

# Software amigável para pré-redução de dados fotométricos

Thiago C. Caetano, Wilton S. Dias e Héktor Monteiro  
UNIFEI, Instituto de Ciências Exatas, Departamento de Física e Química, Universidade Federal de Itajubá, MG

Apresentamos um software para a realização automática da pré-redução de imagens feitas com detectores CCD. O software aplica as principais correções como *trim*, a subtração do *bias*, correção de *flat field* e correção do tempo de exposição considerando o tempo de abertura do obturador.

Para a sua construção foi empregado a *Interactive Data Language* (IDL), que permite a criação de ambientes gráficos de maneira simples. A interface desenvolvida para o programa é baseada na idéia de uma planilha onde o usuário pode exibir e alterar as informações dos *headers* das imagens, para qualquer número de imagens, ao mesmo tempo. Diversas rotinas auxiliares foram empregadas no programa para a análise das imagens. Funções básicas como a visualização da imagem e do *header*, funções estatísticas para a determinação da componente do céu e do ruído, funções gráficas como gráficos de perfis de gaussianas para as contagens das estrelas e acesso à base de dados do DSS são algumas das ferramentas disponíveis. Todos os recursos empregam, de maneira articulada, rotinas do IRAF que foram traduzidas para IDL, e o programa está disponível para uso nas plataformas Windows e Linux.

## 1- Introdução

Em muitos projetos observacionais é necessário obter centenas de imagens de campos diferentes ao longo de uma noite. Para se ter uma idéia, em projetos de imageamento de aglomerados abertos como o desenvolvido pelo nosso grupo no Observatório do Pico dos Dias (OPD) (Caetano et al. 2009), em uma noite de trabalho obtém-se tipicamente 250 imagens distribuídas em cinco filtros (UBVRI). Isso implica que o telescópio teve que ser apontado cerca de 50 vezes e que o observador precisou mudar as configurações de alguns campos do *header* 50 vezes.

Uma comum consequência é que o astrônomo tenha *headers* com informações erradas ao final do processo de observação e é claro nos referimos aos campos que precisam ser preenchidos durante a observação, como nome da imagem e o filtro utilizado, entre outros.

Em trabalhos observacionais como citado acima, esses pequenos problemas tornam-se pontos críticos bem como a tarefa de pré-processamento e processamento das imagens, antes da dedicação à ciência.

Uma etapa do processo requer dedicação de tempo para realizar o pré-processamento das imagens: TRIM, BIAS, FLAT-FIELD. Um ponto importante na execução dessa tarefa é a necessidade de verificação da qualidade dos flats de céu, muitas vezes um a um.

Em geral, os procedimentos referidos acima são realizados com rotinas do IRAF, e mais recentemente com a possibilidade de utilização dessas rotinas em IDL (*Interactive Data Language*).

Com o objetivo de proporcionar maior facilidade e rapidez para executar essas tarefas nosso grupo confeccionou um software em IDL que será apresentado nesse texto como segue: na seção 2 apresentamos a filosofia do software discutindo a tarefa de

mudar registros de qualquer campo do *header*; na seção 3 apresentamos a rotina automática de pré-processamento das imagens. Na seção 4 são apresentadas facilidades adicionais implementadas. Na seção 5 fornecemos alguns resultados de validação do software.

## 2- Edição dos *headers* das imagens

Um procedimento bastante comum durante e após as observações refere-se à correção de informações nos *headers* das imagens. Tradicionalmente, essa correção é feita com auxílio das rotinas do IRAF, que requerem muitos comandos e devem ser aplicadas em cada *header*. Existem, evidentemente, maneiras alternativas que permitem que todos os *headers* sejam corrigidos de uma só vez, entretanto, embora isso não seja um obstáculo para a realização da tarefa, as ferramentas desenvolvidas dessa forma tornam-se específicas.

Nosso software, chamado headx, foi construído pelo nosso grupo de pesquisa para permitir que as informações dos *headers* pudessem ser editadas de maneira prática e rápida, sem que seja necessário conhecer qualquer conceito de programação. O programa foi construído utilizando a IDL, a qual oferece uma série de recursos úteis à construção de interfaces gráficas, e está disponível para uso em plataforma Windows e Linux.

