



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
CENTRO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICAS E DA NATUREZA
OBSERVATÓRIO DO VALONGO
DEPARTAMENTO DE ASTRONOMIA

TÍTULO:

Posições óticas precisas de fontes ICRF usando os telescópios de 0,60m e 1,60m do LNA

ALUNO : Paulo de Tarso Monken Gomes
ORIENTADOR : Marcelo Assafin,
(Departamento de Astronomia - OV – CCMN
Universidade Federal do Rio de Janeiro)

Rio de Janeiro, dezembro de 2003

Projeto Final de Curso para obtenção do título de Astrônomo

AGRADECIMENTOS:

O estudo da Astronomia, uma das mais antigas ciências da humanidade, e o conhecimento e aplicação das leis que regem a harmonia do universo é algo extremamente interessante e motivador, sendo por isto causa de grande satisfação a qualquer pessoa que à esta ciência se dedique.

A conclusão deste curso, com o desenvolvimento deste trabalho na área de Astrometria, onde o aspecto de *precisão* é de suma importância, foi igualmente muito gratificante. Mas, para que este objetivo fosse atingido, devo reconhecer a participação direta ou indiretamente de diversas pessoas às quais dirijo aqui o meu mais sincero agradecimento.

Inicialmente à minha querida esposa Daisy Spolidoro Ferreira Gomes por sua imensa paciência e compreensão pelas inúmeras vezes que deixamos de fazer viagens ou passeios para que eu pudesse me dedicar aos estudos ou trabalhos frequentemente necessários em cada disciplina.

À minha cunhada Nylza Spolidoro Ferreira Salvador pelo forte incentivo inicial para a realização deste curso.

Ao meu professor e orientador Dr. Marcelo Assafin, pela paciência e sabedoria com que conduziu a minha formação, esclarecendo sempre com grande segurança as minhas dúvidas tanto na parte de Astrometria quanto na parte instrumental e computacional.

Ao professor José Adolfo pelo interessante trabalho que desenvolvemos de acompanhamento de Asteróides medindo suas posições e observando seus deslocamentos, na disciplina de Prática Instrumental em Astronomia.

Às professoras Dra. Heloisa e Encarnacion bem como todos os demais professores do Valongo e Fundão, que durante o curso me transmitiram seus conhecimentos nas diversas matérias.

E, finalmente, ao meu colega e na ocasião monitor da cadeira de Mecânica Quântica, Carlos Magno pelo seu grande apoio na resolução de exercícios desta disciplina.

RESUMO

Posições precisas de fontes rádio extragalácticas no referencial HIPPARCOS nos permitem verificar a orientação entre os sistemas de referência ótico e rádio, respectivamente representados no ótico pelos catálogos Tycho-2 e UCAC, e pelas posições VLBI do ICRF. Neste contexto, um programa observacional de longo período iniciou-se em 1997, envolvendo três instrumentos distintos: o Círculo Meridiano CCD de Valinhos, IAG/USP, e os telescópios Cassegrain / Coudé de 0,60m e 1,60m do Laboratório Nacional de Astrofísica, LNA/MCT. A lista é composta de 409 radiofontes ICRF distribuídas entre $+20^{\circ} < \delta < -80^{\circ}$ no céu.

Aqui, apresentamos uma investigação exaustiva para uma amostra representativa das fontes do programa, consistindo de 32 fontes ICRF observadas nesses instrumentos. Reduzimos os campos do 0.6m em relação a posições derivadas com o Círculo Meridiano, baseadas no catálogo Tycho-2. Também fizemos os mesmo, usando estrelas UCAC. Essas reduções proporcionam sistemas secundários de referência de estrelas de brilho intermediário, para os campos CCD do 1,60m. A redução dos campos CCD do 0,60m e do 1,60m fornecem posições óticas para as fontes ICRF.

Uma investigação da performance astrométrica de todos esses instrumentos e do catálogo UCAC foi feita, no contexto da obtenção de posições óticas precisas para as fontes do ICRF. Como ponto de partida, as posições de estrelas de Valinhos e o catálogo UCAC, foram comparadas com a intenção de se investigar eventuais erros sistemáticos dependendo da cor (V-R). Nenhum efeito foi verificado, validando o uso do catálogo UCAC nas reduções.

As médias das diferenças de posição no sentido "ótico menos rádio" encontradas para o 0,60m foram $+4\text{mas} \pm 8\text{mas}(41\text{mas})$ e $+1\text{mas} \pm 8\text{mas}(42\text{mas})$ para A.R. e Dec. respectivamente, usando o UCAC nas reduções. Usando as posições de Valinhos, as médias das diferenças foram $+89\text{mas} \pm 29\text{mas}(71\text{mas})$ e $-31\text{mas} \pm 29\text{mas}(72\text{mas})$. O erro da media é dado (+/-) bem como os desvios-padrão (em parenteses). Para o 1,60m, os resultados com o UCAC foram de $-12\text{mas} \pm 9\text{mas}(45\text{mas})$ e $+8\text{mas} \pm 9\text{mas}(46\text{mas})$, no mesmo sentido de antes. Gráficos contra A.R., Dec., magnitude (V e R) e cor (V-R) não mostram dependências. Concluimos que a performance astrométrica do 0.60m rivaliza com a do 1,60m para as fontes mais brilhantes, e que o UCAC fornece a melhor realização do HIPPARCOS CELESTIAL REFERENCE FRAME (HCRF) para o nosso conjunto de observações CCD.

ABSTRACT

Precise positions of ICRF extragalactic radio sources derived in the Hipparcos Celestial Reference System (HCRS) allow one to access the relative orientation between the HCRS and the ICRF. In this context, a long term observational program is being carried out at three distinct instruments: the Valinhos CCD Meridian Circle, the 0.6m and the 1.6m Cassegrain telescopes at Laboratório Nacional de Astrofísica, Brazil (LNA). The list consists of 409 ICRF radio sources distributed between $+20^{\circ} < \delta < -80^{\circ}$ in the sky. Here, we present pilot, comprehensive results for a set of sources representative of the whole program. Reduction of the 0.6m CCD frames ($10' \times 10'$, 1 pixel= $0''.6$) are referred to the UCAC catalog and to Tycho2-based star positions derived from the Valinhos Meridian Circle. Reduction of the 1.6m CCD frames ($5' \times 5'$, 1 pixel= $0''.3$) are referred to the positions of intermediary brightness, secondary stars derived from the 0.6m reductions. These CCD frame reductions furnish optical ICRF source positions. An investigation of the astrometric performance of all these instruments and the UCAC catalog in the scope of obtaining precise positions for the optical counterparts of the ICRF sources was carried out. As a starting point, Valinhos' star positions and UCAC-positions were compared for investigating eventual systematic errors in the catalogues depending on color (V-R). No effects were found, which validated the UCAC catalogue for the reductions. The average optical minus radio position offsets for the 0.6m telescope were $+4\text{mas} \pm 8\text{mas}$ (41mas) and $+1\text{mas} \pm 8\text{mas}$ (42mas) for R.A. and Dec. respectively, using the UCAC in the reductions. Using the Valinhos positions, the offsets were $+89\text{mas} \pm 29\text{mas}$ (71mas) and $-31\text{mas} \pm 29\text{mas}$ (72mas). The errors of the mean values (plus/minus) and the standard deviations about the mean (parenthesis) are given. For the 1.6m, the results regarding the UCAC were $-12\text{mas} \pm 9\text{mas}$ (45mas) and $+8\text{mas} \pm 9\text{mas}$ (46mas) in the same sense as before. Plots against R.A., Dec., magnitude (V and R) and color (V-R) show no dependences. We conclude that the astrometric performance of the 0.6m telescope rivals that of the 1.6m for the bright objects, and that the UCAC furnishes the best representation of the HCRF for our set of CCD observations.

ÍNDICE GERAL

Página:

Índice de Tabelas.....	vi
Índice de Figuras e Gráficos.....	vii
Introdução.....	1
Capítulo 1 - Sistemas de Referência e Catálogos.....	4
1.1 Características do ICRF.....	4
1.2 Características do Catálogo HIPPARCOS.....	5
1.3 Características do Catálogo TYCHO-1.....	6
1.4 Características do Catálogo ACT.....	7
1.5 Características do Catálogo TYCHO-2.....	7
1.6 Características do Catálogo UCAC 1.....	8
1.7 Características do Catálogo UCAC-2.....	10
Capítulo 2 - Programa LNA, Valinhos e catálogo UCAC.....	13
2.1 Programa LNA.....	13
2.2 Análise comparativa da Lista de Valinhos e UCAC 1.....	20
Capítulo 3 - Procedimentos para determinação de posições dos quasares.....	31
com os telescópios 0,60m e 1,60m - Avaliação de erros	
3.1 Utilização de catálogos intermediários.....	31
3.2 Tratamento Astrométrico das imagens CCD.....	32
3.3 Ajuste Gaussiano para obtenção das medidas (x, y).....	33
3.4 Procedimentos de Redução das medidas dos campos de quasares.....	34
3.5 Combinação das medidas e Redução Global.....	39
3.6 Redução Final - determinação de α e δ e magnitudes.....	39
3.7 Estimativa de Erros nas medidas x, y e coordenadas α e δ	40
Capítulo 4 - Determinação de posições precisas de Fontes ICRF com os	51
catálogos Valinhos e UCAC 2.	
4.1 Posições de Fontes de Rádio ICRF.....	51
4.2 Análise dos resultados.....	56
4.3 Comparação de nossas medidas com medições de N. Zacharias.....	86
Capítulo 5 - CONCLUSÕES.....	91
Referências bibliográficas	94

ÍNDICE DE TABELAS

Tabelas:	Página:
1.1 - Características do catálogo HIPPARCOS.....	5
1.2 - Características do catálogo Tycho-1.....	6
1.3 - Características do catálogo ACT.....	7
1.4 - Características do catálogo Tycho-2.....	8
1.5 - Características do catálogo UCAC1.....	10
1.6 - Características do catálogo UCAC2.....	12
2.1 - Características do Círculo Meridiano de Valinhos.....	18
2.2 - Telescópio de 0,60m do LNA.....	18
2.3 - Telescópio de 1,60m do LNA.....	19
2.4 - Detectores CCD.....	19
2.5 - Características principais da lista de posições Valinhos.....	20
2.6 - Comparação dos catálogos de Valinhos e UCAC.....	21
3.1 - Estimativa de erros em x , y , α e δ	42
3.2 - Magnitudes e erros em x , y para o telescópio de 0,60m.....	44
3.3 - Magnitudes e erros em x , y para o telescópio de 1,60m.....	45
4.1 - 32 Quasares ICRF da Amostra.....	52
4.2 - Resultados das reduções com os catálogos Valinhos e UCAC II, e telescópios de 0,60m e 1,60m.....	54
4.3 - Resumo dos resultados.....	56
4.4 - Comparação de nossos resultados com N. Zacharias.....	88

ÍNDICE DAS FIGURAS E GRÁFICOS

Figuras:	Página:
2.1.a - Quasares observados no Telesc. 0,60m.....	15
2.1.b - Quasares a observar no Telesc. 0,60m.....	15
2.1.c - Quasares observados no Telesc. 1,60m.....	15
2.1.d - Quasares a observar no Telesc. 1,60m.....	15
2.2.a - Distribuição em A.R. de Quasares no Telesc. 0,60m.....	16
2.2.b - Distribuição em Dec. de Quasares no Telesc. 0,60m.....	16
2.2.c - Distribuição em A.R. de Quasares no Telesc. 1,60m.....	16
2.2.d - Distribuição em Dec. de Quasares no Telesc. 1,60m.....	16
2.3.a - Fontes observadas em A.R. nos Telesc. 0,60m e 1,60m.....	17
2.3.b - Fontes observadas em Dec. nos Telesc. 0,60m e 1,60m.....	17
2.4.a - Diferença de Posição em A.R. (Valinhos - UCAC) vs A.Reta.....	22
2.4.b - Diferença de Posição em Dec. (Valinhos - UCAC) vs A. Reta.....	22
2.4.c - Diferença de Posição em A.R. (Valinhos - UCAC) vs Dec.....	22
2.4.d - Diferença de Posição em Dec. (Valinhos - UCAC) vs Dec.....	22
2.5.a - Dif. Posição em A.R. vs. Magnitude Valinhos.....	24
2.5.b - Dif. Posição em Dec. vs. Magnitude Valinhos.....	24
2.5.c - Dif. Posição em A.R.(Abs) vs. Magnitude Valinhos.....	25
2.5.d - Dif. Posição em Dec.(Abs) vs. Magnitude Valinhos.....	25
2.6.a - Dif. Posição em A.R. vs. Magnitude UCAC.....	26
2.6.b - Dif. Posição em Dec. vs. Magnitude UCAC.....	26
2.6.c - Dif. Posição em A.R.(Abs) vs. Magnitude UCAC.....	27
2.6.d - Dif. Posição em Dec.(Abs) vs. Magnitude UCAC.....	27
2.7.a - Dif. Posição em A.R. vs. COR (Mag.Val-Mag.UCAC).....	28
2.7.b - Dif. Posição em Dec. vs. COR (Mag.Val-Mag.UCAC).....	28
2.7.c - Dif. Posição em A.R.(Abs) vs. COR (Mag.Val-Mag.UCAC).....	29
2.7.d - Dif. Posição em Dec.(Abs) vs. COR (Mag.Val-Mag.UCAC).....	29
3.1.a - Erros Gaussianos em x vs. Mag UCAC , Telesc. 0,60m.....	46
3.1.b - σ dos Erros Gaus. em x vs. Mag UCAC , Telesc. 0,60m.....	46
3.1.c - Erros Gaussianos em y vs. Mag UCAC , Telesc. 0,60m.....	47
3.1.d - σ dos Erros Gaus. em y vs. Mag UCAC , Telesc. 0,60m.....	47

Figuras:**Página:**

3.2.a	- Erros Gaussianos em x vs. Mag UCAC , Telesc. 1,60m.....	48
3.2.b	- σ dos Erros Gaus. em x vs. Mag UCAC , Telesc. 1,60m.....	48
3.2.c	- Erros Gaussianos em y vs. Mag UCAC , Telesc. 1,60m.....	49
3.2.d	- σ dos Erros Gaus. em y vs. Mag UCAC , Telesc. 1,60m.....	49
4.1.a	- Desv. Padrão (O-C) A.R. vs A.R. Telesc.0,60m e 1,60m.....	57
4.1.b	- Desv. Padrão (O-C) Dec. vs A.R. Telesc.0,60m e 1,60m.....	57
4.1.1.a	- Desv. Padrão (O-C) A.R. vs A.R. Telesc.0,60/ Valinhos.....	58
4.1.1.b	- Desv. Padrão (O-C) Dec. vs A.R. Telesc.0,60/ Valinhos.....	58
4.1.2.a	- Desv. Padrão (O-C) A.R. vs A.R. Telesc.0,60/ UCAC2.....	59
4.1.2.b	- Desv. Padrão (O-C) Dec. vs A.R. Telesc.0,60/ UCAC2.....	59
4.1.3.a	- Desv. Padrão (O-C) A.R. vs A.R. Telesc.1,60/ UCAC2.60.....	60
4.1.3.b	- Desv. Padrão (O-C) Dec. vs A.R. Telesc.1,60/ UCAC2.60.....	60
4.2.a	- Desv. Padrão (O-C) A.R. vs Dec. Telesc.0,60m e 1,60m.....	61
4.2.b	- Desv. Padrão (O-C) Dec. vs Dec. Telesc.0,60m e 1,60m.....	61
4.2.1.a	- Desv. Padrão (O-C) A.R. vs Dec. Telesc.0,60/ Valinhos.....	62
4.2.1.b	- Desv. Padrão (O-C) Dec. vs Dec. Telesc.0,60/ Valinhos.....	62
4.2.2.a	- Desv. Padrão (O-C) A.R. vs Dec. Telesc.0,60/ UCAC2.....	63
4.2.2.b	- Desv. Padrão (O-C) Dec. vs Dec. Telesc.0,60/ UCAC2.....	63
4.2.3.a	- Desv. Padrão (O-C) A.R. vs Dec. Telesc.1,60/ UCAC2.60.....	64
4.2.3.b	- Desv. Padrão (O-C) Dec. vs Dec. Telesc.1,60/ UCAC2.60.....	64
4.3.a	- Desv. Padrão (O-C) A.R. vs Mag., Telesc.0,60m e 1,60m.....	65
4.3.b	- Desv. Padrão (O-C) Dec. vs Mag., Telesc.0,60m e 1,60m.....	65
4.3.1.a	- Desv. Padrão (O-C) A.R. vs Mag., Telesc.0,60/ Valinhos.....	66
4.3.1.b	- Desv. Padrão (O-C) Dec. vs Mag., Telesc.0,60/ Valinhos.....	66
4.3.2.a	- Desv. Padrão (O-C) A.R. vs Mag., Telesc.0,60/ UCAC2.....	67
4.3.2.b	- Desv. Padrão (O-C) Dec. vs Mag., Telesc.0,60/ UCAC2.....	67
4.3.3.a	- Desv. Padrão (O-C) A.R. vs Mag., Telesc.1,60/ UCAC2.60.....	68
4.3.3.b	- Desv. Padrão (O-C) Dec. vs Mag., Telesc.1,60/ UCAC2.60.....	68
4.1.c	- Dif. de Posição (O-R) A.R. vs A.R. Telesc.0,60m e 1,60m.....	69
4.1.d	- Dif. de Posição (O-R) Dec. vs A.R. Telesc.0,60m e 1,60m.....	69
4.1.1.c	- Dif. de Posição (O-R) A.R. vs A.R. Telesc.0,60/ Valinhos.....	70
4.1.1.d	- Dif. de Posição (O-R) Dec. vs A.R. Telesc.0,60/ Valinhos.....	70
4.1.2.c	- Dif. de Posição (O-R) A.R. vs A.R. Telesc.0,60/ UCAC2.....	71
4.1.2.d	- Dif. de Posição (O-R) Dec. vs A.R. Telesc.0,60/ UCAC2.....	71
4.1.3.c	- Dif. de Posição (O-R) A.R. vs A.R. Telesc.1,60/ UCAC2.60.....	72
4.1.3.d	- Dif. de Posição (O-R) Dec. vs A.R. Telesc.1,60/ UCAC2.60.....	72

Figuras:**Página:**

4.2.c	- Dif. de Posição (O-R) A.R. vs Dec. Telesc.0,60m e 1,60m.....	73
4.2.d	- Dif. de Posição (O-R) Dec. vs Dec. Telesc.0,60m e 1,60m.....	73
4.2.1.c	- Dif. de Posição (O-R) A.R. vs Dec. Telesc.0,60/ Valinhos.....	74
4.2.1.d	- Dif. de Posição (O-R) Dec. vs Dec. Telesc.0,60/ Valinhos.....	74
4.2.2.c	- Dif. de Posição (O-R) A.R. vs Dec. Telesc.0,60/ UCAC2.....	75
4.2.2.d	- Dif. de Posição (O-R) Dec. vs Dec. Telesc.0,60/ UCAC2.....	75
4.2.3.c	- Dif. de Posição (O-R) A.R. vs Dec. Telesc.1,60/ UCAC2.60.....	76
4.2.3.d	- Dif. de Posição (O-R) Dec. vs Dec. Telesc.1,60/ UCAC2.60.....	76
4.3.c	- Dif. de Posição (O-R) A.R. vs Mag. Telesc.0,60m e 1,60m.....	77
4.3.d	- Dif. de Posição (O-R) Dec. vs Mag. Telesc.0,60m e 1,60m.....	77
4.3.1.c	- Dif. de Posição (O-R) A.R. vs Mag. Telesc.0,60/ Valinhos.....	78
4.3.1.d	- Dif. de Posição (O-R) Dec. vs Mag. Telesc.0,60/ Valinhos.....	78
4.3.2.c	- Dif. de Posição (O-R) A.R. vs Mag. Telesc.0,60/ UCAC2.....	79
4.3.2.d	- Dif. de Posição (O-R) Dec. vs Mag. Telesc.0,60/ UCAC2.....	79
4.3.3.c	- Dif. de Posição (O-R) A.R. vs Mag. Telesc.1,60/ UCAC2.60.....	80
4.3.3.d	- Dif. de Posição (O-R) Dec. vs Mag. Telesc.1,60/ UCAC2.60.....	80
4.4.c	- Dif. de Posição (O-R)Abs A.R. vs Mag. Telesc.0,60m e 1,60m.....	81
4.4.d	- Dif. de Posição (O-R)Abs Dec. vs Mag. Telesc.0,60m e 1,60m.....	81
4.4.1.c	- Dif. de Posição (O-R)Abs A.R. vs Mag. Telesc.0,60/ Valinhos.....	82
4.4.1.d	- Dif. de Posição (O-R)Abs Dec. vs Mag. Telesc.0,60/ Valinhos.....	82
4.4.2.c	- Dif. de Posição (O-R)Abs A.R. vs Mag. Telesc.0,60/ UCAC2.....	83
4.4.2.d	- Dif. de Posição (O-R)Abs Dec. vs Mag. Telesc.0,60/ UCAC2.....	83
4.4.3.c	- Dif. de Posição (O-R)Abs A.R. vs Mag. Telesc.1,60/ UCAC2.60.....	84
4.4.3.d	- Dif. de Posição (O-R)Abs Dec. vs Mag. Telesc.1,60/ UCAC2.60.....	84
4.5.1	- Dif. de Posição Monogr.- Zacharias A.R.vs. A.R. c/ correção.....	89
4.5.1a	- Dif. de Posição Monogr.- Zacharias A.R.vs. A.R. s/ correção.....	89
4.5.2	- Dif. de Posição Monogr.- Zacharias Dec. vs. A.R. c/ correção.....	89
4.5.2a	- Dif. de Posição Monogr.- Zacharias Dec. vs. A.R. s/ correção.....	89
4.5.3	- Dif. de Posição Monogr.- Zacharias A.R.vs. Dec. c/ correção.....	90
4.5.3a	- Dif. de Posição Monogr.- Zacharias A.R.vs. Dec. s/ correção.....	90
4.5.4	- Dif. de Posição Monogr.- Zacharias Dec. vs. Dec. c/ correção.....	90
4.5.4a	- Dif. de Posição Monogr.- Zacharias Dec. vs. Dec. s/ correção.....	90

INTRODUÇÃO

Para o estudo cinemático do Universo, qualquer sistema de referência, desde que devidamente definido, permite a descrição dos fenômenos celestes. Desta forma durante séculos, na Antiguidade, a Astronomia se baseou sempre em sistemas de referência **arbitrários**. Historicamente temos conhecimento de inúmeros catálogos estelares constituindo estes sistemas.

No começo da era moderna do conhecimento, Copérnico (1473-1543) já introduzira intuitivamente a idéia de referencial inercial usando um sistema de coordenadas centrado no Sol, com eixos orientados pelas estrelas, o que simplificou substancialmente a descrição do movimento dos planetas. Mais tarde Galileu Galilei (1564-1642) demonstrou que a lei da Inércia só é válida para sistemas de referência **absolutos ou inerciais**. Com o advento da mecânica de Newton (1642-1727), a Astronomia passou então a ocupar-se da tarefa de realizar um sistema inercial ou fundamental a partir da observação dos objetos celestes satisfazendo os princípios fundamentais da dinâmica.

O atual sistema de referência, sendo heliocêntrico, não é a rigor inercial devido à rotação da Via-Láctea. Mesmo um sistema centrado na galáxia, com eixos orientados por objetos muito distantes pode não ser inercial na medida em que nossa Galáxia é acelerada pela interação gravitacional com o grupo local e assim por diante. Além disso, mesmo os objetos distantes podem vir a ter movimentos detectáveis dentro da precisão da época. Entretanto, para a época atual estes sistemas podem ser considerados como quase inerciais.

Considerando que os quasares são objetos extragalácticos extremamente longínquos e portanto de movimento praticamente imperceptível para nossa época, constituem, sob este aspecto, objetos ideais para definição de um sistema fundamental. Entretanto eles são de brilho visual extremamente fraco, sendo em geral fontes rádio emissoras.

Até algumas décadas atrás, as medições de posição derivadas de observações radioastronômicas apresentavam precisões muito inferiores em relação às obtidas na astronomia ótica. Com o avanço de técnicas interferométricas aplicadas à radioastronomia a partir da década de 70, excelentes resultados passaram a ser obtidos. Durante a década de 80, com o uso da radio-interferometria de longa distância, ou VLBI (Very Long Base Interferometry), pôde-se obter medidas de posição de quasares com precisão da ordem de 1 mili-segundo de arco ("mas"), ao passo que as coordenadas das estrelas do sistema fundamental FK5 possuem precisão de 40 mas.

Considerando os fatos acima, a União Astronômica Internacional (IAU) em 1997, finalmente tomou a decisão de definir as posições VLBI de cerca de 600 radiofontes extragalácticas, como representantes do novo sistema fundamental de referência, o qual veio a substituir o FK5, após consolidação dos resultados do catálogo da missão espacial HIPPARCOS.

Os planos fundamentais do catálogo FK5 são definidos a partir de observações estelares e de corpos do sistema solar, obtendo-se as coordenadas equatoriais das estrelas neste sistema.

Nas determinações de posições VLBI, as declinações são absolutas e as ascensões retas são relativas, porquanto a eclíptica não é dedutível a partir das observações de fontes de rádio. Portanto, para aferir a origem em ascensão reta no sistema VLBI foi necessário relacioná-lo com o sistema ótico fundamental representado pelo FK5, visando-se manter a mesma origem em A.R. que no sistema equatorial.

A conexão entre o sistema ótico e rádio pode ser feita a partir da determinação das posições óticas de radiofontes galácticas (estrelas rádio) e extragalácticas (galáxias rádio e quasares), (ver Assafin, 1996).

No caso da determinação ótica da posição de estrelas rádio, estas se apresentam com magnitudes próximas das estrelas de referência usadas em catálogos, facilitando muito o processo aquisição e redução, permitindo obter melhor qualidade da posição ótica. Por outro lado, o número de estrelas rádio catalogadas é muito inferior ao de quasares, isto porque o fluxo rádio é menor e mais irregular, e portanto a qualidade das posições rádio não é também muito boa.

Em relação às galáxias rádio, estas apresentam um aspecto difuso, dificultando a determinação do seu centro ótico, e são por isto preteridas em relação aos quasares.

Quanto aos quasares, a maior dificuldade é devido as magnitudes muito elevadas dos mesmos, dificultando a comparação com estrelas de referência.

Atualmente, o sistema de referência fundamental utilizado é o Internacional Celestial Reference System (ICRS). Este sistema é materializado pelo Internacional Celestial Reference Frame (ICRF). O ICRF consiste em posições rádio interferométricas precisas (Very Long Baseline Interferometry - VLBI) de 608 radiofontes extragalácticas. O ICRF, apesar de extremamente preciso, apresenta a desvantagem fundamental de ser um sistema definido na banda rádio de comprimento de onda. Também é baseado em um número relativamente pequeno de objetos extragalácticos (608 fontes).

Os sistemas óticos podem ser ligados com precisão a um referencial inercial rádio por meio de fontes rádio pontuais extragalácticas, ou seja, quasares. No entanto, esta ligação não é simples. Com efeito, para o catálogo HIPPARCOS, as magnitudes limites ($V=11$) estão muito abaixo das magnitudes dos quasares ($V=19$). Portanto, neste catálogo não existem quasares observados. A ligação direta entre as posições das estrelas do catálogo e o sistema inercial tem que ser feita por processos indiretos, com a elaboração de catálogos secundários. Ainda, no HIPPARCOS foram usadas originalmente estrelas rádio para conectar o catálogo ao sistema rádio. Uma forma adequada de manter a boa conexão do catálogo HIPPARCOS com o sistema inercial, é a observação no ótico, dos quasares do ICRF.

No domínio ótico os catálogos que melhor representam o sistema fundamental são os catálogos HIPPARCOS e TYCHO, devido a sua grande precisão e ainda por terem

sido orientados em relação ao ICRF. Mais recentemente, foi editado também o catálogo preliminar do UCAC (US Naval Observatory CCD Astrograph Catalog), atualmente com sua segunda edição UCAC II, representando um excelente recurso astrométrico, pela sua precisão e quantidade de estrelas catalogadas

A determinação de posições precisas de fontes de rádio extragalácticas no referencial HIPPARCOS nos permitem verificar a orientação entre os sistemas de referência ótico e rádio. Neste contexto, um programa observacional de longo período iniciou-se em 1997, envolvendo três instrumentos distintos: o Círculo Meridiano CCD de Valinhos, IAG/USP, e os telescópios Cassegrain de 0,60m e 1,60m do Laboratório Nacional de Astrofísica, LNA/MCT. A lista é composta de 409 radiofontes ICRF distribuídas entre $+20^\circ < \delta < -80^\circ$ no céu.

Para obter as posições óticas precisas dos quasares, no referencial HIPPARCOS, as posições CCD dos quasares medidos no 1,60m do LNA foram obtidas em relação a catálogos secundários elaborados com imagens do telescópio de 0,60m do LNA. Neste estudo, catálogos secundários obtidos com o Círculo Meridiano de Valinhos também foram produzidos.

O objetivo principal desta monografia é a determinação de posições óticas precisas de um grupo de fontes de rádio extragalácticas (quasares) no referencial HIPPARCOS visando checar os procedimentos de observação e redução do programa do LNA, para proceder a redução dos dados ainda não trabalhados. Como resultado, procedemos também uma análise da performance astrométrica dos instrumentos utilizados, bem como dos catálogos de Valinhos e UCAC. Visamos também avaliar a influência das diversas variáveis sobre os erros nas coordenadas de posição dos objetos celestes

Para isso, foram comparadas as posições óticas obtidas com as posições VLBI do ICRF. O sistema ótico é representado pelos catálogos de Valinhos e UCAC.

No Capítulo 1 falaremos sobre os Sistemas de referência, apresentando as características do ICRF, os principais catálogos derivados da missão Hipparcos, e o catálogo UCAC. No Capítulo 2, falaremos do programa em andamento do LNA para medição das posições óticas de quasares, visando a comparação das mesmas com as posições VLBI, e falaremos do programa de Valinhos. Ainda fazemos análise comparativa do catálogo UCAC com posições estelares obtidas no programa de Valinhos, aqui referidos como lista de Valinhos, visando verificar eventual influência de filtro V, usado no programa Valinhos, com observações em R como é o catálogo UCAC. São apresentados também neste capítulo as principais características dos instrumentos e detectores utilizados no LNA. Apresentamos no Capítulo 3 os procedimentos para determinação de posição dos quasares e uma avaliação dos erros internos nos trabalhos de redução. No Capítulo 4, são apresentadas as posições óticas precisas de fontes ICRF, determinadas com o uso dos telescópios de 0,60m e 1,60m e os catálogos de Valinhos e UCAC. Neste Capítulo apresentamos também uma comparação das medições obtidas nesta monografia com outra importante lista no ótico (Zacharias et al., 1999). Fechamos nossas conclusões com o Capítulo 5.

CAPÍTULO 1 - Sistemas de Referência e Catálogos

Como é bem conhecido desde Galileu, o sistema inercial é fundamental para que se possa descrever adequadamente os movimentos dos objetos. Desta forma, a procura de um referencial inercial constitui de longa data um dos objetivos da astronomia.

Pode-se dizer que em nossos dias este objetivo está sendo alcançado, dentro de uma precisão satisfatória para a nossa época. Isto se tornou possível apenas com a observação de fontes na banda rádio, ou seja com a radioastronomia, definindo um sistema (ICRS) independente da observação de estrelas e objetos do sistema solar.

A conexão entre o sistema Hipparcos na faixa ótica e o sistema na faixa rádio, materializado pelo ICRF, é entretanto de grande interesse para se verificar o alinhamento entre os mesmos. Dai a importância de apresentarmos aqui as principais características do sistema na banda rádio e dos principais catálogos da faixa ótica, derivados da missão espacial Hipparcos.

Igualmente importante no ótico, por sua precisão e quantidade de estrelas é o catálogo UCAC, com projeto ainda em andamento, sobre o qual apresentamos também as suas características.

1.1 – Características do ICRF (International Celestial Reference Frame)

Atualmente, o International Celestial Reference Frame (ICRF) (Ma e col., 1998) é o referencial fundamental o qual foi estabelecido pela comunidade astronômica, passando a vigorar após o congresso de 1997 da “International Astronomical Union” (IAU) em Kyoto (da Silva Neto, D.N., 2003). A origem deste sistema é o baricentro do sistema solar. As direções dos seus eixos são fixadas em relação a quasares distantes, com ângulos de rotação em relação ao Hipparcos, considerados nulos frente aos erros dos mesmos. Eles são alinhados com o os do FK5 (Kaplan e col., 1982), dentro da incerteza deste último: 45 mili-segundos de arco (mas) para o pólo e 80 mas para a origem das ascensões retas. O ICRS é materializado pelo “International Celestial Reference Frame” (ICRF), o qual consiste de posições rádio interferométricas precisas (Very Long Baseline Interferometry – VLBI) de 608 fontes de rádio extragaláticas, em sua maioria (80%), com magnitudes acima de 17, derivadas de cerca de 1,6 milhões de observações VLBI entre 1979 e 1995 com erro de posição menor que 1 mas.

Homogeneamente distribuídas por toda a esfera celeste, estas fontes de rádio podem ser divididas em 3 grupos: 212 fontes melhor observadas, com incerteza média de 0,4 mas nas posições individuais (fontes definidoras); 294 fontes ainda com pouca observação (fontes candidatas); 102 fontes menos apropriadas para uso astrométrico.

1.2 - Características do catálogo HIPPARCOS (High Precision Parallax Collecting Satellite)

Este catálogo foi obtido pelo satélite artificial Hipparcos (ESA, 1997) em órbita geo-estacionária , com 118.212 estrelas distribuídas em toda esfera celeste. Teve o objetivo obter um grande aumento de precisão nas medidas de posição, movimentos próprios e paralaxes trigonométricas das estrelas.

O satélite Hipparcos /ESA operou de 27 de novembro de 1989 até 16 de agosto de 1993 .

Após muitos contratemplos, que resultaram inclusive em órbita diferente da prevista, a missão foi encerrada quando somente 1 dos 5 giroscópios do satélite continuava funcionando. Com isso, o tempo útil da missão foi de cerca de 60 % do tempo total.

Como resultado das observações feitas durante a missão Hipparcos , foram construídos os catálogos Hipparcos e Tycho, que no âmbito dos comprimentos de onda visível, até agora são os que melhor representam o sistema fundamental .

Um sumário das características básicas do catálogo HIPPARCOS é dado na tabela 1.1 a seguir :

Tabela 1.1 - Características do catálogo HIPPARCOS .

Época média das observações	J1991,25
Sistema de referência	ICRS
Densidade	Aprox. 3 Estrelas / grau ²
Numero de objetos	118.218
Precisões para magnitude instrumental $m_v < 9$	α : 0,77 mas $\mu\alpha$: 0,88 mas / ano δ : 0,64 mas $\mu\delta$: 0,74 mas / ano π : 0,97 mas
Erros nas determinações das distâncias	erro < 10% p/ 20853 estrelas (d aprox. 100 pc) erro < 20% p/ 49399 estrelas (d aprox. 200 pc)
Magnitude limite	$V = 12,4$
Erro médio nas Magnitudes para $m_v < 9$	0,0015
Numero de observações por estrela	100
Precisão do alinhamento com o ICRF	0,6 mas ; 0,25mas/ano

1.3 - Características do catálogo TYCHO 1

O catálogo Tycho 1 (ESA, 1997) é um subproduto da missão Hipparcos , confeccionado pelo consórcio “Tycho Data Analysis Consortium” (TDAC), a partir dos dados coletados pelos mapeadores estelares responsáveis pela orientação do satélite por observações de estrelas de posições conhecidas. (Hog e col., 1997)

Este catálogo foi elaborado com dados estelares de menor precisão, tendo sido divulgado posteriormente a segunda versão (ver item seguinte) com mais estrelas e melhor precisão. As magnitudes são apresentadas em duas bandas B e V

Um sumário das características básicas do catálogo TYCHO-1 é dado pela tabela 1.2 a seguir:

Tabela 1.2 - Características do catálogo TYCHO 1.

Época média das observações	J1991,25
Sistema de referência	ICRS
Densidade	Aprox. 27 estrelas / grau ²
Número de objetos	1.058.332
Precisões : posicional : Mov. próprio :	α e δ : 24 mas (7 mas p/ V < 9) $\mu\alpha$ e $\mu\delta$: mal determinados
Magnitude limite	V < 11,5
Erro médio nas magnitudes - Para V < 9 - Para 10 mil estrelas fracas	B: 0,07 V: 0,06 B-V : 0,10 B: 0,014 V: 0,012 B-V : 0,019 B e V : 0,03
Número de observações por estrela	130

1.4 - Características do Astrographic Catalog Tycho (ACT)

O catálogo ACT contém cerca de 1 milhão de estrelas distribuídas por toda a esfera celeste. Sua criação teve como motivação fornecer movimentos próprios bem determinados para a maioria das estrelas Tycho.

Este catálogo é uma combinação das posições contidas no catálogo Tycho, que contém movimentos próprios mal determinados, com o AC2000 (ver Urban, 1998a e 1998b), obtido a partir de novas reduções feitas no sistema HIPPARCOS para a época das observações das placas do Astrographic Catalog (AC).

O AC2000 contém 4.621.836 estrelas com magnitude até 13,0, sendo completo para magnitudes até 11,0. O ACT contém movimentos próprios determinados com muita acurácia, devido ao fato do projeto AC ter sido iniciado a mais de 100 anos, por volta de 1890 e das posições do Tycho serem recentes (época 1991,25).

A seguir apresentamos um quadro (tabela 1.3), com as principais características do catálogo ACT.

Tabela 1.3 - Características do catálogo ACT

Época do catálogo	J1991,25
Sistema de referência	ICRS
Densidade	Aprox. 25 estrelas / grau ²
Número de objetos	988.758
Completeza	$V < 11,0$
Precisões :	posicional : α e δ : 24 mas (7 mas p/ $V < 9$)
	Mov. próprio : $\mu\alpha$ e $\mu\delta$: bem determinados
Magnitude limite	$V = 13,0$

1.5 - Características do catálogo TYCHO-2

O Tycho-2 é um Catálogo (Hog et al. 2000a, 2000b) de referência astrométrico editado em Fevereiro de 2000, baseado na missão espacial ESA Hipparcos e vários catálogos com observações em terra para movimentos próprios. Foi elaborado a partir de uma nova redução de dados observacionais disponíveis para a confecção do Tycho-1.

Este catálogo contém posições, movimentos próprios bem como dados fotométricos para cerca de 2,5 milhões de estrelas. Estão incluídas componentes de estrelas duplas com separação de até 0,8 arcsegundo.

As posições e magnitudes do Tycho-2 estão baseadas nas mesmas observações do Catálogo Tycho-1, coletadas pelo satélite HIPPARCOS, mas o Tycho-2 é muito mais extenso e um pouco mais preciso, devido à uma técnica de redução mais avançada. (Zacharias et al., 2000).

Os movimentos próprios com precisão da ordem de 2,5 mas/ano são apresentados como resultantes do uso adicional do Astrographic Catalog (AC2000) (Urban e col., 1998b) e de 143 outros catálogos, todos reduzidos para o sistema de coordenadas do Hipparcos. Apenas 100.000 estrelas não puderam ter movimento próprio calculado.

A tabela 1.4 abaixo resume as principais características do catálogo Tycho-2.

Tabela 1.4 - Características principais do catálogo Tycho-2 .

Época média das observações c/ satélite	J1991,5
Sistema de referência	ICRS
Coincidência com HIPPARCOS	$\pm 0,6$ mas
Densidade	Aprox. 25 a 150 estrelas / grau ²
Número de objetos	2.539.913
Precisões : posicional: Mov. próprio :	α e δ : 60 mas (7 mas p/ $V < 9$) $\mu\alpha$ e $\mu\delta$: 2,5 mas/ano
Magnitude limite	$V < 11,5$
Erro médio nas magnitudes - Para $V < 9$ - Para todas estrelas	0,013 mag 0,10 mag
Número de observações	Aprox. 300 milhões

1.6 – Características do catálogo UCAC 1

O catálogo preliminar UCAC 1 (US Naval Observatory CCD Astrogaph Catalog) começou a ser desenvolvido em 1998 em Cerro Tololo Inter-American Observatory (CTIO), Chile. Sua primeira edição (Zacharias et al. 2000), com cerca de 27 milhões de estrelas, ocorreu em março de 2000. As imagens foram obtidas com filtro vermelho (R), na faixa de 550-710nm. Nesta primeira edição, são incluídos dados obtidos até Novembro de 1999, portanto sua época média é cerca de 1999.0. A área de cobertura foi de aproximadamente 85 % do Hemisfério Sul. O catálogo UCAC é um programa

ainda em andamento sendo previsto sua conclusão com a cobertura total do céu em meados de 2004.

A precisão do catálogo UCAC 1 é uma função nítida da magnitude. Os resultados mais precisos são para estrelas na faixa de magnitude 10 a 14, com precisão de aproximadamente 20 mas. Para estrelas mais fracas, indo até magnitude 16, há uma degradação da precisão, cujo erro chega a 70 mas.

O UCAC 1 foi reduzido usando *Hipparcos*, Tycho-1 e o ACT e portanto depende principalmente do catálogo Tycho-1. Os movimentos próprios são derivados com o AC2000. Em particular, para todas as estrelas fracas do Tycho-2 que não estão incluídas no Tycho-1 e portanto não foram usadas como estrelas de referência, as posições do UCAC 1 são independentes das posições do catálogo Tycho-2. Ambos Tycho-2 e UCAC 1 estão referidos ao mesmo sistema *Hipparcos*.

Também foram incluídos no catálogo, movimentos próprios derivados do Tycho-1, *Hipparcos* e USNO A2.0. Os erros são da ordem de 1-5 mas / ano e 10 a 15 mas / ano para os derivados respectivamente do Tycho-2 e USNO A2.0. Quanto a fotometria, é relativamente pouco precisa, com erros em magnitudes de aproximadamente 0,1 a 0,3.

O catálogo UCAC 1 possui densidade estelar apenas 10 % da disponível no catálogo USNO A2.0. Contudo o UCAC 1 é cerca de 5 vezes mais preciso em posição do que o catálogo USNO A2.0

Em comparação com o Guide Star Catalog (GSC), o UCAC 1 possui o dobro da densidade estelar, e é também mais preciso. O UCAC 1 está orientado pelo International Celestial Reference System (ICRS), enquanto o GSC está orientado pelo mesmo sistema do FK5.

A tabela 1.5 a seguir resume as características principais do catálogo UCAC 1 :

Tabela 1.5 - Características do catálogo UCAC 1.

Época média das observações	1999.0
Sistema de referência	ICRS
Área de cobertura	85 % do hemisfério Sul
Densidade média	Aprox. 1700 Estrelas / grau ²
Numero de objetos	27 milhões
Magnitude R	Precisão de posição
7,5	> 60 mas
10,0 a 14,0	20 mas
16,0	70 mas
Erros de movimento próprio	
Aprox. 2 milhões estrelas	1 a 5 mas/ano → Tycho-2 e outros
Aprox. 25 milhões estrelas	10 a 15 mas/ano → USNO A2.0
Magnitude limite	V = 16
Erro médio nas Magnitudes R	0,1 a 0,3
Numero de imagens CCD	79.686
Erro de alinhamento com o ICRF	Considerado nulo frente aos erros

1.7 - Características do catálogo UCAC 2

O UCAC2 é a segunda edição do projeto UCAC (web page <http://ad.usno.navy.mil/ucac/>), ainda em andamento, visando a observação de toda a esfera celeste, para estrelas de magnitude R na faixa de 7,5 a 16. Nesta edição são incluídos dados de observações feitas até 08 de dezembro de 2002. É previsto a conclusão das observações em meados de 2004 e edição final do catálogo em 2005.

As observações se iniciaram em Janeiro de 1998 no CTIO (Cerro Tololo Interamerican Observatory) – Chile, onde o hemisfério Sul inteiro e metade do hemisfério Norte foram observados. Em outubro de 2001 os instrumentos foram deslocados para o “Naval Observatory Flagstaff Station (NOFS) no Arizona para continuar as observações do hemisfério Norte. A cobertura completa do céu de pólo à pólo é esperada para 2004. Esta segunda e última edição antes da final, cobre cerca de 86% da esfera celeste.

As observações foram feitas na faixa 579 a 642 nm, assim as magnitudes se situam entre Johnson V e R. Não se teve o objetivo de obter alta qualidade nos dados de fotometria no CCD, tendo-se feito observações inclusive em noites com nuvens Cirrus. Foram feitas imagens de Flat field's porém não aplicadas ao processamento do UCAC 2.

Enquanto o UCAC1 utiliza os catálogos HIPPARCOS e ACT como referência, o UCAC2 foi processado usando as estrelas do Tycho-2. Isto dobra o número de estrelas de referência por imagem, entretanto os erros posicionais das estrelas mais fracas são significativamente maiores.

A precisão posicional observada é idêntica à do UCAC1, ou seja, erros de 20 mas para estrelas na faixa de magnitude 10 a 14 e cerca de 70 mas para as estrelas com magnitude próximas de 16.

Entretanto, a quantidade de estrelas é bastante superior, aproximadamente 48 milhões, de um total de 58 milhões já observadas, cobrindo também uma área maior do céu, com declinações no hemisfério norte indo até +40 graus ou +52 graus, variando com a ascensão reta.

São relacionados movimentos próprios e magnitudes para todas as estrelas. As posições e movimentos próprios estão referidos ao ICRS (International Celestial Reference System) e fornecidos para a época J2000.0.

Os movimentos próprios das estrelas brilhantes ($R = 8$ a $12,5$) foram derivados usando a combinação de catálogos de Círculos de Trânsito, e observações de satélite que geraram o Hipparcos e Tycho-2. Para estrelas fracas ($R = 12,5$ a 16), dados do Lick Northern Proper Motions (NPM, Jones et al. 2000) e do Yale Southern Proper Motions (SPM, van Altena et al. 1999) foram utilizados

Os erros em movimento próprio para estrelas brilhantes são cerca de 1 a 3 mas/ano, principalmente devido ao espaçamento de época envolvido. Para as estrelas fracas os erros típicos são da ordem de 4 a 6 mas/ano.

