

## Determinação da extinção atmosférica e brilho do céu no OPD

Wilton S. Dias<sup>1</sup>, Thiago C. Caetano<sup>1</sup>, Gabriel Hickel<sup>1</sup>, e Rodrigo Prates<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup> UNIFEI, Instituto de Ciências Exatas, Departamento de Física e Química, Universidade Federal de Itajubá, MG.  
e-mail: [wiltonsdias@yahoo.com.br](mailto:wiltonsdias@yahoo.com.br)

<sup>2</sup> Laboratório Nacional de Astrofísica/MCT, CP 21, Itajubá, MG, 37500-000, Brazil

Recebido em 23 de março de 2010; aceito em 08 de outubro de 2010

**Resumo.** Nesse trabalho apresentamos uma análise das características fotométricas do sítio do Observatório do Pico dos Dias (OPD). São apresentados estudos dos coeficientes de extinção atmosférica em *UBVRI*, do brilho do céu e análise estatística das medidas fotométricas. O estudo é baseado em fotometria PSF com observações CCD realizadas com o telescópio de 60 cm Boller & Chivens. Valores dos coeficientes de extinção foram obtidos a partir da análise de centenas de imagens obtidas em 10 noites entre 2008 e 2009. A análise foi realizada utilizando a lei de Bouguer modificada (Moitinho 2001). A extinção atmosférica não apresentou efeitos sazonais e os resultados mostram que não se deve utilizar valores médios para o sítio do OPD. O brilho do céu foi estimado e os valores são apresentados em mag arcsec<sup>-2</sup> em *UBVRI*, respectivamente:  $18.1 \pm 0.1(U)$ ,  $19.8 \pm 0.1(B)$ ,  $20.1 \pm 0.1(V)$ ,  $20.4 \pm 0.5(R)$  e  $20.1 \pm 0.2(I)$ . A análise estatística de muitas imagens de um mesmo campo, obtidas ao longo de uma noite, nos permitiu estudar a dispersão das medidas. Como resultado típico tem-se precisões de 0.04 mag na banda *V*, até magnitude 16, chegando à magnitude 17 para os demais filtros.

**Abstract.** We present an analysis of the optical *UBVRI* photometry obtained at the Pico dos Dias Observatory (OPD). The measurements of the extinction coefficients have been presented as well as the sky brightness and an analysis of the photometric statistical errors. Our investigations are based on images which were obtained with the 0.6 m Boller & Chivens telescope and a CCD detector. Extinction coefficients were determined from hundreds of images taken during observations in 10 nights between 2008 and 2009, through the Bouguer's law in a modified fashion (Moitinho 2001). No obvious seasonal trends has been detected and the results indicate that no mean values can be adopted for the extinction coefficients. The sky brightness has been estimated and the typical values, in mag arcsec<sup>-2</sup>, are, respectively:  $18.1 \pm 0.1(U)$ ,  $19.8 \pm 0.1(B)$ ,  $20.1 \pm 0.1(V)$ ,  $20.4 \pm 0.5(R)$  e  $20.1 \pm 0.2(I)$ . Finally, the statistical analysis were performed taking into account the data from several images of the same field, which allow us to determine the errors. Typically we have errors about 0,04 mag in *V* filter with the limiting magnitude about 17 in *U*, possibly 18-19 for the other filters.

**Palavras-chave.** Instrumentação – Fotometria – Redução de dados – Extinção Atmosférica

### 1. Introdução

No plano de metas e propostas do LNA (2005-2010) consta o monitoramento da qualidade dos dados astronômicos obtidos no Observatório do Pico dos Dias (OPD), e analisar esta qualidade implica, dentre outros fatores, no monitoramento das condições atmosféricas presentes no instante de cada observação. Atualmente, este monitoramento limita-se aos dados fornecidos por uma câmera *all-sky* e uma estação meteorológica profissional automática; basicamente temperatura, pressão, umidade, índice pluviométrico e direção/velocidade de ventos. Porém, dois fatores são de extrema importância para a determinação da qualidade de dados astronômicos obtidos a partir do solo: a extinção atmosférica e o seeing.

Atualmente, não existe uma sistemática de avaliação da qualidade atmosférica sobre o OPD. Estes parâmetros são de suma importância para a avaliação dos dados astronômicos e até mesmo para tomadas de decisões por parte dos observadores na execução de seus projetos. Qualquer avaliação de seeing e dos coeficientes de extinção requer tempo

de telescópio e esforço dos observadores, que poderiam ser aproveitados em alvos científicos.