O headx foi construído seguindo a filosofia de que o usuário trabalhe em cima de uma planilha onde foram agregadas várias funções. A interface do programa é mostrada na Figura 1. Como pode ser visto, o elemento central do programa é uma planilha de dados onde são exibidas as informações dos *headers*. O usuário pode escolher as informações que deseja que sejam exibidas, sendo que cada coluna representa um campo do header e cada linha contém as informações escolhidas previamente, para uma mesma imagem. As informações podem ser alteradas na planilha normalmente, sendo que, ao fazer isso, elas não são gravadas nos *headers*. É preciso que o usuário aplique as modificações definitivamente através do menu *Arquivo - Salvar modificações nos headers*.

As ferramentas usuais para manipulação da planilha estão disponíveis, como as funções *copiar* e *colar*, as funções de redimensionamento e as funções de posicionamento entre muitas outras. Basta que o usuário selecione um diretório contendo as imagens no formato *fits*, através do menu *Arquivo - Carregar imagens*, para que o programa leia todos os *headers* e mostre as informações desejadas na planilha.

	AFIUVIOS	OBJET	FILTERS	FILTRO	EXPTIME	AIRMASS	RA	DEC	EPOCH	ST
13	P_cbt0011	Colider 275	R	3	10	1.032700	12:31:45.00	-23:07:13.00	2009.4000	13:39:25.00
14	P_cbt0012	Colider 275	R	4	30	1.0400100	12:31:45.00	-23:07:13.00	2009.4000	13:40:44.00
15	P_cbt0013	Colider 275	R	4	1	1.0412200	12:31:45.00	-23:07:13.00	2009.4000	13:42:04.00
16	P_cbt0014	Colider 275	I	5	10	1.0426100	12:31:45.00	-23:07:13.00	2009.4000	13:43:03.00
17	P_cbt0015	Colider 275	I	5	1	1.0438100	12:31:45.00	-23:07:13.00	2009.4000	13:44:05.00
18	P_cbt0016	ESO 275-01	U	1	300	1.0500300	12:31:45.00	-23:07:13.00	2009.4000	13:46:45.00
19	P_cbt0017	ESO 275-01	B	2	120	1.0585000	12:31:45.00	-23:07:13.00	2009.4000	13:52:46.00
20	P_cbt0018	ESO 275-01	V	3	30	1.0601800	12:31:45.00	-23:07:13.00	2009.4000	13:55:47.00
21	P_cbt0019	ESO 275-01	R	4	15	1.0620200	12:31:45.00	-23:07:13.00	2009.4000	13:57:08.00
22	P_cbt0020	ESO 275-01	I	5	10	1.0636600	12:31:45.00	-23:07:13.00	2009.4000	13:58:15.00
23	P_cbt0021	ESO 275-01	U	1	300	1.1106800	12:31:45.00	-23:07:13.00	2009.4000	14:21:32.00
24	P_cbt0022	ESO 275-01	B	2	120	1.1206400	12:31:45.00	-23:07:13.00	2009.4000	14:27:28.00
25	P_cbt0023	ESO 275-01	V	3	30	1.1254500	12:31:45.00	-23:07:13.00	2009.4000	14:30:19.00
26	P_cbt0024	ESO 275-01	R	4	15	1.1282500	12:31:45.00	-23:07:13.00	2009.4000	14:31:29.00
27	P_cbt0025	ESO 275-01	I	5	10	1.1328100	12:31:45.00	-23:07:13.00	2009.4000	14:32:47.00
28	P_cbt0026	Flarech4 112	U	1	400	1.2104200	12:31:45.00	-23:07:13.00	2009.4000	14:57:48.00
29	P_cbt0027	Flarech4 112	B	2	300	1.2341100	12:31:45.00	-23:07:13.00	2009.4000	15:05:30.00
30	P_cbt0028	Flarech4 112	B	2	60	1.2487100	12:31:45.00	-23:07:13.00	2009.4000	15:11:27.00
31	P_cbt0029	Flarech4 112	V	3	180	1.2587300	12:31:45.00	-23:07:13.00	2009.4000	15:13:32.00
32	P_cbt0030	Flarech4 112	V	3	30	1.2700000	12:31:45.00	-23:07:13.00	2009.4000	15:17:38.00
33	P_cbt0031	Flarech4 112	V	3	10	1.2787000	12:31:45.00	-23:07:13.00	2009.4000	15:19:16.00
34	P_cbt0032	Flarech4 112	R	4	90	1.2837000	12:31:45.00	-23:07:13.00	2009.4000	15:20:20.00
35	P_cbt0033	Flarech4 112	R	4	1	1.2925200	12:31:45.00	-23:07:13.00	2009.4000	15:22:43.00
36	P_cbt0034	Flarech4 112	I	5	30	1.2950000	12:31:45.00	-23:07:13.00	2009.4000	15:23:45.00
37	P_cbt0035	Flarech4 112	I	5	1	1.3010000	12:31:45.00	-23:07:13.00	2009.4000	15:25:15.00
38	P_cbt0036	ESO 275-01	U	1	300	1.3250000	12:31:45.00	-23:07:13.00	2009.4000	15:28:08.00
39	P_cbt0037	ESO 275-01	B	2	90	1.3482300	12:31:45.00	-23:07:13.00	2009.4000	15:34:25.00
40	P_cbt0038	ESO 275-01	V	3	30	1.3557000	12:31:45.00	-23:07:13.00	2009.4000	15:36:62.00
41	P_cbt0039	ESO 275-01	R	4	15	1.3619400	12:31:45.00	-23:07:13.00	2009.4000	15:38:15.00
42	P_cbt0040	ESO 275-01	I	5	10	1.3745500	12:31:45.00	-23:07:13.00	2009.4000	15:40:44.00
43	P_cbt0041	ESO 275-01	U	1	400	1.3930000	12:31:45.00	-23:07:13.00	2009.4000	15:42:05.00
44	P_cbt0042	ESO 275-01	U	1	300	1.4388200	12:31:45.00	-23:07:13.00	2009.4000	15:50:04.00
45	P_cbt0043	ESO 275-01	B	2	300	1.4805200	12:31:45.00	-23:07:13.00	2009.4000	15:56:53.00
46	P_cbt0044	ESO 275-01	B	2	60	1.5070700	12:31:45.00	-23:07:13.00	2009.4000	16:02:58.00
47	P_cbt0045	ESO 275-01	V	3	180	1.5285600	12:31:45.00	-23:07:13.00	2009.4000	16:04:53.00
48	P_cbt0046	ESO 275-01	V	3	30	1.5453700	12:31:45.00	-23:07:13.00	2009.4000	16:08:45.00
49	P_cbt0047	ESO 275-01	R	4	60	1.5570000	12:31:45.00	-23:07:13.00	2009.4000	16:10:06.00
50	P_cbt0048	ESO 275-01	R	4	10	1.5676700	12:31:45.00	-23:07:13.00	2009.4000	16:11:55.00
51	P_cbt0049	ESO 275-01	I	5	30	1.5786100	12:31:45.00	-23:07:13.00	2009.4000	16:13:00.00