O catálogo UCAC2 não é, entretanto, completo mesmo dentro de sua área de cobertura devido as seguintes razões de exclusões de estrelas:

- Estrelas brilhantes saturadas, com magnitude inferior a 8
- Estrelas múltiplas com separação inferior a 3 arcseg.
- Estrelas com 2 ou menos de 2 observações.
- Estrelas com movimento próprio superior a 180 mas/ano em qualquer coordenada.
- Estrelas com indefinição de movimento próprio devido a falta de dados por período superior a 10 anos.
- Estrelas com erro de movimento próprio superior a 20 mas/ano em qualquer coordenada.

Os erros em magnitude são de aproximadamente 0,3 mag (absoluto).

A tabela 1.6 abaixo resume as características principais do catálogo UCAC2:

Tabela 1.6 - Características do catálogo UCAC 2 .

Época média das observações	1998 / 2002
Sistema de referência	ICRS
Área de cobertura	86 % da esfera celeste
Densidade média	Aprox. 1.362 Estrelas / grau ²
Numero de objetos	48.330.571
Magnitude 7,5 10,0 a 14,0 16,0	Precisão de posição > 60 mas 20 mas 70 mas
Erros de movimento próprio Mag aprox. 12 Para estrelas mais fracas	1-3 mas/ano → Tycho-2 e outros 4-6 mas/ano → NPM, SPM
Magnitude limite	$V = 16$
Erro médio nas Magnitudes	0,1 a 0,3
Alinhamento com o ICRF	0 +/- 4 mas

CAPÍTULO 2 - Programas LNA, Valinhos e catálogo UCAC

Após a resolução da International Astronomical Union (IAU) de agosto de 1997, oficializando o uso do ICRS e o ICRF, um grande esforço, de âmbito mundial, tem sido feito no sentido de estender os catálogos óticos representativos do ICRS, através de observações feitas em terra. Visa-se também verificar o correto alinhamento entre os sistemas representados por estes catálogos e o ICRS. São resultados deste esforço os catálogos USNO-A.2.0 (Monet et al. 1998) e o projeto UCAC (Zacharias et al. 2000), cujo catálogo deverá ser finalizado em meados de 2005..

Procurando participar também deste esforço coletivo, foi proposto no mesmo ano o Programa LNA, com metas de observações de fontes ICRF na faixa de declinações do hemisfério Sul e parte do hemisfério Norte. Previa-se para isto o uso dos telescópios de 0,60m e 1,60m do LNA.

Considerando a baixa densidade dos catálogos disponíveis na ocasião, as magnitudes elevadas das fontes ICRF a observar, e as dimensões relativamente pequenas dos campos dos telescópios em questão, era necessário o levantamento de dados de posição de estrelas atendendo os requisitos acima, e em quantidade suficiente para servirem como catálogo secundário a ser usado com o telescópio de 0,60m. Com este objetivo, foi proposto o Programa Valinhos, o qual com o Círculo Meridiano (CMV) gerou uma lista de posições de estrelas em cerca de 25 campos de quasares, tendo como catálogo de referência original o Tycho-2.

Paralelamente, começou a ser desenvolvido em 1998, o catálogo UCAC, com previsão de quantidade de estrelas e precisões muito superiores as obtidas com o CMV. Entretanto, o catálogo UCAC está sendo feito com observações em R, enquanto as imagens obtidas com os telescópios do LNA, foram feitas com observações em V.

Atualmente o Programa Valinhos encontra-se paralisado, devido a problemas técnicos com o CM, e o Programa UCAC já emitiu a segunda edição do seu catálogo.

Torna-se portanto de interesse o uso do catálogo UCAC, desde que esclarecida a adequação ou não do uso do catálogo UCAC com filtro R, para observações em V.

Desta forma, estamos apresentando neste capítulo, os Programas LNA e Valinhos, e a seguir uma comparação da lista de posições obtidas com CMV, com o catálogo UCAC. Serão mostradas também as características dos instrumentos e detectores utilizados para a obtenção das imagens.

2.1 Programa do LNA e Valinhos

Visando a determinação de posições óticas precisas de fontes de rádio no referencial Hipparcos, um programa observacional de longo período teve início em 1997, envolvendo o uso de três instrumentos, o Círculo Meridiano de Valinhos (CMV), do Observatório Abrahão de Moraes, situado na cidade de Valinhos, São Paulo, e os telescópios de 0,60m e 1,60m do Laboratório Nacional de Astrofísica em Itajubá, MG. (Assafin, M. e col., 2002)

O objetivo com o uso dos três instrumentos era obter imagens com magnitudes crescentes, resultando em catálogos secundários e terciários para permitir reduções das imagens dos telescópios de 0,60m e 1,60m, considerando as magnitudes elevadas dos quasares.

O produto final do programa Valinhos ficou na forma de um catálogo secundário contendo posições e magnitudes para centenas de objetos, correspondentes aos campos de 25 quasares.

Como o CMV é um instrumento destinado a observação de passagens, ele não acompanha o movimento diurno dos astros. Com isso, é necessária a utilização de um artifício na parametrização do CCD, para que possamos obter imagens bem definidas.

Utilizando a velocidade de descarga do CCD, controlada por um relógio de rubídio, igual a velocidade de passagem pelo plano focal do CM, calculada em função da declinação do campo, à medida que um astro percorre uma linha de pixels, a carga também passa de um pixel para o outro, sincronizadamente. Este método se denomina varredura sincronizada. Desta forma, obtemos imagens do céu, estendendo-se por uma faixa de ascensão reta dependente do intervalo de observação.

Observamos que este procedimento é diferente da projeção gnomônica, normalmente utilizada nos telescópios e CCD.

O programa LNA contempla cerca de 410 fontes de radio ICRF distribuídas entre $+20^\circ < \delta < -75^\circ$ no céu. As posições das estrelas derivadas do CM e referidas ao sistema Hipparcos, resultaram em um "catálogo" secundário de referência para as reduções de campos CCD observados com o telescópio de 0,60m. As posições obtidas com estas reduções, por sua vez, foram usadas como catálogo terciário para uso com o telescópio de 1,60m, com o qual foram obtidas as posições finais.

Para as reduções das imagens do CMV, foi usado como catálogo de referência o Tycho-2. Foram calculadas também as magnitudes Visuais. (Lopes, P.A.A. et al. 1999).

Os campos obtidos com o CMV são em média de 13' em declinação por 30 minutos de tempo em ascensão reta. Entretanto, só 13'x 15' são efetivamente aproveitados. Os campos dos telescópios de 0,60m e 1,60m são respectivamente 10'x 10' e 5'x 5'.

Até o momento foram observados 392 quasares com o telescópio de 0,60m, 325 com o 1,60m e 323 com ambos os telescópios. O programa de Valinhos gerou posições de estrelas de 25 campos de quasares, encontrando-se atualmente paralizado devido a problemas técnicos.

Nos gráficos das figuras 2.1.a,b,c,d estão plotados a posição em A.R. e Dec. dos quasares observados e a observar para os telescópios de 0,60m e 1,60m.

A distribuição dos quasares observados e a observar versus A.R. e Dec. para os telescópios de 0,60m e/ou 1,60m, é apresentada nos gráficos 2.2. a,b,c,d, e 2.3 a,b.

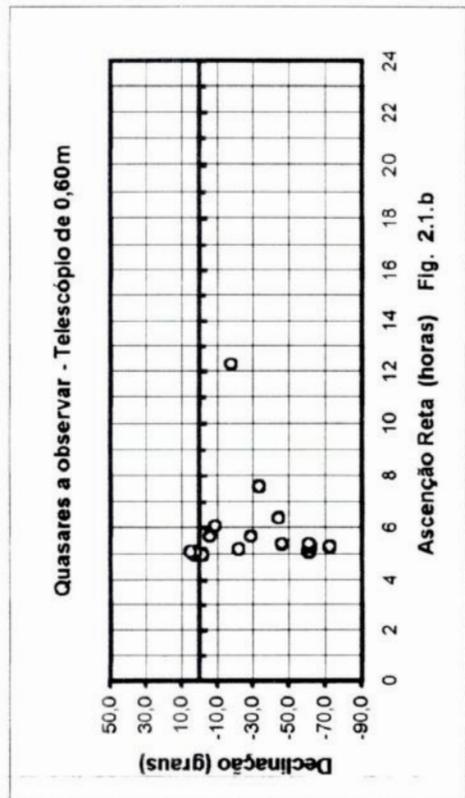
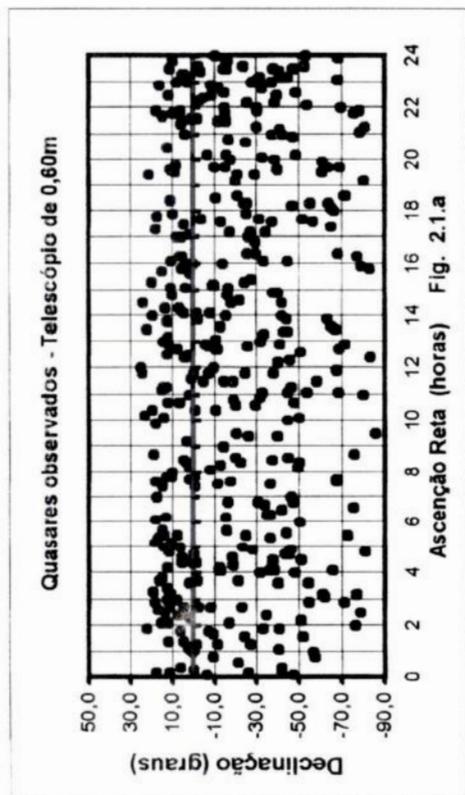


Fig. 2.1.a e b - Posição das fontes ICRF em A.R. e Dec., observadas e a observar no telescópio de 0,60m. do LNA

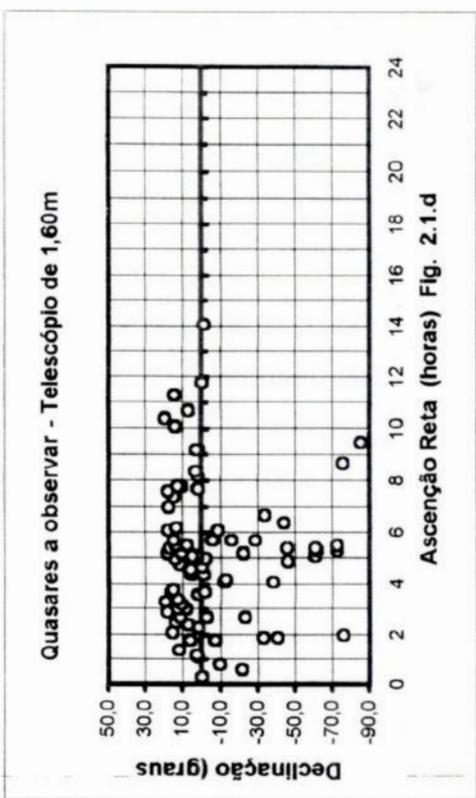
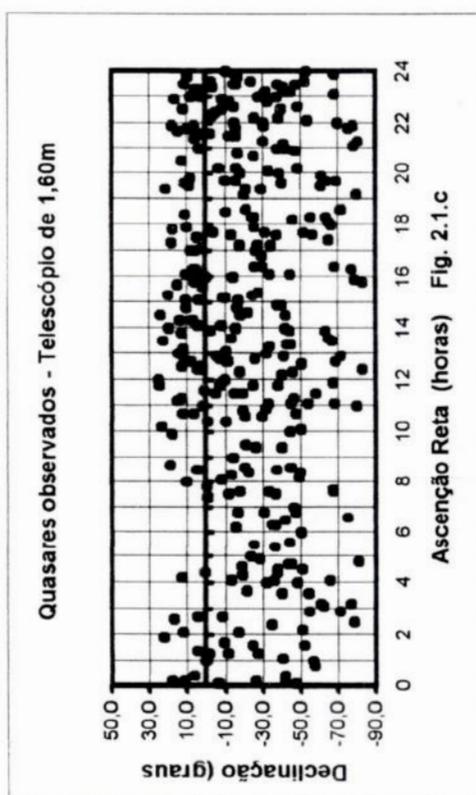


Fig. 2.1.c e d - Posição das fontes ICRF em A.R. e Dec., observadas e a observar no telescópio de 1,60m. do LNA

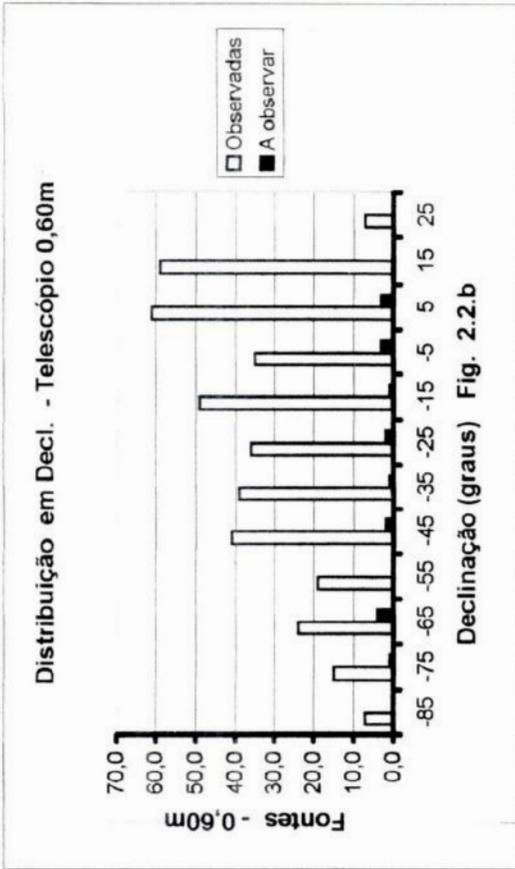
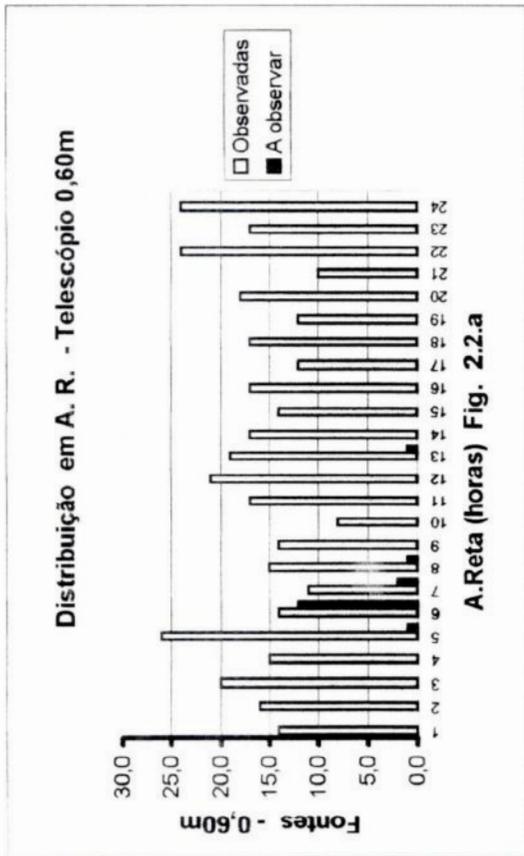


Fig. 2.2.a e b - Quantidade de Fontes ICRF observadas e a observar no telescópio de 0,60m do LNA

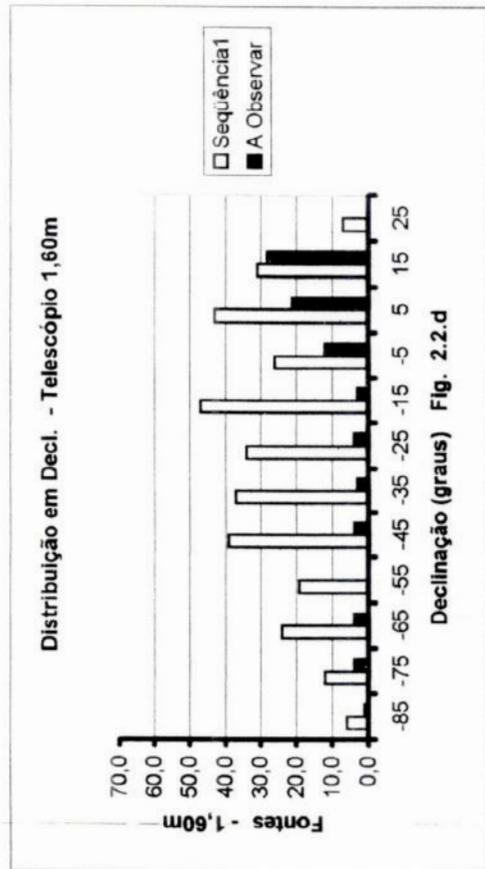
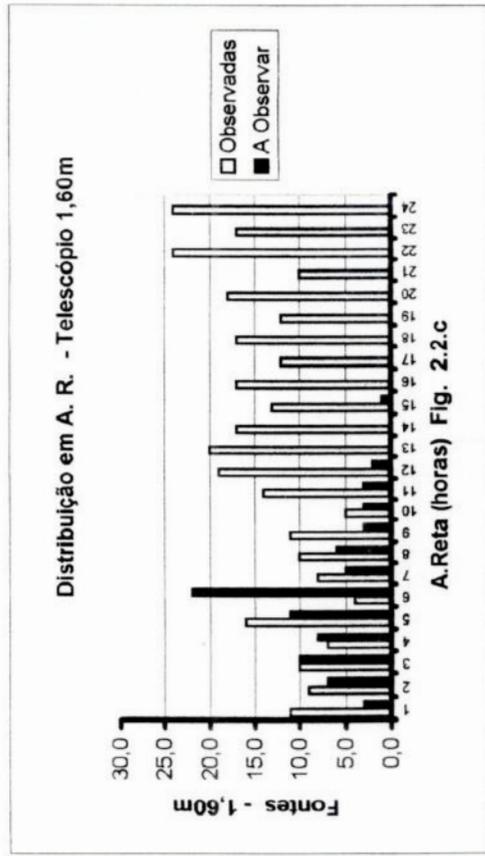


Fig. 2.2.c e d - Quantidade de Fontes ICRF observadas e a observar no telescópio de 1,60m do LNA

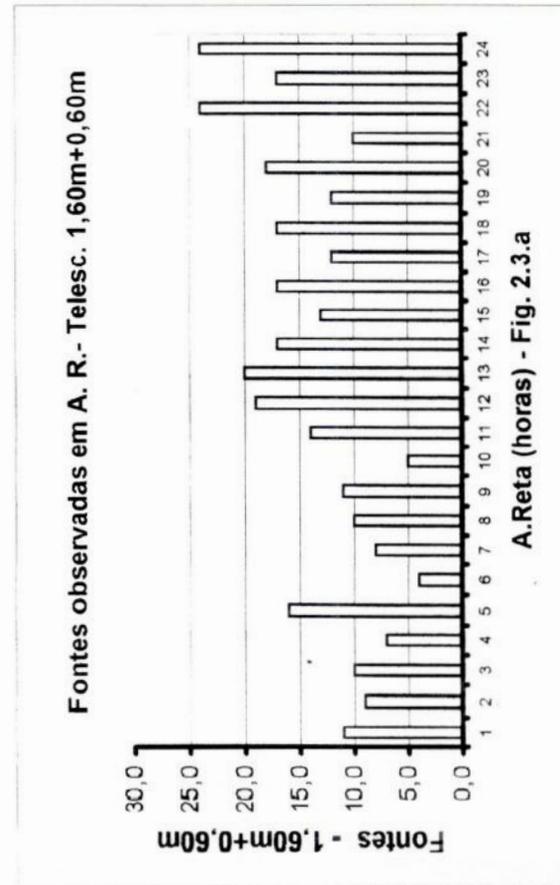
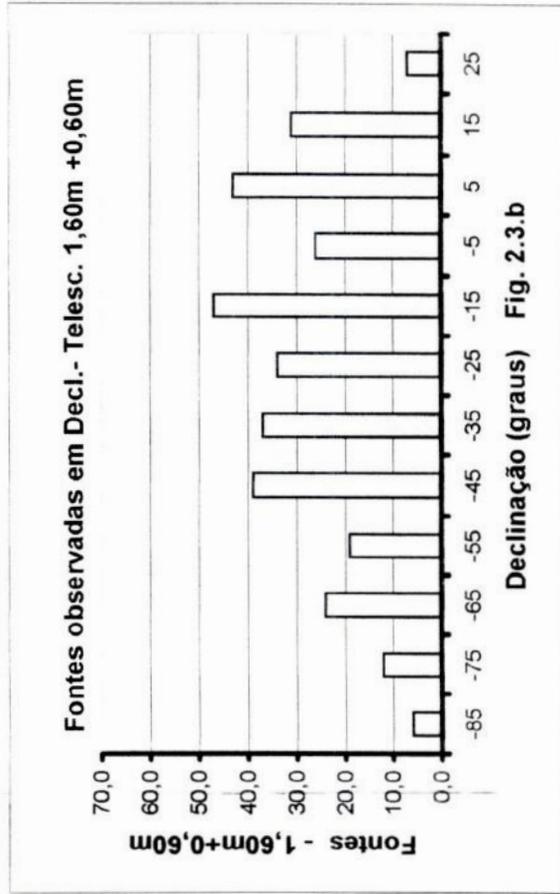


Fig. 2.3.a e b - Quantidade de Fontes ICRF observadas nos telescópio de 0,60m e 1,60m do LNA

Quanto aos equipamentos utilizados no programa LNA/Valinhos as tabelas 2.1, 2.2, 2.3 e 2.4 resumem as principais características do CM, telescópios e detectores:

Tabela 2.1 - Características do Círculo Meridiano de Valinhos, IAG/USP

Longitude	46° 58' 03"
Latitude	-23° 00' 06"
Diâmetro da objetiva	D = 0,19 m
Distância Focal	d = 2,59 m
Razão Focal	F / 13.6
Tipo de detector CCD	Thompson 7895M
Número de pixels	512 x 512
Tamanho do pixel	19 μm
Escala	1"51 / pixel
Tempo equivalente de exposição	51 / cos δ (s)
Dimensões do campo	$\alpha = \Delta t \cos \delta$, $\delta = 13'$
Limites de Magnitude	8,5 < V < 16
Filtros	V

Tabela 2.1: Características principais do Círculo Meridiano de Valinhos. Observar que a dimensão do campo em A. Reta depende do tempo de exposição e latitude do objeto.

Tabela 2.2 -Telescópio 0,60m do LNA.

Longitude	45 ° 34 ' 57 "
Latitude	- 22 ° 32 ' 04 "
Diâmetro do espelho	D = 0,60 m
Distância focal	d = 8,10 m
Razão focal	f / 13,5
Tipo óptico	Ritchey-Chretien
Escala	29,5 " / mm → 0,5910 " / pixel
Dimensões médias do campo	10' x 10', para CCD de 1024 x 1024 pixels
Área útil do espelho principal	2.262 cm ² (obscurecimento central 20%)

Tabela 2.2 : Características principais do telescópio Boller & Chivens, de 0,60m do LNA

Tabela 2.3 - Telescópio de 1,60m do LNA

Longitude	45 ° 34 ' 57 "
Latitude	- 22 ° 32 ' 04 "
Diâmetro do espelho	D = 1,60 m
Distância focal	d = 16 m
Razão focal	f / 10
Tipo óptico	Ritchey-Chretien
Escala	12,9 " / mm → 0,2955 " / pixel
Dimensões médias do campo	5' x 5', para CCD de 1024 x 1024 pixels
Área útil do espelho principal	16.085 cm ² (obscurimento central 20%)

Tabela 2.3 : Características principais do telescópio tipo Cassegrain de 1,60m do LNA. Fabricante Perkin-Elmer

Tabela 2.4 - Detectores CCD

Denominação LNA	CCD 106	CCD 101	CCD 048
Tipo	SIT e SI003AB	SIT e SI003AB	EEV CCD-05-20-0-202
Características	Fino, Back-iluminated Camada ar	Fino, Back-iluminated Camada ar	Espesso, Front-iluminated Coating UV
Tamanho total (pixels)	1050 x 1050	1050 x 1050	770 x 1152
Tamanho útil (pixels)	1024 x 1024	1024 x 1024	770 x 1149
Tamanho do pixel (µm)	24 x 24	24 x 24	22,5 x 22,5

Tabela 2.4 : Características principais dos detectores CCD utilizados nas observações no LNA

Como dissemos, o produto final do programa Valinhos é apresentado na forma de catálogos secundários contendo posições e magnitudes para 1317 objetos em 25 campos de 13' x 15' ou 395 nos mesmos campos limitados em 10' x 10'.

Uma análise das incertezas das posições com o CMV com estudo estatístico para suporte da qualidade geral dos resultados, é feita por Lopes et al. (1999).

Em média, estrelas com $V \leq 14,0$ pos suem precisões melhores que 50 mas em posição para ambas as coordenadas, e 110 mas no limite de detecção do círculo meridiano CCD ($V \approx 16,0$). A tabela 2.5 resume a seguir, as principais características dos catálogos secundários de Valinhos:

Tabela 2.5 – Características principais da lista de posições Valinhos.

Época	Aprox. 2000,0
Sistema de referência	ICRS
Numero de objetos em 25 campos: de 13'x 15'	1317
de 10'x 10'	395
Erros de posição	α e $\delta = 50$ mas
V \leq 14,0	α e $\delta = 110$ mas
V Aprox. 16,0	

2.2 - Análise comparativa da lista de Valinhos e UCAC1

Originalmente Valinhos forneceria o sistema de referência para as observações do LNA. Entretanto, com o surgimento do catálogo UCAC, uma nova opção se tornou disponível a ser usada como catálogo de referência.

Sabemos da literatura que o catálogo de Valinhos obtido pelo Círculo Meridiano possui posições menos precisas que o catálogo UCAC, (Lopes et al.,1999), que é mais extenso e apresenta posições significativamente melhores, indo até magnitude 16. (Zacharias et al, 2000). Entretanto, o catálogo UCAC1 foi elaborado com imagens com filtro no vermelho (R) enquanto que o de Valinhos, foi feito com filtro no visível (V), como nas observações do LNA.

Nosso objetivo é verificar eventuais diferenças nas medidas de posição observadas no LNA em V, quando usamos o catálogo UCAC1 em (R), e fazer uma avaliação preliminar dos dois catálogos, visando sua utilização nas nossas reduções. Esta análise é importante para verificar a influência de refração diferencial cromática, que depende da homogeneidade da distribuição espectral das estrelas no campo de observação, e do filtro usado nas observações CCD e na construção do catálogo de referência.

Considerando que os catálogos apresentam diretamente as coordenadas α e δ das estrelas dos campos de cada quasar, desde que identificadas as estrelas comuns em cada campo, podemos calcular as diferenças de posição $\Delta\alpha\cos\delta$ e $\Delta\delta$ para cada estrela, e fazer uma comparação entre os mesmos

Este procedimento foi feito para os 17 campos de quasares relacionados na tabela 2.6, para os quais eram disponíveis informações dos dois catálogos.

Tabela 2.6 – Comparação dos catálogos de Valinhos e UCAC

Quasares:	A.R.	Dec.	Estrelas Comuns	Catálogo Valinhos - UCACI			
				Coordenadas Val-UCAC		σ (Val.-UCAC)	
				mas		mas	
h m s	grau m. s	N	$\Delta\alpha\cos\delta$	$\Delta\delta$	$\Delta\alpha\cos\delta$	$\Delta\delta$	
0047-579	0 49 59,5	-57 38 27,0	10	+85	-4	87	66
0919-260	9 21 29,4	-26 18 43,0	13	+67	-56	73	97
1032-199	10 35 02,2	-20 1134,0	9	+107	-94	24	41
1034-293	10 37 16,1	-29 34 02,0	13	+57	+7	69	61
1129-580	11 31 43,3	-58 18 53,0	77	+78	-36	74	78
1144-379	11 47 01,4	-38 12 11,0	25	+31	-8	68	50
1320-446	13 23 04,2	-44 52 33,0	65	+111	-87	93	81
1329-665	13 32 37,5	-66 46 50,0	186	+108	-100	103	105
1334-649	13 37 52,4	-65 09 24,0	73	+58	+4	73	103
1355-416	13 59 00,2	-41 52 52,0	9	+90	+21	75	122
1435-218	14 38 09,5	-22 04 54,0	13	+107	+57	66	54
1921-293	19 24 51,1	-29 14 30,0	52	+115	+2	65	99
1925-610	19 30 06,2	-60 56 09,0	11	+26	-36	56	65
2052-474	20 56 16,4	-47 14 47,0	21	+129	+29	82	63
2204-540	22 07 43,7	-53 46 33,0	9	+70	+41	67	50
2255-282	22 58 06,0	-27 58 21,0	4	+10	+18	72	81
2326-477	23 29 17,7	-47 30 19,0	4	+59	-25	34	38
Média			35	+77	-16	69	74
Desvio Padrão				34	47	19	25
Total			594				

Tabela 2.6 - Nesta tabela estão relacionados os 17 campos de quasares comuns aos catálogos Valinhos e UCAC, com as respectivas diferenças médias (Val-UCAC) e desvio padrão em α e δ , para as estrelas comuns aos dois catálogos.

Nesta tabela estão relacionados os valores médios das diferenças das coordenadas indicadas nos dois catálogos Valinhos e UCAC (Val.-UCAC), para as estrelas de cada campo, e os respectivos desvios padrão para estas medidas. São calculados também a média geral e respectivo desvio padrão.

Como é de nosso interesse observar a influência das diversas variáveis em $\Delta\alpha\cos\delta$ e $\Delta\delta$ elaboramos os gráficos das figuras 2.4.a,b,c,d, os quais representam as diferenças médias das estrelas de campo (Val.-UCAC) em α e δ versus posição A.R. e Dec. de cada quasar, com os respectivos desvios padrão.

Observa-se pelas figuras 2.4.a e 2.4.c que as diferenças em $\Delta\alpha$, são todas no mesmo sentido, caracterizando um *erro sistemático*, aproximadamente uniforme ao longo de declinações a ascensões retas.

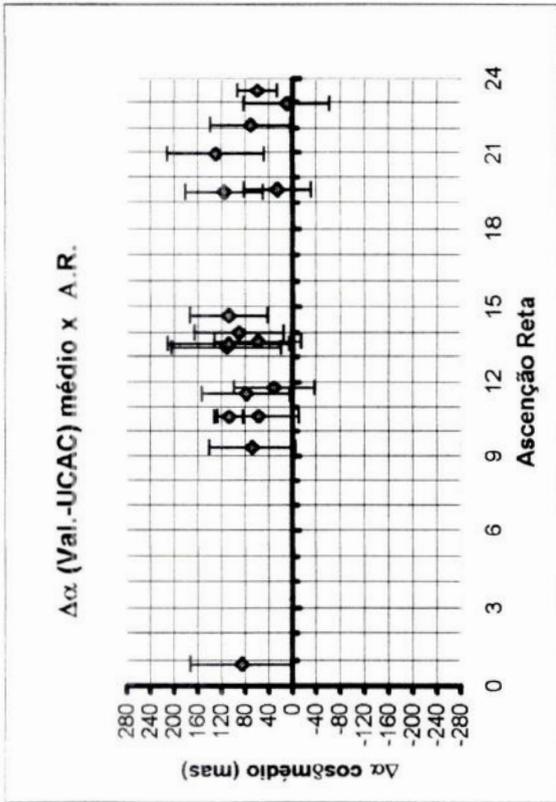


Fig. 2.4.a - Diferenças médias em α (Val-UCAC1) vs. A.R.(quasar)

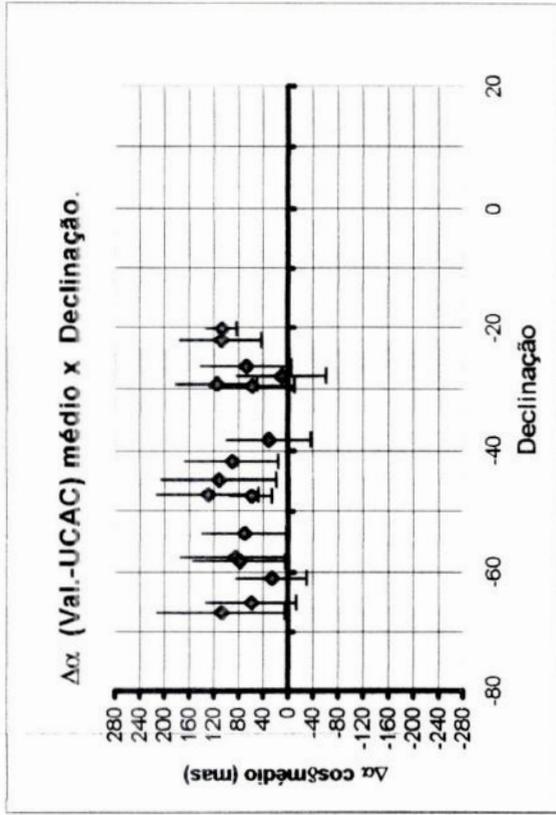


Fig. 2.4.c - Diferenças médias em α (Val-UCAC1) vs. Dec.(quasar)

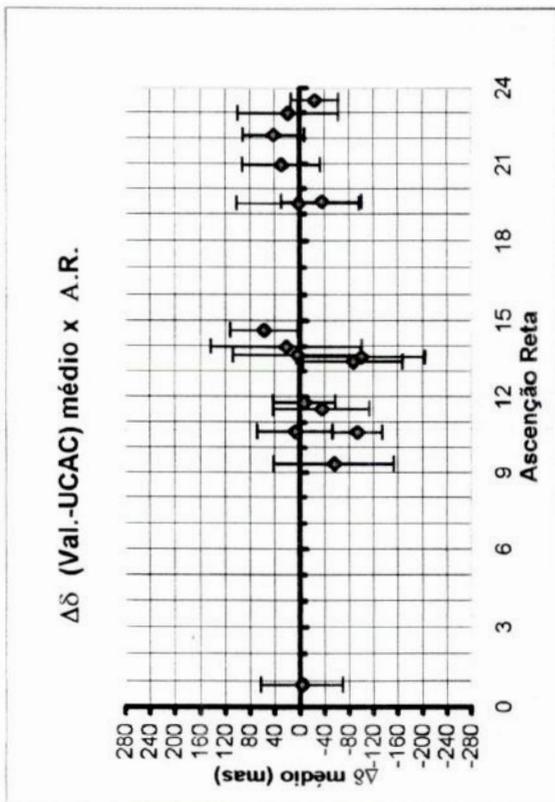


Fig. 2.4.b - Diferenças médias em δ (Val-UCAC1) vs. A.R.(quasar)

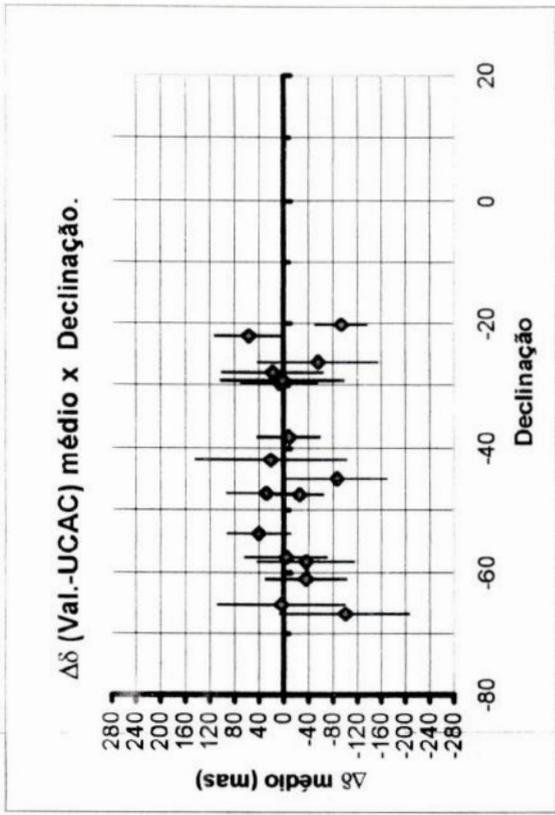


Fig. 2.4.d - Diferenças médias em δ (Val-UCAC1) vs. Dec.(quasar)

Para analisar as influências de magnitudes sobre as diferenças de medidas de posições foram feitos os gráficos 2.5.a, b, c, d ; 2.6.a, b, c, d os quais relacionam $\Delta\alpha\cos\delta$ e $\Delta\delta$ (médios e absolutos) das estrelas de campo (Val.-UCAC) versus magnitudes de Valinhos e UCAC I.

Os gráficos das fig. 2.7.a, b, c, d relacionam $\Delta\alpha\cos\delta$ e $\Delta\delta$ (médios e absolutos) das estrelas de campo (Val.-UCAC) versus Cor (Mag.Valinhos – Mag.UCACI).

Da análise destes gráficos podemos observar o seguinte:

- a) - Nota-se de um modo geral que os valores médios das diferenças em $\Delta\alpha$ (+77mas) são superiores aos obtidos em $\Delta\delta$ (-16 mas). Ver gráficos das figuras 2.4.a e 2.4.b
- b) - Observa-se também que a média das diferenças tanto em $\Delta\alpha$ quanto em $\Delta\delta$, aumentam com a magnitude, sendo mais significativo em A.Reta. do que em Declinação. Este comportamento também foi verificado em trabalho de Camargo et al. (2003), comparando resultados de Valinhos contra os obtidos pelo Círculo Meridiano de Bordeaux.
- c) - As diferenças de posições $\Delta\alpha$ e $\Delta\delta$ em relação as magnitudes Valinhos ou UCAC I se fazem de forma muito semelhante, como era de se esperar.
- d) - Não se observa variação significativa destas variáveis em relação a COR, (Mag.Valinhos – Mag.UCAC I), não considerando os pontos de magnitude acima de 0,7 e abaixo de 0,1 onde há poucas estrelas amostradas. Para os pontos abaixo de 0,1 e acima de 0,7 as quantidades de estrelas em seqüência por ponto são 4, 19, 44, 29, 7 que consideramos valores baixos em termos de amostragem. Para os pontos entre 0,1 e 0,7 temos as seguintes quantidades de estrelas: 155, 218 e 118. Foi feita nova binagem, com maior detalhe (o dobro de pontos), entre 0,1 e 0,7, não tendo sido identificado nenhuma dependência em COR em relação a $\Delta\alpha$ e $\Delta\delta$. Julgamos desta forma que o catálogo UCAC em (R) pode ser usado para aplicações em reduções astrométricas de campos observados em V.

Quanto ao item b, o aumento normal das diferenças com as magnitudes, deve ser atribuído a dependência com a magnitude, na faixa de magnitudes considerada. O comportamento destes gráficos é bem semelhante ao existente quando se compara Tycho-2 com UCAC, (Zacharias et al, 2000), onde o Tycho-2 tem forte queda da precisão com o aumento da magnitude. Entretanto em $\Delta\alpha\cos\delta$, há um erro mais pronunciado que foi constatado de forma independente também por Camargo et al. (2003).

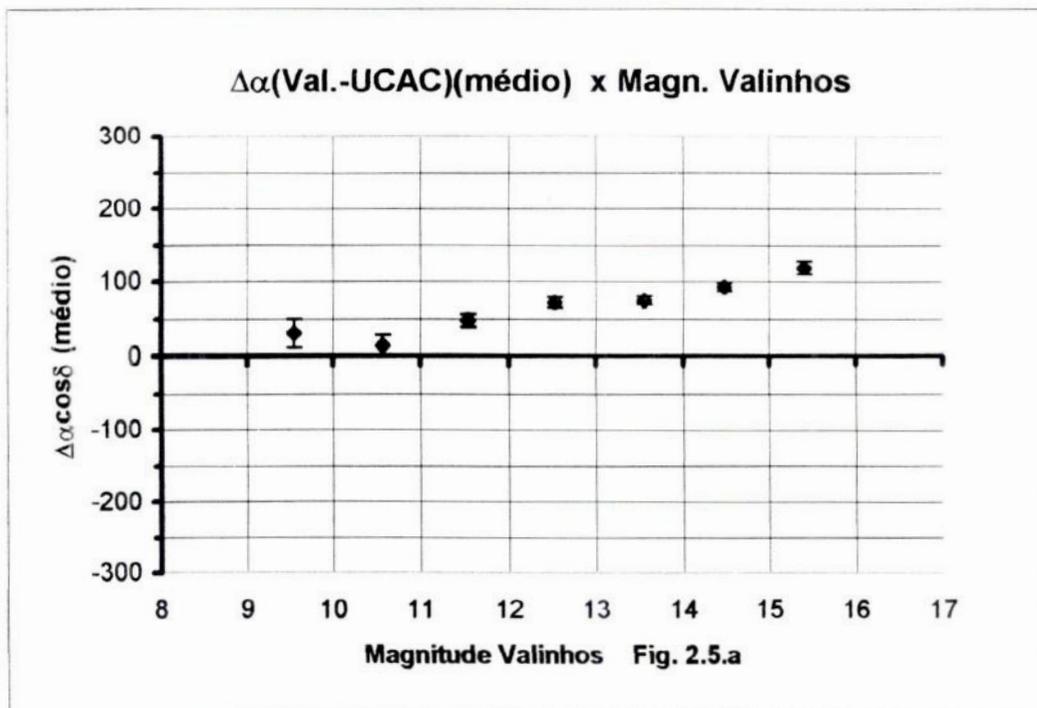


Fig 2.5.a - Este gráfico representa a média das diferenças em α (Valinhos - UCAC) vs. Magnitude Valinhos para as 594 estrelas comuns aos dois catálogos

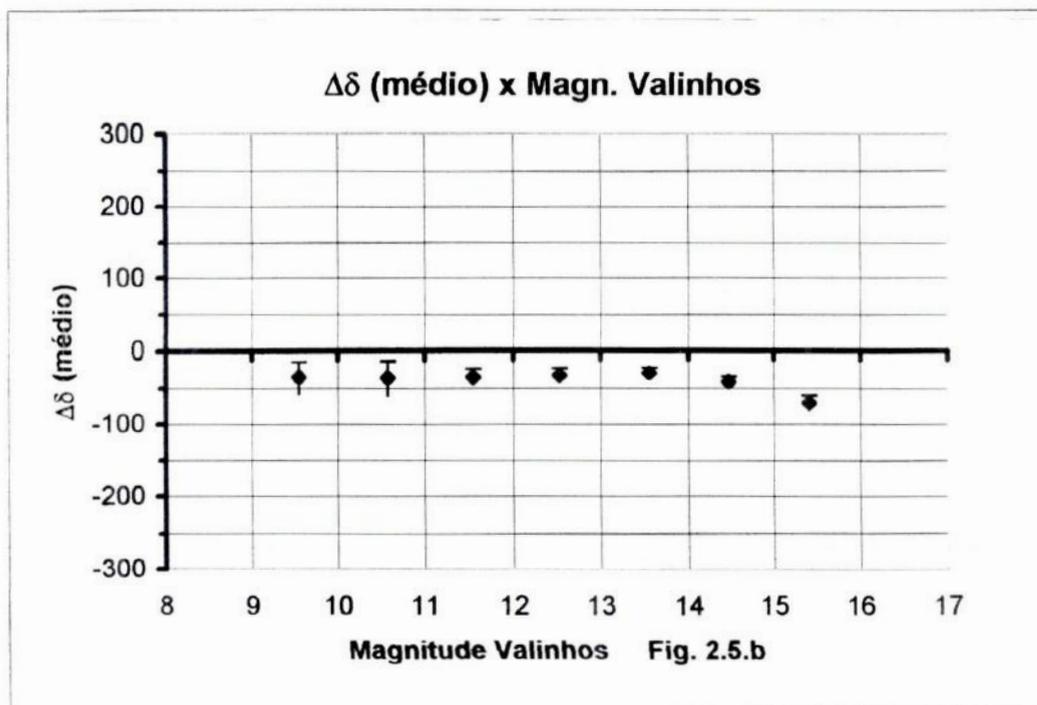


Fig 2.5.b - Este gráfico representa a média das diferenças em δ (Valinhos - UCAC) vs. Magnitude Valinhos para as 594 estrelas comuns aos dois catálogos

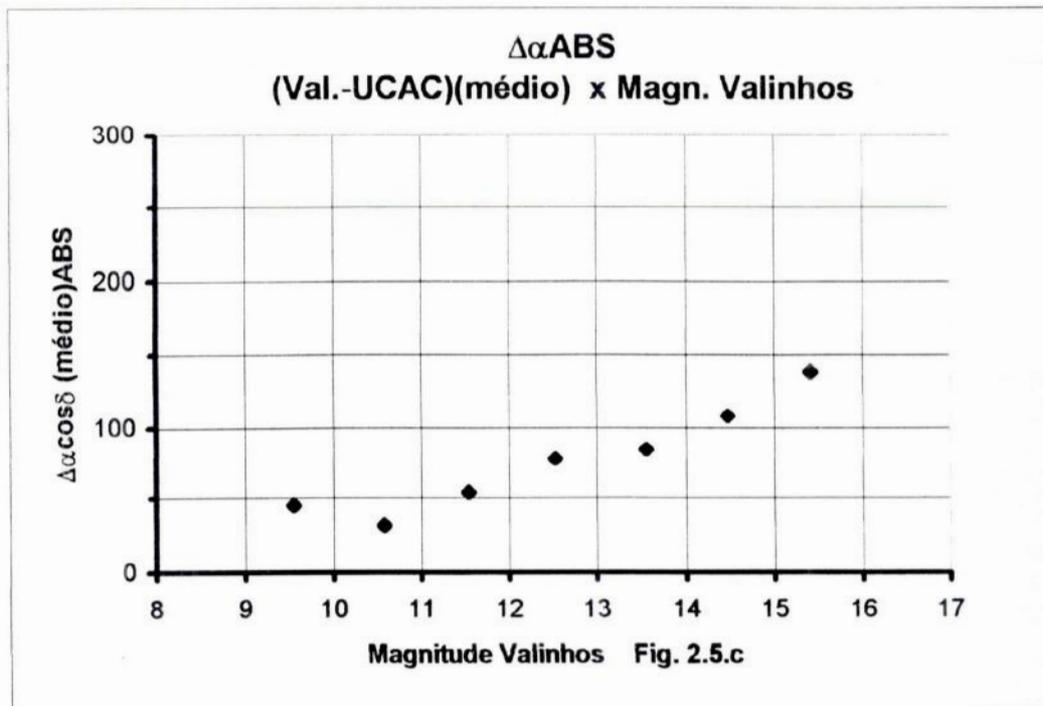


Fig 2.5.c - Este gráfico representa a média das diferenças ABSOLUTAS em α (Val. - UCAC) vs. Magnitude Valinhos para as 594 estrelas comuns aos dois catálogos