Para se ter uma idéia desse esforço, em nosso projeto de imageamento de aglomerados abertos em desenvolvimento no OPD (Dias et al. 2010 e Caetano et al. 2010) em uma noite fotométrica de observações, apenas cerca de 25% do tempo é dedicado aos alvos científicos. Isso resulta na observação de apenas 3 a 5 aglomerados abertos (por noite).

Dessa forma, uma opção interessante seria a determinação automática da extinção atmosférica, através por exemplo de um telescópio de pequeno porte dedicado. Certamente os projetos científicos executados nos telescópios maiores poderiam inclusive obter resultados finais mais precisos devido à possibilidade de observação de maior número de estrelas padrões que é fundamental para a transformação adequada de medidas instrumentais ao sistema padrão desejado.

Além do monitoramento da qualidade dos dados astronômicos, a coleção de dados gerados por instrumentos dedicados a determinação da extinção atmosférica e do seeing permitirá estudos e análises de curto, médio e longo prazos como: análise do impacto das áreas urbanas próximas na qualidade dos dados astronômicos; efeitos de sazonalidade na qualidade das imagens astronômicas e da extinção atmosférica; correlação da extinção atmosférica e do seeing

Para cópias, contate: Wilton S. Dias

\* Trabalho baseado em dados obtidos no Observatório do Pico dos Dias - LNA/MCT

com o regime de ventos e outros parâmetros meteorológicos; efeitos temporais na transparência atmosférica (queimadas, erupções vulcânicas, lançamento de aerossóis na atmosfera, etc.). Esses dados servirão também para auxiliar no data-mining do banco de dados do OPD, futuramente.

Do ponto de vista de pesquisas científicas desenvolvidas podemos citar as possibilidades e objetivos de proporcionar maiores eficiências aos projetos de imageamento em desenvolvimento no OPD; facilitar a implementação de projetos observacionais que exijam calibrações (em fluxo) precisas no OPD e SOAR; permitir maior precisão nas medidas fotométricas realizadas no OPD; possível determinação de estrelas variáveis nos campos observados; monitoramento das estrelas padrões; e fornecer um catálogo (secundário) denso de estrelas padrões a serem utilizadas em outros projetos e também outros observatórios.

Nesse trabalho apresentamos resultados da determinação dos coeficientes de extinção atmosférica e do brilho do céu em *UBVRI* para o sítio do OPD. O texto está organizado da seguinte forma: na seção seguinte apresentamos os métodos e resultados das medidas da extinção. Na seção 3 apresentamos as medidas do brilho do céu em cada banda. Na seção 4 são fornecidos resultados da extinção obtidos com o telescópio de 40cm, a título de testes de utilização de pequenos telescópios dedicados a essa tarefa. Na seção 5 apresentamos uma análise dos erros estatísticos esperados para fotometria CCD com o telescópio de 0.6m. Finalmente enfatizamos os principais resultados nas conclusões do texto.

## 2. Dados utilizados

Para determinar a extinção atmosférica e o brilho do céu utilizamos imagens obtidas com o CCD back-illuminated SITe SI003AB  $1024 \times 1024$  pixels com uma roda de filtros *UBVRI* construídos segundo a receita de Bessel (1990) relativos ao sistema Johnson-Cousins (ver comprimentos de onda centrais na tabela 1) acoplados ao foco cassegrin  $f/13.5$  do telescópio Boller & Chivens 0.6 m.

O CCD tem pixel de  $24 \mu\text{m}$  que resulta numa escala de placa de  $0.600 \text{ arcsec pixel}^{-1}$  aproximadamente. Vale lembrar que a escala de placa depende do foco utilizado durante a noite de observação. Com isso é possível obter um campo de observação de cerca de  $10 \times 10$  minutos de arco. O ruído de leitura é de  $4 e^- \text{ rms}$  e seu ganho ajustado em  $5.0 e^- \text{ ADU}^{-1}$ .

Os logs completos das observações serão disponibilizados eletronicamente no trabalho de Caetano et al. (2010).

Todas as imagens foram pré-processadas da forma padronizada, aplicando TRIM, correções do BIAS, do tempo de abertura do obturador e FLAT-FIELD, através de um software automático construído com ferramentas baseadas nas rotinas do IRAF transcritas para o IDL<sup>1</sup> (detalhes em Caetano et al. 2010).

