



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

INPE-12980-PRE/8257

POLARIMETRIA DE VARIÁVEIS CATACLÍSMICAS MAGNÉTICAS

Cléber Abrahão de Souza

*Bolsista UNESP

Relatório Final de Projeto de Iniciação Científica (PIBIC/CNPq/INPE), orientado pela
Dra. Cláudia Vilega Rodrigues

INPE
São José dos Campos
2005



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

POLARIMETRIA DE VARIÁVEIS CATACLÍSMICAS MAGNÉTICAS

**RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA
(PIBIC/CNPq/INPE)**

Cleber Abrahão de Souza (UNESP, Bolsista PIBIC/CNPq)
E-mail: fis03111@feg.unesp.br

Dr. Cláudia Vilega Rodrigues (DAS/CEA/INPE, Orientador)
E-mail: claudia@das.inpe.br

COLABORADORES

Dr. Deonísio Cieslinski (DAS/INPE)
Dr. João Evangelista Steiner (IAG/USP)

Maio de 2005

Índice

Resumo	1
1. Introdução	1
2. Resumo do plano de trabalho.....	2
3. Atividades de pesquisa	2
3.1. Redução dos dados	2
3.2. Resultados para AX J2315-592	4
3.2.1. Novos Resultados.....	7
3.3. Resultados para RX J1957.1-5738	10
3.3.1. Novos Resultados.....	12
3.4. Participação em congresso.....	13
4. Estudo dirigido	14
5. Atividades Futuras.....	15
6. Referências	15

Resumo

Apresentamos neste relatório resultados preliminares obtidos através das curvas de luz e de polarização das estrelas binárias AX J2315-592 e RX J1957.1-5738.

A redução de dados foi feita utilizando o *Image Reduction and Analysis Facility* (IRAF). A detecção de polarização circular modulada com o período orbital de RX J1957.1-5738, realizada pela primeira vez neste trabalho, confirma sua classificação como uma estrela do tipo polar. A polarização máxima observada em AX J2315-592 foi da ordem de |20%|, valor maior que o apresentado por Ramsay et al. (1999) de |10%|.

Comparando os nossos resultados com os fornecidos pelo catálogo USNO e pela literatura surgiram evidências de que os objetos passaram por mudanças em relação aos seus estados de brilho.

Em paralelo com este trabalho de pesquisa foi realizado um estudo dirigido sobre conceitos fundamentais de astrofísica e de sistemas binários do tipo variáveis cataclísmicas.

1. Introdução

Variáveis cataclísmicas magnéticas são sistemas binários de curto período orbital, em torno de 1 a 8h, onde uma estrela anã branca captura matéria de uma estrela de baixa massa da seqüência principal. O movimento de rotação da anã branca é sincronizado com o movimento de rotação do sistema. A transferência de matéria da secundária para a primária é feita via coluna de acréscimo que segue as linhas de campo magnético. Na região onde essa coluna atinge a anã branca, próxima aos pólos magnéticos, ocorre um choque e emissão no óptico e em raios-X. No visível, a principal emissão é ciclotrônica de elétrons livres. Esta radiação é polarizada circular e linearmente.

Neste trabalho realizamos a redução de dados de polarimetria ótica coletados anteriormente que permitiu obter a dependência do fluxo e da polarização com o tempo para AX J2315-592 e RX J1957.1-5738.

A fonte de raios-X AX J2315-592 foi descoberta por Misaki et al. (1995) usando dados do *Advanced Satellite for Cosmology and Astrophysics* (ASCA). Embora este objeto tenha sido estudado, paralelamente, por Thomas e Reinsch et al (1995) foi Misaki et al (1996) que o classificou como uma variável cataclísmica. A polarimetria ótica, além de observações em raios-X, foi obtida por Ramsay et al. (1999).

O sistema binário RX J1957.1-5738 foi descoberto pelo *Röntgensatellit* (ROSAT XRT) em 1990 (Thomas e al. 1996).

2. Resumo do plano de trabalho

O plano deste trabalho de pesquisa pode ser sintetizado nos seguintes tópicos:

- Preparação dos dados para redução foto/polarimétricas, isto é, correção de efeitos sistemáticos existentes nas imagens CCD;
- Obtenção da polarização e magnitude para um conjunto de imagens CCD;
- Construção das curvas de luz e de polarização para cada objeto;
- Estudos dirigidos em temas básicos de astrofísica, bem como em variáveis cataclísmicas.

3. Atividades de pesquisa

3.1. Redução dos dados

Durante os dias 29, 30 e 31 de agosto de 1997, foram observadas AX J2315-592 e RX J1957.1-5738, estrelas variáveis cataclísmicas candidatas a polares. Estas observações foram realizadas com o telescópio ótico de 1,60 m localizado no Pico dos Dias, pertencente ao Laboratório Nacional de Astrofísica /MCT. Para estas observações, foi utilizado um sistema composto por uma câmera polarimétrica (Magalhães et al. 1996) e um CCD, espesso, com iluminação de frente e 770 x 1152 pixels. Para comprimentos de onda entre 600 à 700 nm a sua eficiência quântica é acima de 40%. Foram observadas duas padrões polarimétricas HD155197 e HD23512.