Figura 1: Interface do programa.

O programa foi configurado para exibir certos campos inicialmente, que são campos chave nos *headers* do OPD. No entanto, o usuário pode inserir ou remover colunas da planilha através do menu *Ferramentas*, o que inclusive permite que se trabalhe com imagens de diferentes observatórios. No caso da opção *Ferramentas - Inserir colunas*, a caixa de diálogo da Figura 2 é exibida, contendo uma lista dos campos disponíveis nos *headers* e opções para o tipo de dados desse campo. Essa é uma questão particularmente importante, pois o tipo de dado define o seu formato no *header* (string, float, integer, etc). Por exemplo, dados tipo *string* são inseridos no *header* entre aspas, enquanto os dados numéricos, como dados tipo *float* e *double*, não são. Essa sintaxe é importante do ponto de vista computacional e não deve ser desprezada.

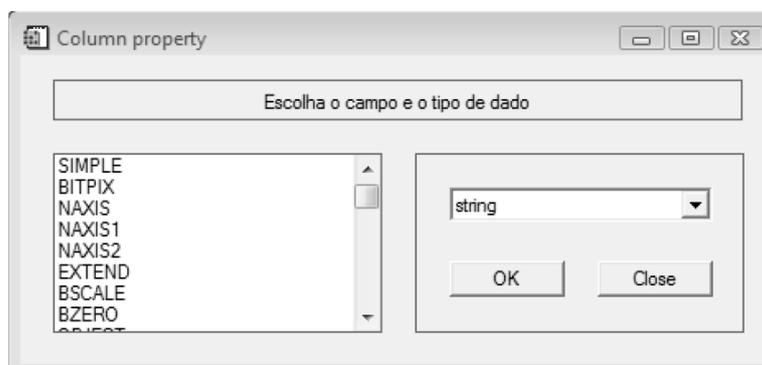


Figura 2: Caixa de diálogo inserir coluna

O menu *Editar - Editar campos do header* é um comando para que a caixa de diálogo da Figura 3 seja exibida. Uma lista com os campos presentes no *header* é exibida do lado direito e três opções estão disponíveis do lado esquerdo: *inserir*, *trocar* ou *remover* um campo do *header*. O uso dessas funções é bastante intuitivo e dispensa maiores explicações.

