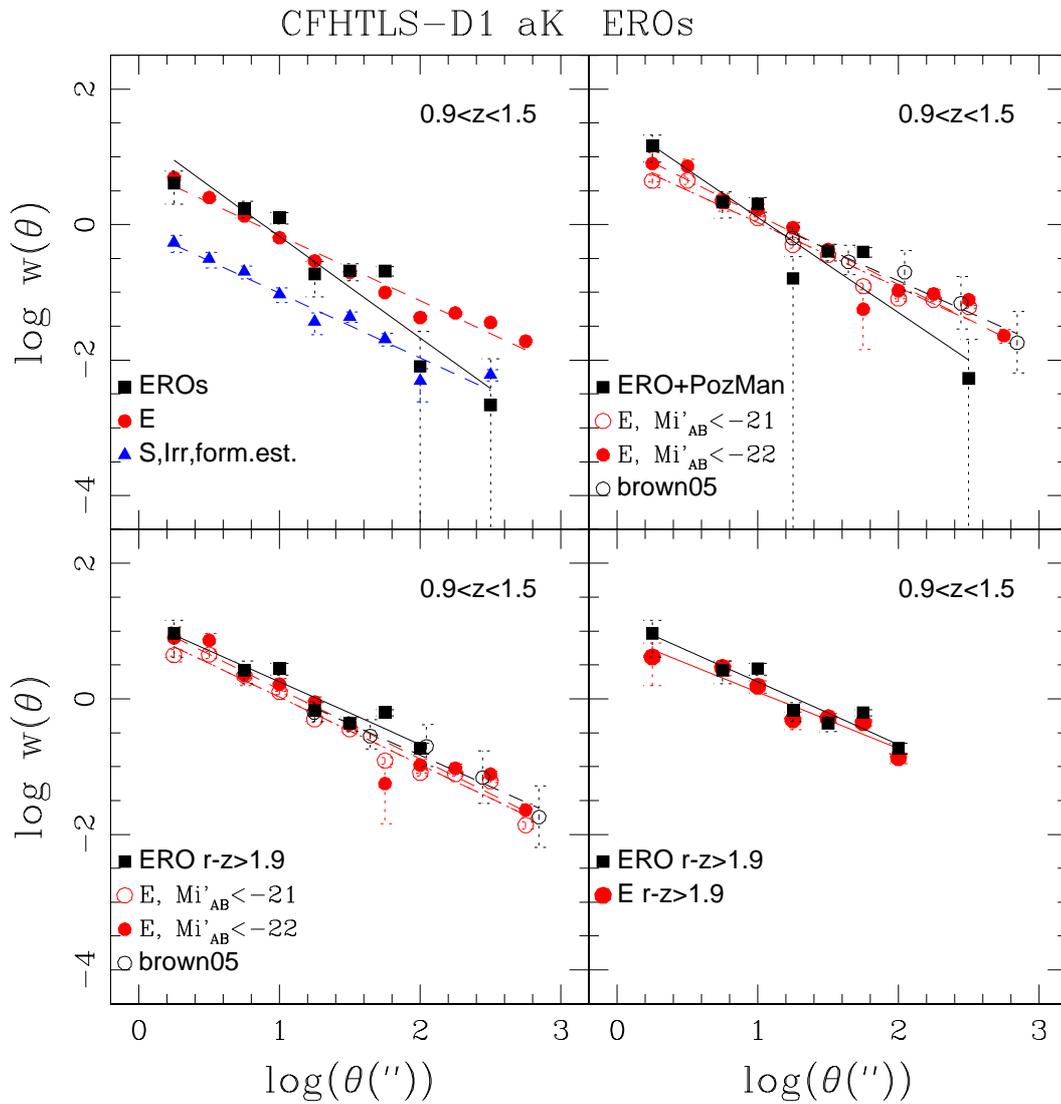


Figura 5.16: Função de correlação angular para a amostra total de EROs e EROS com cor $r-z > 1.9$ em diferentes intervalos de *redshift*, comparadas com diferentes morfologias, conforme símbolos indicados.

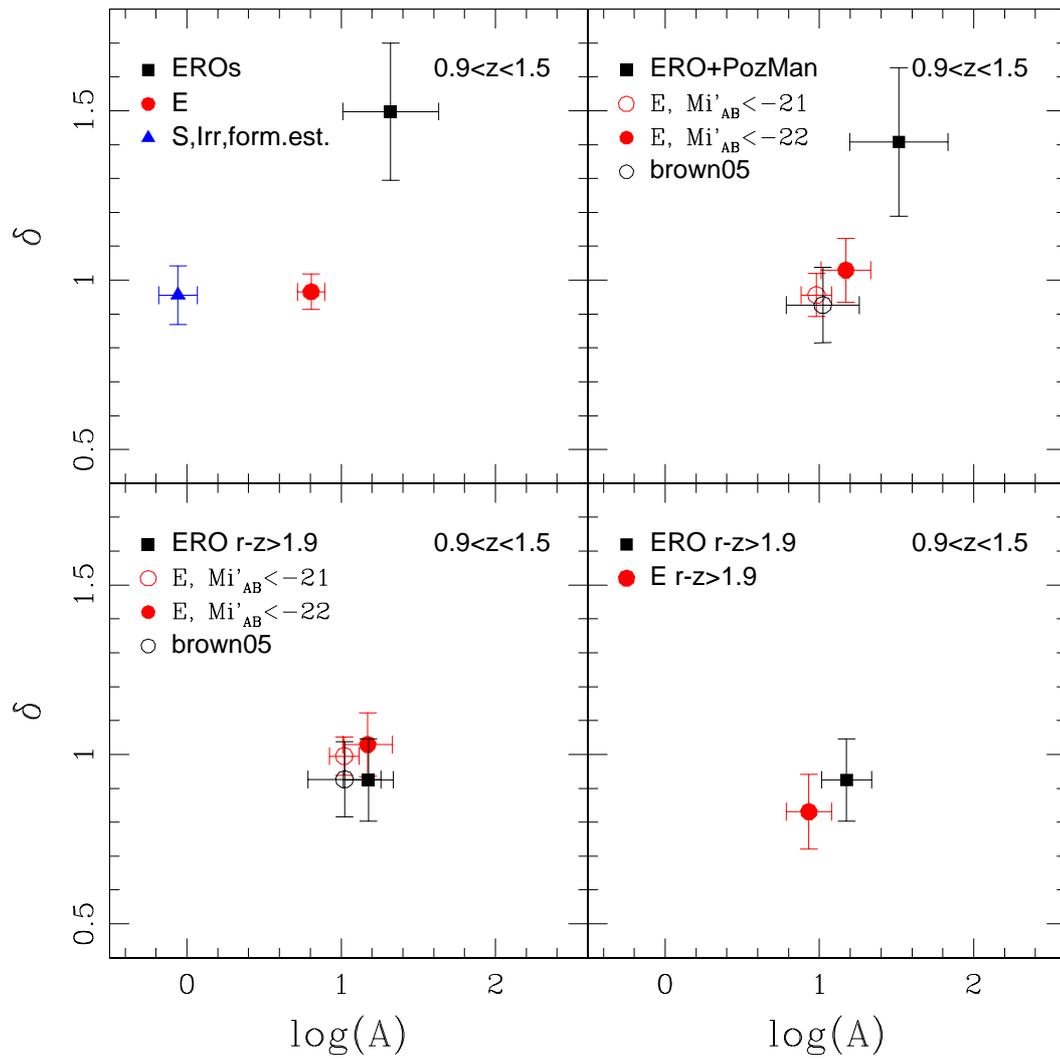


Figura 5.17: Coeficientes dos ajustes lineares obtidos para as funções de correlação angular para amostras de EROs.

Tabela 5.11: Informações vindas dos ajustes de retas às funções de correlação apresentadas na figura 5.16: coeficientes angular e linear seguidos de seus respectivos erros.

z	Tipo	δ	err(δ)	log A	err(log A)
0.9 a 1.5	EROs	1.50	0.20	1.32	0.31
0.9 a 1.5	E	0.97	0.05	0.81	0.09
0.9 a 1.5	S,Irr,form.est.	0.96	0.09	-0.06	0.13
0.9 a 1.5	ERO+PozMan	1.41	0.22	1.52	0.32
0.9 a 1.5	E, $Mi'_{AB} < -21$	0.96	0.06	0.98	0.10
0.9 a 1.5	E, $Mi'_{AB} < -22$	1.03	0.09	1.17	0.16
-	Brown et al.(2005)	0.93	0.11	1.02	0.24
0.9 a 1.5	ERO $r-z > 1.9$	0.93	0.12	1.18	0.16
0.9 a 1.5	E $r-z > 1.9$	0.83	0.11	0.93	0.15

resultado deve ser visto com cautela devido ao pequeno número de EROs envolvidos nesta análise.

A figura 5.20 apresenta as funções de correlação angular para as DRGs em dois intervalos de *redshift*, enquanto a 5.21 mostra os coeficientes encontrados dos seus ajustes (cujos valores são listados na tabela 5.13). Deve-se ressaltar que no intervalo $0.9 \leq z \leq 1.5$, estas galáxias, embora possuindo cores indicativas de objetos com grande atividade de formação estelar, têm alta aglomeração, maior que a média das Elípticas. Como comparação é mostrada a função de correlação para a família de Elípticas muito luminosas, com $Mi'_{AB} < -22.5$. Das 52 DRGs neste intervalo de *redshift*, 31 (60%) são classificadas como Elípticas, 13 como Espirais 7 como Irregulares e 1 como dominada por formação estelar. No intervalo de *redshift* $1.5 \leq z \leq 2.5$, as DRGs apresentam função de correlação similar à família de Elípticas, que neste domínio de *redshifts* apresenta uma média de magnitudes absolutas de $\langle Mi'_{AB} \rangle = -21.6$, indicando um conjunto de galáxias muito brilhantes. A função de correlação é marcadamente diferente da família de galáxias classificadas como

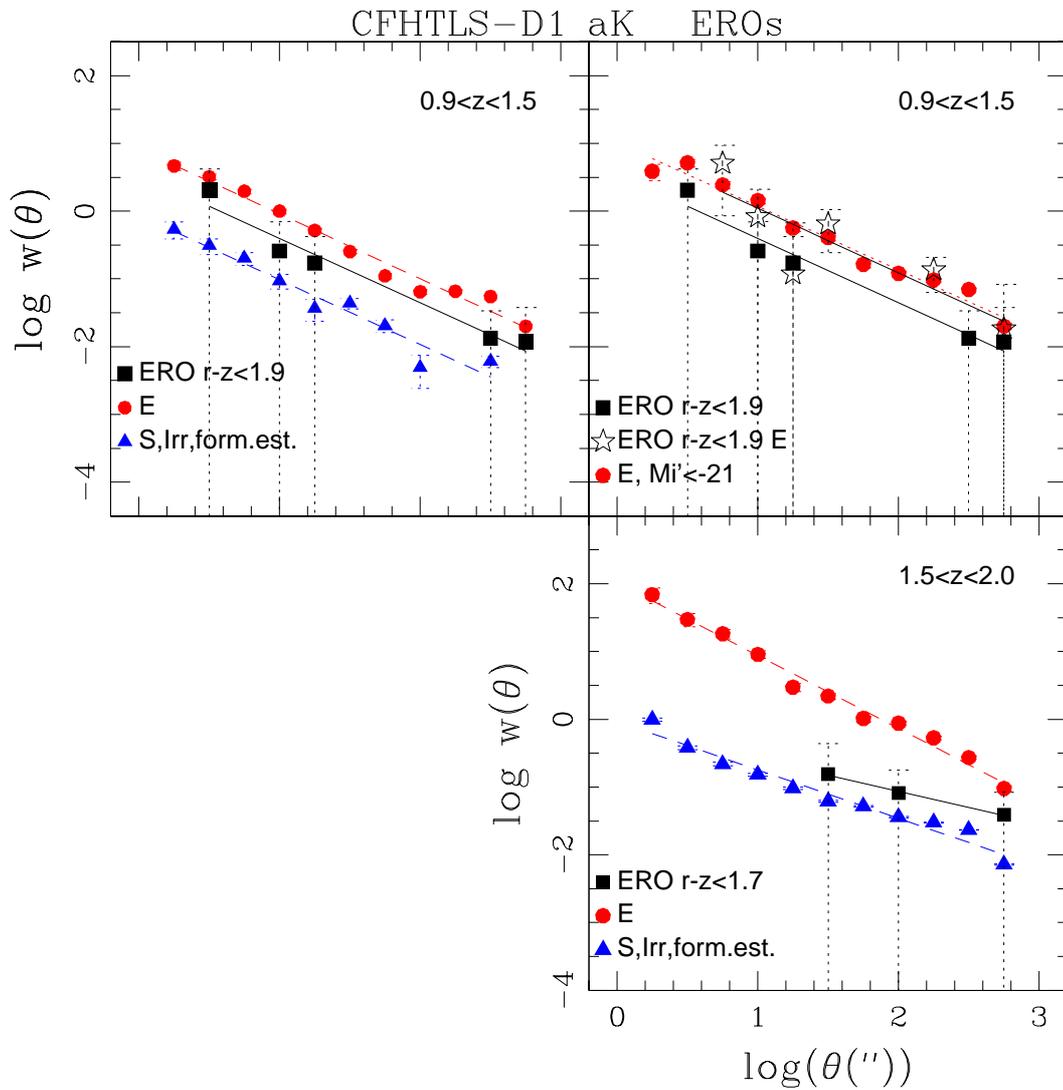


Figura 5.18: Função de correlação angular para a amostra de EROs com cor $r-z$ mais azul em diferentes intervalos de *redshift*, comparadas com diferentes morfologias, conforme símbolos indicados.

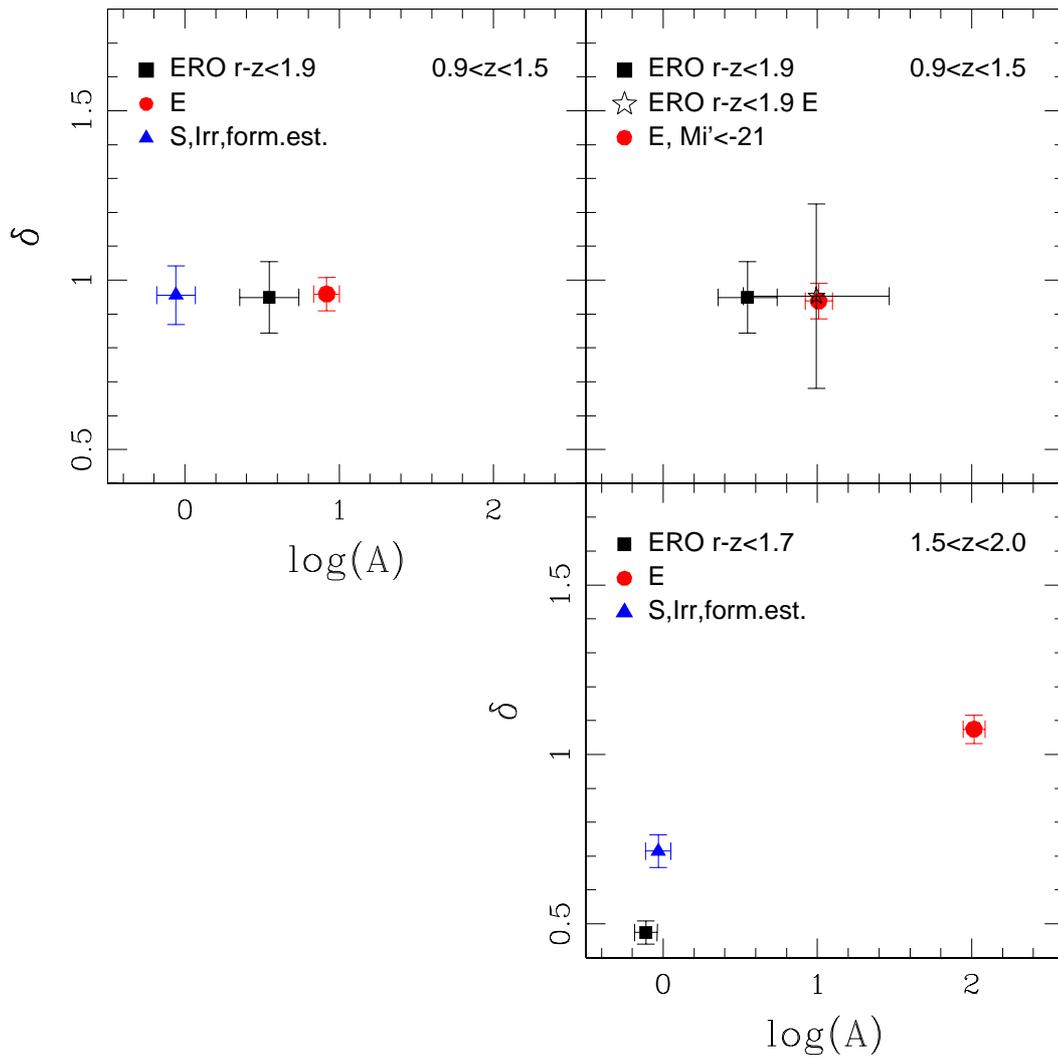


Figura 5.19: Coeficientes dos ajustes lineares obtidos para as funções de correlação angular para a amostra de EROs com $r-z$ mais azul.

Tabela 5.12: Informações vindas dos ajustes de retas às funções de correlação apresentadas na figura 5.18: coeficientes angular e linear seguidos de seus respectivos erros.

z	Tipo	δ	$\text{err}(\delta)$	$\log A$	$\text{err}(\log A)$
0.9 a 1.5	ERO $r-z < 1.9$	0.95	0.11	0.55	0.19
0.9 a 1.5	E	0.96	0.05	0.92	0.08
0.9 a 1.5	S,Irr,form.est.	0.96	0.09	-0.06	0.13
0.9 a 1.5	ERO $r-z < 1.9$ E	0.95	0.27	0.99	0.47
0.9 a 1.5	E, $Mi' < -21$	0.94	0.05	1.01	0.09
1.5 a 2.1	ERO $r-z < 1.7$	0.48	0.04	-0.11	0.07
1.5 a 2.1	E	1.07	0.04	2.02	0.07
1.5 a 2.1	S,Irr,form.est.	0.72	0.05	-0.03	0.08

Tabela 5.13: Informações vindas dos ajustes de retas às funções de correlação apresentadas na figura 5.20: coeficientes angular e linear seguidos de seus respectivos erros.

z	Tipo	δ	$\text{err}(\delta)$	$\log A$	$\text{err}(\log A)$
0.9 a 1.5	DRGs	1.32	0.17	1.88	0.31
0.9 a 1.5	E	0.97	0.05	0.81	0.09
0.9 a 1.5	E $Mi'_{AB} < -22.5$	1.02	0.16	1.36	0.27
0.9 a 1.5	S,Irr,form.est.	1.07	0.06	0.46	0.11
1.5 a 2.5	DRGs	1.32	0.19	2.00	0.33
1.5 a 2.5	E	1.26	0.06	1.75	0.10
1.5 a 2.5	S,Irr,form.est.	0.75	0.05	0.01	0.08

tipos *late*. Note-se que das 47 DRGs selecionadas neste domínio, 17 ($\approx 36\%$) são classificadas com Elípticas, 20 como Espirais 9 como Irregulares e 1 como dominada por formação estelar.

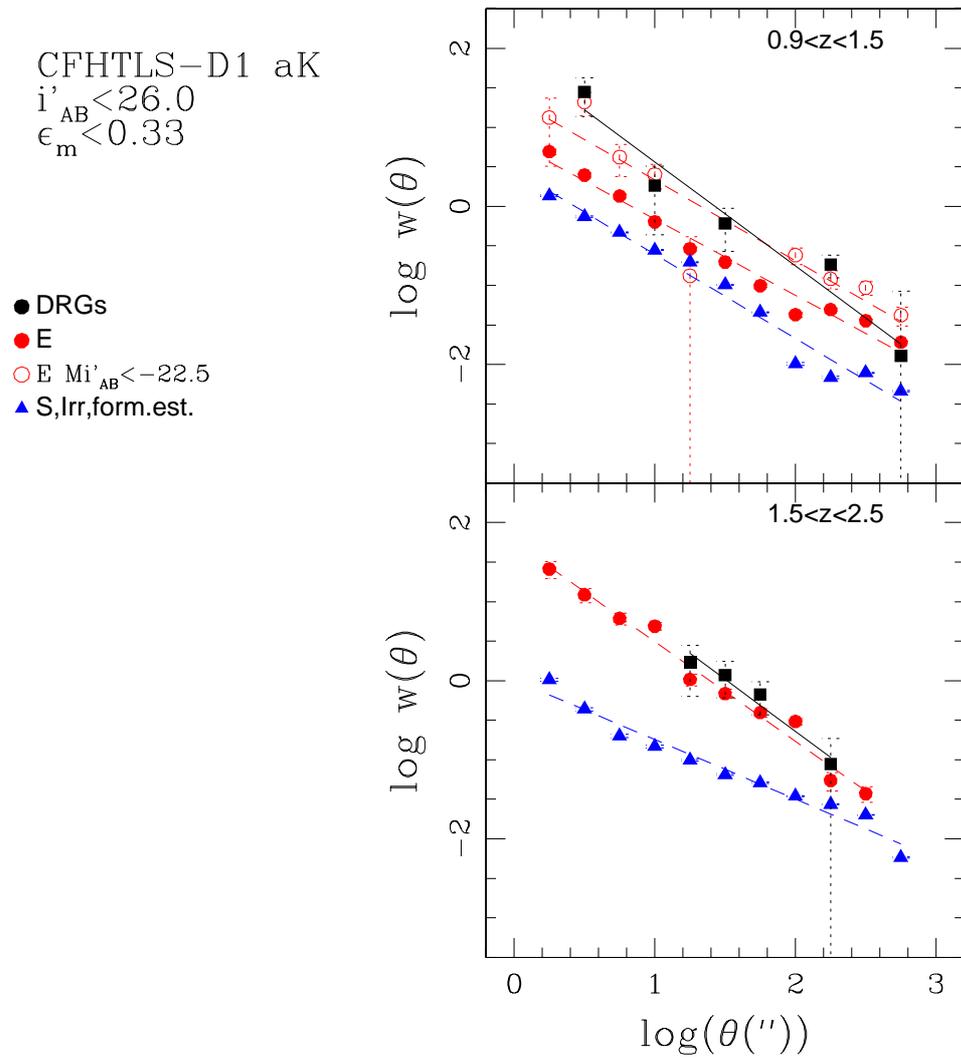


Figura 5.20: Funções de correlação angular para a amostra de DRGs em diferentes intervalos de *redshift*, comparadas com diferentes morfologias, conforme símbolos indicados.

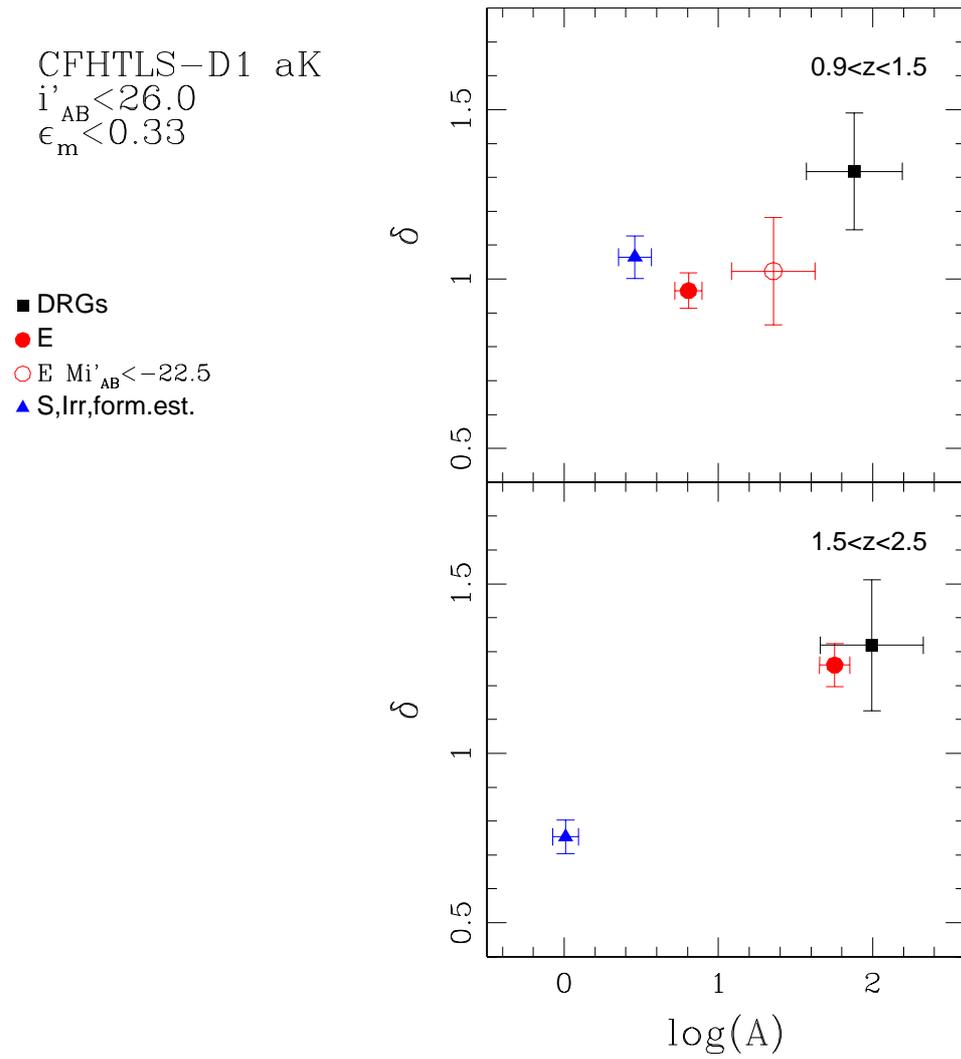


Figura 5.21: Coeficientes dos ajustes lineares obtidos para as funções de correlação angular para as amostras de DRGs em dois intervalos de *redshift*.

Tabela 5.14: Informações vindas dos ajustes de retas às funções de correlação apresentadas na figura 5.22: coeficientes angular e linear seguidos de seus respectivos erros.

z	Tipo	δ	$\text{err}(\delta)$	log A	$\text{err}(\log A)$
0.9 a 1.5	BzKa	1.03	0.23	0.37	0.30
0.9 a 1.5	E	0.97	0.05	0.81	0.09
0.9 a 1.5	form. est.	0.86	0.04	0.08	0.06
1.5 a 2.0	BzKa	0.63	0.45	-0.44	0.61
1.5 a 2.0	E	1.06	0.04	2.03	0.07
1.5 a 2.0	form. est.	0.80	0.05	0.11	0.09
2.0 a 2.5	BzKa	1.29	0.17	1.05	0.24
2.0 a 2.5	form. est.	1.00	0.05	0.44	0.08

Funções de correlação para as amostras de BzKas e os coeficientes de seus ajustes são apresentados nas figuras 5.22 e 5.23, respectivamente, em três intervalos de *redshift*. Os coeficientes encontrados são dados na tabela 5.14. Em todos os painéis é possível verificar que sendo essas galáxias objetos com formação estelar, suas funções de correlação apresentam maiores semelhanças com esta classe de objetos da amostra total de galáxias. A maior semelhança é para o intervalo $0.9 \leq z \leq 1.5$ onde das 303 BzKas apenas 1 é classificada e tem cor de Elíptica, 33 são Espirais, 117 são Irregulares e 152 indicam domínio de formação estelar. Praticamente todos os objetos apresentam cores típicas de formação estelar. No intervalo $1.5 \leq z \leq 2.0$, das 315 BzKas, 6 são classificadas e 7 têm cores de Elípticas, enquanto 66 são classificadas como Espirais, 146 como Irregulares e 97 como dominadas por formação estelar. No intervalo $2.0 \leq z \leq 2.5$, das 114 BzKas nenhuma galáxia é classificada como Elíptica mas 6 tem cores típicas de Elípticas, 17 são classificadas como Espirais, 49 como Irregulares e 48 com dominância de formação estelar.