A redução dos dados consistiu nos seguintes passos: correção de *bias* e de *flatfielding*, registro das imagens e fotometria. Foram obtidas as curvas de luz e de polarização.

Bias é um ruído surgido no processo de leitura do sinal no CCD, sua correção é feita da seguinte forma: faz-se uma combinação das imagens de *bias*, assim tem-se uma imagem média do ruído que é subtraída das imagens das estrelas de programa.

Flat são as imagens obtidas através da iluminação artificial e uniforme em todo o CCD. Este procedimento tem como objetivo quantificar a diferença de sensibilidade entre os pixels. É feita uma combinação das imagens de *flat* em grupos de acordo com o filtro utilizado na observação e um valor médio para a diferença de sensibilidade dos pixels é obtido. A imagem de *flat* médio em cada filtro é normalizada e as imagens dos objetos alvos de estudo são divididas pelo *flatfield* correspondente.

Como as imagens de *flat* das noites do dia 29 e 30 estavam saturadas, foi preciso usar a combinação do *flat* da noite do dia 31. A combinação do *bias* e do *flat* foi realizada através de rotinas do IRAF. No *header* de todas essas imagens foi acrescentada a ascensão reta (RA), bem como os HJD (data Juliana heliocêntrica). De acordo com o livro *Fundamentos de Astronomia e Astrofísica* (Prof. Kepler e Profa. Marisa 1999) a data Juliana é o número de dias solares médios decorridos desde o início da era Juliana, em 1 de janeiro de 4713 a.C.. O dia Juliano muda sempre às 12 h TU. Data Juliana heliocêntrica é a correção da data Juliana considerando que o observador esteja no centro do Sol.

De cada campo dessas imagens escolhemos as estrelas mais brilhantes e criamos um arquivo de coordenadas para ser usado na fotometria diferencial, a qual, consiste na comparação entre os fluxos das estrelas mais brilhantes do campo com o objeto alvo de estudo. Pois, com este procedimento os resultados são obtidos com mais precisão porque elimina-se os ruídos proveniente da variação do fundo do céu.

Para a polarização foi criado um arquivo contendo apenas as coordenadas referentes à estrela de programa. A obtenção das curvas de polarização exigiu a determinação do eixo óptico de um dos elementos da câmera polarimétrica.

A TABELA 1 contém os principais dados das observações realizadas no LNA.

Tabela 1: Dados principais das missões realizadas no LNA.

Objeto	Data das observações (29,30 e 31 de agosto de 1997)	Filtro	Lâmina	Número de imagens
AX J2315-592	29	Rc	¼ de onda	128
	30	Ic	¼ de onda	144
	31	Ic	½ de onda	123
RX J1957.15736	29	Rc	¼ de onda	80
	30	Rc	¼ de onda	96
	31	Rc	½ de onda	24
HD23512	29	Rc	¼ de onda	16
	30	Ic		16
		Rc	¼ de onda	16
	31	Rc		8
		Ic	½ de onda	8
		V		8
HD155197	29	Rc	¼ de onda	16
	30	Rc	¼ de onda	16
		V		16
	31	Rc	½ de onda	14
		Ic		16
		V		16

3.2. Resultados para AX J2315-592

AX J2315-592 foi observada em dois filtros diferentes (Ic e Rc). Com a fotometria feita, foi possível obter a curva de luz para AX J2315-592 (Figs. 1 e 2), a qual representa a variação do fluxo com a fase orbital. A variação do fluxo do sistema no filtro I é de 2 magnitudes. Para obter estas curvas usamos a efeméride $T = \text{HJD}2450024.8015(7) + 0.06183207(8) \times E$, calculada por Ramsay et al. (1999). Este sistema apresenta uma polarização circular cujo módulo pode atingir até 20%, como podemos observar nas Figuras 3, 4 e 5. Este valor para polarização é duas vezes maior do que aquele obtido por Ramsay et al. (1999) que fez as medidas em luz branca.

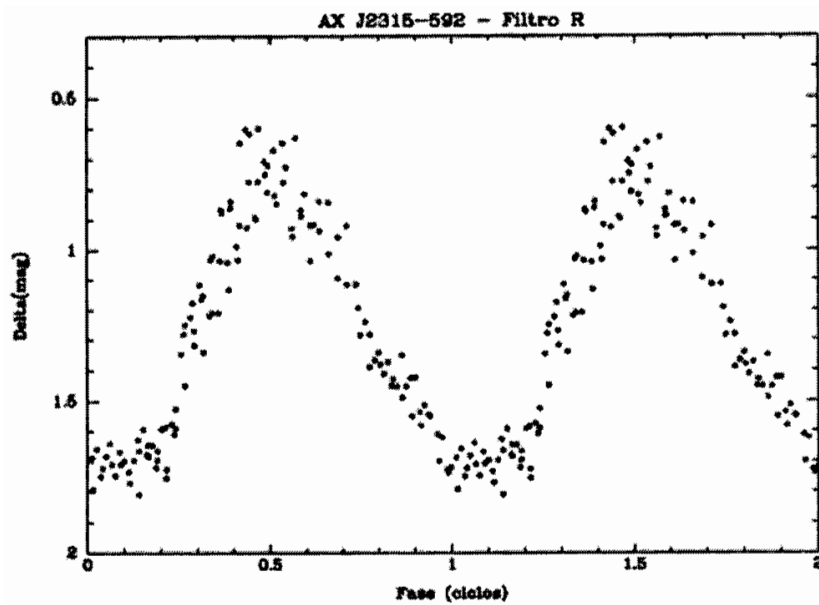


Figura 1: Curva de Luz da AX J2315-592 em fase, no filtro Rc.