Alterar o nome dos campos no *header*, ou mesmo inserir alguns campos, é um recurso muito útil quando se trabalha com dados fornecidos por mais de um telescópio. Cada um pode possuir sistemas de nomenclaturas diferentes e isso, por exemplo, tornaria impossível a aplicação do nosso *pipeline* de pré-redução de dados (ver próxima seção) porque ele se baseia nas informações dos *headers* para identificar as imagens (*bias*, *flat-field* de cúpula e/ou do céu). Sendo assim, antes de iniciar o nosso procedimento automático de redução, é fundamental padronizar os *headers* das imagens e isso implica, algumas vezes, alterar a nomenclatura dos campos.

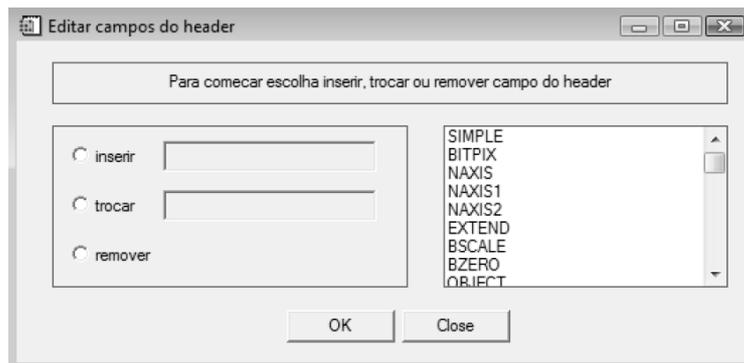


Figura 3: Caixa de diálogo Editar campos do header

### 3- Pré-processamento de imagens

Talvez o recurso mais importante do *headx* seja a pré-redução dos dados (*pipeline* de pré-redução), uma rotina escrita pelo nosso grupo de trabalho que aplica as correções de *trim*, *bias*, *flat field* e correção do tempo de exposição devido à abertura do obturador. Essas correções são realizadas de maneira automática e as imagens são identificadas pelo *pipeline* segundo as informações registradas no campo ADDINF dos *headers*. Basicamente as imagens podem ser imagens de *bias*, de *flat field* ou imagens de objetos.

Durante a pré-redução faz-se uma verificação das imagens de *flat field* para assegurar que sejam boas, isso é, que não estejam saturadas e que não apresentem um número médio de contagens muito baixo. Além do mais, o *pipeline* opta por usar os *flats* de céu sempre que estes estiverem disponíveis (no mínimo cinco imagens) e satisfizerem as restrições das contagens mínimas e máximas. Todas as imagens finais são criadas em um novo diretório, preservando as imagens do diretório de origem. A seguir apresentamos uma descrição breve das principais etapas do pré-processamento.

Em primeiro lugar todas as imagens são corrigidas devido aos efeitos mecânicos do obturador. As câmeras utilizadas para imageamento, em conjunto com os telescópios do OPD, possuem obturador concêntrico. Este tipo de obturador é composto por um conjunto de pás metálicas que se abrem e se fecham simultaneamente em uma fração de segundos. Ao se iniciar uma imagem, um sinal é enviado para o obturador que começa a se abrir. Esgotado o tempo de exposição, outro sinal é enviado solicitando que o obturador se feche. Apesar do tempo de abertura (e de fechamento) ser relativamente pequeno para imagens com tempo de exposição da ordem de dez segundos ou mais, seu efeito em imagens com tempo de exposição curto, da ordem de um segundo, por exemplo, deve ser levado em consideração. Foram encontrados desvios de até 4% no fluxo de uma estrela em imagens com um segundo de exposição, feitas com os instrumentos do OPD, como mostra a Figura 4. Essa quantidade, contudo, depende do instrumento utilizado e da região do CCD em que o objeto está localizado.