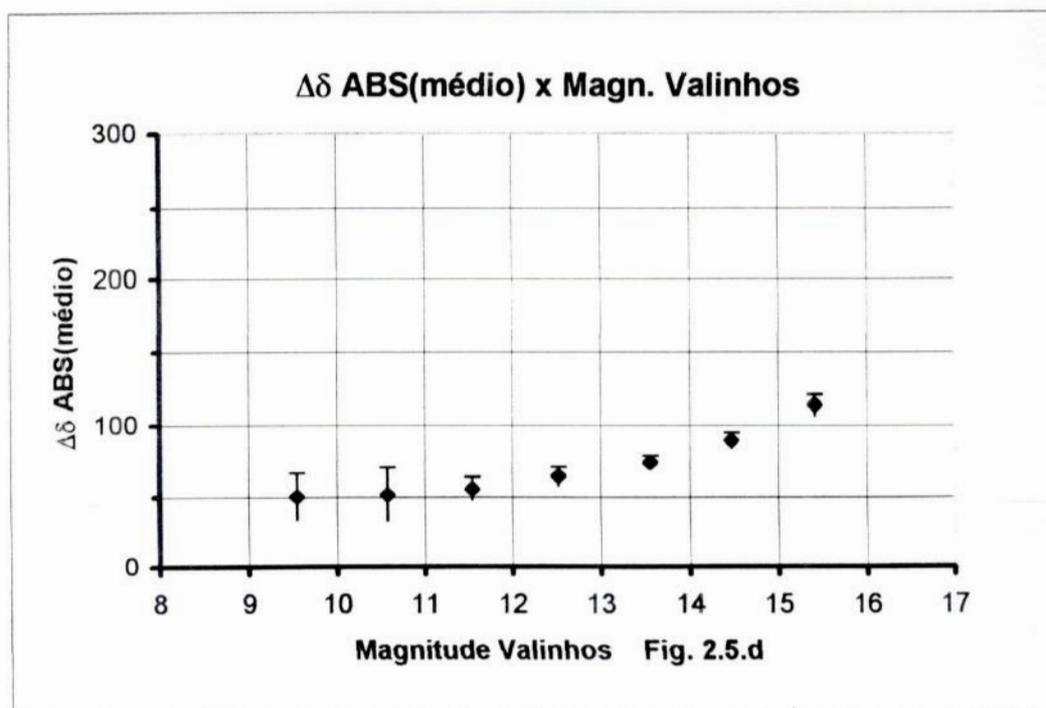


Fig 2.5.d - Este gráfico representa a média das diferenças ABSOLUTAS em δ (Val. - UCAC) vs. Magnitude Valinhos para as 594 estrelas comuns aos dois catálogos

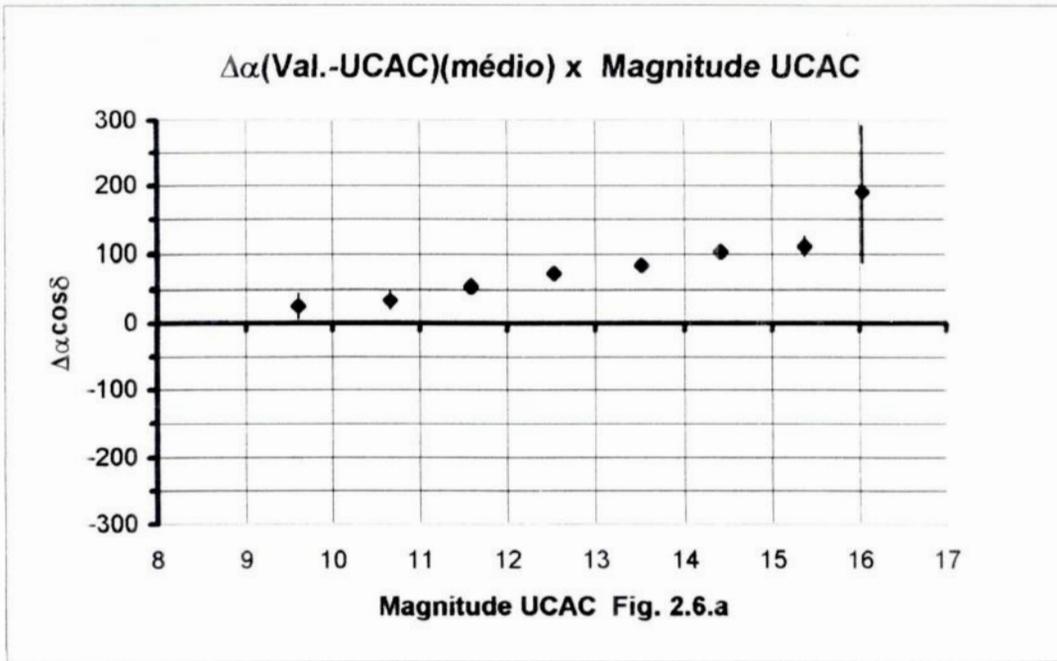


Fig 2.6.a - Este gráfico representa a média das diferenças em α (Valinhos - UCAC) vs. Magnitude UCAC para as 594 estrelas comuns aos dois catálogos

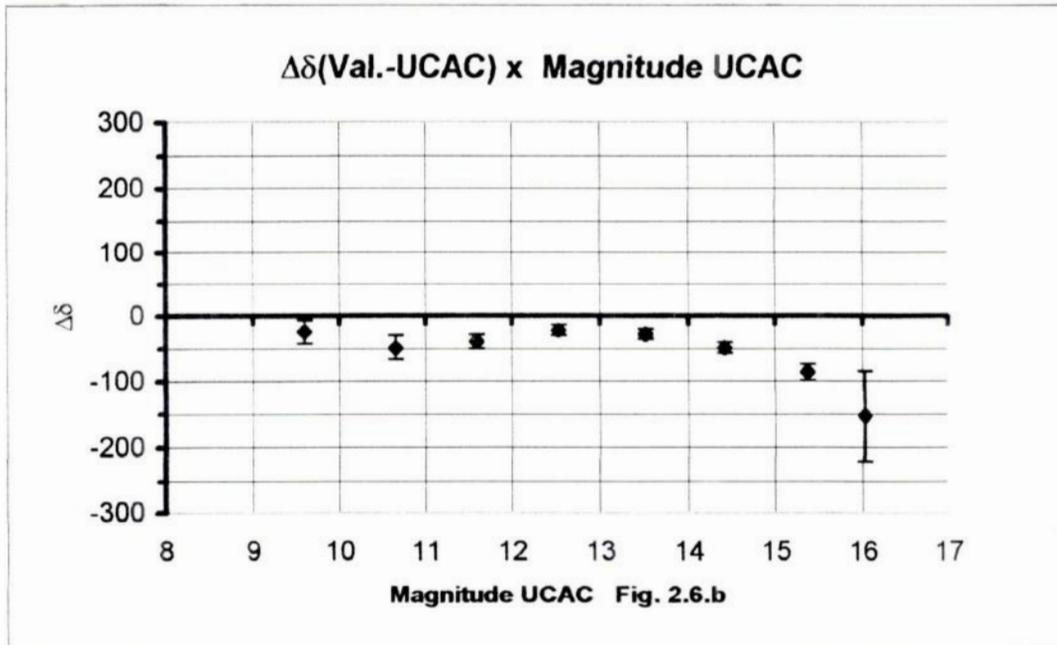


Fig 2.6.b - Este gráfico representa a média das diferenças em δ (Valinhos - UCAC) vs. Magnitude UCAC para as 594 estrelas comuns aos dois catálogos

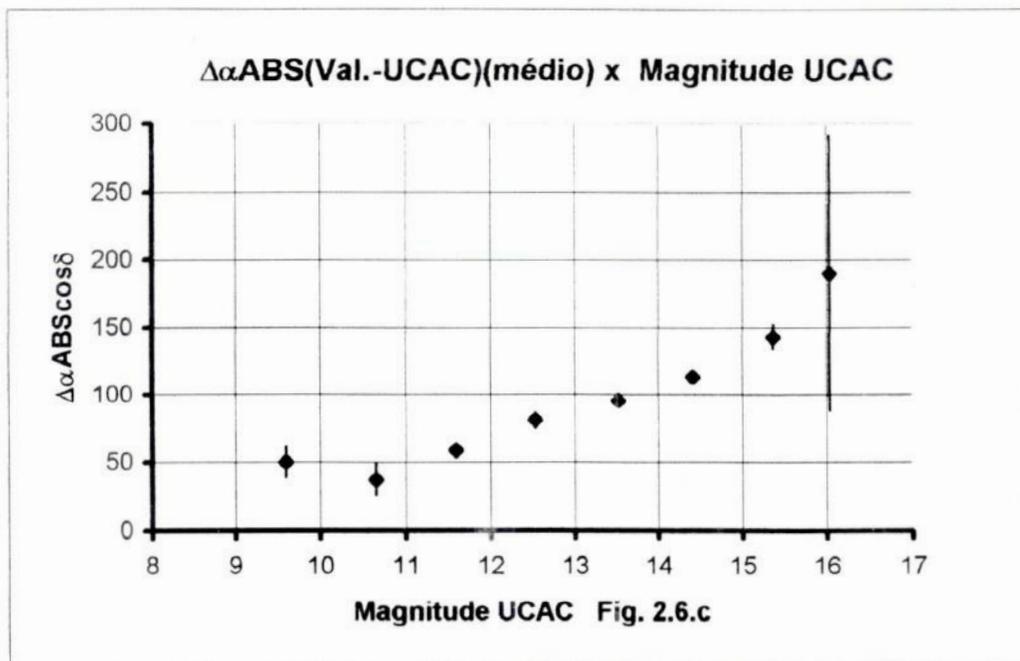


Fig 2.6.c - Este gr\u00e1fico representa a m\u00e9dia das diferen\u00e7as ABSOLUTAS em α (Val.- UCAC) vs. Magnitude UCAC para as 594 estrelas comuns aos dois cat\u00e1logos

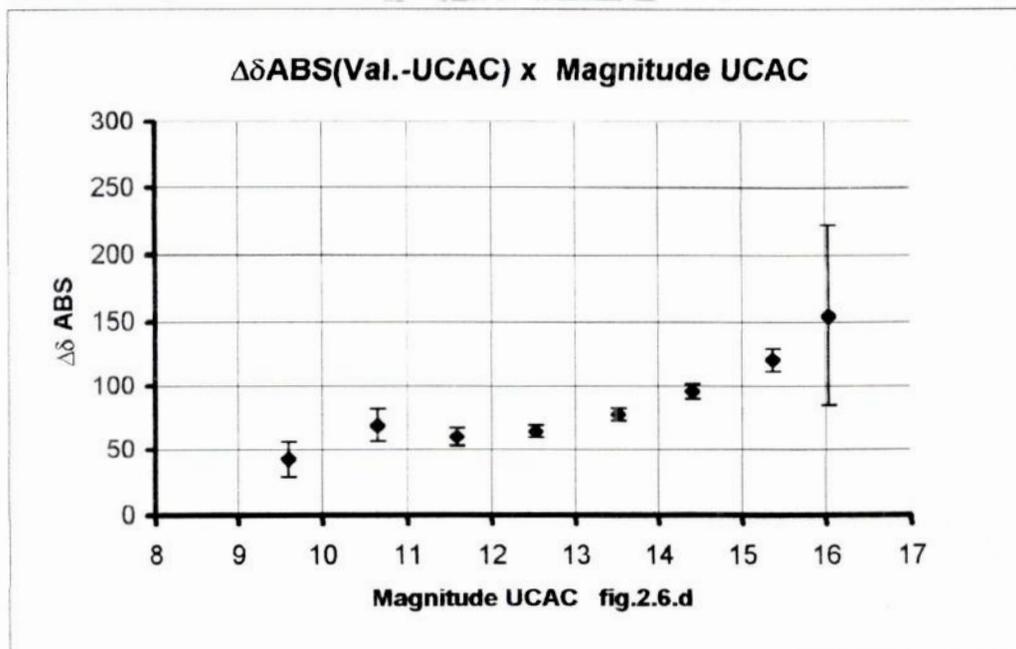


Fig 2.6.d - Este gr\u00e1fico representa a m\u00e9dia das diferen\u00e7as ABSOLUTAS em δ (Val.- UCAC) vs. Magnitude UCAC para as 594 estrelas comuns aos dois cat\u00e1logos

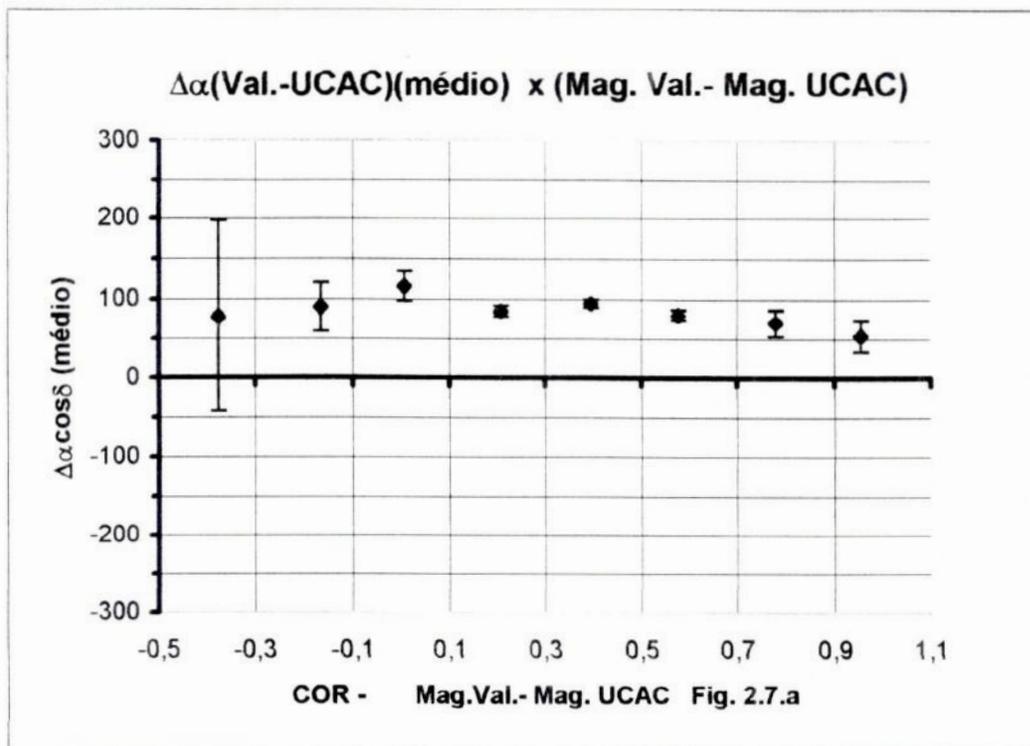


Fig 2.7.a - Este gráfico representa a média das diferenças em α (Valinhos - UCAC) vs. COR, Mag. Val.- Mag. UCAC, para as 594 estrelas comuns aos dois catálogos

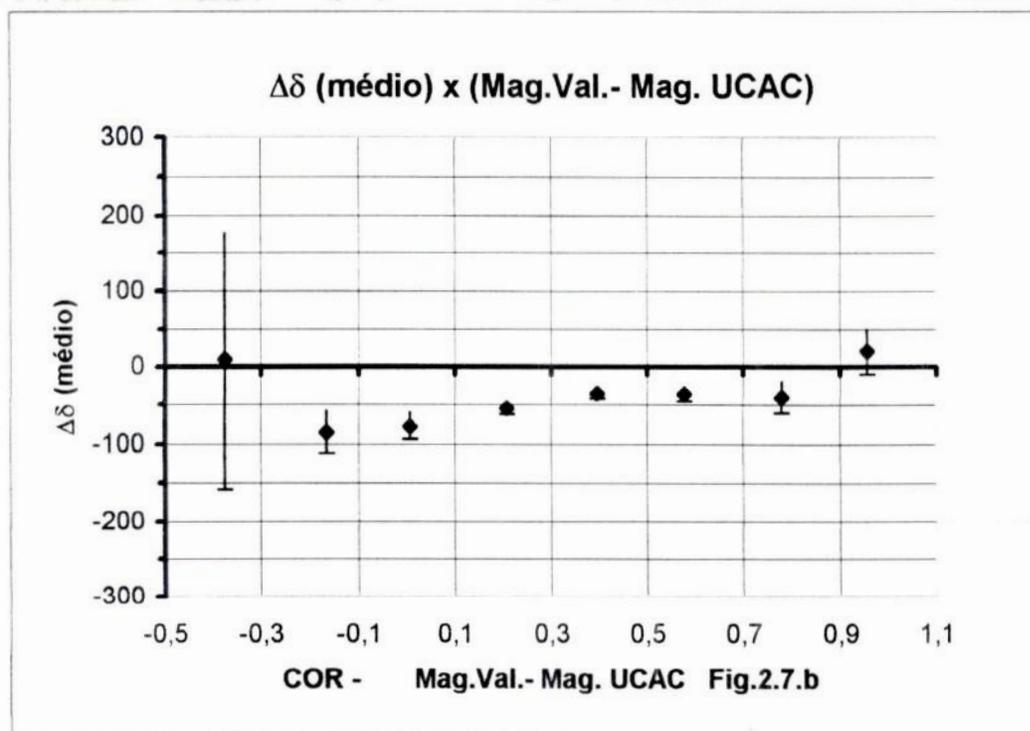


Fig 2.7.b - Este gráfico representa a média das diferenças em δ (Valinhos - UCAC) vs. COR, Mag. Val.- Mag. UCAC, para as 594 estrelas comuns aos dois catálogos

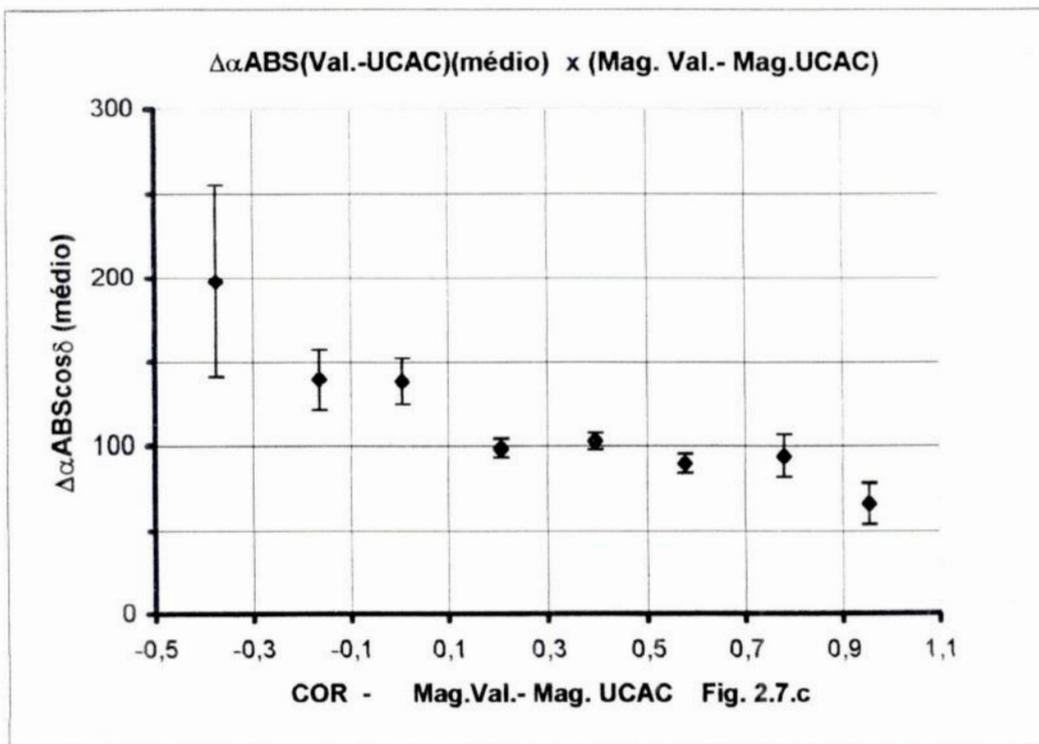


Fig 2.7.c - Este gr\u00e1fico representa a m\u00e9dia das diferen\u00e7as ABSOLUTAS em α (Val. - UCAC) vs. COR, Mag.Val. - Mag. UCAC, para as 594 estrelas comuns aos dois cat\u00e1logos

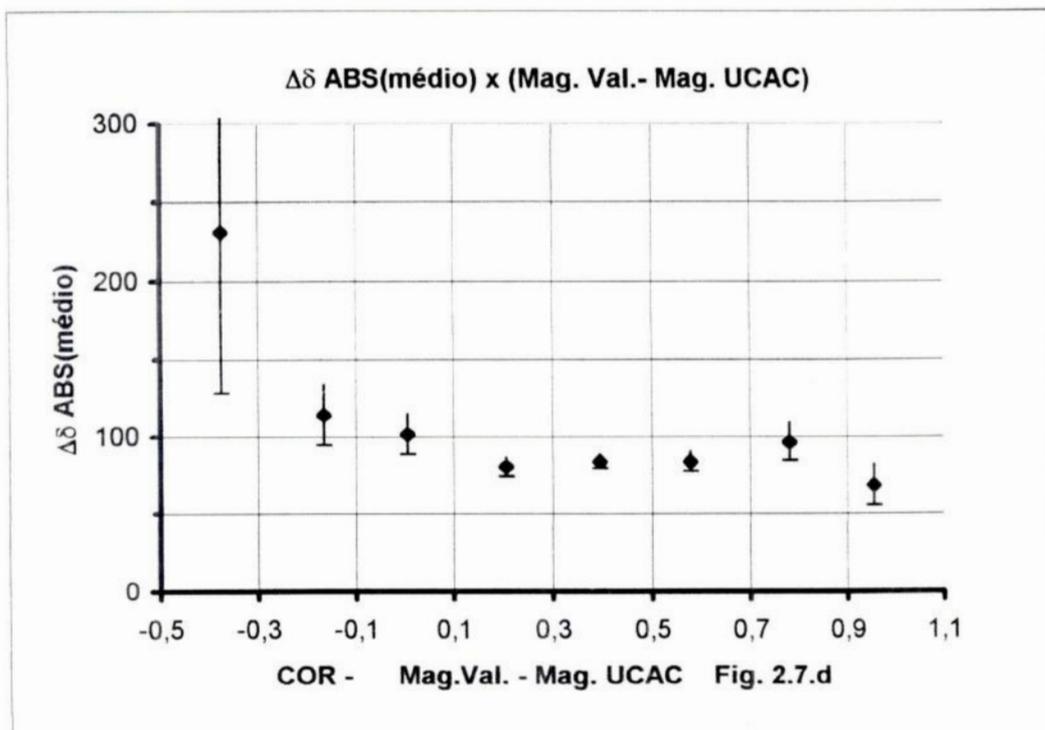


Fig 2.7.d - Este gr\u00e1fico representa a m\u00e9dia das diferen\u00e7as ABSOLUTAS em δ (Val. - UCAC) vs. COR, Mag.Val. - Mag. UCAC, para as 594 estrelas comuns aos dois cat\u00e1logos

Quanto ao item d , o comportamento uniforme de $\Delta\alpha$ e $\Delta\delta$ em relação a COR (Mag.V-Mag.R), é de grande importância porque indica que não há influência significativa do filtro R nestes resultados.

Consideramos desta forma válido o uso do catálogo UCAC1 , com filtro R para observações em V.

Observamos ainda que, os valores de $\Delta\delta$ (Valinhos – UCAC) são predominantemente negativos na faixa de Asc. Reta de 9h a 13h , e em sua maioria positivos no restante da faixa de A.R. , o que interpretamos como um sintoma de pequeno desvio existente entre os sistemas representados pelos dois catálogos, influenciando sobre as declinações.

Como já observado no capítulo 1, o catálogo UCAC é a princípio mais preciso e com número muito superior de estrelas que a lista de Valinhos. Por outro lado, os resultados de comparação Valinhos – UCAC também permitem o uso do UCAC, pois apesar das diferenças nas bandas de observação (R e V) , nenhum efeito sistemático é notado. Isso nos levou a também adotar o UCAC em nossas reduções, nesta monografia.

Quanto ao melhor ajustamento ao sistema HIPPARCOS (Valinhos ou UCAC) , a comparação com fontes do ICRF, nos permitirá uma conclusão definitiva, o que será considerado no capítulo 4, já com o uso de versão mais recente e completa do UCAC, ou seja, o UCACII.

Capítulo 3 - Procedimentos para determinação de posições de quasares com telescópios de 0,60m e 1,60m do LNA e avaliação de erros.

No capítulo anterior, fizemos uma apresentação sumária do Programa LNA-Valinhos, e medidas de posição estelares obtidas com o CMV, foram também comparadas com o catálogo UCAC, visando as nossas reduções que serão consideradas mais adiante. Vimos ainda as principais características dos equipamentos utilizados nesses trabalhos.

Em seqüência, veremos neste capítulo os procedimentos para determinação de posições óticas precisas de quasares, entendendo-se como tal, o uso de catálogos intermediários, tratamento astrométrico das imagens CCD, ajuste Gaussiano para obtenção das medidas (x,y) , combinação das medidas e redução global e finalmente o cálculo das coordenadas (α,δ) e magnitudes. Concluindo, será apresentado um item de grande importância em trabalhos dessa natureza, que é a estimativa de erros nas medidas (x,y) , e nas coordenadas (α,δ) .

3.1 - Utilização de catálogos intermediários

Uma dificuldade existente na medição da posição de quasares é a grande diferença de magnitudes entre os mesmos (m_v de quasares = 17 a 21) e as estrelas de catálogos astrométricos representativos do sistema ótico ($m_v = 5$ a 11). Desta forma para a determinação da posição relativa entre estes objetos, é freqüentemente necessário o uso de catálogos secundários, e ocasionalmente terciários, com estrelas de brilho intermediário e fraco ($m_v = 11$ a 16) obtidas com instrumentos de longo foco.

No nosso caso, foi suficiente a utilização catálogos secundários, com o uso de 2 instrumentos com diferentes características, os telescópios de 0,60m e 1,60m do LNA, em Itajubá - MG.

Desta forma na primeira etapa, maiores magnitudes são atingidas, de forma a obter posições representativas do sistema HIPPARCOS, para estrelas nas vizinhanças das posições dos quasares.

Como catálogos primários, foram usados os catálogos gerados pelo CMV e o UCAC (USNO CCD ASTROGRAPH CATALOG), os quais utilizados para o telescópio de 0,60m do LNA permitiram a elaboração de catálogos secundários. A utilização dos catálogos secundários para as reduções de imagens do telescópio de 1,60m do LNA permitiu a determinação das posições óticas de todas as radiofontes do ICRF no sistema HIPPARCOS. Note-se que alguns quasares mais brilhantes tiveram posições obtidas já no 0,60m.

As características dos telescópios de 0,60m e 1,60m do LNA estão apresentadas no capítulo 2.

Além do problema de magnitudes acima colocado, existe a limitação do campo de observação, que no caso do uso de CCD (normalmente da ordem 2,5 cm x 2,5cm) em telescópios de longo foco, como o 1,60m do LNA, corresponde a uma área do céu de apenas 5' x 5'. Logo, nestes campos CCD geralmente não há sequer estrelas de catálogo terciário, em quantidade suficiente para se fazer a redução de posição. Para contornar este problema recorre-se ao uso de imagens sucessivas com sobreposição de 50%, aumentando desta forma o campo até se obter o número de estrelas suficientes para permitir um bom resultado da redução.

Entretanto não tivemos necessidade de trabalhar com este recurso e usamos somente imagens centralizadas nos próprios quasares.

3.2 - Tratamento Astrométrico das Imagens CCD:

O tratamento das imagens pode ser dividido em 3 fases: a) o pré-processamento das imagens ; b) identificação dos objetos ; c) o ajuste gaussiano . (ver Assafin, -1996).

O pré-processamento consiste na correção das imagens para as correntes de *escuros*, *bias* e *flatfields*. Para isto , campos de calibração de algumas imagens CCD foram gerados usando o pacote IMRED do IRAF, a partir das correntes de *escuros*, *bias* e *flatfields* (domo e céu) obtidos em uma noite piloto de observação. Algumas poses CCD foram testadas, tendo-se ajustado gaussianas e obtido dois conjuntos de medidas de imagens com e sem calibração. As diferenças médias entre as medidas dos dois conjuntos foram de até 0,0002, com erros médios quadráticos de 0,0005. Em vista disto adotamos a opção mais econômica de dispensar a correção de imagens para este trabalho.

Quanto à identificação dos objetos temos a considerar os quasares e estrelas.

A identificação dos quasares nos campos CCD é feita na extração das imagens: o pixel central corresponde às coordenadas (α, δ) do objeto, com erros de no máximo 1 pixel. Se mais de um candidato está próximo ao centro, todos são medidos, sendo escolhido aquele mais próximo das coordenadas VLBI , após as reduções.

A identificação das estrelas nos campos CCD é feita localizando-se os objetos acima do fundo do céu. O fundo do céu é ajustado segundo um modelo polinomial bivariado em x, y de grau 3. Os pixels associados ao fundo do céu são identificados pelo histograma de ocorrência de pixels em função de contagens. Os valores mínimos e máximos de contagem aceitos para o ajuste são escolhidos após inspeção visual do histograma. Constituem objetos identificados os conjuntos de 25 pixels ou mais

adjacentes, com contagem acima do fundo de céu superior a 2,5 vezes o erro médio quadrático do ajuste polinomial.

Segundo simulações feitas por Stone (1989), os algoritmos com gaussianas bidimensionais fornecem melhores determinações dos centros (x,y), para condições similares de faixas de magnitudes e fundo de céu. Além disto o fato de algumas imagens apresentarem defeitos de guiagem, resultando em objetos não perfeitamente circulares, e o próprio fato de alguns poucos quasares apresentarem imagens não simétricas, nos levam a descartar o modelo mais simples de gaussiana circular. Assim, os centróides (x,y) de todas as estrelas e quasares foram obtidos pelo ajuste de gaussianas bidimensionais elípticas com fundo de céu constante.

Para contornar os problemas com identificações espúrias, objetos extensos, estrelas duplas, imagens com defeitos (raios cósmicos), estrelas posicionadas junto às bordas da imagem etc, áreas de ajuste circulares foram estabelecidas visualmente objeto por objeto, com o auxílio do pacote de imagens SAOimage.

Com o ajuste gaussiano são gerados e armazenados para cada campo, todos os parâmetros das estrelas e do quasar como os centros (x,y) e seus erros, altura da gaussiana e o fundo de céu.

3.3 – Ajuste Gaussiano para Obtenção das Medidas (x,y)

A medida dos fotocentros (x,y) de todas as estrelas ou objetos estelares no CCD é feita pelo ajuste de Gaussianas Bidimensionais. A Gaussiana Elíptica é o modelo bidimensional mais completo e pode ser escrita como:

$$F = C' + h e^{-0,5 \{ A(x-x_0)^2 + B(x-x_0)(y-y_0) + C(y-y_0)^2 \}} \quad (\text{Eq. 3.3}), \text{ onde}$$

F = Contagem em um pixel (x,y) qualquer da imagem da estrela

x_0 e y_0 = Centro da Gaussiana, isto é, o fotocentro procurado

C' = Constante do Fundo de Céu

B = Constante associada ao ângulo de rotação da forma elíptica

A e C = Constantes associadas aos semi-eixos da forma elíptica

h = Altura da Gaussiana

Este ajuste é feito por Mínimos Quadrados Não-Linear, (ver Assafin et al, 1997).

A convergência do ajuste é satisfeita quando os centros (x_0, y_0) não variam mais que um certo valor (ex. $0''$,001). Para isto é necessário uma seleção cuidadosa da região circular em torno da estrela, dentro da qual todos os pixels serão ajustados. Para um bom resultado este círculo deve ter aproximadamente 3 vezes o diâmetro visual da estrela.

3.4 – Procedimentos de redução das medidas dos campos de quasares :

Este procedimento é feito usando-se as expressões derivadas da projeção gnomônica, que é uma projeção da imagem da esfera celeste correspondente ao campo do quasar, sobre o plano do CCD.

Com estas expressões transformamos as coordenadas equatoriais $(\alpha$ e $\delta)$ em coordenadas retilíneas $(X$ e $Y)$ e vice-versa para cada estrela.

Lembramos que a esfera celeste é o domínio dos α 's e δ 's e a placa do CCD o domínio do X 's e Y 's.

A análise teórica destas transformações leva-nos a expressões da seguinte forma:

$$X = \frac{\cot \delta \cdot \text{sen}(\alpha - \alpha_0)}{\text{sen } \delta_0 + \cot \delta \cos \delta_0 \cos(\alpha - \alpha_0)} = f(\alpha, \delta, \alpha_0, \delta_0)$$

$$Y = \frac{\cos \delta_0 - \cot \delta \text{sen } \delta_0 \cos(\alpha - \alpha_0)}{\text{sen } \delta_0 + \cot \delta \cos \delta_0 \cos(\alpha - \alpha_0)} = g(\alpha, \delta, \alpha_0, \delta_0)$$

ou as equações inversas da projeção gnomônica.

$$\tan(\alpha - \alpha_0) = \frac{X}{\cos \delta_0 - Y \text{sen } \delta_0} = F(X, Y, \alpha_0, \delta_0)$$

$$\tan \delta = \frac{(Y \cos \delta_0 + \text{sen } \delta_0) \cos(\alpha - \alpha_0)}{\cos \delta_0 - Y \text{sen } \delta_0} = G(Y, \alpha, \alpha_0, \delta_0)$$

onde:

α_0 e δ_0 são as coordenadas do ponto tangente da esfera celeste, para o qual apontamos o telescópio.

X e Y - são as coordenadas cartesianas da estrela projetada no plano XY do CCD, em uma situação ideal, sem erros de origem instrumental ou astronômico. X cresce com α e Y cresce com δ .

Na prática, entretanto, as medidas reais x e y das posições das estrelas não coincidem com X e Y , sendo necessário a introdução de algoritmos de correção. As relações entre as medidas de placa (x,y) e as coordenadas ideais (X,Y) , foram obtidas pela primeira vez em 1893 por Turner sendo por isto conhecidas como equações de Turner e tem o seguinte aspecto de forma compacta:

$$X = \sum a_{ij} x^i y^j$$

$Y = \sum b_{ij} x^i y^j$ sendo $i+j = k = 0, \dots, n$ onde k dá a ordem do polinômio, e a_{ij} e b_{ij} são os coeficientes polinomiais ou constantes de placa

No nosso caso é suficiente usarmos k limitado a 1, portanto as equações de Turner se reduzem a:

$$X = a_{00} + a_{10} x + a_{01} y \quad \text{Eqs. (3.4)}$$

$$Y = b_{00} + b_{10} x + b_{01} y$$

Demonstra-se que neste caso, são corrigidos os seguintes tipos de erros instrumentais:

- a) Não coincidência entre a origem dos eixos coordenados e origem das medidas ($x=0, y=0$).
- b) Não paralelismo entre os eixos coordenados (x,y) e (X,Y) .
- c) Não perpendicularismo dos eixos de medidas x e y .
- d) Não coincidência entre as escalas (unidades) das medidas (x,y) e das coordenadas cartesianas (X,Y) .

Como erros astronômicos, também são corrigidos em primeira ordem os efeitos de refração diferencial e aberração anual diferencial.

Pelas Eqs. (3.4) vemos que temos 6 constantes de placa a determinar sendo 3 para a variável X e 3 para a variável Y , portanto, o número mínimo de estrelas de referência ou seja com α e δ conhecidos para permitir uma solução é 3. Esta solução

será ótima para estas 3 estrelas, naturalmente com desvio nulo, porem não tão boa para as demais estrelas. Do ponto de vista estatístico, melhores resultados são obtidos com uma maior quantidade de estrelas de referência, fazendo-se o ajustamento das constantes de placa pelo método de mínimos quadrados. Na prática usamos o numero mínimo de 6 estrelas de referência, podendo-se aceitar ainda 5 ou 4 estrelas se o campo estelar for muito rarefeito e o desvio padrão dos resultados for satisfatório.

A redução dos campos se dá pela obtenção do melhor resultado possível para o valor das constantes citadas acima a partir de coordenadas conhecidas das estrelas de catálogos, corrigidas de movimento próprio e paralaxe anual (se conhecido). No ajustamento das constantes pelo princípio dos mínimos quadrados, as mesmas são calculadas de tal forma que seja mínima a soma dos quadrados das diferenças entre os dois lados das equações, para as estrelas do catálogo de referência.

Para cada estrela (i) do catálogo de referência presente no campo, conhecemos suas coordenadas equatoriais α_i , δ_i e suas medidas x_i , y_i , logo podemos escrever:

$$X_i = C_1 + C_2 x_i + C_3 y_i \quad \text{Eqs. (3.4.1)}$$

$$Y_i = D_1 + D_2 x_i + D_3 y_i$$

pelo princípio dos mínimos quadrados temos:

$$\Sigma [X_i - (C_1 + C_2 x_i + C_3 y_i)]^2 = \text{mínimo} \quad \text{Eqs. (3.4.2)}$$

$$\Sigma [Y_i - (D_1 + D_2 x_i + D_3 y_i)]^2 = \text{mínimo}$$

logo,

$$\frac{\partial \Sigma}{\partial C_1} [X_i - (C_1 + C_2 x_i + C_3 y_i)]^2 = 0 \quad \text{Eqs. (3.4.3)}$$

$$\frac{\partial \Sigma}{\partial C_2} [X_i - (C_1 + C_2 x_i + C_3 y_i)]^2 = 0$$

$$\frac{\partial \Sigma}{\partial C_3} [X_i - (C_1 + C_2 x_i + C_3 y_i)]^2 = 0$$

e analogamente para as declinações temos :

$$\frac{\partial \Sigma}{\partial D_1} [Y_i - (D_1 + D_2 x_i + D_3 y_i)]^2 = 0 \quad \text{Eqs. (3.4.4)}$$

$$\frac{\partial \Sigma}{\partial D_2} [Y_i - (D_1 + D_2 x_i + D_3 y_i)]^2 = 0$$

$$\frac{\partial \Sigma [Y_i - (D_1 + D_2 x_i + D_3 y_i)]^2}{\partial D_3} = 0$$

Desenvolvendo as derivadas parciais das Eqs. 3.4.3 e 3.4.4 temos:

$$2 \Sigma (X_i - C_1 - C_2 x_i - C_3 y_i) = 0 \quad \text{Eqs. (3.4.5)}$$

$$2 \Sigma (X_i - C_1 - C_2 x_i - C_3 y_i) x_i = 0$$

$$2 \Sigma (X_i - C_1 - C_2 x_i - C_3 y_i) y_i = 0$$

e para as declinações:

$$2 \Sigma (Y_i - D_1 - D_2 x_i - D_3 y_i) = 0 \quad \text{Eqs. (3.4.6)}$$

$$2 \Sigma (Y_i - D_1 - D_2 x_i - D_3 y_i) x_i = 0$$

$$2 \Sigma (Y_i - D_1 - D_2 x_i - D_3 y_i) y_i = 0$$

donde:

$$\Sigma X_i = n C_1 + C_2 \Sigma x_i + C_3 \Sigma y_i \quad \text{Eqs. (3.4.7)}$$

$$\Sigma x_i X_i = C_1 \Sigma x_i + C_2 \Sigma x_i^2 + C_3 \Sigma x_i y_i$$

$$\Sigma y_i X_i = C_1 \Sigma y_i + C_2 \Sigma x_i y_i + C_3 \Sigma y_i^2$$

e analogamente para δ :

$$\Sigma Y_i = n D_1 + D_2 \Sigma x_i + D_3 \Sigma y_i \quad \text{Eqs. (3.4.8)}$$

$$\Sigma x_i Y_i = D_1 \Sigma x_i + D_2 \Sigma x_i^2 + D_3 \Sigma x_i y_i$$

$$\Sigma y_i Y_i = D_1 \Sigma y_i + D_2 \Sigma x_i y_i + D_3 \Sigma y_i^2$$

As Eqs. 3.4.7 e 3.4.8 constituem um sistema de 6 equações com 6 incógnitas (C_1, C_2, C_3 e D_1, D_2, D_3) que são chamadas constantes de placa.

Simplificando a notação Σ , fazendo Σ em $i = []$ podemos escrever:

$$C_1 n + C_2 [x] + C_3 [y] = [X]$$

$$C_1 [x] + C_2 [x^2] + C_3 [xy] = [xX]$$

$$C_1 [y] + C_2 [xy] + C_3 [y^2] = [yX]$$

e

$$D_1 n + D_2 [x] + D_3 [y] = [Y]$$

$$D_1 [x] + D_2 [x^2] + D_3 [xy] = [xY]$$

$$D_1 [y] + D_2 [xy] + D_3 [y^2] = [yY]$$

As equações acima podem ser escritas na forma matricial :

$$\begin{pmatrix} n & [x] & [y] \\ [x] & [x^2] & [xy] \\ [y] & [xy] & [y^2] \end{pmatrix} \begin{pmatrix} C_1 \\ C_2 \\ C_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} [X] \\ [xX] \\ [yX] \end{pmatrix}$$

e

$$\begin{pmatrix} n & [x] & [y] \\ [x] & [x^2] & [xy] \\ [y] & [xy] & [y^2] \end{pmatrix} \begin{pmatrix} D_1 \\ D_2 \\ D_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} [Y] \\ [xY] \\ [yY] \end{pmatrix}$$

que é um sistema do tipo $AZ = B$, onde as constantes de placa são dadas por:

$$Z = \begin{pmatrix} C_1 \\ C_2 \\ C_3 \end{pmatrix} \quad \text{ou} \quad \begin{pmatrix} D_1 \\ D_2 \\ D_3 \end{pmatrix}$$

sendo que, $Z = A^{-1} B$. A matriz A é a mesma para as soluções em X e Y e A^{-1} é a matriz das variâncias e covariâncias.

São dados conhecidos x_i , y_i de todas as estrelas da placa e X_i , Y_i das estrelas de referência (catalogadas). Com estes valores calculamos os coeficientes de placa e os X_i , Y_i das estrelas não catalogadas.

Após o primeiro ajuste, estrelas com desvios muito elevados são excluídas do processo uma a uma, e novo ajuste é feito até que o σ não varie significativamente e esteja da ordem do erro nominal do catálogo usado, i.e., 40 a 110 mas para o catálogo Valinhos e 20 a 70 mas para o catálogo UCAC. Nesta exclusão, em média 10% das estrelas com maiores desvios são eliminadas.

Após a obtenção das constantes de placa e dos valores de medidas X e Y para cada estrela, usando as equações inversas da projeção gnomônica $F(X, Y, \alpha_0, \delta_0)$ e $G(Y, \alpha, \alpha_0, \delta_0)$, calculamos as coordenadas α e δ para cada estrela.

3.5 - Combinação de medidas e Redução Global

Como para todos os quasares dispúnhamos de mais de uma imagem do campo de cada quasar, uma melhor média das medidas x e y pode ser obtida se fizermos uma combinação sucessiva usando-se a forma polinomial de Turner como modelo. O procedimento é semelhante ao do ajustamento com os X e Y obtidos com um campo de estrelas de catálogo.

Esse processo de Redução Global (Assafin et al, 1997), consiste em primeiramente calcular a média para cada objeto, das posições determinadas nas reduções de cada observação, obtendo assim, um "catálogo" médio preliminar. Este "catálogo" preliminar é utilizado como referência para uma nova redução dos campos, de forma a obter novas coordenadas, calcular novamente as posições médias e repetir o procedimento até que não ocorra mais variação significativa nas posições obtidas (1 mas). Na maioria dos casos os resultados convergem em 5 ou 6 iterações.

3.6 - Redução Final – Determinação de α , δ e magnitudes.

Após a obtenção das medidas X e Y definitivas correspondente às posições das estrelas, resultado da Redução Global, procedemos o cálculo da projeção gnomônica inversa para obtenção das coordenadas α e δ do quasar e todas as estrelas existentes no respectivo campo. Além de determinar as coordenadas, calcula-se também as magnitudes.

O cálculo das magnitudes é feito a partir da equação $m = C - 2,5 \log F$, aplicada a todas as estrelas de catálogo e portanto com magnitudes conhecidas.

Temos então:

$$m_i = C - 2,5 \log F_i \quad \text{eq. 3.6.1}$$

Representando somatório por \sum , e considerando a soma das estrelas de catálogo podemos escrever:

$$[\text{mag}]_n = n \cdot C - 2,5 [\log F]_n$$

donde $C = \{ [\text{mag}] + 2,5 [\log F] \} \times 1 / n$

o que permite o cálculo das magnitudes de todas as estrelas do campo, inclusive as de catálogo.

Tendo-se recalculado as magnitudes das estrelas de referência podemos calcular o desvio padrão destas estrelas $\sigma (m_R - m_I)$, o qual podemos considerar como tolerância de erro para a magnitude de todas as estrelas de campo.

Um método alternativo e aproximado, é o cálculo da magnitude instrumental através da altura da gaussiana h , cuja expressão matemática tem a forma idêntica a da eq. 3.6.1 substituindo-se apenas o fluxo F por h :

$$\text{Mag}_{\text{inst}} = C_{\text{inst}} - 2,5 \log h \quad \text{eq. 3.6.2}$$

Da mesma forma C_{inst} pode ser calculado com as magnitudes conhecidas das estrelas de referência, sendo após isto calculadas as magnitudes de todas as estrelas.