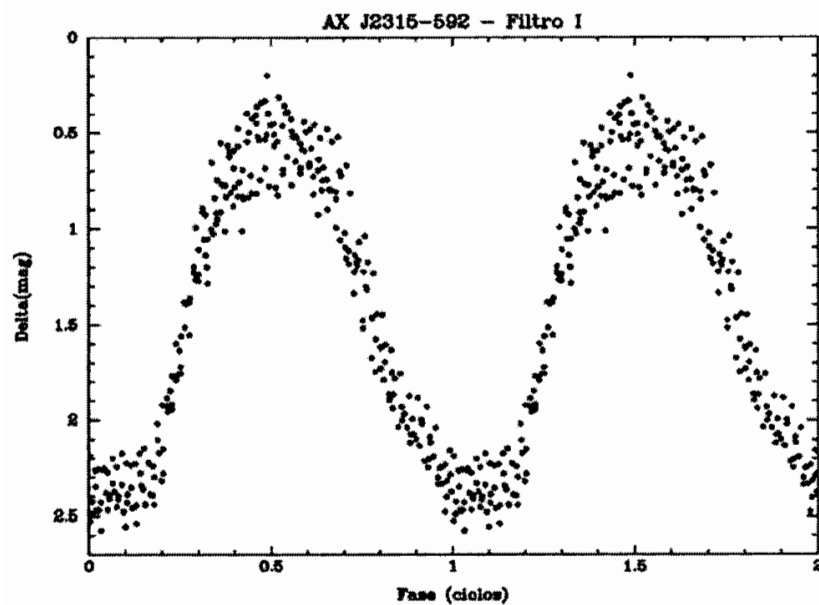


Figura 2: Curva de Luz da AX J2315-592 em fase, no filtro Ic.

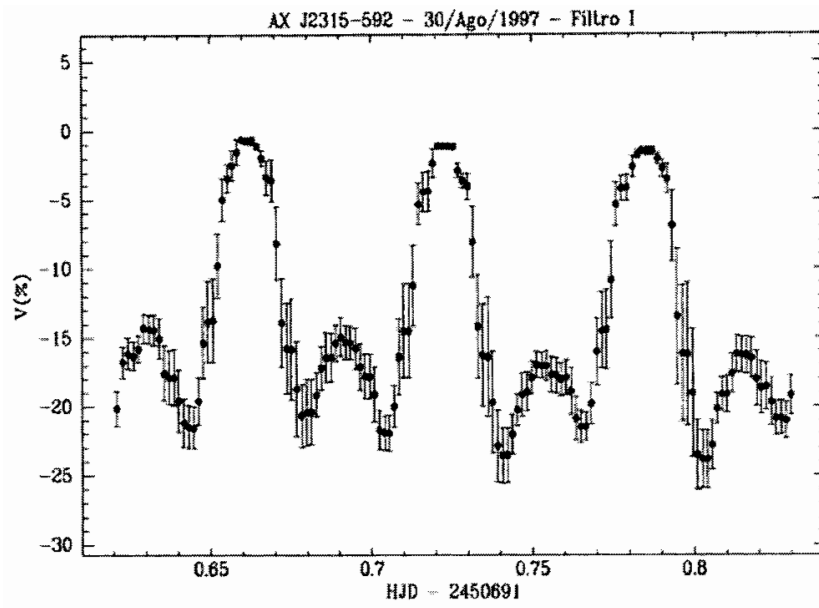


Figura 3: Curva de Polarização da AX J2315-592 em HJD, no filtro Ic.

