



Ministério da
Ciência e Tecnologia



sid.inpe.br/mtc-m19/2011/02.11.17.32-TDI

CANDIDATOS A VARIÁVEIS CATACLÍSMICAS MAGNÉTICAS COM POLARIZAÇÃO BAIXA

Rafael Reis Amorim

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Astrofísica, orientada
pela Dra. Cláudia Vilega Rodrigues, aprovada em 28 de fevereiro de 2011

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/396D95P>>

INPE
São José dos Campos
2011

PUBLICADO POR :

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Gabinete do Diretor (GB)

Serviço de Informação e Documentação (SID)

Caixa Postal 515 - CEP 12.245-970

São José dos Campos - SP - Brasil

Tel.:(012) 3208-6923/6921

Fax: (012) 3208-6919

E-mail: pubtc@sid.inpe.br

CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO DA PRODUÇÃO INTELLECTUAL DO INPE (RE/DIR-204):

Presidente:

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação Observação da Terra (OBT)

Membros:

Dr^a Inez Staciarini Batista - Coordenação Ciências Espaciais e Atmosféricas (CEA)

Dr^a Maria do Carmo de Andrade Nono - Conselho de Pós-Graduação

Dr^a Regina Célia dos Santos Alvalá - Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CST)

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Dr. Ralf Gielow - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPT)

Dr. Wilson Yamaguti - Coordenação Engenharia e Tecnologia Espacial (ETE)

Dr. Horácio Hideki Yanasse - Centro de Tecnologias Especiais (CTE)

BIBLIOTECA DIGITAL:

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação de Observação da Terra (OBT)

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Yolanda Ribeiro da Silva Souza - Serviço de Informação e Documentação (SID)

EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:

Vivéca Sant'Ana Lemos - Serviço de Informação e Documentação (SID)



Ministério da
Ciência e Tecnologia



sid.inpe.br/mtc-m19/2011/02.11.17.32-TDI

CANDIDATOS A VARIÁVEIS CATACLÍSMICAS MAGNÉTICAS COM POLARIZAÇÃO BAIXA

Rafael Reis Amorim

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Astrofísica, orientada
pela Dra. Cláudia Vilega Rodrigues, aprovada em 28 de fevereiro de 2011

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/396D95P>>

INPE
São José dos Campos
2011

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Amorim, Rafael Reis.

Am68c Candidatos a variáveis cataclísmicas magnéticas com polarização baixa / Rafael Reis Amorim. – São José dos Campos : INPE, 2011.

xx+100 p. ; (sid.inpe.br/mtc-m19/2011/02.11.17.32-TDI)

Dissertação (Mestrado em Astrofísica) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2011.

Orientadora : Dra. Cláudia Vilega Rodrigues.

1. Estrelas binárias. 2. Variáveis cataclísmicas. 3. Variáveis cataclísmicas magnéticas. 4. Polarimetria. 5. Fotometria. I. Título.

CDU 520.85

Copyright © 2011 do MCT/INPE. Nenhuma parte desta publicação pode ser reproduzida, armazenada em um sistema de recuperação, ou transmitida sob qualquer forma ou por qualquer meio, eletrônico, mecânico, fotográfico, reprográfico, de microfilmagem ou outros, sem a permissão escrita do INPE, com exceção de qualquer material fornecido especificamente com o propósito de ser entrado e executado num sistema computacional, para o uso exclusivo do leitor da obra.

Copyright © 2011 by MCT/INPE. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, microfilming, or otherwise, without written permission from INPE, with the exception of any material supplied specifically for the purpose of being entered and executed on a computer system, for exclusive use of the reader of the work.

Aprovado (a) pela Banca Examinadora
em cumprimento ao requisito exigido para
obtenção do Título de Mestre em
Astrofísica

Dr. Francisco José Jablonski



Presidente / INPE / SJC Campos - SP

Dr. Odylio Denys de Aguiar



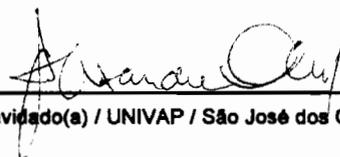
Membro da Banca / INPE / SJC Campos - SP

Dra. Cláudia Vilega Rodrigues



Orientador(a) / INPE / SJC Campos - SP

Dr. Alexandre Soares de Oliveira



Convidado(a) / UNIVAP / São José dos Campos - SP

Aluno (a): Rafael Reis Amorim

São José dos Campos, 28 de fevereiro de 2011

*A minha avó Josefa, um exemplo de superação e fonte de
inspiração. A meus pais Raimunda e Geixo, meus irmãos
Paul, Ronaldo e Paulo Roberto, pelo carinho, apoio e
incentivo. A minha amada Karine pela motivação, amor,
carinho, companheirismo e dedicação.*

AGRADECIMENTOS

A meus pais Geizo e Raimunda, meus irmãos Raul, Ronado e Paulo Roberto, a minha avó Josefa, a meus tios Maria e João e a toda minha família pelo incentivo e apoio nos momentos difíceis.

À Karine pelo amor, carinho e companheirismo dedicados nesses últimos anos.

À Dra. Cláudia Vilega Rodrigues pela dedicação, paciência, apoio e incentivo durante todas as etapas deste trabalho.

À Dra. Maria Jaqueline Vasconcelos pelo apoio durante a graduação e por me incentivar a fazer o mestrado.

Aos pesquisadores da Divisão de Astrofísica, sempre dispostos a ajudar.

Aos colegas da Divisão de Astrofísica pelo incentivo e colaboração neste trabalho, em especial à Ms. Karleyne Gomes Medeiros da Silva e Ms. Leonardo Andrade de Almeida pelos conselhos e sugestões.

Aos amigos que torceram pelo meu sucesso.

À CAPES pelo apoio financeiro.

Ao LNA pelo tempo disponibilizado nos telescópio do OPD para observações.

Aos membros da banca por terem aceito o convite de ler e avaliar este trabalho.

A todos que participaram direta ou indiretamente deste trabalho.

RESUMO

Variáveis cataclísmicas (VCs) são sistemas binários cerrados, compostos por uma anã branca e uma anã vermelha, com transferência de matéria da secundária para o objeto compacto. As VCs onde o campo magnético na superfície da anã branca é muito intenso, $B \gtrsim 1MG$, são classificadas como VCs magnéticas. Nesse caso, pelo menos na região mais próxima à anã branca, o fluxo de matéria segue as linhas de campo magnético, formando uma estrutura chamada de coluna de acréscimo. As VCs magnéticas são divididas entre polares e polares intermediárias de acordo com a intensidade do campo e consequente geometria da estrutura de acréscimo. Especificamente, as polares não possuem disco de acréscimo e as intermediárias podem possuir um disco nas regiões mais afastadas da anã branca. A coluna de acréscimo emite em raios X e no óptico. A emissão ciclotrônica é dominante no óptico e é responsável pela polarização linear e circular apresentada por esses sistemas. Nosso grupo tem colhido de forma sistemática dados polarimétricos de candidatos a VCs magnéticas com o telescópio Perkin-Elmer, de 1,6m, do Observatório do Pico dos Dias, com o objetivo de detectar a emissão (ciclotrônica) da coluna de acréscimo. Utilizamos a gaveta polarimétrica, composta por uma lâmina retardadora, um analisador e uma roda de filtros para realização das observações. Nesta dissertação apresentamos os resultados da redução e análise de dados de seis (6) objetos dessa amostra: 1RXS J035410.4-165244, 1RXS J042555.8-194534, 1RXS J050146.2-035927, 1RXS J100734.4-201731, FIRST J102347.6+003841 e 1RXS J155412.7+272143. Desses, dois objetos mostraram polarização circular baixa, mas variável e diferente de zero, confirmando a presença de acréscimo magnético. São eles: 1RXS J050146.2-035927 e 1RXS J155412.7+272143. Os demais objetos não apresentam evidência de emissão ciclotrônica nas bandas observadas. Uma breve discussão dos fatores que levam aos valores baixos ou nulos de polarização é apresentada para cada objeto.

CANDIDATES FOR MAGNETIC CATAclySMIC VARIABLES HAVING SMALL VALUES OF POLARIZATION

ABSTRACT

Cataclysmic variables (CVs) are close binary systems, formed by a white dwarf and a red dwarf, presenting transfer of matter from the secondary to the compact object. Magnetic CVs (mCVs) are those systems in which the magnetic field in the surface of the white dwarf is very strong, $B \gtrsim 1MG$. In these systems, at same point of the mass flow from the secondary, the ionized material follows the magnetic lines forming a structure called *accretion column*. The mCVs are subdivided into two classes: *polars* and *intermediate polars*. The *polars* do not present an accretion disk, while the *intermediate polars* may present a disk far from the white dwarf. The *accretion column* is a X-ray and optical source. The cyclotron radiation is dominant in the optical region and is responsible by the linear and circular polarization observed in these systems. Our group has systematically collected polarimetric data of candidates for magnetic CVs using the Perkin-Elmer telescope of the Observatório do Pico dos Dias. Our objective is to detect the cyclotron emission of the *accretion column*. For that, we use a polarimeter composed of a retarder, an analyzer and a filter wheel. This dissertation presents the polarimetry of six objects: 1RXS J035410.4-165244, 1RXS J042555.8-194534, 1RXS J050146.2-035927, 1RXS J100734.4-201731, FIRST J102347.6+003841 and 1RXS J155412.7+272143. Two objects show small values of polarization, but variable and non consistent with zero. Hence, all of them present magnetic accretion. They are: 1RXS J050146.2-035927 and 1RXS J155412.7+272143. The remaining objects do not present measurable values of circular polarization within our errors. We discuss the reasons of the small circular polarizations in those systems.

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
2.1 Concepção artística de uma variável cataclísmica não-magnética	7
2.2 Corte bidimensional da geometria de Roche no plano da órbita para um sistema binário com razão de massa $q = 0,25$	9
2.3 Representação esquemática da geometria de VCs magnéticas e não-magnéticas	11
2.4 Ilustração da geometria de transferência de matéria em uma polar	14
2.5 Fotometria da polar FL Cet. No painel (a) temos o conjunto de curvas de luz do sistema enquanto no painel (b) temos uma descrição detalhada da entrada e saída dos oito eclipses apresentados nos gráficos do painel (a)	16
2.6 Modelo teórico de espectro de uma VC magnética no estado de alto brilho, $\dot{M} = 5 \times 10^{16} g/s$. Onde a anã branca e a anã vermelha tem massas iguais a $0,7M_{\odot}$ e $0,3M_{\odot}$, respectivamente.	17
2.7 Modelo teórico de espectro de uma VC magnética no estado de baixo brilho, $\dot{M} = 5 \times 10^{15} g/s$. Onde a anã branca e a anã vermelha tem massas iguais a $0,7M_{\odot}$ e $0,3M_{\odot}$, respectivamente.	18
2.8 Espectro do fluxo (abaixo) e do fluxo polarizado (acima) do sistema SDSS J1059+2727	20
2.9 Espectro da emissão ciclotrônica, onde Φ é o fluxo e Z é o número do harmônico, dado por: $Z = \frac{\omega}{\omega_c}$. Para baixas frequências alguns <i>humps</i> são discerníveis no espectro (harmônicos 1, 2 3 e 4) enquanto para altas frequências o espectro torna-se suave devido à superposição dos harmônicos.	22
2.10 Variação da intensidade e da polarização em função de θ . A linha sólida representa a intensidade, a linha tracejada-pontilhada descreve o comportamento da polarização circular enquanto a linha tracejada representa a polarização linear. Quando a linha de visada é $\theta \approx 90^{\circ}$ o fluxo é máximo e a polarização circular é mínima, observe o quadro (g) por exemplo. w/w_c representa o valor da frequência com relação à frequência ciclotrônica. S/S_o representa o comprimento físico da região em relação a um valor de referência. A profundidade óptica da região é proporcional a S/S_o	24

3.1	Média das 100 imagens de <i>bias</i> utilizadas na redução do sistema 1RXS J050146.2-035927.	29
3.2	Média das imagens de <i>flat</i> utilizada na redução do sistema 1RXS J050146.2-035927 na banda R.	30
3.3	Localização do objeto de programa, da estrela de referência e da estrela de comparação, denominada arbitrariamente, em cada campo estudado.	36
3.4	Curvas de luz e curvas de polarização do sistema 1RXS J035410.4-165244 no filtro I_c . Os painéis (a), (b) e (c) representam, respectivamente, as curvas obtidas para cada uma das noites da missão.	37
3.5	As curvas de luz são apresentadas no quadro superior, enquanto nos demais quadros são apresentadas as curvas polarimétricas do sistema 1RXS J042555.8-194534. O painéis (a) e (b) representam, respectivamente, os dados observados nos filtros R_c e I_c	38
3.6	Curvas de luz e curvas de polarização do sistema 1RXS J050146.2-035927 no filtro R_c	39
3.7	As curvas de luz são apresentadas no quadro superior, enquanto nos demais quadros são apresentadas as curvas polarimétricas do sistema 1RXS J100734.4-201731. No painel (a), observamos a presença de pontos nas cores vermelho e verde que representam, respectivamente, dados da primeira e segunda noites da missão, ambas observadas com o filtro R_c , enquanto o painel (b) representa os dados do último dia da missão, observados no filtro I_c	40
3.8	Curvas de luz e curvas de polarização do sistema FIRST J102347.6+003841 no filtro R_c . Observamos a presença de pontos nas cores vermelho, verde e azul que representam, respectivamente, dados da primeira, segunda e terceira noites da missão, todas observadas com a lâmina retardadora $\lambda/4$, enquanto os pontos pretos representam os dados do último dia da missão, observados com a lâmina $\lambda/2$	41
3.9	As curvas de luz são apresentadas no quadro superior, enquanto nos demais quadros são apresentadas as curvas polarimétricas do sistema 1RXS J155412.7+272143. No painel (a), observamos a presença de pontos nas cores vermelho, azul e verde que representam, respectivamente, dados da primeira, segunda e terceira noites da missão, ambas observadas com o filtro R_c , enquanto o painel (b) representa os dados do último dia da missão, observados no filtro I_c	42
4.1	Espectro óptico da binária 1RXS J035410.4-165244	46