Verifica-se entretanto que o desvio padrão $\sigma (m_R - m_I)$, calculado desta forma possui resultados melhores do que o obtido com o uso da equação com fluxo 3.6.1, o que torna mais recomendável o uso do cálculo da magnitude pela altura h , sendo este o método usado em nosso programa.

3.7 - Estimativa de erros nas medidas x, y e nas coordenadas α e δ

Um índice da qualidade da redução é dado pelos erros de ajustes gaussianos, cujos fotocentros foram determinados pela equação 3.3 como já visto anteriormente.

Sendo a medida dos fotocentros (x, y) feita por um ajuste de gaussianas bidimensionais, que é por natureza paramétrico, o próprio método permite a estimativa

dos erros dos x 's e y 's ajustados para todas as estrelas de cada campo, incluindo os respectivos quasares. Na tabela 3.1, são apresentados estes erros para os quasares nas colunas G_x e G_y , para as imagens dos telescópios de 0,60m e 1,60m.

Considerando que trabalhamos de um modo geral com três imagens para cada quasar, com exceção do 1032-199 (1,60m), 1329-665 e 2128-123 (0,60m), que tivemos imagens únicas, a combinação das imagens, com os respectivos resíduos do ajuste de redução global, nos permite avaliar de forma mais abrangente os erros das medidas x e y , sendo desta forma um importante parâmetro de precisão a ser considerado. A tabela 3.1 relaciona por isso o desvio padrão desses resíduos (E_x , E_y) para as medidas das estrelas de campo.

O próprio método de redução de (α, δ) , fornece uma estimativa de erro baseada na matriz de variância-covariância, o "standard error" ou erro padrão, o qual esta também apresentado na tabela 3.1 para cada um dos quasares, em termos de erros de coordenadas celestes E_α e E_δ .

A tabela 3.1 resume os resultados obtidos, para as imagens dos telescópios de 0,60m e 1,60 m, dos erros nas medidas x e y para cada campo de quasar bem como a média geral para todos os quasares e o respectivo desvio padrão. São indicados também os erros estimados para α e δ , considerando as reduções com o catálogo UCAC2.

Para as reduções das imagens do telescópio de 0,60m encontramos o valor médio de $\sigma(\alpha)$ e $\sigma(\delta)$ de 30,8 mas e 31,3 mas respectivamente, sendo que o valor médio do erro padrão E_α e E_δ se situou em 9,0mas e 9,3 mas respectivamente. Foram usadas em média 32 estrelas de referência considerando os 24 quasares não eliminados.

Para o telescópio de 1,60m encontramos o valor médio de $\sigma(\alpha)$ e $\sigma(\delta)$ de 30,7 mas e 29,3 mas respectivamente, sendo que o valor médio do erro padrão E_α e E_δ se situou em 9,3mas e 9,1 mas respectivamente. Foram usadas em média 28 estrelas de referência considerando os 24 quasares aproveitados.

Algumas reduções foram feitas com menos de 6 estrelas de referência, ou apresentaram outros problemas. Estes casos estão indicados entre () e estão excluídos da média e desvio padrão geral indicados nas últimas linhas da tabela 3.1.

Além dos procedimentos indicados anteriormente para estimativa de erros, procedemos a análise dos erros nas medidas x , y versus magnitudes, para os telescópios de 0,60m e 1,60m com reduções feitas com o UCAC2. Estes resultados estão apresentados nas tabelas 3.2 e 3.3, respectivamente para os telescópios de 0,60m e 1,60m.

As figuras 3.1 a,b,c,d apresentam os gráficos de erros gaussianos e desvios padrão para x e y versus magnitudes para um total de 4.383 estrelas identificadas nas imagens dos diversos campos de quasares obtidos com o telescópio de 0,60m. A média por ponto é 77.

Tabela 3.1 - Continuação

Quasares:	N	Telescópio de 0,60m - (mas)										Telescópio de 1,60m - (mas)																			
		Erros x, y					$\sigma(O-C)_{\alpha,\delta}$					Erro Padrão					Erros x, y					$\sigma(O-C)_{\alpha,\delta}$					Erro Padrão				
		Ex	Ey	Gx	Gy		$\sigma(\alpha)$	$\sigma(\delta)$	E_{α}	E_{δ}	N	Ex	Ey	Gx	Gy		$\sigma(\alpha)$	$\sigma(\delta)$	E_{α}	E_{δ}	N	Ex	Ey	Gx	Gy		$\sigma(\alpha)$	$\sigma(\delta)$	E_{α}	E_{δ}	N
17 1510-089	23	17	16	8	7	27	29	6	7											30	17	14	3	3	14	18	3	4			
18 1511-100	21	19	16	14	14	23	28	5	6											18	17	22	17	17	35	39	11	13			
19 1514m197	8	23	16	35	28	40	43	20	21											12	15	17	9	11	20	17	7	6			
20 1514-241	24	24	20	7	6	20	28	4	6											(5)	Imagem esc.	(17)	(14)	(14)	(61)	(71)	(52)	(61)			
21 1538m149	13	26	21	12	11	35	31	13	12											15	21	18	5	5	32	28	8	7			
22 1656m053	22	15	13	10	8	33	31	7	7											44	18	24	4	4	35	32	5	5			
23 1921-293	132	18	14	11	9	33	35	3	4												(9)	(7)	(9)	(10)					S/ redução		
24 1925-610	(18)	(1)	(1)	(177)	(148)	(39)	(37)	****	****											18	10	14	11	11	51	46	12	11			
25 2037-253	22	19	16	101	70	33	30	8	7											33	12	10	9	9	30	30	6	6			
26 2052-474	9	19	22	25	21	29	22	10	8											21	9	7	4	4	30	32	7	7			
27 2128-123	15	0	0	5	5	30	34	9	10											10	20	21	3	3	30	36	10	12			
28 2204-540	Imagens cortadas																			(4)	(18)	(13)			(80)	(9)	(124)	(13)			
29 2251m158	12	14	17	20	20	36	34	12	11											8	25	17	4	4	32	28	15	13			
30 2255-282	6	19	22	15	13	53	52	29	29											7	24	16	16	16	40	32	19	15			
31 2326-477	9	18	21	8	7	37	45	13	16											7	19	20	3	3	35	32	13	12			
32 2328m107	16	17	20	64	53	25	29	7	8											9	20	20	12	12	27	32	9	11			
Média	30	18	17	30	26	30	31	9	9											28	15	14	8	8	31	29	9	9			
Desv. Padrão	6	5	5	27	22	7	8	6	6												7	6	6	6	8	7	7	6			

Tabela 3.1 : Estimativa de erro em (x, y), e (α , δ). N = Qtde. de estrelas de referência, Ex,y = Desvio padrão em (x, y) das estrelas de campo (redução global). Gx,y = Erro padrão do ajuste Gaussiano dos quasares; $\sigma(\alpha,\delta)$ = Desv. Padrão das estrelas de referência. (redução de α, δ); E_{α}, δ = Erro padrão das coordenadas α e δ dos quasares. Os valores entre () estão excluídos da Média e Desvio padrão.

Tabela 3.2 - Magnitudes e erros em (x, y) (mas) - Telesc. de 0,60m

Magnitude	Ex	Ey	σ (Ex)	σ (Ey)	N
9,5	2,00	2,00	0,00	0,00	1
9,7	4,50	4,00	0,71	0,00	2
9,9	15,67	6,67	15,53	4,55	3
10,1	17,33	5,67	15,82	2,86	3
10,3	5,00	4,00	0,00	0,00	2
10,4	8,00	7,67	3,54	3,19	3
10,6	23,00	22,00	0,00	0,00	1
10,8	12,67	11,33	5,31	5,31	3
11,0	11,00	8,33	3,21	2,01	6
11,2	10,00	9,00	3,74	3,50	4
11,4	7,22	6,11	1,79	1,27	9
11,6	6,56	5,33	2,06	1,84	9
11,7	6,88	6,50	2,06	1,93	8
11,9	7,10	6,00	1,69	1,68	10
12,1	9,23	7,85	2,26	2,12	13
12,3	9,29	8,57	4,18	3,85	7
12,5	5,36	4,82	0,64	0,47	11
12,7	9,13	8,20	1,74	1,66	15
12,9	8,52	7,43	0,95	0,89	21
13,0	8,17	7,00	1,12	1,03	24
13,2	9,41	8,47	1,20	1,10	34
13,4	9,68	8,59	1,18	1,09	22
13,6	8,31	7,17	0,63	0,55	36
13,8	10,27	9,41	1,03	1,07	41
14,0	10,23	8,98	0,81	0,77	48
14,2	10,93	9,53	0,83	0,77	60
14,3	10,19	9,16	0,84	0,83	63
14,5	10,71	9,40	0,55	0,50	84
14,7	12,15	10,82	0,98	0,95	39
14,9	14,07	13,11	1,20	1,64	100
15,1	12,93	11,41	0,78	0,67	95
15,3	15,15	13,58	1,22	1,25	95
15,5	13,95	12,33	0,57	0,52	168
15,6	19,28	16,62	1,10	0,79	170
15,8	17,82	14,78	1,58	0,67	161
16,0	17,64	15,45	0,85	0,72	107
16,2	20,11	17,14	1,05	0,74	184
16,4	21,95	18,96	0,79	0,66	225
16,6	21,64	18,50	0,87	0,72	224
16,8	25,93	22,98	0,80	0,89	294
16,9	30,43	26,90	1,06	1,18	271
17,1	35,01	28,89	2,07	1,27	243
17,3	32,21	26,78	2,03	1,36	216
17,5	30,71	24,81	2,45	1,79	119
17,7	24,88	21,09	1,64	1,27	168
17,9	27,82	24,46	1,73	1,58	173
18,1	30,35	25,17	1,51	1,16	127
18,2	29,20	25,70	1,05	1,04	128
18,4	34,42	28,90	1,73	1,08	114
18,6	36,58	32,69	1,50	1,68	62
18,8	42,09	34,35	1,58	1,33	86
19,0	49,19	41,62	2,50	3,04	85
19,2	59,64	52,82	3,00	3,21	61
19,4	64,96	56,43	3,14	2,62	53
19,5	75,00	62,90	3,47	2,90	41
19,7	87,94	73,00	6,88	4,74	17
19,9	87,21	78,21	6,66	8,99	14
Total					4383

Tabela 3.2 - Erros Gaussianos em (x, y) dos ajustes e desvios padrão para as diversas magnitudes. N = quantidade de estrelas em cada ponto.

Tabela 3.3 - magnitudes e erros em (x, y) (mas) - Telesc. de 1.60m

Magnitude	Ex	Ey	$\sigma (Ex)$	$\sigma (Ey)$	N
10,6	3,00	3,00	0,00	0,00	1
11,1	5,00	5,00	0,00	0,00	1
11,4	2,67	2,33	1,08	0,82	3
11,9	3,67	4,00	1,47	1,87	3
12,1	4,00	4,50	2,83	3,54	2
12,4	2,00	2,00	0,00	0,00	2
12,6	5,71	6,71	2,48	2,86	7
12,9	4,17	4,00	0,96	0,80	6
13,1	3,63	9,94	0,62	4,51	16
13,4	3,27	3,36	0,47	0,55	11
13,6	3,79	4,71	0,60	1,49	14
13,9	3,00	3,13	0,49	0,55	8
14,1	3,84	3,74	0,95	0,85	19
14,4	2,87	2,87	0,28	0,30	15
14,6	3,25	3,28	0,33	0,40	32
14,9	3,29	3,38	0,23	0,24	21
15,1	4,21	3,97	0,53	0,44	39
15,4	3,11	3,14	0,38	0,45	28
15,6	3,87	3,86	0,32	0,34	69
15,9	4,61	4,83	0,35	0,41	41
16,1	4,68	4,67	0,39	0,41	91
16,4	6,73	6,83	1,12	1,24	52
16,6	6,46	5,88	0,89	0,57	129
16,9	6,31	6,23	0,49	0,50	100
17,1	6,77	6,89	0,46	0,52	168
17,4	7,57	7,53	0,53	0,56	96
17,6	8,53	8,50	0,53	0,54	163
17,9	9,83	9,56	0,70	0,66	120
18,1	8,20	8,23	0,54	0,60	128
18,4	9,86	9,10	1,20	0,91	102
18,6	10,34	9,96	0,86	0,80	139
18,9	12,32	11,49	1,38	1,19	77
19,1	11,20	10,52	0,88	0,79	114
19,4	13,60	13,23	1,01	1,04	94
19,6	15,63	14,95	1,18	1,15	101
19,9	21,76	20,19	2,35	1,82	70
20,1	20,41	20,22	1,24	1,37	97
20,4	22,36	20,12	1,73	1,48	50
20,6	25,93	24,75	1,80	1,89	59
20,9	27,49	25,56	2,98	2,70	39
21,1	33,94	33,33	2,64	2,90	33
21,4	39,60	38,20	3,30	2,91	25
21,6	62,00	53,06	6,89	5,90	18
21,9	55,10	55,10	11,87	11,46	10
Total					2413

Tabela 3.3 - Erros Gaussianos em (x, y) dos ajustes e desvios padrão para as diversas magnitudes. N = quantidade de estrelas em cada ponto, para o telescópio de 1.60m.

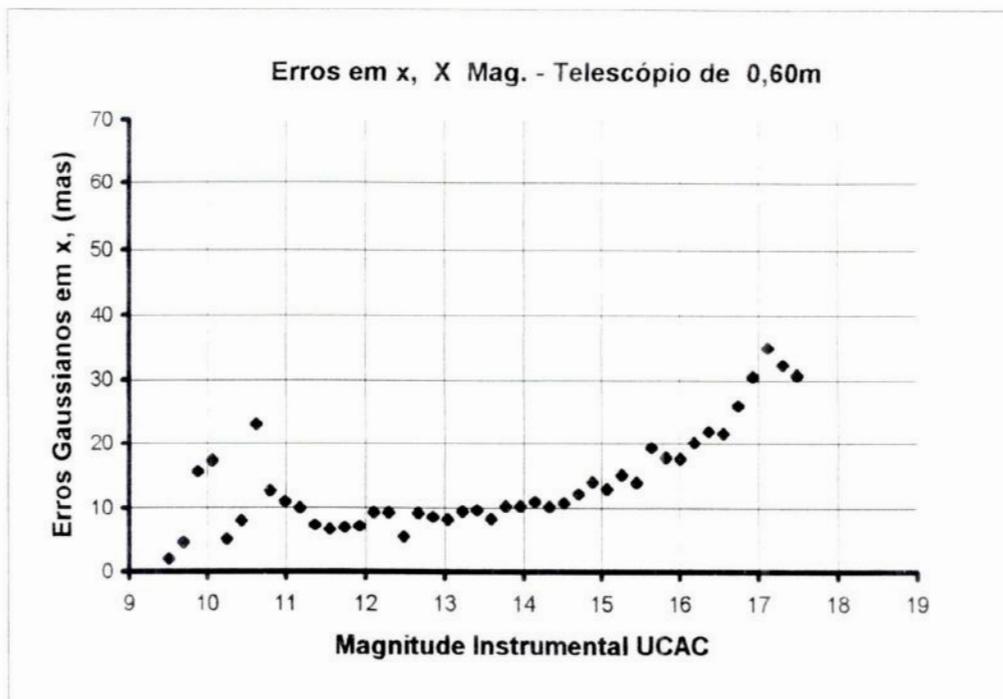


Figura 3.1.a Erros gaussianos em x dos objetos medidos nos campos CCD, em função das magnitudes instrumentais no sistema UCAC
 Total de objetos = 4.383; Média por ponto = 77

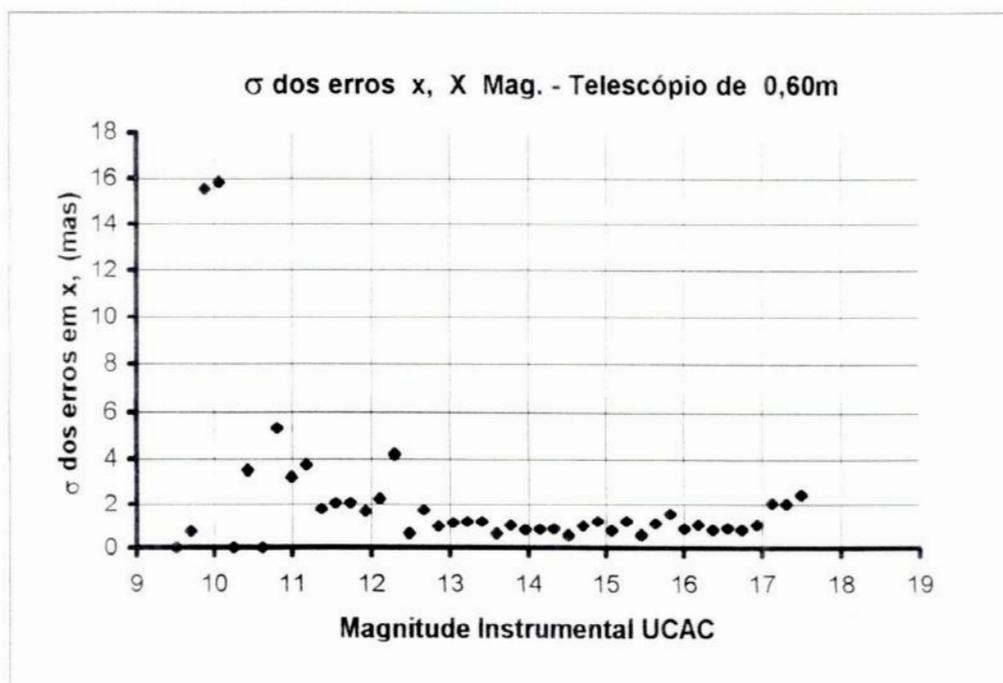


Figura 3.1.b Desvios padrão dos erros gaussianos em x dos objetos medidos nos campos CCD, em função das magnitudes instrumentais no sistema UCAC
 Total de objetos = 4.383; Média por ponto = 77

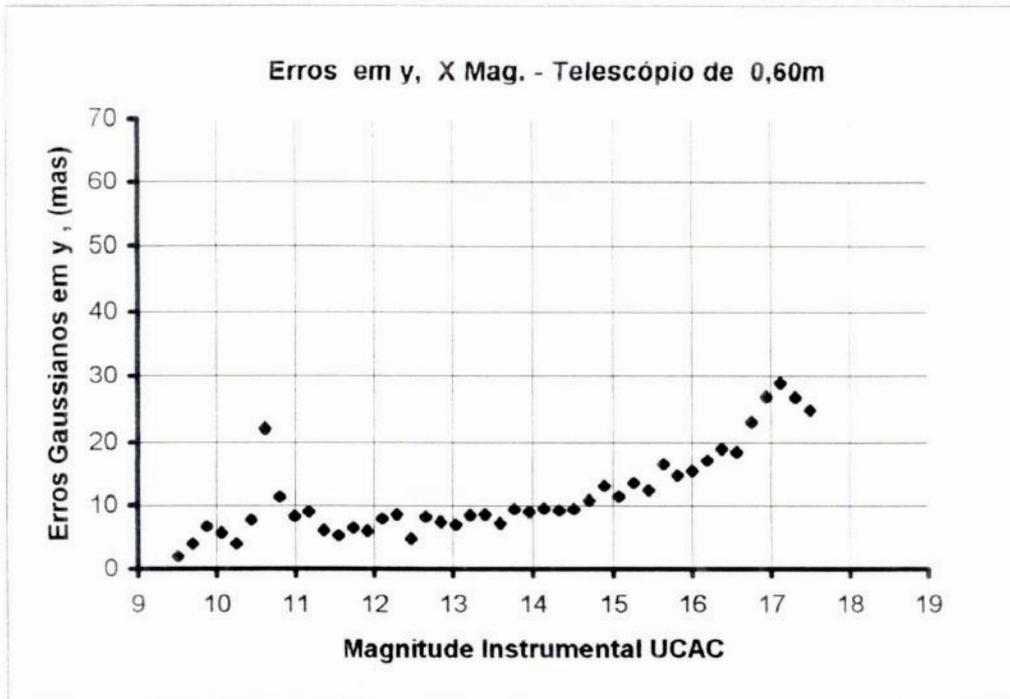


Figura 3.1.c Erros gaussianos em y dos objetos medidos nos campos CCD, em função das magnitudes instrumentais no sistema UCAC
 Total de objetos = 4.383; Média por ponto = 77

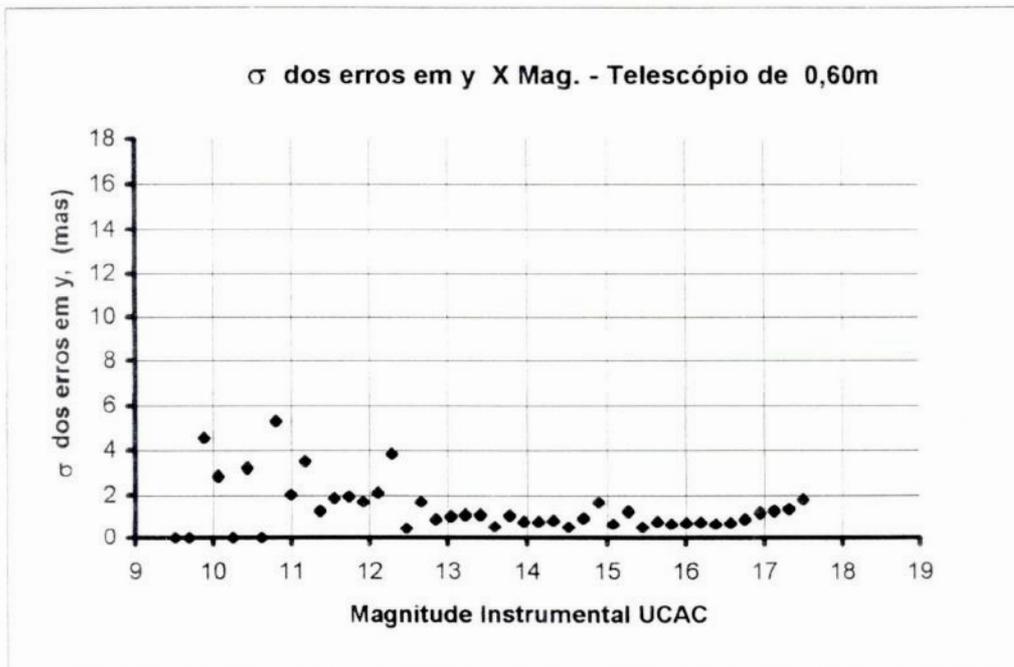


Figura 3.1.d Desvios padrão dos erros gaussianos em y dos objetos medidos nos campos CCD, em função das magnitudes instrumentais no sistema UCAC
 Total de objetos = 4.383; Média por ponto = 77

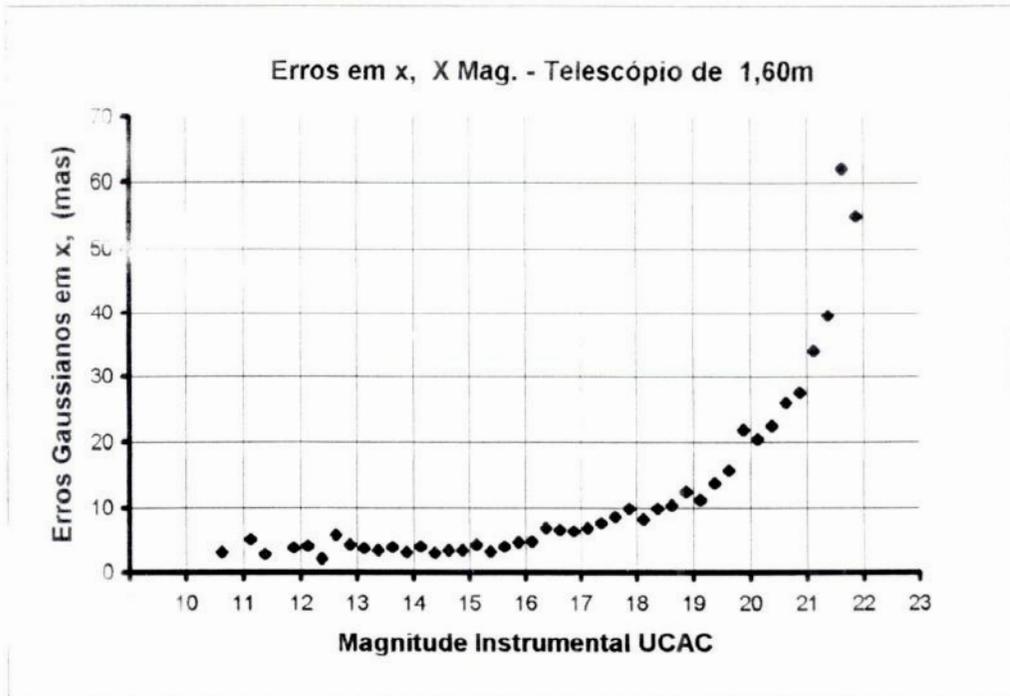


Figura 3.2.a Erros gaussianos em x dos objetos medidos nos campos CCD, em função das magnitudes instrumentais no sistema UCAC
 Total de objetos = 2.413. Média por ponto = 55

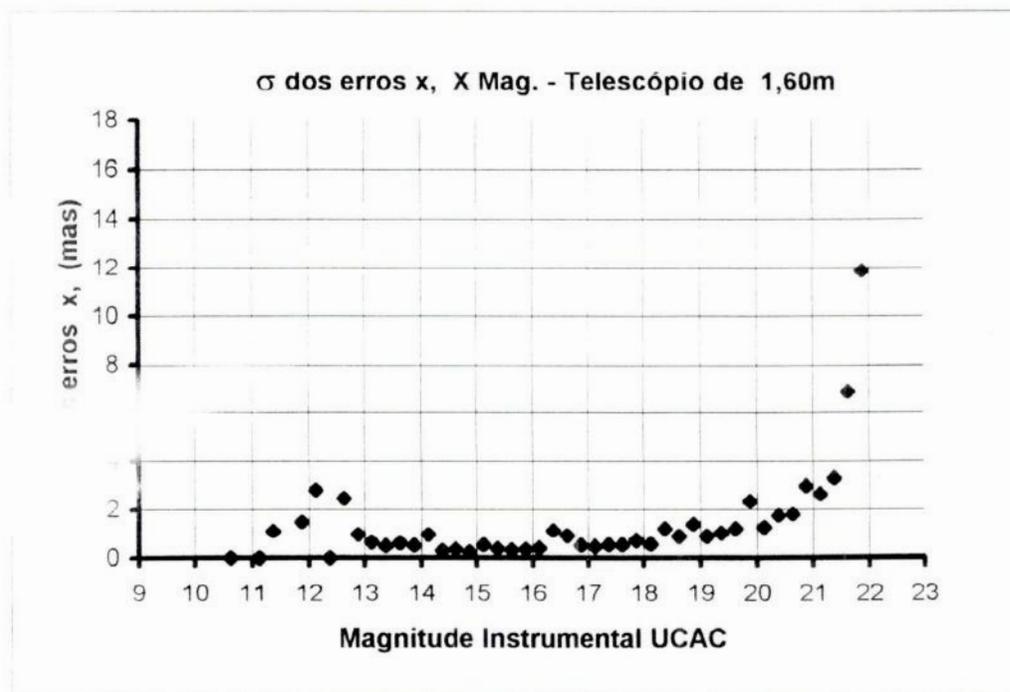


Figura 3.2.b Desvios padrão dos erros gaussianos em x dos objetos medidos nos campos CCD, em função das magnitudes instrumentais no sistema UCAC
 Total de objetos = 2.413. Média por ponto = 55

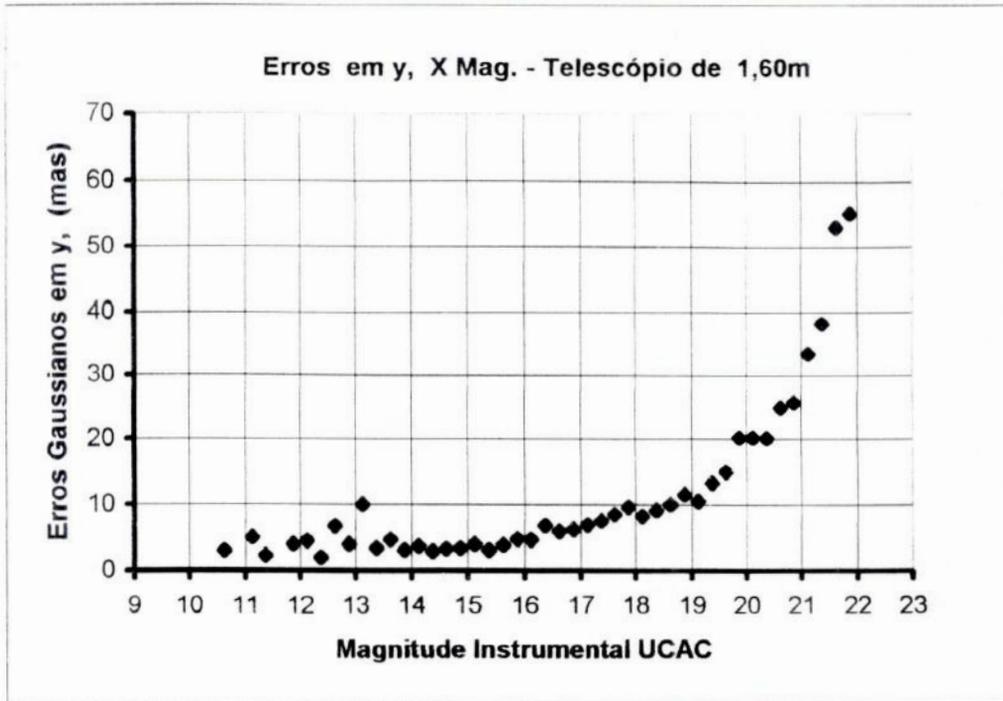


Figura 3.2.c Erros gaussianos em y dos objetos medidos nos campos CCD, em função das magnitudes instrumentais no sistema UCAC
 Total de objetos = 2.413. Média por ponto = 55

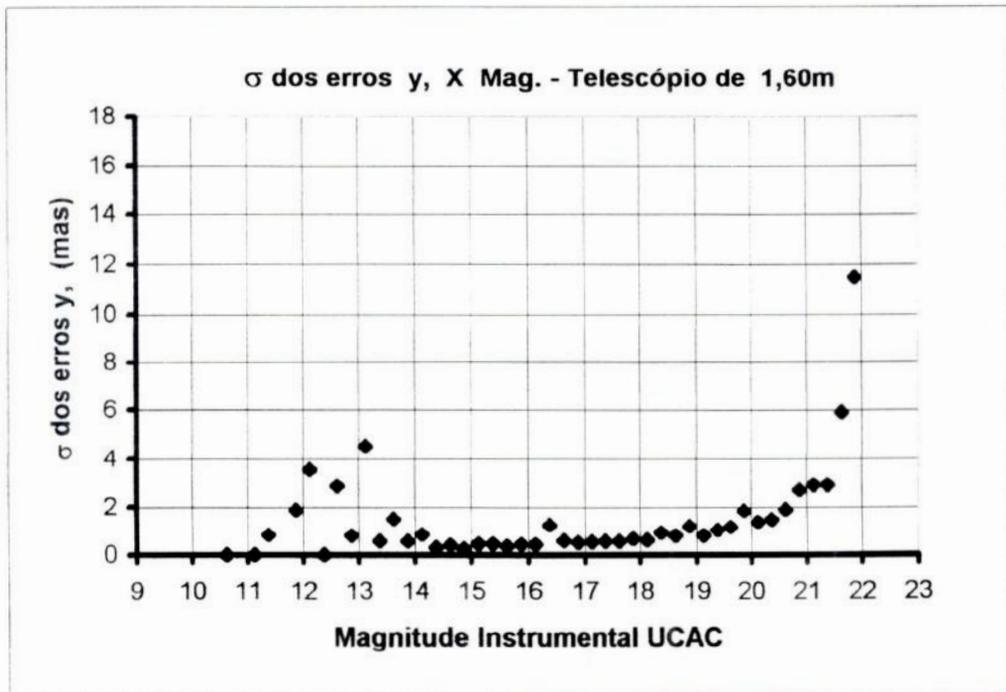


Figura 3.2.d Desvios padrão dos erros gaussianos em y dos objetos medidos nos campos CCD, em função das magnitudes instrumentais no sistema UCAC
 Total de objetos = 2.413. Média por ponto = 55

As figuras 3.2. a,b,c,d apresentam os mesmos gráficos, considerando-se 2.413 estrelas identificadas nas imagens do telescópio de 1,60m. A média por ponto é 55.

A análise destes gráficos mostra-nos que o comportamento e os valores dos erros em x, y e seus desvios padrão, versus magnitudes, estão de acordo com o esperado, bem como todos os trabalhos existentes na literatura tratando deste assunto.

Observa-se também pelos gráficos 3.1.a, c e 3.2.a, c a melhor performance do telescópio de 1,60m para magnitudes até 17 quando comparamos seus resultados com o de 0,60m, o que é esperado em função das distâncias focais dos instrumentos .

Capítulo 4. Determinação de posições precisas de fontes ICRF com os catálogos Valinhos e UCAC II

No capítulo 2 fizemos uma análise comparativa entre os catálogos Valinhos e UCAC, cujos resultados coincidem com o que já é do nosso conhecimento através da literatura. Identificamos diferenças de medidas de posição de estrelas com o uso dos dois catálogos, bem como avaliamos a variação das mesmas com a magnitude e cor. Concluímos sobre a validade do uso de catálogo UCAC, mesmo tendo sido feito em R.

Embora os resultados de comparação UCAC / Valinhos indiquem uma maior precisão do catálogo UCAC em relação a Valinhos, eles por si só não são concludentes. Só o uso destes catálogos para redução da posição de fontes rádio com coordenadas precisas como as de VLBI, nos levarão a resultados que permitam uma conclusão.

Neste capítulo apresentamos as posições óticas precisas obtidas para fontes rádio extragalácticas no referencial HIPPARCOS, representado no ótico pelos catálogos Valinhos e UCAC II.

4.1 - Posições óticas de fontes de rádio ICRF

Nesta etapa estamos considerando o uso do telescópio de 0,60m cujas imagens reduzidas constituíram catálogos secundários para o telescópio de 1,60m, obtendo-se então resultados com maior precisão e posições de estrelas de maiores magnitudes.

Como sub-produto obtivemos também a posição de 4.472 estrelas de campo sendo 3.187 originadas das reduções de imagens do telescópio de 0,60m e 1.285 do telescópio de 1,60m.

As "charts" dos campos estelares, para a identificação dos quasares foram obtidas via internet pelo site do USNO : www.nofs.navy.mil/data/FchPix, com dimensão de 10 x 10 min. de arco

Para o desenvolvimento deste trabalho foram escolhidos 32 fontes ICRF, com declinações entre +20° a -67°, representativos do programa do LNA/Valinhos, observados nos telescópios de 0,60m e 1,60m do LNA e no Círculo Meridiano de Valinhos.

A Tabela 4.1 abaixo relaciona os 32 quasares com suas respectivas posições ICRF:

Tabela 4.1 - 32 Quasares ICRF da Amostra

Quasares:	A.R.	Dec.	Quasares:	A.R.	Dec.
	h m s	grau m. s		h m s	grau m. s
0047-579	0 49 59,5	-57 38 27,0	1510-089	15 12 50,5	-9 5 59,0
0237+040	2 39 51,3	4 16 21,0	1511-100	15 13 44,9	-10 12 0,0
0919-260	9 21 29,4	-26 18 43,0	1514+197	15 16 56,8	19 32 12,0
0920-397	9 22 46,4	-39 59 35,0	1514-241	15 17 41,8	-24 22 19,0
1032-199	10 35 02,2	-20 1134,0	1538+149	15 40 49,5	14 47 45,0
1034-293	10 37 16,1	-29 34 02,0	1656+053	16 58 33,4	5 15 16,0
1129-580	11 31 43,3	-58 18 53,0	1921-293	19 24 51,1	-29 14 30,0
1144-379	11 47 01,4	-38 12 11,0	1925-610	19 30 06,2	-60 56 09,0
1228+126	12 30 49,4	12 23 28,0	2037-610	20 40 08,8	-25 07 46,0
1253-055	12 56 11,2	-5 47 21,0	2052-474	20 56 16,4	-47 14 47,0
1320-446	13 23 04,2	-44 52 33,0	2128-123	21 31 35,3	-12 7 04,0
1329-665	13 32 37,5	-66 46 50,0	2204-540	22 07 43,7	-53 46 33,0
1334-649	13 37 52,4	-65 09 24,0	2251+158	22 53 57,7	16 08 53,0
1354+195	13 57 04,4	19 19 07,0	2255-282	22 58 06,0	-27 58 21,0
1355-416	13 59 00,2	-41 52 52,0	2326-477	23 29 17,7	-47 30 19,0
1435-218	14 38 09,5	-22 04 54,0	2328+107	23 30 40,9	11 00 18,0

Tabela 4.1: Estão relacionados acima os 32 quasares e suas posições ICRF aproximadas

Os seguintes quasares apresentaram problemas nas imagens do 0,60m, dos quais alguns se estenderam até as reduções finais:

0237+040, 2204-540: Apresentaram imagens cortadas no CCD impedindo a redução.

1129-580: Não foi identificado na “chart” e aparecia muito fraco na imagem. Apesar disso conseguimos redução satisfatória com o catálogo UCAC II

1228+126: Não aparecia na “chart”, mas era muito intenso na imagem. Devido à falta do catálogo Valinhos, foi reduzido apenas com o catálogo UCAC II. Entretanto a redução apresentou resultado ruim devido à presença de um feixe luminoso na direção noroeste na forma de um jato, coincidindo com a direção de desvio do centróide. Foi feita nova redução para este campo de quasar reduzindo-se o círculo limitante da gaussiana em torno do quasar. Apesar deste procedimento ainda não se conseguiu um bom resultado.

1329-665, 1334-649: não foram identificados nas “charts” e nem nas imagens. Apesar da redução dos campos ter sido feita com bons resultados, os quasares não foram identificados com o uso do telescópio de 0,60m. O quasar 1329-665 foi identificado pelo telescópio de 1,60m

1435-218: Imagem no CCD fora de foco prejudicando a redução.

1925-610: Este quasar foi identificado na “chart”, porém aparecia muito fraco na imagem do 0,60m, não sendo por isto identificado na redução com este telescópio.

Os primeiros trabalhos de redução foram feitos com as imagens do telescópio de 0,60m, usando-se como catálogo de referência, o catálogo de Valinhos.

Nesta fase foram feitas reduções de apenas 10 campos de quasares, pelo fato de não haver catálogo disponível ou haver poucas estrelas no catálogo de Valinhos, resultando em 5 ou menos estrelas de referência nos campos dos quasares, o que prejudicou o cálculo de redução, ou a qualidade da mesma. Estão incluídos neste caso os seguintes quasares:

1355-416 : Apenas 4 estrelas de referência

1921-293 : Apenas 5 estrelas de referência.

2255-282 : Apenas 3 estrelas de referência

Passamos posteriormente para as reduções das imagens do 0,60m com o catálogo UCAC II, obtendo-se resultados melhores e mais completos face a maior densidade deste catálogo. Também com este catálogo tivemos poucas estrelas de referência (5) para o quasar **1354+195**, resultando em posicionamento impreciso para este quasar e $\sigma(\alpha, \delta)$ elevado para as estrelas de referência.

Finalmente foram feitas as reduções das imagens do telescópio de 1.60m usando-se o catálogo secundário UCAC II/.60 proveniente das reduções do 0,60m com UCAC II.

Com o uso do telescópio de 1,60m foi possível identificar o quasar **1329-665**, citado anteriormente. Não foi possível entretanto obter a redução do campo relativo ao quasar **1921-293** devido à falta de identidade entre a imagem e o respectivo catálogo secundário.

Os seguintes quasares apresentaram problemas no 1,60m:

1228+126, 1253-055: Imagem não disponível

1354+195, 1514-241: Apenas 5 estrelas de referência

1435-218: Usado UCAC II original (falta de catálogo secundário)

2204-540: Apenas 4 estrelas de referência e usado UCAC II original

Na tabela 4.2 são apresentados os resultados das reduções obtidas para os 32 quasares com os catálogos Valinhos, UCAC II e seu secundário UCAC II.60, com as imagens dos telescópios de 0,60m e 1.60m.

Nesta tabela identificamos como (O-C) o desvio padrão das estrelas de campo em A.R. ($\Delta\alpha\cos\delta$) e Decl. ($\Delta\delta$), (O-R) as diferenças de posição (Ótico-Rádio) em mas, para os quasares em A.R. e Decl. Os valores entre parênteses não estão incluídos na média e desvio padrão da tabela 4.3 a seguir. Estão também indicadas na tabela as ocorrências

Tabela 4.2 - Resultados das reduções com os catálogos Valinhos e UCAC II, e telescópios de 0,60m e 1,60m

Telescópios: Catálogos :	Telescópio de 1,60 m										Telescópio de 0,60 m												
	Catálogo UCAC II / 1,60					Catálogo UCAC II					Catálogo Valinhos					Catálogo Valinhos							
	N	(O-C), (mas)	$\Delta\alpha\cos\delta$	$\Delta\alpha$	$\Delta\delta$	ϵ_x	ϵ_y	Magn.	Época	N	(O-C), (mas)	$\Delta\alpha\cos\delta$	$\Delta\alpha$	$\Delta\delta$	ϵ_x	ϵ_y	Magn.	(O-C), (mas)	$\Delta\alpha\cos\delta$	$\Delta\alpha$	$\Delta\delta$	Magn.	
1	0047-579	8	43	40	+25	34	+48	32	17,6	97,6603	6	16	19	-18	8	+14	10	17,3					
2	0237+040	5	25	25	-15	14	+6	14	17,9	97,9370													
3	0919-260	24	30	25	+42	9	-26	8	17,8	99,3151	43	29	25	+78	5	-21	4	18,0					
4	0920-397	37	28	25	-2	5	+30	4	17,7	97,1671	37	30	26	+49	6	+5	5	18,2					
5	1032-199	11	32	31	+67	13	0	13	19,4	00,3425	10	29	25	+26	11	+52	10	18,6					
6	1034-293	22	22	24	-11	6	-7	7	18,5	00,3425	9	24	24	+1	9	+3	10	17,7					
7	1129-580	113	29	25	-40	3	+22	2	18,2	00,3425	172	33	47	+58	3	+63	4	18,7					
8	1144-378	24	23	24	-36	5	+28	6	16,7	97,2548	22	32	32	-78	7	+18	7	18,8					
9	1228+126									99,5014	(6)	(59)	(27)	(-359)		(+188)		15,2					
10	1253-055									99,5014	12	24	22	+47	7	+19	7	15,6					
11	1320-446	98,3288	62	31	+50	4	+88	3	19,0	99,5014	57	33	24	+67	6	+79	5	19,2					
12	1329-665	98,3315	93	35	-60	4	+75	3	18,8	98,6493	(117)	(35)	(35)	****		****							
13	1334-649	98,326	(108)	(31)	(32)	****	****			98,6493	(135)	(41)	(36)	****		****							
14	1354+195	95,4356	(5)	(32)	(97)	(-77)	(17)	(-141)	(53)	16,7	(5)	(135)	(85)	(-69)	(70)	(-67)	(44)	16,0					
15	1355-416	98,3288	52	27	31	+34	5	+26	5	15,1	97,1699	24	26	30	+27	7	-8	8	15,2				
16	1435-218	98,3342	(6)	(50)	(51)	(-131)	(24)	(-16)	(24)	18,5													
17	1510-089	99,2329	30	14	18	-20	3	-35	4	16,8	99,5041	23	27	29	-30	6	-33	7	17,0				
18	1511-100	95,3753	18	35	39	-90	11	-48	13	18,4	99,5041	21	23	28	-37	5	+2	6	18,2				
19	1514+197	99,2301	12	20	17	-10	7	+17	6	18,6	99,5014	8	40	43	-20	20	-8	21	18,7				
20	1514-241	92,4384	(5)	(61)	(71)	(+9)	(52)	(+3)	(61)	15,2	99,3151	24	20	28	+32	4	-35	6	15,6				

Tabela 4.2 - Continuação

Telescópios:		Telescópio de 1,60 m						Telescópio de 0,60 m														
Catálogos :		Catálogo UCAC II / 60						Catálogo UCAC II														
Quasares	Época	N	(O-C), (mas)		(O-R), (mas)		Magn.	N	(O-C), (mas)		(O-R), (mas)		Magn.	Catálogo Valinhos								
			$\Delta\alpha\cos\delta$	$\Delta\delta$	$\Delta\alpha\cos\delta$	$\Delta\delta$			$\Delta\alpha\cos\delta$	$\Delta\delta$	$\Delta\alpha\cos\delta$	$\Delta\delta$										
21	1538+149	15	32	28	-54	8	+46	7	16,7	35	31	-15	13	+23	12	17,5	Falta catálogo					
22	1656+053	44	35	32	-25	5	-34	5	16,8	33	31	-17	7	+14	7	16,5	Falta catálogo					
23	1921-293		Não obtida redução						33	35	+2	3	-41	4	16,4	(30)	(11)	****				
24	1925-610	18	51	46	-45	12	+10	11	19,7	(39)	(37)	****					(47)	(47)	****			
25	2037-253	33	30	30	-47	6	-66	6	19,2	33	30	-13	8	-44	7	19,4	Falta catálogo					
26	2052-474	21	30	32	-51	7	+43	7	17,2	29	22	-16	10	+25	8	17,7	27	30	+103	+15	18,0	
27	2128-123	10	30	36	-54	10	-111	12	15,6	30	34	-77	9	-47	10	14,9	Não obtida redução					
28	2204-540	(4)	(80)	(9)	(+90)	(124)	(-179)	(13)	18,1	Imagens cortadas						Imagens cortadas						
29	2251+158	8	32	28	-40	15	-9	13	15,9	36	34	+20	12	-25	11	16,0	Não obtida redução					
30	2255-282	7	40	32	+82	19	+42	15	16,9	53	52	-18	29	+21	29	16,3	(0)	(0)	(-284)	(-22)	16,0	
31	2326-477	7	35	32	+50	13	+48	12	16,1	37	45	+5	13	+57	16	15,8	Não obtida redução					
32	2328+107	9	27	32	-26	9	-29	11	18,3	25	29	+28	7	-113	8	18,2	22	58	+127	-169	13,7	
9	1228+126									(58)	(27)	(-206)		(+95)		15,6						

TABELA 4.2 - Nesta tabela são apresentadas para os 32 quasares, as reduções com os catálogos Valinhos, UCAC II e UCAC II 60 com imagens dos Telescópios de 0,60m e 1,60m. (O-C) são os desvios das estrelas de campo em A.R. e Dec., (O-R) são as diferenças posicionais dos quasares em A.R. e Dec. N representa o número de estrelas de referência usados nas reduções, e ϵ são os erros médios quadráticos nas direções x e y. Os valores entre parênteses não estão incluídos na média e desvio padrão da tabela 4.3. Estão indicadas na tabela as ocorrências que impediram a obtenção da redução de alguns quasares. Na última linha está apresentada a segunda redução do quasar 1228+126, (item 9), para avaliar o efeito da presença de jato sobre o centróide. A época 00.xxxx corresponde ao ano 2000.

que prejudicaram a qualidade ou impediram a redução de alguns campos de quasares, pelos motivos já apresentados.