Embora a função de correlação angular possa refletir uma medida da aglutinação das galáxias, para se ter um estimativa mais realista deste parâmetro é necessário

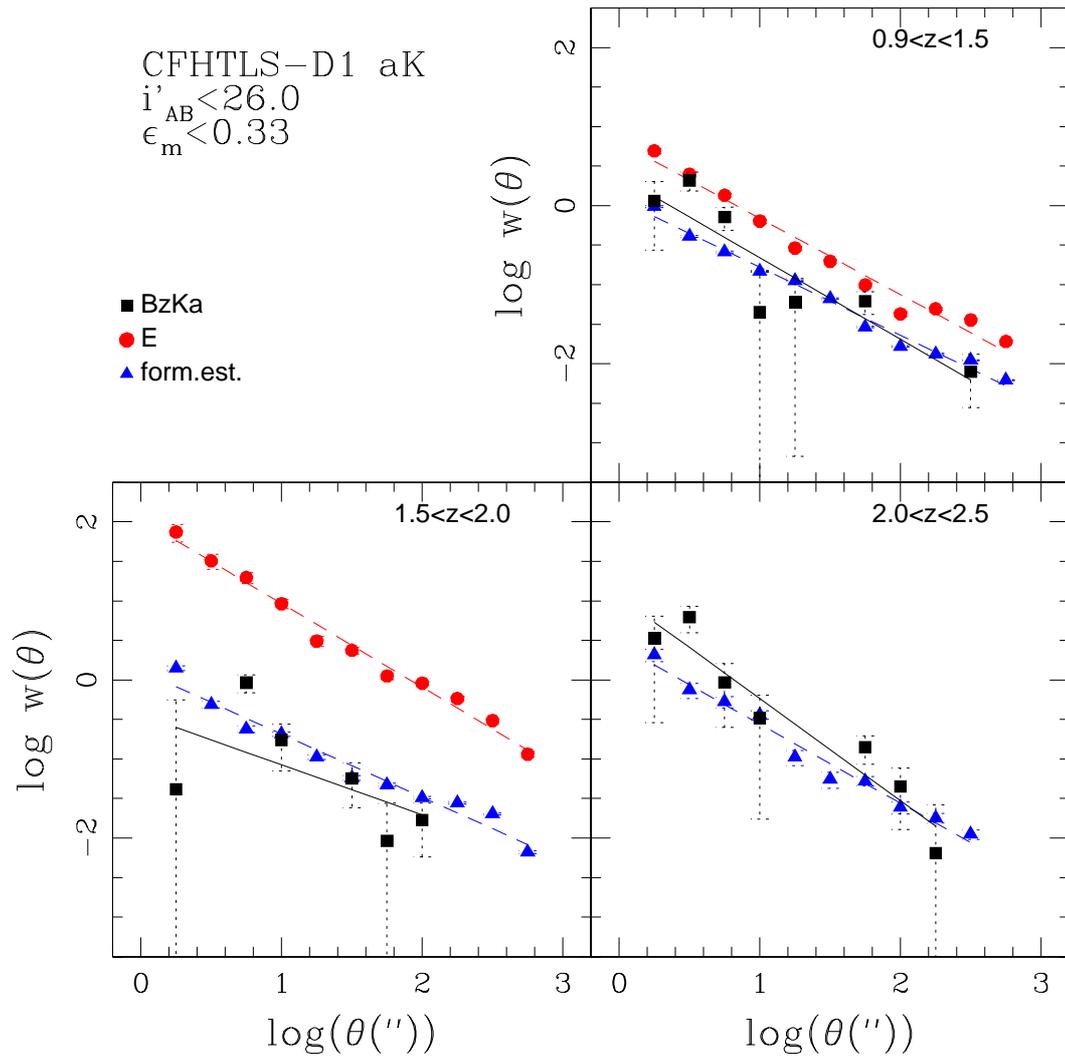


Figura 5.22: Funções de correlação angular para a amostra BzKa em diferentes intervalos de *redshift*, comparadas com diferentes morfologias, conforme símbolos indicados.

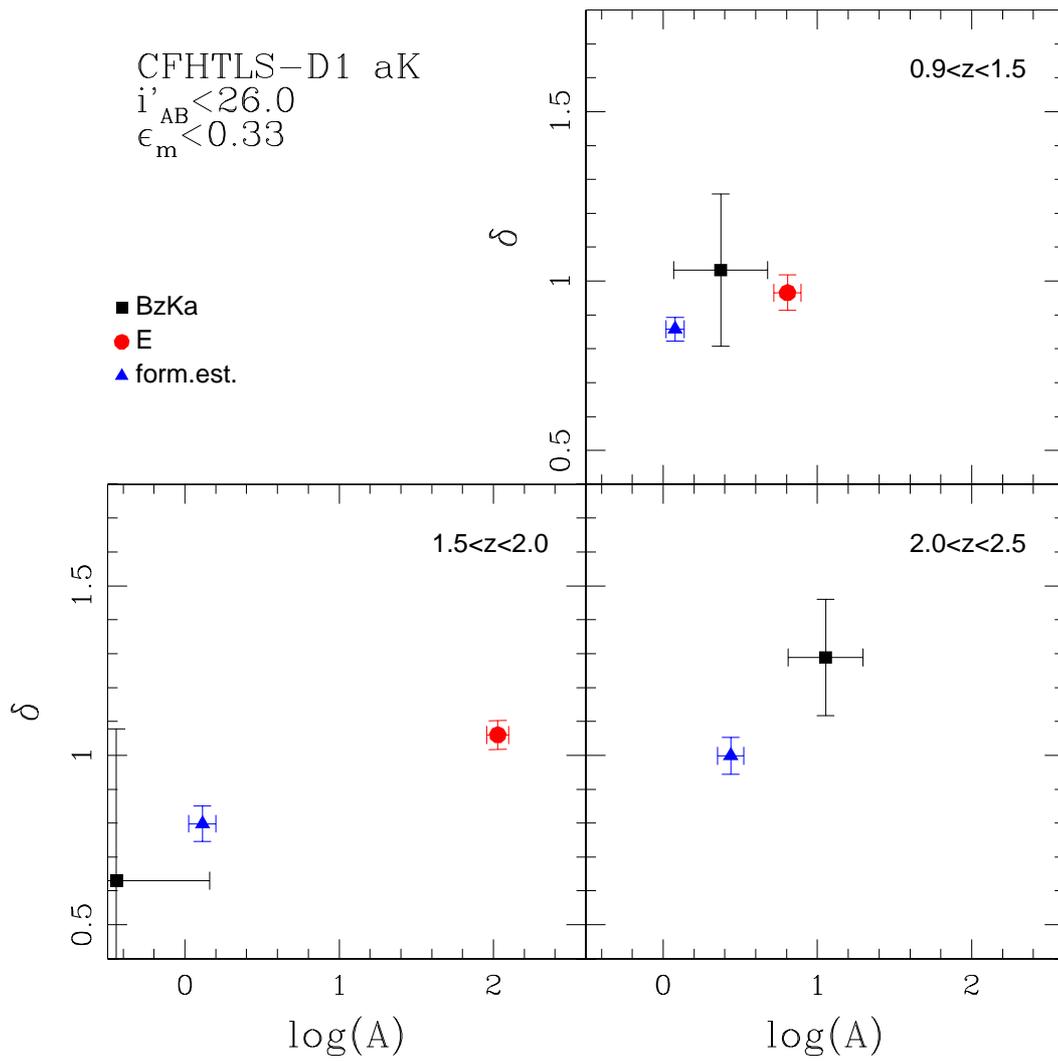


Figura 5.23: Coeficientes dos ajustes lineares obtidos para as funções de correlação angular para as amostras de BzKas em diferentes intervalos de *redshift*.

inferir uma escala de distância tridimensional, o que pode ser feito utilizando a equação de Limber, como mencionado anteriormente. Utilizamos, então, a expressão 5.6 para o cálculo da escala de correlação r_0 , expressa em Mpc.

Primeiramente comparamos o resultado do procedimento aqui aplicado à amostra CFHTLS-D1 (baseada em *redshifts* fotométricos) com o obtido por Le Fèvre et al. (2005a) para a amostra VVDS utilizando *redshifts* espectroscópicos. A amostra CFHTLS-D1 foi limitada em $i'_{AB} < 24$, compatível com o limite da amostra VVDS. Esta comparação é mostrada no painel superior da figura 5.24, onde pode ser visto o bom acordo até $z \approx 1.5$, que é o limite de trabalho da amostra VVDS. A escala de correlação pode ser estimada como aproximadamente constante, $r_0 \approx 2.5h^{-1}Mpc$. Vale mencionar que em trabalho recente, McCracken et al. (2008) analisam amostras do CFHTLS, utilizando *redshifts* fotométricos até $z \approx 1.2$ e concluem por um ligeiro decréscimo da escala de correlação de $3h^{-1}Mpc$ em $z \approx 0.3$ para $2h^{-1}Mpc$ em $z \approx 1.2$.

O painel inferior da figura 5.24 mostra a evolução da escala de correlação obtida para diferentes amostras analisadas neste trabalho. Cada amostra foi colocada nos limites de *redshift* onde o número de galáxias possibilitou a determinação de uma função de correlação. Círculos e quadrados vazios mostram a escala de correlação respectivamente para as Elípticas e galáxias dominadas por formação estelar da amostra CFHTLS-D1. Essas amostras apresentam valores aproximadamente constantes para a escala de correlação. Galáxias com formação estelar são grande maioria da amostra e apresentam $r_0 \approx 2.5h^{-1}Mpc$ como a amostra total. Já as Elípticas apresentam $r_0 \approx 4h^{-1}Mpc$ idêntico ao encontrado por McCracken et al. (2008) para as galáxias mais brilhantes que $MB=-21$. A amostra de BzKs apresenta evolução da escala de correlação compatível com a classe de objetos dominados por formação estelar, como esperado.

Na figura 5.24 pode-se ver que a amostra total de EROS da área analisada do levantamento DPS apresenta escala de correlação $r_0 \approx 5.2h^{-1}Mpc$. Já a amostra total de EROS da amostra CFHTLS-D1 apresenta um valor de $r_0 \approx 2.5h^{-1}Mpc$, idêntico ao da amostra total. Em ambos os casos, a medida reflete a mistura de

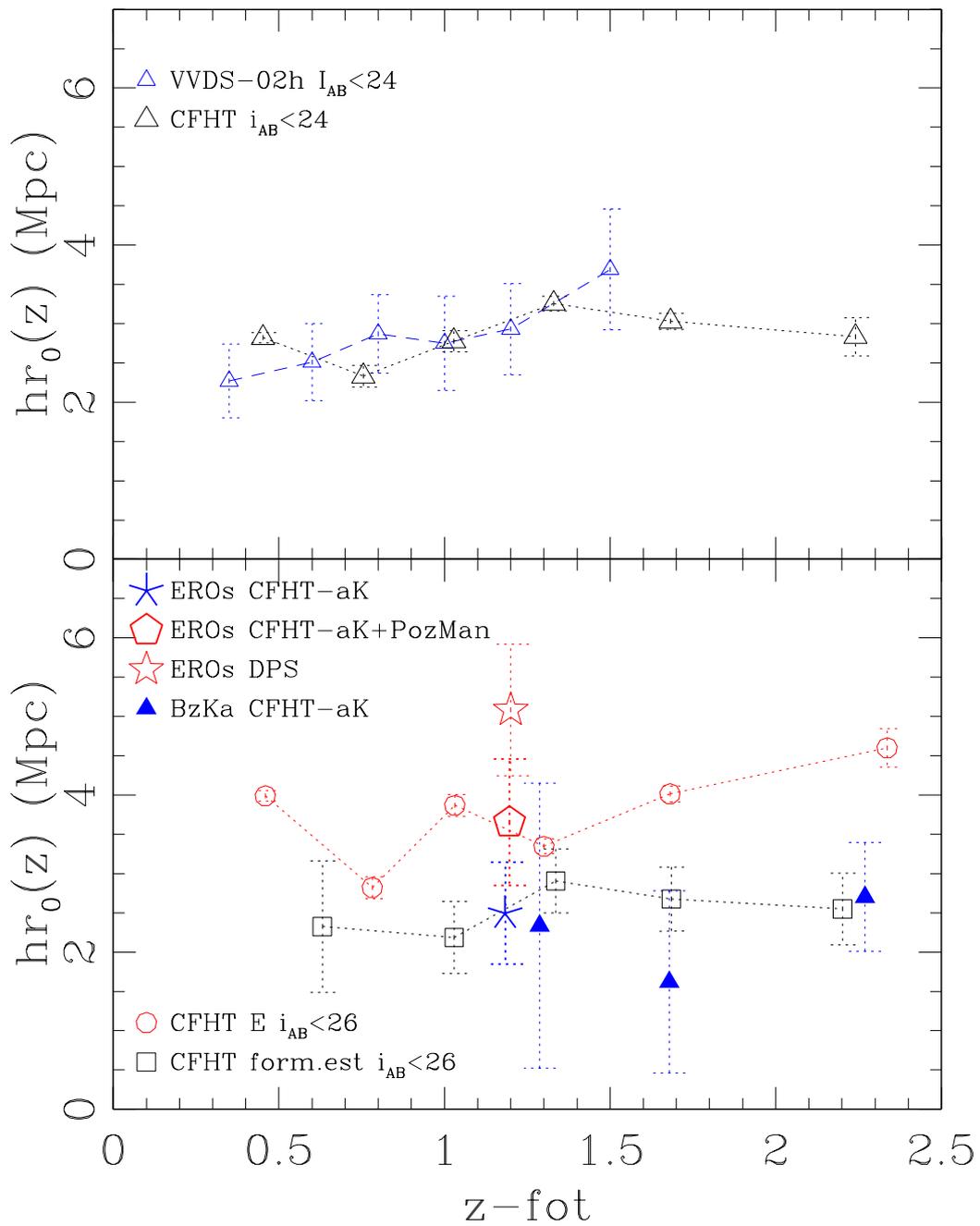


Figura 5.24: Evolução da escala de correlação r_0 para diferentes amostras. Painel superior: amostra CFHTLS-D1 utilizando *redshifts* fotométricos (triângulos grandes) e a amostra VVDS utilizando *redshifts* espectroscópicos (triângulos pequenos). Painel inferior: Elípticas da amostra CFHTLS-D1 como círculos vazios, galáxias dominadas por formação estelar do CFHTLS-D1 como quadrados vazios, EROS da amostra CFHTLS-aK como estrela fina e pentágono vazio (adicionando critério de Pozzetti e Mannucci), EROS do DPS como estrela larga, BzKa da amostra CFHTLS-aK como triângulos cheios.

classes de objetos esperada de sua seleção, envolvendo Elípticas e galáxias com formação estelar e muita poeira. Se o critério de Pozzetti e Mannucci é acrescentado na seleção de EROS para a amostra CFHTLS-D1, a escala de correlação é $r_0 \approx 3.7h^{-1}Mpc$, como também mostrado nesta figura.

Como mencionado anteriormente, o critério de cores $r'-z'$ mais vermelhas é um bom separador de galáxias Elípticas, podendo discriminar estes objetos da classe total de EROS, eliminando os casos de objetos avermelhados pela poeira envolvida com a intensa atividade de formação estelar. Na figura 5.25 é apresentada a escala de correlação r_0 para diferentes classes de objetos tipificando Elípticas de diferentes luminosidades e objetos evoluídos. Os quadrados e círculos vazios mostram a evolução da escala de correlação para galáxias Elípticas da amostra CFHTLS-D1 mais luminosas, em $z=2.5$, que $Mi'_{AB} = -21.8$ e $Mi'_{AB} = -22.8$, respectivamente. Estas classes de objetos levam em conta a evolução de luminosidade. Por exemplo, para a classe mais luminosa que $Mi'_{AB} = -21.8$ em $z=2.5$, são incluídas, num determinado z , galáxias mais luminosas que:

$$Mi'_{AB} = -21.8 + 0.71(2.5 - z) + 0.07$$

Pode-se concluir da figura 5.25 que estas amostras evoluem de modo similar: em $z \approx 2.3$ têm escala de correlação $r_0 \approx 6h^{-1}Mpc$, decrescendo até $r_0 \approx 4h^{-1}Mpc$ em $z \approx 0.7$ voltando a crescer para $r_0 \approx 6h^{-1}Mpc$ em $z \approx 0.5$.

Se são consideradas amostras selecionadas apenas na cor $r'-z'$ mais vermelha nas duas amostras limitadas na magnitude aparente $i'_{AB} < 24.6$ (triângulos vazios) e $i'_{AB} < 26.0$ (estrelas vazias), a escala de correlação é consideravelmente alta no intervalo $1.5 \leq z \leq 2.0$ elevando-se para $r_0 \approx 8-10h^{-1}Mpc$. Os EROS com o critério adicional $r'-z' > 1.9$ e situados no intervalo $0.9 \leq z \leq 1.5$ também apresentam escala de correlação $r_0 \approx 8h^{-1}Mpc$, semelhante ao valor determinado por Brown et al. (2005), $r_0 \approx 9.7h^{-1}Mpc$.

Por outro lado, em *redshifts* menores, Brown et al. (2003) encontraram para galáxias vermelhas e luminosas ($-20.5 > MR > -21.5$) identificadas em $z \approx 0.6$

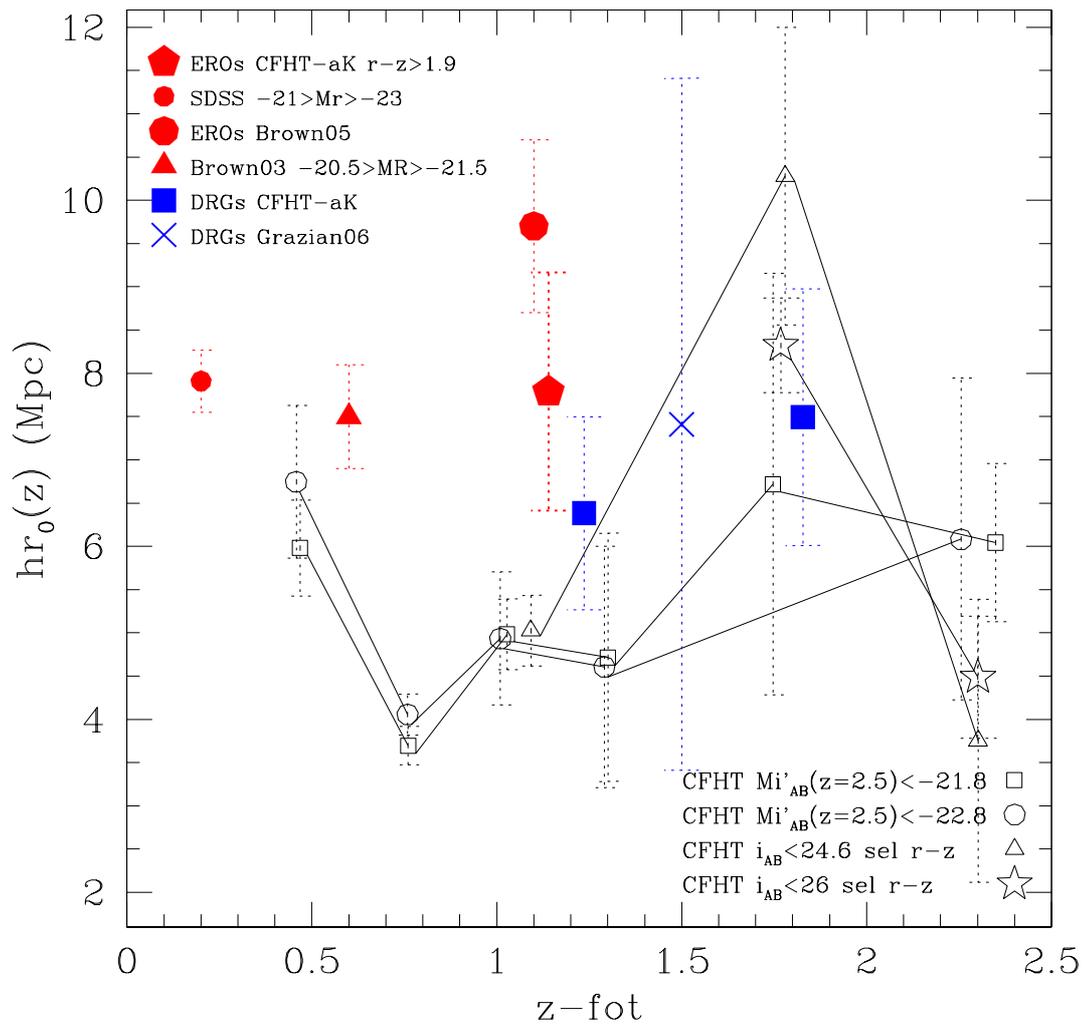


Figura 5.25: Evolução da escala de correlação, apresentando amostras de Elípticas com $Mi < -21$, Elípticas com $Mi < -22$, objetos selecionados por $r'-z'$ com $i < 24.6$ e $i < 26$, EROs com $r'-z' > 1.9$ e DRGs, além de dados da literatura.

no NOAO Deep Wide-Field Survey um valor $r_0 \approx 7.5h^{-1}Mpc$. Também, Budavári et al. (2003) encontram para galáxias vermelhas luminosas ($-21 > Mr > -23$) do SDSS um valor próximo a $r_0 \approx 8h^{-1}Mpc$. Ambos são mostrados na figura 5.25. Deve-se notar que a evolução da escala de correlação para as amostras de Elípticas luminosas da amostra CFHTLS-D1 parece tender ao valor determinado para o SDSS.

As escalas de correlação para DRGs da amostra CFHTLS-D1 são também mostradas na figura 5.25, assim como a determinação feita por Grazian et al. (2006b). Os valores estão no entorno de $r_0 \approx 7h^{-1}Mpc$, um pouco inferior à escala dos EROS.

5.4 Resumo do Capítulo

Para o DPS, a função de correlação foi calculada para 6 de seus campos, em 2 intervalos de *redshift*, em 2 contextos de seleção (ou seja, 2 áreas efetivas diferentes) e para amostras de Elípticas, EROs e EROs classificados como Elípticas pelo Hyperz. Além da contaminação das amostras de Elípticas por galáxias de tipos mais tardios, a baixa estatística em algumas amostras (principalmente em z mais altos) resultou em funções com poucos pontos e maiores incertezas.

Para o CFHTLS, a função de correlação foi calculada em vários intervalos de *redshift* e para amostras de Elípticas, Espirais, Starbursts, EROs, DRGs, BzKas e galáxias selecionadas por (r-z).

Os principais resultados obtidos para cada uma das famílias de galáxias em altos *redshifts* foram:

- EROs:
 - amostra total, sem seleção adicional, mostra em $0.9 < z < 1.5$ uma escala de correlação igual ou superior que as Elípticas ($r_0 \approx 2.5h^{-1}Mpc$);
 - a relação Pozzetti e Mannucci seleciona uma sub-amostra de EROS mais aglomerada ($r_0 \approx 5h^{-1}Mpc$) eliminando galáxias de morfologia mais tardia, entretanto a amostra assim selecionada ainda contem uma mistura de populações;
 - a seleção de EROS mais vermelhos na cor (r-z) é mais eficiente na seleção de Elípticas e produz uma amostra mais aglomerada ($r_0 \approx 8h^{-1}Mpc$) como se espera de objetos com esta morfologia;
 - evolução da escala de aglomeração de galáxias Elípticas brilhantes (especialmente as mais vermelhas) apresenta valores da ordem de $r_0 \approx 8 - 10h^{-1}Mpc$.

Esses fatos fortalecem o conceito de que EROs são precursores de Elípticas brilhantes do universo local.

- DRGs:
 - situadas tipicamente em $0.9 < z < 2.5$, apresentam também altos valores para a escala de correlação ($r_0 \approx 7h^{-1}Mpc$) semelhante às Elípticas brilhantes e aos EROS.

- BzKas:
 - apresentam baixo grau de aglomeração, com funções de correlação em diferentes faixas de *redshift* entre 0.9 e 2.5 próximas das de galáxias dominadas por formação estelar ($r_0 \approx 2.5h^{-1}Mpc$).

Capítulo 6

Discussões e Conclusões

Analisamos duas amostras neste trabalho visando determinar as propriedades de objetos vermelhos e investigar suas semelhanças com a classe de galáxias Elípticas, explorando em especial a possibilidade de que sejam os precursores destas últimas, como tem sido sugerido na literatura. Isso foi possível graças ao fato dessas amostras terem observações disponíveis no óptico e no infravermelho próximo e assim fomos capazes de investigar objetos em altos *redshifts* e reunir amostras de EROs e outras famílias de objetos vermelhos que permitiram tal análise.

A primeira dessas amostras é constituída das diferentes áreas do *Deep Public Survey*, com a qual todo o procedimento de construção de um catálogo de objetos foi revisto e avaliado. Esta etapa foi a mais trabalhosa e longa desta tese pelas inúmeras dificuldades inerentes ao processo de construção destes catálogos e a utilização de diferentes técnicas para sua avaliação. Além disso, os dados do DPS representam tipicamente aqueles provenientes de levantamentos obtidos com as limitações impostas pelo tempo de observação disponível. Mesmo utilizando estratégias de observação objetivando a obtenção de dados homogêneos, a amostra do DPS é constituída de uma variedade de limites de magnitude em diferentes bandas fotométricas e regiões sem a completeza necessária para a análise. Isto requereu um complexo trabalho para obter uma amostra minimamente homogênea, que significou um amplo aprendizado no tratamento de dados com estas características. Com essa amostra calculamos *redshifts* fotométricos para cada galáxia. Diferentes

códigos baseados em diferentes métodos foram testados, porém apenas foi utilizado em nosso trabalho o que obteve o melhor resultado ao se comparar suas estimativas com *redshifts* espectroscópicos dos mesmos objetos. A princípio nos concentramos apenas nos resultados dessas comparações dos redshifts fotométricos obtidos por cada código para os dados do DPS, razão pela qual escolhemos os resultados do Hyperz para dar prosseguimento ao trabalho. Embora esse código apresente uma tendência de classificar um número excessivo de galáxias como sendo Elípticas, isto não constituiu um problema para a análise que foi desenvolvida com o DPS. Por outro lado, optamos por dar maior atenção à análise dos dados do *CFHT Legacy Survey* devido a sua maior homogeneidade, maior cobertura de faixas espectrais e maior profundidade na banda K.

A segunda amostra analisada foi uma das áreas do CFHTLS, que tem algumas vantagens sobre a amostra do DPS. Em primeiro lugar, ela representa o resultado de tempo de observação alocado que permitiu a coleta de dados com grande homogeneidade. Além disso, utilizamos os dados finais e já processados do levantamento, que incluem redshifts fotométricos determinados a partir da utilização do código LePhare. Em diversas comparações feitas deste código com o HyperZ que utilizamos para a análise do DPS, o código LePhare mostrou melhores resultados como um estimador de morfologia, que produz resultados bastante coerentes. Este estimador foi de grande importância para a análise mostrada no Capítulo 5. Na verdade, num levantamento fotométrico de várias bandas, onde o código Le Phare possa ser aplicado, e assumindo que sua estimativa de morfologia é correta, ela supera as análises de cor, no que concerne a identificação de classes de objetos. Outra vantagem da amostra CFHTLS é o fato de que uma variedade de bandas fotométricas está disponível, em particular na área D1, que inclui além dos seus filtros naturais u^* , g' , r' , i' , z' , aqueles do levantamento fotométrico VVDS, totalizando 11 filtros. Especialmente importante para este trabalho foi a possibilidade de realizar o estudo de EROS, DRGs e BzKas em uma pequena área também incluída na área CFHTLS-D1, na qual observações fotométricas nas bandas no infravermelho, J e K, estão públicas. Deve-se ressaltar também que a área D1 do CFHTLS tem a vantagem adicional de

incluir a área do levantamento espectroscópico VVDS que permite a verificação da adequação dos resultados obtidos com *redshifts* fotométricos.