A magnitude instrumental e posição das estrelas em cada imagem foram obtidos por fotometria PSF (point spread function). Nessa tarefa empregamos o software STARFINDER (Diolati et al. 2000) que foi desenvolvido para análise de campos estelares densos<sup>2</sup>, adaptado pelo nosso grupo para ser executado de forma automática. Com isso todas as imagens obtidas numa noite são processadas

**Tabela 1.** Valores calculados para os coeficientes de extinção (em mag/mass de ar) para o sítio do OPD.

Filtro	$\lambda_{0\text{\AA}}$	$k_r$	$k_a$	$k_o$	$k_{total}$
<i>U</i>	3655	0.4553	0.0563	0.0008	0.5124
<i>B</i>	4405	0.2097	0.0485	0.0006	0.2588
<i>V</i>	5520	0.0832	0.0405	0.0290	0.1527
<i>R</i>	6474	0.0435	0.0356	0.0205	0.0996
<i>I</i>	8234	0.0165	0.0294	0.0000	0.0459

sem a necessidade de interação do usuário, o que torna possível reduzir centenas de imagens de forma fácil, precisa e homogênea (todos os detalhes desses software são fornecidos em Caetano et al. 2010).

## 3. Extinção atmosférica

Quando se observa com um telescópio localizado na superfície terrestre, deve-se considerar que a luz que é captada teve que atravessar a atmosfera da Terra. Como a atmosfera absorve e espalha a luz, o número de fótons detectados, provenientes de uma fonte astronômica, depende da espessura da atmosfera ao longo da linha de visada, da composição da atmosfera, da região do espectro que se observa e da altitude do lugar.

Com o objetivo de verificar valores típicos esperados devido aos fatores comentados acima, calculamos a contribuição aos coeficientes de extinção atmosférica devido ao espalhamento por aerossóis ( $k_a$ ), espalhamento Rayleigh pelas moléculas do ar ( $k_r$ ) e pela absorção principalmente pelo ozônio ( $k_o$ ). Os valores são fornecidos na tabela 1. Para não nos estendermos além do escopo desse trabalho indicamos ao leitor os trabalhos de Hayes & Lathan (1975) e Stalin et al. (2008) para maiores detalhes.

Do ponto de vista observacional, quanto menor a elevação do objeto, ou seja, quanto mais próxima do horizonte estiver, maior será a camada da atmosfera que a luz deve atravessar e, portanto, mais fraco parecerá. A extinção atmosférica refere-se à atenuação provocada pela atmosfera no brilho de um objeto, o qual é usualmente definido através da Equação:

$$M'_i(z) = M_i + K_i * X(z) \quad (1)$$

Essa equação estabelece que a magnitude  $M'_i(z)$ , medida na banda  $i$  na direção definida pela distância zenital  $z$ , é igual a magnitude  $M_i$  que se mediria fora da atmosfera mais uma contribuição devida à atmosfera, representada por  $K_i X(z)$ . Essa última contribuição é composta por dois fatores: o coeficiente de extinção  $K_i$ , que mede a intensidade com que a atmosfera reduz a luz de uma fonte astronômica, e a massa de ar  $X(z)$ , que é uma medida da profundidade da atmosfera na direção da linha de visada definida pela distância zenital  $z$ . Embora a função  $X(z)$  seja bastante complexa (Golay 1974), pode-se aproximá-la por  $X(z) = \sec z$ , assumindo um modelo de atmosfera plana e para valores de  $z$  menores que 60 graus.

Através da Equação 1 é possível transformar as magnitudes observadas em solo para magnitudes fora da atmosfera, desde que o coeficiente  $K_i$  seja conhecido. Uma maneira de determinar  $K_i$  seria observar uma estrela em diferentes massas de ar e determinar os coeficientes  $M_i$  e  $K_i$  através de um ajuste linear. Considerando que, tipicamente, os campos observados possuem várias estrelas, seria possível aplicar a

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

<sup>2</sup> <http://www.bo.astro.it/~giangi/StarFinder/index.htm>

Equação 1 para cada uma e determinar uma média para o coeficiente  $K_i$ . Contudo, esse procedimento é pouco robusto e fornece valores incertos quando se tem poucas medidas (Moitinho 2001). Uma alternativa é utilizar a Equação 1 em uma forma modificada, expressa pela Equação 2.

$$M_i(z_1) - M_i(z_2) = K_i(X(z_1) - X(z_2)) \quad (2)$$

Essa equação não depende da estrela que está sendo considerada. Pode-se, portanto, utilizar todas as estrelas para as quais se tenha mais de uma medida na mesma banda, em diferentes massas de ar, juntas em um mesmo gráfico, e determinar o coeficiente  $K_i$  a partir de um ajuste de mínimos quadrados.