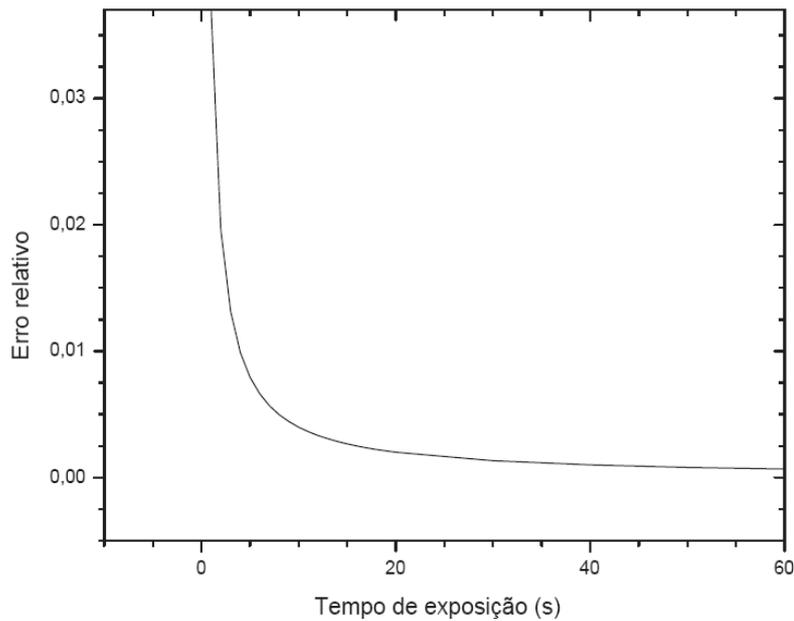


Figura 4: Erro relativo no fluxo medido em função do tempo de exposição. Consideramos um ponto localizado no centro de fechamento do obturador.

Para eliminar os efeitos provocados pelo tempo de abertura do obturador as imagens precisam ser corrigidas, principalmente aquelas com pequeno tempo de exposição. Deseja-se obter a contagem nominal de fótons, ou seja, a contagem que seria obtida caso o tempo de abertura fosse nulo. A correção é feita utilizando-se uma máscara (Stetson 1989), que nada mais é que uma imagem com as mesmas dimensões das imagens observadas e que contém um fator de correção para cada pixel.

As imagens podem ser corrigidas através da equação:

$$N'_{i,j} = \frac{t}{t + \delta_{i,j}} N_{i,j}$$

Em que  $N'_{i,j}$  é o número de contagens corrigido,  $N_{i,j}$  é o número de contagens medido,  $t$  é o tempo de exposição e  $\delta_{i,j}$  é o fator de correção para o pixel com coordenadas  $i,j$ . Ou seja,  $\delta_{i,j}$  é o pixel  $i,j$  da máscara de abertura e fechamento do obturador, mostrada na Figura 5.