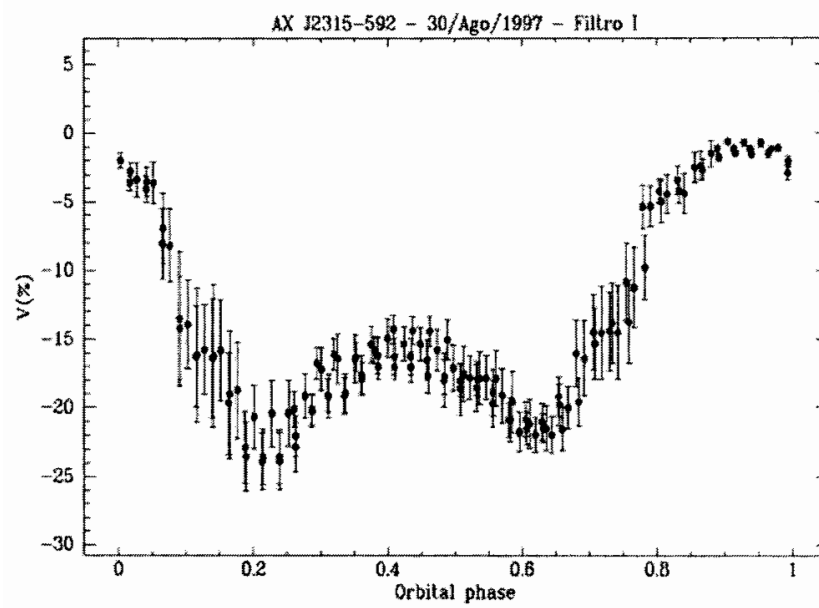


Figura 4: Curva de Polarização da AX J2315-592 em fase, no filtro Ic.

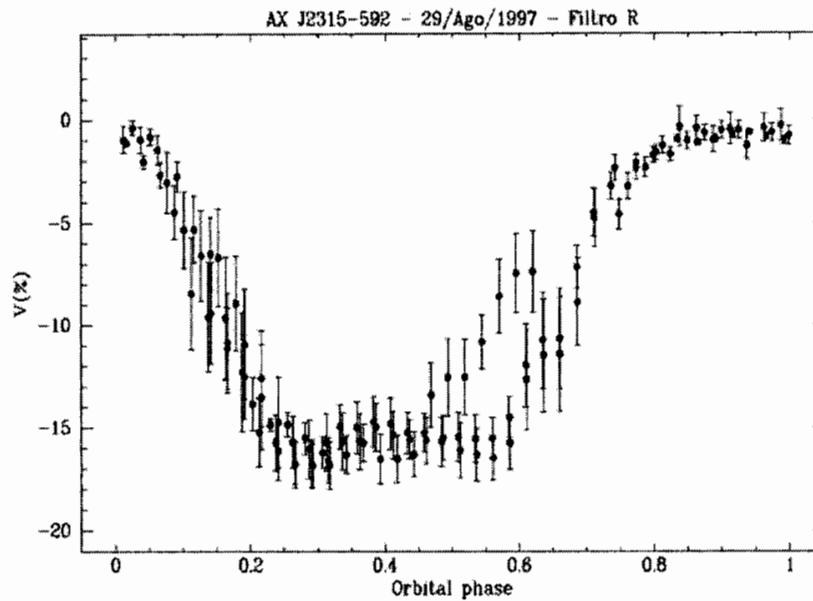


Figura 5: Curva de Polarização da AX J2315-592 em fase, no filtro Rc.

3.2.1 Novos Resultados

De acordo com o catálogo USNO B1.0, para o filtro Ic, o valor da magnitude da estrela B1.0 03008-0806694, que escolhemos para fazer a comparação, é de 13.57 magnitudes, em outros filtros são: 14.160(R1), 16.990(B2), 14.400(R2).

Somando-se a variação da magnitude da polar, fornecida pela nossa curva de luz (Fig.6) com o valor citado anteriormente obtemos uma estimativa da magnitude da polar. Analisando a curva de luz vemos que a polar apresenta um valor máximo para a magnitude em torno de 13.8 e um valor mínimo de 16.1, aproximadamente. Para o filtro Rc, escolhemos o valor, em magnitude, de 14.4 para representar o fluxo da estrela de comparação, usando esse valor foi possível obter a curva de luz da polar (Fig.7). Observando essa curva de luz vemos que a polar apresenta um fluxo máximo de, aproximadamente, 15 magnitudes e um fluxo mínimo em torno de 16.2 magnitudes. Fazendo uma comparação entre esses valores e os apresentados no catálogo USNO B1.0 para USNO B1.0 0308-0806698 (polar), que são: 18.720(R1), 19.120(B2), 19.080(R2), percebemos que há uma diferença considerável. O que evidencia que nossas observações foram realizadas com a polar passando por um estado de mais intenso brilho do que na época das observações registradas no USNO B1.0. A época média em que foram realizadas as observações, cujos dados se encontram no USNO, foi em 1986.3. De acordo com este mesmo catálogo o movimento próprio da polar é $M_{ra} = 8 \pm 2$ mas/yr e $M_{dec} = -40 \pm 0$ mas/yr com 90% de chance desse movimento próprio estar correto.