Quando mais de duas medidas são feitas por estrela, digamos  $N$  medidas, é possível obter  $N(N-1)/2$  diferenças distintas,  $\Delta M_i$  e  $\Delta X$ , sendo que apenas  $N-1$  delas são independentes. Uma solução natural seria considerar a medida feita com a menor massa de ar como referência e subtraí-la de todas as outras (Moitinho 1999, 2001; Caetano et al. 2009). Dessa maneira, contudo, qualquer erro na medida de referência seria introduzido sistematicamente em todas as diferenças. Moitinho (2001) propõe que todas as diferenças sejam utilizadas no mesmo gráfico esperando que, desse modo, uma medida ruim apareça muito deslocada com relação à região de maior concentração dos pontos.

Utilizando o método descrito, apresentamos na Figura 1 os ajustes lineares obtidos para os dados da noite 10 de maio de 2009, a título de exemplo. Os ajustes foram realizados com o método dos mínimos quadrados e a função ajustada passa, necessariamente, pela origem. Os coeficientes fornecidos pelos ajustes e as respectivas incertezas estão na Tabela 2, juntamente com os valores obtidos para as demais noites analisadas.

É possível notar através dessa tabela que os coeficientes de extinção atmosférica apresentaram variações significativas, mesmo entre noites consecutivas. Por esse motivo não é aconselhável reunir dados de noites distintas e/ou utilizar valores médios dos coeficientes da extinção atmosférica.

Ressaltamos que apesar das variações os valores medidos são totalmente consistente com os esperados que foram apresentados na Tabela 1.

### 3.1. Extinção atmosférica com o telescópio de 40cm

Nessa seção apresentamos os resultados da extinção atmosférica determinados a partir de dados CCD obtidos com o telescópio de 40cm (modelo 16" Meade LX200-ACF) instalado no OPD. Os resultados são de caráter preliminar mas merecem destaque. Durante parte da noite 08 de abril de 2009 obtivemos imagens do aglomerado NGC 4852 ( $\alpha = 13^h00^m09^s$ ,  $\delta = -59^\circ36'48''$ ; J2000,0) em diferentes massas de ar simultaneamente com esse telescópio e o com o telescópio B&C 0.6m.

No Meade as imagens foram obtidas com um CCD ST8 SBIG, back-illuminated, SITe  $1530 \times 1020$  (pixel  $9 \times 9 \mu\text{m}$ ) e uma roda de filtros *UBVRI* Bessel (1990) relativos ao sistema fotométrico Johnson-Cousins acoplados ao foco cassegrin  $f/10$  do telescópio. A escala de placa do instrumento é de  $0.600 \text{ arcsec pixel}^{-1}$  aproximadamente (idêntica ao do sistema no B&C 0.6m) e campo total pouco maior que  $10 \times 10$  minutos de arco. O ruído de leitura é de 15 e-rms e seu ganho ajustado em  $2,5 \text{ e-ADU}^{-1}$ .

As imagens obtidas nessa noite de testes com os dois telescópios foram reduzidas através de nossos programas e

a extinção atmosférica em cada filtro foi determinada segundo o método de Bouguer modificado conforme descritos anteriormente. É importante registrar que essa noite de testes não foi uma noite ideal uma vez que a umidade relativa do ar esteve alta (95%) e os ventos estavam com velocidade entre 20 e  $30 \text{ kms}^{-1}$  durante as observações. Outro ponto importante é que o telescópio de 40cm está montado em um pilar com a montagem equatorial original (comercial), que deixa a desejar em acompanhamento para longos tempos de exposição. Notamos que as imagens sofreram alongamento especialmente no filtro *U* para os maiores tempos de exposição (da ordem de 300s). Por fim, devido a um problema na roda de filtros do telescópio do B&C 0,6m, não houve como utilizar o filtro *I* para medidas.