4.2	Diagrama de fase para um dos picos no espectro de potência, para um período de 46 min (THORSTENSEN et al., 2006).	48
4.3	Periodograma do sistema 1RXS J035410.4-165244 no filtro I_c	49
4.4	Curvas de luz e curvas de polarização do sistema 1RXS J035410.4-165244 no filtro I_c . As curvas vermelhas, azuis e verdes representam, respectivamente, dados das noites de 21, 22 e 29 de novembro de 2006.	50
4.5	Espectro óptico do sistema 1RXS J042555.8-194534	51
4.6	Diagramas de fase na banda V do sistema 1RXS J042555.8-194534	52
4.7	Nossas curvas de luz e de polarização do sistema 1RXS J042555.8-194534 nos filtros R_c e I_c representadas, respectivamente, pelas curvas em vermelho e azul.	54
4.8	Curvas de luz do sistema 1RXS J050146.2-035927 no óptico e em raios-X	56
4.9	Espectro óptico da polar 1RXS J050146.2-035927	57
4.10	Curvas de luz e curvas de polarização do sistema 1RXS J050146.2-035927 no filtro R_c	58
4.11	Espectro da polar 1RXS J100734.4-201731	60
4.12	A curva formada por pontos circulares descrevem o espectro, em raio X, da polar 1RXS J100734.4-201731(RX J1007-20). A curva onde cada ponto é representado por uma cruz é o espectro do sistema RX J1002-19, enquanto a curva onde cada ponto é representado por um X representa o espectro do sistema EV UMA.	61
4.13	Curva de luz, em raio X, da polar 1RXS J100734.4-201731	62
4.14	Curvas de luz e curvas de polarização do sistema 1RXS J100734.4-201731 nos filtros R_c e I_c representadas, respectivamente, pelas curvas em vermelho e azul.	63
4.15	Espectro óptico de FIRST J102347.6+003841 obtido em maio de 2000	66
4.16	Espectro óptico de FIRST J102347.6+003841	67
4.17	Curvas de luz e curvas de polarização do sistema FISRT J102347.6+003841 no filtro R_c	68
4.18	Espectros da binária 1RXS J155412.7+272143. No painel superior o espectro obtido com dados de maio de 2001, enquanto no painel inferior o espectro foi obtido com dados de março de 2001.	70

4.19	As linhas sólidas finas representam os espectros no estado de alto e baixo brilho do sistema 1RXS J155412.7+272143. A linha pontilhada descreve o espectro teórico da secundária do sistema. As linhas tracejada e tracejada-pontilhada representam, respectivamente, os espectros teóricos de absorção e emissão da radiação ciclotrônica. A linha sólida grossa descreve o contínuo do sistema, obtido através de um ajuste dos fits de ambos os estados de brilho do sistema.	71
4.20	Espectro ciclotron da binária 1RXS J155412.7+272143, onde observamos a presença de um harmônico ciclotrônico, centrado em $\lambda \approx 4950 \text{ \AA}$	72
4.21	Curvas de luz e curvas de polarização do sistema 1RXS J155412.7+272143 nos filtros R_c e I_c representadas, respectivamente, pelas curvas em vermelho e azul.	74
A.1	Formas de polarização	92
B.1	Curva de luz do campo do sistema 1RXS J035410.4-165244	96
B.2	Curva de luz do campo do sistema 1RXS J042555.8-194534	97
B.3	Curva de luz do campo do sistema 1RXS J050146.2-035937	98
B.4	Curva de luz do campo do sistema 1RXS J100734.4-201731	99
B.5	Curva de luz do campo do sistema FIRST J102347.6+003841	100
B.6	Curva de luz do campo do sistema 1RXS J155412.7+272143	101
B.7	Curva de luz do campo do sistema 1RXS J100734.4-201731, cuja estrela de referência apresenta <i>vignetting</i>	102
B.8	Curvas polarimétricas de uma estrela não variável presente no campo do sistema 1RXS J035410.4-165244.	103
B.9	Curvas polarimétricas de uma estrela não variável presente no campo do sistema 1RXS J042555.8-194534.	104
B.10	Curvas polarimétricas de uma estrela não variável presente no campo do sistema 1RXS J050146.2-035927.	105
B.11	Curvas polarimétricas de uma estrela não variável presente no campo do sistema 1RXS J100734.4-201731.	106
B.12	Curvas polarimétricas de uma estrela não variável presente no campo do sistema FIRST J102347.6+003841.	107
B.13	Curvas polarimétricas de uma estrela não variável presente no campo do sistema 1RXS J155412.7+272143.	108

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
2.1 Exemplos de LARPs e suas características	19
3.1 Informações técnicas dos CCDs WI101 e WI106	26
3.2 Descrição dos dados observacionais dos candidatos a polares	28
3.3 Valores instrumentais e de referência dos ângulos de polarização das estrelas padrões observadas	34
3.4 Valores para conversão do angulo de polarização instrumental para o sistema equatorial	35
4.1 Objetos estudados	43
4.2 Características dos sistemas estudados	44
4.3 Valores médios da fotometria e polarimetria do sistema 1RXS J035410.4-165244 e de uma estrela de campo de magnitude similar.	47
4.4 Valores médios da fotometria e polarimetria do sistema 1RXS J042555.8-194534 e de uma estrela de campo de magnitude similar.	53
4.5 Valores médios da fotometria e polarimetria do sistema 1RXS J050146.2-035927 e de uma estrela de campo de magnitude similar.	55
4.6 Valores médios da fotometria e polarimetria do sistema 1RXS J100734.4-201731 e de uma estrela de campo de magnitude similar.	60
4.7 Valores médios da fotometria e polarimetria do sistema FIRST J102347.6+003841 e de uma estrela de campo de magnitude similar.	67
4.8 Valores médios da fotometria e polarimetria do sistema 1RXS J155412.7+272143 e de uma estrela de campo de magnitude similar.	73

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1 Variáveis Cataclísmicas	5
2.1.1 As componentes do sistema	6
2.1.2 Geometria do sistema	6
2.1.3 Classificação	9
2.1.3.1 Variáveis cataclísmicas não-magnéticas	10
2.1.3.2 Variáveis cataclísmicas magnéticas	12
2.2 Polares	14
2.2.1 Coluna de acréscimo	19
2.2.2 Emissão ciclotrônica	21
3 OBSERVAÇÕES E REDUÇÃO DE DADOS	25
3.1 Observações	25
3.2 Redução de dados	26
4 DISCUSSÃO	43
4.1 1RXS J035410.4-165244	45
4.2 1RXS J042555.8-194534	51
4.3 1RXS J050146.2-035927	55
4.4 1RXS J100734.4-201731	59
4.5 FIRST J102347.6+003841	65
4.6 1RXS J155412.7+272143	66
5 CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS	75
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	79
APÊNDICE A - POLARIZAÇÃO	91
APÊNDICE B - CURVAS DE LUZ E DE POLARIZAÇÃO DOS CAMPOS ESTUDADOS	95

1 INTRODUÇÃO

As VCs magnéticas são sistemas binários cerrados, formados por uma anã branca magnética e uma estrela da sequência principal, que interagem gravitacionalmente. A proximidade entre as componentes do sistema gera uma transferência de matéria da estrela companheira para a anã branca. A intensidade do campo magnético superficial da anã branca influencia diretamente no processo de transferência de material. Em sistemas onde o campo magnético é muito intenso, chamados de *polares*, o material ionizado segue as linhas do campo magnético, enquanto sistemas onde o campo magnético é moderadamente alto constituem as *polares intermediárias* onde observa-se a formação de um disco truncado em suas regiões mais internas.

Nas VCs magnéticas, as regiões mais brilhantes são originadas devido ao acréscimo de matéria. Essas regiões, que ficam próximas aos pólos magnéticos da anã branca, dominam o processo de emissão em raios X e no óptico do sistema. Uma das características mais importantes dos sistemas magnéticos é a sua polarização, mais elevada em polares que em polares intermediárias. Essa polarização é uma assinatura da presença de acréscimo magnético. A emissão ciclotrônica (oriunda do acréscimo de matéria) é dominante no óptico, sendo a fonte da luz polarizada do sistema. As polares são os objetos com polarizações altas, com valores da ordem de 10% ou mesmo maiores - vide, por exemplo, o trabalho de revisão de [Cropper \(1990\)](#). As polares intermediárias possuem polarização menores, da ordem de 1-2% ou menor ([BUTTERS et al., 2009](#)).

Nos últimos anos, levantamentos nos domínios raios X (e.g., *Röntgensatellit* - ROSAT), óptico (e.g., *Sloan Digital Sky Survey* - SDSS) e mesmo em rádio proporcionaram um aumento significativo do número de sistemas binários compactos, com características semelhantes a VCs magnéticas. Esses sistemas apresentam: (i) alta emissão em raios X, no contexto estelar menores apenas que as binárias de raios X; (ii) contínuo óptico que cresce para o azul; e (iii) espectro dominado por linhas de emissão, em particular com o decremento de Balmer invertido e a linha HeII ($\lambda 4686\text{\AA}$) com fluxo comparável a $H\beta$.

Nosso grupo tem se dedicado ao estudo polarimétrico de alguns destes candidatos a VCs magnéticas. Para isso são realizadas observações foto-polarimétricas com o telescópio de 1,6 m do Observatório Pico dos Dias (OPD), do Laboratório Nacional de Astrofísica. Esses dados permitem medir o grau de polarização linear e circular

desses objetos, bem como obter a curva de luz do sistema. Isso nos permite confirmar o acréscimo via linhas de campo magnético e também estudar as propriedades físicas e geométricas de cada sistema. Alguns exemplos de objetos estudados pelo grupo são: FL Cet (SILVA, 2009), 1RXS J161008.0+035222 e 1RXS J231603.9-052713 (RODRIGUES et al., 2006).

Neste trabalho, propomos estudar seis objetos de nossa amostra de candidatos a variáveis cataclísmicas magnéticas: 1RX J035410.4-165244, 1RXS J042555.8-194534, 1RXS J050146.2-035927, 1RXS J100734.4-201731, First J102347.6+003841 e 1RXS J155412.7+272143. Em nosso trabalho, apresentamos a polarimetria de todos esses objetos obtida no OPD. Todos os objetos são variáveis fotometricamente e possuem valores baixos ou nulos de polarização. Apresentamos uma breve discussão das possíveis causas da baixa polarização. Uma comunicação prévia da polarimetria de alguns desses objetos foi apresentada por Rodrigues et al. (2005).

No Capítulo 2 apresentaremos uma revisão bibliográfica do tema da dissertação. No Capítulo 3, descrevemos as observações realizadas e os métodos de redução utilizados neste trabalho. No Capítulo 4, apresentamos os sistemas estudados, descrevendo suas principais características e o que já foi estudado em trabalhos anteriores juntamente com a nossa contribuição no estudo dos mesmos. Finalmente, no capítulo 5 apresentamos as nossas conclusões e perspectivas futuras.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

As estrelas sempre exerceram um fascínio sobre o homem. Inicialmente acreditava-se que existiam milhares delas espalhadas pelo céu, algumas mais brilhantes, acabaram sendo nomeadas pelo homem devido à sua importância para orientação de grandes navegações. Com a invenção do telescópio, que foi primeiramente utilizado por Galileu Galilei para observar o céu, esse “pequeno Universo” foi radicalmente ampliado. Atualmente sabe-se que somente a nossa galáxia, a Via Láctea, é formada por cerca de 200 bilhões de estrelas (UNIVERSIDADE DE BERKELEY, 2006), esse número de estrelas pode chegar a 400 bilhões (SEDS, 2007). Num universo tão rico, sistemas formados por duas estrelas que apresentam uma distância angular relativamente pequena entre si logo foram observados.

Alguns desses pares de estrelas estão distantes fisicamente, isto é, a distância espacial entre as componentes do sistema é grande o suficiente para que a interação gravitacional entre elas seja desprezível, esses sistemas são chamados de binárias aparentes ou estrelas duplas. As estrelas duplas estão localizadas a distâncias diferentes da Terra, sua aparente proximidade é atribuída a uma “ilusão de óptica”, uma vez que observamos a projeção das duas no plano celeste.

Quando, além de estarem próximas angularmente no céu, duas estrelas estiverem próximas espacialmente teremos um sistema binário verdadeiro ou estrelas binárias. O primeiro a usar o termo estrela binária foi o astrônomo inglês William Herschel que, em 1804, descobriu que a estrela Castor, também conhecida como α Geminorum, é um sistema binário verdadeiro no qual existe interação gravitacional, entre as estrelas que o constituem. Hoje acredita-se que cerca de 50% das estrelas existentes pertencem a sistemas compostos por 2 ou mais estrelas. A Estrela Castor, que Herschel acreditava se tratar de um sistema binário, na verdade é um sistema triplo cujas componentes são: Castor A, Castor B e Castor C.

Alguns sistemas binários, muito raros, podem apresentar uma distância entre as componentes suficientemente pequena, de forma que exista a transferência de matéria de uma das componentes para a outra. Nesses casos uma fração importante do brilho do sistema pode ter sua origem gravitacional no processo de transferência de matéria que libera uma grande quantidade de energia na forma de radiação eletromagnética. Sistemas binários compostos por uma anã branca e uma anã vermelha, que apresentam essas características, constituem uma estrela binária chamada de

Variável Cataclísmica (VC).

Já na antiguidade, observando a olho nu, era possível identificar algumas estrelas que apresentavam um aumento repentino no brilho. Esses objetos foram então classificados como estrelas variáveis.

Na idade média, o astrônomo Tycho Brahe observou, na constelação de Cassiopéia, a estrela variável hoje conhecida como SN 1572, esse objeto foi batizado por Tycho Brahe de *stella nova* (estrela nova), sendo o primeiro objeto a ser chamado de estrela variável. Em seguida, em 1604 Johannes Kepler observou um objeto semelhante ao observado por Tycho Brahe, a SN 1604. Logo surgiram outros objetos classificados como estrela variável. A estrela Algol (β Persei) que apresentava uma redução periódica de cerca de 2 magnitudes em seu fluxo foi a primeira a ser incluída, seguida da estrela CK Vul, descoberta em 1670 na constelação de Vulpecula (essa foi a primeira estrela variável descoberta que, de acordo com o conceito atual, seria uma nova). Posteriormente outros objetos foram classificados como estrelas variáveis, Pogson (1856) apresenta um catálogo com 53 estrelas variáveis até aquela data. No mesmo ano, um novo tipo de objeto variável foi encontrado por Hind (1856) e confirmado por Pogson (1857), chamado de U Geminorum, esse objeto irradiava luz azul, diferente das demais estrelas variáveis conhecidas da época, que apresentam luz vermelha. Esse objeto foi classificado como uma nova anã, e todos os sistemas descobertos posteriormente com características semelhantes se enquadraram nessa classificação. As novas e as novas anãs foram os primeiros sistemas chamados de variáveis cataclísmicas. Posteriormente, objetos que apresentam variações não eruptivas também foram incluídas nessa classe.

Somente em 1926, o termo supernova foi introduzido pelo astrofísico suíço Fritz Zwicky. Hoje sabemos que SN 1572 e SN 1604, observadas por Tycho Brahe e Kepler, respectivamente, eram supernovas. O critério utilizado para distinguir as estrelas variáveis em novas ou supernovas era a intensidade da variação de brilho, isto é, a amplitude da erupção. Assim os objetos que apresentavam um brilho maior foram chamados de supernovas enquanto os que apresentavam um aumento menor foram chamados de novas ou novas anãs, a depender de suas características.

Hoje sabemos que o que os astrônomos do passado identificavam como objetos de uma mesma classe (supernovas e novas) são, na verdade sistemas muito distintos cuja variação de brilho observada tem origem em princípios físicos distintos. Enquanto

na supernova o aumento de brilho é gerado pelo colapso irreversível que provoca a explosão de uma estrela culminando na morte da mesma, a erupção em uma nova é causada pela fusão nuclear do material acumulado na superfície da anã branca.