Na última linha da tabela 4.2 está incluída a segunda redução feita para o quasar **1228+126**, visando avaliar o afeito da presença do jato sobre o centróide.

Estão relacionados também para cada imagem dos telescópios de 0,60m e 1,60m as épocas das observações CCD, e as magnitudes obtidas dos quasares.

Para análise dos resultados da tabela 4.2, considerando o par telescópio/catálogo foram feitos gráficos dos desvios padrão (O-C) e das diferenças (O-R), em $\Delta\alpha \cos \delta$ e $\Delta\delta$ versus A.R., Dec. e Magnitudes, resultando nas figuras 4.1.a,b,c,d; 4.2.a,b,c,d; 4.3.a,b,c,d.

Os resultados obtidos com os respectivos telescópios e catálogos são plotados simultaneamente nesses gráficos para facilitar a comparação dos mesmos.

Complementarmente, fizemos gráficos com separação dos equipamentos e catálogos para melhor visualizar a influência das variáveis.

Estes gráficos correspondem as figuras 4.1.(1,2,3).(a,b,c,d); 4.2.(1,2,3).(a,b,c,d); e 4.3.(1,2,3).(a,b,c,d).

Para a análise de magnitudes, elaboramos também gráficos dos valores absolutos O-R. (fig. 4.4.c,d e gráficos derivados, figuras 4.4.(1,2,3).c,d.)

A tabela 4.3 abaixo resume os resultados da média, erro médio quadrático (e.m.q.) e desvio padrão obtidos para (O-C) e (O-R) para cada caso:

Tabela 4.3 - Resumo dos resultados

Telescópios	1,60m				0,60m				0,60 m			
	UCAC III/60				UCAC II				Valinhos			
	O-C (mas)		O-R (mas)		O-C (mas)		O-R (mas)		O-C (mas)		O-R (mas)	
	$\Delta\alpha \times \cos \delta$	$\Delta\delta$										
Média	31	29	-12	+8	30	31	+4	+1	28	40	+89	-31
e.m.q.			9	9			8	8			29	29
Desv. Padrão	8	7	45	46	7	8	41	42	5	11	71	72
N	N _r = 28		N _q = 24		N _r = 30		N _q = 24		N _r = 10		N _q = 6	

Tabela 4.3 - Nesta tabela são apresentados os resultados finais da média, e.m.q., desvio padrão dos resíduos (O-C) e diferenças de posição (O-R) dos quasares, com os catálogos Valinhos e UCAC e telescópios 0,60m e 1,60m. (N_r=Qtde média das estrelas de referência, N_q= quasares).

4.2 - Análise dos Resultados

Da análise dos gráficos e das tabelas podemos fazer as seguintes observações:

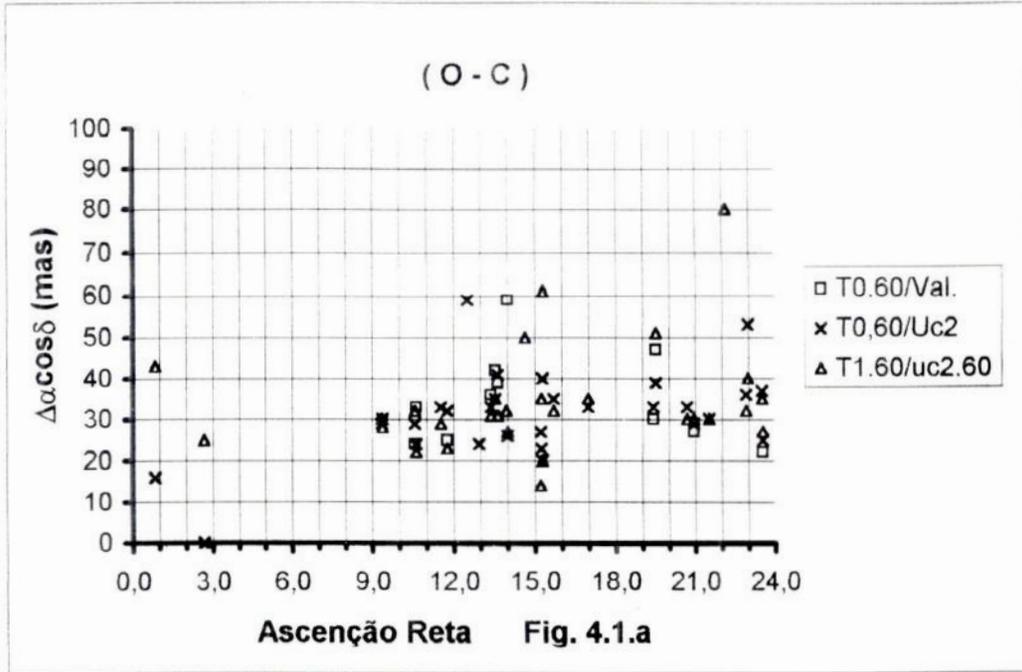


Fig. 4.1.a - Desvios padrão das diferenças em $\Delta\alpha \cos \delta$ vs. A.R. para as estrelas de campo de todos os quasares nos telescópios de 0,60m e 1,60m com os catálogos de Valinhos, UCACII e seu secundário uc2.60

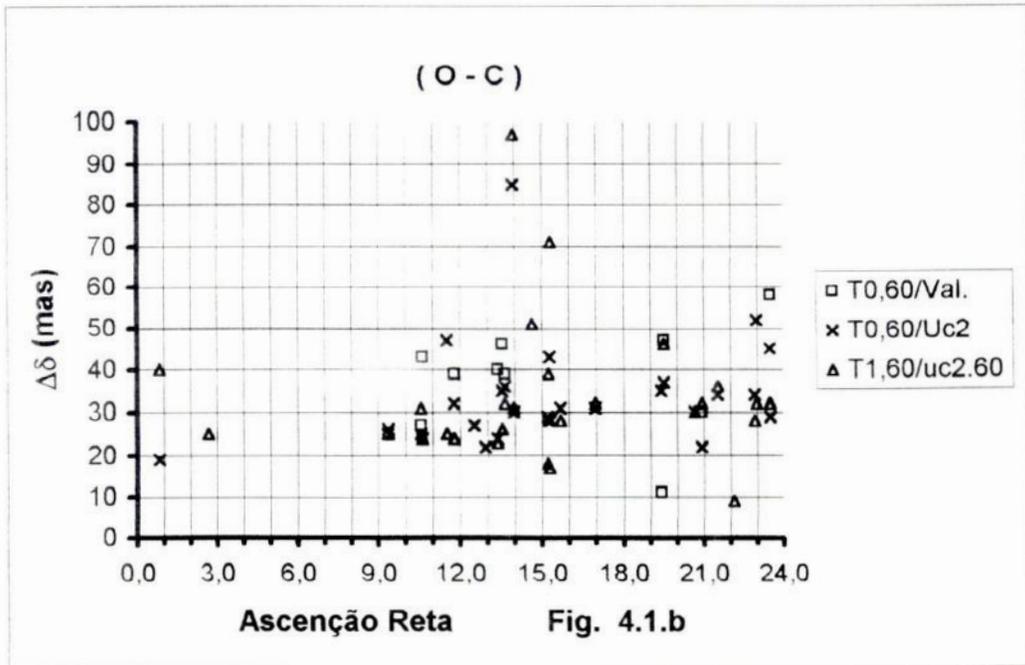


Fig. 4.1.b - Desvios padrão das diferenças em $\Delta\delta$ vs. A.R. para as estrelas de campo de todos os quasares nos telescópios de 0,60m e 1,60m com os catálogos de Valinhos, UCACII e seu secundário uc2.60

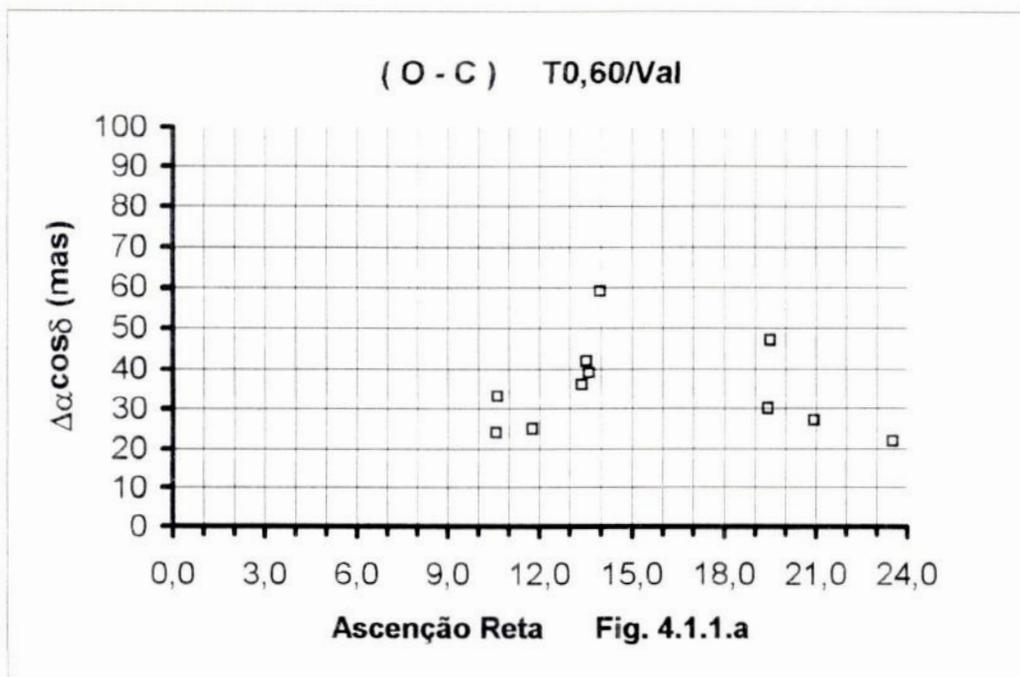


Fig. 4.1.1.a - Desvios padrão das diferenças em $\Delta\delta$ vs. A.R. para as estrelas de campo de todos os quasares no telescópio de 0,60m com o catálogo Valinhos

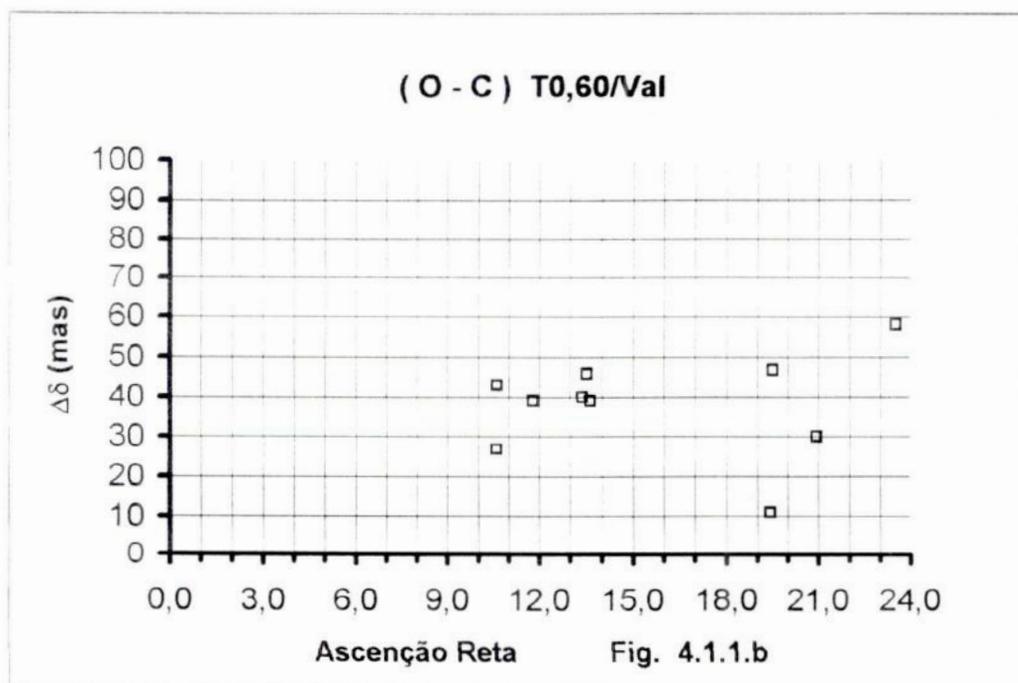


Fig. 4.1.1.b - Desvios padrão das diferenças em $\Delta\delta$ vs. A.R. para as estrelas de campo de todos os quasares no telescópio de 0,60m com o catálogo Valinhos

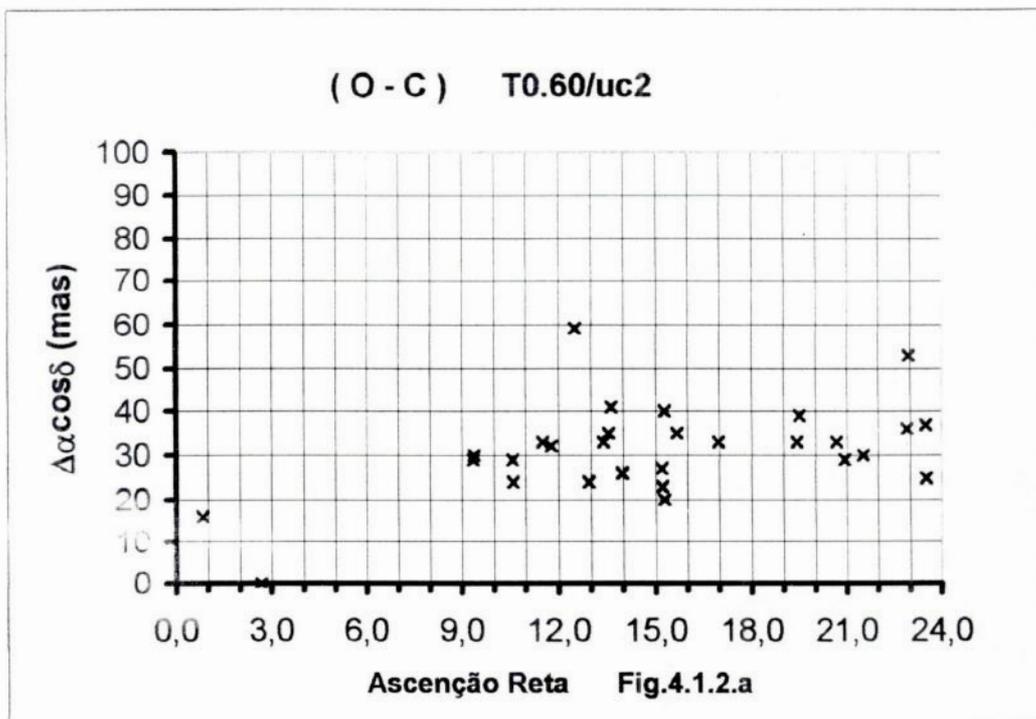


Fig. 4.1.2.a - Desvios padrão das diferenças em $\Delta\alpha \cos\delta$ vs A.R. para as estrelas de campo de todos os quasares no telescópio de 0,60m com o catálogo UCAC II

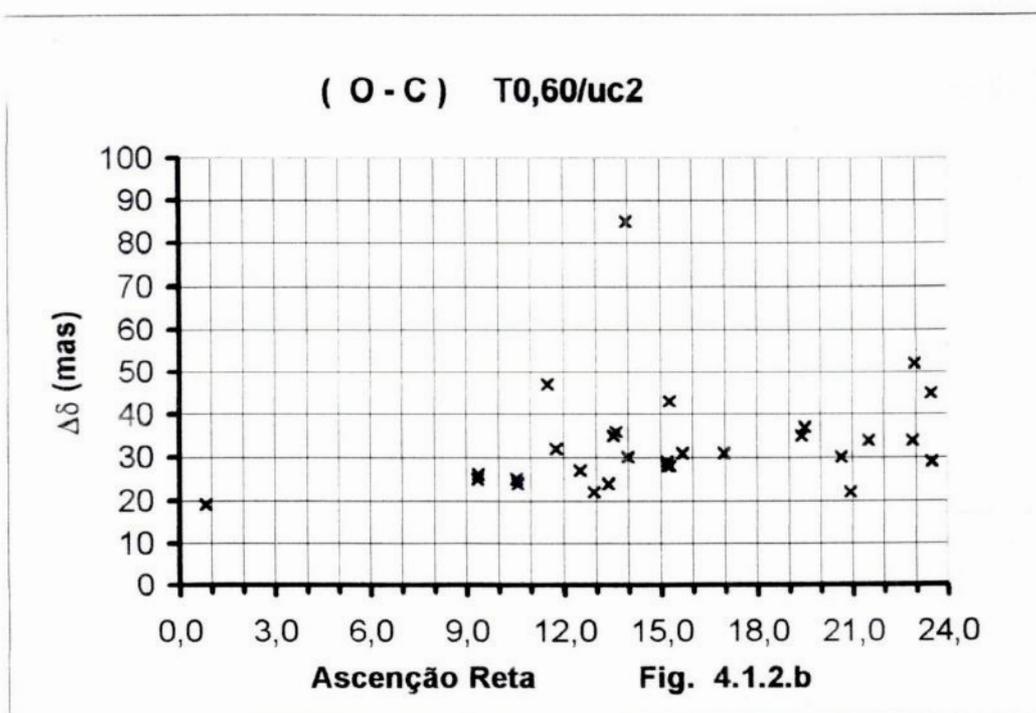


Fig. 4.1.2.b - Desvios padrão das diferenças em $\Delta\delta$ vs A.R. para as estrelas de campo de todos os quasares no telescópio de 0,60m com o catálogo UCAC II

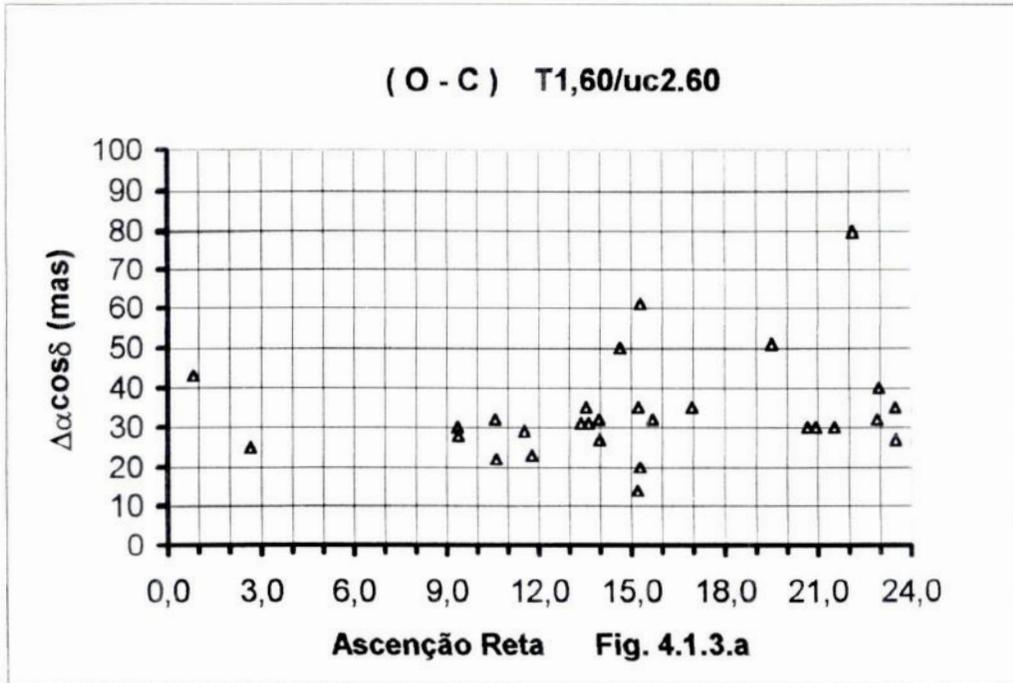


Fig. 4.1.3.a - Desvios padrão das diferenças em $\Delta\alpha \cos \delta$ vs A.R. para as estrelas de campo de todos os quasares no telescópio de 1,60m com o catálogo UCAC II .60

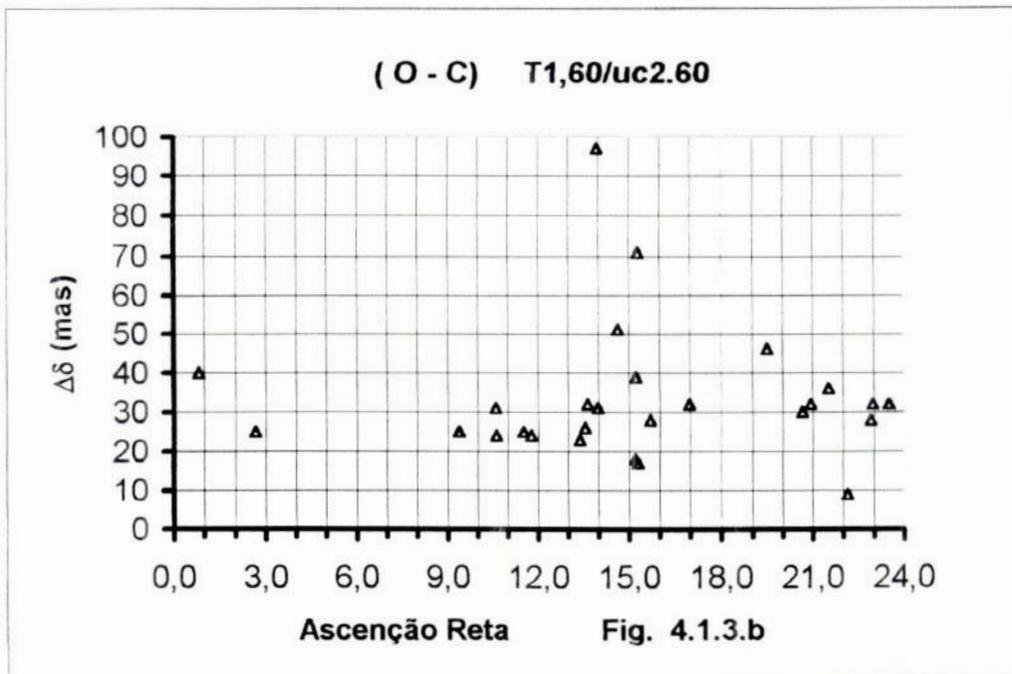


Fig. 4.1.3.b - Desvios padrão das diferenças em $\Delta\delta$ vs A.R. para as estrelas de campo de todos os quasares no telescópio de 1,60m com o catálogo UCACII.60

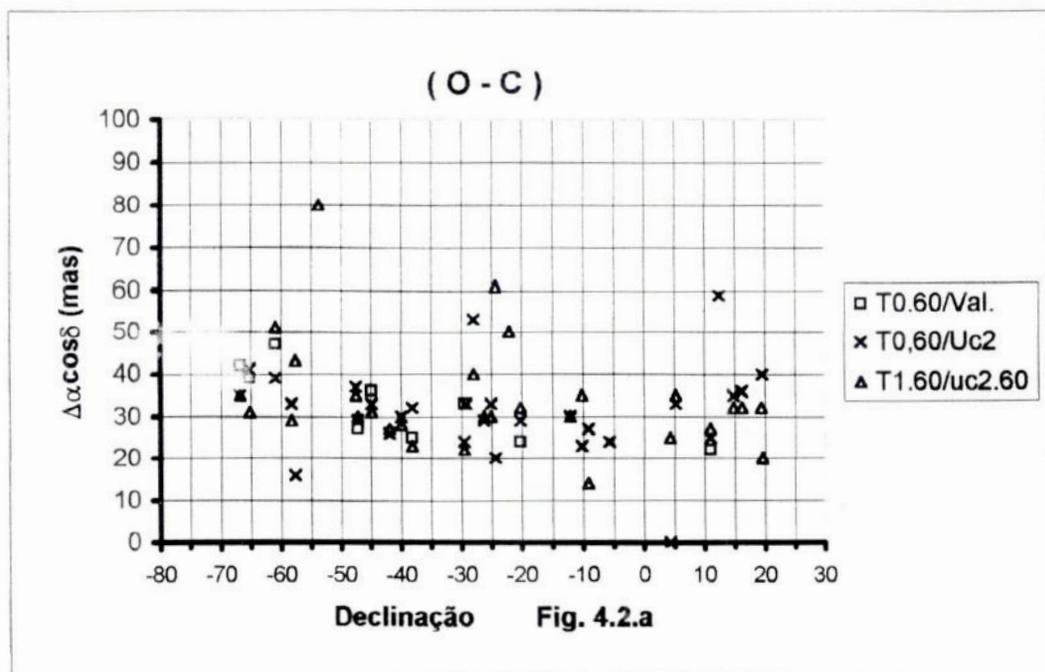


Fig. 4.2.a - Desvios padrão das diferenças em $\Delta\alpha \cos \delta$ vs Dec. para as estrelas de campo de todos os quasares nos telescópios de 0,60m e 1,60m com os catálogos de Valinhos, UCACII e seu secundário uc2.60

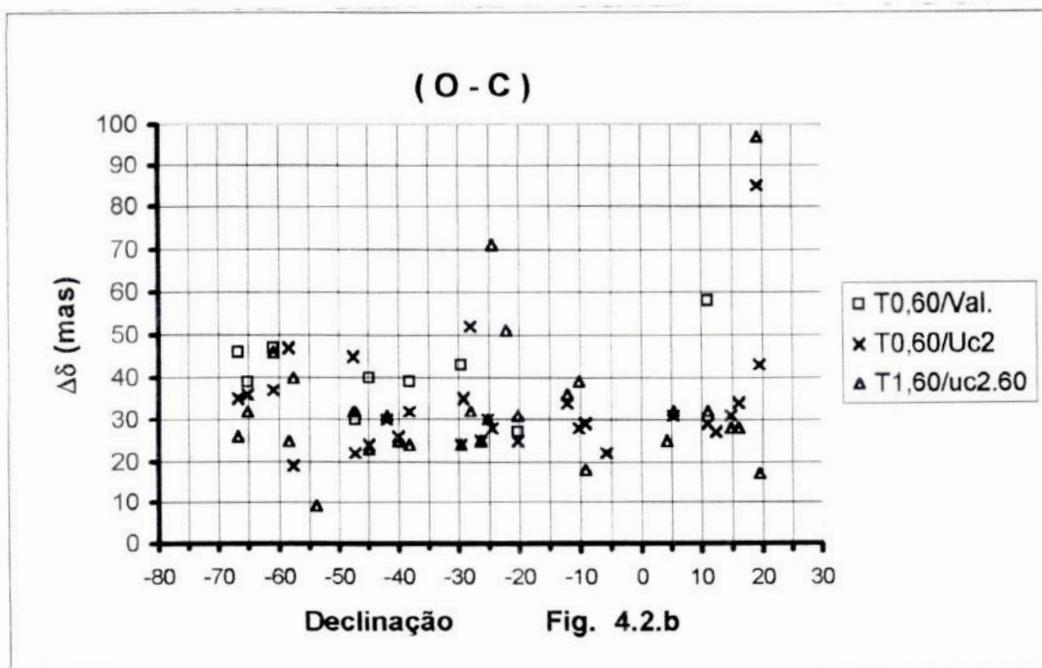


Fig. 4.2.b - Desvios padrão das diferenças em $\Delta\delta$ vs Dec. para as estrelas de campo de todos os quasares nos telescópios de 0,60m e 1,60m com os catálogos de Valinhos, UCACII e seu secundário uc2.60

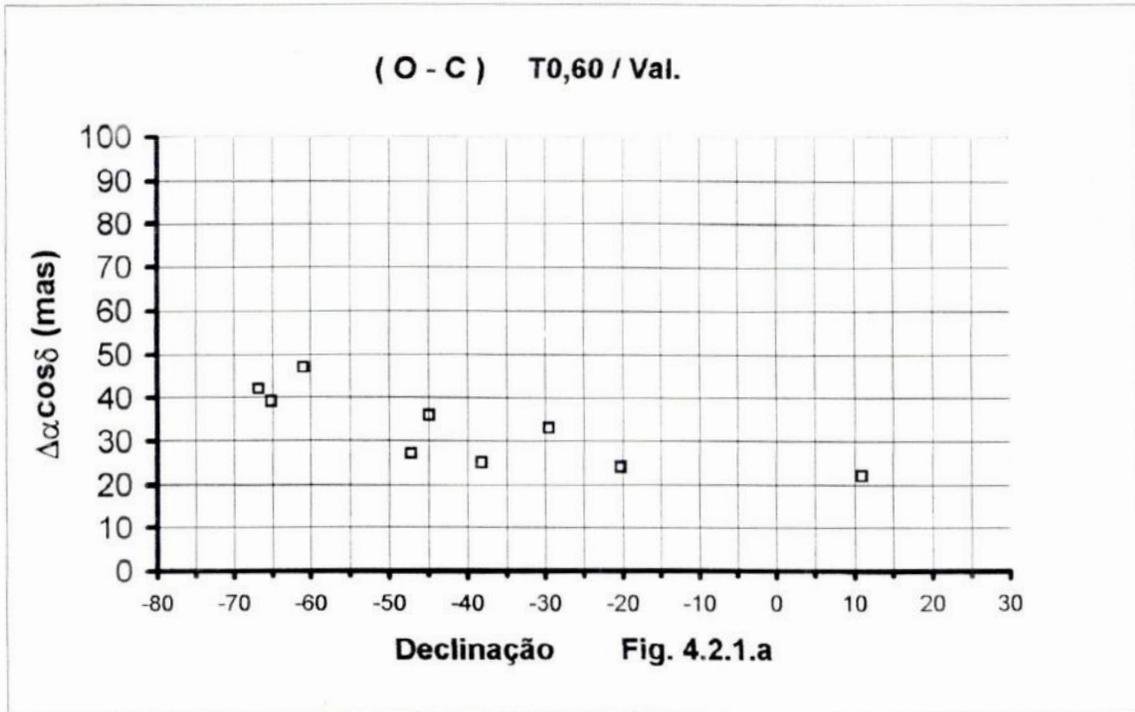


Fig. 4.2.1.a - Desvios padrão das diferenças em $\Delta\alpha \cos\delta$ vs Declinação para as estrelas de campo de todos os quasares no telescópio de 0,60m com o catálogo Valinhos

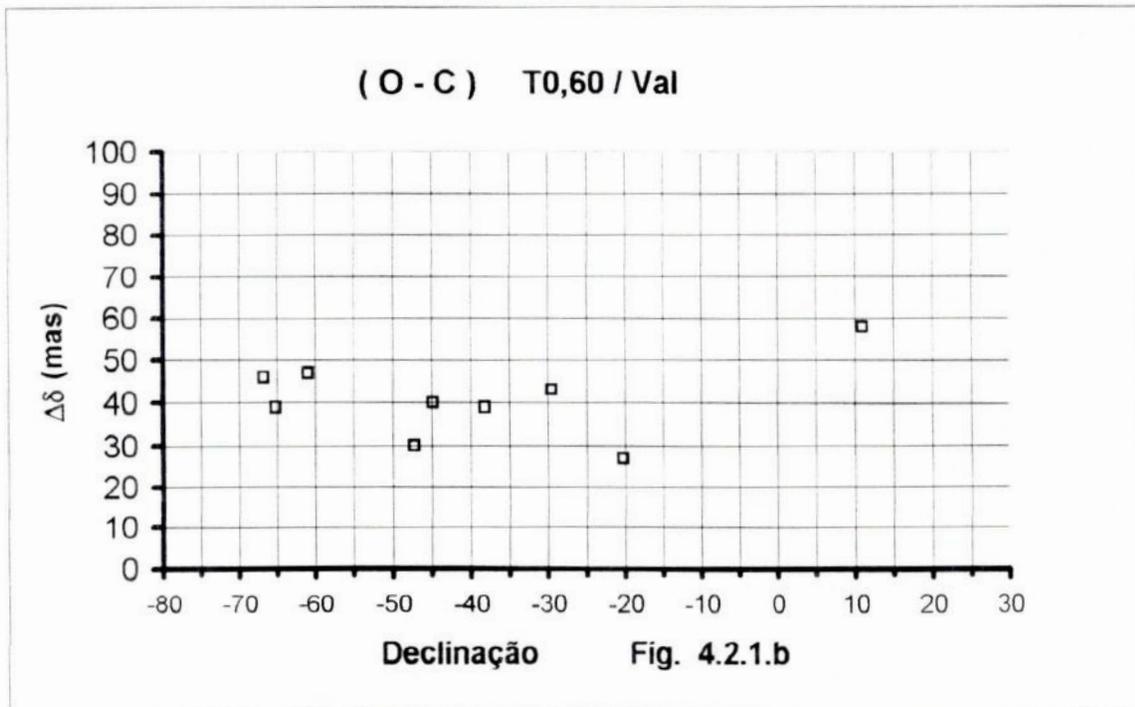


Fig. 4.2.1.b - Desvios padrão das diferenças em $\Delta\delta$ vs Declinação para as estrelas de campo de todos os quasares no telescópio de 0,60m com o catálogo Valinhos

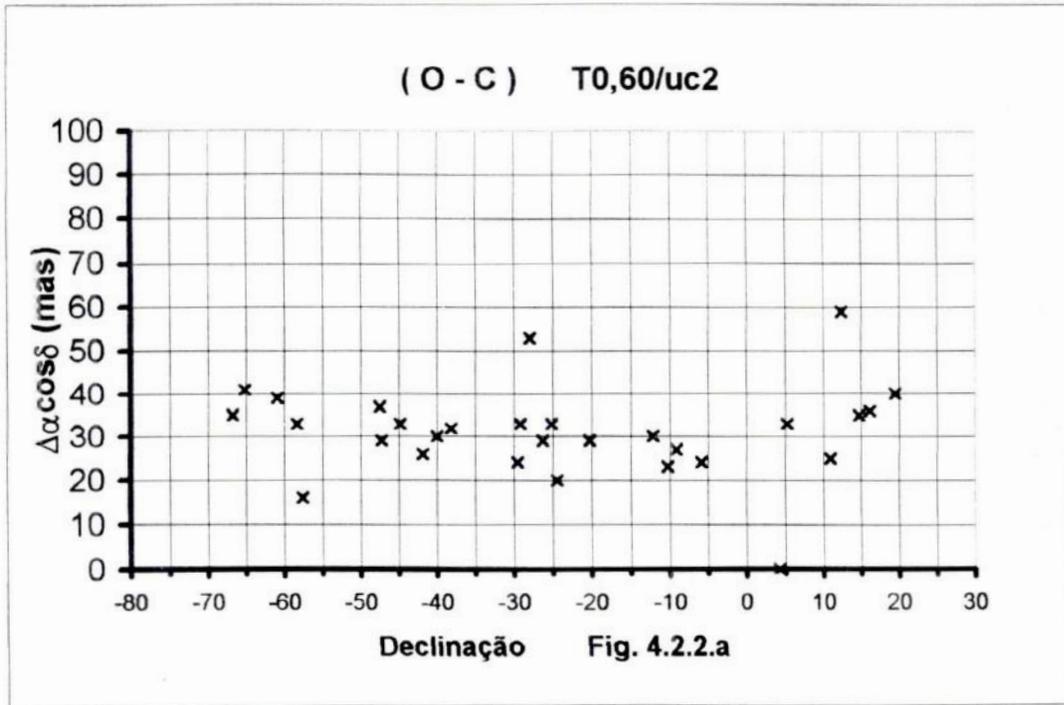


Fig. 4.2.2.a - Desvios padrão das diferenças em $\Delta\alpha \cos \delta$ vs Declinação para as estrelas de campo de todos os quasares no telescópio de 0,60m com o catálogo UCACII

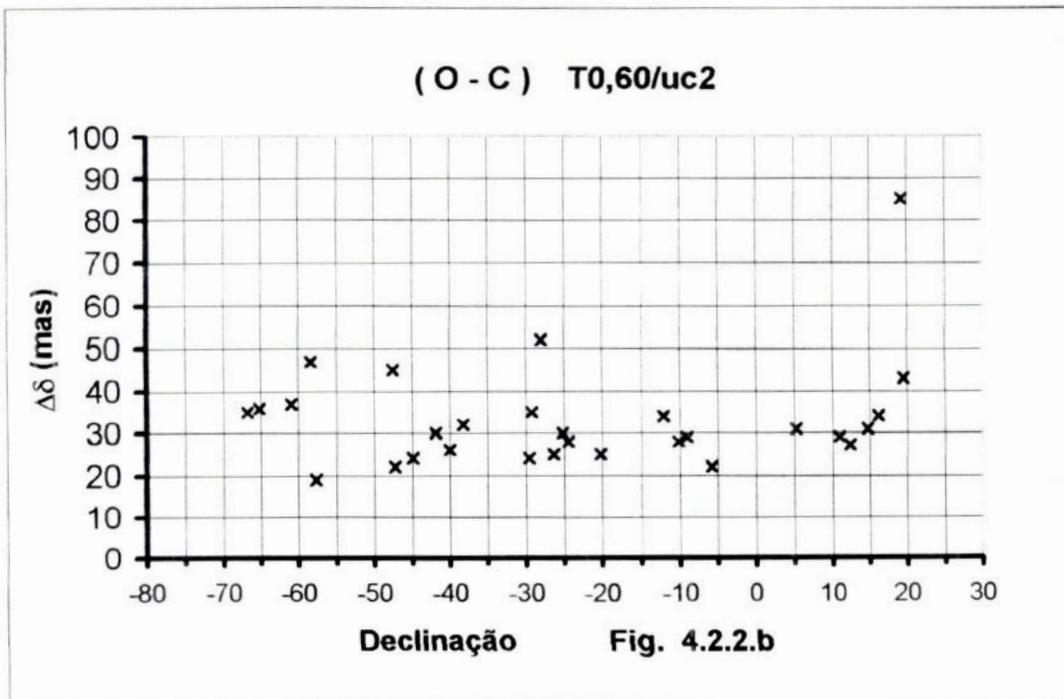


Fig. 4.2.2.b - Desvios padrão das diferenças em $\Delta\delta$ vs Declinação para as estrelas de campo de todos os quasares no telescópio de 0,60m com o catálogo UCACII

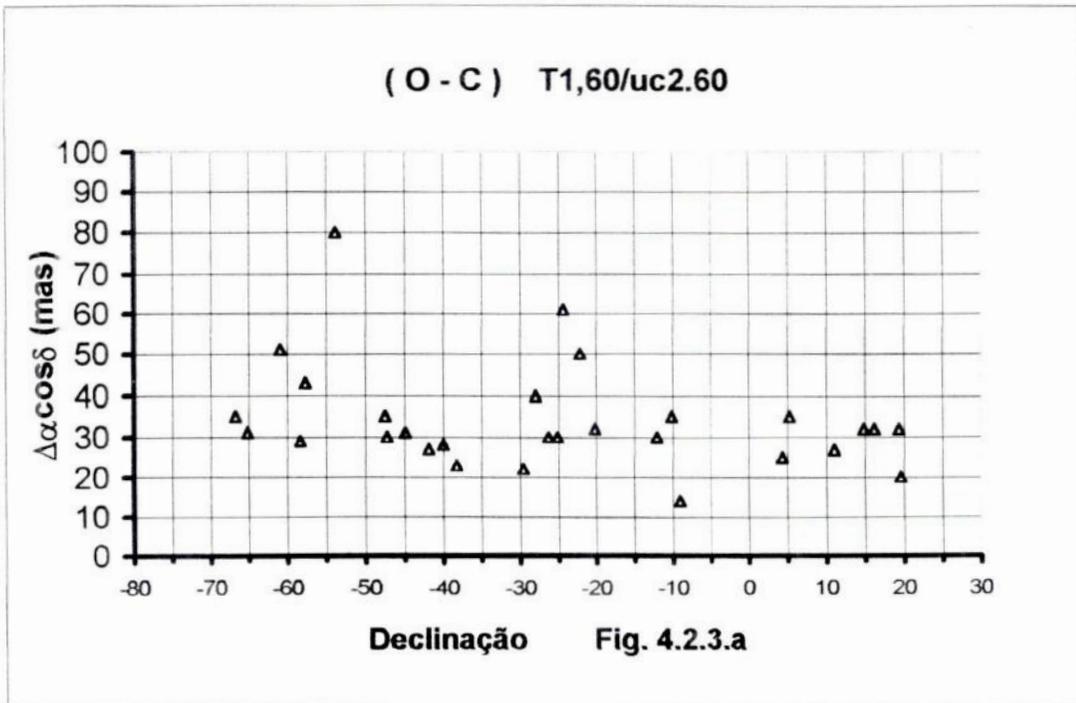


Fig. 4.2.3.a - Desvios padrão das diferenças em $\Delta\alpha \cos \delta$ vs Declinação para as estrelas de campo de todos os quasares no telescópio de 1,60m com o catálogo UCACII.60

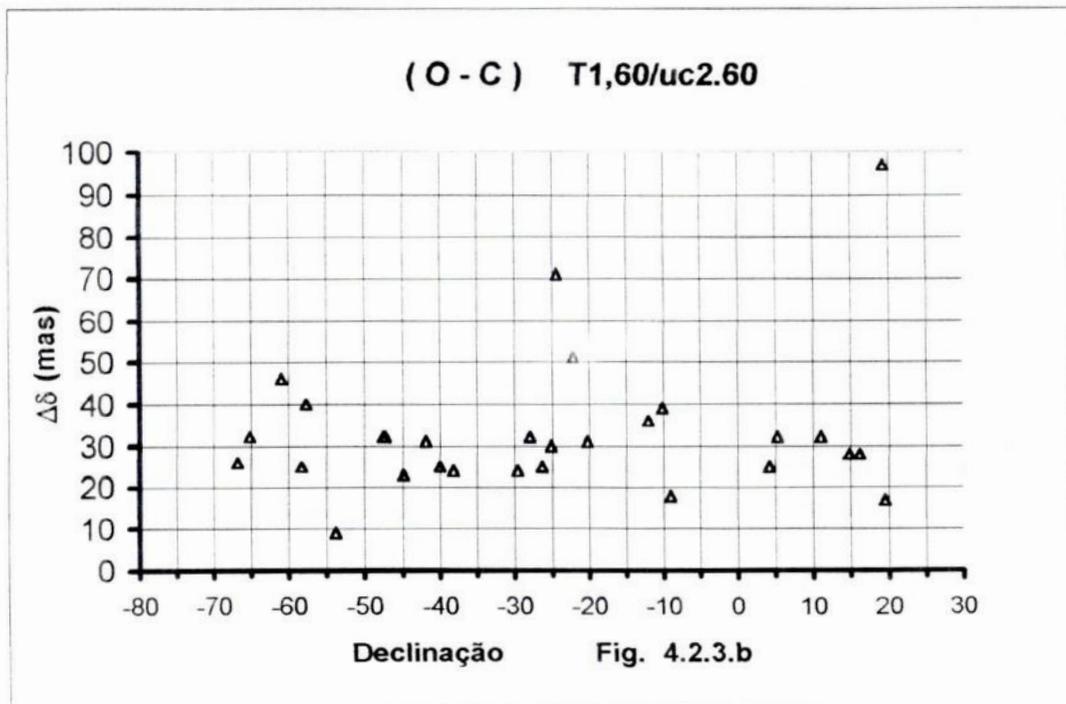


Fig. 4.2.3.b - Desvios padrão das diferenças em $\Delta\delta$ vs Declinação para as estrelas de campo de todos os quasares no telescópio de 1,60m com o catálogo UCACII.60

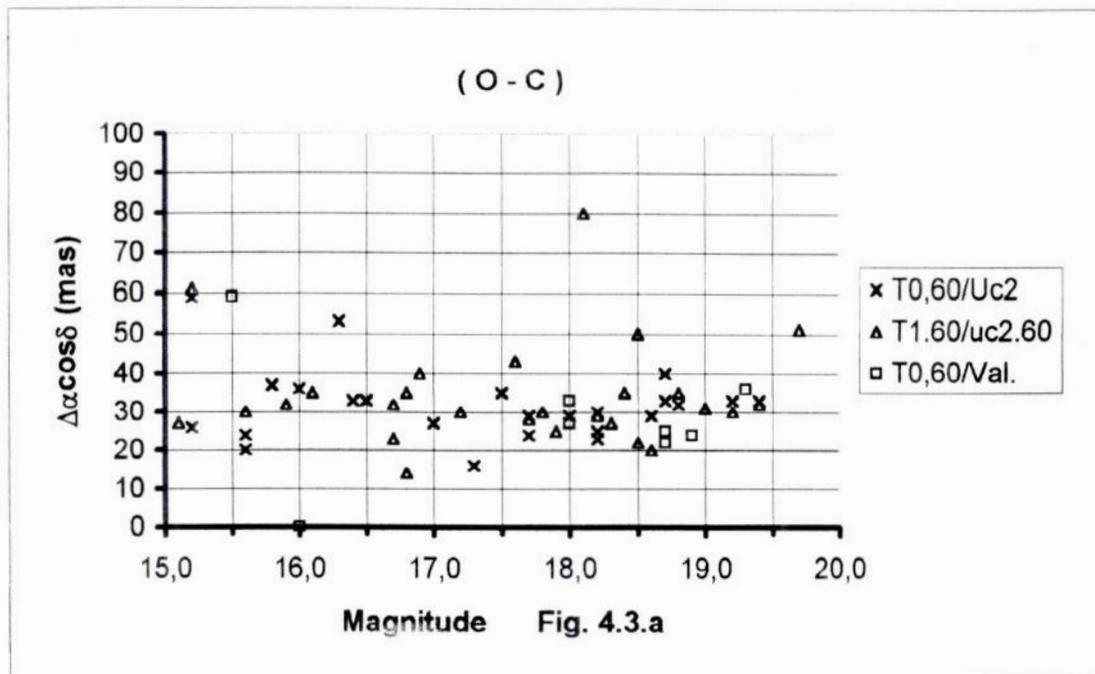


Fig. 4.3.a - Desvios padrão das diferenças em $\Delta\alpha \cos \delta$ vs Magn. para as estrelas de campo de todos os quasares nos telescópios de 0,60m e 1,60m com os catálogos de Valinhos, UCACII e seu secundário uc2.60