Diversas comparações e testes de parâmetros determinados com redshifts fotométricos e espectroscópicos foram realizados com dados da amostra CFHTLS-D1, indicando que os primeiros fornecem estimativas estatisticamente confiáveis. A inexistência de uma relação de algum parâmetro envolvido na determinação de z_{fot} com outro indicando o seu erro nos levou a não impor cortes nos valores obtidos de z_{fot} . Além disso, o fato verificado de que a classe de Elípticas, principal objetivo deste trabalho, é a que menor diferença apresenta entre z_{fot} e z_{spec} , justifica tal opção. Testes similares foram realizados com os dados do DPS, porém com resultados muito menos conclusivos do que os encontrados para o CFHTLS devido ao baixo número de objetos com *redshift* espectroscópico disponível.

Os catálogos usados nas análises foram definidos procurando manter o equilíbrio entre qualidade e estatística dos dados, selecionando objetos com fotometria mais confiável. No caso da amostra do DPS, restringimos o trabalho pelos erros nas magnitudes de todas as bandas fotométricas para não introduzir inomogeneidades adicionais a esta amostra. No caso da amostra CFHTLS, que tem boa qualidade fotométrica e homogeneidade de cobertura em área de céu, optamos por trabalhar na banda i' , uma das mais fundas, no limite de magnitude $i'_{AB} = 26.0$, um pouco além do limite de completeza estimado pelo máximo de seu histograma de magnitudes, mostrado na figura 2.23, que é ≈ 25.5 . Esta opção foi decorrente de testes iniciais mostrando a necessidade de trabalhar no limite mais fundo para inferir resultados até o limite $z=2.5$.

No que concerne os erros fotométricos, o resultado mostrado na figura 3.44 indica a adequação de se limitar os erros fotométricos em valores abaixo de 0.33 mag ao se realizar a análise com cores. Embora não mostrado neste texto, a distribuição de cor $r'-z'$ versus *redshift* fotométrico da amostra limitada em $i'_{AB} = 26$, restrita a objetos com erros fotométricos $i'_{AB} < 0.33$ é essencialmente a mesma que aquela limitada em $i'_{AB} = 25$, contida dentro do limite de completeza da banda i' .

O fato de que a amostra CFHTLS inclui a banda z' foi essencial para a cons-

tatação de que a cor $r'-z'$ se revelou uma boa discriminadora da classe de Elípticas em altos *redshifts*, como mostrado nas figuras $r'-z'$ versus magnitude, indicando os cortes em valores constantes nesta cor. A seleção em cor $r'-z'$ acima dos valores característicos 1.9 ($0.9 \leq z_{\text{phot}} \leq 1.5$), 1.7 ($1.5 \leq z_{\text{phot}} \leq 2.1$) e 0.8 ($2.1 \leq z_{\text{phot}} \leq 2.5$) discrimina galáxias Elípticas tipicamente mais luminosas que $M'_{AB} = -20$, $M'_{AB} = -20.5$ e $M'_{AB} = -21.5$ respectivamente para esses intervalos de z_{phot} . Pelo fato de selecionar Elípticas nesses domínios de magnitude absoluta, as propriedades de aglomeração destes objetos selecionados por cor são as mesmas dessas Elípticas, o que pode ser constatado na figura 5.12, especialmente no intervalo $0.9 \leq z_{\text{phot}} \leq 1.5$ onde a função de correlação angular pode ser obtida com menores erros.

A fauna de objetos interessantes em altos *redshifts* é vasta, e pudemos investigar EROs, DRGs e BzKs, selecionados a partir das amostras de galáxias através de diferentes critérios de cor. Uma característica comum a essas classes de galáxias é que todas são constituídas em parte por alguns objetos mais evoluídos e outros ainda passando por intensa formação estelar. Porém amostras de DRGs e BzKs foram construídas apenas para o CFHTLS, pois as regiões do DPS não foram cobertas por todas as bandas necessárias para definir as BzKs, e seus campos apresentam poucas DRGs (provavelmente devido a observações não tão profundas no infravermelho), motivo pelo qual não foi possível realizar sua análise.

Com relação às distribuições de *redshifts* fotométricos, tanto para o DPS quanto para o CFHTLS, encontramos EROs numa faixa em torno de $z=1$, o que era esperado pelos modelos de evolução. No caso particular do DPS, apesar da grande maioria dos objetos terem suas SEDs melhor ajustadas pelas de Elípticas ou de um único evento de formação estelar, esse resultado pode não ser inteiramente correto devido a indicações de que essa classificação fornecida pelo Hyperz não está otimizada e sofre de degenerescência nos resultados. O Le Phare, por sua vez, parece realizar uma classificação mais confiável, visto a distribuição mais realista dos tipos encontrados para os objetos do CFHTLS-D1, com uma proporção de Elípticas versus tipos mais tardios compatível com as observações.

Como bastante indicado na literatura (e apresentado na seção 4.1.1), os EROS,

se selecionados no campo CFHTLS-D1 com o único critério de cor $(R-K)_{AB} > 3.35$, constituem uma família com diferentes populações de objetos, incluindo Elípticas e Espirais, como mostrado na figura 4.54. Tomando-se como base a classificação morfológica do código LePhare, pode-se inferir que cerca de 60% da totalidade de EROs é constituída de Elípticas. Uma das alternativas para se selecionar apenas as Elípticas do conjunto total de EROs é a adoção do critério adicional sugerido por Pozzetti e Mannucci, utilizando outras relações de cores. Entretanto, como mostrado aqui, confiando-se nas morfologias do LePhare, nos resultados da correlação angular e na comparação com a amostra de EROs de Brown et al. (2005), este critério não se mostra satisfatório. Por outro lado, a adoção do critério adicional baseado na cor $r'-z'$ fornece resultados bastante coerentes na seleção de Elípticas do conjunto total de EROs, resultando numa amostra contendo galáxias desta classe tipicamente com $Mi'_{AB} > -22$ em *redshift* 1.5 (figura 5.16). Levando em conta a evolução de luminosidade medida por Ilbert et al. (2005), este valor corresponde a $Mi'_{AB} \approx -21$ em $z \approx 0$. Isto mostra a adequação de se interpretar os EROs mais vermelhos como os precursores de Elípticas brilhantes no Universo local.

Já os EROs com cores mais azuis representam uma população formada por objetos com características fotométricas indicando significativa formação estelar. Cerca de 16% da totalidade de EROS são classificados como Elípticas mais azuis na cor $r'-z'$, com provável formação estelar intensa. Mesmo assim, é interessante notar que apresentam função de correlação angular compatível com a classe de Elípticas mais luminosas que $Mi'_{AB} = -21$, como mostra a figura 5.18. Os resultados da correlação angular de EROS-Elípticas mostram uma família de objetos com características homogêneas de aglutinação e os resultados estatísticos de sua fotometria também revelam uma classe homogênea com luminosidade aproximadamente constante (figura 4.48) evoluindo na diminuição de brilho com z de forma compatível com a determinação de Ilbert et al. (2005) para a amostra VVDS.

Os resultados relativos às amostras de EROs presentes nos campos do DPS são menos detalhados ou ricos do que os do CFHTLS, mas ainda assim mostram que são objetos localizados em *redshifts* em torno de 1 e que estão fortemente aglomerados,

apesar da baixa estatística em alguns campos, e em particular mais aglomerados em *redshifts* mais altos. Mas as comparações de suas funções de correlação com as obtidas para Elípticas são pouco conclusivas devido a incertezas na classificação fornecida pelo ajuste de *templates* do Hyperz.

A amostra de DRGs contém um número de objetos da ordem de 40% da amostra de EROs e apresenta um resultado bastante importante para este trabalho. Da mesma forma que os EROs, uma fração considerável (cerca de 50%) das DRGs é constituída de galáxias classificadas como Elípticas. Entretanto, ao contrário dos EROs, cerca de 73% das DRGs apresentam cores indicativas de formação estelar significativa, portanto englobando um grande número de Elípticas com atividade de formação estelar. Como pode ser inferido da figura 5.20, DRGs são também galáxias com magnitudes absolutas tipicamente mais brilhantes que $M'_{AB} = -22.5$ em $z=1.5$, mostrando uma função de correlação angular próxima de Elípticas mais luminosas. O decréscimo de luminosidade com z mostra que tal evolução é mais acentuada que os EROs, sugerindo a existência de algum processo que transforme objetos muito luminosos em mais fracos numa taxa superior à evolução média das galáxias, isto é, o decaimento secular da luminosidade medido por Ilbert et al. (2005). A distância média, $\langle z \rangle \approx 1.6$, das DRGs é um pouco superior à dos EROs, mas sua distribuição em *redshift* é mais espalhada.

A aplicação do critério de seleção de BzKs passivas à amostra CFHTLS-D1 não resultou na detecção desses objetos. De certa forma isto não era esperado já que este procedimento deveria selecionar galáxias Elípticas em $z > 1.4$ e deveria ter encontrado as galáxias com esta morfologia existentes na amostra neste domínio de distância. Já o processo de seleção de BzKs ativas resulta num expressivo conjunto de objetos classificados como de morfologia Espiral, Irregular e dominados por formação estelar, como esperado. Essas BzKas apresentam uma distribuição com máximo em $z_{\text{phot}} \approx 1.4$, mas inclui também um número considerável de objetos em *redshifts* mais baixos. Este resultado parece estar em contradição com os resultados de Daddi et al. (2004), que apontam o critério BzK como selecionador de objetos em $z > 1.4$. Entretanto, a inclusão de objetos em $z < 1.4$ na amostra CFHTLS-D1 é bastante reduzida

se somente são consideradas galáxias mais brilhantes que $K_{AB} = 21$, valor mais semelhante ao da amostra analisada por Daddi et al. (2004), $K_{AB} < 20$. De qualquer forma, a amostra CFHTLS-D1 apresenta um significativo número de galáxias BzKa em *redshifts* menores que $z_{tot} = 1.4$.

Um outro aspecto interessante das BzKas é o fato de apresentarem um domínio de luminosidades bastante altas, com máximo $Mi'_{AB} \approx -22$. Além disso, a figura 4.51 mostra que essas galáxias apresentam uma diminuição de luminosidade correspondente a mais de 2 magnitudes de $z \approx 2.3$ a $z \approx 1.0$, uma variação mais intensa que as DRGs e que a média do conjunto total de galáxias.

Considerando os seguintes resultados para BzKas, DRGs, e EROs:

1. BzKas constituem os objetos abrangendo épocas mais primordiais entre essas categorias (z estendendo-se até por volta de 2 para o mesmo limite de magnitude), são essencialmente galáxias com intensa formação estelar e apresentam baixa aglutinação ($r_0 \approx 2.5h^{-1}Mpc$);

2. DRGs são objetos com média de distância $z \approx 1.4$, ainda com significativa formação estelar, mas com correlação angular similar às Elípticas luminosas ($r_0 \approx 7h^{-1}Mpc$);

3. EROs parecem ser galáxias Elípticas luminosas já formadas, possuindo as principais características deste objetos como baixa formação estelar a alta aglomeração, ($r_0 \approx 8h^{-1}Mpc$) em média situadas em $z \approx 1.2$;

é natural elaborar um quadro evolutivo simplificado onde esta seqüência de classes seja a que produz as galáxias Elípticas luminosas no Universo local, por um processo de aglutinação hierárquica (por exemplo, Daddi et al. (2004), Grazian et al. (2006b), Kong et al. (2006)).

Para avaliar esta questão apresentamos primeiramente na figura 6.1 a evolução da densidade (número por unidade de volume) de objetos mais luminosos que $Mi'_{AB} = -21$ em $z=2.5$, levando em conta a evolução de luminosidade descrita no Capítulo anterior, para Elípticas, Espirais e galáxias dominadas por formação estelar. Também são mostradas na figura as classes EROs (com critério adicional de seleção por cor $r'-z'$), DRGs e BzKas, sem cortes na magnitude absoluta já que

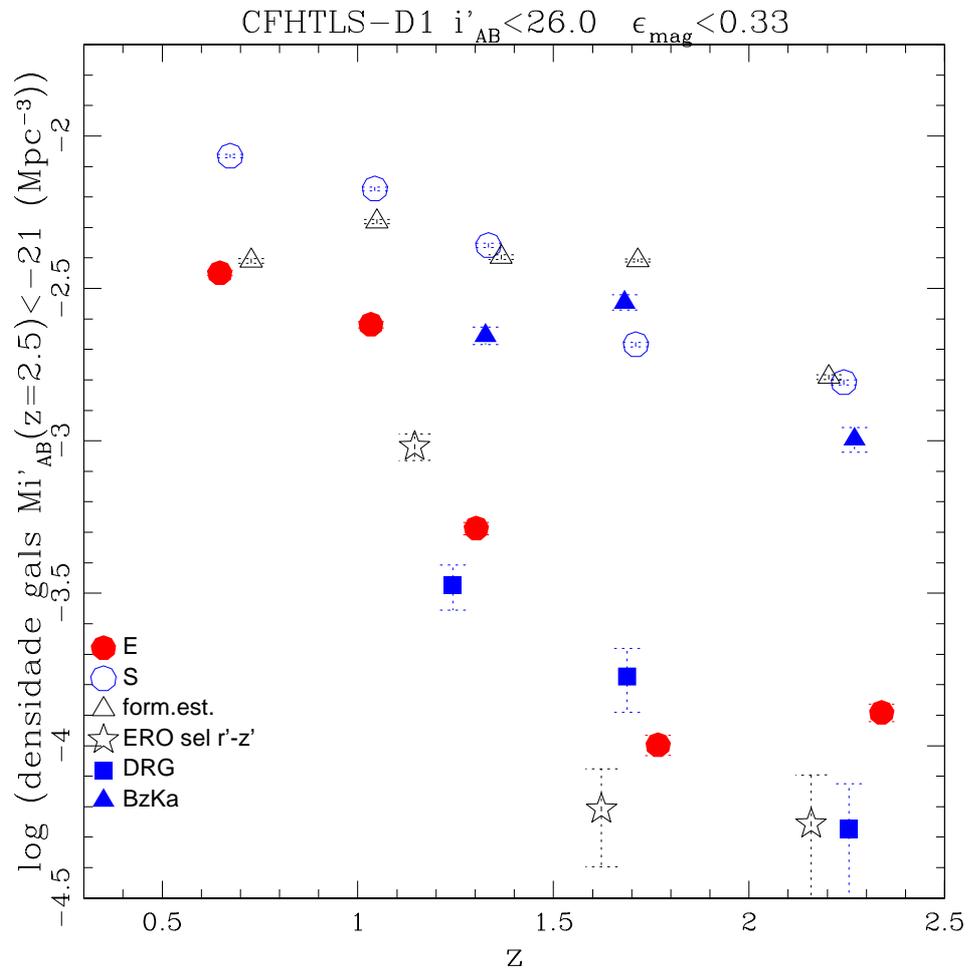


Figura 6.1: Evolução da densidade de galáxias para as classes Elípticas, Espirais e galáxias dominadas por formação estelar, para objetos mais luminosos que $M_{i'_{AB}} = -21$ em $z=2.5$, levando em conta a evolução de luminosidade. EROs com o critério adicional de corte na cor $r'-z'$, DRGs e BzKas são mostrados sem cortes adicionais em magnitude absoluta.

esses objetos são luminosos por força de sua própria seleção fotométrica. Alguns aspectos se destacam na figura, como o crescimento do número relativo de Elípticas de um fator ≈ 100 de $z=2.5$ a $z=0.5$, enquanto tipos mais tardios como Espirais crescem em número no mesmo intervalo de z por uma fator ≈ 10 . No domínio de *redshifts* examinado, o intervalo $2 > z > 1$ representa o efetivo surgimento da classe de Elípticas luminosas. O fato de que DRGs e EROs situam-se neste intervalo e apresentam números relativos similares constituem indícios adicionais para serem associados a precursores dessas Elípticas.

Já as BzKas parecem constituir uma população com características distintas no que concerne o número de objetos luminosos: elas apresentam a mesma fração em número que as galáxias do tipo tardio para $z > 1.5$, com uma indicação de terem seu número relativo reduzido para *redshifts* menores. Se o processo de formação de Elípticas por aglutinação hierárquica de galáxias de menores massas, e de tipos tardios, for tomado como correto, as BzKas poderiam representar os objetos precursores das galáxias tipo *early* mais massivas. Para verificar esta possibilidade é necessário considerar pelo menos três aspectos envolvidos neste processo, que são a evolução da taxa de fusão de objetos, da taxa de formação estelar e as massas dos objetos, como analisado a seguir.

Como apontado e utilizado por Fontana et al. (2004) no mapeamento K20 e por Daddi et al. (2004), a fotometria na banda K é sensível ao conteúdo em massa de estrelas evoluídas, sendo um indicador da massa estelar em galáxias. Com isso, utilizamos este estimador na forma apresentada por Daddi et al. (2004) para um dos métodos que empregou em sua análise de BzKas:

$$\log(M_*/10^{11}M_{Sol}) = -0.4(K - 20.14)_{Vega} \quad (6.1)$$

usando a diferença das magnitudes K no sistema Vega e AB (caso desta tese) de 1.9. A distribuição de massas obtidas com este cálculo em função do *redshift* fotométrico é apresentada na figura 6.2. É possível verificar que as BzKas apresentam os maiores valores do domínio de massas do conjunto de galáxias dominadas por formação

estelar, mesmo assim inferiores às massas das galáxias Elípticas mais luminosas. O valor médio das massas das BzKas é $1.2 \times 10^{11} M_{Sol}$, em bom acordo com os resultados de Kong et al (2006), que indicam para esses objetos massas $\approx 10^{11} M_{Sol}$. Por outro lado, as DRGs - com média de $2.5 \times 10^{11} M_{Sol}$ - apresentam valores típicos das menores massas da classe de Elípticas mais luminosas que $Mi'_{AB} = -21$ em $z=2.5$. Já os EROs com critério adicional de corte na cor $r'-z'$ - apresentando média $4.3 \times 10^{11} M_{Sol}$ - mostram uma distribuição muito próxima dessas Elípticas luminosas no entorno de $z=1.2$. Este resultado também é compatível com aquele encontrado por Conselice et al. (2008) de que EROs são objetos de massas estelares superiores a $10^{11} M_{Sol}$. Portanto, sob o ponto de vista dos valores estimados para as massas dos objetos, a gradação é compatível com um processo evolutivo BzKa - DRG - ERO formando as Elípticas luminosas observadas em baixo z .

Uma informação relevante pode também ser obtida da análise da evolução da densidade da taxa de formação estelar ρ_{tfe} . Baseamos esta análise no argumento muitas vezes encontrado na literatura de que a luminosidade na banda B é um estimador da taxa de formação estelar (ex. Daddi et al. (2004), Kong et al. (2006), Tresse et al. (2007), James et al. (2008)). Utilizamos a calibração mostrada por James et al. (2008) entre a taxa de formação estelar e a luminosidade na banda B, aqui reproduzida na figura 6.3 e os valores apresentados na tabela 1 daquele trabalho. Com essa calibração e as determinações de magnitude na banda B da área CFHTLS-D1 obtivemos estimativas da taxa de formação estelar para todos os objetos, utilizando também o fato de que, em média, a extinção nesta banda devido à poeira usualmente presente na formação estelar é tipicamente 1.8 a 2 magnitudes (Tresse et al., 2007). A correção por extinção foi aplicada às classes onde a formação estelar é importante, como indicado por suas cores $r'-z'$, excluindo-se, portanto, as Elípticas e EROs.

Na figura 6.4 são apresentados os resultados obtidos para a densidade da taxa de formação estelar, ρ_{tfe} , calculada em intervalos de *redshift* para diferentes classes de objetos. Seus valores, assim como os de massa, estão nas tabelas 4.14, 4.17, 4.15 e 4.16. Esta figura apresenta alguns aspectos já esperados e outros que endossam a

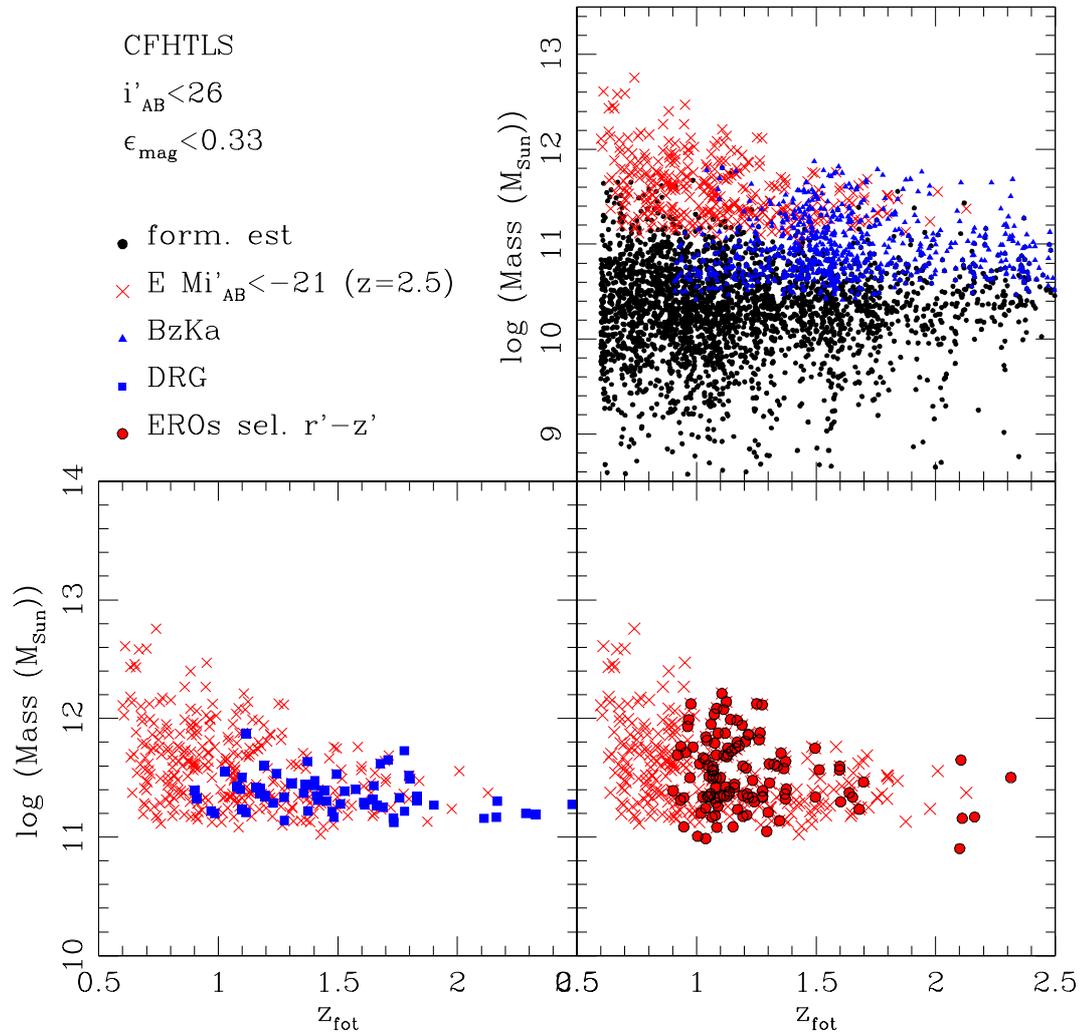


Figura 6.2: Distribuição de massas como indicadas pela banda K para as classes de galáxias dominadas por formação estelar, Elípticas mais luminosas que $M_{i'_{AB}} = -21$ em $z=2.5$, levando em conta a evolução de luminosidade, EROs com o critério adicional de corte na cor $r'-z'$, DRGs e BzKas.

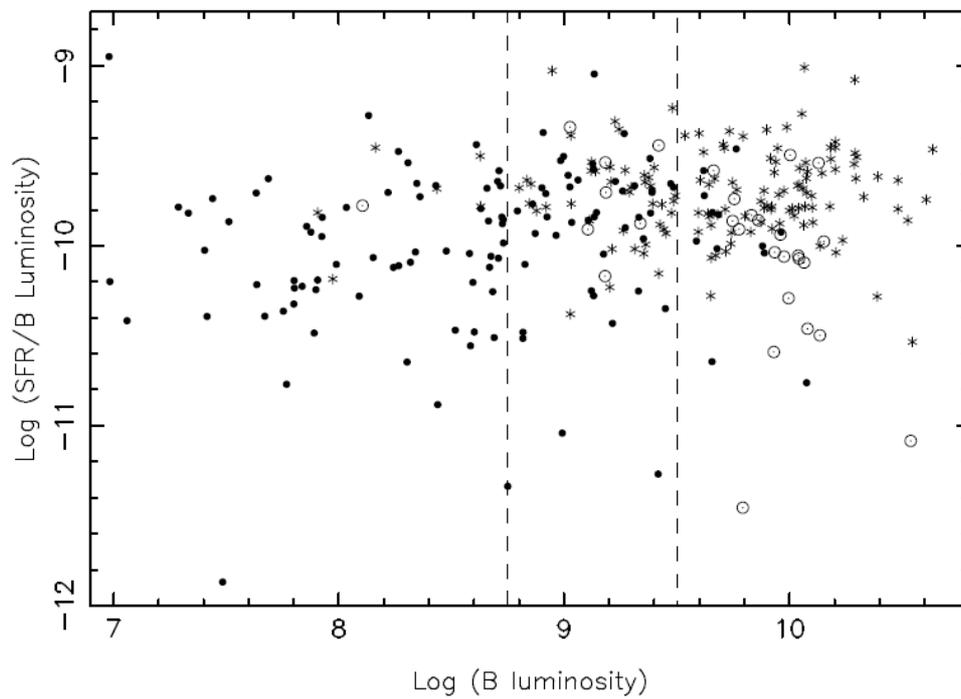


Figura 6.3: Relação entre a taxa de formação estelar e a luminosidade na banda B obtida por James et al. (2008) para galáxias de diferentes morfologias. Círculos com pontos internos representam tipos *early* (T=0 a -2), estrelas representam morfologias de Espirais (T=3 a 7) e círculos cheios representam tipos mais tardios (T=8 a 10). Reproduzido de James et al. (2008).

interpretação evolutiva de BzKas - DRGs - EROs levando à formação de Elípticas luminosas. Em primeiro lugar, deve-se mencionar que o resultado para as galáxias em que domina a formação estelar (triângulos vazios) é bastante semelhante aos resultados encontrados na literatura, como mostrado na figura 6.5.