Na seção 2.1 apresentaremos uma introdução às variáveis cataclísmicas e às componentes do sistema e sua classificação. Em seguida, na seção 2.2, vamos abordar com mais detalhe a subclasse das polares, pertencentes às variáveis cataclísmicas magnéticas, citando os mecanismos de emissão presentes nesses sistemas, com ênfase na emissão ciclotrônica que possibilita o uso da polarimetria no estudo dos mesmos.

Uma revisão bibliográfica detalhada sobre VCs pode ser encontrada em Warner (1995) e Hellier (2001), enquanto uma revisão detalhada sobre polares é encontrada em Cropper (1990).

2.1 Variáveis Cataclísmicas

Como definimos anteriormente, as VCs são sistemas binários, compostos de uma anã branca (chamada primária) e uma estrela anã vermelha (a secundária) que apresentam distância orbital pequena, aproximadamente do diâmetro da estrela maior. As estrelas estão suficientemente próximas de forma que a anã vermelha transfira matéria para a anã branca. As VCs apresentam período orbital curto, variando aproximadamente entre 1,3 a 12 horas, bem como uma considerável variabilidade na emissão do sistema, causada pelo fluxo de matéria que pode provocar fenômenos como: novas, *flickering*, oscilações, *humps*, *dips* e erupções.

A terceira lei de Kepler permite expressar o período orbital do sistema (P_{orb}) como função de a e M :

$$P_{orb}^2 = \frac{4\pi^2 a^3}{GM}, \quad (2.1)$$

onde a é a distância entre as componentes e M é a massa total do sistema, isto é, $M = M_1 + M_2$, sendo M_1 e M_2 , respectivamente, as massas da primária e da secundária.

2.1.1 As componentes do sistema

A **anã branca** é uma estrela degenerada muito densa que apresenta temperatura de superfície da ordem de 10000 a 60000K, raio em torno de 10^4 km e massa variando de 0,3 a 1,3 M_{\odot} .

Esses objetos são remanescentes de estrelas de até 10 M_{\odot} , que queimaram ao longo de sua vida hidrogênio e hélio. Durante o processo de fusão no núcleo, a progenitora da anã branca se encontra em equilíbrio termodinâmico. Entretanto, ao final da fusão do hélio, o núcleo começa a colapsar, tornando-se denso. O colapso gravitacional será contido pela pressão de degenerescência dos elétrons quando o núcleo da estrela apresentar uma massa inferior ao limite de Chandrasekhar, 1,4 M_{\odot} . Neste caso, as camadas externas, compostas de hidrogênio e hélio, serão expulsas e teremos como resultado apenas um núcleo denso composto por carbono e oxigênio, a anã branca. Como elas não conseguem realizar a fusão do carbono e do oxigênio em metais mais pesados seu destino é esfriar, liberando radiação eletromagnética. Estrelas cujo núcleo possui massa superior ao limite de Chandrasekhar formam uma supernova.

Quando uma anã branca encontra-se num sistema binário, em que há transferência de matéria (uma VC por exemplo), o material depositado na superfície da mesma pode se acumular atingindo uma densidade crítica que culmina na ocorrência da ignição do hidrogênio e do hélio, esse fenômeno gera um aumento repentino no brilho do sistema, e é chamado de Nova.

A **anã vermelha** é uma estrela da sequência principal menos massiva que o Sol ($0,075 M_{\odot} \leq M \leq 0,5 M_{\odot}$), do tipo G, K ou M, com temperatura superficial da ordem de 3000 K a 6000 K, raio de cerca de 0,15 R_{\odot} . Esta estrela ainda está realizando a fusão de hidrogênio em hélio no seu núcleo. As anãs vermelhas que compõe uma VC são ligeiramente mais luminosas que as encontradas em sistemas isolados, devido à proximidade da mesma à anã branca, que a aquece. A Figura 2.1 é uma ilustração de uma VC, onde destacamos suas componentes.

2.1.2 Geometria do sistema

Estrelas solitárias, sem rotação, são esféricas. Esse formato esférico é observado devido à ação da força gravitacional oriunda da mesma, que mantém os átomos de gás ionizado coesos em torno do centro de gravidade da estrela. De forma similar, estrelas binárias cuja distância entre si é muito maior que o tamanho de suas componentes

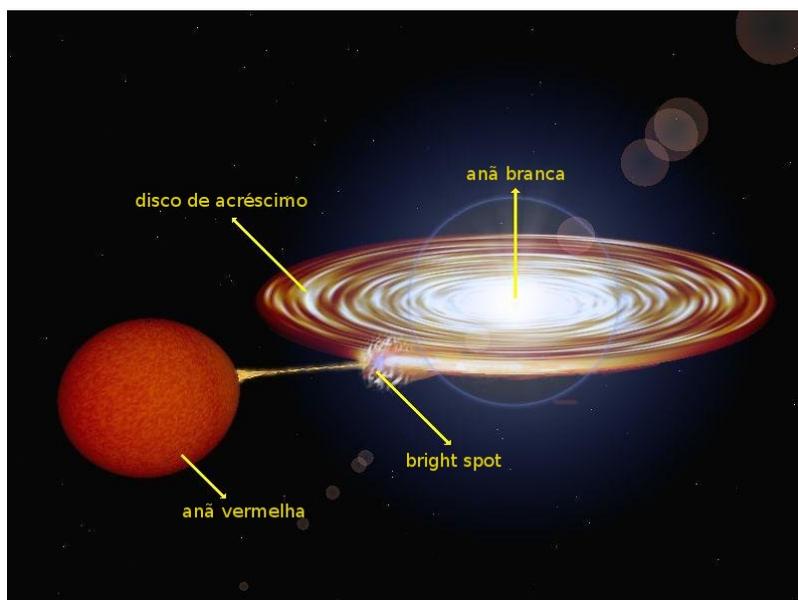


Figura 2.1 - Concepção artística de uma variável cataclísmica não-magnética
Fonte: Adaptada de Wikipèdia (2010b)

também são esféricas. Nesse caso, a interação gravitacional entre as componentes não é intensa o suficiente para alterar a geometria das estrelas. Entretanto, para sistemas binários onde a distância entre as componentes é aproximadamente da ordem do diâmetro de uma delas ou ligeiramente maior, como por exemplo em VCs, a interação gravitacional entre as estrelas passa a ser importante na determinação da geometria das mesmas. Essa interação gravitacional é descrita através da geometria de Roche, ilustrada na Figura 2.2.

No caso de uma VC a anã vermelha acaba sendo “deformada” pela gravidade da sua companheira, a qual “puxa” suas camadas mais externas enquanto a anã branca permanece esférica, uma vez que o campo da secundária não é intenso o suficiente para deformar uma estrela compacta como a primária.

Um conjunto de pontos associados que sofrem um mesmo potencial gravitacional formam uma superfície equipotencial. Na Figura 2.2, as superfícies numeradas de 1 a 9 representam algumas equipotenciais do campo gravitacional de um sistema binário qualquer, cuja dinâmica é descrita pela geometria de Roche. Para raios relativamente pequenos, muito menores que a distância entre estrelas, temos 2 superfícies equipotenciais esféricas (ambas representadas pelo número 1 na Figura 2.2), onde

uma envolve apenas a anã branca enquanto a anã vermelha é maior que a superfície 1. A superfície 3 (linha sólida na figura abaixo), que passa pelo ponto L_1 , define duas regiões chamadas de Lobos de Roche, em homenagem a Edouard Roche, matemático francês, quem primeiro estudou esse problema. A superfície 4 da Figura 2.2 é uma equipotencial não esféricas que contém ambas as estrelas, apresentando dimensão maior que a superfície 3. Quando tomamos distâncias suficientemente grandes, obtemos novamente equipotenciais esféricas, que englobam as duas estrelas (ver superfícies 8 e 9 na Figura 2.2). Essas superfícies esféricas são centradas no centro de massa do sistema binário.

Os pontos onde a força resultante sobre uma partícula teste de velocidade zero, no referencial do sistema em rotação, for nula são chamados de pontos de Lagrange. Na geometria de Roche são 5 pontos: L_1 , L_2 , L_3 , L_4 e L_5 .

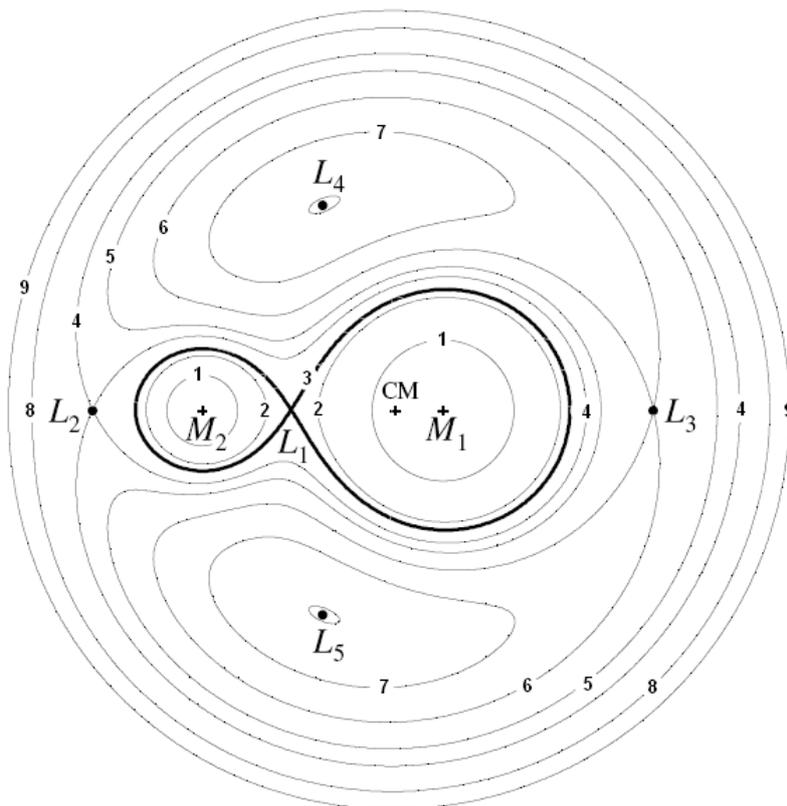


Figura 2.2 - Corte bidimensional da geometria de Roche no plano da órbita para um sistema binário com razão de massa $q = 0,25$.
 Fonte: Adaptada de Frank et al. (2002)

Os lobos de Roche não são esféricos, entretanto é possível obter o seu volume aproximado, para isso toma-se uma esfera com o mesmo volume do lobo de Roche. Eggleton (1983) estimou uma relação para o raio volumétrico do lobo de Roche da secundária:

$$R_{L_1} = \frac{0,49q^{2/3}}{0,6q^{2/3} + \ln 1 + q^{1/3}}, \quad (2.2)$$

onde a é a distância de separação das componentes do sistema e q é a razão de massa do sistema, dado por:

$$q = \frac{M_2}{M_1} \quad (2.3)$$

para $0 < q < \infty$, R_{L_1} é o raio de uma esfera de mesmo volume do Lobo de Roche e M_1 e M_2 são, respectivamente, as massas da primária e da secundária.

O lobo de Roche é uma região em torno da estrela onde a sua matéria é contida pela gravidade da própria estrela. Uma eventual expansão de uma das componentes além do lobo de Roche pode levar a perda de material para a companheira. Em uma VC, a secundária preenche o Lobo de Roche e perde matéria através de L_1 .

Numa VC, uma corrente de gás fluindo da anã vermelha para a anã branca é observada. A matéria é transferida para a superfície da anã branca através de diferentes geometrias, a depender da intensidade do campo magnético da primária.

2.1.3 Classificação

Nas VCs que apresentam um campo magnético elevado o mecanismo de transferência de matéria é diferente do apresentado em sistemas cujo campo magnético é mais baixo. No primeiro caso, a matéria segue as linhas de campo magnético, formando uma estrutura chamada de *coluna de acréscimo*, enquanto no segundo caso um disco ao redor da anã branca é formado, o chamado *disco de acréscimo*. Assim, de acordo com a intensidade do campo magnético superficial da primária, as VCs podem ser classificadas como: *VCs magnéticas* ou *VCs não-magnéticas*. Na Figura 2.3, apresentamos as duas estruturas de transferência de matéria observados em VCs, o disco de acréscimo (a) e a coluna de acréscimo (b).

A variação de brilho numa VC pode ter origem em uma erupção, chamada nova.

Esse fenômeno é observado tanto em sistemas magnéticos como em não magnéticos e ocorre devido ao fluxo de material da secundária para a primária. A matéria transferida é acumulada na superfície da anã branca e, ao atingir uma densidade crítica, acaba desencadeando uma fusão nuclear, que por sua vez gera um aumento no brilho do sistema. VCs que apresentaram ao longo de sua vida uma erupção são classificadas como novas clássicas, enquanto sistemas que apresentaram mais de uma erupção são chamadas de novas recorrentes.

As novas clássicas apresentam um aumento intenso de brilho, onde a magnitude do objeto cresce de 6 a 19 magnitudes. Quanto mais alta a amplitude da erupção, mais rápido é o decaimento da luminosidade. Ao final da erupção, observa-se, em geral, a ejeção de um envelope de matéria em alta velocidade, da ordem de 3000km/s .

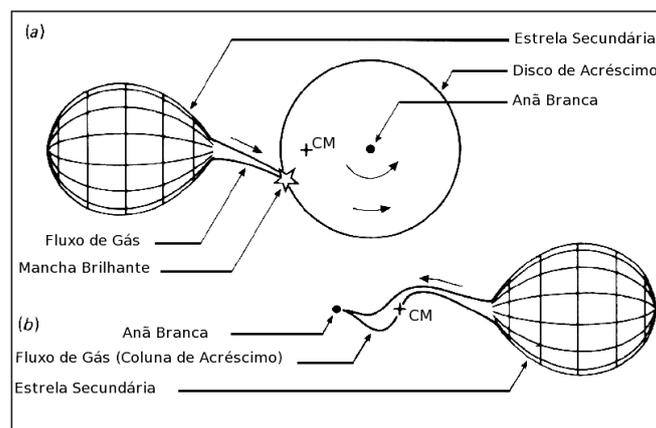


Figura 2.3 - Representação esquemática da geometria de VCs magnéticas e não-magnéticas

Fonte: Adaptada de Warner (1995)

2.1.3.1 Variáveis cataclísmicas não-magnéticas

São sistemas onde a anã branca apresenta um campo magnético fraco na superfície ($B \leq 0,5MG$). Nesses sistemas o fluxo de matéria forma um disco ao redor da anã branca. O disco constitui uma importante fonte de brilho do sistema no óptico, infravermelho e ultra-violeta. As partículas que compõem o disco apresentam velocidades keplerianas, dadas por:

$$v = \left(\frac{GM_1}{r}\right)^{\frac{1}{2}}, \quad (2.4)$$

assim, quanto menor o raio de órbita das partículas(r) maior sua velocidade (v). Na equação 2.4, G é a constante gravitacional e M_1 é a massa da anã branca.