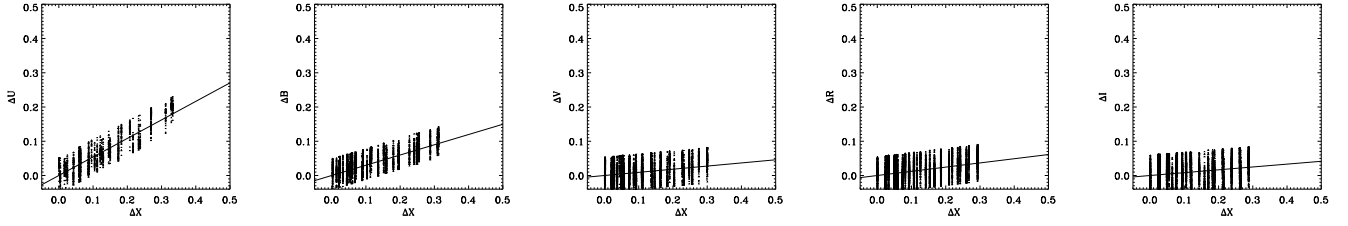
Os resultados dos coeficientes de extinção obtidos são apresentados comparativamente na tabela 3. Pode-se perceber através desses resultados que há boa concordância entre os valores obtidos pelos dois telescópios, embora a diferença no filtro *U* seja maior (de 0.08 mag/massa de ar). Essa diferença pode ser explicada devido aos fatores comentados anteriormente: condição não ideal da noite e dificuldade de acompanhamento do telescópio para tempos de exposição maiores, necessários no filtro *U*. Também efetuaremos investigações posteriores em relação ao vidro de proteção utilizado pela fabricante na série LX200, pois existem suspeitas que o coating utilizado neste possa atuar como filtro de corte na região do filtro *U*.

## 4. Brilho do céu

O brilho ou magnitude do céu é um parâmetro importante na qualidade de um sítio astronômico. O OPD não possui um histórico de acompanhamento sistemático do brilho do céu, apenas algumas poucas estimativas têm avaliado esta quantidade, mas para pequenos períodos de tempo e de forma não homogênea. É notório que o crescimento urbano em torno do OPD tem levado ao crescimento do brilho do céu, sobretudo devido ao uso indiscriminado na iluminação pública das cidades circunvizinha de lâmpadas de alta potência, sem dispositivos como os cut-offs, que impedem em até 70% a poluição luminosa. Mas não há quantificação através de um estudo sistemático que respalde esta afirmativa.

Programas fotométricos de longa duração efetuados no OPD podem fornecer esta estimativa como subproduto, sobretudo se utilizam longas exposições. O nosso programa enquadra-se nesta categoria e por isto decidimos por efetuar a quantificação do brilho do céu. Independente da técnica utilizada, alguns fatores são cruciais para esta estimativa, como a presença (ou não) da Lua e sua fase. Também, devido à variação da emissão da ionosfera, decaindo após o pôr do Sol até à alvorada, também deve-se levar em conta o horário da medida. A luz difusa emitida pelo plano da Galáxia também deve ser considerado e evitado.

Obviamente, como o objetivo do programa é observar aglomerados e não estimar o brilho do céu, esses cuidados não foram tomados ao longo das missões. Procedemos da seguinte forma para estimar o brilho do céu: (i) Utilizamos o software Starfinder (Diolaiti et al., 2000) para separar as fontes astronômicas da emissão do céu através de uma técnica de convulação detalhada por Diolaiti et al. (2000). A imagem na qual as fontes foram removidas é gravada como uma imagem fits padrão. (ii) Determina-se a densidade superficial do fluxo e o respectivo brilho superficial no sistema



**Figura 1.** Ajustes da determinação atmosférica para a noite de 10 de maio de 2009. O campo do aglomerado ESO 275-01 foi observado 9 vezes no total.

**Tabela 2.** Valores medidos para os coeficientes de extinção (em mag/massa de ar) para o sítio do OPD.

$k_U$	$k_B$	$k_V$	$k_R$	$k_I$	data
0.515 (2)	0.2459 (5)	0.1124 (4)	0.0999 (3)	0.0319 (4)	10/jun/25
0.436 (1)	0.2400 (1)	0.0895 (5)	0.0732 (9)	0.0141 (7)	10/jun/26
0.479 (2)	0.2659 (6)	0.1646 (4)	0.0977 (4)	0.0623 (8)	10/jun/27
0.434 (1)	0.2481 (6)	0.1211 (5)	0.1052 (4)	0.0634 (5)	10/jun/28
0.489 (3)	0.359 (2)	0.197 (2)	0.150 (2)	0.074 (2)	10/fev/02
0.440 (1)	0.230 (0)	0.113 (1)	0.069 (1)	0.027 (1)	09/out/23
0.471 (1)	0.234 (1)	0.136 (1)	0.118 (2)	0.012 (4)	09/ago/30
0.460 (3)	0.218 (1)	0.119 (1)	0.084 (1)	0.001 (1)	09/ago/29
0.460 (2)	0.246 (1)	0.132 (1)	0.111 (1)	0.061 (1)	09/ago/28
0.484 (1)	0.304 (1)	0.188 (1)	0.114 (1)	0.051 (1)	09/ago/08
0.499 (3)	0.225 (2)	0.113 (2)	0.117 (2)	0.015 (4)	09/ago/07
0.494 (1)	0.215 (0)	0.139 (0)	0.098 (0)	0.091 (0)	09/jun/28
0.683 (1)	0.286 (1)	0.181 (1)	0.119 (1)	0.099 (1)	09/mai/11
0.563 (2)	0.312 (1)	0.130 (2)	0.123 (1)	0.103 (2)	09/mai/10
0.546 (5)	0.248 (2)	0.125 (4)	0.080 (2)	0.010 (1)	09/abr/19
0.550 (4)	0.195 (3)	0.147 (3)	0.104 (3)	0.083 (6)	09/abr/18
0.344 (4)	0.234 (2)	0.119 (1)	0.032 (2)	0.032 (2)	09/abr/17
0.596 (5)	0.202 (4)	0.131 (2)	0.030 (4)	-	09/abr/08
0.586 (1)	0.342 (1)	0.218 (1)	0.165 (1)	0.123 (1)	08/ago/15
0.482 (3)	0.273 (4)	0.163 (2)	0.093 (6)	0.090 (6)	08/jul/29
0.503 (2)	0.255 (3)	0.133 (1)	0.091 (1)	0.028 (2)	08/jun/16
0.449 (2)	0.251 (0)	0.141 (3)	0.053 (0)	0.041 (0)	08/jun/13
0.444 (12)	0.264 (3)	0.194 (2)	0.068 (2)	0.051 (3)	08/abr/09