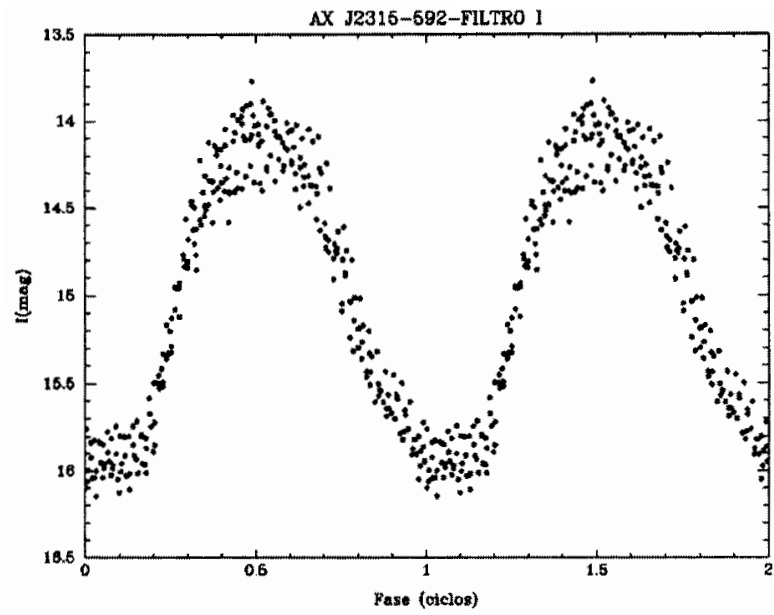


Figura 6: Curva de luz de AX J2315-592 em fase, no filtro Ic.

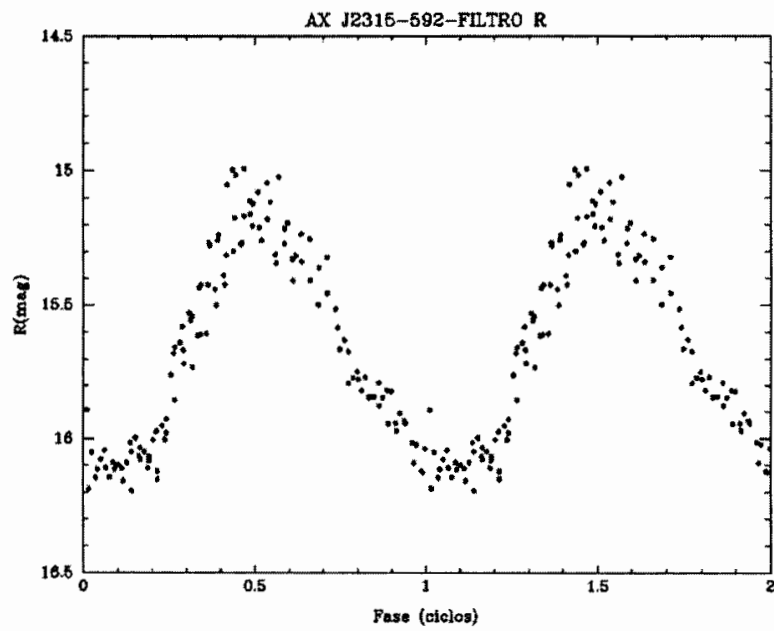


Figura 7: Curva de luz de AX J2315-592 em fase, no filtro Rc.

Podemos fazer uma comparação entre os nossos valores e os da literatura. A figura 4 de Thomas e Reinsch (1996) representa uma curva de luz no filtro I, onde o mínimo possui um valor de 16 magnitudes e o máximo, um valor de 14.35, essas observações ocorreram em novembro de 1995. Esta curva (Fig.8) apresenta um *flickering* no máximo de brilho, o que dificulta precisarmos o valor exato do brilho máximo, mas podemos dizer que ele se encontra entre 14.35 e 13.92 magnitudes. As observações cujos dados estão presentes neste trabalho foram realizadas em novembro de 1995. Ramsay et. al (1999) também fizeram observações fotométricas em novembro de 1995 e de acordo com as curvas de luz apresentadas em seu trabalho, o fluxo mínimo no filtro I da polar é de 16 magnitudes e o máximo é em torno de 14.1 (Fig.9). Todos esses resultados são coerentes com os nossos dados.

Fazendo a comparação, em relação ao filtro R, entre nossos valores e as curvas de luz representadas na figura 1 em Ramsay et. al (1999), vemos que o fluxo mínimo é de 16.5, aproximadamente, e o máximo apresenta o valor de 15 magnitudes (Fig.9), esses valores são bem próximos dos valores que obtivemos.

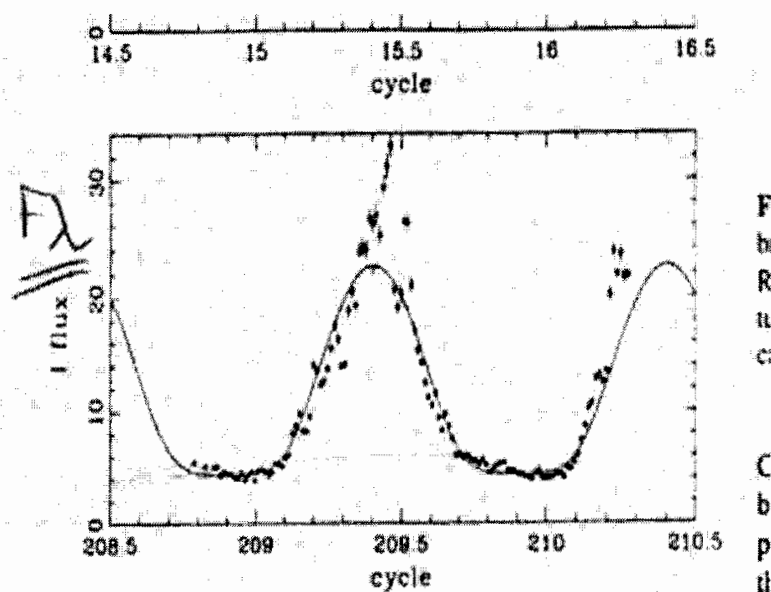


Figura 8: Variação do fluxo com a fase orbital, no filtro I, de AX J2315-592, Thomas e Reinsch (1996)