A região onde a matéria em fluxo balístico une-se ao disco apresenta uma densidade maior, formando um caroço brilhante, o *bright spot*. Em alguns sistemas, essa mancha brilhante é responsável por uma parcela significativa na emissão do sistema no óptico e, em alguns sistemas, no infra-vermelho. Entretanto a parte mais brilhante do disco é a região mais interna, chamada de camada limítrofe (*boundary layer*), onde o disco é desacelerado até atingir a velocidade equatorial da primária. Outro fator que contribui para o alto brilho da *boundary layer* é a sua proximidade da anã branca, que a aquece. Nessa região observa-se emissão em raios X e no ultravioleta.

Nestes sistemas, o resfriamento se dá através da emissão do disco de acréscimo. O brilho do disco pode ser afetado por diversos fatores, tais como: um aumento na viscosidade do disco que provoca um aumento do fluxo de matéria no mesmo; uma variação no fluxo de matéria da secundária para a primária; o afastamento entre as componentes do sistema, que até mesmo cessar a transferência de matéria; etc.

Alguns sistemas não magnéticos apresentam erupções menores se comparadas as novas clássicas, onde o brilho do sistema varia entre 2 e 5 magnitudes, podendo atingir até 8 magnitudes. Estes sistemas foram classificados como novas anãs.

Nas novas anãs o intervalo entre erupções é de aproximadamente 10 dias até dezenas de anos, com escalas razoavelmente bem definidas para cada objeto. A duração de cada erupção é, geralmente, de 2 a 20 dias e sua amplitude está correlacionada com o intervalo entre erupções (relação de Kukarkin–Parenago). Estas erupções são entendidas como a liberação de energia gravitacional causada por uma elevação da viscosidade do disco que gera um aumento temporário na taxa de transferência de matéria do mesmo.

As VCs chamadas de *novalikes*(novóides) são constituídas de todas as variáveis cataclísmicas não eruptivas, incluindo as pré-novas e pós-novas, para as quais as observações não detectaram erupções, além das VCs do tipo VY Scl, que apresentam reduções ocasionais na luminosidade causadas por uma temporária queda na taxa

de transferência de matéria.

2.1.3.2 Variáveis cataclísmicas magnéticas

São sistemas onde o campo magnético superficial da primária é intenso, de 0,5 MG a 200 MG. Essas VCs são subdivididas em polares ou sistemas AM Her e polares intermediárias ou sistemas DQ Her, essa classificação é feita baseando-se na geometria do fluxo de acréscimo apresentada, que é diretamente influenciada pelo campo magnético (CROPPER, 1990; WARNER, 1995).

O volume no qual esse campo magnético intenso afeta a dinâmica do material em fluxo define a magnetosfera. Qualquer partícula ionizada que penetrar nessa região terá sua trajetória alterada, passando a seguir as linhas de campo em direção à superfície da anã branca. Nessa região a pressão magnética é muito maior que a pressão RAM (pressão exercida sobre um corpo que se desloca num meio líquido ou gasoso) das partículas em fluxo.

Para um campo dipolar, o raio da magnetosfera r_{mag} , também conhecido como raio de Alfvén, é dado por (HELLIER, 2001):

$$r_{mag} = \left(\frac{A^2 \mu^4}{8GM_{ab} \mu_o^2 \dot{M}^2} \right)^{1/11} \quad (2.5)$$

onde μ é o momento de dipolo magnético, μ_o é a permeabilidade magnética no vácuo, G é a constante gravitacional, A é a área da seção de cruzamento, M_{ab} é a massa da anã branca e \dot{M} é a taxa de transferência de matéria da secundária para a primária.

No caso dos sistemas DQ Her, o disco formado é consumido em suas órbitas mais internas, isso ocorre em (HELLIER, 2001):

$$r_{mag} \approx 0,5 \left(\frac{\mu^4}{8GM_{ab} \mu_o^2 \dot{M}^2} \right)^{1/7} \quad (2.6)$$

O período orbital mais comumente observado para sistemas magnéticos varia entre 80 min e algumas horas (TOVMASSIAM et al., 2001). As VCs magnéticas constituem cerca de 10 - 20 % das VCs catalogadas (SCARINGI et al., 2010). Num sistema magnético, o gás sofre um choque próximo à base da coluna na superfície da estrela

primária.

Como dissemos anteriormente, as VCs magnéticas são subdivididas em polares e polares intermediárias. Abaixo apresentamos as principais características destas sub-classes.

- **Polares**

Polares são VCs onde a primária apresenta um campo magnético superficial tão intenso, de 11 a 200 MG, que a matéria em trajetória balística acaba sendo capturada diretamente pelas linhas de campo, inibindo a formação do disco de acreção. As partículas confinadas na coluna de acreção seguem as linhas de campo até a superfície da anã branca. Na Figura 2.4 apresentamos uma ilustração do processo de acreção em polares.

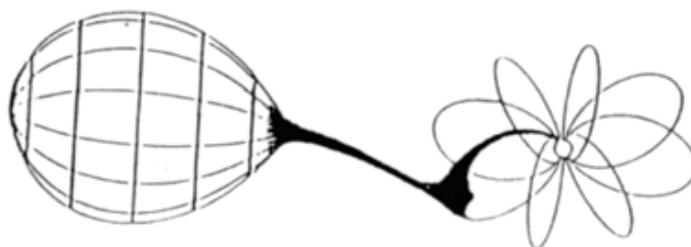


Figura 2.4 - Ilustração da geometria de transferência de matéria em uma polar
Fonte: Cropper (1990)

As regiões mais brilhantes, nesses sistemas, têm dimensões pequenas, muito menores que as da anã branca, e estão localizadas próximas aos pólos magnéticos. As polares apresentam emissão no infravermelho, óptico, ultravioleta e raios X, apresentando um alto grau de polarização linear e circular. Para uma VC ser classificada como polar ela deve apresentar ainda um sincronismo de rotação da primária com o sistema, isto é, a velocidade de rotação da anã branca deve ser igual ao período orbital. Entretanto, fenômenos como a erupção de uma nova podem fazer com que uma polar saia temporariamente do sincronismo de rotação. Na Seção 2.2 faremos uma abordagem detalhada acerca das polares.

- **Polares Intermediárias**

As polares intermediárias, também chamadas de sistemas do tipo DQ Her, são VCs que apresentam um campo magnético, na superfície da anã branca, variando entre 0,5MG a 10MG. Nestes sistemas o campo magnético não é intenso o suficiente para inibir a formação do disco de acreção. O raio da magnetosfera desses sistemas é menor, interferindo apenas na região mais interna do disco onde as partículas ionizadas são capturadas, formando uma coluna de acreção que conduz o material até a superfície da anã branca, próxima aos pólos da mesma.

Esses sistemas não apresentam um sincronismo de rotação entre seus componentes, isto é, a velocidade angular do movimento de rotação da anã branca é diferente da velocidade orbital do sistema.

2.2 Polares

O protótipo das polares, *AM Her*, foi classificada inicialmente como um novóide. Essa estrela apresentava variações em seu brilho, da ordem de 3 magnitudes, além de apresentar linhas de emissão no espectro. Estudos posteriores mostraram que *AM Her* era uma fonte de raios X (HEARN et al., 1976; BERG; DUTHIE, 1977). Em 1976, Tapia revelou que *AM Her* apresentava um grau elevado de polarização linear, variando de 0% a 7% (TAPIA; IN, 1976) e, no ano seguinte, ele próprio descobriu que *AM Her* também apresentava polarização circular alta, oscilando de -9% à +3% (TAPIA, 1977a). Um grau de polarização circular tão elevado era observado, na época, somente em anãs brancas magnéticas, assim foi sugerida a presença de um campo magnético intenso. No mesmo ano, outros objetos com essas características foram encontrados como: *AN UMa* (KRZEMINSKI; SERKOWSKI, 1977b), *VV Puppis* (TAPIA, 1977b) e *EF Eri* (HEARN et al., 1979). Os primeiros a denominar esses objetos como polares foram Krzeminski e Serkowski (1977a), que deram esse nome devido à radiação cíclotron, fonte da luz polarizada, ter origem próxima aos pólos da anã branca.

O número de polares identificadas tem crescido nas últimas décadas, devido a levantamentos em raios X e no óptico. Até 1995 existiam 42 polares confirmadas (WARNER, 1995). Atualmente existem cerca de 1600 VCs catalogadas, das quais 80 são polares (DOWNES et al., 2005). Cerca de 25% das VCs são magnéticas (e.g. ZHANG et al., 2009). Em contraste, anãs brancas magnéticas isoladas constituem somente 2% da população de anãs brancas e seus campos magnéticos variam de

$1 \leq B \leq 1000MG$ (e.g. WICKRAMASINGHE; FERRARIO, 2000).

A curva de luz de uma polar pode apresentar variações orbitais de até 2 magnitudes. O brilho da anã branca e da anã vermelha comparado ao brilho da coluna é desprezível na maioria dos sistemas então, geralmente, vemos apenas os “pés” do campo magnético.

Como qualquer binária, uma polar pode ser classificada como eclipsante, entretanto esta classificação está intimamente ligada à posição do observador. Sistemas AM Her, por não apresentarem disco de acréscimo, devem ter uma queda brusca no brilho durante o eclipse, um exemplo é mostrado na Figura 2.5. Em sistemas não magnéticos a redução no brilho durante o eclipse é mais suave.

A partir da curva de luz do sistema é possível obter informação acerca da dimensão espacial do objeto eclipsado, o tempo de duração do eclipse e informação a respeito do estado energético do sistema, isto é, se ele está no estado de alto ou baixo brilho.

Uma das formas de se identificar candidatos a polares é a partir da análise do espectro óptico. O espectro de sistemas AM Her apresenta características peculiares, tais como: decremento de Balmer invertido, linhas de emissão do $HeII$ ($\lambda 4686\text{\AA}$) bem destacadas, comparáveis à linha H_β da série de Balmer. O espectro pode apresentar ainda linhas de absorção com efeito Zeeman oriundas da fotosfera da anã branca, se o sistema estiver no estado de baixo brilho. Um exemplo de espectro de sistemas do tipo AM Her é mostrado na Figura 2.6. Deve-se dizer também que elas podem ser encontradas via sua emissão em raios X.

A taxa de matéria (\dot{M}) que flui da secundária para a anã branca em geral não é constante, em média, um sistema AM Her apresenta $\dot{M} \approx 10^{-10}M_\odot/ano$ (WARNER, 1995). Quanto maior \dot{M} maior será o brilho do sistema e, desta forma, ele está num estado de alto brilho. Nesse caso o objeto tende a aumentar sua emissão ciclotrônica que por sua vez gera um aumento no grau de polarização linear e circular do mesmo. Por outro lado, quando \dot{M} diminui, o brilho do sistema também diminui. Nesse caso ele está num estado de baixo brilho, e observa-se uma redução na polarização do mesmo. No regime de baixo brilho tem-se $\dot{M} \approx 10^{-12}M_\odot/ano$. Wu e Kiss (2008) mostraram que o sistema AM Her apresenta alteração do estado de alto brilho para o de baixo brilho, entretanto essa mudança não obedece uma escala de tempo preferencial, sendo um fenômeno não periódico cuja duração é imprevisível, segundo

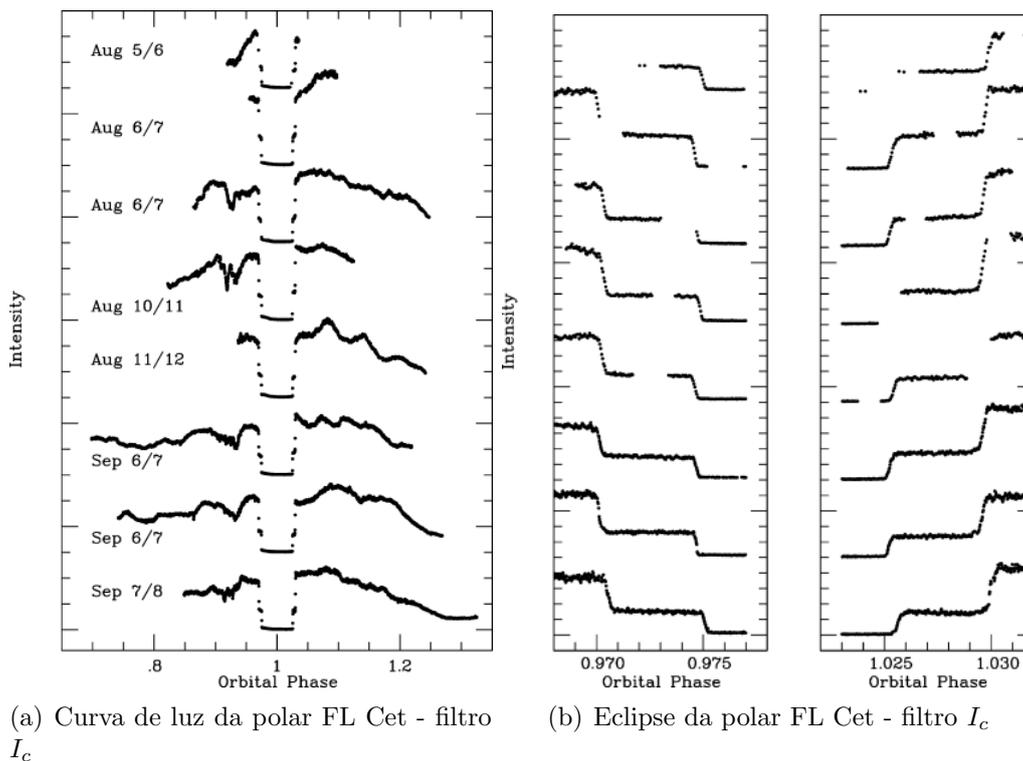


Figura 2.5 - Fotometria da polar FL Cet. No painel (a) temos o conjunto de curvas de luz do sistema enquanto no painel (b) temos uma descrição detalhada da entrada e saída dos oito eclipses apresentados nos gráficos do painel (a)

Fonte: Adaptada de O'Donoghue et al. (2006)

eles em 63% do seu ciclo de vida o sistema AM Her esteve até então no estado de alto brilho. Essa fração não é única entre as polares, podendo variar de sistema para sistema.

As VCs magnéticas que apresentam uma taxa de transferência de matéria extremamente baixa ($\dot{M} \approx 10^{-13}$ a $10^{-14} M_{\odot}/ano$) são chamadas de *Low Accretion Rate Polars* (LARPs) (SCHWOPE et al., 2002b). Uma característica que diferencia polares normais em baixo estado de LARPs é a temperatura da anã branca que é mais baixa nas LARPs, $T_{ab} \leq 10^4 K$ (SCHMIDT et al., 2005b; SCHMIDT et al., 2007; VOGEL et al., 2007; SCHWOPE et al., 2009), que nas polares normais, $T_{ab} \approx 1,1 \times 10^4 - 1,4 \times 10^4 K$ (ARAUJO-BETANCOR et al., 2005).