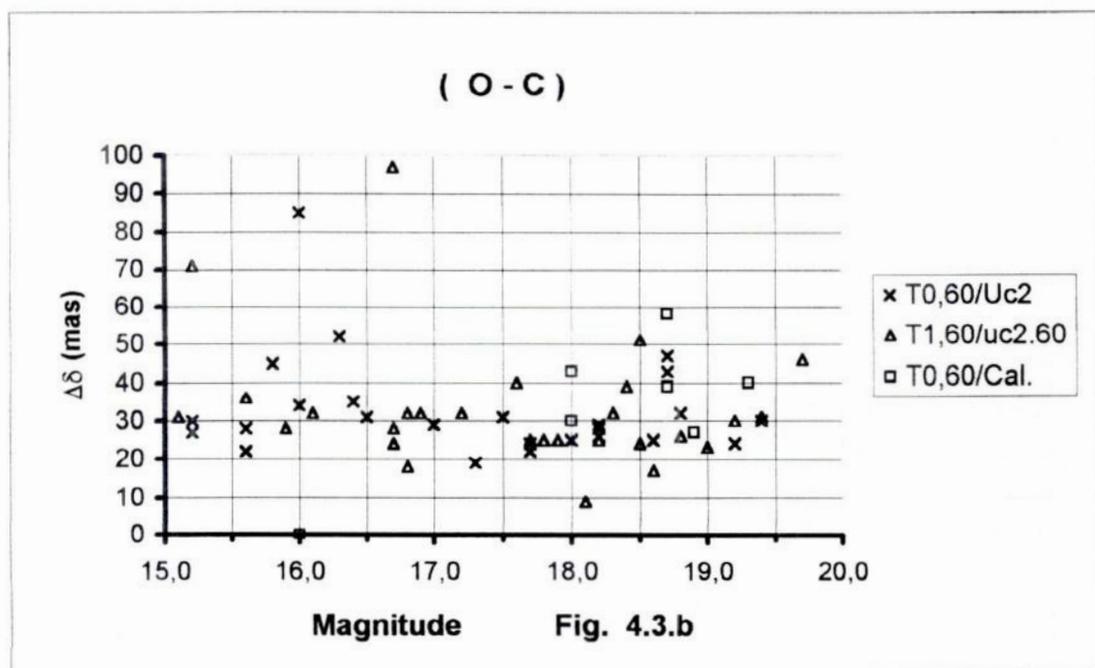


Fig. 4.3.b - Desvios padrão das diferenças em $\Delta\delta$ vs Magn. para as estrelas de campo de todos os quasares nos telescópios de 0,60m e 1,60m com os catálogos de Valinhos, UCACII e seu secundário uc2.60

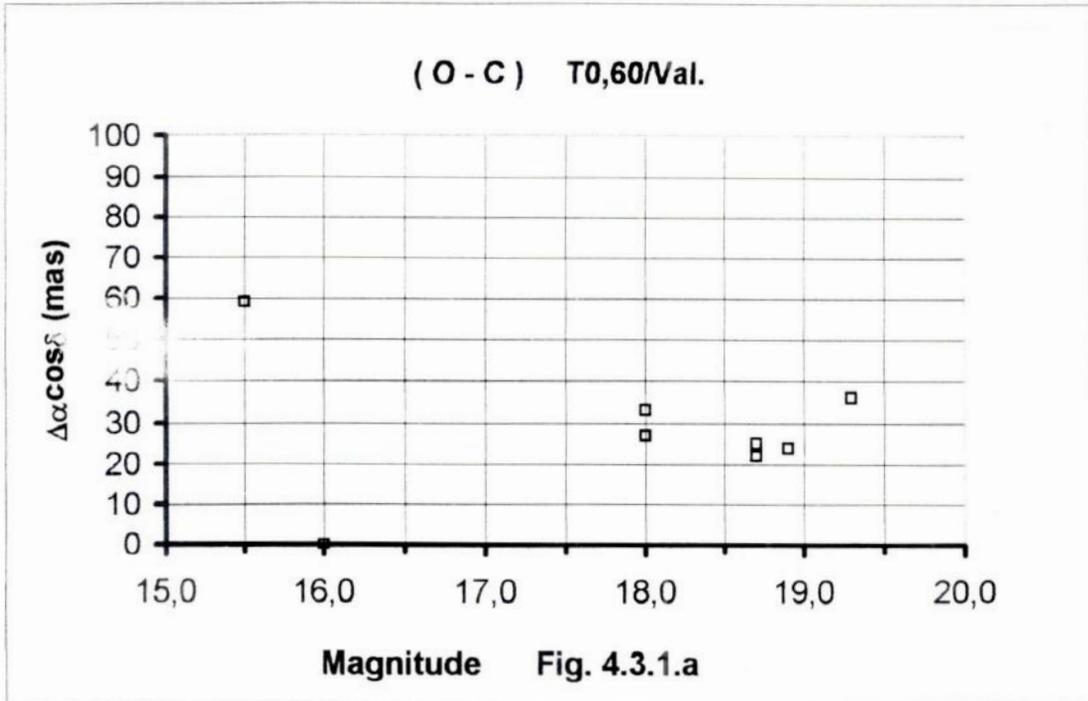


Fig. 4.3.1.a - Desvios padrão das diferenças em $\Delta\alpha \cos \delta$ vs Magnitude para as estrelas de campo de todos os quasares no telescópio de 0,60m com o catálogo Valinhos

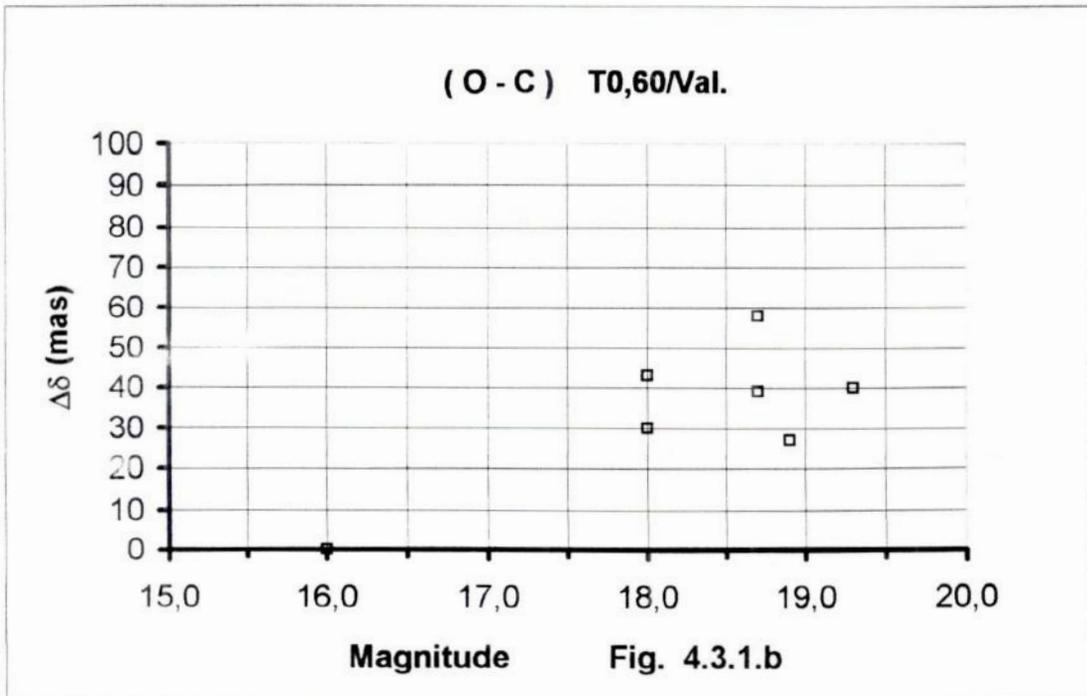


Fig. 4.3.1.b - Desvios padrão das diferenças em $\Delta\delta$ vs Magnitude para as estrelas de campo de todos os quasares no telescópio de 0,60m com o catálogo Valinhos

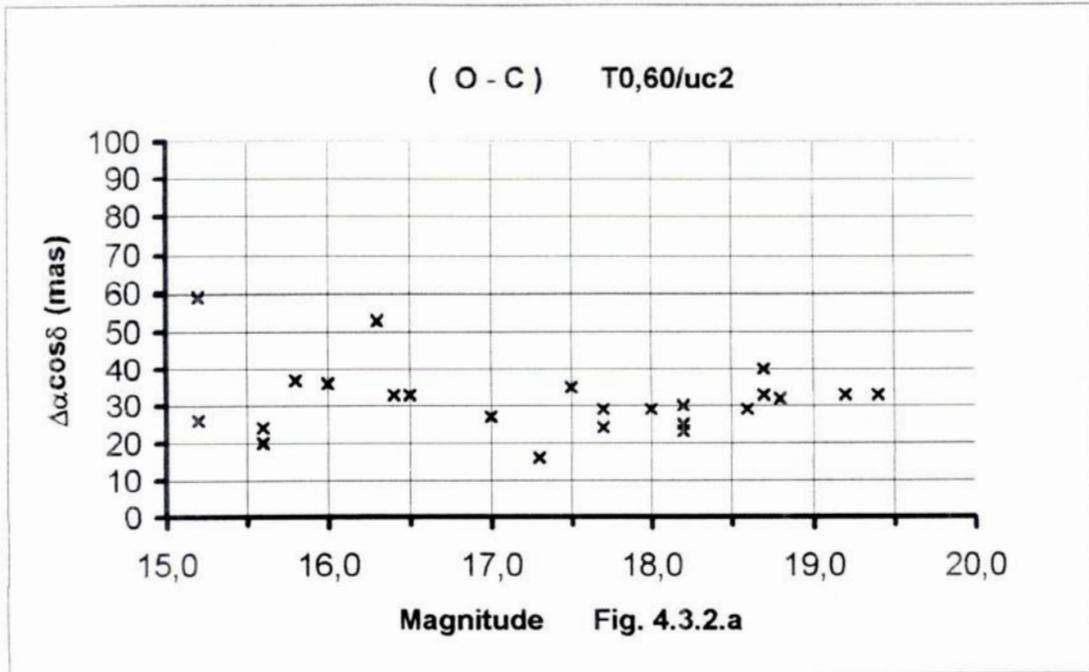


Fig. 4.3.2.a - Desvios padrão das diferenças em $\Delta\alpha \cos\delta$ vs Magnitude para as estrelas de campo de todos os quasares no telescópio de 0,60m com o catálogo UCAC II

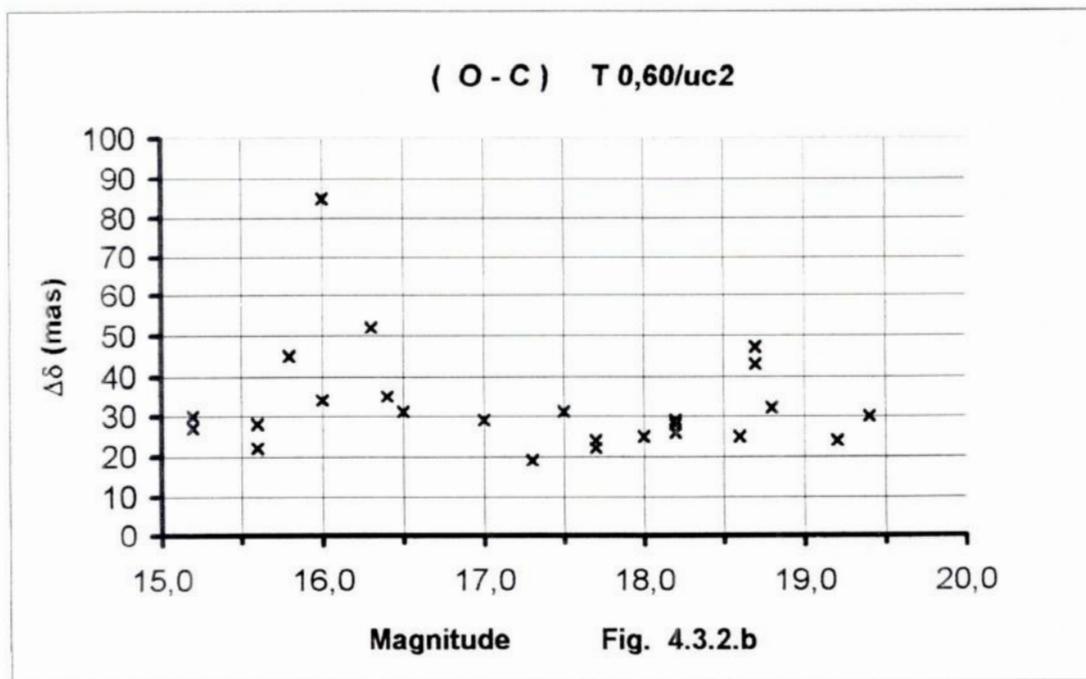


Fig. 4.3.2.b - Desvios padrão das diferenças em $\Delta\delta$ vs Magnitude para as estrelas de campo de todos os quasares no telescópio de 0,60m com o catálogo UCAC II

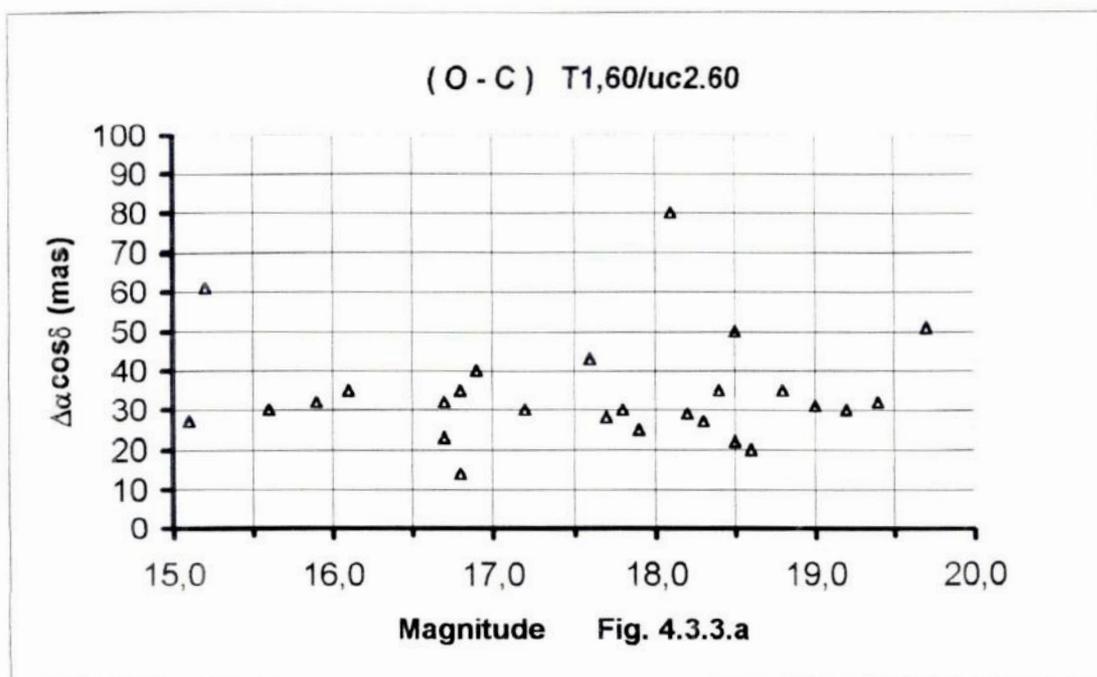


Fig. 4.3.3.a - Desvios padrão das diferenças em $\Delta\alpha \cos \delta$ vs Magnitude para as estrelas de campo de todos os quasares no telescópio de 1,60m com o catálogo UCAC II.60

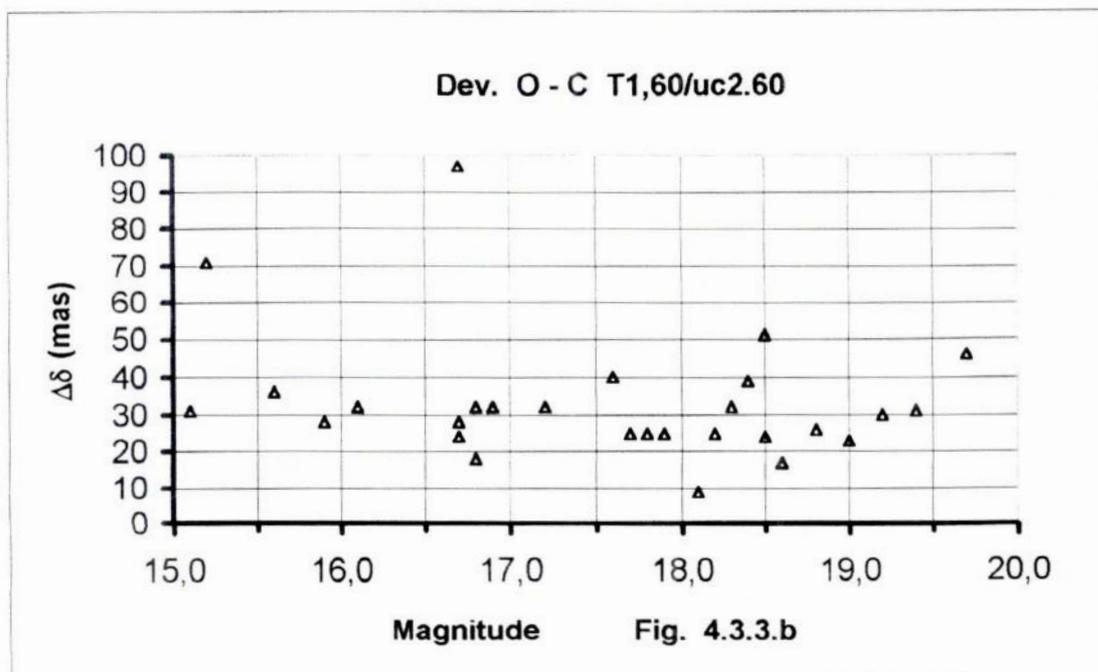


Fig. 4.3.3.b - Desvios padrão das diferenças em $\Delta\delta$ vs Magnitude para as estrelas de campo de todos os quasares no telescópio de 1,60m com o catálogo UCAC II.60

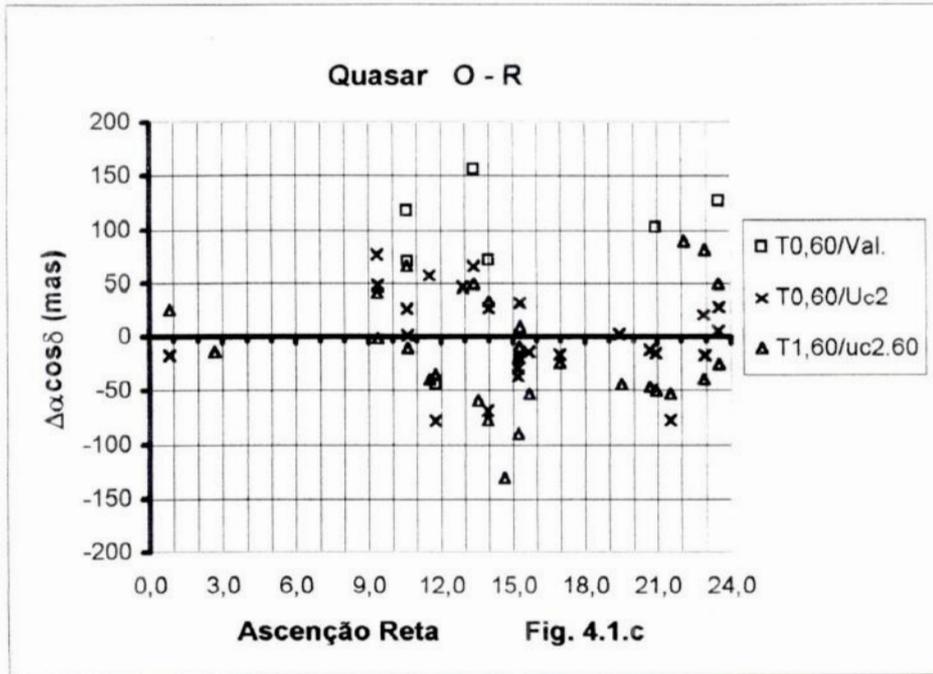


Fig. 4.1.c - Este gráfico apresenta as diferenças O-R $\Delta\alpha \cos \delta$ vs A.R. para todos os quasares nos telescópios de 0,60m e 1,60m com os catálogos de Valinhos, UCACII e seu secundário uc2.60

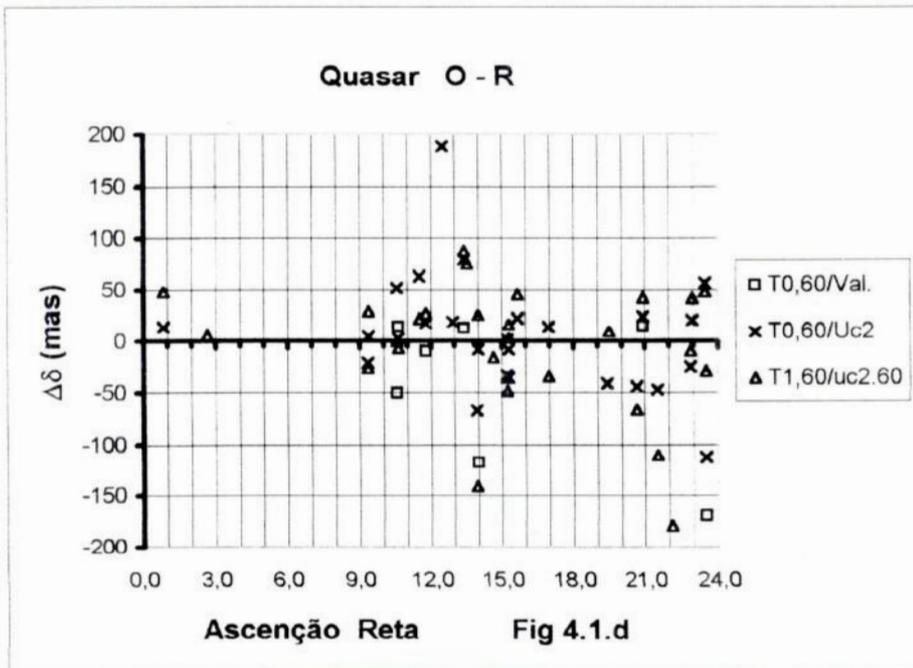


Fig. 4.1.d - Este gráfico apresenta as diferenças O-R $\Delta\delta$ vs A.R. para todos os quasares nos telescópios de 0,60m e 1,60m com os catálogos de Valinhos, UCACII e seu secundário uc2.60

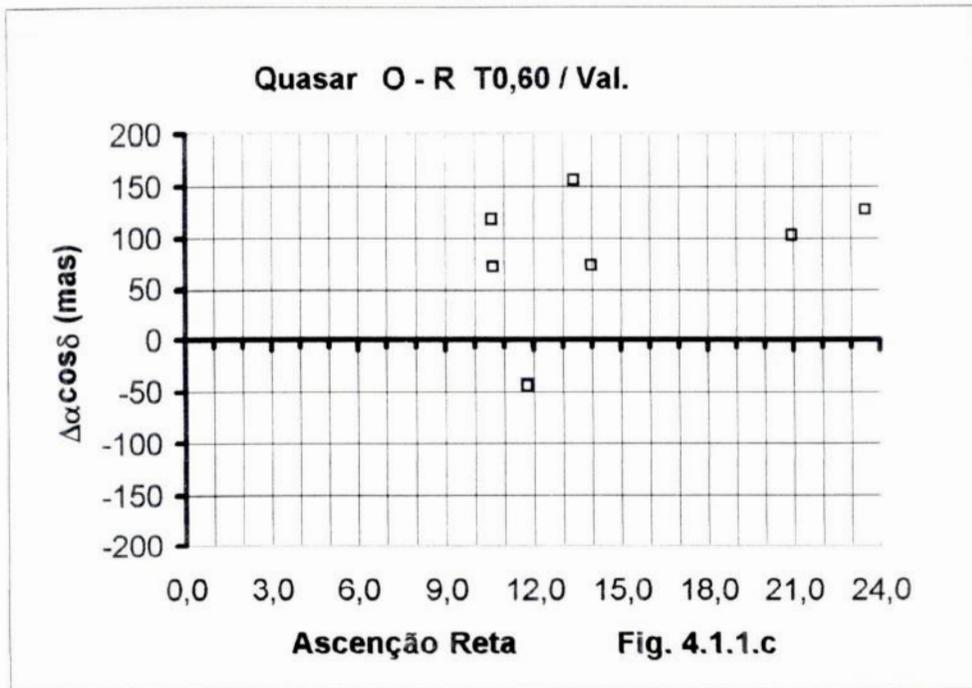


Fig. 4.1.1.c - Este gráfico apresenta as diferenças O-R $\Delta\alpha \cos \delta$ vs A.R. para os quasares no telescópio de 0,60m com o catálogo Valinhos

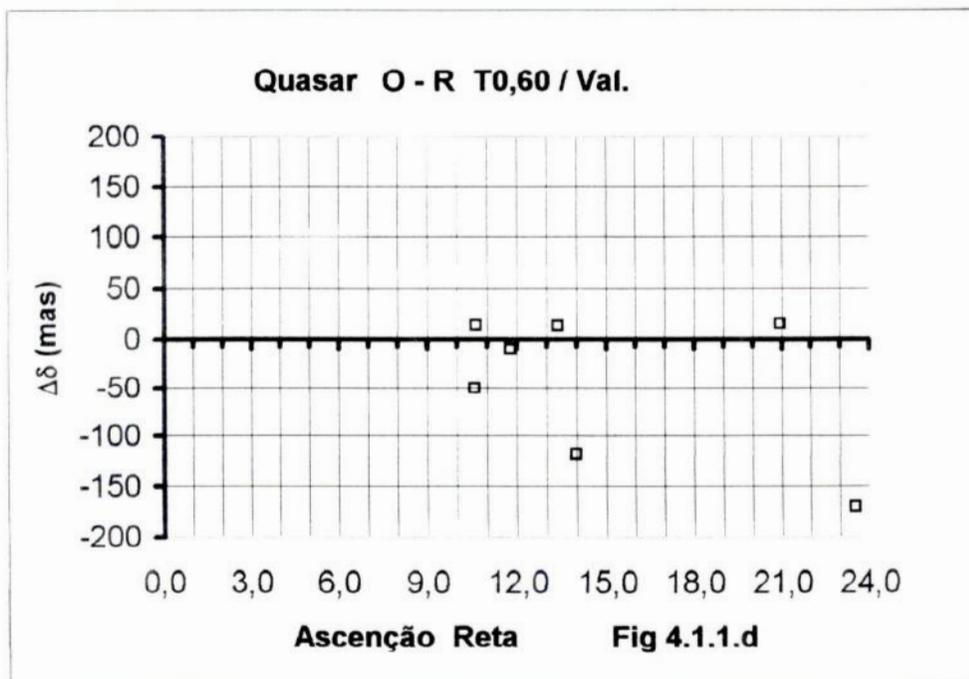


Fig. 4.1.1.d - Este gráfico apresenta as diferenças O-R $\Delta\delta$ vs A.R. para os quasares no telescópio de 0,60m com o catálogo Valinhos

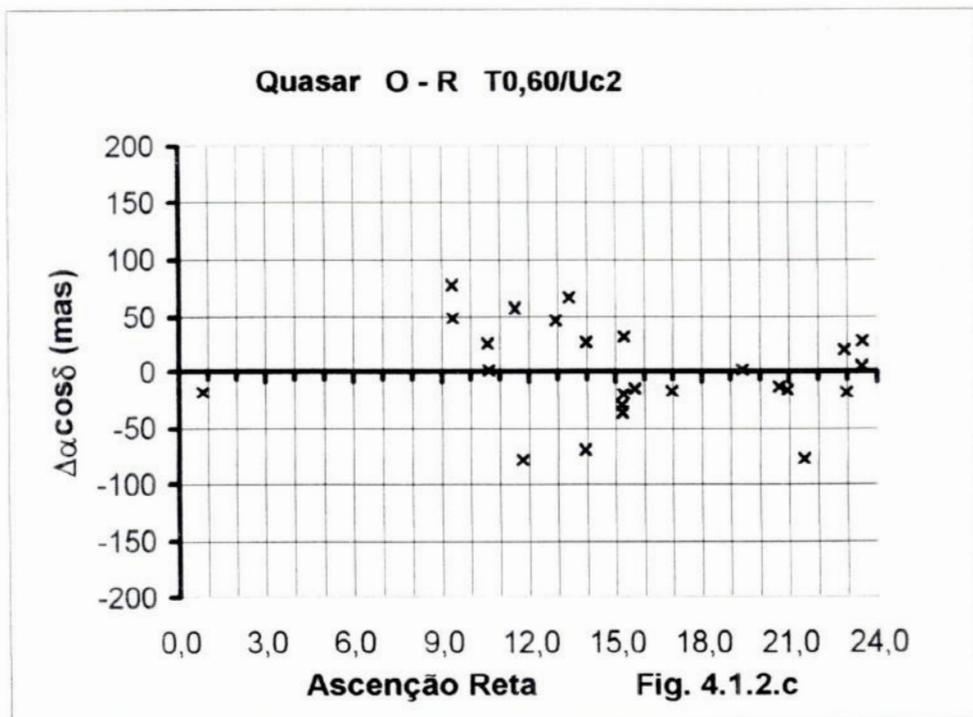


Fig. 4.1.2.c - Este gráfico apresenta as diferenças O-R $\Delta\alpha \cos \delta$ vs A.R. para os quasares no telescópio de 0,60m com o catálogo UCAC II

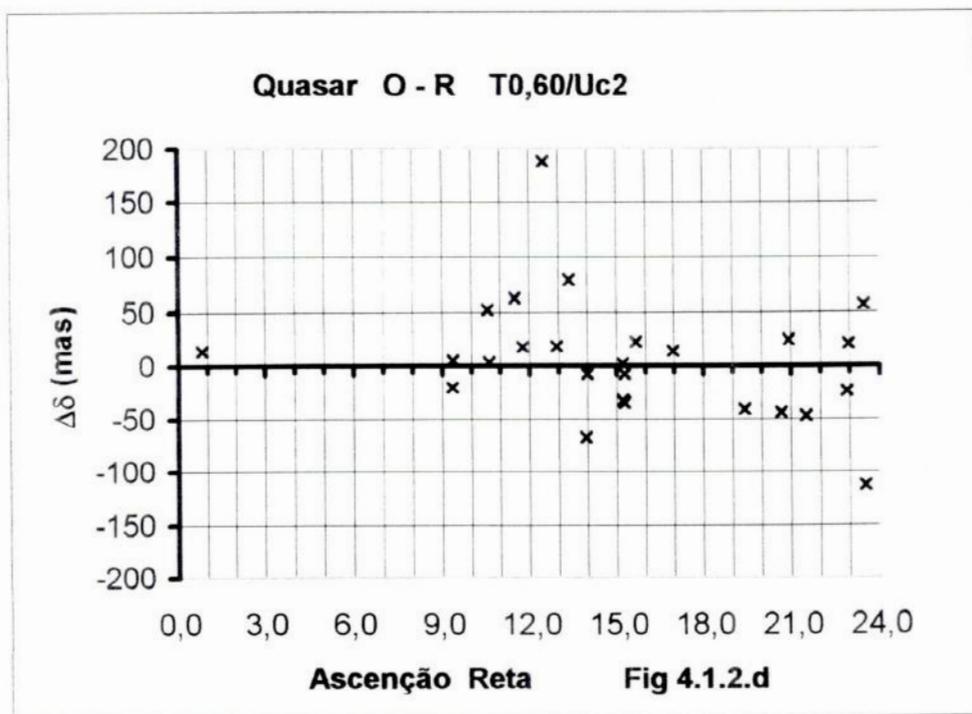


Fig. 4.1.2.d - Este gráfico apresenta as diferenças O-R, $\Delta\delta$ vs A.R. para os quasares no telescópio de 0,60m com o catálogo UCAC II

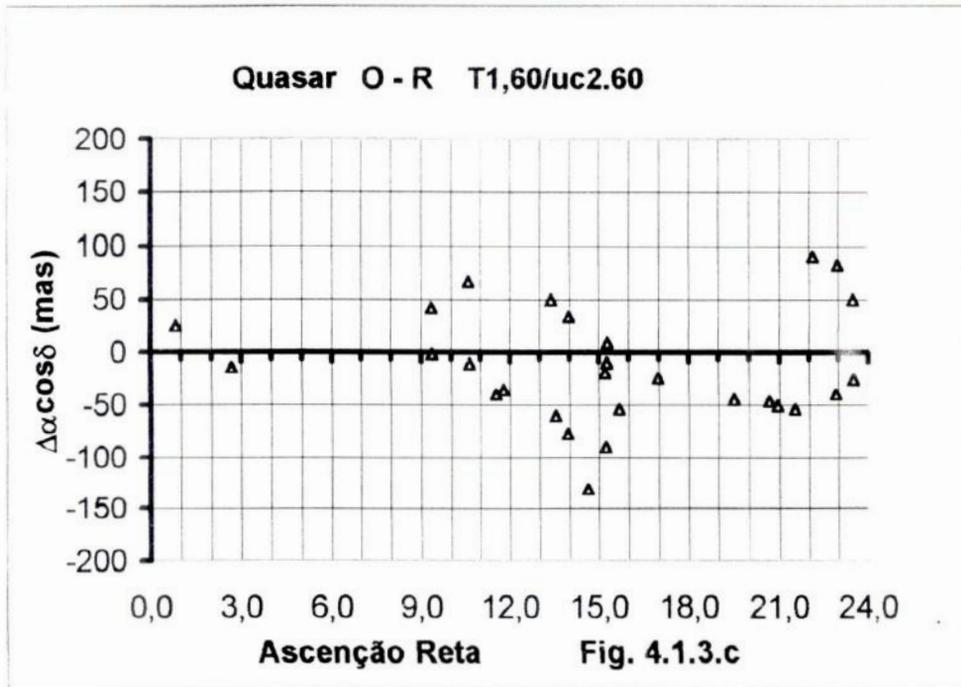


Fig. 4.1.3.c - Este gráfico apresenta as diferenças O-R $\Delta\alpha \cos \delta$ vs A.R. para os quasares no telescópio de 1,60m com o catálogo UCACII.60

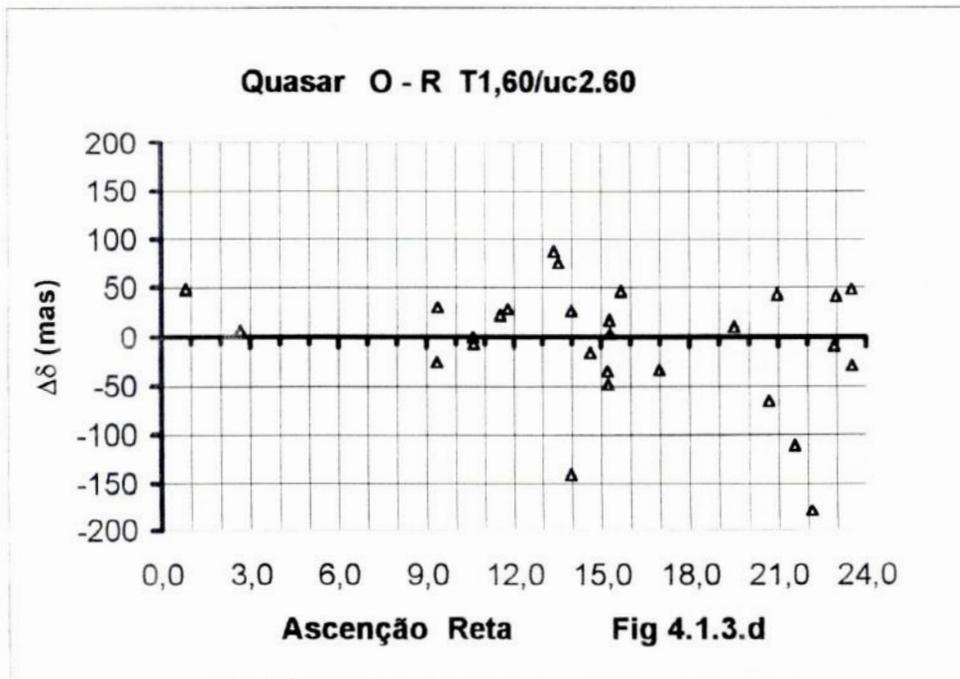


Fig. 4.1.3.d - Este gráfico apresenta as diferenças O-R $\Delta\delta$ vs A.R. para os quasares no telescópio de 0,60m com o catálogo UCACII.60

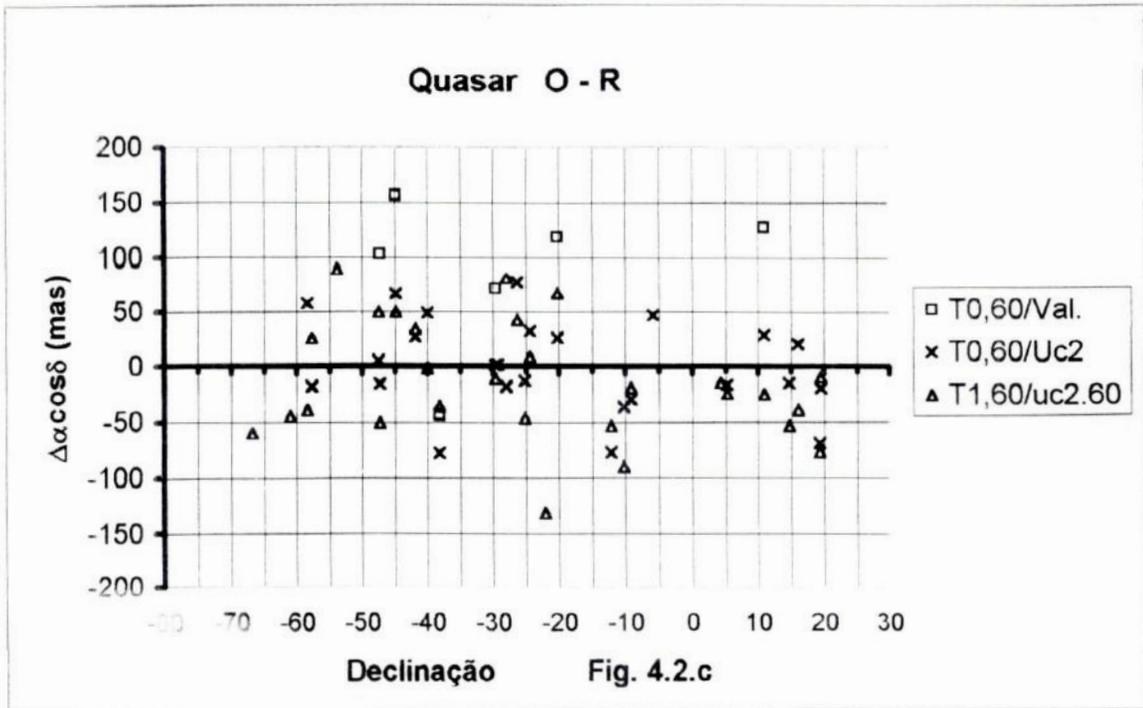


Fig. 4.2.c - Este gráfico apresenta as diferenças O-R $\Delta\alpha \cos \delta$ vs Declinação para todos os quasares nos telescópios de 0,60m e 1,60m com os catálogos de Valinhos, UCACII e seu secundário uc2.60

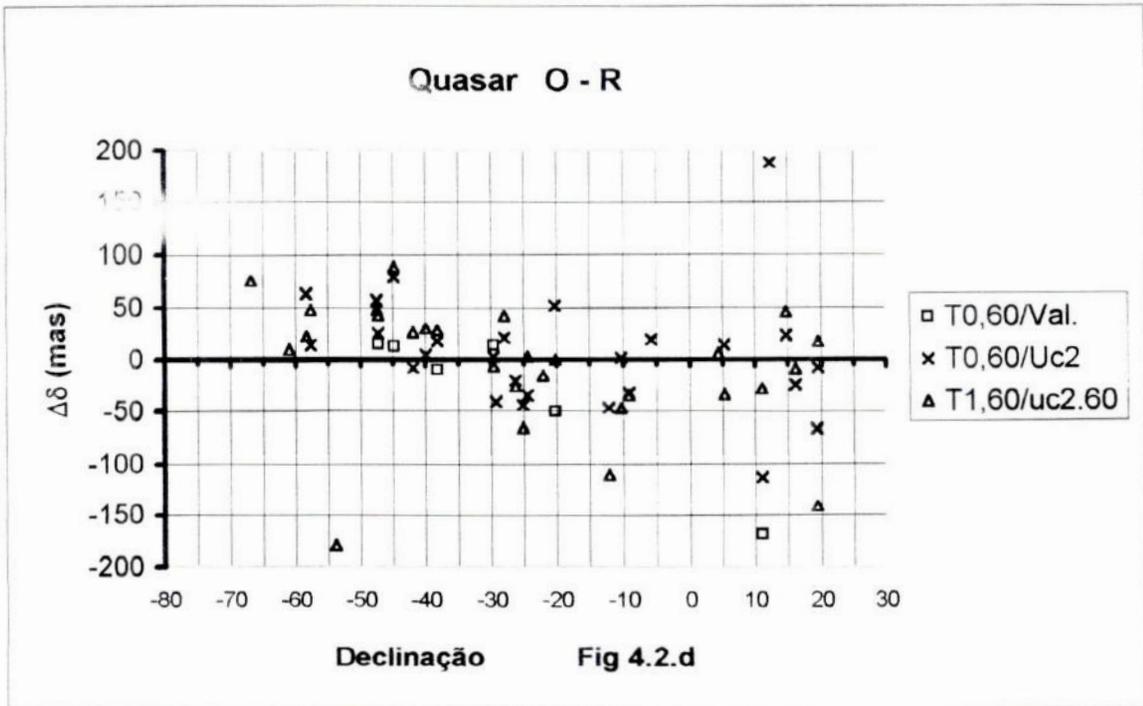


Fig. 4.2.d - Este gráfico apresenta as diferenças O-R $\Delta\delta$ vs Declinação para todos os quasares nos telescópios de 0,60m e 1,60m com os catálogos de Valinhos, UCACII e seu secundário uc2.60

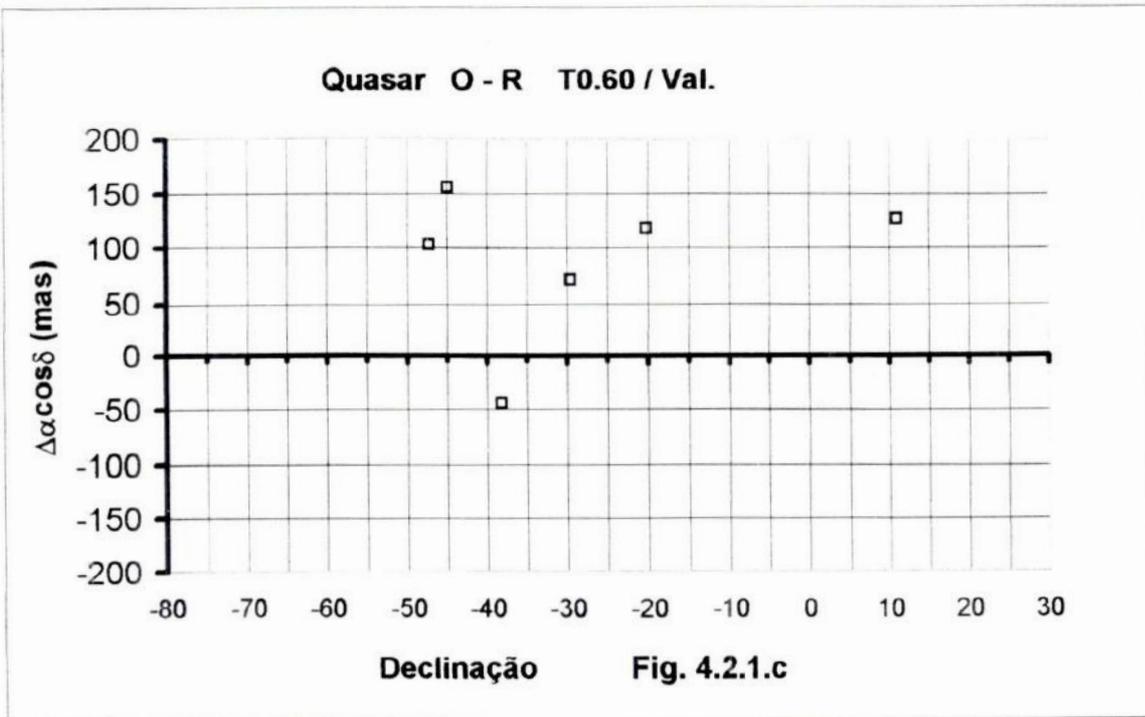


Fig. 4.2.1.c - Este gráfico apresenta as diferenças O-R $\Delta\alpha \cos\delta$ vs Declinação para os quasares no telescópio de 0,60m com o catálogo Valinhos