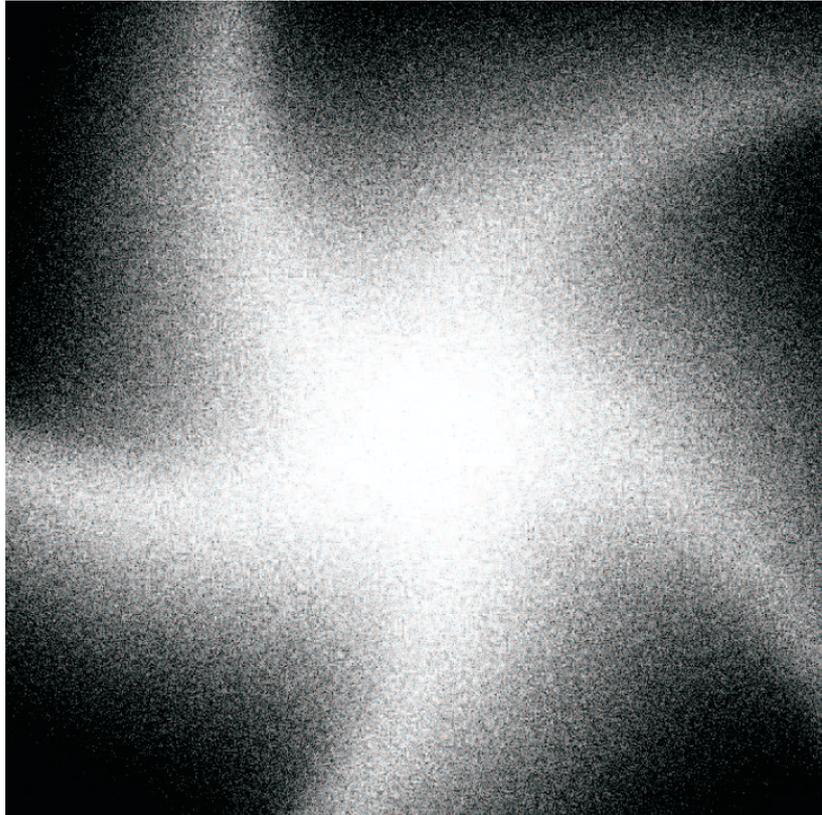


Figura 5: Máscara do tempo de abertura e fechamento do obturador

Após a máscara ter sido determinada e todas as imagens terem sido corrigidas, o *pipeline* determina as dimensões do *trim* que será aplicado às imagens observadas, o que consiste em recortar as imagens selecionando apenas a área útil do CCD. A determinação da área do *trim* é feita com base nas imagens de *flat field* que permitem identificar as regiões não iluminadas do CCD.

A seguir, o *pipeline* procede à subtração do *bias* e correção de *flat field*, as quais são aplicadas da maneira usual. Primeiro, as imagens de *bias* são identificadas através do campo ADDINF no *header* das imagens. Então elas são combinadas através da rotina *cr\_reject*<sup>1</sup> que determina a média das contagens em cada pixel e o desvio padrão. Isso permite que os raios cósmicos sejam eliminados, pois os pixels atingidos por eles apresentaram, evidentemente, um valor de contagens muito diferente da média. A imagem combinada é recortada segundo a área do *trim* determinada anteriormente e subtraída de todas as outras imagens.

As imagens de *flat field* são identificadas através do campo ADDINF também e são combinadas da mesma forma que foram combinadas as imagens de *bias*. Deve-se mencionar que o *pipeline* utiliza preferencialmente os *flats* de céu. Caso não estejam disponíveis, então são utilizados os *flats* de cúpula. Cada imagem de *flat* é verificada para garantir que o número médio de contagens esteja acima de certo valor, definido no programa, e abaixo do limiar de saturação. As imagens de objetos são normalizadas pelas imagens de *flat*, com seus respectivos filtros (UBVRI) e recortadas segundo o *trim* determinado.