A baixa taxa de transferência de matéria implica numa baixa luminosidade de acréscimo (LINNELL et al., 2010), assim espera-se que a emissão ciclotrônica nas

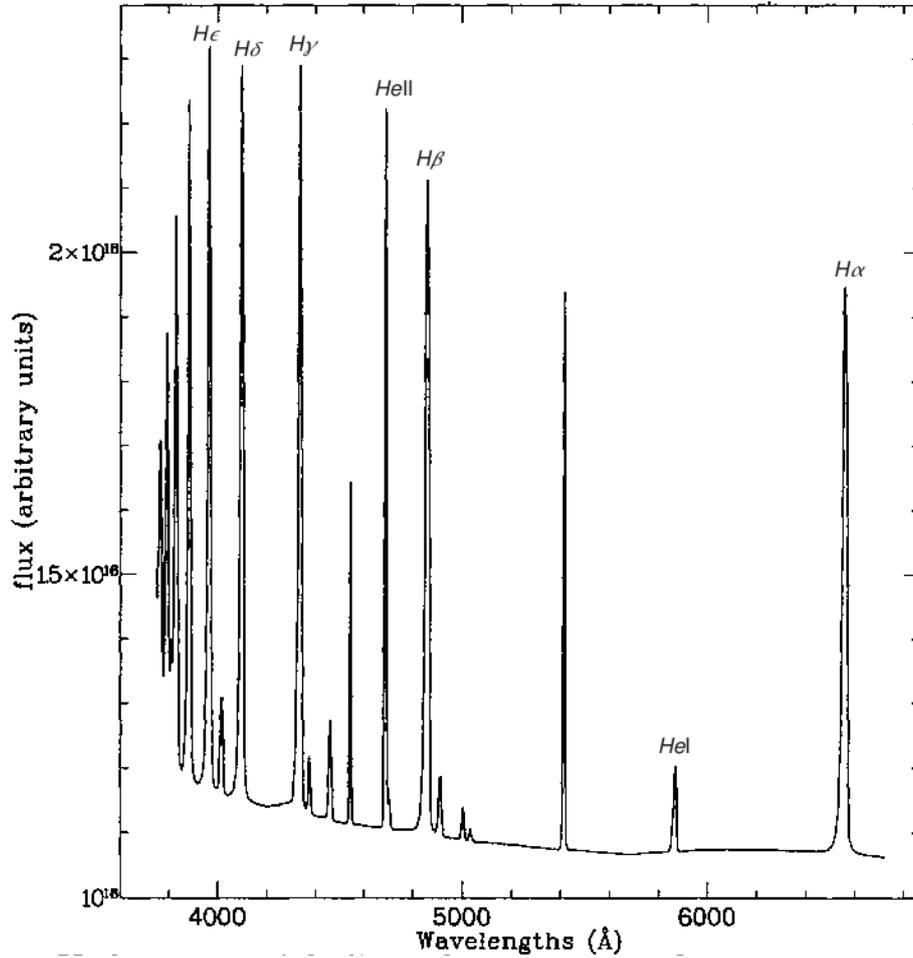


Figura 2.6 - Modelo teórico de espectro de uma VC magnética no estado de alto brilho, $\dot{M} = 5 \times 10^{16} g/s$. Onde a anã branca e a anã vermelha tem massas iguais a $0,7M_{\odot}$ e $0,3M_{\odot}$, respectivamente.
 Fonte: Adaptada de Ferrario e Wehrse (1999)

LARPs seja menor que a observada em polares normais, resultando em baixos valores de polarização. As LARPs tem magnitude absoluta $V \approx 12,5$ e um campo magnético de cerca de 17 MG (VOGEL et al., 2007). Os sistemas WX LMi, SDSS J103100.5+202832.2 (S1031), SDSS J121209.31+013627.7 (S1212) e SDSS J105905.07+272755.5 (S1059) são exemplos de LARPs, na Tabela 2.1 suas principais características são apresentadas.

A polarização circular de alguns destes objetos foi obtida por Schmidt et al. (2005a) e Schmidt et al. (2007). As curvas polarimétricas obtidas mostram um domínio no azul, decrescendo para o vermelho onde a polarização é muito baixa. Na Figura 2.8

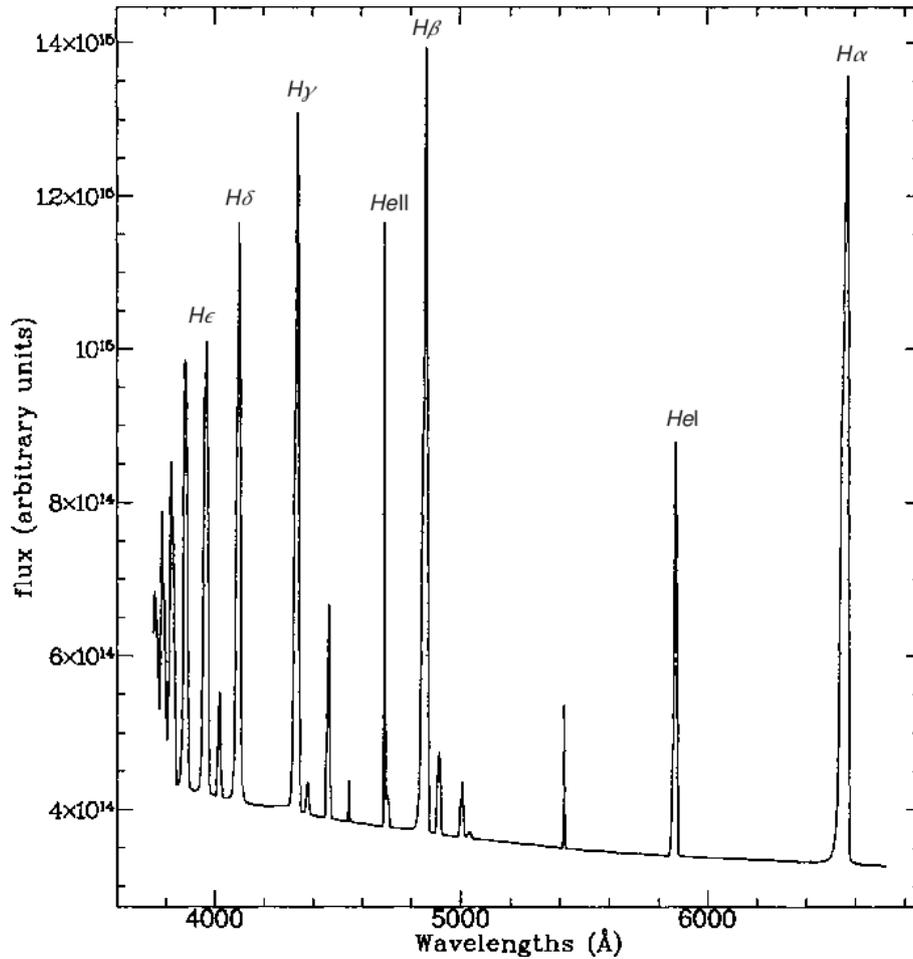


Figura 2.7 - Modelo teórico de espectro de uma VC magnética no estado de baixo brilho, $\dot{M} = 5 \times 10^{15} g/s$. Onde a anã branca e a anã vermelha tem massas iguais a $0,7M_{\odot}$ e $0,3M_{\odot}$, respectivamente.

Fonte: Adaptada de Ferrario e Wehrse (1999)

apresentamos o espectro da polarização (painel superior) e o espectro óptico (painel inferior) obtidos para o sistema S1059.

2.2.1 Coluna de acréscimo

Como já dissemos, a coluna de acréscimo é a estrutura de transferência de matéria encontrada em sistemas do tipo AM Her. Nessa estrutura o plasma é capturado pelo campo magnético da primária, ele deixa o plano orbital e cai no poço de potencial da anã branca. A matéria capturada pelo campo magnético não é homogênea, assim de acordo com a densidade as partículas tendem a ser capturadas preferencialmente

Tabela 2.1 - Exemplos de LARPs e suas características

Parâmetros	WX LMi	S1031	S1212	S1059
$P_{orb}(h)$	2,78	1,37	1,47	≥ 3
$T_{anã\ branca}$	$\leq 8000K$	9000K	9500K	$9500 \mp 1500K$
$B(MG)$	61,7	42	7	42
$\dot{M}(10^{-13}M_{\odot}/ano)$	1,5	1,5-3	1	1,5-4

Fonte: Linnell et al. (2010), Schmidt et al. (2007)

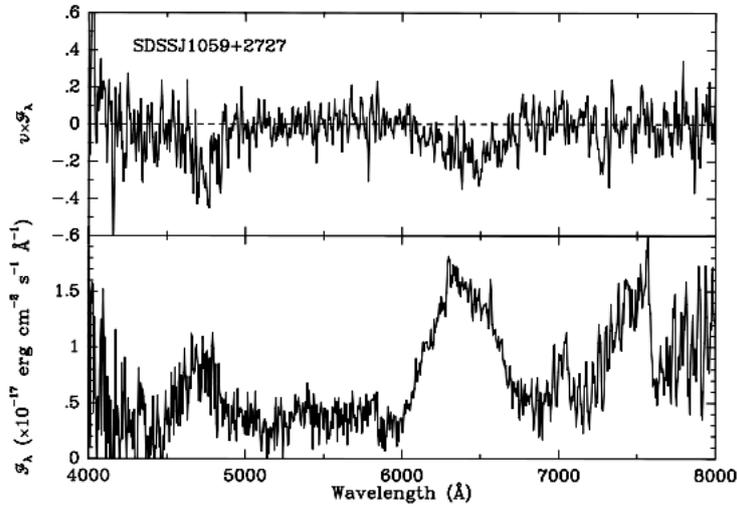


Figura 2.8 - Espectro do fluxo (abaixo) e do fluxo polarizado (acima) do sistema SDSS J1059+2727

Fonte: Schmidt et al. (2007)

por uma dada linha de campo. Essas estruturas dariam origem as regiões emissoras no óptico e em raios X, que se localizam em pontos diferentes da coluna.

O material supersônico, oriundo da secundária, precisa ter sua velocidade reduzida à valores subsônicos antes de ser depositado na superfície da primária. Assim, o plasma deve passar por uma camada de transição responsável por uma alteração de densidade, temperatura e velocidade das partículas, sofrendo um *choque* onde o fator de compressão é máximo. Essa camada divide a coluna em duas regiões: a região pré-choque e a região pós-choque. O modelo mais simples que descreve o choque é o chamado modelo padrão, que supõe uma região de dimensões muito pequenas (ver

WU, 2000). Assim, deixamos de lado os fenômenos ocorridos durante o choque, nos concentrando nas características da matéria antes e após o choque.

Na região pré-choque, o plasma apresenta velocidades supersônicas, densidade baixa e temperatura baixa, enquanto que na região pós-choque o plasma apresenta velocidades subsônicas além de densidade e temperatura mais elevadas.

A região pós-choque é a parte mais brilhante do sistema devido a alta densidade da mesma se comparada a outras regiões da coluna de acréscimo, A temperatura dessa região é da ordem de ≈ 10 keV (WICKRAMASINGHE; FERRARIO, 2000). Nessa região, a temperatura diminui a medida que a partícula se aproxima da superfície da primária. Quando a energia cinética das partículas é transformada em radiação eletromagnética observa-se um intenso resfriamento gerado a partir de dois mecanismos de emissão: a emissão ciclotrônica e a emissão *bremstrahlung* térmica.

A emissão *bremstrahlung* térmica é responsável pela liberação de raios X duros, dos quais cerca de 50% são dirigidos para a anã branca, sendo reprocessados na forma de raios X moles e radiação no ultravioleta. A região pós-choque também emite de forma significativa no óptico e no infravermelho através da radiação ciclotrônica.

2.2.2 Emissão ciclotrônica

A radiação ciclotrônica é gerada por elétrons livres que, devido à presença de um intenso campo magnético na região pós-choque, se movem ao longo das linhas de campo descrevendo uma trajetória espiral. Essa radiação pode apresentar um grau de polarização elevado.

A força magnética (\vec{F}_B) exercida sobre os elétrons em movimento é:

$$\vec{F}_B = \frac{e(\vec{B} \times \vec{v})}{c}, \quad (2.7)$$

onde \vec{B} é o campo magnético, \vec{v} é a velocidade do elétron, e é a carga do elétron e c é a velocidade da luz no vácuo.

O movimento dos elétrons neste caso pode ser decomposto em dois movimentos mais simples: um movimento retilíneo com velocidade constante e paralela ao campo magnético (\vec{v}_{\parallel}), e um movimento circular com velocidade perpendicular ao campo magnético (\vec{v}_{\perp}).

Partículas com $\vec{v} \ll c$ emitem somente na frequência fundamental, também conhecida como frequência de Larmor, que no caso da emissão ciclotrônica de e^- não-relativísticos é dada por:

$$\nu_c = \frac{\omega_c}{2\pi} = \frac{eB}{2\pi m_e c}, \quad (2.8)$$

onde B é o campo magnético em Gauss.

Nas polares a distribuição de velocidades das partículas, na coluna de acréscimo, é semi-relativística, portanto, a emissão se dá em um conjunto de harmônicos da frequência fundamental. A diferença de velocidade dos elétrons gera um deslocamento e um alargamento destes harmônicos, o que pode produzir *humps* no espectro da radiação ciclotrônica, observados para baixas temperaturas (ver Figura 2.9). A medida em que a temperatura aumenta um contínuo decrescente é dominante no espectro, nessas frequências os *humps* geralmente não são identificados no espectro (ver Figura 2.9).

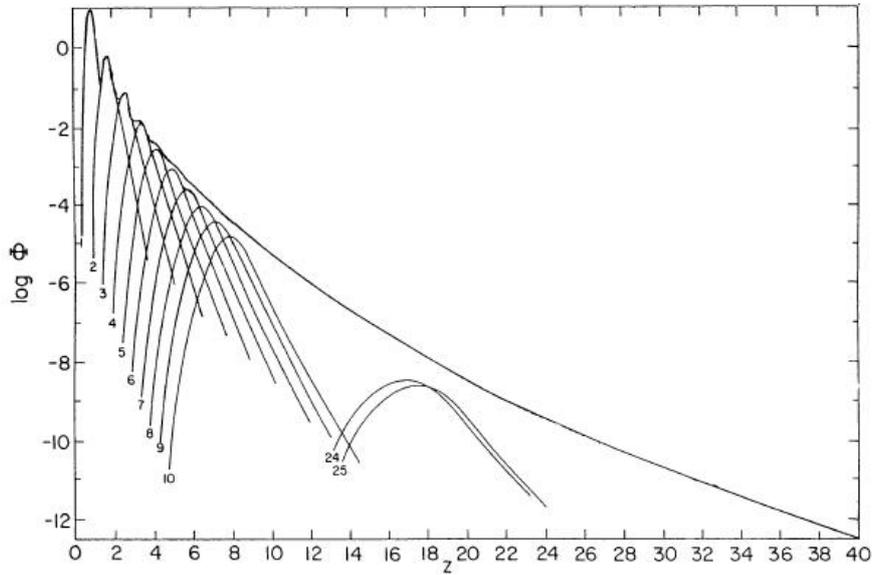


Figura 2.9 - Espectro da emissão ciclotrônica, onde Φ é o fluxo e Z é o número do harmônico, dado por: $Z = \frac{\omega}{\omega_C}$. Para baixas frequências alguns *humps* são discerníveis no espectro (harmônicos 1, 2 3 e 4) enquanto para altas frequências o espectro torna-se suave devido à superposição dos harmônicos.