Em altos *redshifts* ($z > 1.5$), a taxa de formação estelar das BzKas que é $\approx 40 M_{Sol}/ano$ por objeto, cuja densidade $\rho_{tfe} = 0.094 M_{Sol}/ano/Mpc^3$ se assemelha àquela das galáxias dominadas por formação estelar. Este valor é mais alto que o encontrado na literatura ($0.02 - 0.08 M_{Sol}/ano/Mpc^3$) e pode estar um pouco superestimado pela correção de extinção aqui adotada. A densidade da taxa de formação estelar para BzKas decresce para *redshifts* menores de um fator ≈ 100 . Galáxias Espirais mostram uma densidade na taxa de formação estelar praticamente constante no domínio de *redshift* examinado. Já as galáxias Elípticas, mesmo apresentando uma taxa de formação estelar muito baixa ($\approx 0.0004 M_{Sol}/ano/Mpc^3$ em $z > 1.5$), mostram o crescimento desta taxa por um fator 10 até $z \approx 0.5$. Este crescimento da taxa de formação estelar para Elípticas pode também ser verificado na figura 6.6, que reproduz a figura 7 de Tresse et al. (2007) relativa à densidade de luminosidade de diferentes classes morfológicas por eles encontrada na análise da amostra espectroscópica VVDS.

Em particular, deve-se também notar a variação inversa da evolução de ρ_{tfe} para as classes BzKas e Elípticas, que é compatível com um processo de fusão de BzKas formando Elípticas se este for violento o suficiente para remover, do objeto resultante, o reservatório de gás, reduzindo drasticamente a continuação da formação estelar. Se correta esta interpretação, este processo deve ser mais efetivo no intervalo $2.0 < z < 1.0$. Neste sentido é importante ressaltar que os resultados de simulações numéricas de formação de galáxias desenvolvidos por L. Hernquist, R. Somerville e colaboradores (ex. Hopkins et al. (2008)) mostram que o gás presente nos objetos em fusão em grandes halos de matéria escura (que dão origem a aglomerados de galáxias) é expelido para o meio intergaláctico, no auge desse processo, resultando em galáxias tipo *early*, essencialmente desprovidas de gás. Alguns desses autores têm enfatizado que o processo de formação estelar está em grande parte concentrado em

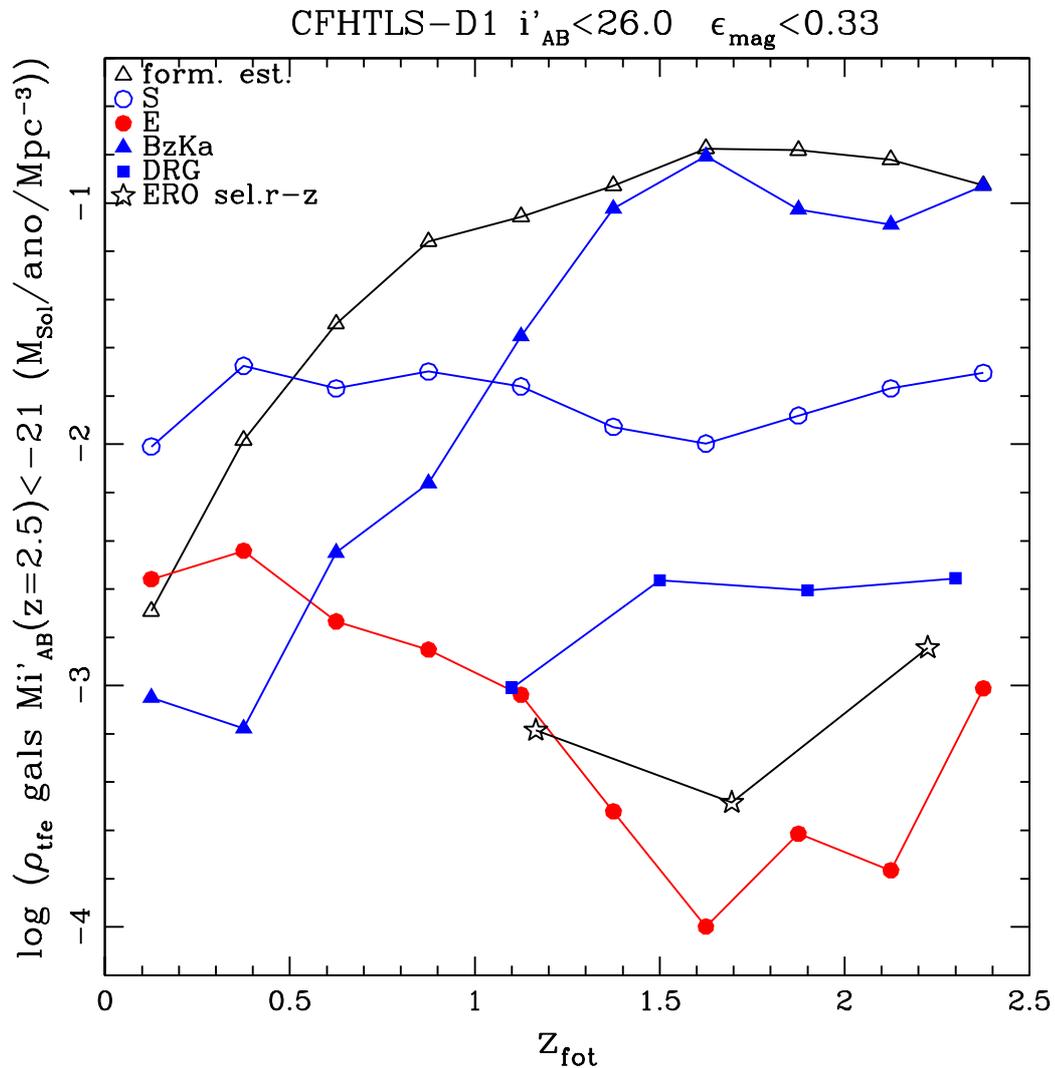


Figura 6.4: Densidade da taxa de formação estelar ρ_{tfe} em função do *redshift* fotométrico para diferentes classes de objetos: galáxias dominadas por formação estelar, Espirais (S), Elípticas, BzKas, DRGs e EROs com seleção adicional na cor $r'-z'$. Para as Elípticas, Espirais e galáxias dominadas por formação estelar, as amostras incluem objetos com magnitudes absolutas $M_{i'_{AB}} < -21$ em $z=2.5$, corrigidas da evolução de luminosidade. Para o caso das galáxias vermelhas, suas definições já implicam em objetos tipicamente mais luminosos que $M_{i'_{AB}} < -21$.

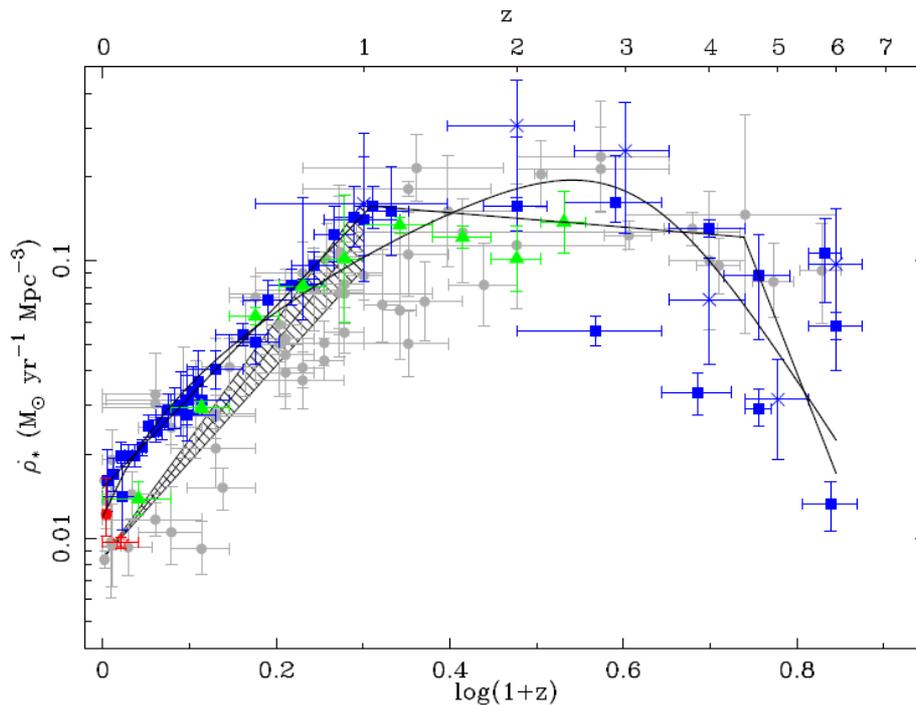


Figura 6.5: Densidade da taxa de formação estelar ρ_{tfe} em função do *redshift* de dados da literatura. Reproduzido de Hopkins e Beacom (2006).

discos galácticos e apenas uma pequena fração (10 - 20 %) ocorre nas maiores fusões (ex. Conselice (2006)).

Sendo este o caso, a figura 6.7 reproduzida de Conselice (2006) mostrando a evolução das taxas de fusões, baseadas nos resultados de Patton et al. (2000; 2002) e Conselice et al. (2003), está em total acordo com a interpretação de que o efeito de redução da taxa de formação estelar é compatível com a época onde fusões são importantes, isto é, no domínio $2.0 < z < 1.0$. Este intervalo é também onde foi destacado o crescimento do número relativo de Elípticas como mostrado na figura 6.1. Este efeito é bastante coerente também com o maior avermelhamento relativo das Elípticas mencionado no Capítulo anterior e o crescimento dos valores da escala de correlação para Elípticas luminosas (figura 5.25).

Levando em conta que Elípticas devem se formar principalmente nas regiões mais densas da distribuição de matéria escura, o fato de que BzKas apresentam menores escalas de correlação, e sua possível participação na formação de Elípticas,

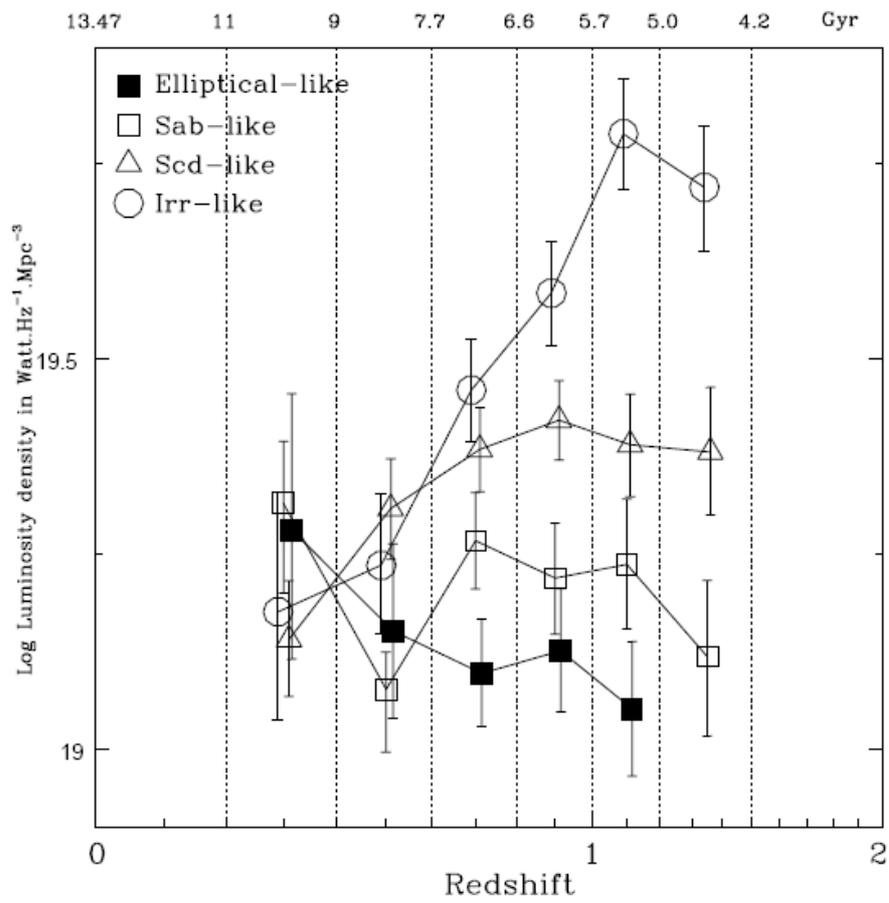


Figura 6.6: Densidade de luminosidade de diferentes classes morfológicas da amostra espectroscópica VVDS. Reproduzido de Tresse et al. (2007).

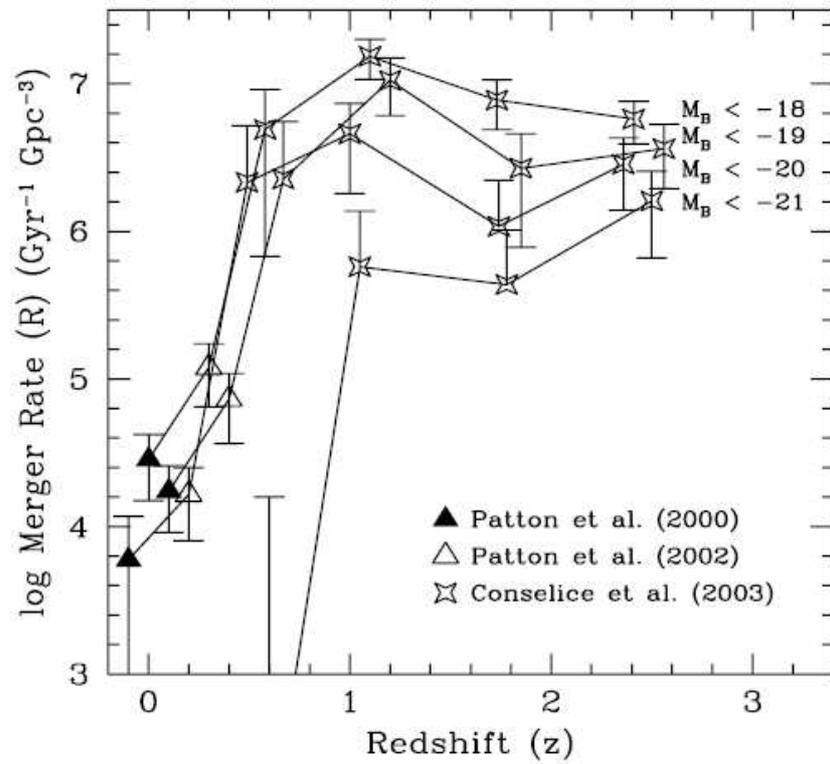


Figura 6.7: Taxas de fusão de objetos baseadas nos resultados obtidos por Patton et al. (2000; 2002) e Conselice et al. (2003). Reproduzido de Conselice (2006).

seria natural associá-las aos objetos situados nas regiões mais externas dos halos primordiais, e cuja queda no poço de potencial do halo resulta nas fusões aqui discutidas.

O relaxamento do processo de fusão em $z < 1$ é também compatível com o crescimento da taxa de formação estelar para Elípticas pelo próprio mecanismo de fusão agora menos energético, envolvendo objetos menores, formados mais tarde em baixo z , como esperado num cenário de *downsizing*, como também apontado por Tresse et al. (2007). É provável também que, nesta fase, Elípticas possam re-capturar o gás removido nas maiores fusões e que passa a permear o meio intra-aglomerado. Sugerimos aqui que essa quiessência do mecanismo de fusão pode levar a um estado dinâmico dos aglomerados onde a gravitação do sistema intensifique suas características de aglomeração, o que seria compatível com o aumento da escala de correlação mostrada na figura 5.25 para Elípticas luminosas para $z < 0.7$.

No que concerne as DRGs e os EROs com seleção adicional na cor $r'-z'$, estas classes parecem constituir uma sequência de propriedades de taxa de formação estelar na direção dos valores das Elípticas. A densidade da taxa de formação estelar dessas classes é, no intervalo $0.9 > z > 2.5$, $\rho_{tfe} = 0.0045$ e $0.0008 M_{Sol}/ano/Mpc^3$ respectivamente para as DRGs e os EROs, enquanto as Elípticas apresentam um valor $\rho_{tfe} = 0.0005 M_{Sol}/ano/Mpc^3$. Um elevado valor da escala de correlação desses objetos, $r_0 = 7 - 8h^{-1} Mpc$, já é medido em $z \approx 2$, indicando que objetos vermelhos, com presença de formação estelar e muito aglutinados - como as DRGs - já existem no Universo nesta época, como mostrado na figura 5.25. Uma gradação de valores da escala de aglomeração, taxa de formação estelar, número relativo de objetos e estimativas de massas das DRGs e EROs indica uma sequência evolutiva compatível com aquela obtida para as galáxias mais luminosas, classificadas como Elípticas na amostra CFHTLS-D1.

Todos os resultados aqui discutidos levam à interpretação de que BzKas, DRGs e EROs, objetos selecionados exclusivamente por critérios de cor, são os precursores das galáxias tipo *early* luminosas do Universo local. A atuação conjunta do processo de fusão de objetos e de formação estelar, dentro de um cenário de aglomeração

hierárquica, parece fazer com que em $z \approx 2$ essas galáxias já estejam com suas propriedades de aglutinação em grande escala estabelecidas e em $z \approx 1.0$, distância característica da família de EROS, com sua formação estelar bastante avançada. Os resultados aqui encontrados indicam também que o intervalo $1.5 < z < 2.0$ representa para as Elípticas um período de esgotamento da atividade de formação estelar (tornando suas cores mais vermelhas), podendo ser causado principalmente pela intensa atividade de fusão de objetos e remoção de seus conteúdos gasosos.

Finalmente é apresentado na figura 6.8 um panorama amplo (e ainda instigante) sobre os tópicos aqui discutidos. Nesta figura é mostrada a taxa de formação estelar para as classes de galáxias estudadas neste trabalho em função do *redshift* fotométrico, e nela podem ser vistos alguns resultados encontrados como a sequência evolutiva da taxa de formação estelar de BzKas - DRGs - EROs - Elípticas para $z > 1$, assim como o aumento da formação estelar para Elípticas em $z < 1$. Entretanto, um resultado que chama atenção nesta figura é o número significativo de Elípticas no intervalo $1.7 < z < 2.5$ identificadas pelo código Le Phare, mas que não são identificadas pelos critérios de cor que selecionam objetos vermelhos. Um resultado similar é apontado por Conselice et al. (2008) em *redshifts* mais baixos em sua análise dos campos do levantamento DEEP2/Palomar. Ou seja, a seleção de EROS e DRGs identifica Elípticas luminosas, no entanto nem todas Elípticas luminosas estão incluídas nesta seleção. Note-se que nas análises aqui apresentadas, as seleções de Elípticas incluíram estes objetos, quando tais análises se estenderam até $z=2.5$. Em particular, no intervalo $2.0 \leq z \leq 2.5$, essas Elípticas apresentam cores $r'-z' > 0.8$, magnitude absoluta média $\langle Mi'_{AB} \rangle = -22.5$, densidade da taxa de formação estelar $\rho_{tfe} = 0.0006 M_{Sol}/ano/Mpc^3$, massa média $\approx 3 \times 10^{11} M_{Sol}$ e escala de correlação $r_0 \approx 4.5 h^{-1} Mpc$. Esses objetos são, portanto, mais vermelhos que a média, luminosos, massivos, com baixa formação estelar e escala de correlação acima da média das galáxias sugerindo que Elípticas já estejam em processo de formação em $z=2.5$ e talvez em épocas um pouco mais primordiais. Infelizmente, para algumas análises, o número de objetos foi insuficiente para fornecer resultados estatisticamente confiáveis. De qualquer forma, se estes resultados provenientes do

uso do código Le Phare estão corretos, eles mostram a grande vantagem da utilização de códigos deste tipo (resultando numa classificação morfológica confiável) em futuros levantamentos mais fundos.

Este trabalho mostra a diversidade e a potencialidade das análises que podem ser feitas com um catálogo de cor elaborado com técnicas modernas a partir de dados de boa qualidade e homogeneidade espacial. Isto inclui a determinação de distâncias através de *redshifts* fotométricos, massas, taxa de formação estelar, morfologias, etc. Levantamentos fotométricos multi-banda, como é o caso do DPS e do CFHTLS, permitem a realização deste tipo de trabalho ao produzir amostras extensas e estatisticamente significativas de objetos em diferentes faixas de *redshift*. Novas iniciativas importantes serão realizadas nos próximos anos envolvendo grandes levantamentos fotométricos, como é o caso do Dark Energy Survey.

Com esta visão de futuro, este trabalho representa também a elaboração de ferramentas para a criação de um conjunto de dados com qualidade científica para análise de levantamentos deste tipo. E esses grandes levantamentos exigirão cada vez mais um alto grau de informatização no processo de obtenção, armazenamento, tratamento e análise dos terabytes de dados que estarão disponíveis, o que exigirá maior rapidez em todo este processo sem comprometer a qualidade e a confiabilidade dos resultados. Assim, é importante destacar que os algoritmos de tratamento de dados e análise científica utilizados e desenvolvidos neste projeto estão sendo incorporados em um pacote de ferramentas que será disponibilizado no portal brasileiro do projeto DES, como mostrado no apêndice A, mas que também poderá ser usado para explorar os dados de outros levantamentos.

De fato, o DES representará um novo levantamento de dados fotométricos extremamente adequado para estudos como os realizados neste tese pois proporcionará uma grande cobertura de área de céu, além de uma grande cobertura espectral, dados os filtros que utilizará, e do fato de que apresentará alta eficiência nos mais vermelhos. Dentre essas bandas em que serão utilizadas, estão presentes aquelas usadas na seleção de objetos pela cor ($r'-z'$), o que possibilitará a obtenção de importantes informações a respeito de Elípticas em altos *redshifts*, como as que foram

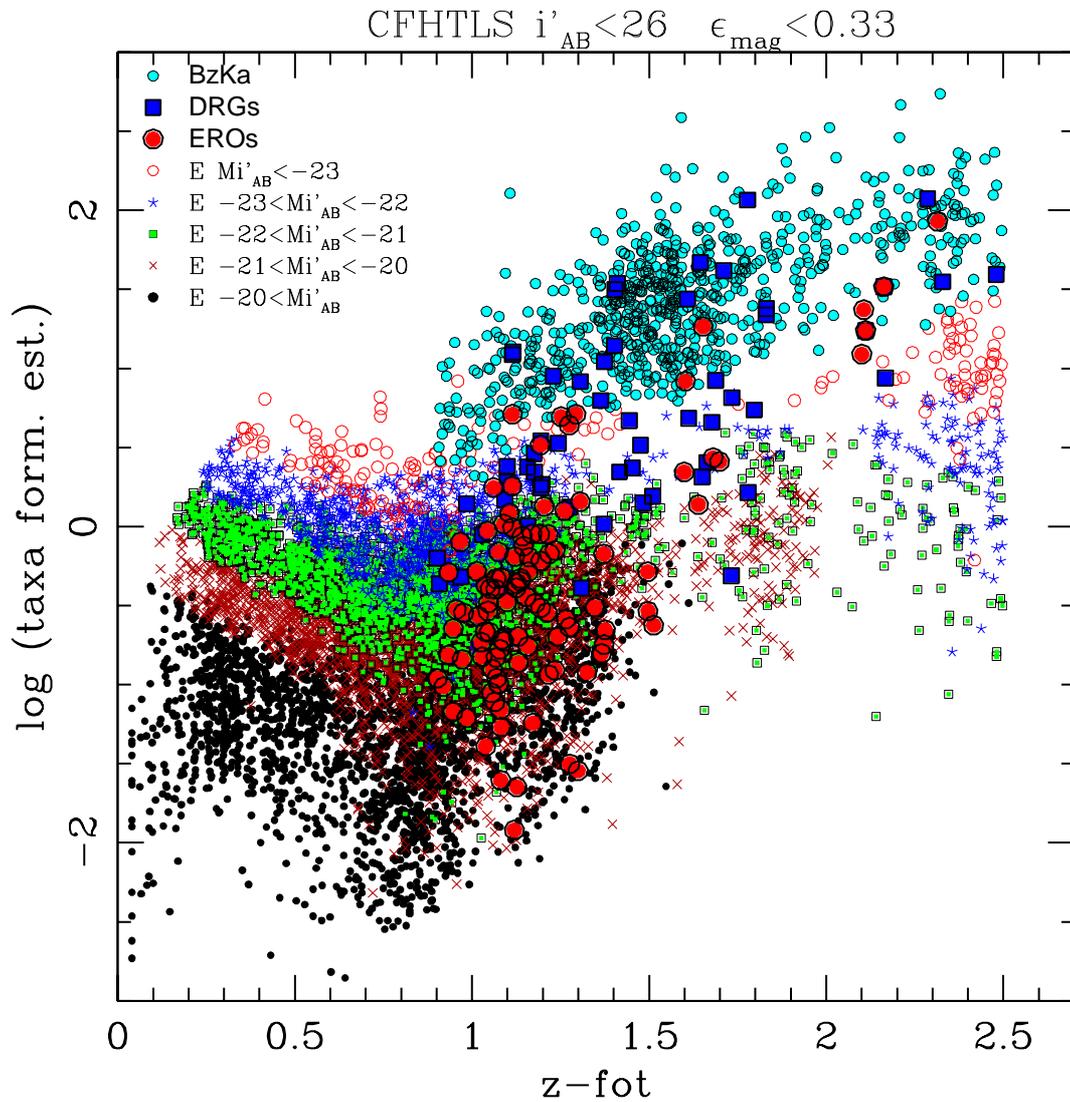


Figura 6.8: Taxas de formação estelar obtidas neste trabalho para diversas classes de objetos: BzKas, DRGs, EROs com critério adicional de seleção na cor $r'-z'$, Elípticas em diferentes domínios de luminosidade (sem correção de evolução de luminosidade).

apresentadas nesse trabalho, independentemente das observações no infravermelho a serem realizadas pelo VISTA na mesma região. Apenas para ilustrar a importância de se estar preparado com ferramentas como as mencionadas, assumindo uma densidade média de 350 EROs por grau quadrado com $K_{Vega} \leq 18.0$, nos 5000 graus quadrados que serão cobertos pelo DES se espera encontrar cerca de 1.75×10^6 EROs na mesma profundidade. Por isso, a combinação do DES com os dados do VISTA representará uma mina de ouro para estudos de evolução de galáxias.

6.1 Perspectivas Futuras

Deve-se mencionar que algumas linhas de análise podem ser continuadas a partir deste trabalho:

- Em primeiro lugar, a disponibilidade de mais três áreas do CFHTLS de dimensões semelhantes a esta aqui analisada podem ser utilizadas para melhorar as estatísticas levantadas neste trabalho. Em particular seria interessante estender a análise realizada para os objetos selecionados com base na cor (r-z) para as amostras de galáxias dos demais campos do CFHTLS.

- Nesta mesma linha visando aumentar a estatística de análise seria trivial desenvolver um trabalho similar ao realizado por McCracken et al. (2008) de calcular uma função de correlação angular global, obtida pela contagem de pares de objetos encontrados no mesmo intervalo de separação angular de todos os campos de cada uma das amostras (CFHTLS e DPS), de modo a minimizar os efeitos de baixa estatística sobre as funções de correlação dos diferentes objetos nas diferentes faixas de *redshift* analisadas.

- Em particular pode-se investigar se eventuais diferenças encontradas são decorrentes de variância cósmica, assim como os limites de análise impostos por levantamentos como este, com área de céu ≈ 1 grau quadrado.

- Para estimar a época de formação de galáxias Elípticas, seria importante avaliar diferentes modelos de formação e evolução destes objetos comparando a densidade de objetos por eles prevista com a que de fato encontramos. Neste processo é possível

fornecer vínculos relevantes para estes modelos;

- De um modo geral, uma função de correlação angular pode ser ajustada por uma lei de potência, o que é amplamente utilizado na literatura. No entanto é possível que outras funções possam apresentar ajustes que minimizam o espalhamento e que representam melhor os dados ao longo de todas as escalas. Uma possibilidade que deve ser investigada é o ajuste do modelo de 2 halos (Blake et al., 2008), que considera a correlação total como proveniente das contribuições da correlação entre objetos de um mesmo halo e da correlação de objetos em halos diferentes. Isto acarreta numa perfil de correlação não linear que tem respaldo nos dados observacionais. Esse efeito pode ser notado na figura 5.10.