**Tabela 3.** Valores medidos para os coeficientes de extinção (em mag/massa de ar) com os telescópios de 40cm e 60cm do IAG.

$k_U$	$k_B$	$k_V$	$k_R$	$k_I$	data
0.444 (12)	0.264 (3)	0.194(2)	0.068(2)	0.051(3)	08/abr/09
0.525 (4)	0.200 (4)	0.159(2)	0.081(4)		08/abr/09

instrumental de magnitudes. (iii) O brilho superficial pode ser expresso no sistema padrão de magnitudes desde que se conheçam as equações de transformação que levam de um sistema ao outro. Isso é verdade para todas as noites analisadas nesse trabalho e, para simplificar os cálculos, desprezamos os termos relacionados aos índices de cor nessas equações. Por um lado essa simplificação elimina a necessidade de iterar o procedimento, por outro, haverá um limite inferior para o erro no resultado da ordem dos coeficientes desprezados, tipicamente de centésimos de magnitudes. O quadrado do erro final na medida do brilho do céu é a soma do quadrado do erro mínimo e do quadrado do erro estatístico, que é o ruído determinado para o fundo de céu. Na tabela 4 são fornecidos os valores de fundo de céu em cada filtro para noites em que realizamos fotometria.

Observa-se que na banda  $U$  o valor médio para o brilho de céu é de aproximadamente  $18.2 \text{ mag arcsec}^{-2}$ , sendo tipicamente  $19.8 \text{ mag arcsec}^{-2}$  para a banda  $B$  e  $20.3 \text{ mag arcsec}^{-2}$  para os demais filtros. As medidas para as noites

de 10 de maio e de 08 de agosto (com Lua), na banda  $B$ , forneceram um valor para o brilho de céu maior que o valor típico, o que atribuímos ao horário em que as imagens foram realizadas. O brilho de céu decresce ao longo da noite pois a contribuição da alta atmosfera decai e, assim, teríamos medidas maiores para a magnitude do céu ao final da noite. A tabela mostra também que não há uma diferença significativa entre o brilho de céu para as noites com e sem Lua, mas isso não é suficiente para que cheguemos a qualquer conclusão. Como foi dito, há diversos outros fatores que influenciam no brilho do céu como a posição do plano da Galáxia, a hora da observação, a contribuição da ionosfera, entre outros. Uma vez que esses fatores foram alterados entre uma noite e outra, ou mesmo entre um momento da noite e outro, é impossível relacionarmos a presença da Lua com o brilho de céu utilizando os dados disponíveis nesse trabalho.