Fonte: Lamb e Masters (1979)

Os primeiros a incluir o cálculo da polarização oriunda da emissão ciclotrônica, na coluna de acréscimo, foram [Meggitt e Wickramasinghe \(1982\)](#). Supondo uma fonte puntiforme eles calcularam a intensidade, a polarização linear e a polarização circular como função do ângulo θ formado entre o campo magnético e a linha de visada. A [Figura 2.10](#) ilustra a dependência da emissão (I,Q,U,V) com o ângulo θ . [Wickramasinghe e Meggitt \(1985\)](#) fizeram algumas melhorias no trabalho anterior e apresentam tabelas com os resultados obtidos para intensidade e polarização, também considerando a região emissora homogênea. Para corpos extensos, tomava-se uma somatória de regiões emisoras puntiformes. No regime opticamente fino essa aproximação é satisfatória, entretanto para uma região opticamente espessa o transporte radiativo se torna importante.

[Costa e Rodrigues \(2009\)](#) desenvolveram um código, chamado CYCLOPS, que inclui o transporte radiativo ao longo da linha de visada e abordam o problema 3D. Esse modelo, considera a geometria, o campo magnético (bipolar), a estrutura de densidade e a temperatura da região pós-choque e a linha de visada do observador. Uma descrição mais detalhada sobre este código pode ser encontrada na referência citada acima.

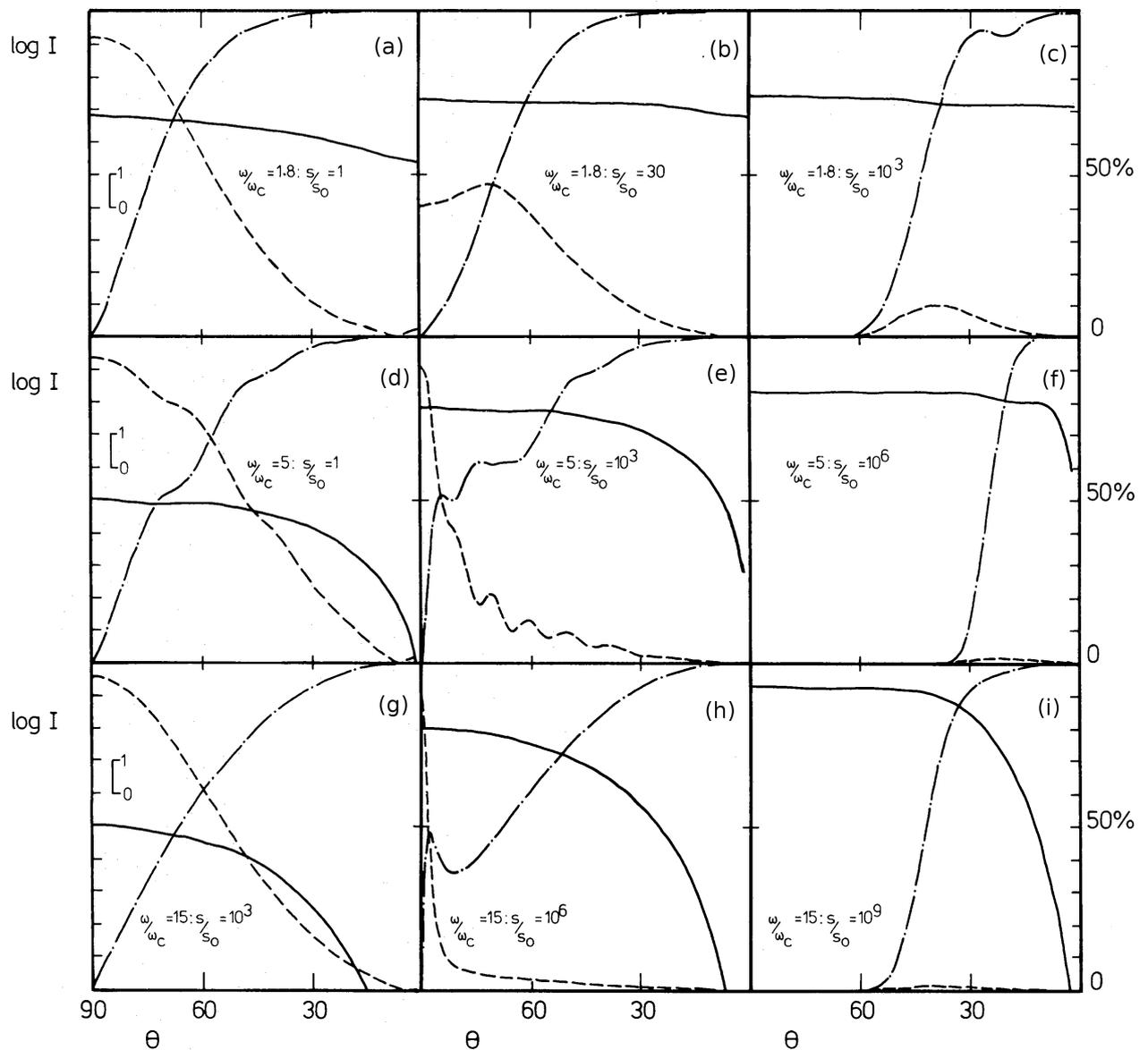


Figura 2.10 - Variação da intensidade e da polarização em função de θ . A linha sólida representa a intensidade, a linha tracejada-pontilhada descreve o comportamento da polarização circular enquanto a linha tracejada representa a polarização linear. Quando a linha de visada é $\theta \approx 90^\circ$ o fluxo é máximo e a polarização circular é mínima, observe o quadro (g) por exemplo. w/w_c representa o valor da frequência com relação à frequência ciclotrônica. S/S_0 representa o comprimento físico da região em relação a um valor de referência. A profundidade óptica da região é proporcional a S/S_0 .

Fonte: Adaptada de Meggitt e Wickramasinghe (1982)

3 OBSERVAÇÕES E REDUÇÃO DE DADOS

Neste capítulo, apresentamos as ferramentas e métodos utilizados para obtenção e redução dos dados. Na seção 3.1, descrevemos as observações realizadas, onde retratamos os sistemas observados e a instrumentação utilizada enquanto que na seção 3.2 descrevemos o procedimento utilizado na redução das exposições.

3.1 Observações

As observações foram feitas no Observatório do Pico dos Dias (OPD) do Laboratório Nacional de Astrofísica (LNA). O OPD está situado a 1864 metros acima do nível do mar, no Brasil, entre os municípios de Brazópolis e Piranguçu no sul do estado de Minas Gerais. Suas coordenadas geográficas são: $+45^{\circ}34'57''$ de longitude e $-22^{\circ}32'04''$ de latitude. Utilizamos o telescópio Perkin-Elmer, cujo espelho primário tem 1,6 metros de diâmetro, acompanhado da gaveta polarimétrica, instalada no foco Cassegrain para obter dados polarimétricos e fotométricos de 6 sistemas, candidatos a polares.

A gaveta polarimétrica é composta por três dispositivos: uma lâmina retardadora, um analisador e uma roda de filtros. Usamos 2 tipos de lâminas retardadoras: a lâmina de meia onda ($\lambda/2$), que mede a polarização linear, e a lâmina de quarto de onda ($\lambda/4$), usada para obter tanto a polarização linear quanto a circular. Em ambos os casos, a primeira posição da lâmina corresponde ao ângulo de zero graus, sendo acrescentado $22,5^{\circ}$ a cada mudança na posição da mesma. Desse modo, esse mecanismo apresenta 16 diferentes posições possíveis. O analisador utilizado é um prisma de calcita, que é o elemento que divide o feixe de um dado objeto em dois de polarizações ortogonais. Assim, nas exposições obtidas temos duas imagens para cada objeto. Quatro diferentes filtros são utilizados na gaveta polarimétrica (B , V , R_c e I_c). Uma descrição mais detalhada deste instrumento pode ser encontrada em Magalhães et al. (1996).

Assim, para observações polarimétricas no modo linear usamos a combinação típica para objetos puntiformes, isto é, lâmina retardadora $\lambda/2$ + prisma de calcita + filtros, enquanto que para o modo circular usamos uma lâmina retardadora $\lambda/4$ + prisma de calcita + filtros.

Os CCDs utilizados em nossas observações foram o WI101 e o WI106, ambos modelos da SITE, finos e iluminados por trás. Suas dimensões são 1024x1024 pixels, onde cada

pixel possui $24 \times 24 \mu m$. Na Tabela 3.1 apresentamos as principais características destes CCDs.

Tabela 3.1 - Informações técnicas dos CCDs WI101 e WI106

<i>CCD</i>	<i>WI101</i>	<i>WI106</i>
Ganho (e^-/adu)	5,0	5,0
Ruído de leitura (e^-rms)	5,5-9,5	4,1-9,5
Corrente de escuro ($e^-/pixel/h$)	0,5 (medida a 140K)	43 (medida a 170K)
Saturação ($e^-/pixel$)	205.000	230.000

Em Janeiro, do ano 2000, o primeiro sistema dessa amostra a ser observado foi o 1RXS J050146.2-035927. Cláudia Rodrigues foi a responsável pela observação. Três anos mais tarde, em abril de 2003, a FIRST j102347.6+003841 foi monitorada durante 4 dias por Deonísio Cieslinski que, no mês de setembro do mesmo ano observou o sistema 1RXS J042555.8-194534 por dois dias. Em março do ano seguinte, Gabriel Hickel e Deonísio Cieslinski monitoraram os sistemas 1RXS J100734.4-201731 e 1RXS J155412.7+272143 por 3 dias. Por fim, no ano de 2006 o sistema 1RXS J035410.4-165244 foi monitorado, por Cláudia Rodrigues, Gabriel Hickel e Dinalva Sales. Na Tabela 3.2 descrevemos nossas observações em detalhes, por sistema.

Devido às más condições meteorológicas, o tempo de integração, em algumas noites teve de ser alterado ao longo de uma série (observe os dados dos sistemas 1RXS J035410.4-165244 e 1RXS J155412.7+272143). No caso da 1RXS J155412.7+272143 o tempo piorou, forçando a uma interrupção nas observações, com a melhora do tempo as exposições foram retomadas com um tempo de integração de 120s, valor bastante inferior aos 300s utilizados antes da interrupção.

3.2 Redução de dados

A redução dos dados foi feita utilizando o pacote de redução de imagens polarimétricas PCCDPACK (PEREYRA, 2000), no ambiente IRAF (*Image Reduction and Analysis Facility*). Outros pacotes para redução de dados obtidos com a lâmina de quarto de onda foram utilizados, estes desenvolvidos por Cláudia Vilega Rodrigues. Realizamos a redução polarimétrica completa dos sistemas 1RXS J035410.4-165244 e 1RXS J050146.2-035927. Dos demais, a redução polarimétrica e fotométrica estava

iniciada, mas não estava completa. Nesses casos, revisamos a redução anteriormente realizada e a completamos.

Tabela 3.2 - Descrição dos dados observacionais dos candidatos a polares

Objeto	Data	L	Filtro	$\Delta t(h)$	$t_{int}(s)$	N	CCD
1RXS J035410.4-165244	21-22 Nov 2006	$\lambda/4$	I_c	3,2	90	82	WH106
	22-23 Nov 2006	$\lambda/4$	I_c	7	90	192	WH106
	29-30 Nov 2006	$\lambda/4$	I_c	3	60 e 120	72	WH106
1RXS J042555.8-194534	25-26 Set 2003	$\lambda/4$	R_c	3,2	60	64	WH106
	27-28 Set 2003	$\lambda/4$	I_c	7	90	48	WH106
1RXS J050146.2-035927	29-30 Jan 2000	$\lambda/4$	R_c	2	300	16	WH106
	30-31 Jan 2000	$\lambda/4$	R_c	5	100	76	WH106
1RXS J100734.4-201731	18-19 Mar 2004	$\lambda/4$	R_c	2	120	57	WH106
	21-22 Mar 2004	$\lambda/4$	R_c	4,5	180	80	WH106
	22-23 Mar 2004	$\lambda/4$	I_c	4	150	80	WH106
FIRST J102347.6+003841	23-24 Abr 2003	$\lambda/4$	R_c	3,2	120	120	WH101
	24-25 Abr 2003	$\lambda/4$	R_c	7	110	112	WH101
	25-26 Abr 2003	$\lambda/4$	R_c	3	60 e 130	64	WH101
	26-27 Abr 2003	$\lambda/2$	R_c	3	60 e 120	80	WH101
1RXS J155412.7+272143	18-19 Mar 2004	$\lambda/4$	R_c	3	90	96	WH106
	20-21 Mar 2004	$\lambda/4$	R_c	2,3	300 e 120	46	WH106
	21-22 Mar 2004	$\lambda/4$	R_c	2,5	120	64	WH106
	22-23 Mar 2004	$\lambda/4$	I_c	2,5	120	72	WH106

Legenda:
L - Tipo de lâmina retardadora utilizada
 Δt - Tempo de observação
 t_{int} - Tempo de integração
N - Número de exposições

A redução nos proporciona corrigir as imagens de eventuais ruídos e distorções incorporados à imagem devido às características do sistema instrumental e do detector. Inicialmente criamos dois arquivos, um arquivo com correção média do ruído de leitura (*readout noise*), o qual chamamos de *bias*, e outro para corrigir a diferença de resposta dos pixels do CCD, o *flat-field*.

A correção de *bias* é feita a partir da combinação de uma série de imagens tomadas com tempo de exposição mínimo, com o obturador fechado, isto é, sem fluxo incidindo sobre o CCD. A média das imagens de *bias* é obtida e então subtraída de todas as imagens do objeto observado. A Figura 3.1 mostra um exemplo de imagem da média de *bias*, obtido na missão da 1RXS J050146.2-035927.