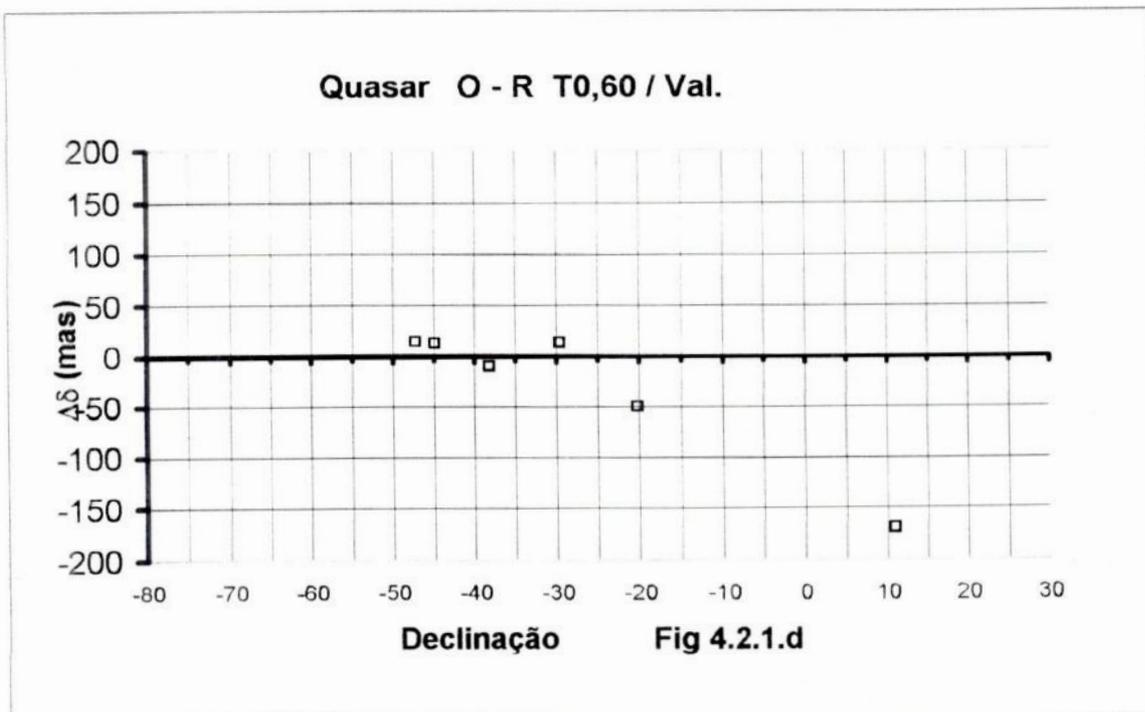


Fig. 4.2.1.d - Este gráfico apresenta as diferenças O-R $\Delta\delta$ vs Declinação para os quasares no telescópio de 0,60m com o catálogo Valinhos

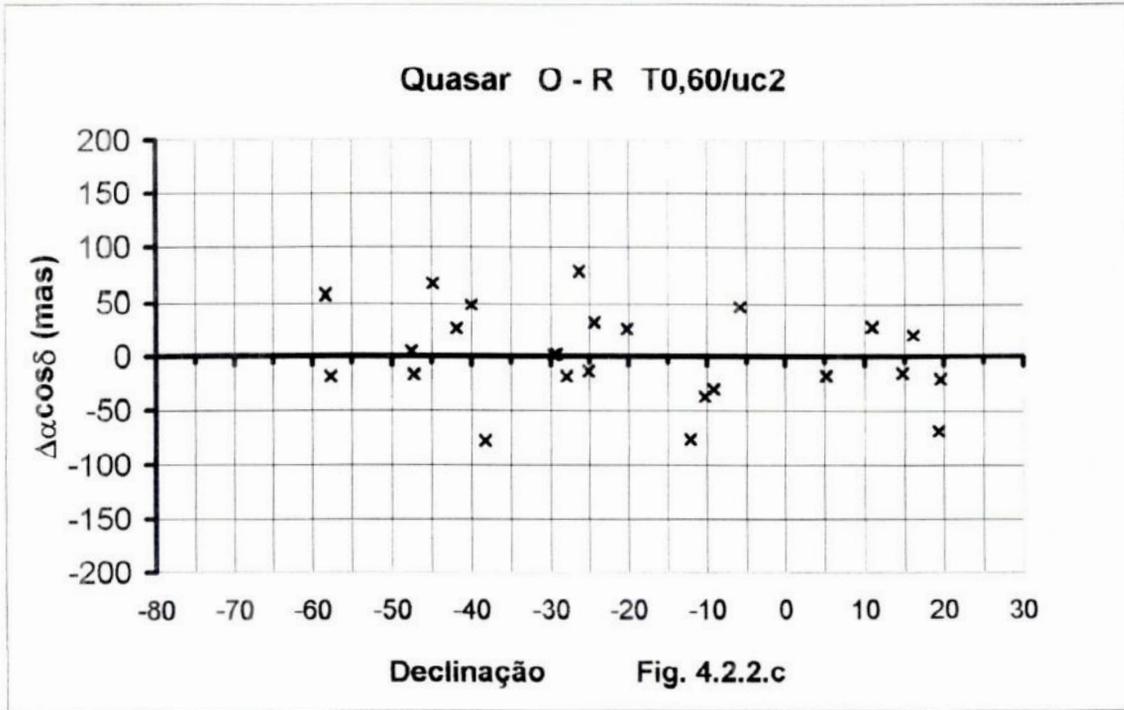


Fig. 4.2.2.c - Este gráfico apresenta as diferenças O-R $\Delta\alpha \cos \delta$ vs Declinação para os quasares no telescópio de 0,60m com o catálogo UCACII

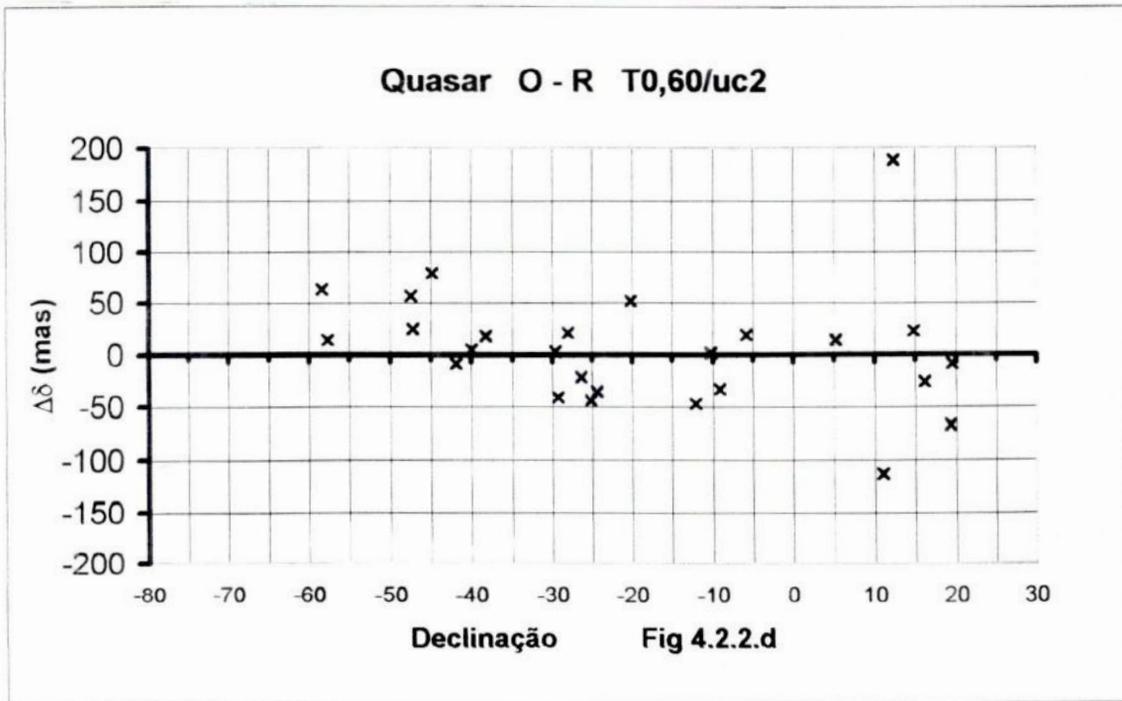


Fig. 4.2.2.d - Este gráfico apresenta as diferenças O-R, $\Delta\delta$ vs Declinação para os quasares no telescópio de 0,60m com o catálogo UCACII

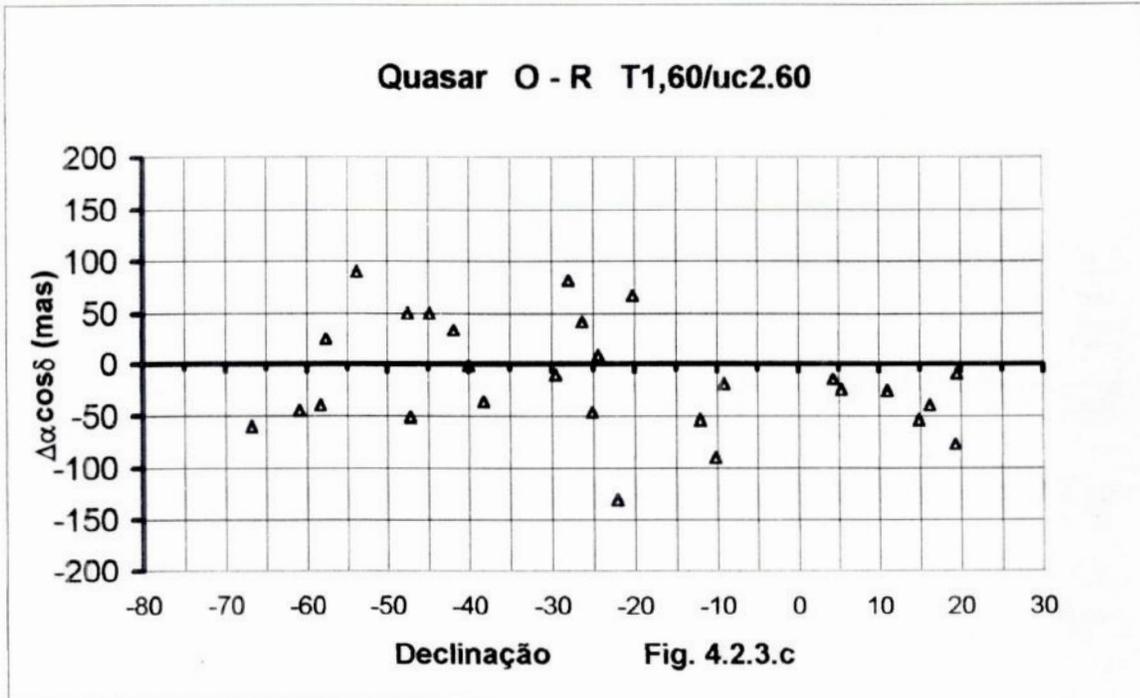


Fig. 4.2.3.c - Este gráfico apresenta as diferenças O-R $\Delta\alpha \cos \delta$ vs Declinação para os quasares no telescópio de 1,60m com o catálogo UCACII.60

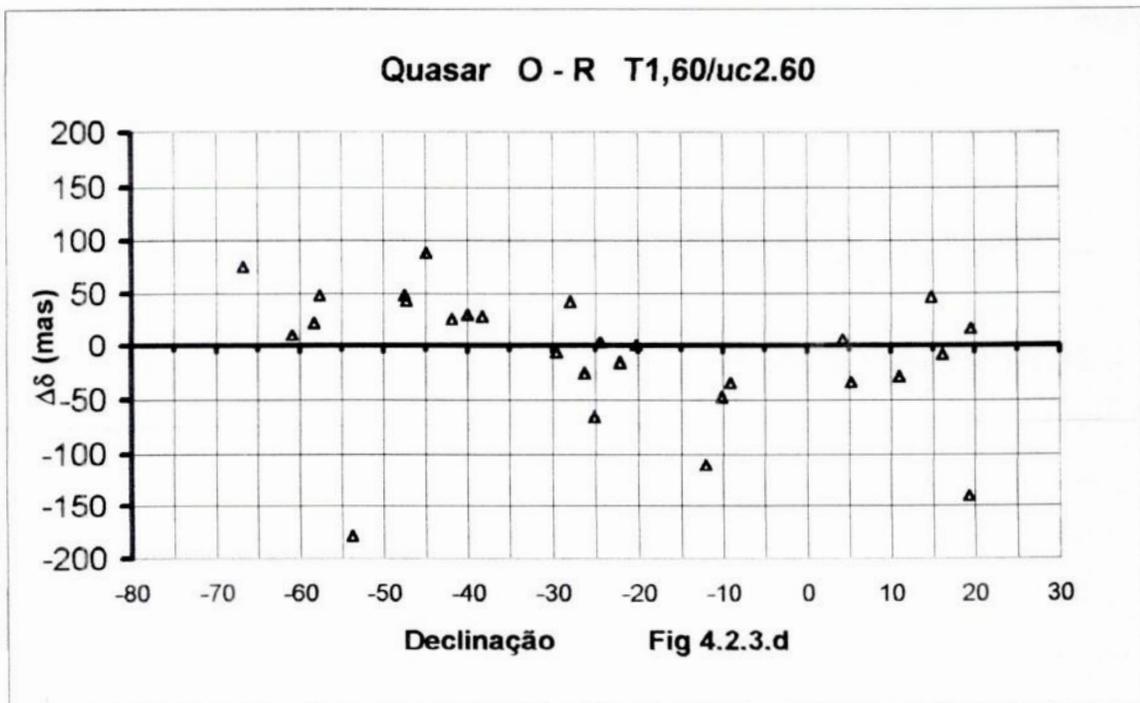


Fig. 4.2.3.d - Este gráfico apresenta as diferenças O-R, $\Delta\delta$ vs Declinação para os quasares no telescópio de 1,60m com o catálogo UCACII.60

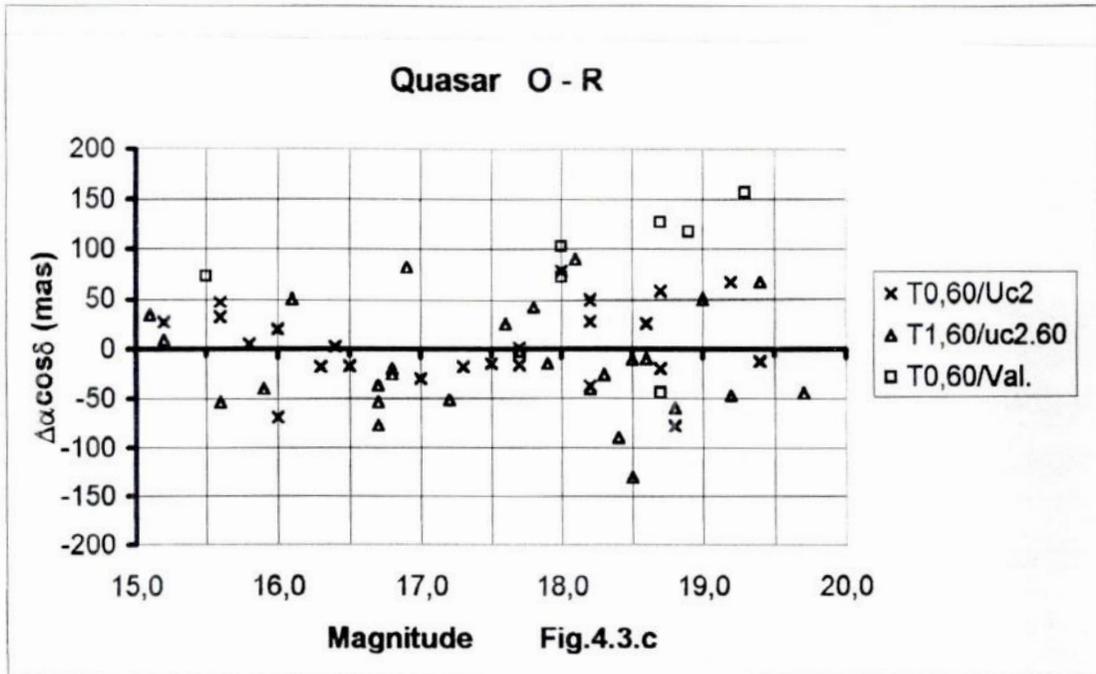


Fig. 4.3.c - Este gráfico apresenta as diferenças O-R $\Delta\alpha \cos \delta$ vs Magnitude para todos os quasares nos telescópios de 0,60m e 1,60m com os catálogos de Valinhos, UCACII e seu secundário uc2.60

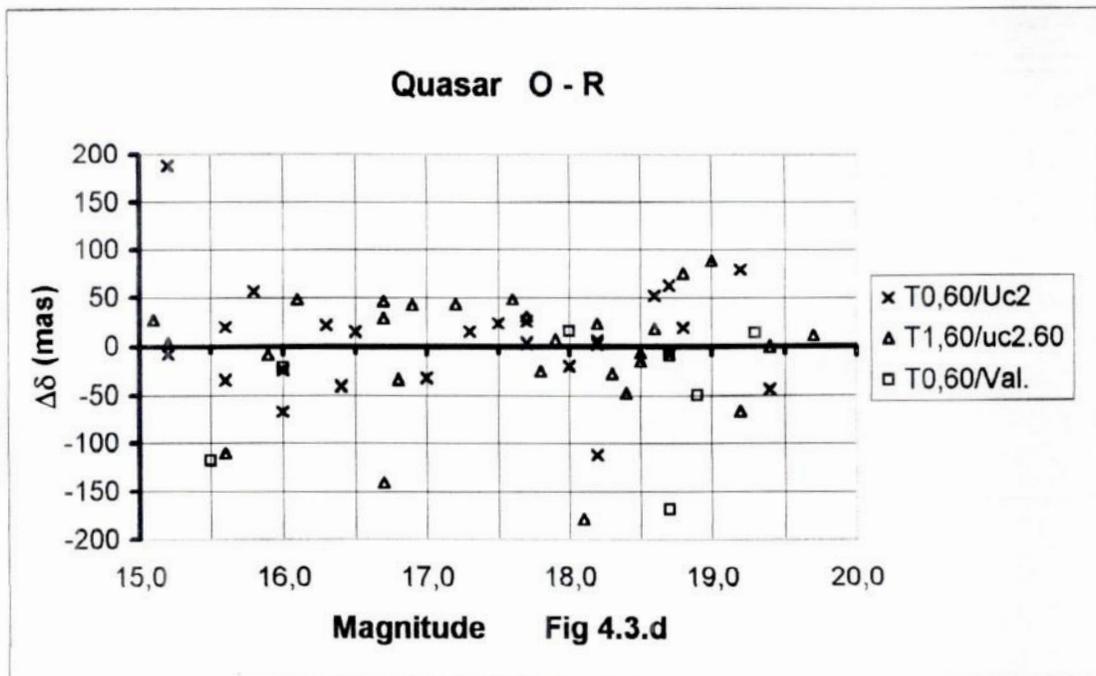


Fig. 4.3.d - Este gráfico apresenta as diferenças O-R $\Delta\delta$ vs Magnitude para todos os quasares nos telescópios de 0,60m e 1,60m com os catálogos de Valinhos, UCACII e seu secundário uc2.60

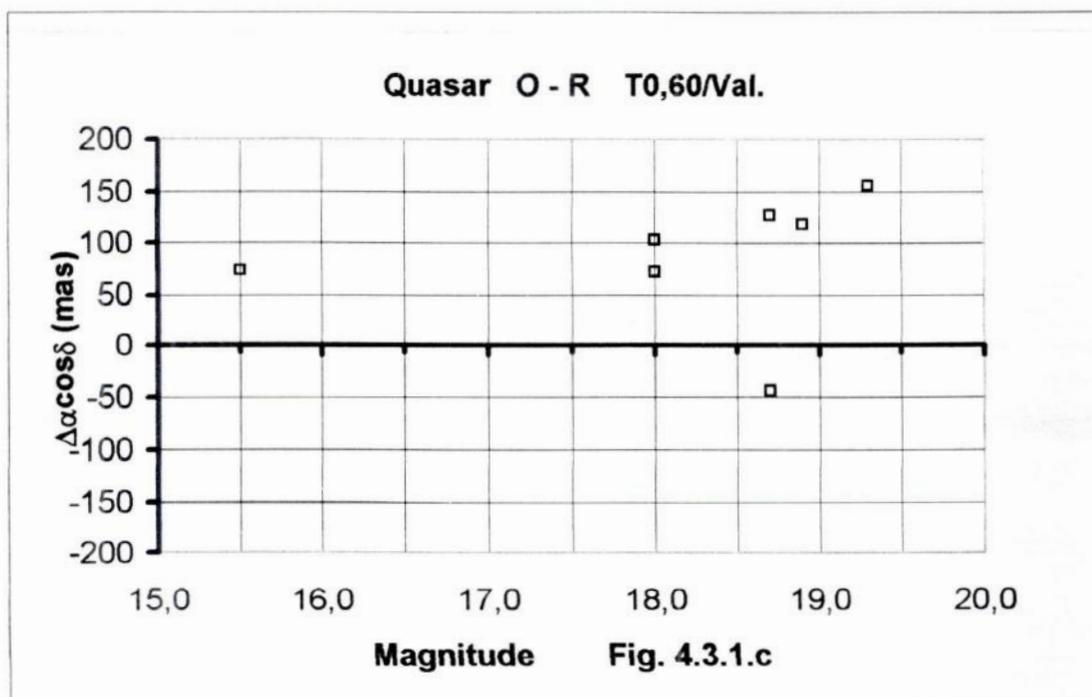


Fig. 4.3.1.c - Este gráfico apresenta as diferenças O-R $\Delta\alpha \cos\delta$ vs Magnitude para os quasares no telescópio de 0,60m com o catálogo Valinhos

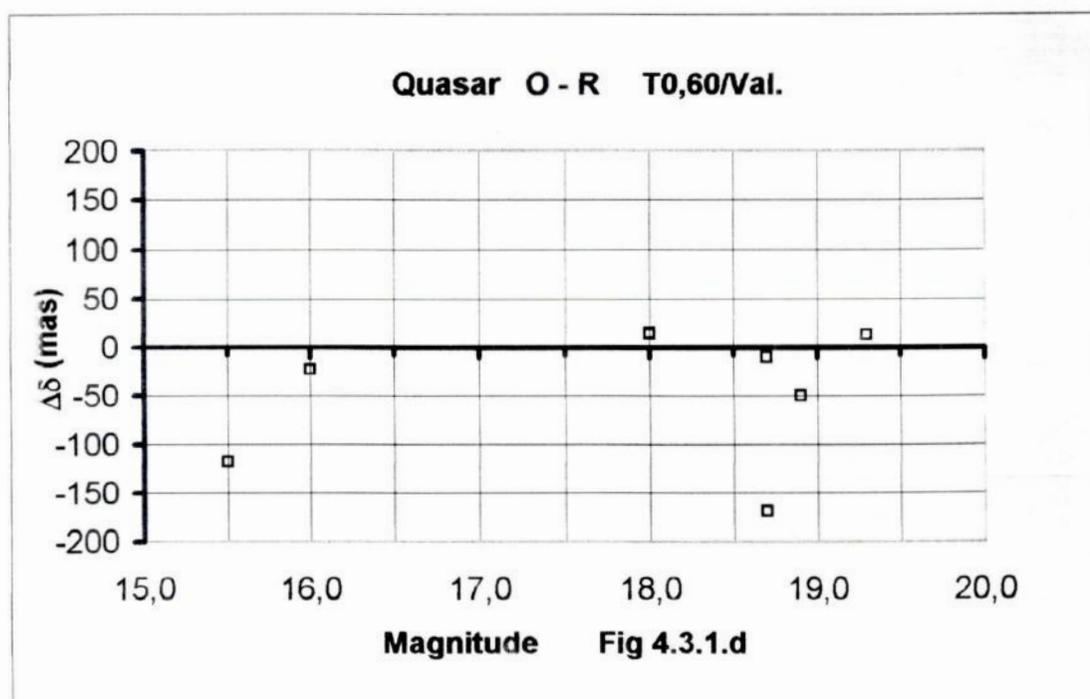


Fig. 4.3.1.d - Este gráfico apresenta as diferenças O-R, $\Delta\delta$ vs Magnitude para os quasares no telescópio de 0,60m com o catálogo Valinhos

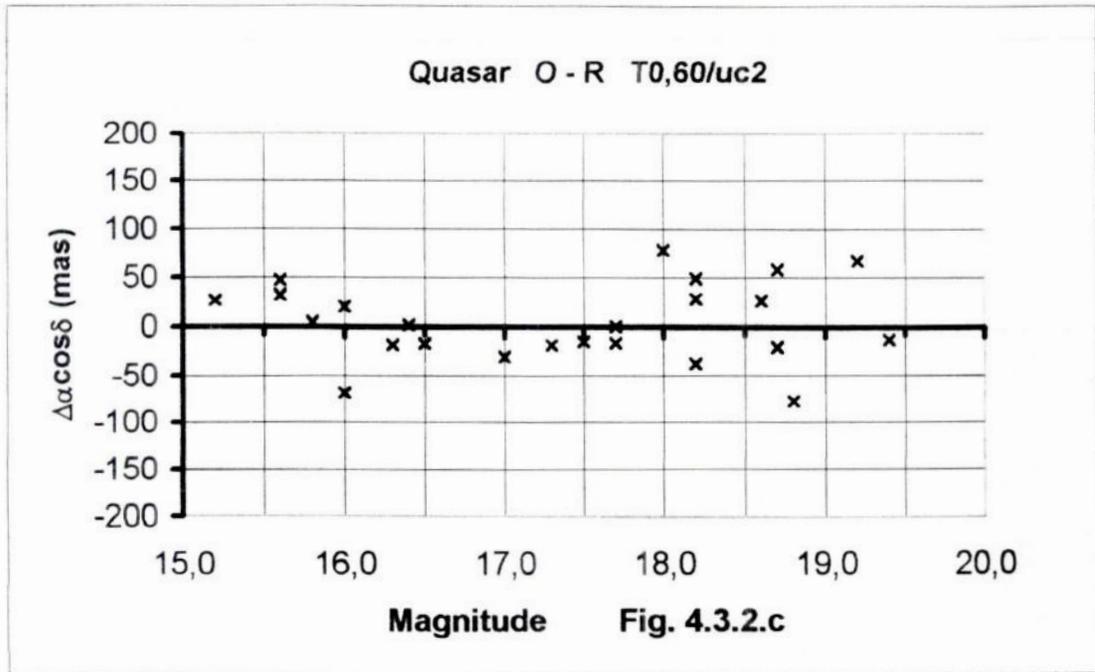


Fig. 4.3.2.c - Este gráfico apresenta as diferenças O-R $\Delta\alpha \cos\delta$ vs Magnitude para os quasares no telescópio de 0,60m com o catálogo UCACII

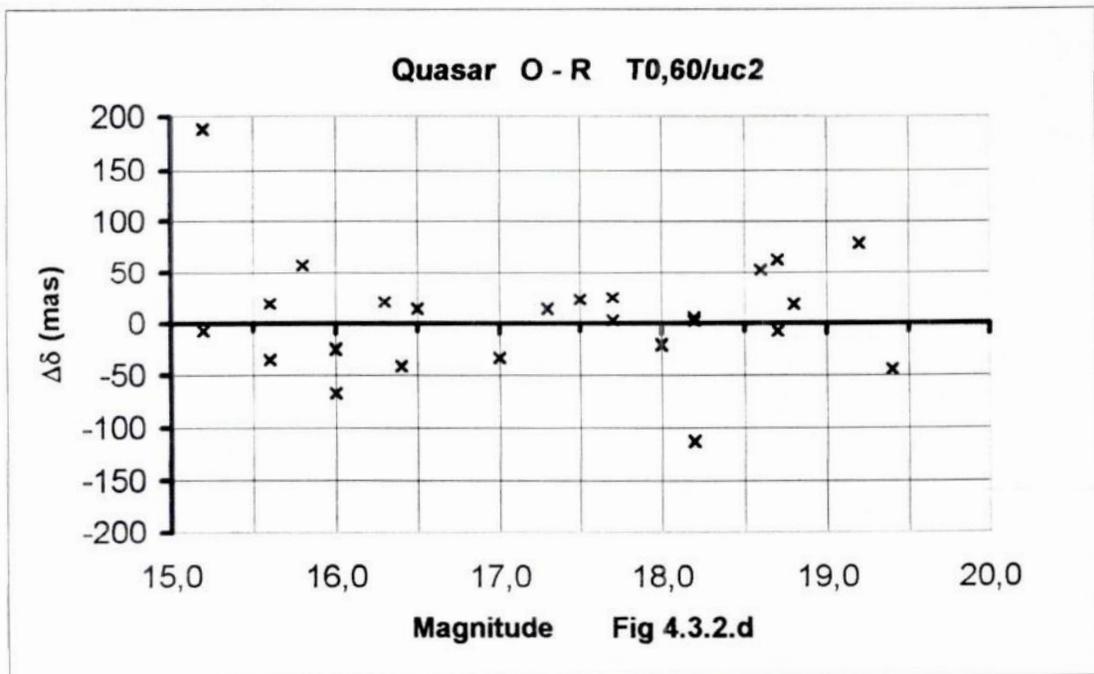


Fig. 4.3.2.d - Este gráfico apresenta as diferenças O-R, $\Delta\delta$ vs Magnitude para os quasares no telescópio de 0,60m com o catálogo UCAC II

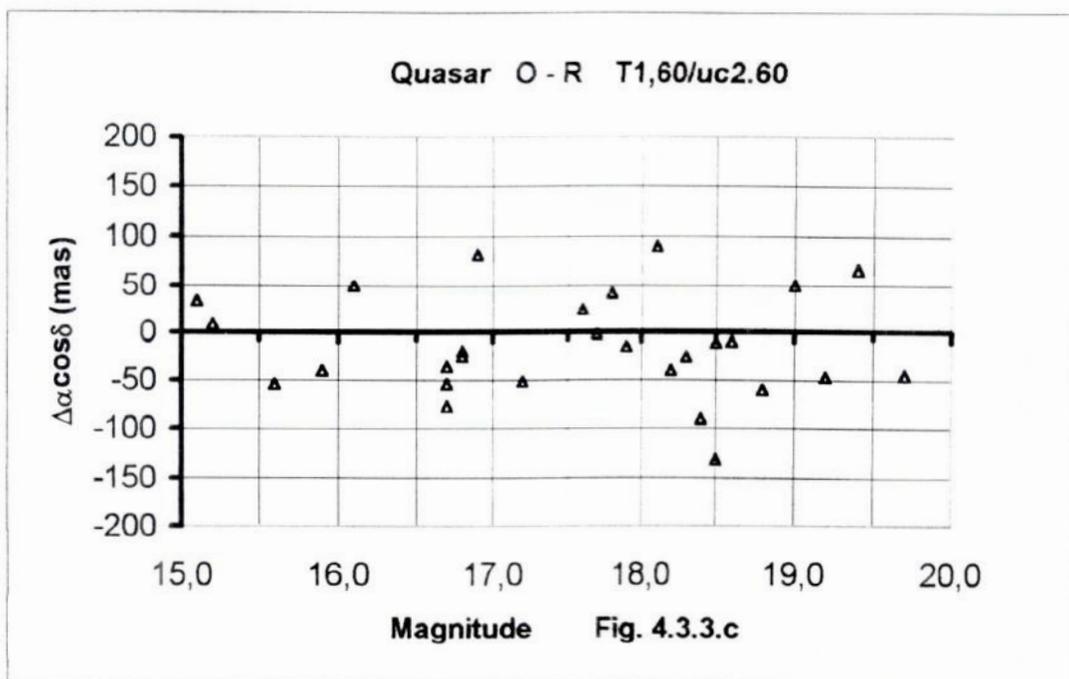


Fig. 4.3.3.c - Este gráfico apresenta as diferenças O-R $\Delta\alpha \cos \delta$ vs Magnitude para os quasares no telescópio de 1.50m com o catálogo UCACII.60

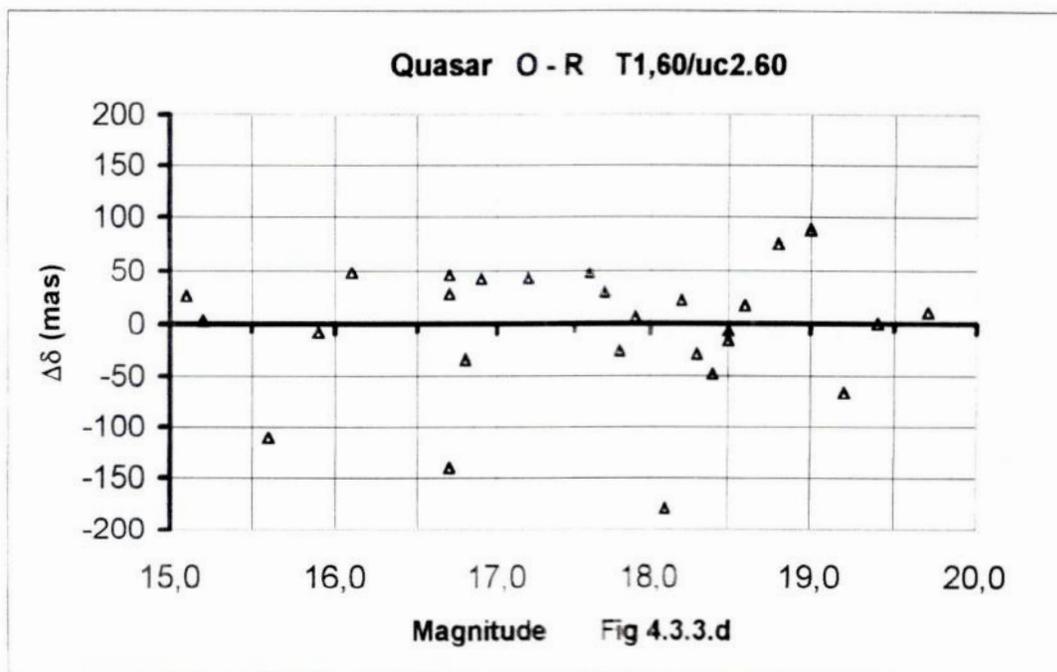


Fig. 4.3.3.d - Este gráfico apresenta as diferenças O-R $\Delta\delta$ vs Magnitude para os quasares no telescópio de 1.50m com o catálogo UCAC II.60

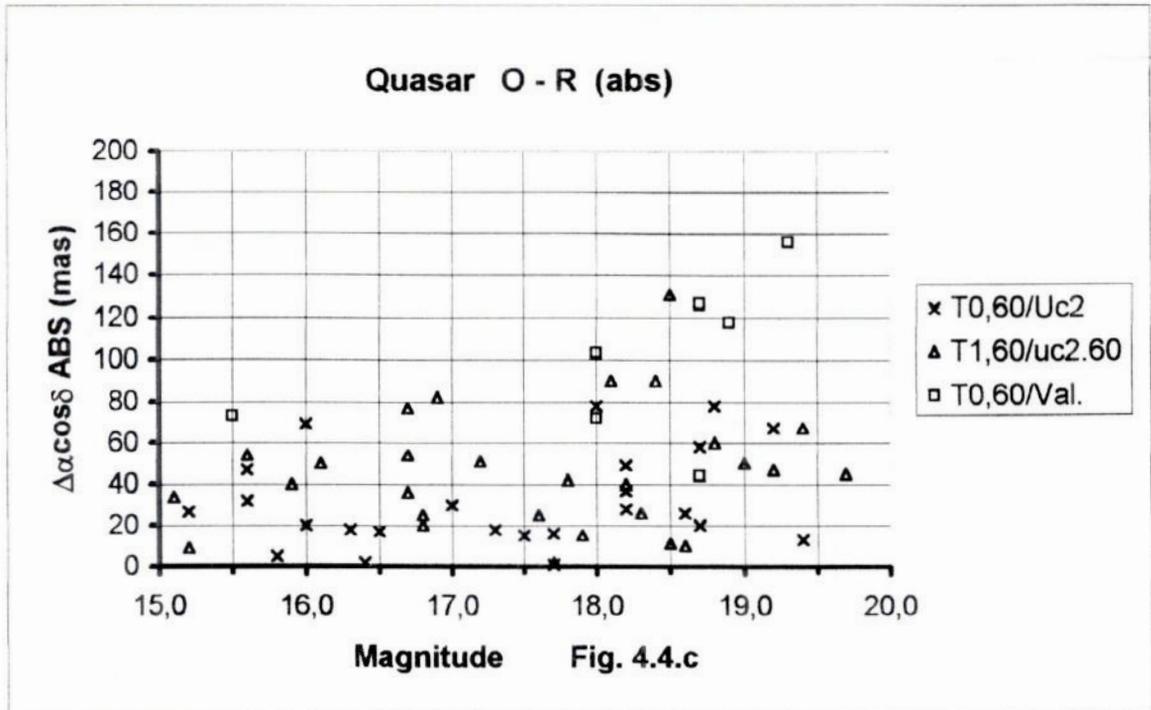


Fig. 4.4.c - Este gráfico apresenta as diferenças absolutas O-R $\Delta\alpha \cos \delta$ vs Magnitude para todos os quasares nos telescópios de 0,60m e 1,60m com os catálogos de Valinhos, UCACII e seu secundário uc2.60

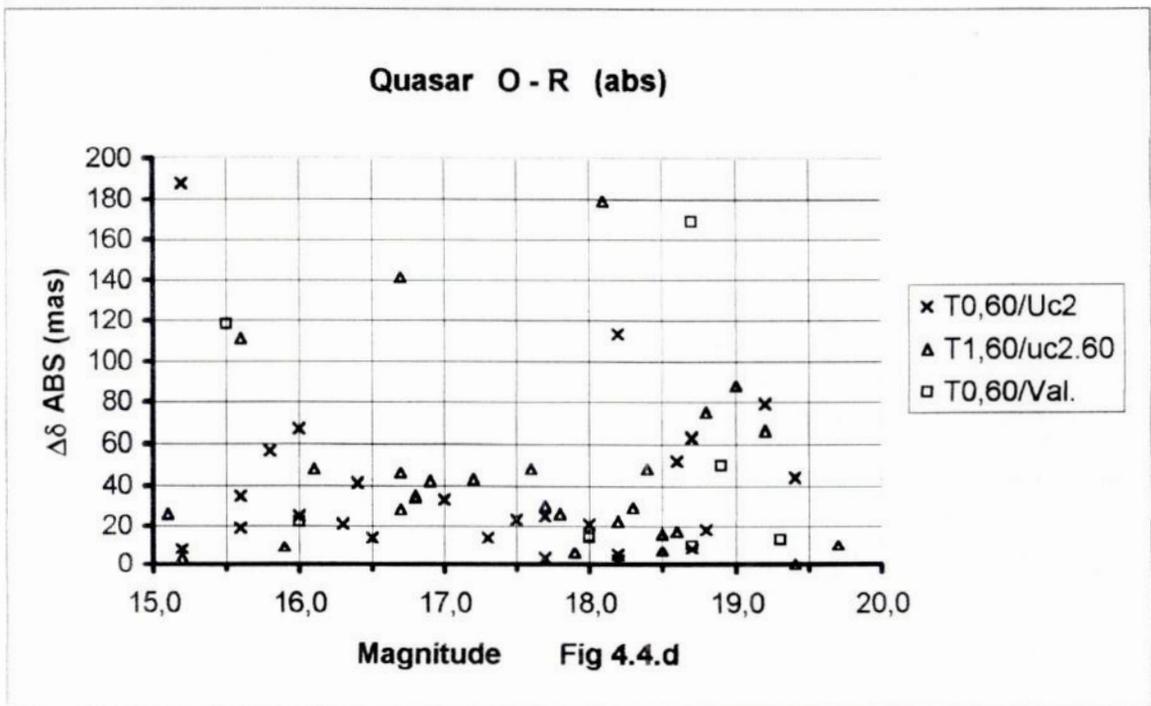


Fig. 4.4.d - Este gráfico apresenta as diferenças absolutas O-R $\Delta\delta$ vs Magnitude para todos os quasares nos telescópios de 0,60m e 1,60m com os catálogos de Valinhos, UCACII e seu secundário uc2.60

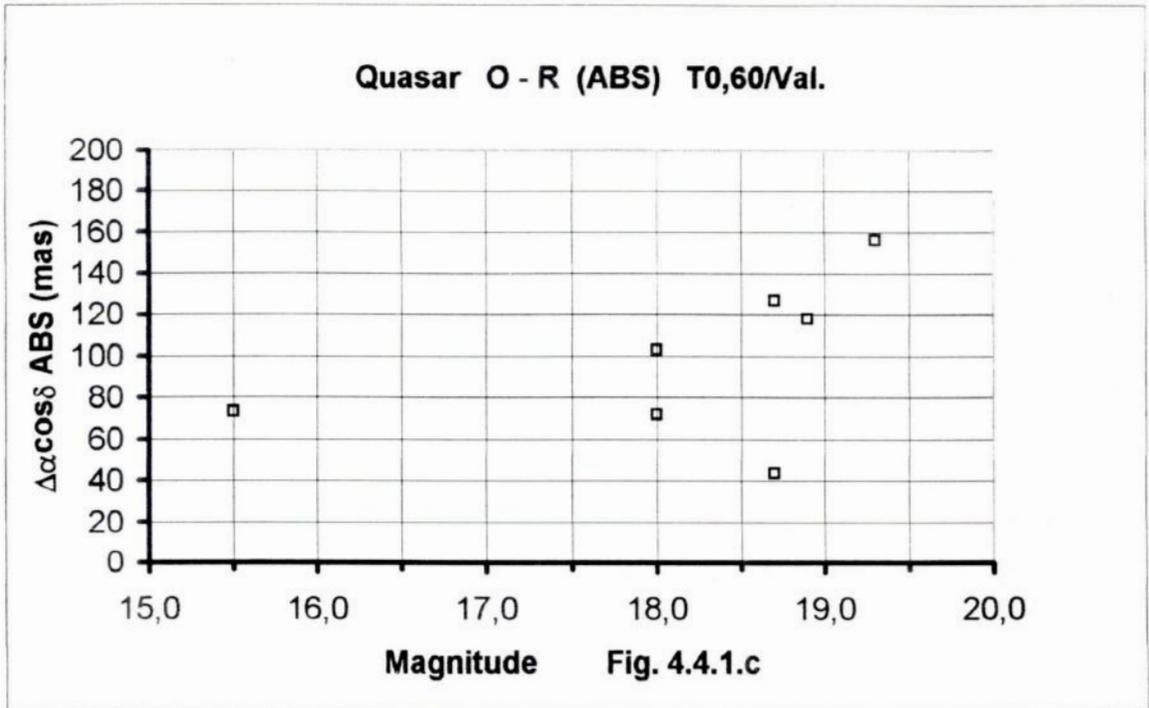


Fig. 4.4.1.c - Este gráfico apresenta as diferenças absolutas O-R $\Delta\alpha \cos\delta$ vs Magnitude para os quasares no telescópio de 0,60m com o catálogo Valinhos

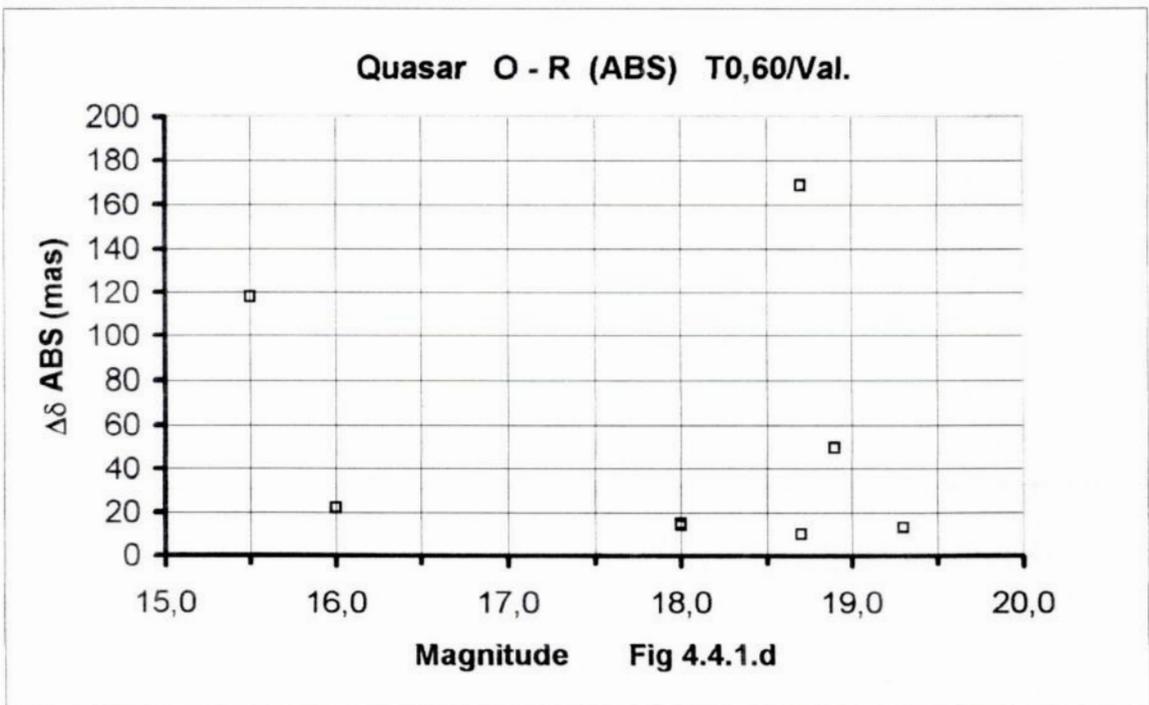


Fig. 4.4.1.d - Este gráfico apresenta as diferenças absolutas O-R, $\Delta\delta$ vs Magnitude para os quasares no telescópio de 0,60m com o catálogo Valinhos