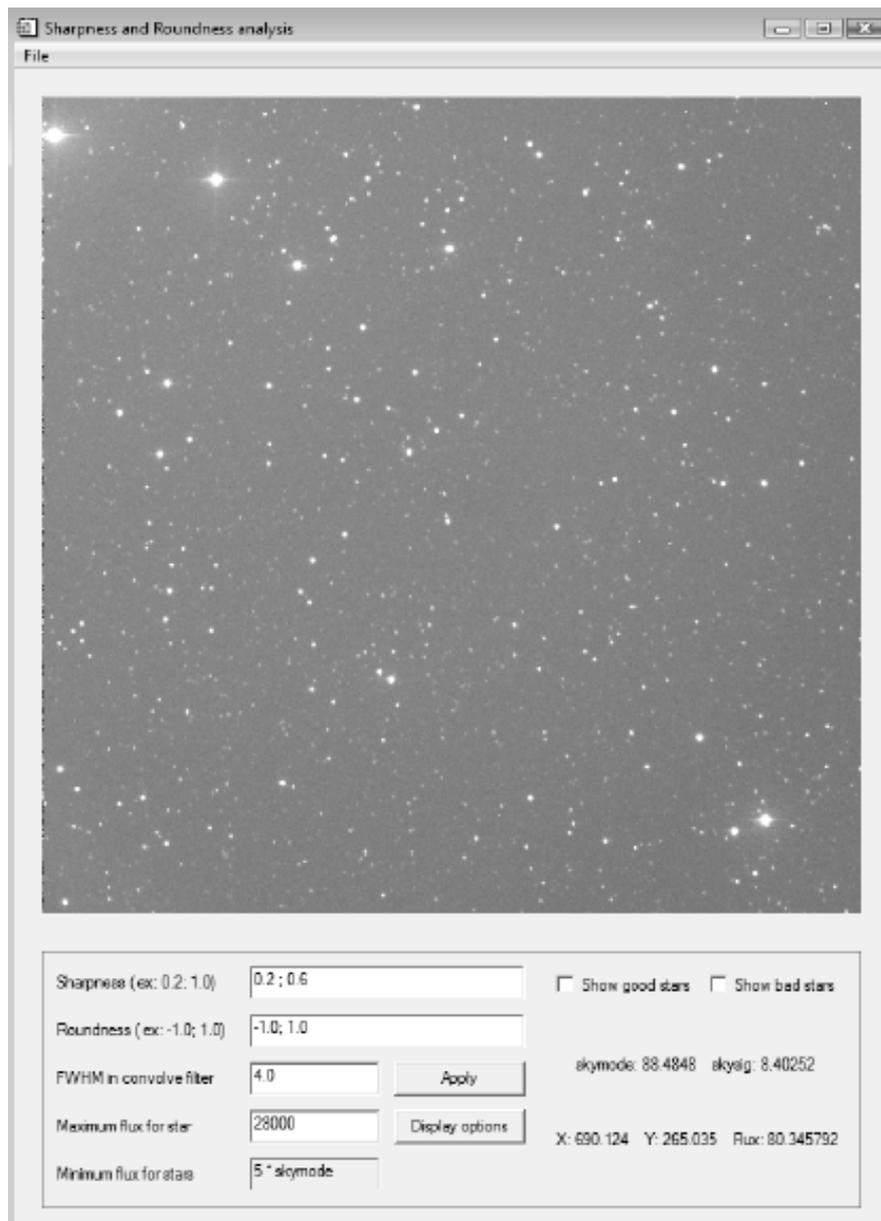
---

<sup>1</sup> Disponível em <http://idlastro.gsfc.nasa.gov/>

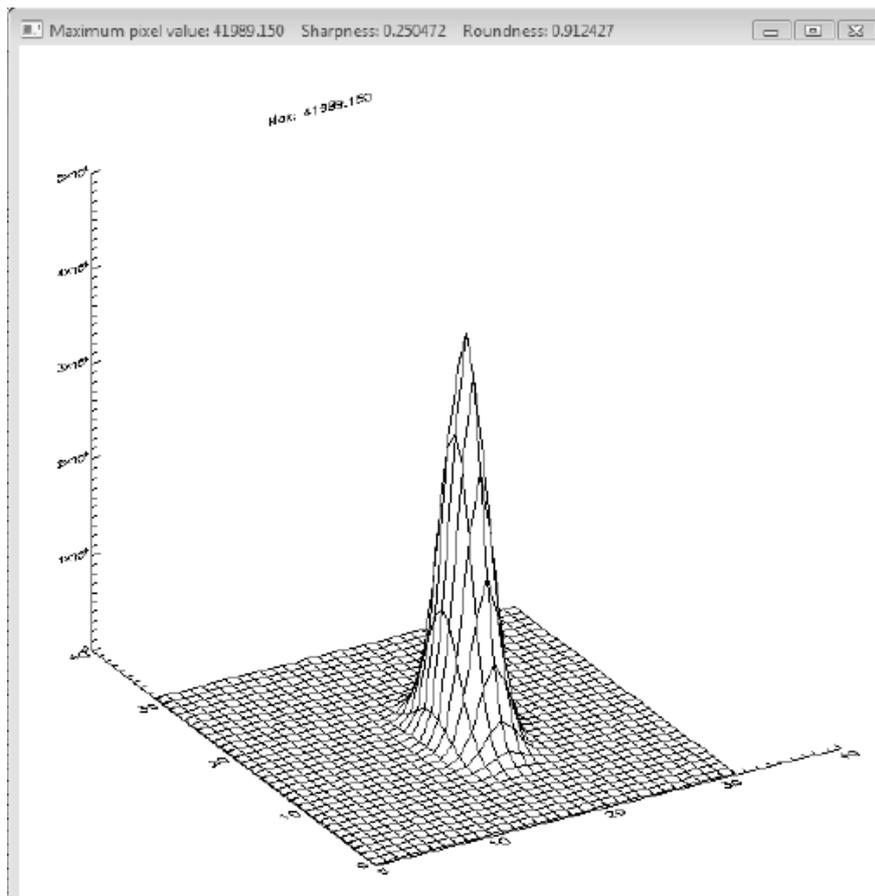
#### 4- Ferramentas adicionais

Além da edição dos *headers* e do pipeline de pré-processamento, estão disponíveis ferramentas de análise visual e estatística das imagens, além de conexão à internet e visualização do *header* completo.