- A variedade de parâmetros dos catálogos fotométricos permite também uma série de análises de grande interesse como, por exemplo, um estudo mais detalhado do efeito da extinção devido à presença de poeira nos objetos com intensa formação estelar. Valores melhor determinados para essa extinção são críticos para uma medida confiável de taxa de formação estelar e de estimativas de massas das galáxias.

- Finalmente pode-se apontar que os objetos vermelhos como EROs e DRGs devem constituir excelentes traçadores de aglomerados de galáxias e seria interessante explorar técnicas análogas às da seqüência vermelha ou MAXBCG para encontrar esses grandes sistemas em $z > 1.0$. Testes simples para explorar essa possibilidade, podem ser realizados, como utilizar uma amostra de aglomerados encontrados nos campos do CFHTLS-Deep (Olsen et al., 2007), consistindo na comparação de suas posições com as dos EROs e DRGs. Também seria interessante fazer o mesmo para os dados do DPS, apesar de todos os aglomerados identificados nesse levantamento se encontrarem em $z < 1.0$ (Olsen et al., 1999a; Olsen et al., 1999b), com a maioria localizada em *redshifts* abaixo dos obtidos para os EROs ($z < 0.6$).

Todos esses itens acima mencionados representam atividades de interesse para o projeto DES e algumas que poderão ser desenvolvidas com a futura base de dados do projeto, sendo portanto de nosso interesse desenvolvê-las, dando continuidade ao que foi explorado nesta tese.

Bibliografia

- Arnouts, S., Vandame, B., Benoist, C., et al.: 2001, *A&A* **379**, 740
- Babbedge, T. S. R., Whitaker, R., e Morris, S.: 2005, *MNRAS* **361**, 437
- Banerji, M., Abdalla, F. B., Lahav, O., e Lin, H.: 2008, *MNRAS* **386**, 1219
- Baugh, C. M., Cole, S., e Frenk, C. S.: 1996, *MNRAS* **283**, 1361
- Baum, W. A.: 1962, in G. C. McVittie (ed.), *Problems of Extra-Galactic Research*, Vol. 15 of *IAU Symposium*, p. 390
- Becker, A. C., Silvestri, N. M., Owen, R. E., et al.: 2007, *PASP* **119**, 1462
- Bekki, K.: 1998, *ApJ* **496**, 713
- Bertin, E. e Arnouts, S.: 1996, *A&AS* **117**, 393
- Bertin, E., Dennefeld, M., e Moshir, M.: 1997, *A&A* **323**, 685
- Blake, C., Collister, A., e Lahav, O.: 2008, *MNRAS* **385**, 1257
- Bolzonella, M., Miralles, J.-M., e Pelló, R.: 2000, *A&A* **363**, 476
- Brown, M. J. I., Dey, A., Jannuzi, B. T., et al.: 2003, *ApJ* **597**, 225
- Brown, M. J. I., Jannuzi, B. T., Dey, A., e Tiede, G. P.: 2005, *ApJ* **621**, 41
- Bruzual, G. e Charlot, S.: 2003, *MNRAS* **344**, 1000
- Budavári, T., Connolly, A. J., Szalay, A. S., et al.: 2003, *ApJ* **595**, 59
- Calzetti, D., Armus, L., Bohlin, R. C., et al.: 2000, *ApJ* **533**, 682
- Carlberg, R. G.: 1984a, *ApJ* **286**, 403
- Carlberg, R. G.: 1984b, *ApJ* **286**, 416
- Cimatti, A., Daddi, E., Cassata, P., et al.: 2003, *A&A* **412**, L1
- Cimatti, A., Daddi, E., Mignoli, M., et al.: 2002, *A&A* **381**, L68
- Cimatti, A., Daddi, E., Renzini, A., et al.: 2004, *Nature* **430**, 184
- Coleman, G. D., Wu, C.-C., e Weedman, D. W.: 1980, *ApJS* **43**, 393

- Collister, A. A. e Lahav, O.: 2004, *PASP* **116**, 345
- Conselice, C. J.: 2006, *ApJ* **638**, 686
- Conselice, C. J., Bershad, M. A., Dickinson, M., e Papovich, C.: 2003, *AJ* **126**, 1183
- Conselice, C. J., Bundy, K., U, V., et al.: 2008, *MNRAS* **383**, 1366
- Conselice, C. J., Newman, J. A., Georgakakis, A., et al.: 2007, *ApJ* **660**, L55
- Daddi, E., Cimatti, A., Broadhurst, T., et al.: 2002, *A&A* **384**, L1
- Daddi, E., Cimatti, A., Pozzetti, L., et al.: 2000, *A&A* **361**, 535
- Daddi, E., Cimatti, A., Renzini, A., et al.: 2004, *ApJ* **617**, 746
- Davis, M., Faber, S. M., Newman, J., et al.: 2003, in P. Guhathakurta (ed.), *Discoveries and Research Prospects from 6- to 10-Meter-Class Telescopes II. Edited by Guhathakurta, Puragra. Proceedings of the SPIE, Volume 4834, pp. 161-172 (2003).*, Vol. 4834 of *Presented at the Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) Conference*, pp 161–172
- Dressler, A.: 1980, *ApJ* **236**, 351
- Drory, N., Feulner, G., Bender, R., et al.: 2001, *MNRAS* **325**, 550
- Elston, R., Rieke, G. H., e Rieke, M. J.: 1988, *ApJ* **331**, L77
- Elston, R. J., Gonzalez, A. H., McKenzie, E., et al.: 2006, *ApJ* **639**, 816
- Feulner, G., Goranova, Y., Hopp, U., et al.: 2007, *MNRAS* **378**, 429
- Fontana, A., Pozzetti, L., Donnarumma, I., et al.: 2004, *A&A* **424**, 23
- Franx, M., Labbé, I., Rudnick, G., et al.: 2003, *ApJ* **587**, L79
- Gawiser, E., van Dokkum, P. G., Herrera, D., et al.: 2006, *ApJS* **162**, 1
- Georgakakis, A., Afonso, J., Hopkins, A. M., et al.: 2005, *ApJ* **620**, 584
- Girardi, L., Groenewegen, M. A. T., Hatziminaoglou, E., e da Costa, L.: 2005, *A&A* **436**, 895
- Grazian, A., Fontana, A., de Santis, C., et al.: 2006a, *A&A* **449**, 951
- Grazian, A., Fontana, A., Moscardini, L., et al.: 2006b, *A&A* **453**, 507
- Hopkins, A. M. e Beacom, J. F.: 2006, *ApJ* **651**, 142
- Hopkins, P. F., Cox, T. J., Kereš, D., e Hernquist, L.: 2008, *ApJS* **175**, 390
- Illbert, O., Arnouts, S., McCracken, H. J., et al.: 2006, *A&A* **457**, 841

- Ilbert, O., Tresse, L., Zucca, E., et al.: 2005, *A&A* **439**, 863
- Iovino, A., McCracken, H. J., Garilli, B., et al.: 2005, *A&A* **442**, 423
- James, P. A., Knapen, J. H., Shane, N. S., et al.: 2008, *A&A* **482**, 507
- Jannuzi, B. T. e Dey, A.: 1999, in R. Weymann, L. Storrie-Lombardi, M. Sawicki, and R. Brunner (eds.), *Photometric Redshifts and the Detection of High Redshift Galaxies*, Vol. 191 of *Astronomical Society of the Pacific Conference Series*, p. 111
- Kauffmann, G. e Charlot, S.: 1998, *MNRAS* **297**, L23
- Kerscher, M., Szapudi, I., e Szalay, A. S.: 2000, *ApJ* **535**, L13
- Kinney, A. L., Calzetti, D., Bohlin, R. C., et al.: 1996, *ApJ* **467**, 38
- Kobayashi, C.: 2004, *MNRAS* **347**, 740
- Kong, X., Daddi, E., Arimoto, N., et al.: 2006, *ApJ* **638**, 72
- Labbé, I., Franx, M., Rudnick, G., et al.: 2003, *AJ* **125**, 1107
- Landy, S. D. e Szalay, A. S.: 1993, *ApJ* **412**, 64
- Lane, K. P., Almaini, O., Foucaud, S., et al.: 2007, *MNRAS* **379**, L25
- Larson, R. B.: 1974, *MNRAS* **166**, 585
- Larson, R. B.: 1975, *MNRAS* **173**, 671
- Larson, R. B., Tinsley, B. M., e Caldwell, C. N.: 1980, *ApJ* **237**, 692
- Lawrence, A., Warren, S. J., Almaini, O., et al.: 2007, *MNRAS* **379**, 1599
- Le Fèvre, O., Guzzo, L., Meneux, B., et al.: 2005a, *A&A* **439**, 877
- Le Fèvre, O., Vettolani, G., Garilli, B., et al.: 2005b, *A&A* **439**, 845
- Le Fèvre, O., Vettolani, G., Paltani, S., et al.: 2004, *A&A* **428**, 1043
- Limber, D. N.: 1953, *ApJ* **117**, 134
- Lin, H., Cunha, C., Lima, M., e Dark Energy Survey: 2004, in *Bulletin of the American Astronomical Society*, Vol. 36 of *Bulletin of the American Astronomical Society*, p. 1462
- Mamon, G. A., Borsenberger, J., Tricottet, M., e Banchet, V.: 1998, in N. Epchtein (ed.), *The Impact of Near-Infrared Sky Surveys on Galactic and Extragalactic Astronomy*, Vol. 230 of *Astrophysics and Space Science Library*, p. 177
- McCarthy, P. J., Persson, S. E., e West, S. C.: 1992, *ApJ* **386**, 52

- McCracken, H. J., Ilbert, O., Mellier, Y., et al.: 2008, *A&A* **479**, 321
- McCracken, H. J., Radovich, M., Bertin, E., et al.: 2003, *A&A* **410**, 17
- Metcalfe, N., Shanks, T., e Fong, R.: 2000, *The Newsletter of the Isaac Newton Group of Telescopes* **3**, 3
- Mignano, A., Miralles, J.-M., da Costa, L., et al.: 2007, *A&A* **462**, 553
- Mignoli, M., Cimatti, A., Zamorani, G., et al.: 2005, *A&A* **437**, 883
- Miyazaki, M., Shimasaku, K., Kodama, T., et al.: 2003, *PASJ* **55**, 1079
- Navarro, J. F., Frenk, C. S., e White, S. D. M.: 1997, *ApJ* **490**, 493
- Ogando, R. L. C., Maia, M. A. G., Chiappini, C., et al.: 2005, *ApJ* **632**, L61
- Olsen, L. F., Benoist, C., Cappi, A., et al.: 2007, *A&A* **461**, 81
- Olsen, L. F., Miralles, J.-M., da Costa, L., et al.: 2006a, *A&A* **456**, 881
- Olsen, L. F., Miralles, J.-M., da Costa, L., et al.: 2006b, *A&A* **452**, 119
- Olsen, L. F., Scodreggio, M., da Costa, L., et al.: 1999a, *A&A* **345**, 681
- Olsen, L. F., Scodreggio, M., da Costa, L., et al.: 1999b, *A&A* **345**, 363
- Oyaizu, H., Cunha, C., Lima, M., et al.: 2006, in *Bulletin of the American Astronomical Society*, Vol. 38 of *Bulletin of the American Astronomical Society*, p. 140
- Patton, D. R., Carlberg, R. G., Marzke, R. O., et al.: 2000, *ApJ* **536**, 153
- Patton, D. R., Pritchet, C. J., Carlberg, R. G., et al.: 2002, *ApJ* **565**, 208
- Pozzetti, L. e Mannucci, F.: 2000, *MNRAS* **317**, L17
- Prevot, M. L., Lequeux, J., Prevot, L., et al.: 1984, *A&A* **132**, 389
- Quadri, R., van Dokkum, P., Gawiser, E., et al.: 2007, *ApJ* **654**, 138
- Roche, N. D., Almaini, O., Dunlop, J., et al.: 2002, *MNRAS* **337**, 1282
- Schlegel, D. J., Finkbeiner, D. P., e Davis, M.: 1998, *ApJ* **500**, 525
- Skrutskie, M. F., Cutri, R. M., Stiening, R., et al.: 2006, *AJ* **131**, 1163
- Somerville, R. S.: 2005, in A. Renzini and R. Bender (eds.), *Multiwavelength Mapping of Galaxy Formation and Evolution*, p. 131
- Szalay, A. S., Connolly, A. J., e Szokoly, G. P.: 1999, *AJ* **117**, 68
- Tresse, L., Ilbert, O., Zucca, E., et al.: 2007, *A&A* **472**, 403
- Warren, S. J., Hambly, N. C., Dye, S., et al.: 2007, *MNRAS* **375**, 213

Apêndice A

Portal Científico

O grande aumento em volume e complexidade de levantamentos de dados gerado por avanços tecnológicos traz muitos benefícios, não apenas melhorando as estatísticas como ajudando na resolução de problemas que permitem criar vínculos mais restritivos para modelos teóricos disponíveis. Por exemplo, maiores áreas cobertas minimizam o efeito de variância cósmica e observações mais fundas em magnitude permitem explorar o Universo mais distante. Além disso é cada vez mais comum se ter observações cobrindo uma mesma região em diferentes bandas (principalmente no infravermelho), o que possibilita calcular melhores *redshifts* fotométricos, classificar objetos a partir de um ajuste de *templates* e selecioná-los por suas cores (como é o caso do trabalho apresentado).

Entretanto, esses fatores tornam a administração desses dados bastante complexa, sendo necessário encontrar um modo eficiente, rápido e o mais objetivo possível de organizar informações e agilizar o processo de análise. É para atender a essa demanda que está sendo desenvolvido o Portal Científico do DES-Brazil. Ele visa servir como uma ferramenta que auxilia desde a avaliação da qualidade de imagens e catálogos até a utilização de diferentes códigos científicos, como os que calculam *redshifts* fotométricos, função de correlação, entre outros. Sua estrutura é baseada na internet, ou seja, o usuário necessita apenas de um navegador para acessar todas as suas funções.

Para disponibilizar códigos no Portal é necessário o desenvolvimento de progra-

mas, denominados *wrappers*, que controlem seus dados de entrada e saída de modo automático, além de fornecer gráficos e estatísticas com os resultados obtidos. O Portal também permite ao usuário guardar um histórico de seu uso e produtos, o que é viabilizado por um registro de permissões de acesso. Vários testes foram feitos com dados do DPS e de simulações do DES, mas outros dados estarão disponíveis no banco de dados.

Minha participação no desenvolvimento do Portal foi bastante abrangente, participando do seu planejamento desde o início do projeto, assim como no acesso ao banco de dados do DES e na definição de critérios de busca, que é uma ferramenta de grande relevância, responsável por criar catálogos para trabalhos posteriores, e especialmente no desenvolvimento de códigos. Nesse último pude colaborar com o conhecimento adquirido no desenvolvimento do trabalho aqui apresentado. Em particular participei no desenvolvimento dos *wrappers* de códigos científicos, como ANNz, Hyperz e Le Phare, além de um código que calcula a função de correlação angular (fornecido pelo colaborador C. Benoist) que ainda não foi implementado, e elaborei programas de seleção de objetos em altos *redshifts*. Também trabalhei na criação e avaliação de catálogos de uma só banda, basicamente definindo uma série de parâmetros que fornecem características de cada objeto, com informações sobre sua localização com relação às máscaras, se recebeu um valor aceitável do parâmetro *Flag* de qualidade do SExtractor, se está saturado ou não, e até um tipo de classificação em estrela ou galáxia, todas semelhantes às *Flags* disponíveis no DPS, e finalmente a própria avaliação de catálogos de cor.

Seguem abaixo algumas figuras para ilustrar o acesso aos códigos no Portal, no caso, os de cálculo de *redshifts* fotométricos. O procedimento permite selecionar a amostra de trabalho, para a qual se deseja calcular os *redshifts*, assim como o código com o qual deseja fazê-lo (em *Pipeline Setup* na figura A.1). As opções disponibilizadas foram os códigos analisados nesta tese, Hyperz, ANNz ou Le Phare.

Os parâmetros de configuração requisitados pelo código escolhido poderão ser definidos em *Configuration*, como mostra a figura A.2 para o caso do Hyperz.

Um catálogo será gerado seguindo especificações fornecidas pelo usuário. Apenas



Figura A.1: Seção de configuração do módulo de cálculo de *redshift* fotométrico: escolha do código a ser usado.

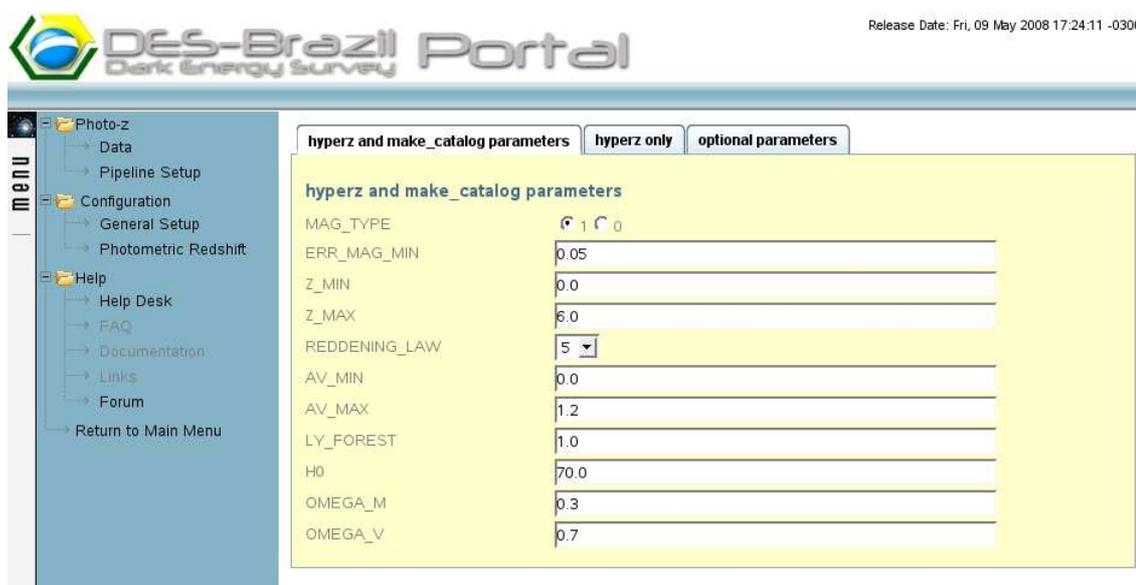


Figura A.2: Seção de configuração do código escolhido: o usuário fornece parâmetros de sua escolha.

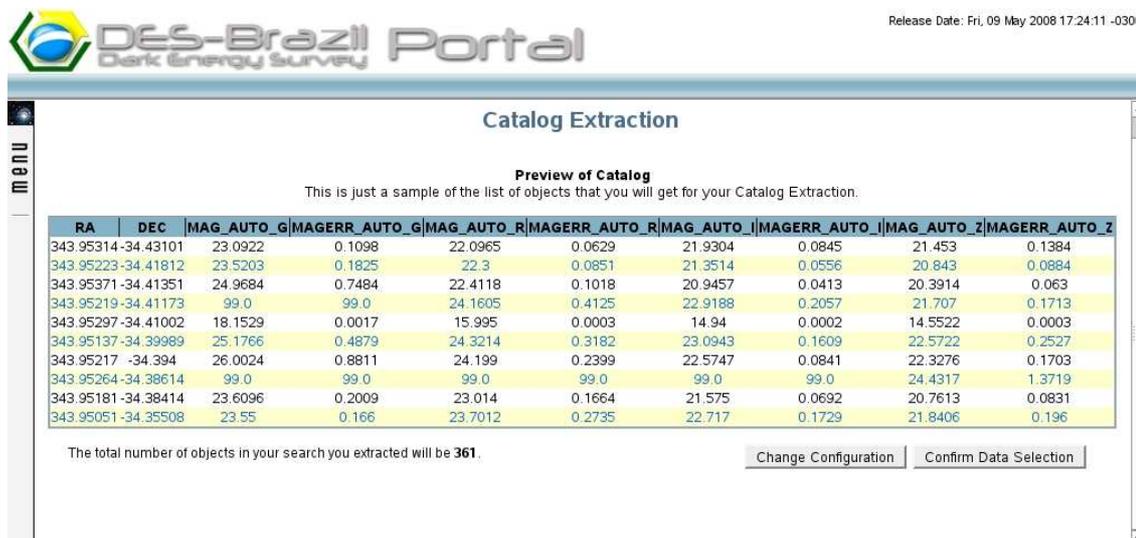


Figura A.3: Seção apresentando uma pequena amostra dos dados selecionados que serão usados no cálculo de *redshift* fotométrico.

uma amostra dele é apresentada em tela para confirmação (figura A.3), após a qual o programa é executado.

Os resultados finais são um catálogo com dados gerados pelo código escolhido e uma série de gráficos e estatísticas relativos a estes dados (figura A.4).

Outra ferramenta interessante do Portal em que me envolvi no planejamento e desenvolvi códigos é a denominada *View Target*, que é de fato um sub-produto do cálculo de *redshifts* fotométricos. Como o próprio nome indica, sua função é mostrar imagens e informações relevantes de um objeto específico, a partir de uma lista disponibilizada para o usuário. Exemplos para objetos em baixo e alto *redshifts* do que será disponibilizado são apresentados nas figuras A.5 e A.6, onde são mostradas pequenas regiões de 0.25 x 0.25 minutos de arco das imagens em cada banda centradas num objeto escolhido, uma imagem colorida obtida pela combinação das imagens anteriores nos filtros BRI, um gráfico com as magnitudes observadas sobrepostas ao espectro melhor ajustado, onde também estão destacadas informações do objeto como o *redshift* encontrado e seu tipo morfológico, e outros 2 gráficos mostrando a variação com *redshift* da χ^2 e da sua probabilidade associada. Essa forma de apresentação é interessante por permitir uma avaliação simples e rápida de objetos que se destaquem por alguma razão, como por exemplo os que tiverem valores estima-

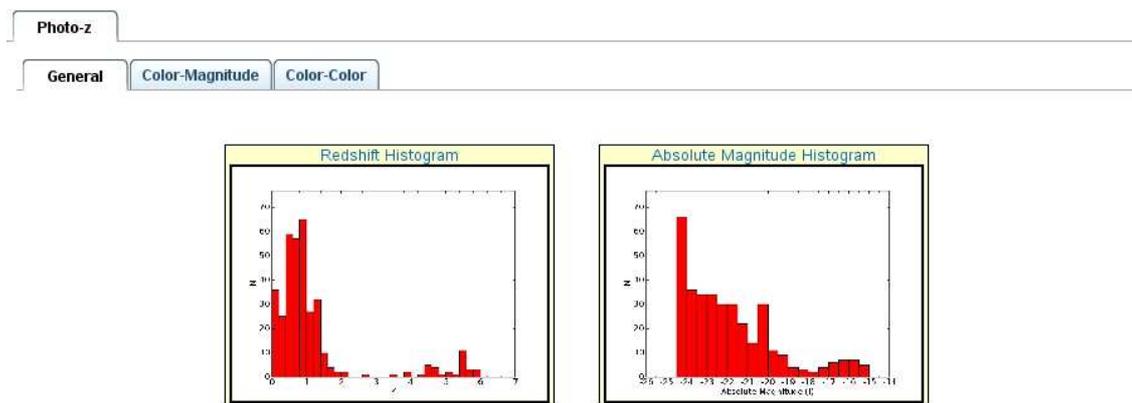


Figura A.4: Seção com alguns resultados.

dos de *redshift* muito altos ou então os que estejam em regiões específicas no espaço cor-cor.

Estes itens se mostraram necessários durante o desenvolvimento desta tese e, como foram desenvolvidos para suprir esta necessidade, foram incorporados ao Portal de forma a facilitar futuras análises seja do projeto DES, como de outros trabalhos.

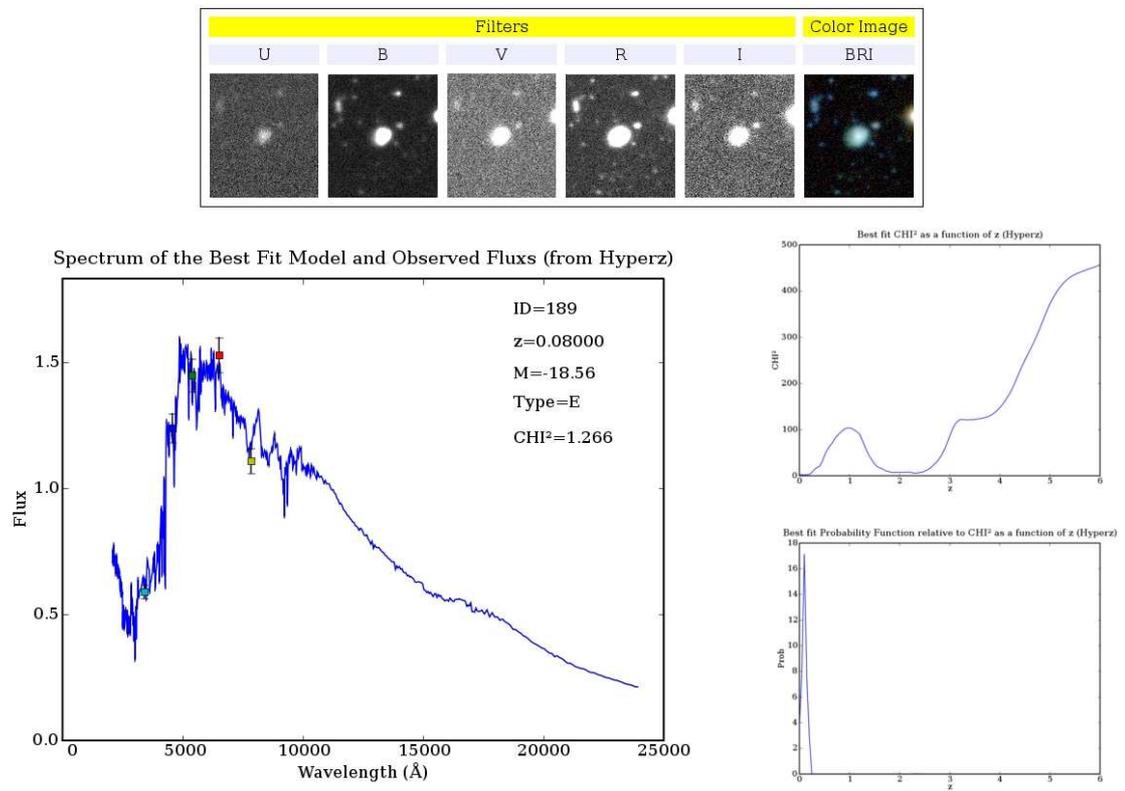


Figura A.5: Produto apresentado pela ferramenta *View Target* para um objeto do campo Deep2c do DPS.