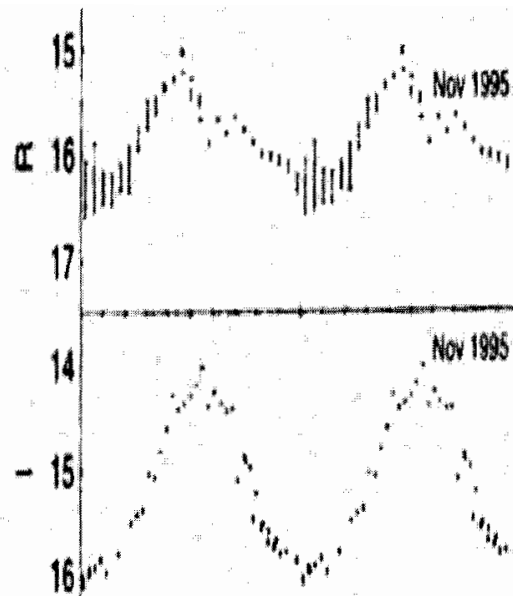


Figura 9: Variação do fluxo com a fase orbital, nos filtros I e R, de AX J2315-592 , Ramsay et. al (1999) .

3.3. Resultados para RX J1957.1-5738

As curvas de luz e de polarização no filtro Rc desse sistema estão representadas nas Figuras 10 e 11. A variação do fluxo é de 0.5 magnitudes, ver Fig.10. A polarização circular para este sistema apresenta um valor de até |14%| em algumas fases como mostra a Figura 11, o que a configura como uma polar. Este resultado para a polarização é inédito.

As figuras apresentadas foram produzidas usando um período de 0.129d (~ 3h), diferente do apresentado em Thomas et al. (1996). Este valor pareceu ser mais consistente com a variabilidade do sistema.

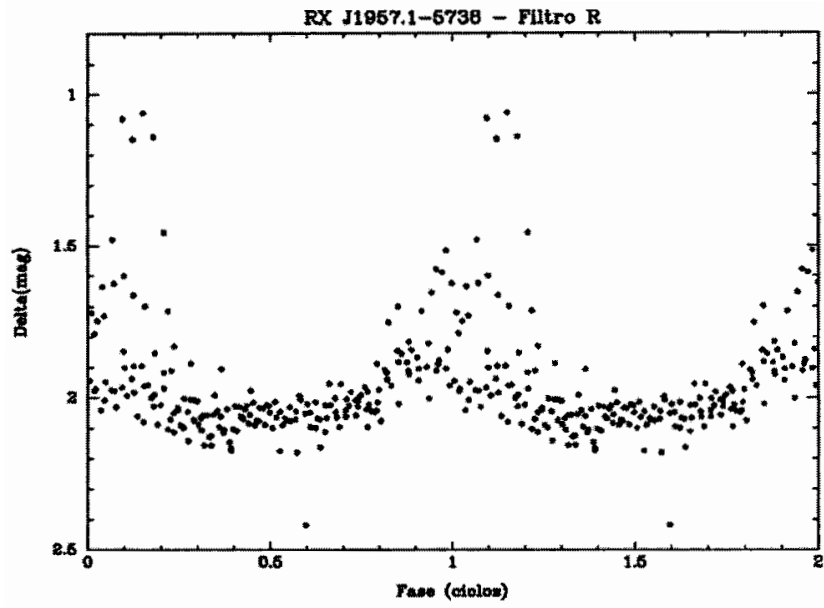


Figura 10: Curva de Luz da RX J1957.1-5738 em fase, no filtro Rc.

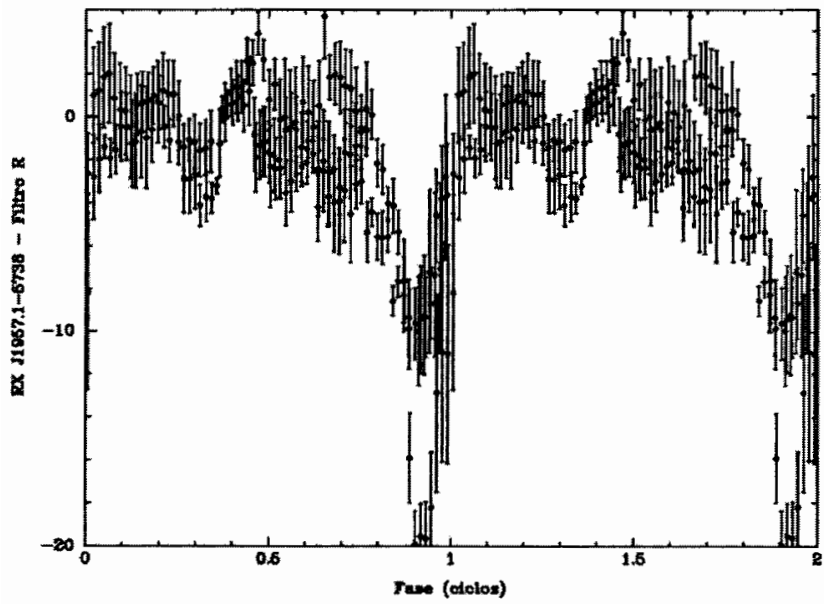


Figura 11: Curva de Polarização de RX J1957.1-5738 em fase, no filtro Rc.