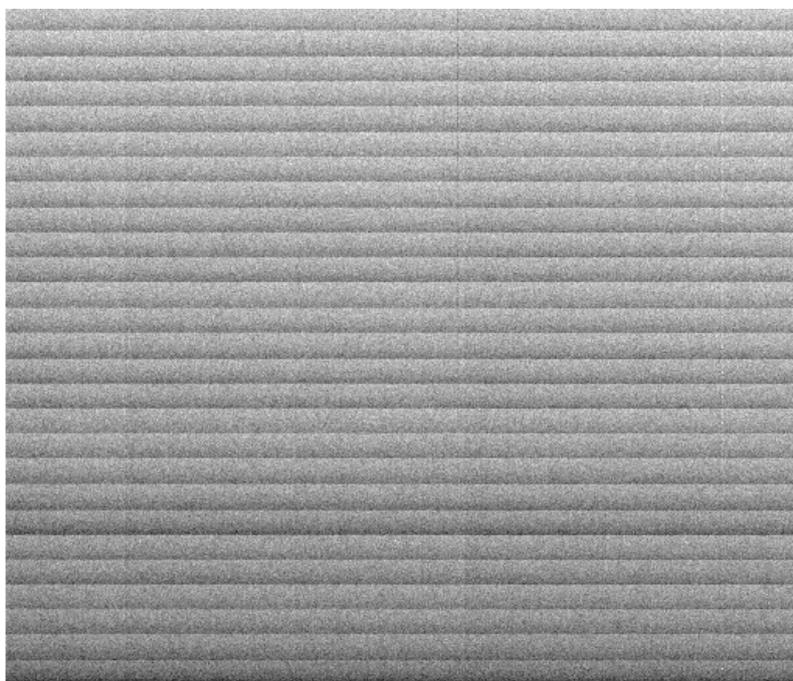


Figura 3.1 - Média das 100 imagens de *bias* utilizadas na redução do sistema 1RXS J050146.2-035927.

As imagens do tipo *flat-field* são obtidas com o CCD iluminado uniformemente. Uma forma de fazer esse tipo de imagem é utilizar uma tela branca iluminada uniformemente, esse procedimento é realizado com a cúpula do telescópio fechada. A média das imagens de *flat* obtidas é utilizada para corrigir uma eventual diferença de contagens devida à sensibilidade do pixel, uma vez que a sensibilidade na detecção pode variar de pixel para pixel. Os *flats* devem ser combinados por filtro, assim criamos

uma imagem com a correção de *flat-field* para cada filtro. A correção consiste em dividir cada imagem pela média normalizada das imagens de *flat-field*.

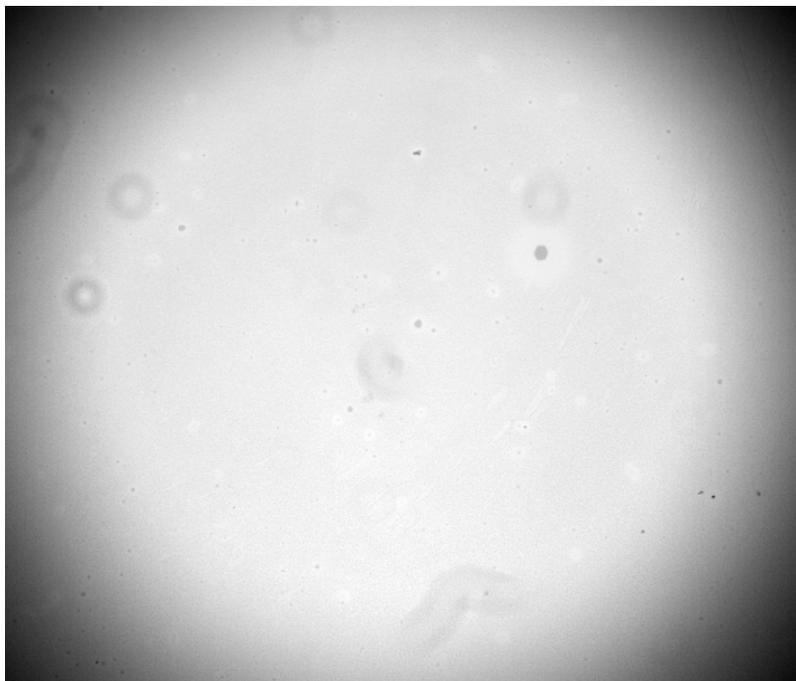


Figura 3.2 - Média das imagens de *flat* utilizada na redução do sistema 1RXS J050146.2-035927 na banda R.

Um exemplo de *flat* médio pode ser visto na Figura 3.2. O padrão circular aparente nesta figura decorre da obstrução do feixe, efeito chamado de *vignetting*. O *vignetting*, neste caso, foi causado pela lâmina retardadora cuja dimensão era menor que a do feixe e fixada a um suporte opaco.

A imagem “bruta” é corrigida fazendo-se:

$$I_{m_c} = \frac{I_{m_b} - \bar{b}}{\bar{f}}, \quad (3.1)$$

onde I_{m_c} é a imagem corrigida, I_{m_b} é a imagem bruta, \bar{b} é a média das imagens de *bias* e \bar{f} é o *flat* médio subtraído do *bias* e normalizado.

A exposição pode apresentar ainda regiões que não são iluminadas (*overscan*). Isso pode ser corrigido pelo corte das bordas das imagens. Após efetuar a correção de

bias e *flat-field*, podemos iniciar a redução polarimétrica ou fotométrica. Para isso, criamos um arquivo de coordenadas para cada exposição, identificando os objetos a serem analisados (para a fotometria precisamos ter várias estrelas de campo na exposição). A calcita divide o feixe de luz em dois, o feixe ordinário e o extraordinário, formando duas imagens para cada objeto. Assim devem ser identificados os pares de imagens correspondentes a cada objeto em uma dada exposição. Em seguida efetuamos a correção de eventuais deslocamentos entre as exposições. Esse deslocamento pode ser provocado, por exemplo, pela movimentação do telescópio ou pela mudança na posição do CCD onde a imagem foi obtida.

Para medir o fluxo ordinário e o extraordinário de cada imagem do objeto fazemos a fotometria de abertura, que é essencial para realização da polarimetria. Nesse procedimento usamos a subrotina PHOT do pacote APPHOT do IRAF, onde escolhemos 10 aberturas para o cálculo. Ao final da redução, escolhemos a abertura de menor erro.

Finalmente calculamos a polarização, onde utilizamos a subrotina PCCDGEN, também do pacote PCCDPACK, onde fornecemos como entrada os resultados obtidos para a fotometria de abertura. Para cada série de 8 imagens obtidas com a lâmina de quarto de onda obtemos uma medida das polarizações linear e circular do objeto. As polarizações linear e circular podem ser descritas através dos parâmetros de Stokes (vide Apêndice A).

Para obter as curvas fotométricas seguimos três etapas: (i) O primeiro passo foi criar um novo arquivo de coordenadas, como descrevemos anteriormente contendo, aproximadamente, dez pares de imagens de estrelas distintas; (ii) Em seguida realizamos a fotometria de abertura, utilizando esse novo arquivo de coordenadas; (iii) Partimos então para a obtenção da fotometria diferencial, nesta etapa utilizamos as rotinas *TXDUMP*, *PHOT_POL* e *PLOTA_LUZ* para obter as curvas de luz para cada sistema.

A subrotina *TXDUMP* cria um único arquivo que contém toda a informação oriunda da fotometria de abertura. A task *PHOT_POL* utiliza este arquivo para calcular a fotometria diferencial de cada uma das estrelas de campo presentes no arquivo de referência, obtendo a curva de luz das mesmas em função do fluxo de uma estrela de comparação, a ser escolhida neste campo. Geralmente não sabemos qual estrela do campo é a mais adequada para ser usada como estrela de comparação. A estrela

de comparação ideal deve apresentar fluxo constante no tempo.

Para escolher a estrela de comparação é necessário rodar o *PHOT_POL* usando diferentes objetos de comparação e verificando os resultados, o que deve ser feito com a task *PLOTA_LUZ*. Essa escolha deve ser feita com base na análise das curvas de luz da estrela de comparação com outras do campo. Para isso, você pode usar a magnitude média do sistema e o seu erro associado.

A estrela mais brilhante, que não apresentar variabilidade é a melhor opção a ser utilizada. Escolhida a estrela de comparação, partimos para a escolha da melhor abertura: ela deve ser a que resulta em uma menor dispersão da curva de luz de um objeto de fluxo não variável. Assim, utilizando a estrela de comparação e abertura escolhida obtemos os gráficos do fluxo em escala arbitrária em função do tempo, em HJD (*Heliocentric Julian Day*). Esse procedimento foi repetido para todas as noites de cada uma das missões e independe se as imagens foram obtidas com lâmina de meia-onda ($\lambda/2$) ou de quarto-de-onda ($\lambda/4$).

No Apêndice B apresentamos para cada uma das estrelas estudadas neste trabalho o resultado da fotometria diferencial para uma dada noite de observação. A análise destas curvas nos permite concluir se a estrela de referência escolhida é de fato não variável, e nos permite ainda descobrir se ruídos intrínsecos da instrumentação utilizada não estão afetando a curva de luz da candidata a VC magnética. O *vignetting*, por exemplo, descrito anteriormente, pode gerar uma falsa impressão de variabilidade na curva de luz de todas as estrelas de campo. Como ilustração, apresentamos a Figura B.7, que representa as curvas de luz das estrelas de campo da 1RXS J100734.4-201731 usando como referência um objeto afetado pelo vignetting. Note a modulação introduzida em todos os objetos devido ao vignetting da estrela de referência.

Essas magnitudes são diferenciais com relação à estrela de referência do campo. Para estimar a magnitude calibrada de cada VC, usamos o catálogo do USNO (*United States Naval Observatory*), desenvolvido por Monet et al. (2003). Especificamente, somamos a magnitude medida pelo USNO para a estrela de referência com a medida de magnitude da candidata a VC magnética. As estrelas de referência estão identificadas pela sua denominação USNO na Figura 3.3, onde também assinalamos a VC. O erro das magnitudes do catálogo USNO é inferior a 0,3 magnitudes, assim nossa estimativa de magnitude tem o mesmo erro associado. Para análise da varia-

bilidade dos sistemas, escolhemos estrelas de campo, supostamente não polarizadas, de magnitude similar aos objetos estudados. Esses objetos também estão assinalados na Figura 3.3 e são denominados pela letra A, seguida de um número. No Capítulo 4 apresentamos tabelas com um resumo dos nossos resultados para cada VC e para a estrela não polarizada do seu respectivo campo. No Apêndice B, apresentamos a curva de polarização de cada um desses objetos de campo para uma das noites de observação de cada sistema. Essas curvas têm como objetivo ilustrar o comportamento esperado para um objeto não-polarizado.

Utilizando as efemérides publicadas para cada um dos sistema (vide Cap. 4), obtivemos os gráficos, em função da fase orbital do sistema, para 5 sistemas 1RXS J042555.8-194534, 1RXS J050146.2-035927, 1RXS J100734.4-201731, FIRST J102347.6+003841 e 1RXS J155412.7+272143 (Figuras 3.5 a 3.9). Nessas figuras, o painel superior representa a curva de luz do sistema, o segundo painel representa a polarização circular (V), o terceiro painel representa a polarização linear (P) e o último painel representa o ângulo de polarização (θ). Um dos sistemas, 1RXS J035410.4-165244, não possui período determinado, assim apresentamos apenas suas curvas em função de HJD (Figura 3.4). Esses resultados são discutidos no Capítulo 4.

O ângulo de polarização em nossas medidas foi ajustado para o sistema equatorial. Para fazer essa transformação calculamos inicialmente o ângulo médio de cada uma das padrões polarizadas observadas, em cada missão. Na Tabela 3.3 apresentamos cada uma das padrões polarimétricas observadas que foram utilizadas para a realização da calibração polarimétrica. Para padrões observadas mais de uma vez durante a missão, com a mesma configuração instrumental, um ângulo polarimétrico médio foi estimado.

Calculamos o ângulo médio da missão, para cada filtro e lâmina retardadora (ver Tabela 3.4), a partir do ângulo médio de cada padrão polarizada ($\Delta\theta$) e encontramos a diferença entre o ângulo equatorial (θ_{lit}), medido por [Turnshek et al. \(1990\)](#), e o ângulo polarimétrico medido em nossas observações (θ_{obs}), para cada uma das padrões polarimétricas. A diferença encontrada foi somada ao valor instrumental e assim obtivemos o valor do ângulo da polarização linear no referencial equatorial. Esse procedimento depende da instrumentação utilizada, assim para diferentes filtros ou diferentes lâminas retardadoras encontramos diferentes valores de correção do ângulo. Na Tabela 3.4, $\alpha_{R_{\lambda/2}}$ e $\alpha_{R_{\lambda/4}}$ representam, respectivamente, a média da

Tabela 3.3 - Valores instrumentais e de referência dos ângulos de polarização das estrelas padrões observadas

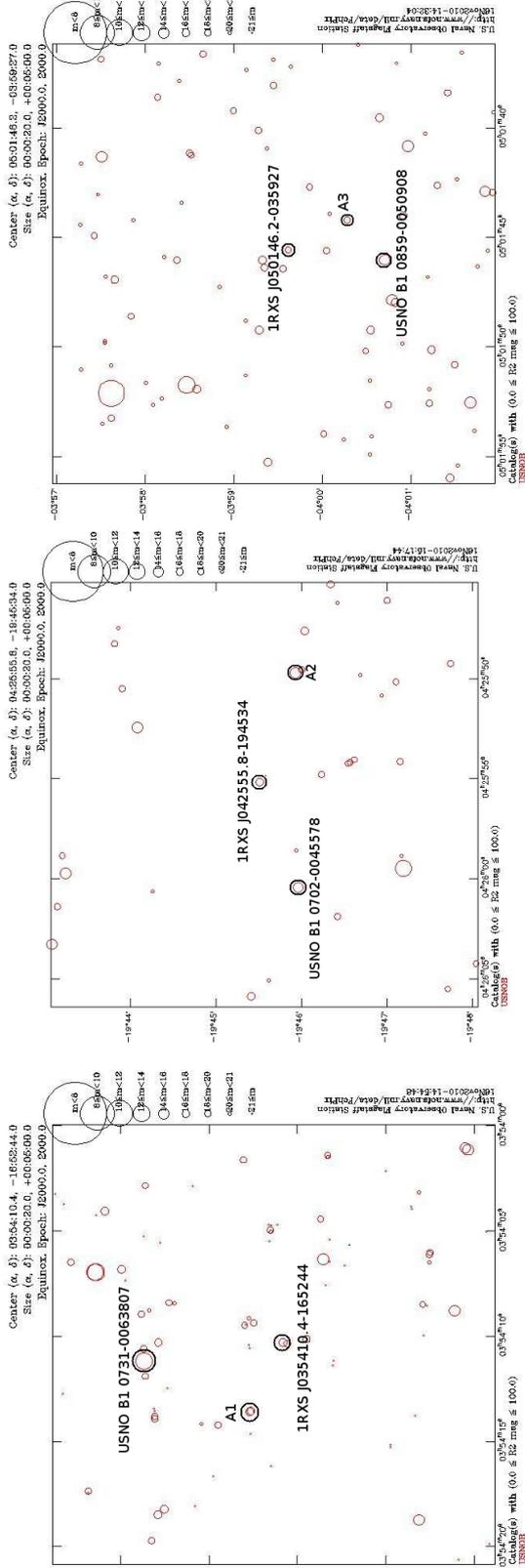
Missão	Padrão	L	Filtro	θ_{lit}	θ_{inst}	$\Delta\theta$
1RXS J035410.4-165244	HD298383	$\lambda/4$	I_c	148,6	180	-31,4
	HD251204	$\lambda/4$	I_c	147	183	-36
	BD+25727	$\lambda/4$	I_c	33,8	68,6	-34,8
	HD110984	$\lambda/4$	I_c	91,6	126,3	-34,7
1RXS J042555.8-194534	BD+25727	$\lambda/4$	R_c	33,8	73,1	-39,3
	HD251204	$\lambda/4$	R_c	147	196,3	-49,1
	HD161056	$\lambda/4$	R_c	67,01	114,3	-47,29
	BD+25727	$\lambda/4$	I_c	33,8	70,0	-36,2
1RXS J050146.2-035927	HD161056	$\lambda/4$	I_c	67,01	111,3	-44,29
	HD298383	$\lambda/4$	R_c	148,6	108,5	40,1
	HD111579	$\lambda/4$	R_c	103,1	47,5	55,6
	HD110984	$\lambda/4$	R_c	91,6	38,6	53
1RXS J100734.4-201731	HD298383	$\lambda/4$	R_c	148,6	93,7	54,9
	HD155197	$\lambda/4$	R_c	103,2	50,5	52,7
	HD155197	$\lambda/4$	I_c	103,2	48,5	54,7
	HD298383	$\lambda/4$	I_c	148,6	94,1	54,5
	HD155197	$\lambda/4$	R_c	103,2	60,4	42,9
FIRST J102347.6+003841	HD126593	$\lambda/4$	R_c	75,2	32,6	42,6
	HD298383	$\lambda/4$	R_c	148,6	101,9	46,7
	HD155197	$\lambda/2$	R_c	103,2	60,0	43,2
	HD115197	$\lambda/4$	R_c	103,1	47,5	55,6
1RXS J155412.7+272143	HD110984	$\lambda/4$	R_c	91,6	38,6	53,0
	HD298383	$\lambda/4$	R_c	148,6	93,7	54,9
	HD155197	$\lambda/4$	R_c	103,2	50,5	52,7
	HD155197	$\lambda/4$	I_c	103,2	48,5	54,7
	HD298383	$\lambda/4$	I_c	148,6	94,1	54,5
Legenda:	L - Tipo de lâmina retardadora utilizada					
	θ_{lit} - ângulo polarimétrico no sistema equatorial					
	θ_{inst} - ângulo polarimétrico instrumental					
	$\Delta\theta$ - diferença entre o valor esperado e o valor observado					