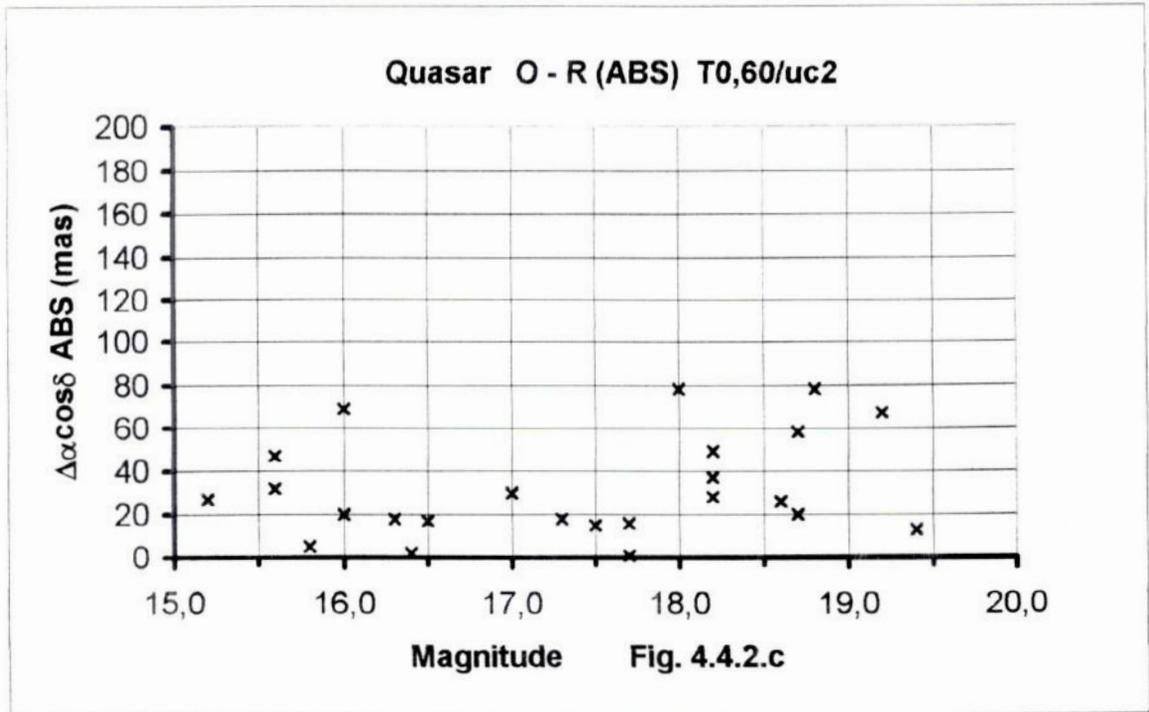


Fig. 4.4.2.c - Este gráfico apresenta as diferenças absolutas O-R $\Delta\alpha \cos\delta$ vs *Magnitude* para os quasares no telescópio de 0,60m com o catálogo UCAC II

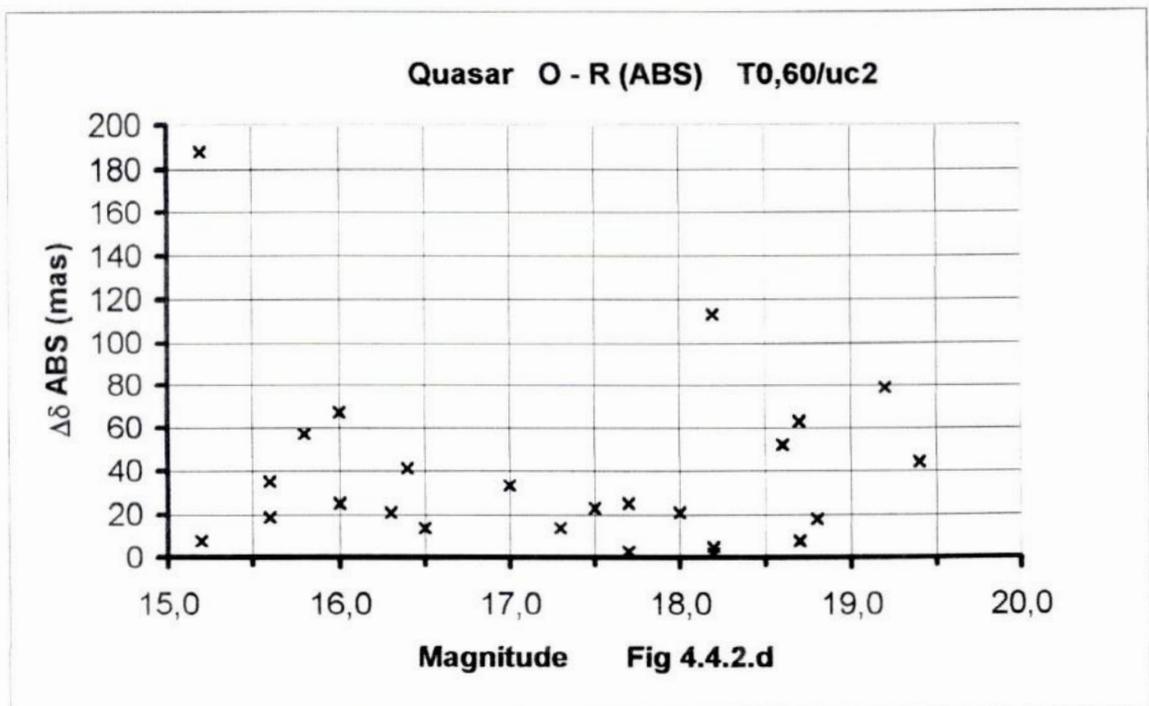


Fig. 4.4.2.d - Este gráfico apresenta as diferenças absolutas O-R, $\Delta\delta$ vs *Magnitude* para os quasares no telescópio de 0,60m com o catálogo UCAC II

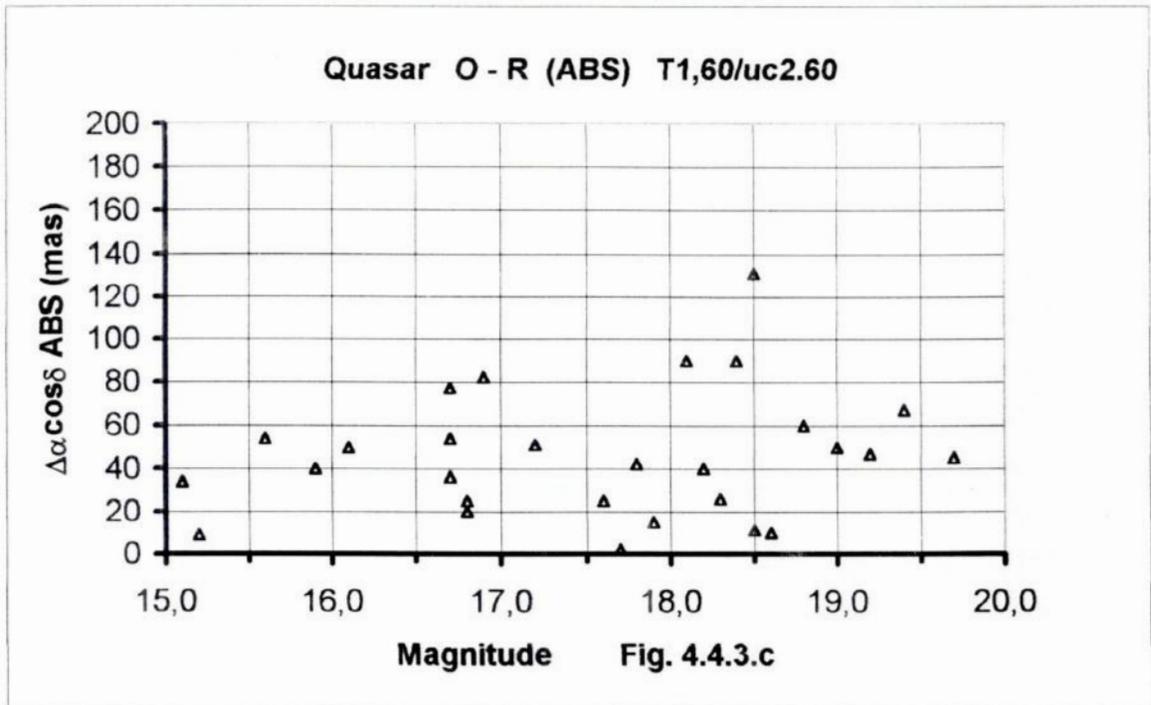


Fig. 4.4.3.c - Este gráfico apresenta as diferenças absolutas O-R $\Delta\alpha \cos\delta$ vs Magnitude para os quasares no telescópio de 1,60m com o catálogo UCACII.60

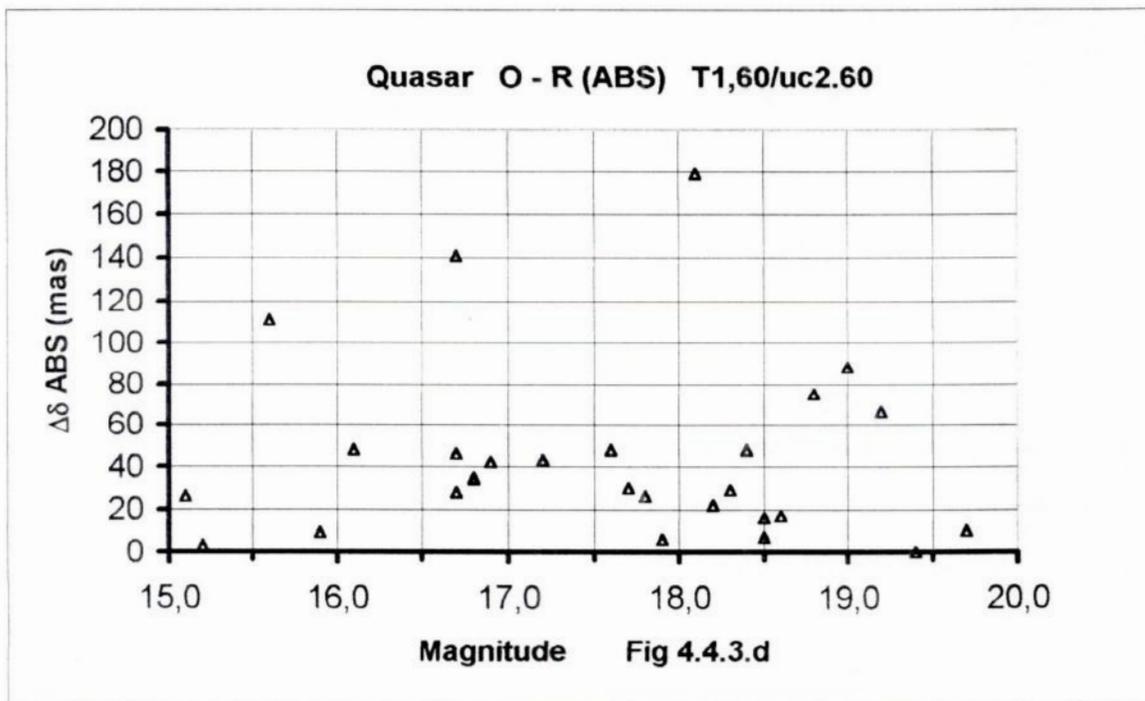


Fig. 4.4.3.d - Este gráfico apresenta as diferenças absolutas O-R, $\Delta\delta$ vs Magnitude para os quasares no telescópio de 1,60m com o catálogo UCAC II.60

1) Os gráficos 4.1.c ou 4.2.c , O-R $\Delta\alpha\cos\delta$ vs A.R. ou Dec. mostram uma forte tendência para diferenças positivas para esta variável no catalogo de Valinhos. Estas diferenças não são observadas nos gráficos 4.1.d ou 4.2.d, $\Delta\delta$ vs A.R. ou Dec. para as reduções com este catálogo. Estes resultados estão de acordo com as comparações de $\Delta\alpha$ e $\Delta\delta$ dos catálogos UCAC e Valinhos no capítulo 2. Estes resultados se refletem nos valores das médias das diferenças O-R, +89 mas e -31 mas para $\Delta\alpha\cos\delta$ e $\Delta\delta$ da tabela 4.3.

2) Os desvios padrão para O-C, são valores muito próximos para os três casos em análise. Os valores encontrados estão de acordo com a precisão posicional conhecida para os catálogos. Esta precisão no caso UCAC é ≤ 20 mas para magnitudes na faixa de 10-14 e 70 mas para magnitudes da ordem de 16. Para o Valinhos é de 40 mas com magnitude até 14. Entretanto, o desvio padrão de O-R para ambas as coordenadas, são muito piores com o catálogo Valinhos (71 mas e 72 mas), do que com o catálogo UCAC (41 mas e 42 mas).

3) As médias das diferenças de posição O-R para as reduções com catálogo Valinhos (+89mas \pm 29mas e -31mas \pm 29mas em A.R. e Dec., onde \pm são os e.m.q. da média) são significativamente maiores que as verificadas com o catálogo UCAC, tanto no telescópio de 0,60m (+4mas \pm 8mas e +1mas \pm 8mas em A.R e Dec.), quanto no de 1,60m (-12mas \pm 9mas e +8mas \pm 9mas em A.R. e Dec.), o que evidencia a superioridade do catálogo UCAC em termos de precisão. Para o UCAC estas médias estão bem dentro da precisão normal do catálogo UCAC. Estimamos entretanto que o desempenho inferior do catálogo Valinhos foi agravado pelo baixo número de quasares, cuja redução foi possível com este catálogo.

4) Nos gráficos 4.3.c ou 4.3.1.c, $\Delta\alpha\cos\delta$ (O-R) vs Magnitude ou 4.4.c $\Delta\alpha\cos\delta$ (O-R)ABS vs. Magnitude, percebe-se que para o catálogo Valinhos, as diferenças em A.R. aumentam proporcionalmente com a magnitude. Esta variação não é observada em $\Delta\delta$ em relação à magnitude. Este comportamento confirma o que já foi observado no capítulo 2, sobre a influência da magnitude nas diferenças $\Delta\alpha$ e $\Delta\delta$ quando comparamos os catálogos UCAC e Valinhos.

5) Pelos gráficos 4.3.2.c ou 4.3.3.c, $\Delta\alpha\cos\delta$ (O-R) vs Magnitude observa-se pequeno aumento das diferenças de posição com a magnitude, o que é salientado pelos gráficos de diferenças absolutas 4.4.2.c e 4.4.3.c, mostrando que também para o catálogo UCAC existe influência da magnitude nas diferenças de A.R., porem em valores inferiores aos observados para o catálogo Valinhos.

6) Considerando dispersões iguais, mas (O-R) médios obtidos para os quasares muito melhores para o catálogo UCAC II do que para o catálogo Valinhos, podemos concluir que o sistema representado pelo catálogo UCAC II é mais bem ajustado ao ICRF do que o do catálogo Valinhos. Esta conclusão, entretanto, deve ser vista com cautela em face do número muito pequeno de reduções obtidas com o catálogo Valinhos.

7) De um modo geral pode-se concluir que os resultados estão bastante consistentes, de acordo com os obtidos no capítulo 2 e informações da literatura disponível. Quanto ao desempenho em termos de precisão dos telescópios 0,60m e 1,60m pode-se dizer que estatisticamente seus resultados são equivalentes e muito bons. As análises dos gráficos 4.3.2.c,d e 4.3.3.c,d mostram que no resultado final (O-R) a performance astrométrica telescópio de 0,60m é superior a do 1,60m desde que os quasares tenham magnitude suficiente para serem observados no 0,60m.

Um fato interessante observado é o quasar 1228+126, para o qual em três imagens sucessivas do telescópio de 0,60m, se verificou a presença de um feixe luminoso na forma de jato na direção noroeste, o que coincide com o forte desvio do centróide nesta direção. Na tabela 4.2, última linha apresentamos outro cálculo, com menor círculo de delimitação de sua imagem para cálculo do centróide, o que entretanto não mudou muito o resultado.

Infelizmente não dispúnhamos de imagens deste quasar no telescópio de 1,60m para melhor esclarecimento sobre ele, o que acredito seria interessante averiguar oportunamente.

4.3 - Comparação de nossas medidas com medições de N. Zacharias

Zacharias et al, (1999), apresentou medições de 327 fontes para ambos os hemisférios, obtidas através de catálogo secundário cujas estrelas de referência iniciais se situavam na faixa de magnitude 10 a 14.

Naquele trabalho as diferenças O-R são apresentadas com e sem correção (cinemática) para o movimento próprio das estrelas do catálogo secundário. Esta correção se fez necessária devido a grande diferença de época existente entre as estrelas do catálogo secundário e a época da observação dos quasares.

Para efeito da correção parcial da diferença de época foram considerados a rotação da galáxia, e a velocidade solar em direção ao apex ($V_0 = 19,5 \text{ Km/s}$, apex $\alpha = 18^{\text{h}}.0$, $\delta = +30^{\circ}$), adotando-se a distância média de 500 pc.

Considerando os 327 quasares estudados por N. Zacharias e os 32 relacionados nesta monografia, identificamos 24 quasares comuns aos dois conjuntos, para os quais calculamos as diferenças de posição. No nosso caso, para esta análise estamos considerando apenas os resultados obtidos com o telescópio de 1,60m e catálogo UCAC II, os quais foram comparados aos resultados com e sem correção cinemática de N. Zacharias.

Dos 24 quasares comuns, deixamos de considerar 4 quasares, **1354+195**, **1435-218**, **1514-241** e **2204-540**, os quais, com já visto anteriormente apresentaram resultados não confiáveis por diversos motivos. A tabela 4.4, portanto relaciona 20 quasares comuns para análise.

Nesta tabela (O-R)_z representa as diferenças posicionais dos quasares Ótico-Rádio com e sem correção cinemática obtidos por N. Zacharias, Om-Oz as diferenças

posicionais dos quasars no Ótico obtidos nesta monografia e as de N. Zacharias, também calculados com e sem correção cinemática. Estão indicadas por m e Z as magnitudes obtidas nesta monografia e as de Zacharias. São apresentados na tabela os valores médios e desvio padrão das grandezas acima descritas.

As figuras 4.5.(1,2,3,4), apresentam os gráficos das diferenças Om-Oz com correção cinemática em $\Delta\alpha\cos\delta$ e $\Delta\delta$ versus A.R. e Declinação e 4.5.(1a,2a,3a,4a), os mesmos gráficos sem correção.

A comparação dos gráficos Om-Oz com e sem correção mostra diferenças muito discretas as quais só podem ser melhor avaliadas pelos índices da média e desvio padrão.

Nos gráficos 4.5.1 e 4.5.1a de $\Delta\alpha\cos\delta$ vs. A.R. a quantidade amostrada não é suficiente para se perceber algum benefício com o uso da correção, como é indicado no trabalho de Zacharias.

Nos gráficos 4.5.2 e 4.5.2a de $\Delta\delta$ vs. A.R. percebe-se pequena diminuição do “offset” de $\Delta\delta$ com o uso da correção, o que é confirmado também pelo valor das médias -29 mas, com correção e -53 mas, sem correção.

Os nossos valores da média para O-R, $\Delta\alpha\cos\delta$ e $\Delta\delta$, respectivamente iguais a -11mas \pm 10mas e -2mas \pm 10mas, (\pm são os e.m.q. das médias) estão de um modo geral, comparáveis aos obtidos por N. Zacharias, com correção (-14mas \pm 12mas e +27mas \pm 9mas) ou sem correção cinemática (-10mas \pm 10mas e +51mas \pm 8mas). Estes números situam-se na faixa de erro de 50 mas atualmente considerado para o sistema *Hipparcos*.

Também os nossos desvios padrões de $\Delta\alpha\cos\delta$ e $\Delta\delta$, respectivamente iguais à 46 mas e 43 mas são comparáveis aos de Zacharias, 54 mas e 38 mas, com correção e 43 mas 34 mas sem correção.

De um modo geral, estatisticamente nossos dados de amostra são muito poucos para validar nossas conclusões, entretanto acreditamos que sejam suficientes para sinalizar se os nossos resultados obtidos, o método de trabalho seguido e os equipamentos utilizados neste projeto piloto com 32 quasares, são adequados para um investimento maior, compreendendo um número muito superior de objetos ICRF a serem investigados

Tabela 4.4 - Comparação de nossos resultados com N. Zacharias

Telescópio:	Telescópio de 1,60 m										Zacharias					Zacharias					
	Catálogos:		A. R.	Decl. grau	Época	Catálogo UCAC II / 60		Magn.	Época	Com correção cinemática		Magn.	Sem correção cinemática		Magn.						
	H	mas				$\Delta\delta$	(O-C) z			$\Delta\alpha\cos\delta$	(O-R) z		$\Delta\delta$	$\Delta\alpha\cos\delta$		(O-R) z	$\Delta\delta$	$\Delta\alpha\cos\delta$	m-Z		
1	0047-579	0,83	-57,64	93,6384	43	40	+25	+48	17,6	90,7		+23	+89	+2	-41	18,5	-22	+94	+47	-46	-0,9
2	0237+040	2,66	+4,27	99,8822	25	25	-15	+6	17,9	90,9		+34	+90	-49	-84	18,5	+14	+106	-29	-100	-0,6
3	0919-260	9,36	-26,31	98,3315	30	25	+42	-26	17,8	89,3		-6	+11	+48	-37	18,4	+46	-3	-4	-23	-0,6
4	0920-397	9,38	-40,00	98,9671	28	25	-2	+30	17,7	91,2		+23	+12	-25	+18	19,0	+59	-2	-61	+32	-1,3
5	1032-199	10,58	-20,19	95,4329	32	31	+67	0	19,4	89,4		-106	+20	+173	-20	19,0	-45	+19	+112	-19	0,4
6	1034-293	10,62	-29,58	98,3315	22	24	-11	-7	18,5	89,1		-89	+21	+78	-28	16,5	-23	+18	+12	-25	2,0
7	1144-379	11,78	-38,20	98,3288	23	24	-36	+28	16,7	90,3		-50	+59	+14	-31	16,2	+5	+68	-41	-40	0,5
8	1355-416	13,98	-41,88	98,3288	27	31	+34	+26	15,1	90,5		-29	+41	+63	-15	15,9	+24	+75	+10	-49	-0,8
9	1510-089	15,21	-9,08	99,2329	14	18	-20	-35	16,8	90,1		-13	+39	-7	-74	16,5	+8	+57	-28	-92	0,3
10	1511-100	15,23	-10,20	95,3753	35	39	-90	-48	18,4	91,4		-13	-19	-77	-29	18,5	+7	-1	-97	-47	-0,1
11	1538+149	15,68	+14,80	95,3890	32	28	-54	+46	16,7	89,3		-23	+21	-31	+25	17,3	-3	+45	-51	+1	-0,6
12	1656+053	16,98	+5,25	95,4822	35	32	-25	-34	16,8	89,8		-125	-13	+100	-21	16,5	-119	+8	+94	-42	0,3
13	1925-610	19,50	-60,95	98,3315	51	46	-45	+10	19,7	91,7		-27	+26	-18	-16	21,5	-47	+80	+2	-70	-1,8
14	2037-253	20,67	-25,12	98,3315	30	30	-47	-66	19,2	90,2		+6	+47	-53	-113	18,5	-14	+76	-33	-142	0,7
15	2052-474	20,94	-47,24	98,7233	30	32	-51	+43	17,2	90,2		-4	+50	-47	-7	19,1	-33	+87	-18	-44	-1,9
16	2128-123	21,53	-12,12	95,5233	30	36	-54	-111	15,6	91,1		+24	+23	-78	-134	16,1	+8	+45	-62	-156	-0,5
17	2251+158	22,90	+16,14	98,9671	32	28	-40	-9	15,9	76,6		+105	-68	-145	+59	16,1	+43	+53	-83	-62	-0,2
18	2255-282	22,97	-27,98	94,7288	40	32	+82	+42	16,9	91,6		-64	+74	+146	-32	16,8	-83	+86	+165	-44	0,1
19	2326-477	23,49	-47,51	94,5916	35	32	+50	+48	16,1	91,0		+22	+36	+28	+12	16,8	-15	+57	+65	-9	-0,7
20	2328+107	23,51	11,00	98,9671	27	32	-26	-29	18,3	83,6		+38	-13	-64	-16	18,1	-7	+58	-19	-87	0,2
	Média						-11	-2				-14	+27	+3	-29		-10	+51	-1	-53	-0,3
	e.m.q.						10	10				12	9	18	10		10	8	15	10	
	Desv. Padr.						46	43				54	38	80	45		43	34	68	45	

TABELA 4.4 - Nesta tabela são apresentadas para os 20 quasares comuns às reduções feitas nesta monografia e no trabalho de N. Zacharias os seguintes resultados: (O-R) para o telescópio de 1,60m ; (O-R)z = Ótico-Radio com e sem correção obtido por N. Zacharias, e as diferenças Om-Oz, Ótico(monografia)-Ótico(Zacharias) com e sem correção cinemática para as estrelas do catálogo secundário.

Quasar Om - Oz (Corrigido)

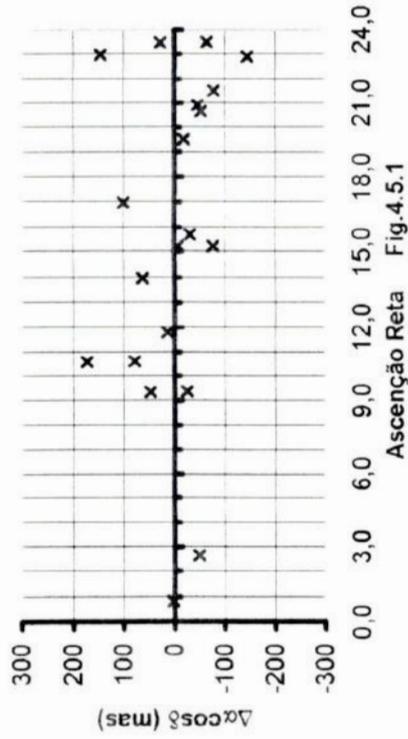


Fig. 4.5.1 - Diferenças em A.R. vs. A.R., Om = med. monografia, Oz = medição Zacharias com correção das estrelas secundárias. Média das diferenças (A.R.) = + 3 mas, Desv. Padr. das diferenças (A.R.) = 80 mas

Quasar Om - Oz (Corrigido)

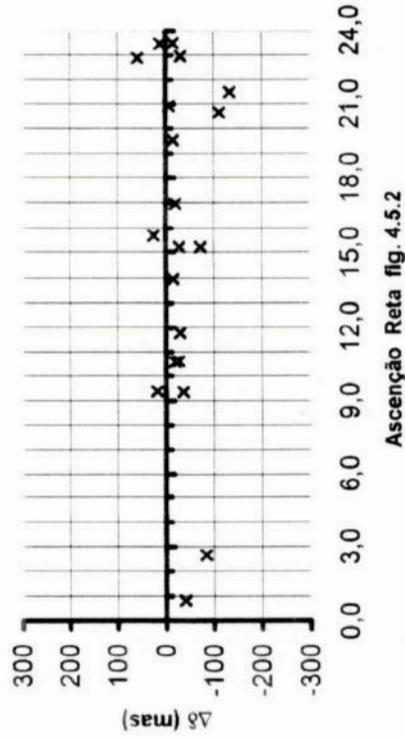


Fig. 4.5.2 - Diferenças em Dec. vs. A.R., Om = med. monografia, Oz = medição Zacharias com correção das estrelas secundárias. Média das diferenças (Dec.) = -29 mas, Desv. Padr. das diferenças (Dec) = 45 mas

Quasar Om - Oz (Sem correção)

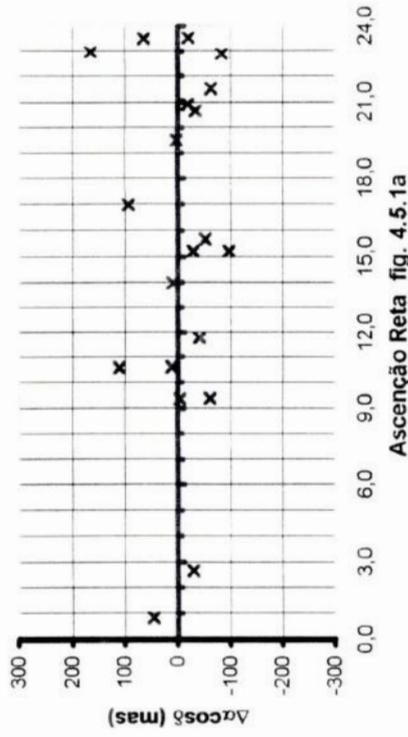


Fig. 4.5.1a - Diferenças em A.R. vs. A.R., Om = med. monografia, Oz = medição Zacharias sem correção das estrelas secundárias. Média das diferenças (A.R.) = - 1 mas, Desv. Padr. das diferenças (A.R.) = 68 mas

Quasar Om - Oz (Sem correção)

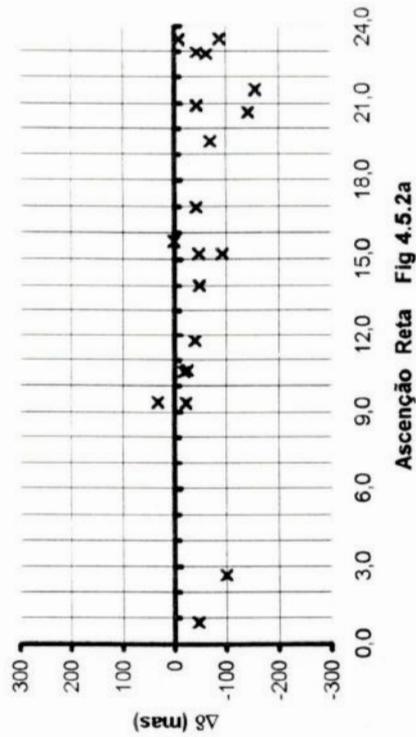
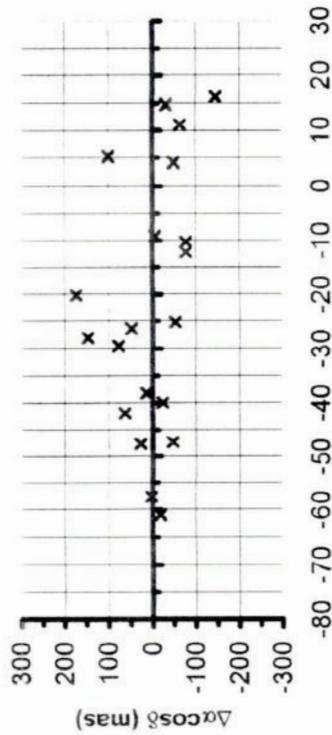


Fig. 4.5.2a - Diferenças em Dec. vs. A.R., Om = med. monografia, Oz = medição Zacharias sem correção das estrelas secundárias. Média das diferenças (Dec.) = -53 mas, Desv. Padr. das diferenças (Dec.) = 45 mas

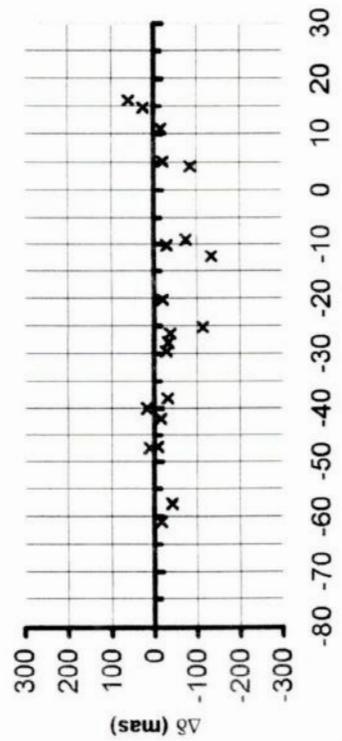
Quasar Om - Oz (Corrigido)



Declinação Fig. 4.5.3

Fig. 4.5.3 - Diferenças em A.R. vs. Dec., Om = med. monografia, Oz = medição Zacharias com correção das estrelas secundárias. Média das diferenças (A.R.) = +3 mas, Desv. Padr. das diferenças (A.R.) = 80 mas

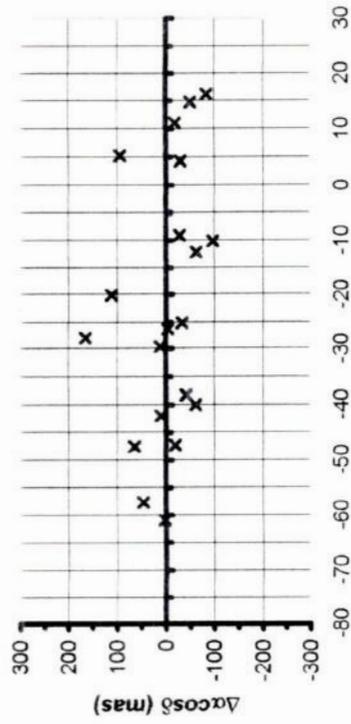
Quasar Om - Oz (Corrigido)



Declinação fig. 4.5.4

Fig. 4.5.4 - Diferenças em Dec. vs. Dec., Om = med. monografia, Oz = medição Zacharias com correção das estrelas secundárias. Média das diferenças (Dec.) = -29 mas, Desv. Padr. das diferenças (Dec.) = 45 mas

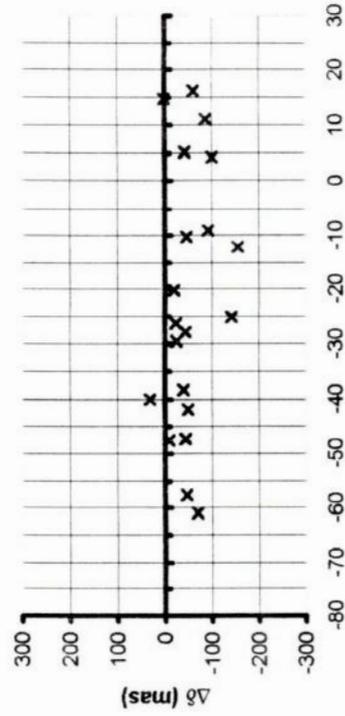
Quasar Om - Oz (Sem correção)



Declinação Fig. 4.5.3a

Fig. 4.5.3a - Diferenças em A.R. vs. Dec., Om = med. monografia, Oz = medição Zacharias sem correção das estrelas secundárias. Média das diferenças (A.R.) = -1 mas, Desv. Padr. das diferenças (A.R.) = 68 mas

Quasar Om - Oz (Sem correção)



Declinação Fig.4.5.4a

Fig. 4.5.4a - Diferenças em Dec. vs. Dec., Om = med. monografia, Oz = medição Zacharias sem correção das estrelas secundárias. Média das diferenças (Dec.) = -53 mas, Desv. Padr. das diferenças (Dec.) = 45 mas

5 - CONCLUSÃO

A adoção de direções baseadas em objetos extragalácticos como referencial inercial primário, foi considerada por toda uma década pela IAU, até que na resolução agosto de 1997, foi definido a utilização do ICRS, como sistema de referência fundamental. Este sistema é materializado pelo ICRF, um conjunto de cerca de 600 fontes de rádio, e veio a ser adotado em substituição ao sistema de coordenadas equatoriais celeste, materializado no ótico pelo FK5, com cerca de 1.500 estrelas catalogadas. Tais sistemas, tem seus eixos igualmente orientados para a época de J2000.

A partir de então, tem sido de grande interesse a medição de posição no ótico destas fontes de rádio, para se verificar o correto alinhamento destes sistemas, e principalmente a manutenção deste alinhamento com o tempo.

Considerando o exposto acima, teve início em 1997, um programa observacional envolvendo o uso de três instrumentos distintos: o Círculo Meridiano de Valinhos (CMV) e os telescópios de 0,60m e 1,60m do LNA.

Com este objetivo, cerca de 410 fontes ICRF distribuídas entre $+20^\circ < \delta < -80^\circ$ no céu, foram escolhidas para observação. Deste conjunto, foram observadas até o momento 392 com o telescópio 0,60m, 325 com o de 1,60m, sendo 323 com observação em ambos os telescópios. No CMV foram observados 25 campos de quasares, estando no momento este programa paralisado devido a problemas técnicos.

O objetivo desta monografia, é uma extensa investigação para uma amostra representativa das fontes deste programa, consistindo de 32 fontes ICRF observadas nestes instrumentos. Reduzimos os campos do 0,60m em relação a posições derivadas com o CMV, baseadas no catálogo Tycho-2. Também fizemos o mesmo, usando estrelas UCAC. Essas reduções proporcionaram catálogos secundários de referência de estrelas de brilho intermediário, para os campos CCD do 1,60m. A redução dos campos CCD do 0,60m e do 1,60m forneceram posições óticas para as fontes ICRF.

Uma investigação da performance astrométrica de todos esses instrumentos e do catálogo UCAC foi feita, no contexto da obtenção de posições óticas precisas para as fontes do ICRF.

No capítulo 2 fizemos uma avaliação dos catálogos UCAC e o obtido pelo Círculo Meridiano de Valinhos, embora já fosse de nosso conhecimento a maior extensão e precisão do catálogo UCAC. Procuramos nesta avaliação verificar a influência do uso de filtro R, como é o caso do catálogo UCAC, considerando sua utilização com finalidade astrométrica para as observações em V no 0.60m e no 1,60m do LNA.

Nesta análise, identificamos 17 campos de quasares com 594 estrelas comuns aos dois catálogos, Valinhos e UCAC, sobre os quais fizemos uma avaliação estatística das diferenças de posição. Os valores médios das diferenças de posição Valinhos – UCAC para $\Delta\alpha\cos\delta$ e $\Delta\delta$, resultaram em +77 mas e -16 mas respectivamente, com desvios

padrão médios de 69 mas e 74 mas respectivamente. Verificamos também o comportamento dos erros versus magnitudes de Valinhos (faixa V) e UCAC (faixa R), bem como Cor (V-R).

Considerando a importância dos erros gaussianos e internos nos cálculos de redução, fizemos no capítulo 3 uma avaliação dos mesmos.

Para os **ajustes gaussianos**, com o telescópio de 0,60m encontramos erros de medidas de 18 mas (x) e 17 mas (y) e especificamente para os quasares 30mas (x) e 26 mas (y).

Para o telescópio de 1,60m encontramos para as estrelas valores de 15 mas (x) e 14 mas (y), e valores médios de 8 mas para os quasares.

Nas reduções das imagens do telescópio de 0,60m encontramos para as estrelas de catálogo o valor médio de $\sigma(\alpha)$ e $\sigma(\delta)$ (desvio padrão de O-C das reduções de posição) de 30 mas e 31 mas respectivamente, sendo que o valor médio do "Std Error" ou erro padrão para os quasares, $E\alpha$ e $E\delta$, se situou em 9mas.. Foram usadas em média 30 estrelas de referência.

Para o telescópio de 1,60m obtivemos o valor médio de $\sigma(\alpha)$ e $\sigma(\delta)$ de 31 mas e 29mas respectivamente, sendo que o valor médio do erro padrão $E\alpha$ e $E\delta$ se situou em 9mas. Foram usadas em média 28 estrelas de referência .

No capítulo 4 , já com o uso do catálogo UCAC II, obtivemos posições precisas de 28 fontes de rádio ICRF do conjunto de 32, usando-se os telescópios de 0,60m e 1,60m, comparando-os também com os resultados obtidos com o catálogo de Valinhos e telescópio de 0,60m. Apresentamos também uma comparação dos resultados obtidos nesta monografia com trabalho feito por Zacharias et al. 1999, considerando medições de 327 fontes extragalácticas.

As comparações das posições de quasares obtidas nesta monografia com as de Zacharias indicam diferenças médias de +3 mas e -29 mas em A.R. e Dec. respectivamente e desvios padrão de 80 mas e 45 mas respectivamente, com correção cinemática da rotação da galáxia e velocidade do Sol.

De um modo geral, dos resultados obtidos podemos afirmar que :

1) Reduções feitas com o catálogo de Valinhos e o telescópio de 0,60m apresentaram diferenças de posição (O-R) em A.R ($\Delta\alpha\cos\delta$ médio = +89mas \pm 29mas), superiores as de Declinação ($\Delta\delta$ médio = -31mas \pm 29mas). Esta tendência em $\Delta\alpha\cos\delta$ também foi verificada na comparação entre catálogos Valinhos versus UCAC.

2) Aumento significativo e aproximadamente linear das diferenças em A.R., $\Delta\alpha\cos\delta$, na comparação Val.-UCAC , com o aumento da magnitude . O mesmo efeito ocorre também em relação às diferenças de posição em declinação , $\Delta\delta$, porem com menor influência.

3) Não se observou influência significativa nas diferenças de posição $\Delta\alpha$ e $\Delta\delta$, em relação ao índice de cor, (Mag V-Mag.R). Julgamos desta forma que o catálogo UCAC em (R) pode ser usado para aplicações em reduções astrométricas de campos observados em V.

4) As reduções feitas com o catálogo UCAC, como já era esperado, apresentaram precisão muito superior às obtidas com o catálogo Valinhos. Entretanto, acreditamos que os resultados de Valinhos foram prejudicados face ao pequeno número de reduções que foi possível fazer com este catálogo

5) O desempenho astrométrico do telescópio de 0,60m, se mostrou comparável ao de 1,60m desde que os objetos apresentem magnitude suficiente para observação.

6) Comparações de nossas medições com as obtidas em outro trabalho apresentado por N. Zacharias, demonstraram que obtivemos o mesmo nível de precisão.

7) Considerando as reduções feitas com o catálogo UCAC2, as diferenças posicionais dos quasares estão dentro da faixa de 50 mas, aceita atualmente como das mais precisas em termos de catálogos representativos do sistema HIPPARCOS, tendo-se chegado com o telescópio de 1,60m a um valor médio para (O-R) de $-12\text{mas} \pm 9\text{mas}$ e $+8\text{mas} \pm 9\text{mas}$ para A.R e Dec. respectivamente, com desvio padrão de 45 mas e 46 mas, respectivamente. Para o telescópio de 0,60m obtivemos o valor médio de (O-R) de $+4\text{mas} \pm 8\text{mas}$ e $+1\text{mas} \pm 8\text{mas}$, para A. Reta e Declinação respectivamente com desvios padrão de 41 mas e 42 mas respectivamente

Finalmente, em relação ao quasar 1228+126 sugerimos uma melhor investigação com o telescópio de 1,60m, visando a confirmação ou não, da presença de feixe luminoso na direção noroeste, o que prejudicou o trabalho de redução em imagem do telescópio de 0,60m.

Diante dos resultados obtidos neste projeto piloto com 32 fontes, consideramos que o método de trabalho e os equipamentos utilizados estão adequados e suficientes para investimento em toda a amostra de observações realizadas nos telescópios de 0,60m e 1,60m para a astrometria de radio fontes do ICRF.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Assafin, M. 1996. "Astrometria de Radiofontes Galácticas e Extragalácticas" - Tese de doutorado, Observatório Nacional/ CNPq, Rio de Janeiro, Publicação especial do Observatório Nacional, nº 06/96

Assafin M., Vieira Martins R. e Andrei A. H., 1997, AJ, 113, 2329.

Assafin et al. 1999, Bol. Soc. Ast. Bras., Vol.19, p.109

Assafin, M., Andrei, A.H., Martins,R.V., Silva Neto,D.N., Camargo, J.I.B., Teixeira,R., Benevides-Soares,P.. 2002 – Astrometric CCD Positions of Extragalactic Radio Sources from the Valinhos – LNA Program , Advances in Space Dynamics Vol. 2, 161-166 .

Camargo, J.I.B., Ducourant, C.,Teixeira, R., Le Campion, J.-F., Rapaport, M., Benevides-Soares, P.,2003 –A&A 409,361-368

da Silva Neto, D.N. . Representação Óptica do Referencial Celeste Internacional – ICRF Tese de Doutorado – Publicação Especial No. 09 , 2003. – O.N.

ESA 1997, The Hipparcos and Tycho Catalogues (ESA SP-1200)

Hog, E., Bassgen Bastian U., Egret,D., Fabricius C., Grobmann V., Halbwachs J.L., Makarov V.V., Perryman M.A.C., Schwekendiek P., Wagner K., Wicenec A. 1997 A&A 323,L57.

Hog, E.,et al. 2000a A&A,357,367,

Hog, E.. et al.2000b A&A,357,27L.

Kaplan G.H., Josties F.J., Angerhofer P.E., Johnston K.J.,e Spencer J.H., 1982, AJ,87,570K.

Lopes,P.A.A.,Andrei, A.H., Puliaev, S.P., Penna, J.L., Teixeira, R., Benevides-Soares, P., Assafin, M., Le Campion , J.F., Réquième,Y.,1999 –A&A Suppl.Ser. 136, 531-537.

Monet,D., Bird,A., Canzian, B., et al 1998 , in USNOA-V2.0. A Catalog of Astrometric Standards

Santos, S.F.,1999."Redução Astrométrica de Campos de Quasares obtidos com o Círculo Meridiano CCD de Valinhos". Projeto Final de curso de Graduação / UFRJ

Urban, S.E., Corbin , T.E. e Wycoff, G.L. 1998a, The ACT Reference Catalog

Urban, S.E., Corbin, T.E., Wycoff, G.L., Martin, J.C., Jackson, E.S., Zacharias, M.I., and Hall, D.M. 1998b The AC2000: The Astrogaphic Catalog on the Hipparcos System, Astrn.J., 115, 1212

Zacharias, N., Zacharias M.I., Hall, D.M., Johnston, K.J., De Vegt, C., Winter, L., 1999 -, AJ. 118:2511-2525

Zacharias, N., Urban, S.E., Zacharias, M.I., Hall, D.M., Wycoff, G.L., Rafferty, T.J., Germain, M.E., Holdenried, E.R., Pohlman, J.W., Gauss, F.S., Monet, D.G., Winter, L., 2000 -, AJ, 120: 2131- 2147.

Zacharias, N., Zacharias, M.I., Urban, S.E., Hog, E., 2000 ,AJ. 120:1148-1152.

Páginas web

UCAC2 <http://ad.usno.navy.mil/ucac/>.