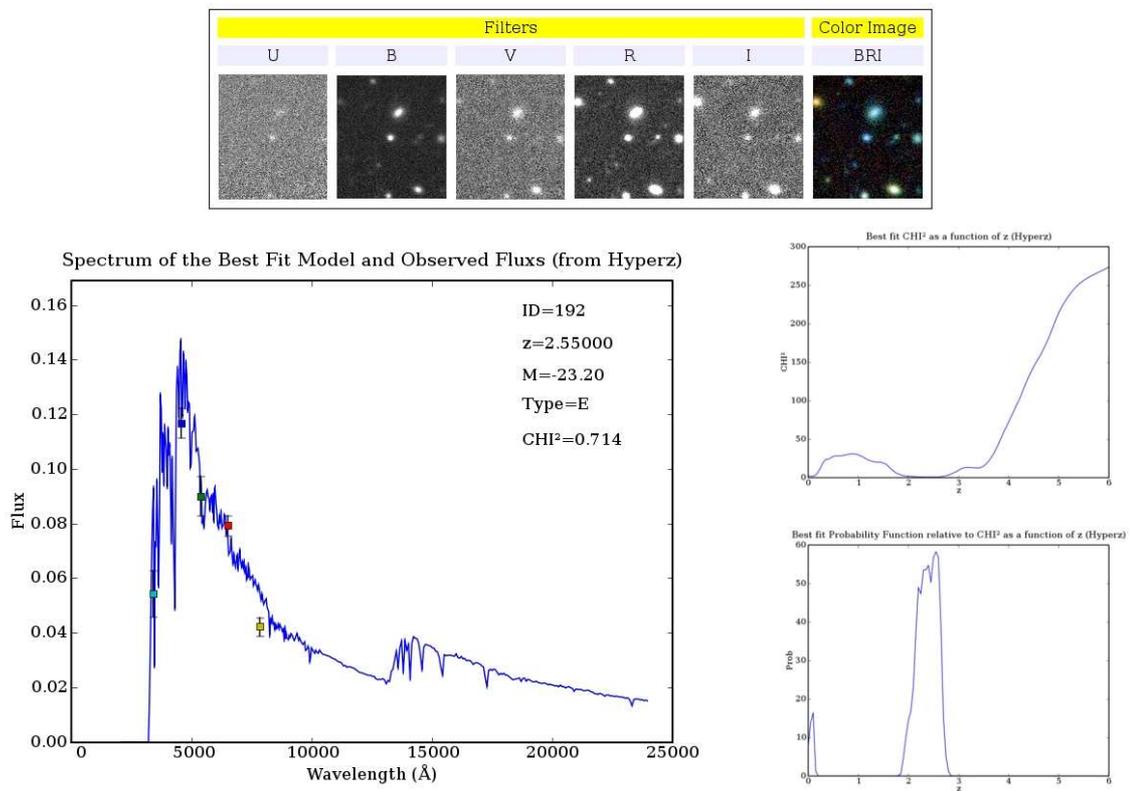


Figura A.6: Produto apresentado pela ferramenta *View Target* para um objeto do campo Deep2c do DPS.

Apêndice B

Classificação Estrela-Galáxia

O método adotado para classificação de um objeto como estrela ou galáxia para os dados do levantamento DPS foi descrito na seção 2.1.3. Aqui são apresentadas figuras similares às que se encontram lá referentes aos campos Deep2c e Deep3b (figuras 2.11 a 2.16), mas para os demais campos.

As figuras B.1 a B.11 mostram a distribuição do índice de estelaridade *ClassStar* em função da magnitude em cada banda e essa magnitude em função do raio que engloba 50% do fluxo do objeto (denominado *FluxRadius*). Nestes resultados obtêm-se desde bons casos de classificação estrela-galáxia, como para Deep3b, até outros de qualidade duvidosa, como para Deep2c.

As demais figuras apresentam as contagens normalizadas de galáxias (B.12 a B.16) e estrelas (B.17 a B.21), em faixas de magnitude nas bandas disponíveis em cada campo. Os dados de galáxias da literatura sendo comparados com os do DPS vieram de Feulner et al. (2007) (MUNICS, em rosa para todas as bandas), Metcalfe et al. (2000) e Arnouts et al. (2001) (respectivamente em vermelho e azul para as bandas B, R e I), Bertin et al. (1997) (em verde para as bandas B e R), Mamon et al. (1998) (em verde para banda I), Iovino et al. (2005) (em vermelho para as bandas J e K) e Kong et al. (2006) e Daddi et al. (2000) (respectivamente em azul e verde para a banda K). Já as contagens de estrelas são comparadas com as contagens esperadas por modelos fornecidos pelo código Trilegal (construído um para cada campo, em azul).

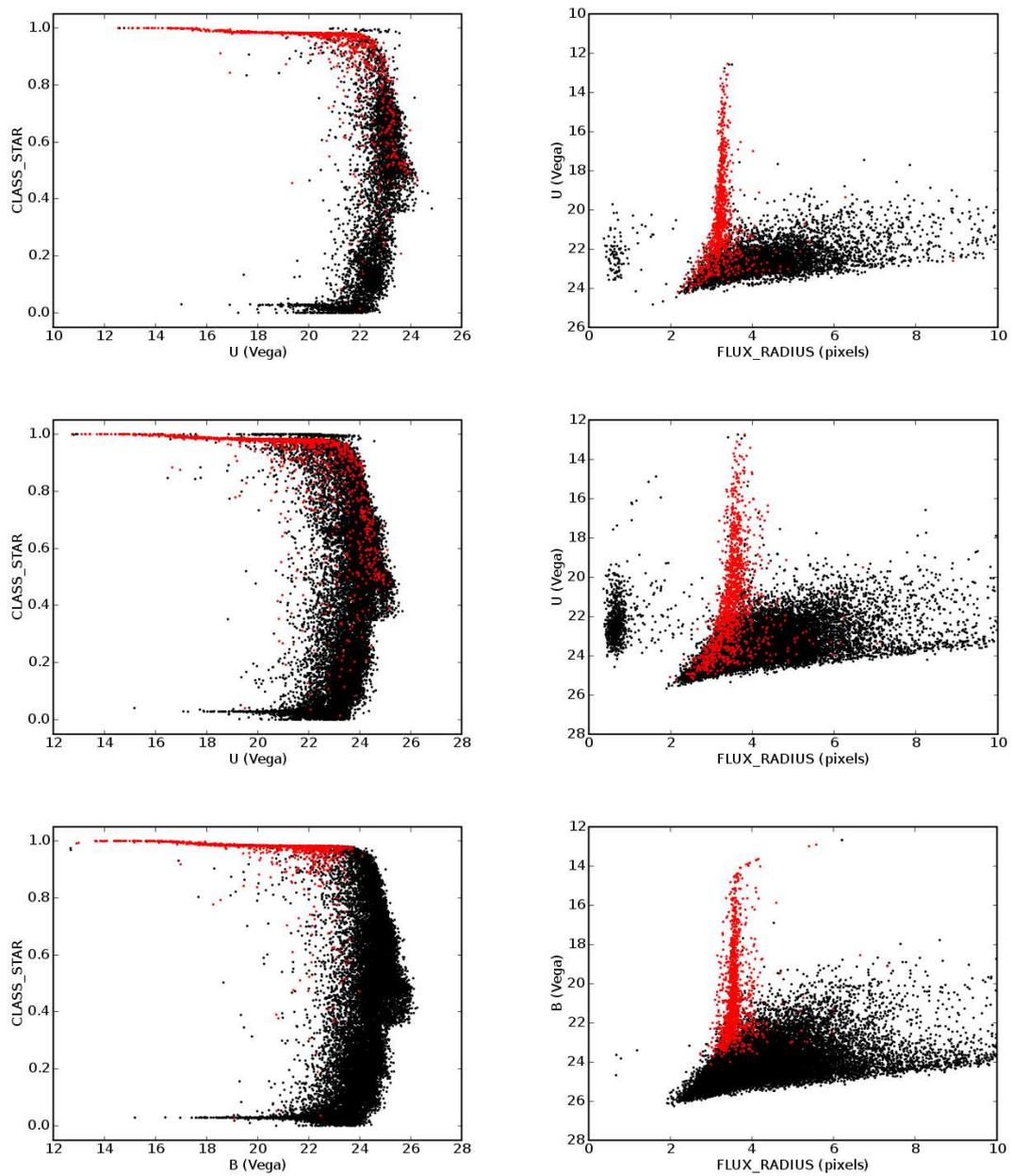


Figura B.1: *ClassStar* em função da magnitude nas bandas uUB (nessa ordem de cima para baixo) e magnitude em função de *FluxRadius* para o campo Deep1a: galáxias em preto e estrelas em vermelho (adotando a classificação da banda R).

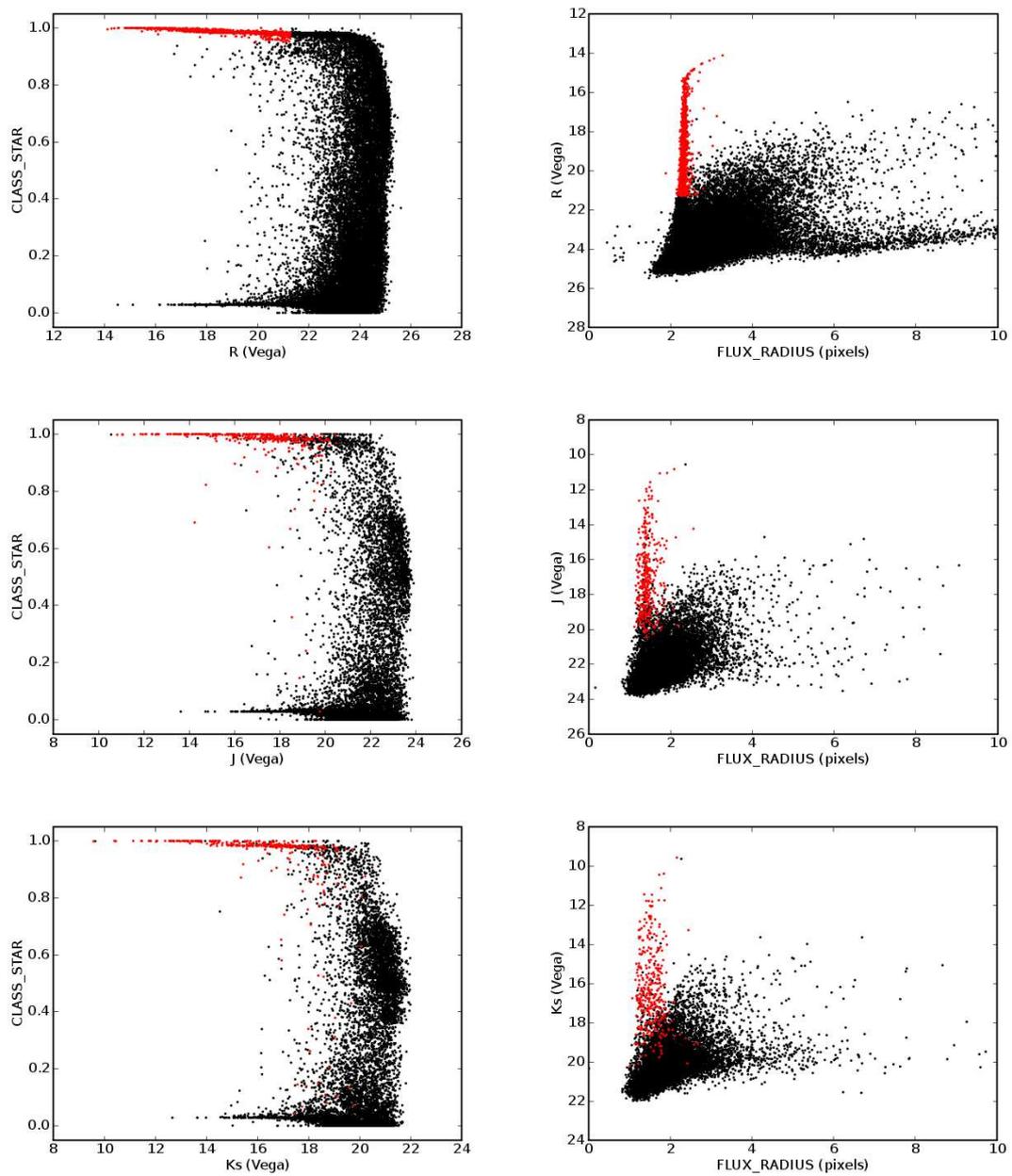


Figura B.2: *ClassStar* em função da magnitude nas bandas RJK (nessa ordem de cima para baixo) e magnitude em função de *FluxRadius* para o campo Deep1a: galáxias em preto e estrelas em vermelho (adotando a classificação da banda R).

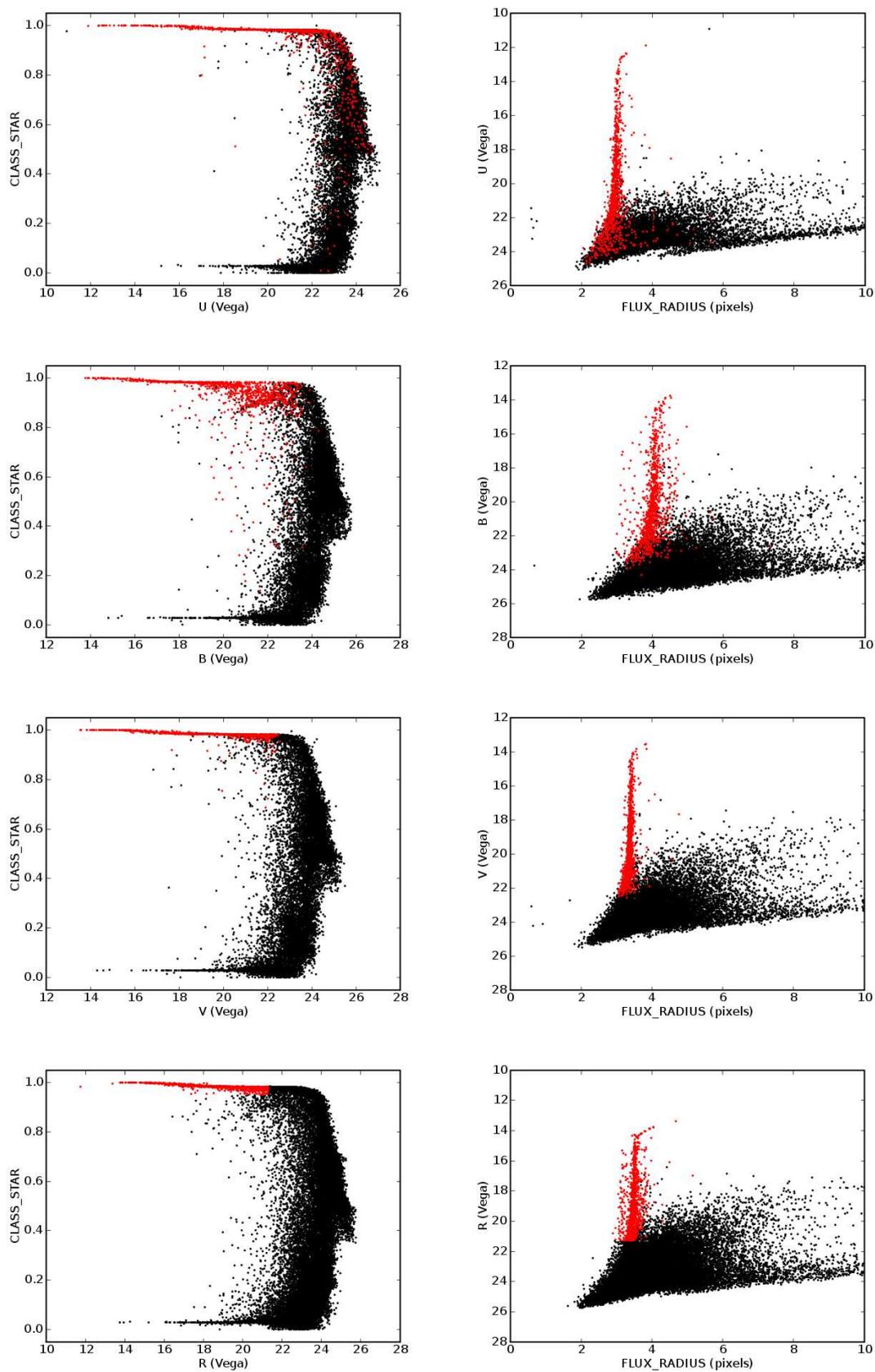


Figura B.3: *ClassStar* em função da magnitude nas bandas UBVR (nessa ordem de cima para baixo) e magnitude em função de *FluxRadius* para o campo Deep1b: galáxias em preto e estrelas em vermelho (adotando a classificação da banda R).

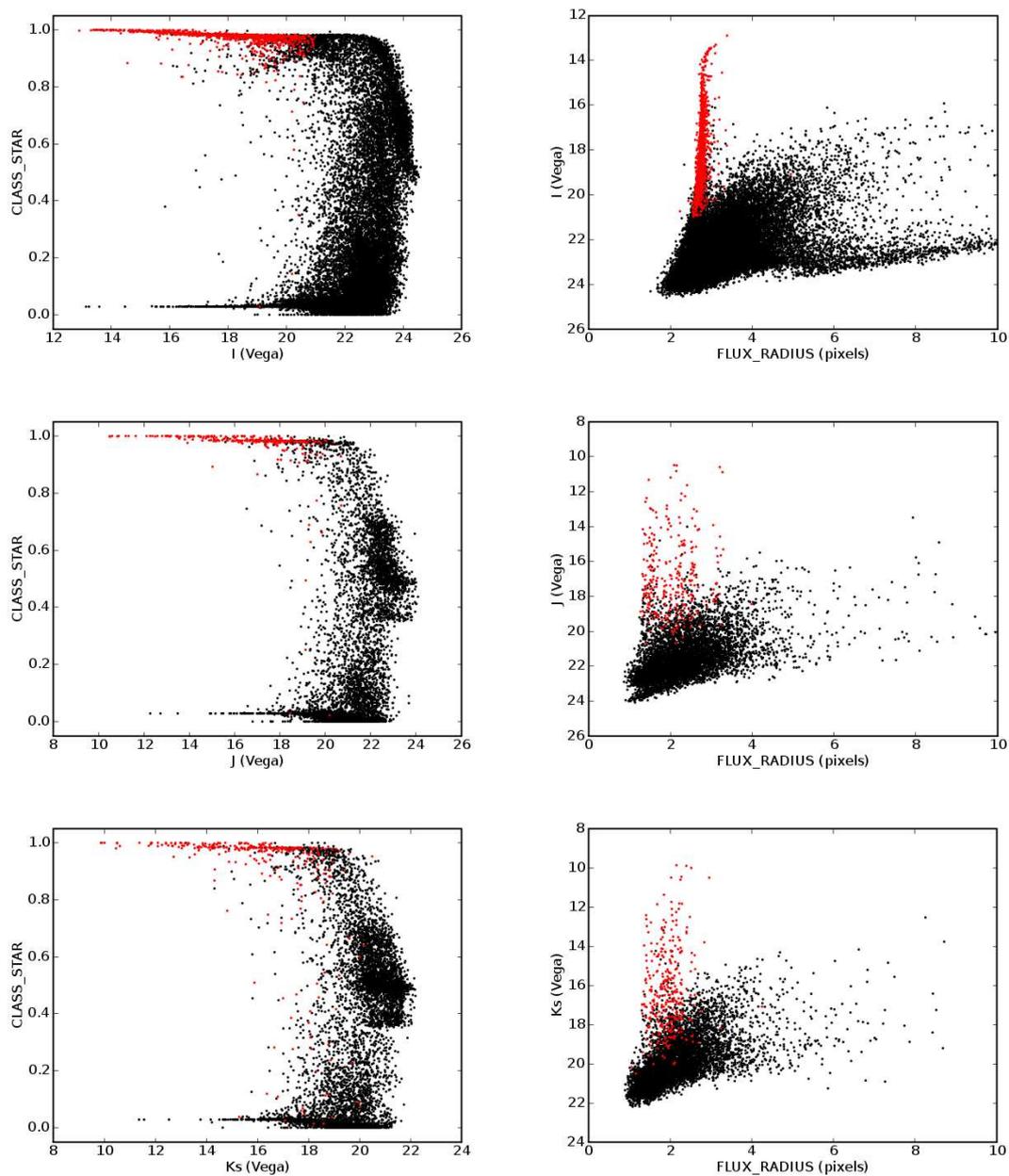


Figura B.4: *ClassStar* em função da magnitude nas bandas IJK (nessa ordem de cima para baixo) e magnitude em função de *FluxRadius* para o campo Deep1b: galáxias em preto e estrelas em vermelho (adotando a classificação da banda R).

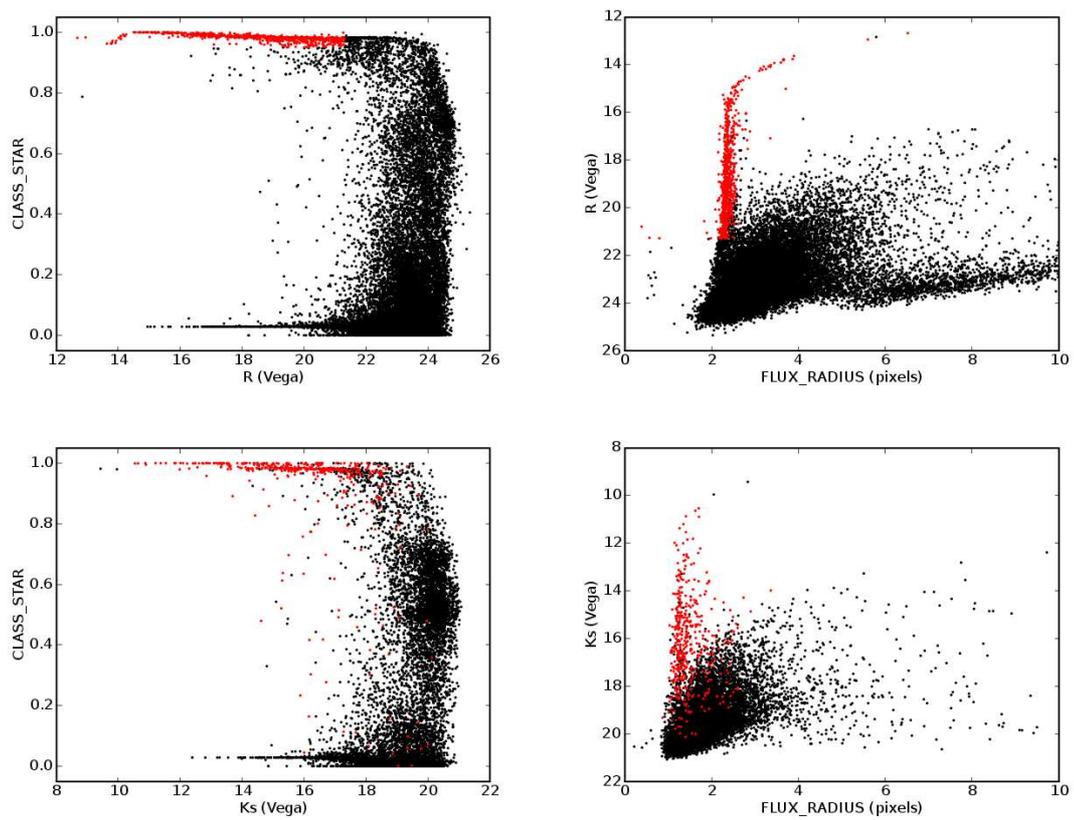


Figura B.5: *ClassStar* em função da magnitude nas bandas RK (nessa ordem de cima para baixo) e magnitude em função de *FluxRadius* para o campo Deep2a: galáxias em preto e estrelas em vermelho (adotando a classificação da banda R).

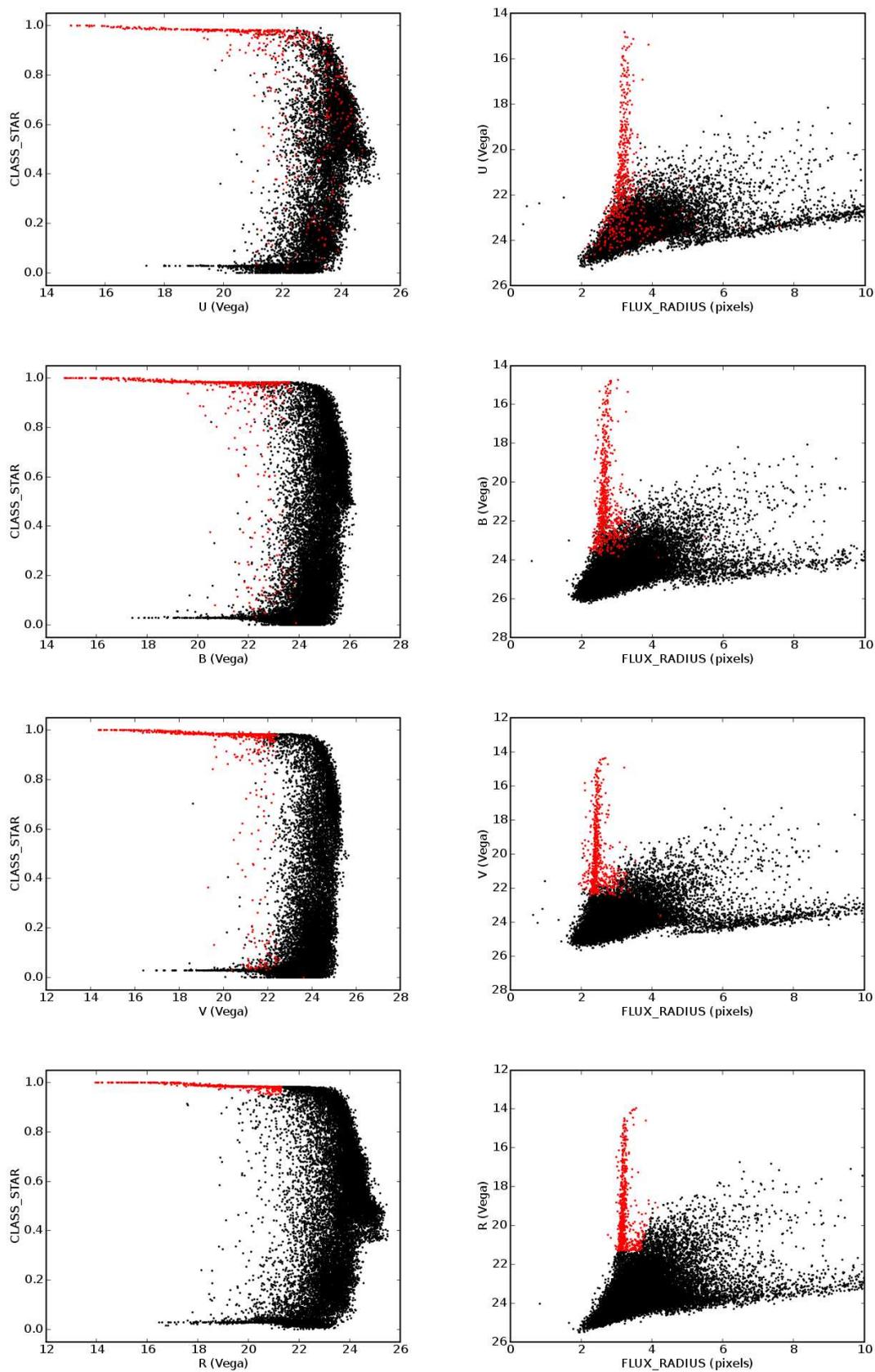


Figura B.6: *ClassStar* em função da magnitude nas bandas UBVR (nessa ordem de cima para baixo) e magnitude em função de *FluxRadius* para o campo Deep2b: galáxias em preto e estrelas em vermelho (adotando a classificação da banda R).