**Tabela 4.** Valores para o brilho do céu ( $\text{mag arcsec}^{-2}$ ) nos filtros *UBVRI* determinados a partir de imagens feitas com CCD. A primeira parte refere-se a imagens feitas com céu sem Lua, enquanto na segunda parte os resultados referem-se a um céu com Lua.

data	<i>U</i>	<i>B</i>	<i>V</i>	<i>R</i>	<i>I</i>
17/abr	18.0 (1)	19.8 (1)	20.104 (2)	20.4 (5)	20.1 (2)
18/abr	18.12 (4)	19.81 (7)	20.14 (7)	20.29 (7)	20.0 (1)
19/abr	18.0 (1)	19.79 (5)	20.1 (1)	20.26 (4)	20.08 (8)
17/abr	18.0 (1)	19.8 (1)	20.1 (2)	20.4 (5)	20.2 (2)
18/abr	18.09 (4)	19,80 (7)	20.14 (7)	20.29 (7)	20.08 (1)
19/abr	18.1 (1)	19.85 (5)	20.1 (1)	20.28 (4)	20.10 (8)
10/mai	18.67 (6)	20.29 (8)	20.46 (5)	20.58 (6)	20.31 (3)
08/ago	18.34 (5)	20.14 (5)	20.33 (2)	20.55 (4)	20.29 (7)

**Tabela 5.** Valores típicos para os erros fotométricos finais.

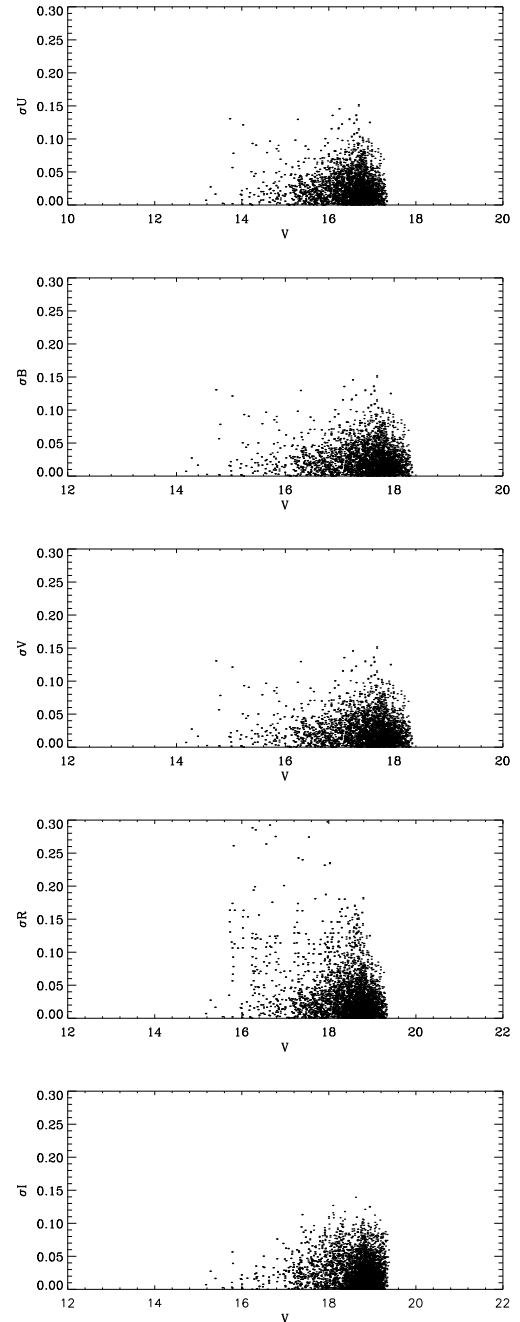
<i>V</i>	$\sigma_U$	$\sigma_B$	$\sigma_V$	$\sigma_R$	$\sigma_I$
$\leq 14$	0.061	0.045	0.038	0.029	0.024
14 – 16	0.070	0.050	0.043	0.044	0.031
16 – 18	0.082	0.059	0.052	0.048	0.039
$> 18$		0.070	0.059	0.058	0.053

## 5. Erros fotométricos

Os erros fotométricos finais possuem três componentes principais. A primeira refere-se aos resíduos dos ajustes das PSFs realizado pelo programa STARFINDER, sendo que esses erros são pequenos, tipicamente da ordem de milésimos de magnitudes. A segunda componente é representada pelos erros estatísticos nas medidas e pode ser determinada desde que se tenha um bom número de medidas para um mesmo campo. A última componente são os resíduos das transformações ao sistema padrão.

Os erros estatísticos típicos para as magnitudes instrumentais foram determinados a partir dos dados da noite de 10 de maio, em que o campo na região do aglomerado ESO 275-01 ( $\alpha = 15^{\text{h}}55^{\text{m}}04^{\text{s}}$ ,  $\delta = -46^{\circ}00'54''$ ; J2000,0) foi observado 9 vezes. Para cada estrela do campo foram obtidos média e desvio padrão do conjunto de medidas, sendo que o desvio padrão representa a incerteza associada a uma medida individual. A Figura 2 mostra a distribuição dos erros estatísticos, em cada banda, em função da magnitude *V*. Quando comparados aos erros estatísticos, os erros residuais do starfinder são desprezíveis e por isso não são considerados no cálculo do erro fotométrico final. Os resíduos das transformações ao sistema padrão para essa noite podem ser considerados típicos:  $\Delta U = 0.057$ ;  $\Delta B = 0.028$ ;  $\Delta V = 0.026$ ;  $\Delta R = 0.027$  e  $\Delta I = 0.030$ . Note que dificilmente podemos considerar valores típicos, uma vez que há uma forte dependência com o número de estrelas padrões observadas e com a qualidade da noite.