3.3.1. Novos Resultados

O catálogo USNO B1.0 forneceu-nos um valor para o fluxo da estrela USNO B1.0 0323-1106036, usada como comparação na fotometria diferencial, de, aproximadamente, 16.9 no filtro R, os valores em outros filtros são: 16.760(R1), 18.500(B2), 17.120(R2), e 16.7670(I2). De acordo com a nossa curva de luz (Fig.12), o fluxo máximo da polar é de 17.9 magnitudes, o mínimo é, em torno, de 19.1 magnitudes. No catálogo USNO B1.0, o valor do fluxo da polar USNO B1.0 0323-1106041 é de 17.270 no filtro R, em outros filtros os valores são: 18.190(B2), 16.570(R2), e 18.630(I2). Assim, nossos dados foram obtidos em uma época em que o sistema encontrava-se em um baixo estado de brilho. A época média em que foi realizada estas observações foi em 1988.1, de acordo com o USNO B1.0, os dados referentes ao movimento próprio da polar são $Mra = -24 \pm 7$ mas/yr e $Mdec = -12 \pm 15$ mas/yr.

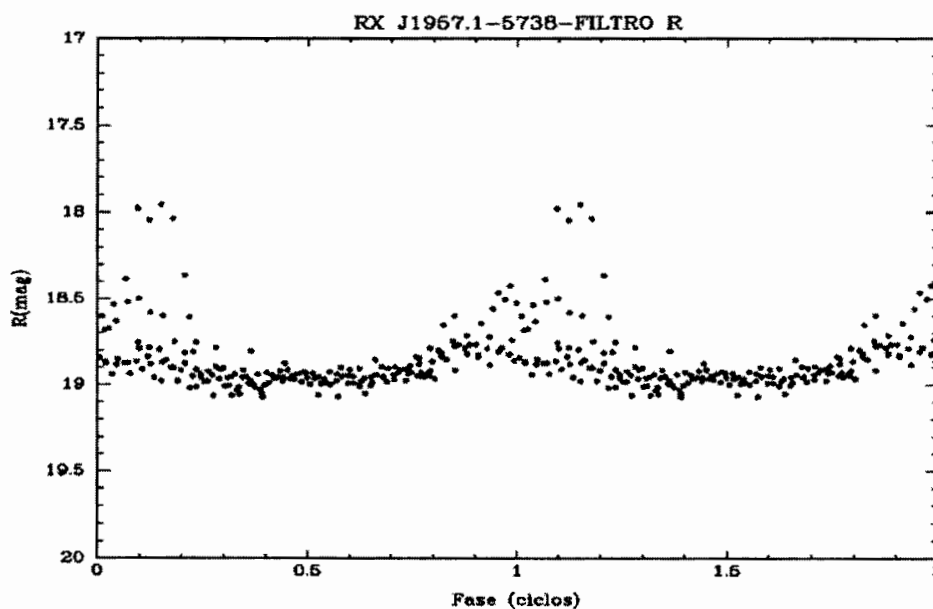


Figura 12: Curva de luz de RX J1957.1-5738 em fase, no filtro R_c.

Comparando os nossos resultados com os da literatura, vemos que existe uma diferença. De acordo com a figura 3 em Thomas et al. (1996) o fluxo máximo em R é, em torno, de 5.10^{-16} erg $\text{cm}^{-2} \text{S}^{-1}$, e o fluxo mínimo é de $1.5.10^{-16}$ erg $\text{cm}^{-2} \text{S}^{-1}$, aproximadamente, fazendo alguns cálculos para converter o fluxo em magnitudes, vemos que o fluxo máximo corresponde a 18.47

magnitudes e o mínimo corresponde a 19.77 magnitudes (Fig.13), esses dados foram coletados em 1992 e 1993 não havendo nenhuma mudança dos dados nesse intervalo de tempo. É possível que em agosto de 1997, período em que os nossos dados foram coletados, o objeto estivesse em um estado de brilho ligeiramente maior do que o apresentado acima.