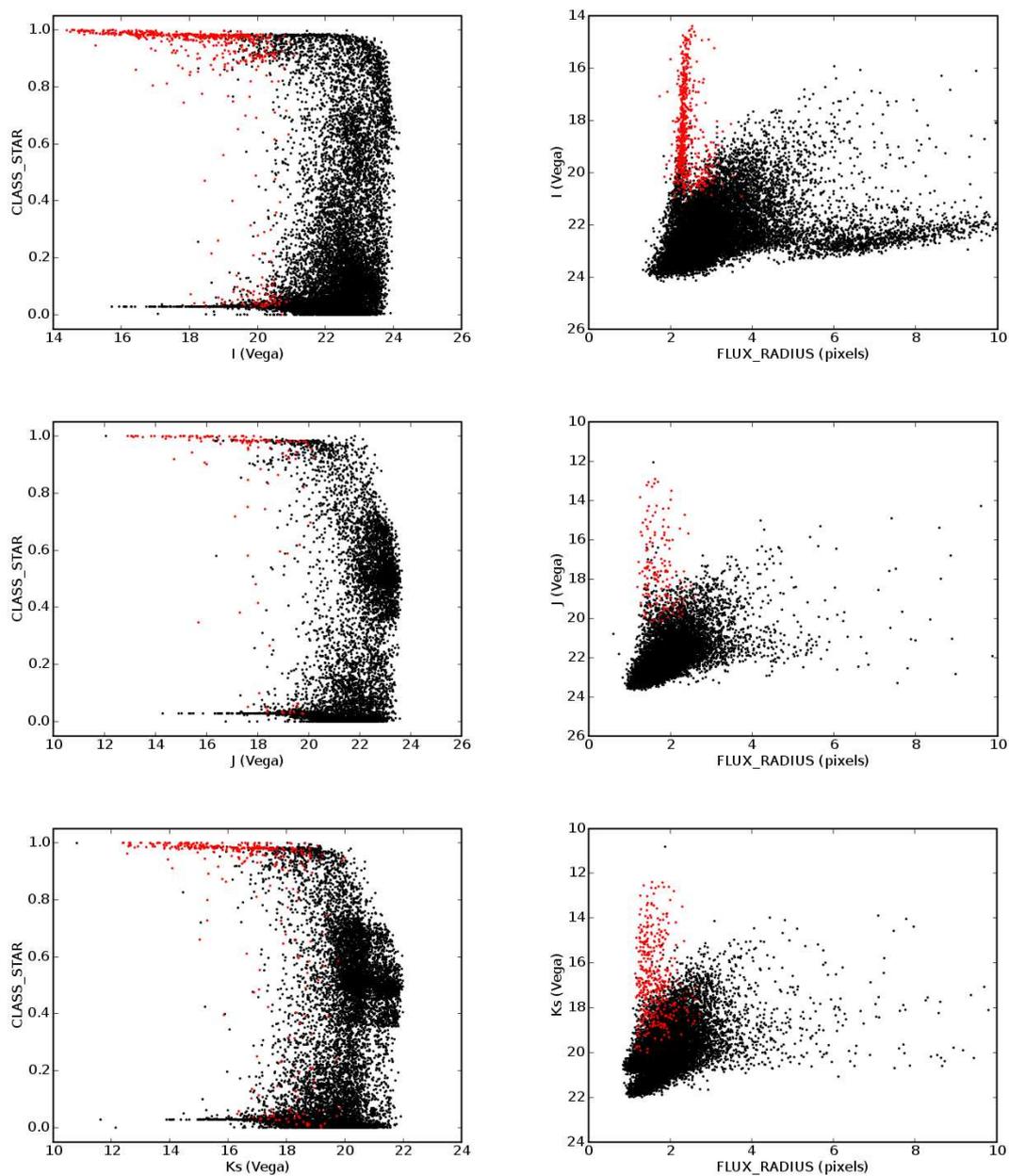


Figura B.7: *ClassStar* em função da magnitude nas bandas IJK (nessa ordem de cima para baixo) e magnitude em função de *FluxRadius* para o campo Deep2b: galáxias em preto e estrelas em vermelho (adotando a classificação da banda R).

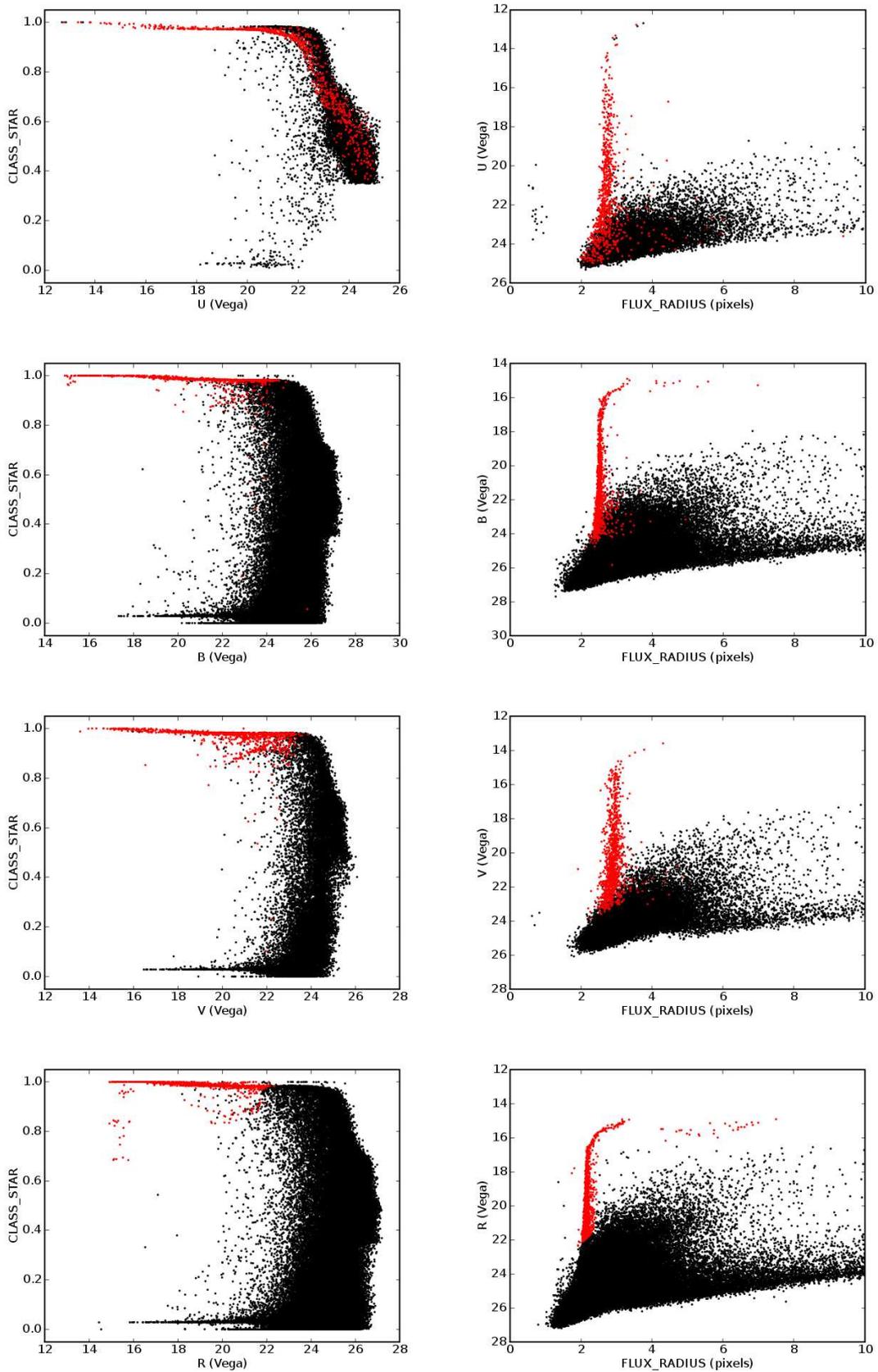


Figura B.8: *ClassStar* em função da magnitude nas bandas UBVR (nessa ordem de cima para baixo) e magnitude em função de *FluxRadius* para o campo Deep2c: galáxias em preto e estrelas em vermelho (adotando a classificação da banda R).

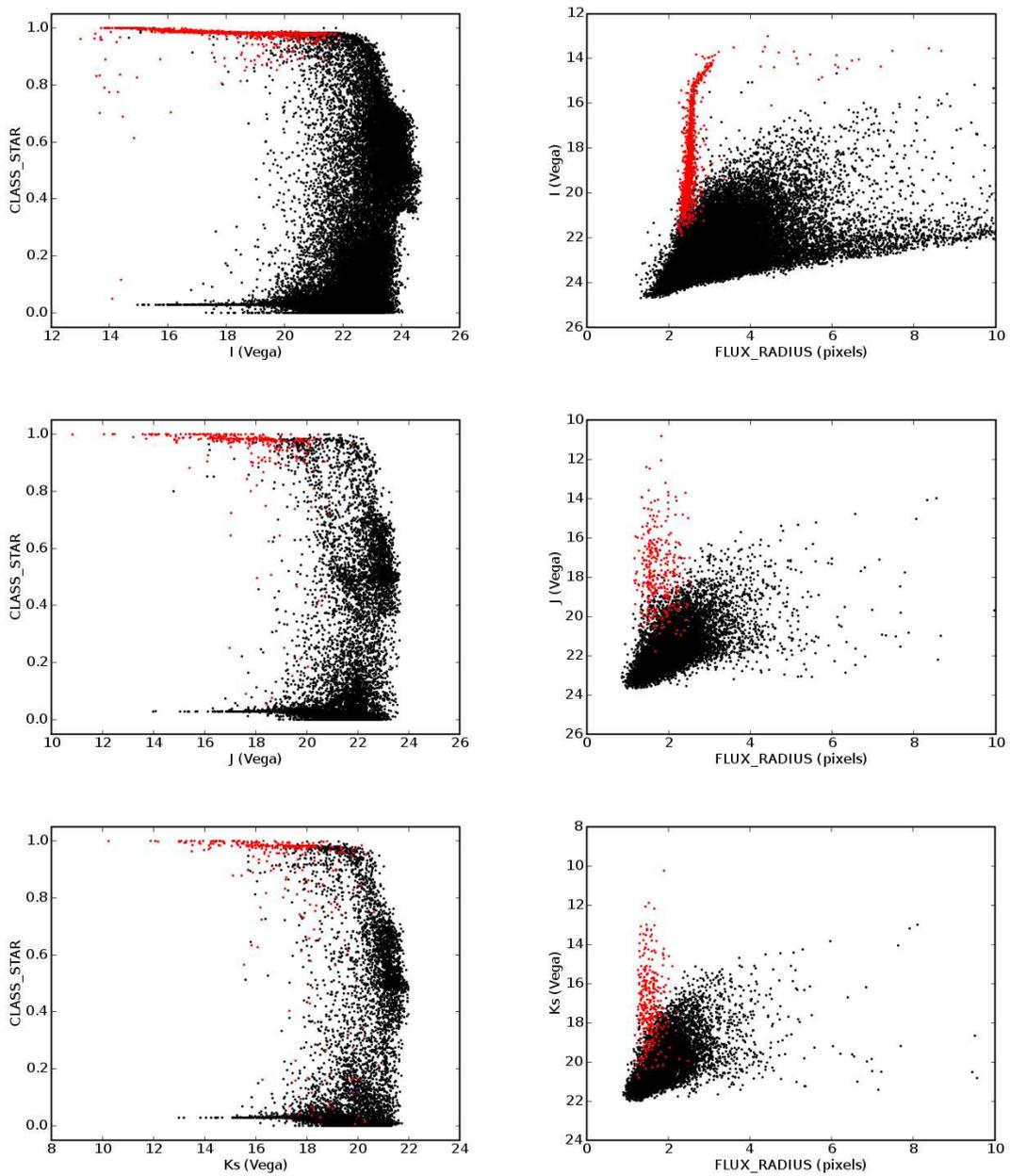


Figura B.9: *ClassStar* em função da magnitude nas bandas IJK (nessa ordem de cima para baixo) e magnitude em função de *FluxRadius* para o campo Deep2c: galáxias em preto e estrelas em vermelho (adotando a classificação da banda R).

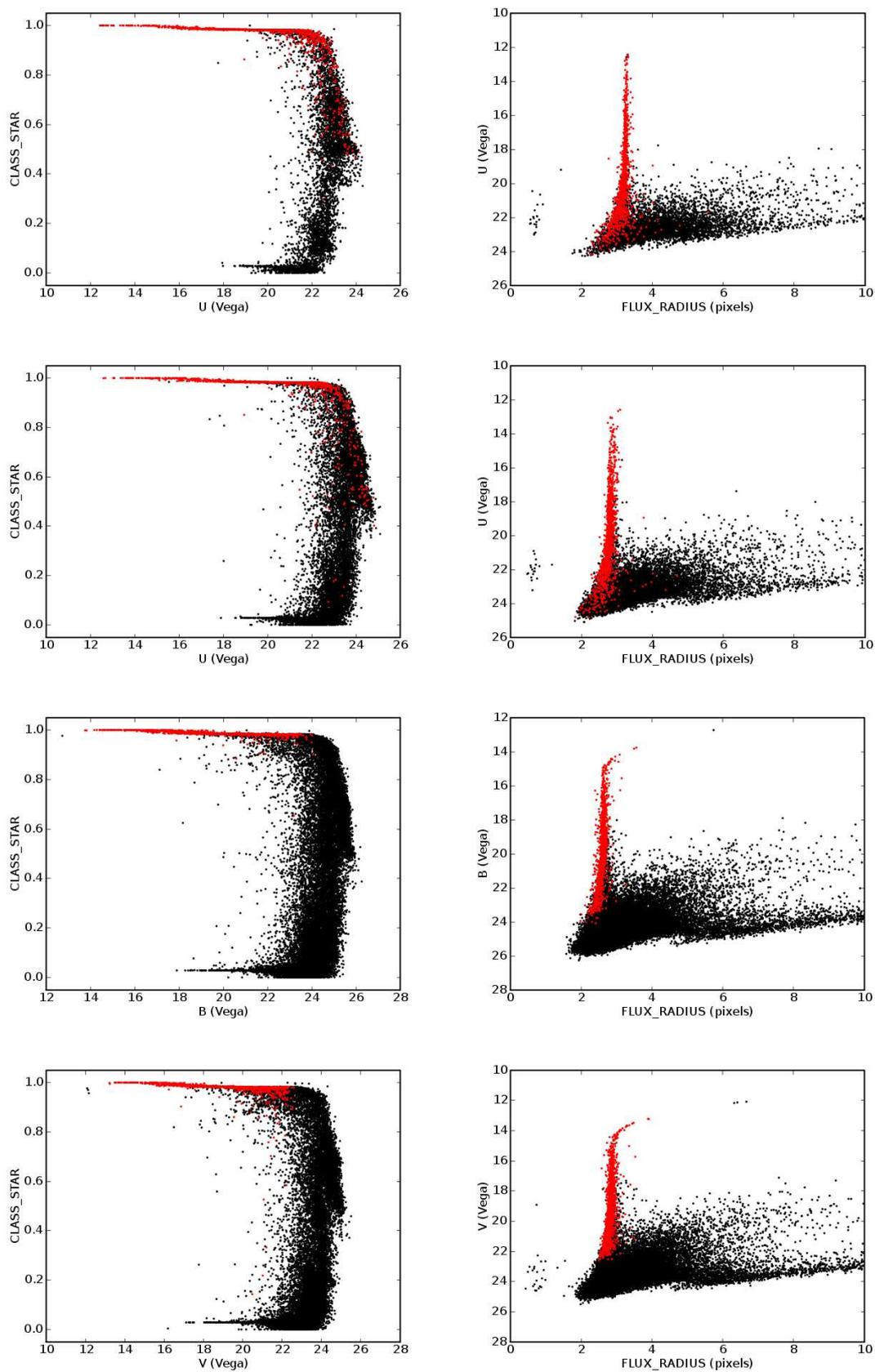


Figura B.10: *ClassStar* em função da magnitude nas bandas uUBV (nessa ordem de cima para baixo) e magnitude em função de *FluxRadius* para o campo Deep3a: galáxias em preto e estrelas em vermelho (adotando a classificação da banda R).

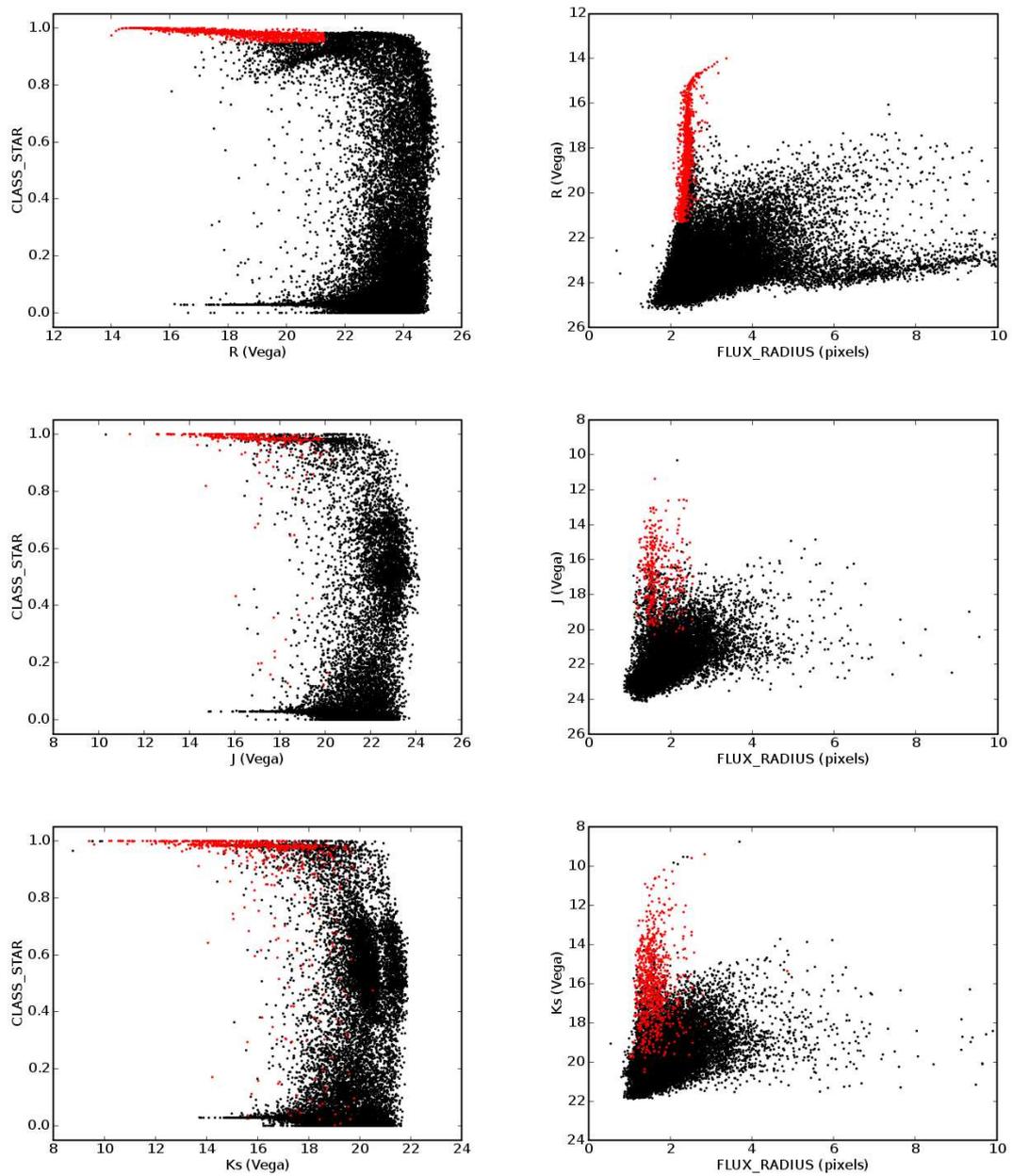


Figura B.11: *ClassStar* em função da magnitude nas bandas RJK (nessa ordem de cima para baixo) e magnitude em função de *FluxRadius* para o campo Deep3a: galáxias em preto e estrelas em vermelho (adotando a classificação da banda R).

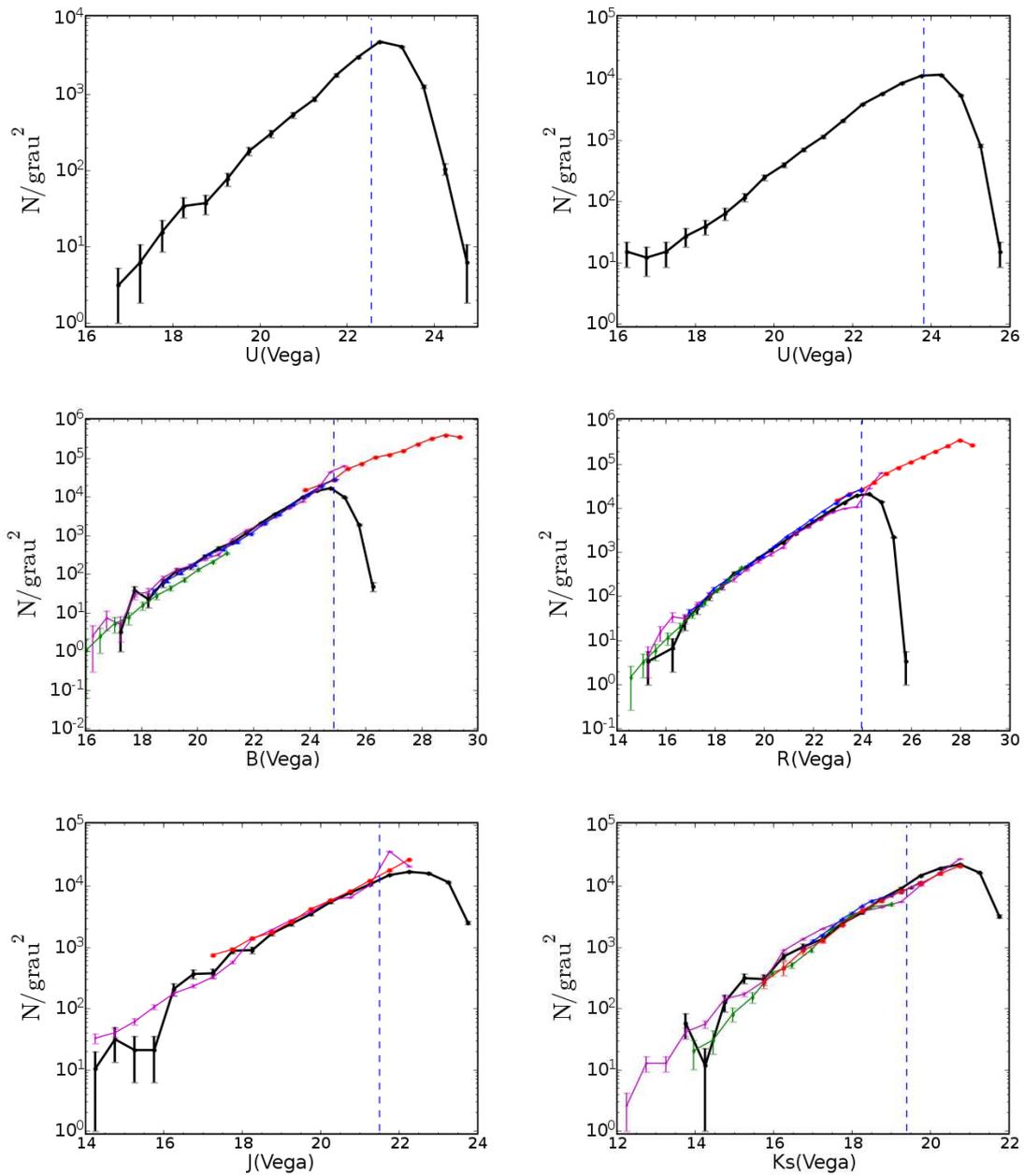


Figura B.12: Densidade diferencial de galáxias vs. magnitude em cada banda para o campo Deep1a (em preto), e dados da literatura superpostos (detalhes no texto). Os pontos estão no centro de cada intervalo de magnitude (erros poissônicos).

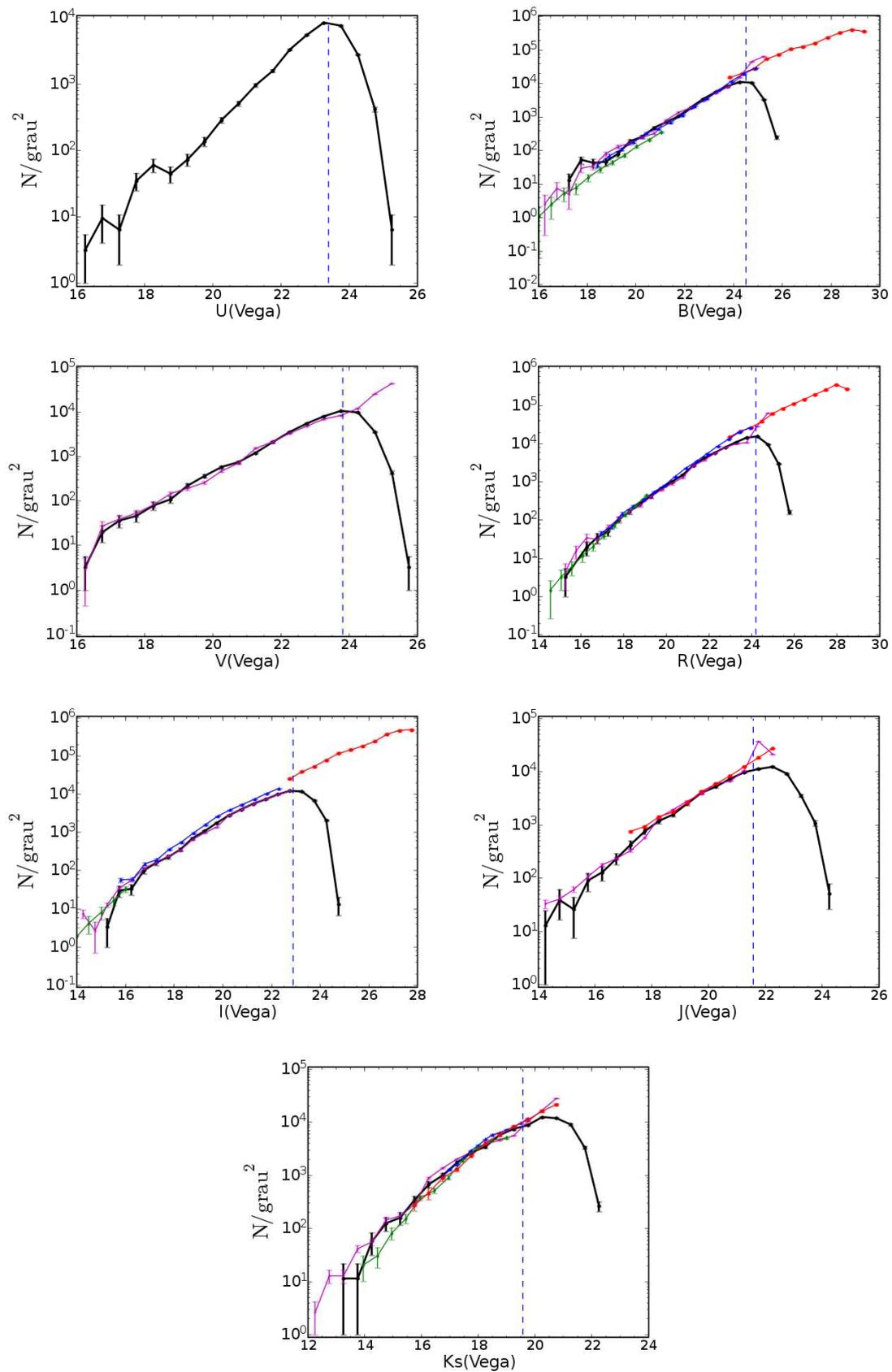


Figura B.13: Densidade diferencial de galáxias vs. magnitude em cada banda para o campo Deep1b (em preto), e dados da literatura superpostos (detalhes no texto). Os pontos estão no centro de cada intervalo de magnitude (erros poissônicos).