A Tabela 5 apresenta os valores para o erro final, que foi obtido através da soma do quadrado dos erros residuais e do quadrado dos erros estatísticos. Os valores nessa tabela devem ser considerados como valores limites para os erros. Uma vez que apenas uma exposição foi feita, em cada banda, para o campo do aglomerado ESO 275-01, a análise dos erros foi feita a partir dos dados de imagens com pouco tempo de exposição, levando, dessa forma, a valores superestimados para os erros totais.



**Figura 2.** Erros estatísticos típicos associados às magnitudes instrumentais, determinados a partir das medidas do campo na região do aglomerado ESO 275-01, observado 9 vezes na noite de 10 de maio.

## 6. Conclusões

Nesse trabalho apresentamos os resultados obtidos para estudos da determinação do coeficiente de extinção atmosférica e brilho do céu para o sítio do OPD determinados a partir de dados de imageamento CCD.

Os resultados para valores medidos da extinção atmosférica em *UBVRI* mostram-se em bom acordo com valores esperados quando calculados em função da contribuição devido aos coeficientes de extinção atmosférica devido ao espalhamento por aerossóis, espalhamento Rayleigh pelas moléculas do ar e pela absorção principalmente pelo ozônio (comparar Tabelas 1 e 2).

Embora não tenhamos uma boa distribuição de valores ao longo do ano de 2008 e, especialmente, de 2009 é possível notar que não há uma nítida tendência sazonal dos valores dos coeficientes de extinção.

Os resultados mostram claramente que pode haver uma grande diferença dos coeficientes em noites consecutivas, o que inviabiliza a utilização de coeficientes de extinção atmosférica médios para o sítio do OPD.

O método de Bouguer modificado utilizado nesse trabalho apresenta a necessidade de observar o mesmo campo em diferentes massas de ar e de acordo com nossa experiência cerca de 6 medidas em massas de ar diferentes são suficientes para precisões de centésimos nos coeficientes.

Os coeficientes de extinção atmosférica em *UBVRI* também foram determinados numa noite de testes utilizando o telescópio Meade de 40cm e o telescópio B&C de 0,6m (como controle). Os resultados apresentados na tabela 3. indicam que há boa concordância entre os valores obtidos pelos dois telescópios.

Embora preliminar, esse resultado é considerado pelo nosso grupo de extrema importância por indicar a viabilidade de construção de um telescópio dedicado para a determinação da extinção atmosférica automaticamente.

Através de imagens CCD *UBVRI* obtidas determinamos o brilho de céu (ver Tabela 4) que são ligeiramente mais brilhantes que sítios do Chile, por exemplo, porém conforme esperado. Esse estudo é interessante do ponto de vista observacional, bem como para que se possa acompanhar a evolução temporal do brilho do céu, que deve mudar devido ao crescimento das cidades.

Os resultados das análises dos erros fotométricos mostram que, tomando-se cuidados observacionais e de redução dos dados, é possível obter fotometria de qualidade e de competitividade com o sítio e instrumentação do OPD.

Finalmente vale registrar que os resultados dos coeficientes de extinção atmosféricos referem-se ao projeto de um protótipo de telescópio dedicado, que depois poderá ser oferecido ao SOAR. Isso é importante uma vez que em grandes telescópios como SOAR, projetos de fotometria absoluta são de difícil realização devido ao grande dispêndio de tempo com observações de campos com a finalidade apenas de se determinar a extinção atmosférica.

*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

- Bessel, M. S. 1990, *PASP*, 102, 1181  
 Caetano, T., C., et al., 2010, in preparation  
 Dias, W., S. & Caetano, T., C., 2010, *IAUS* 266, 385  
 Diolaiti, E., et al., 2000, *A&AS* 147, 335

- Golay, M., 1974, *ASSL* 41, G  
 Hayes, D.S., & Lantham, D. W., 1975, *ApJ*, 197, 593  
 Moitinho, A., 2001, *A&A*, 370, 436  
 Stalin, C. S., Hegde, M., Sahu, D. K., et al., 2008, *BASI* 36, 111