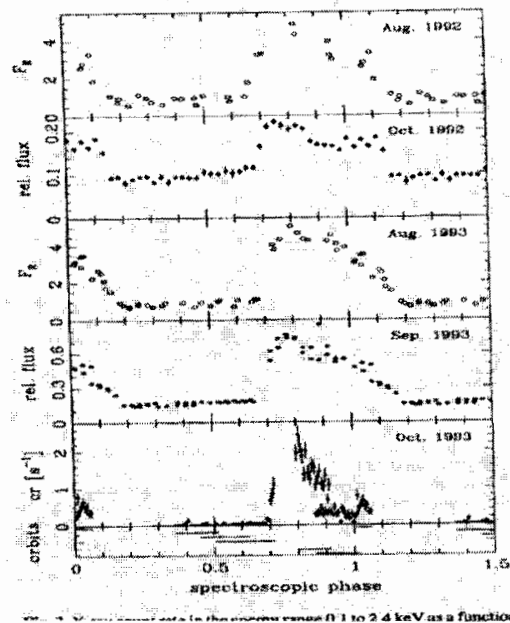


Figura 13: Variação do fluxo com a fase espectroscópica de RX J1957.1-5738, no filtro R, Thomas et al. (1996).

3.4. Participação em congresso

Este trabalho de pesquisa foi submetido e apresentado no XVI Congresso de Iniciação Científica da UNESP, ocorrido no período de 6 a 10 de Dezembro de 2004 em Ilha Solteira. Uma cópia do pôster, que foi apresentado no congresso, está anexada a este relatório.

4. Estudo dirigido

O estudo dirigido realizado paralelamente a este trabalho de pesquisa teve como objetivo auxiliar na compreensão dessa pesquisa, bem como o aprofundamento em astrofísica.

Foram estudados os capítulos 1, 2, 3, 8 e 9 do livro *Observational Astrophysics* (Smith 1995). O capítulo 1 trata das conversões de unidades de medida usuais para unidades astronômicas UA. Há sessões que falam dos efeitos das absorções na atmosfera terrestre, da interação entre a radiação, com um determinado comprimento de onda, e a atmosfera. Existe o método de *Bouguers* para calcular o fluxo de um objeto medido na superfície terrestre. O fluxo medido após a penetração da radiação na atmosfera depende do fluxo fora da atmosfera e do ângulo entre o zênite e a linha de visada. O efeito causado pela turbulência da massa de ar na atmosfera é conhecido como *seeing*, como consequência deste efeito, há uma variação da posição do objeto visto por um observado na superfície da Terra.

O capítulo 2 dá uma visão geral dos vários tipos de telescópios óticos, bem como da resolução angular que é a capacidade que o telescópio tem para resolver dois objetos distintos, separados espacialmente.

No capítulo 3 a ênfase é dada para os detectores óticos como a detecção fotoelétrica. Esses detectores são feitos de materiais que ao sofrerem colisões com fótons incidentes liberam elétrons, gerando corrente elétrica, este sinal é amplificado e convertido, através de um conversor analógico-digital, em um número binário que é reconhecido pelo computador.

O capítulo 8 dá uma idéia de como são realizados os cálculos de fluxos absolutos e aparentes, bem como a relação entre essa grandeza e a distância do objeto que está sendo observado.

No capítulo 9 é feita uma classificação dos tipos de sistemas binários e suas principais características, é possível obter relações que envolve o período, massa e a distância entre as duas estrelas de um sistema binário fazendo uso das leis de Newton.

Foi estudado, também, o capítulo 2 do livro *Cataclysmic Variable Stars* (Hellier 2001), que fala sobre o ciclo orbital de um sistema binário do tipo variável cataclísmica.

Uma introdução sobre polarimetria em astronomia foi realizada ao estudar o capítulo 1 do livro *Astronomical Polarimetry* (Timbergen 1996).

Do livro *Observational Astronomy* (Birney 1991), foi estudado o capítulo 7, que trata de sistema de magnitude.

5. Atividades Futuras

Pretendemos continuar analisando os dados ao longo desses dois últimos meses do nosso projeto para tentar corrigir o período orbital da polar RX J1957.1-5738.

6.Referências

- Birney, D.S., 1991, *Observational Astronomy*, Cambridge University Press
- Hellier, C., 2001, *Cataclysmic Variable Stars*, Springer
- Magalhães A.M., Rodrigues C.V., Margoniner V.E., Pereyra A., Heathcote S., 1996, High Precision CCD Imaging Polarimetry. In: Roberge W. G., Whittet D.C.B. (eds.) *Polarimetry of the Interstellar Medium*. Astronomical Society of Pacific, San Francisco, p.118
- Prof. Kepler S.O.F., Profa. Marisa F.O.S., 1999, *Fundamentos de Astronomia e Astrofísica*, Universidade Federal do Rio Grande do Sul
- Misaki. et al., 1995, *IAU Circ*, 6260
- Ramsay G., Potter S.B., Buckley D.A.H., Wheatley J.P., 1999, *MNRAS*, 306, 809
- Smith R.C., 1995, *Observational Astrophysics*, Cambridge University Press
- Timbergen, J., 1996, *Astronomical Polarimetry*, Cambridge University Press
- Thomas H.C., Beuermann K., Schwöpe A.D., Burwitz V., 1996, *A&A*, 313, 833
- Thomas H.C., Reinsch K., 1995, *IAU Circ.*, 6261
- Thomas H.C., Reinsch K., 1996, *A&A*, 315, L1