Selecionando-se uma célula ou uma linha da planilha, a imagem pode ser visualizada através do menu *Ferramentas - Visualizar imagem*, que exibe a caixa de diálogo da Figura 7. Ao percorrer a imagem com o cursor do *mouse* o número de contagens e as respectivas coordenadas, no sistema de referência do CCD, são exibidas na caixa, juntamente com uma estatística das contagens do céu. Clicando em algum ponto da imagem, um gráfico de superfície é exibido (Figura 8), mostrando o número máximo de contagens em uma pequena região em torno do ponto escolhido. É possível também fazer a identificação das estrelas que possuem determinado valor para o *sharpness* e para o *roundness*. Dado um intervalo para cada um desses parâmetros, o programa verifica a imagem em busca de estrelas que possuam *sharpness* e *roundness* pertencentes a esse intervalo e as indica na imagem por meio de círculos. Essa é uma análise interessante que pode servir como subsídio à escolha dos melhores valores desses parâmetros para serem utilizados no momento da escolha das estrelas para comporem a PSF. Por outro lado, as estrelas e objetos (e espúrios) fora desses intervalos também podem ser visualizados nessa mesma ferramenta.



**Figura 6:** Caixa de diálogo Visualizar imagens



**Figura 7:** Gráfico de superfície feito pelo programa.

Algumas vezes pode ser útil comparar a imagem observada com uma imagem de referência, para termos certeza que o apontamento do telescópio foi feito de maneira correta. Por esse motivo, implementamos no headx uma ferramenta que obtém diretamente da base de dados do DSS, uma imagem da região observada, no óptico. Esse recurso utiliza as coordenadas equatoriais e a época da observação, registradas no *header*.

### **5- Validação do pré-processamento**

O *software* e, sobretudo, a ferramenta de pré-redução dos dados foram testados através de comparações efetivas dos resultados obtidos através do pré-processamento padrão realizado com o IRAF.

Nesse teste empregamos os mesmos passos descritos na seção 3, tanto no software (como já explicado) quanto no IRAF. Isso foi feito para diferentes campos, com diferentes densidades de estrelas e também para todos os filtros. Na figura X são apresentados os resultados que podem ser considerados típicos. Lembramos que nesse processamento não aplicamos as correções devido ao tempo de abertura do obturador por se tratar de um fator desprezível devido aos longos tempos de exposição envolvidos.

Resultados da comparação das saídas das imagens pré-processadas pelo nosso *pipeline* e pelo IRAF, no sentido nosso/IRAF. Os valores das estatísticas nessas imagens resultantes são em cada filtro (média e desvio padrão sobre todo o CCD): U=1,00000 ± 0,00006; B=0,99 ± 0,02; V=1,00 ± 0,03; R=1,00 ± 0,05; I=1,00 ± 0,03.

## **6- Conclusões**

Nesse trabalho apresentamos um software desenvolvido com o objetivo de ser amigável e realizar as principais tarefas para o pré-processamento de imagens CCDs. Entre várias possibilidades o usuário pode editar diretamente numa planilha os campos dos *headers*, visualizar as imagens, ter informações estatísticas das imagens, contagens de céu, visualizar gráficos de superfície e também verificar estrelas que atender a critérios de *sharpness* e *roundness* para construção de psf.

Uma tarefa importante é a realização do pré-processamento das imagens (*trim*, *bias*, *flat-field*, correção do tempo de abertura do obturador) de forma automática. Esse procedimento é realizado utilizando as rotinas IRAF portadas para IDL. Testes confrontando as soluções de nosso software e as obtidas pelo IRAF mostram o total acordo entre as imagens pré-reduzidas.

Finalmente enfatizamos que esse software não foi construído com o objetivo de substituir softwares e rotinas existentes (como o IRAF) mas sim para ser uma opção aos usuários, fornecendo uma interface amigável e intuitiva bem como um *pipeline* de pré-processamento das imagens CCDs.

### **Agradecimentos:**

Wilton S. Dias agradece ao CNPq (302762/2007-8), CAPES (projeto CAPES-GRICES processo 040/2008) e FAPEMIG (processo APQ-00090-08). T. C. Caetano agradece a CAPES.

### **Referências:**

- Stetson, P. B. DAOPHOT - A computer program for crowded-field stellar photometry. 99 (Mar. 1987), 191–222.
- Caetano, T. C., et al.. UBVR photometry of 15 southern open star clusters. (in press), 2009.