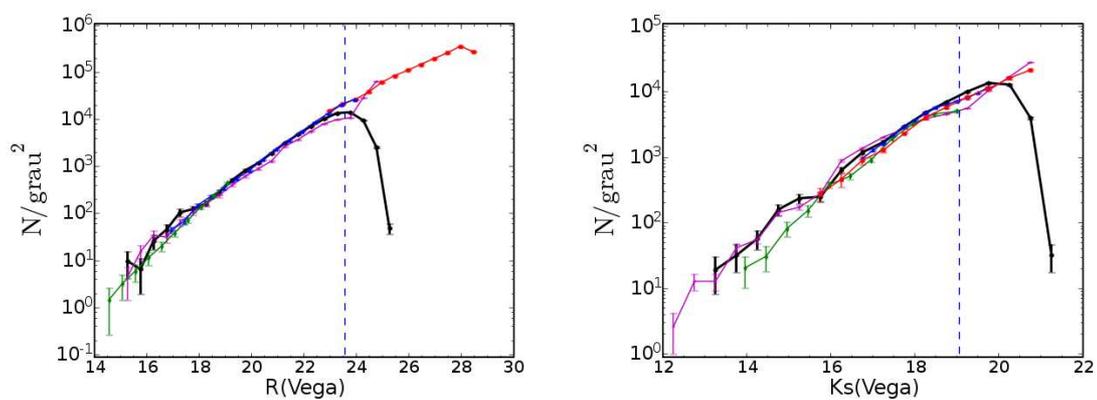


Figura B.14: Densidade diferencial de galáxias vs. magnitude em cada banda para o campo Deep2a (em preto), e dados da literatura superpostos (detalhes no texto). Os pontos estão no centro de cada intervalo de magnitude (erros poissônicos).

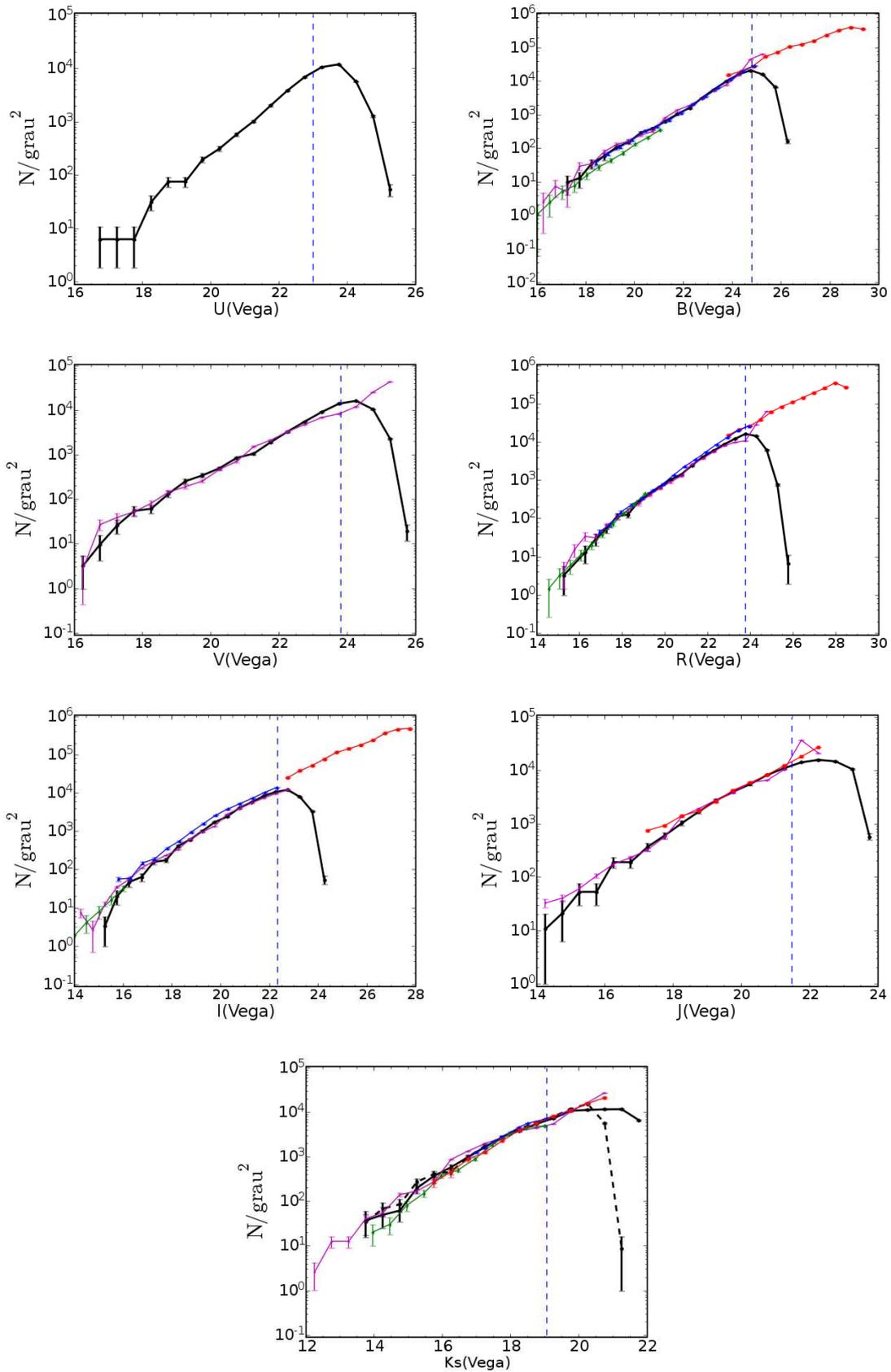


Figura B.15: Densidade diferencial de galáxias vs. magnitude em cada banda para o campo Deep2b (em preto), e dados da literatura superpostos (detalhes no texto). Os pontos estão no centro de cada intervalo de magnitude (erros poissônicos).

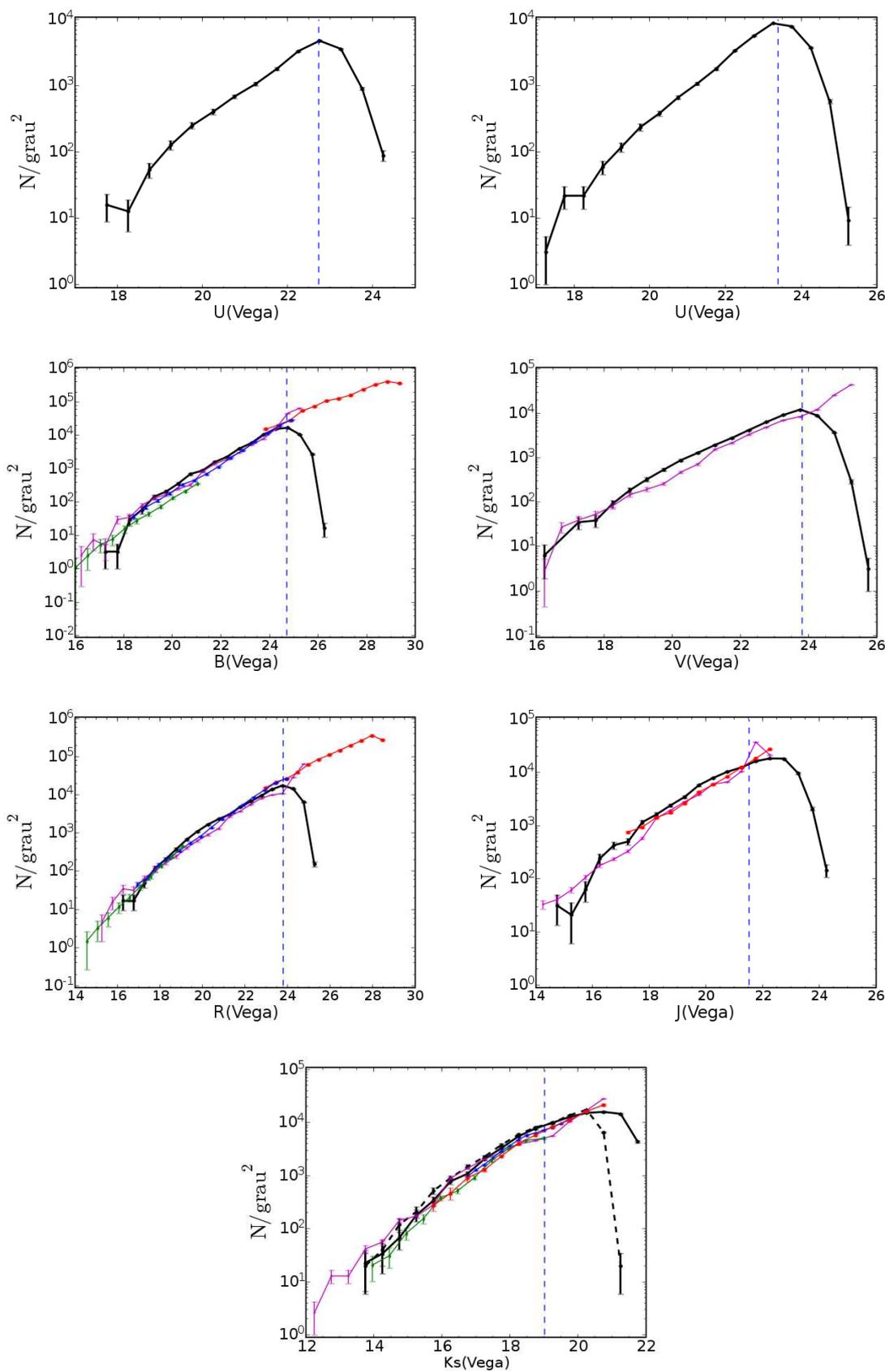


Figura B.16: Densidade diferencial de galáxias vs. magnitude em cada banda para o campo Deep3a (em preto), e dados da literatura superpostos (detalhes no texto). Os pontos estão no centro de cada intervalo de magnitude (erros poissônicos).

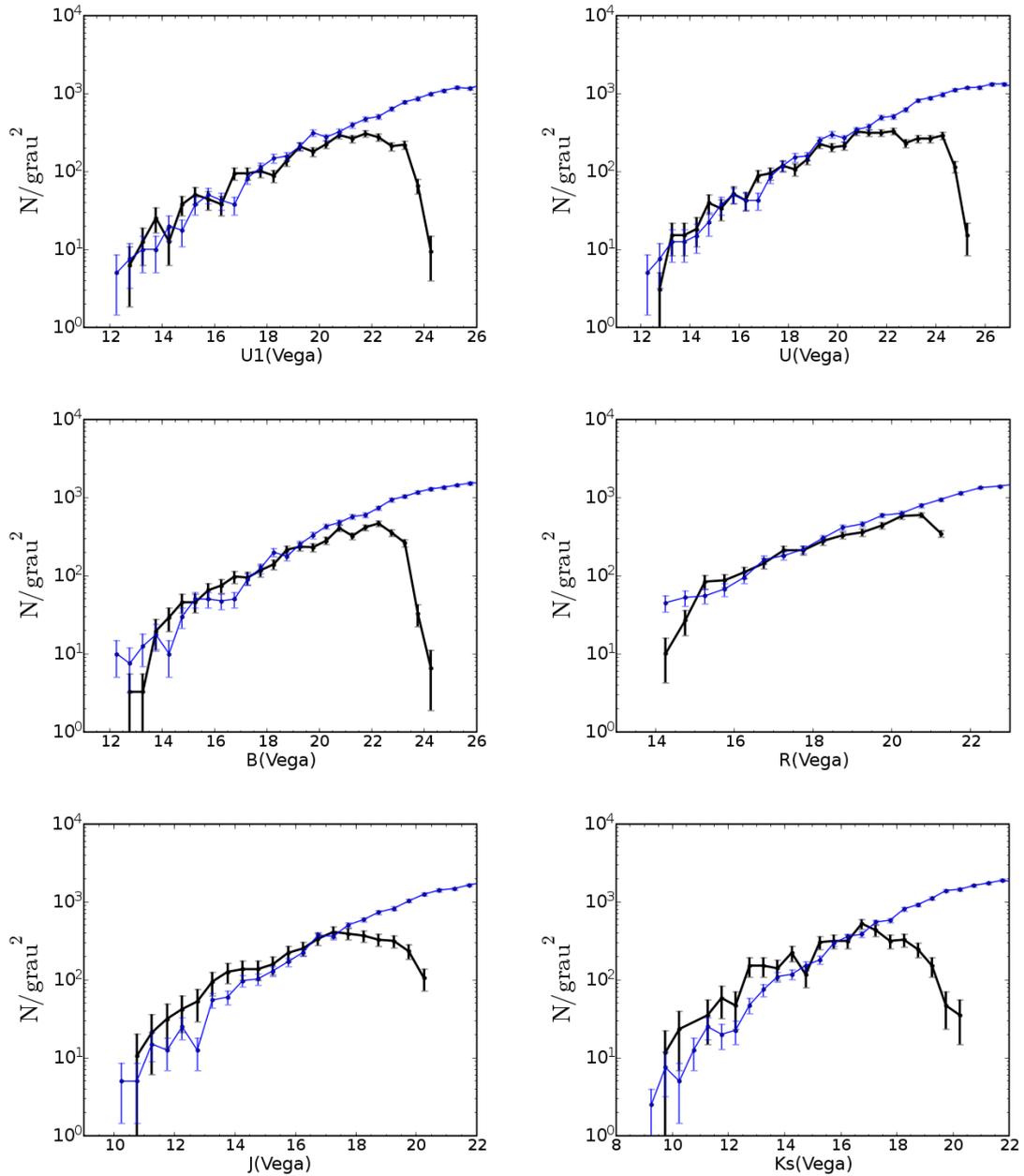


Figura B.17: Densidade diferencial de estrelas em função da magnitude em cada banda para o campo Deep1a (em preto) comparada com modelo do Trilegal (em azul). Os pontos estão no centro de cada intervalo de magnitude (erros poissônicos).

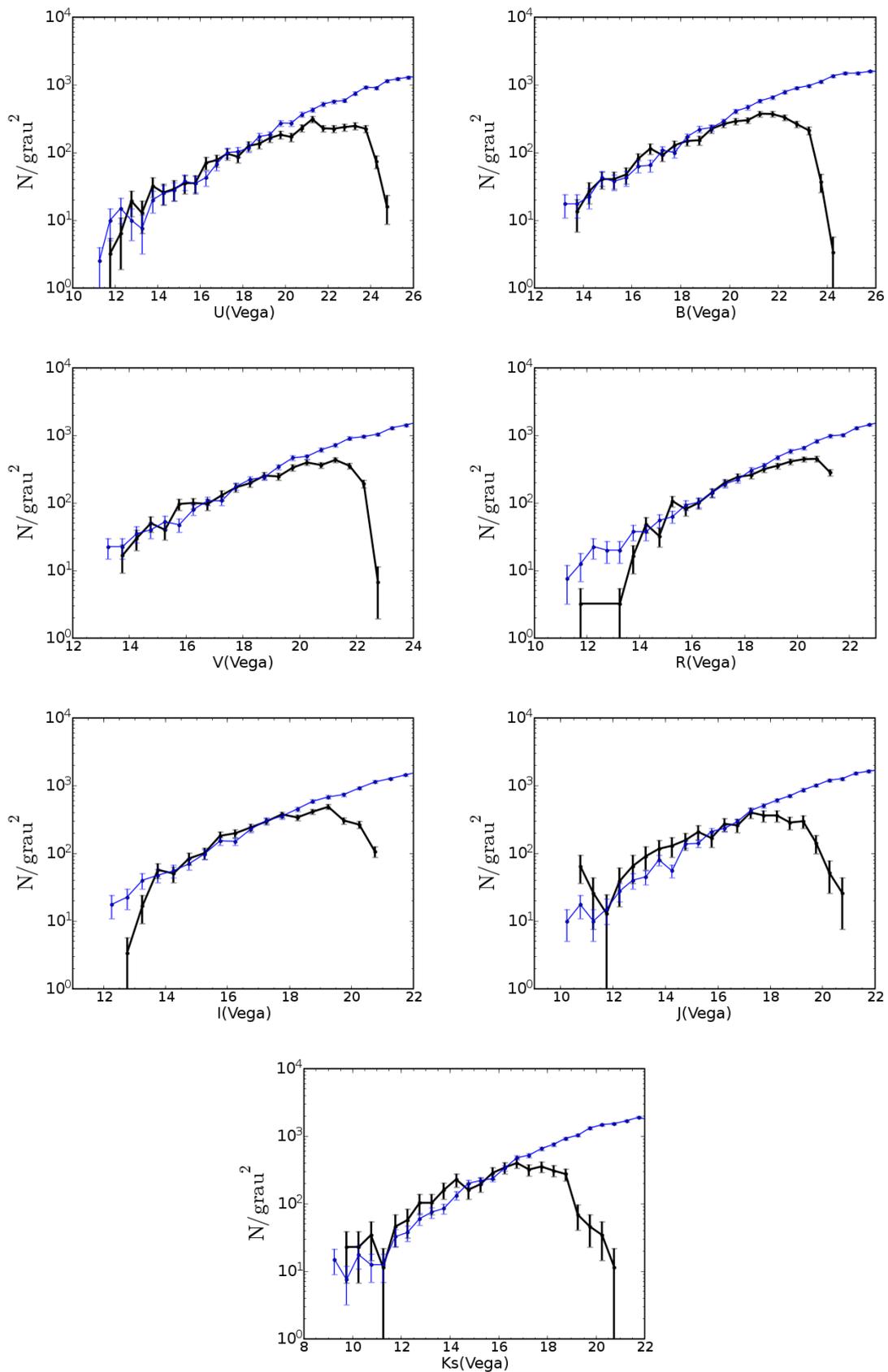


Figura B.18: Densidade diferencial de estrelas em função da magnitude em cada banda para o campo Deep1b (em preto) comparada com modelo do Trilegal (em azul). Os pontos estão no centro de cada intervalo de magnitude (erros poissônicos).

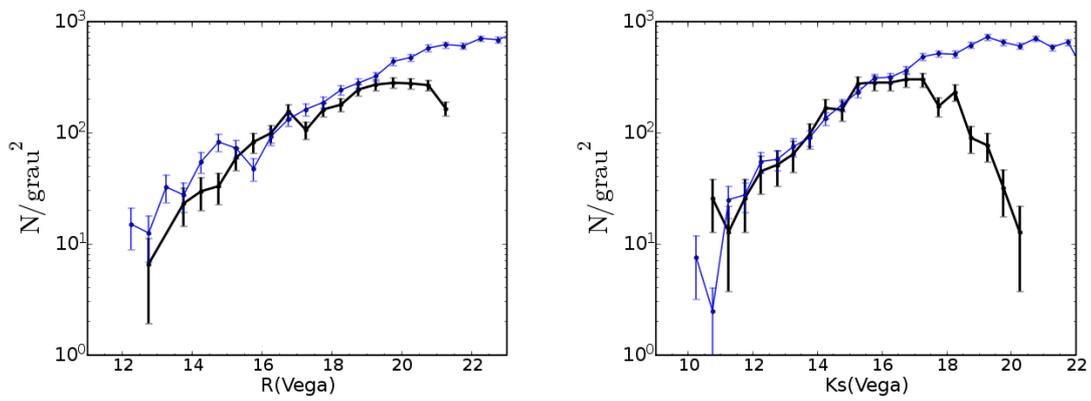


Figura B.19: Densidade diferencial de estrelas em função da magnitude em cada banda para o campo Deep2a (em preto) comparada com modelo do Trilegal (em azul). Os pontos estão no centro de cada intervalo de magnitude (erros poissônicos).

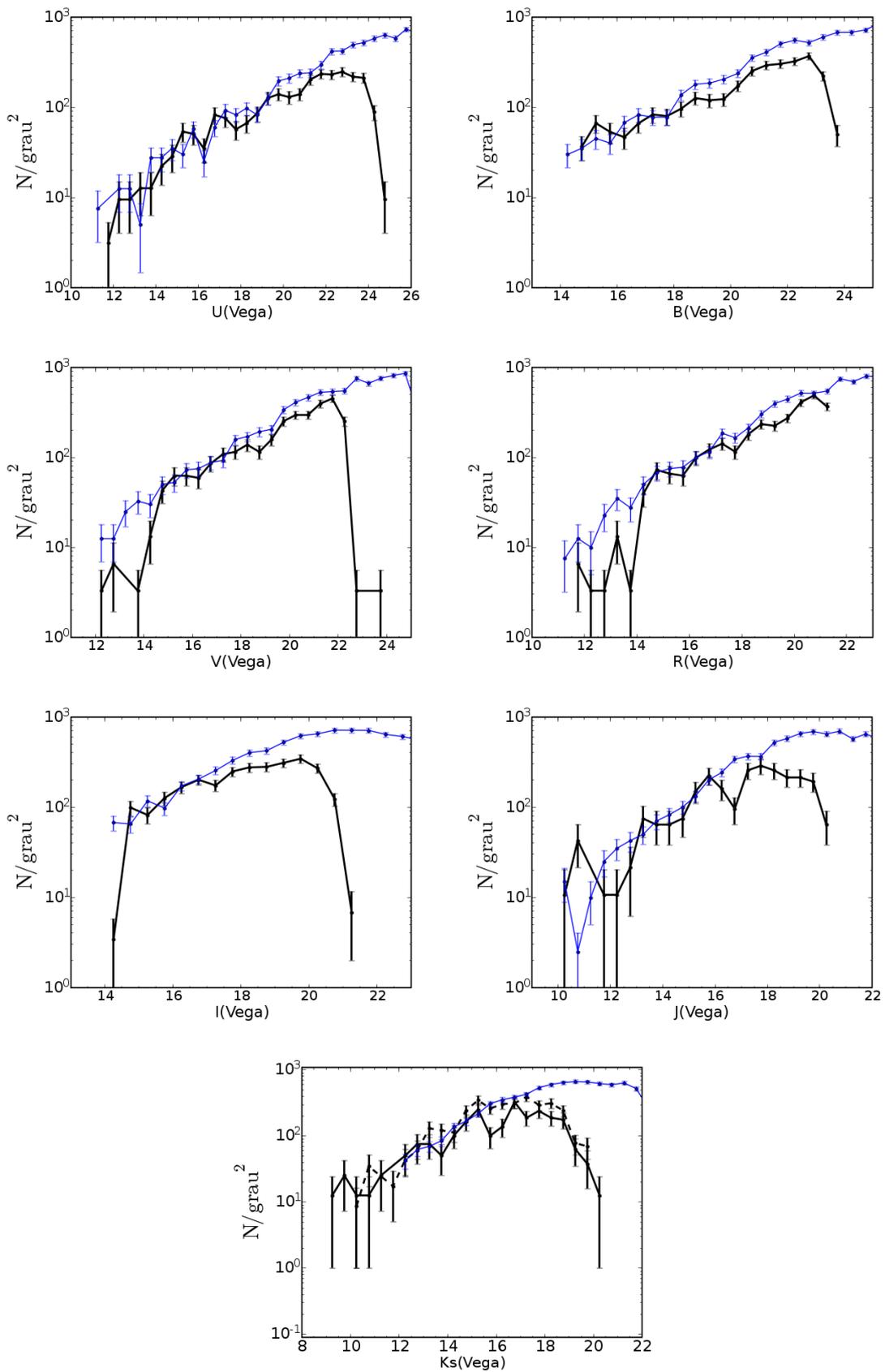


Figura B.20: Densidade diferencial de estrelas em função da magnitude em cada banda para o campo Deep2b (em preto) comparada com modelo do Trilegal (em azul). Os pontos estão no centro de cada intervalo de magnitude (erros poissônicos).

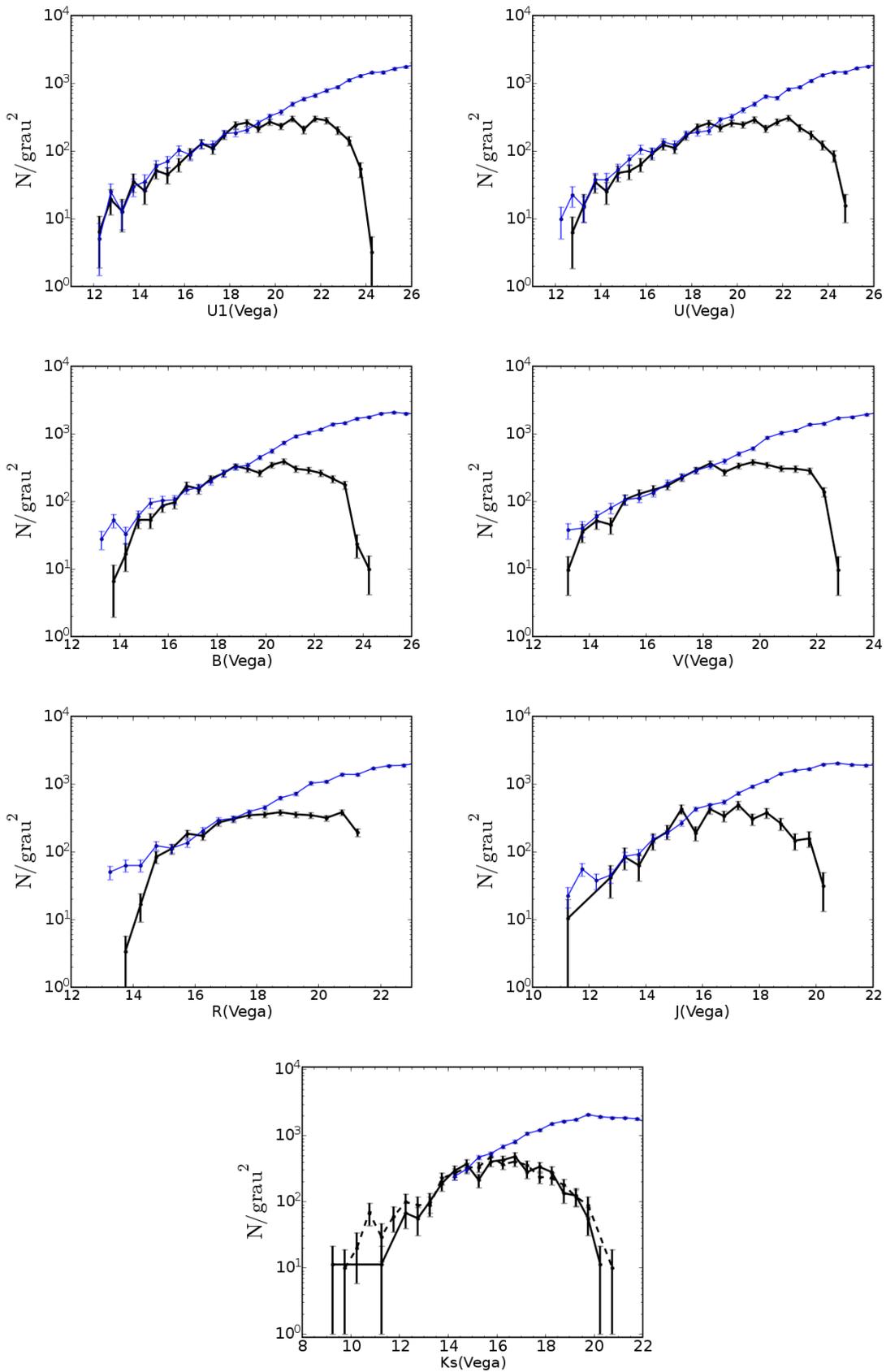


Figura B.21: Densidade diferencial de estrelas em função da magnitude em cada banda para o campo Deep3a (em preto) comparada com modelo do Trilegal (em azul). Os pontos estão no centro de cada intervalo de magnitude (erros poissônicos).

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)