Tabela 3.4 - Valores para conversão do ângulo de polarização instrumental para o sistema equatorial

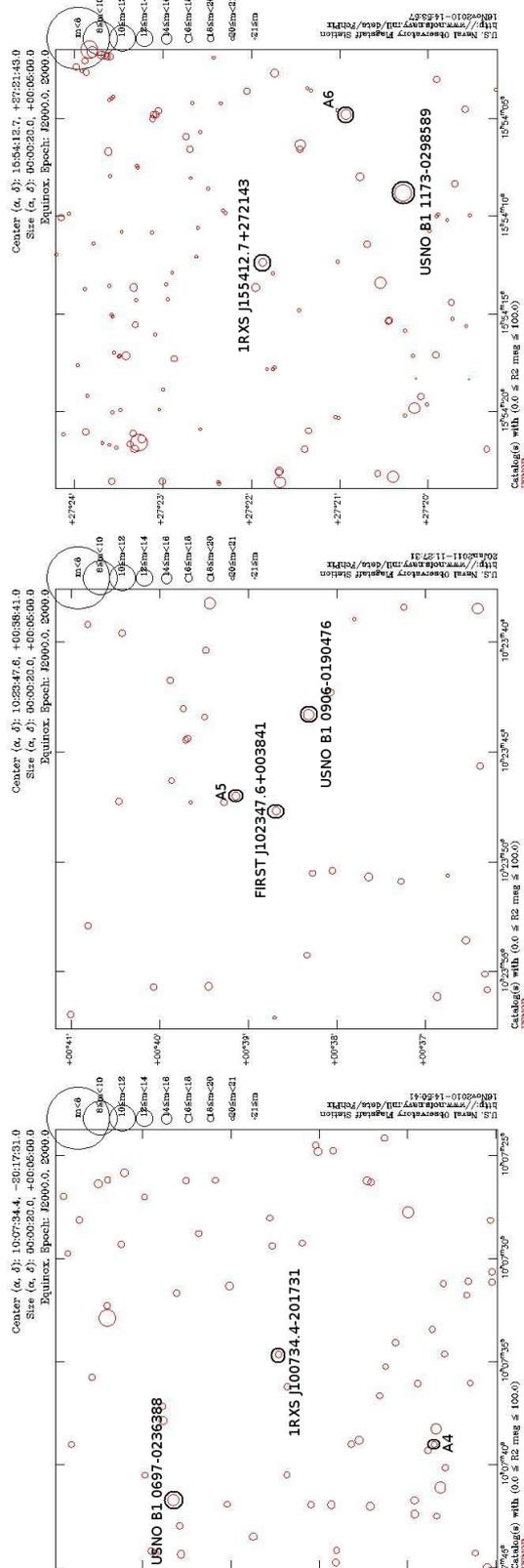
<i>Objeto</i>	$\alpha_{R_{\lambda/2}}$	$\alpha_{R_{\lambda/4}}$	$\alpha_{I_{\lambda/2}}$	$\alpha_{I_{\lambda/4}}$
1RXJ035410.4-165244	-	-	-	-34,225
1RXS J042555.8-194534	-	-45,23	-	-40,245
1RXS J050146.2-035927	-	40,1	-	-
1RXS J100734.4-201731	-	54,05	-	54,6
First J102347.6+003841	43,2	44,0667	-	-
1RXS J155412.7+272143	-	54,05	-	54,6

diferença de medida do ângulo polarimétrico para o sistema equatorial para um sistema instrumental com lâmina retardadora $\lambda/2$ e $\lambda/4$, no filtro R_c e, analogamente, $\alpha_{I_{\lambda/2}}$ e $\alpha_{I_{\lambda/4}}$ representam, respectivamente, os valores médios para um sistema instrumental com lâmina retardadora $\lambda/2$ e $\lambda/4$, no filtro I_c .

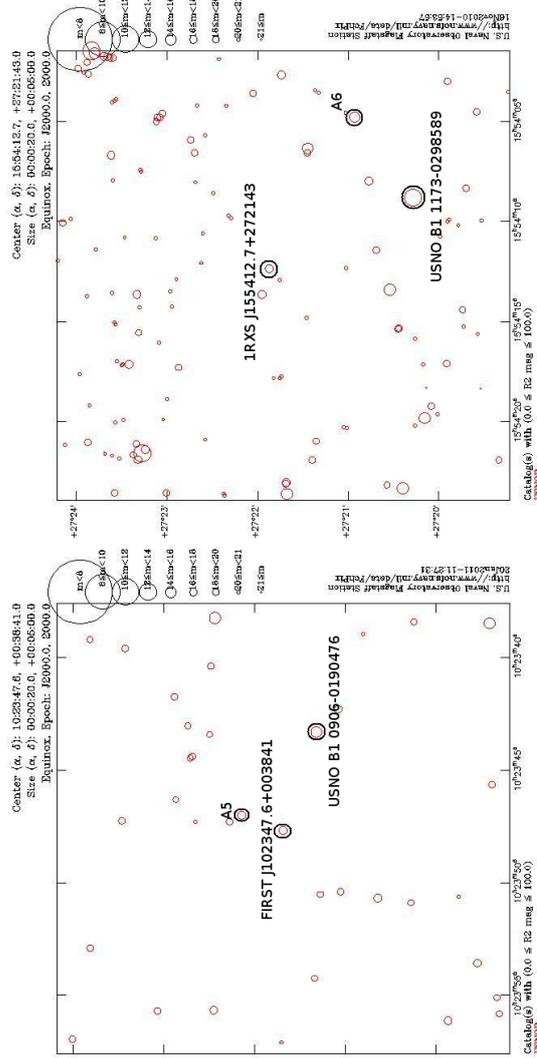
Obtidas as curvas fotométricas e polarimétricas para cada noite (ver Figuras 3.4 a 3.9), a partir destas curvas obtivemos as curvas médias, combinadas em fases, para cada um dos sistemas, exceto para o sistema 1RXS J035410.4-165244. A binagem dos dados foi feita usando duas subrotinas do IRAF (diagfase e diagfasepol), desenvolvidas pelo professor Francisco Jablonski. Essas rotinas calculam um valor ponto médio para um conjunto de pontos, contidos num mesmo intervalo (*bin*) em fase. O tamanho do intervalo e o número de pontos resultantes na curva binada são pré-definidos nas rotinas citadas anteriormente. Esse procedimento nos permite obter uma curva média suavizada e com um erro menor. Ressaltamos que o erro resultante é o desvio padrão da medida e não da média, assim ele representa a dispersão no *bin* de fase. Essas curvas são apresentadas no próximo capítulo, onde discutimos os nossos resultados.



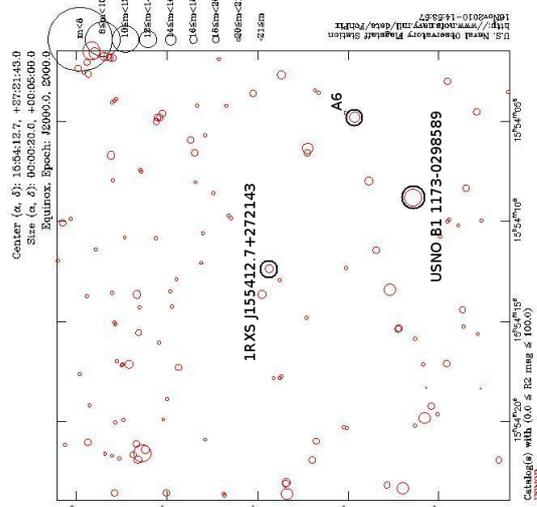
(a) IRXS J035410.4-165244



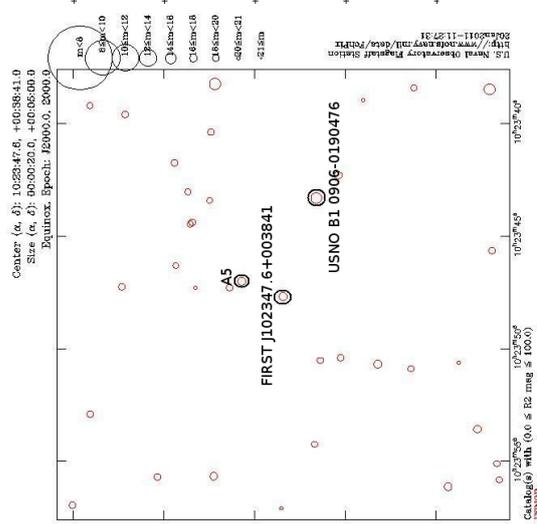
(b) IRXS J042555.8-194534



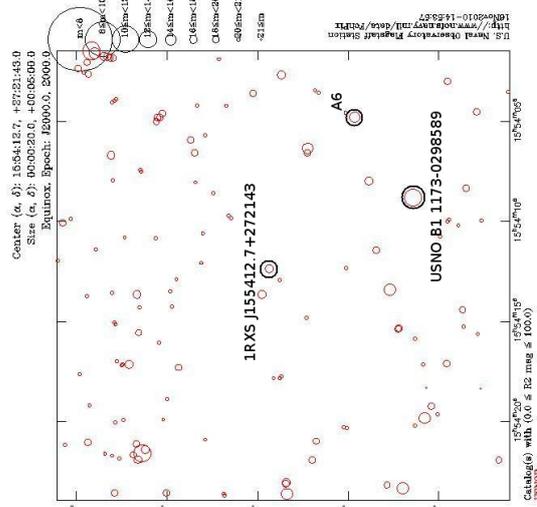
(c) IRXS J050146.2-035927



(d) IRXS J100734.4-201731



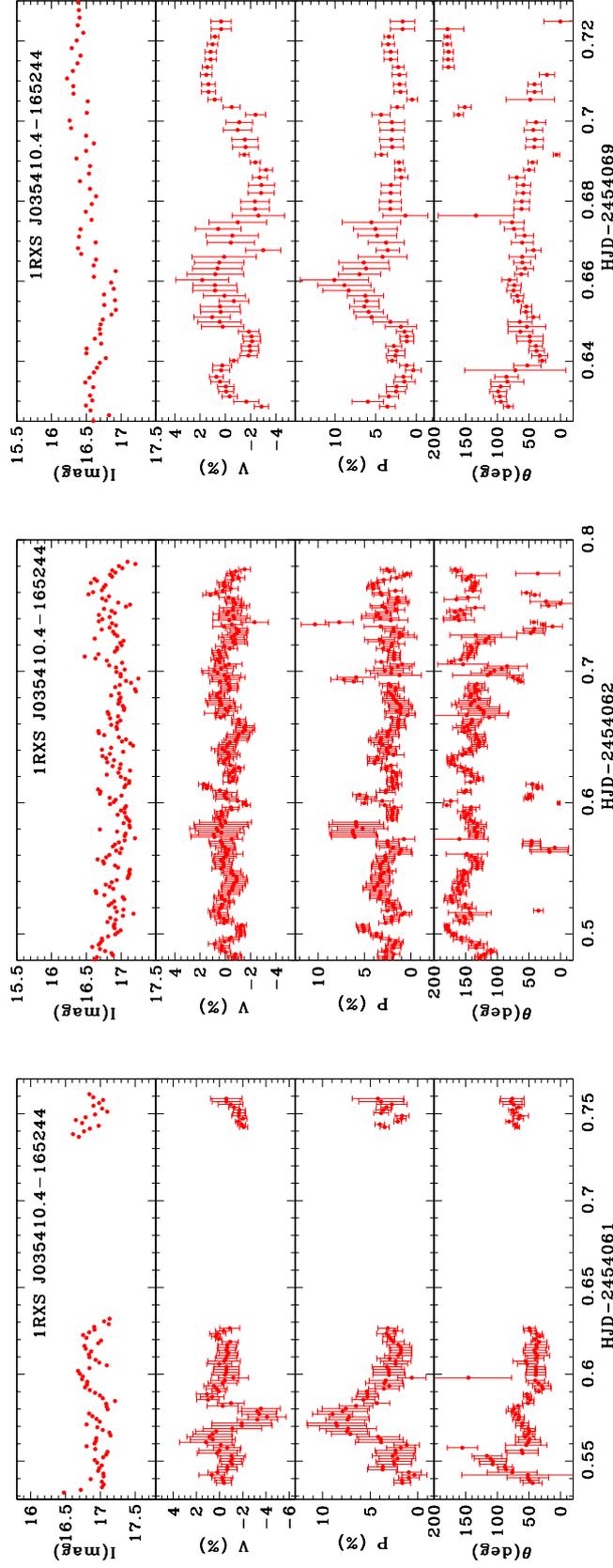
(e) FIRST J102347.6+003841



(f) IRXS J155412.7+272143

Figura 3.3 - Localização do objeto de programa, da estrela de referência e da estrela de comparação, denominada arbitrariamente, em cada campo estudado.

Fonte: Catálogo USNO

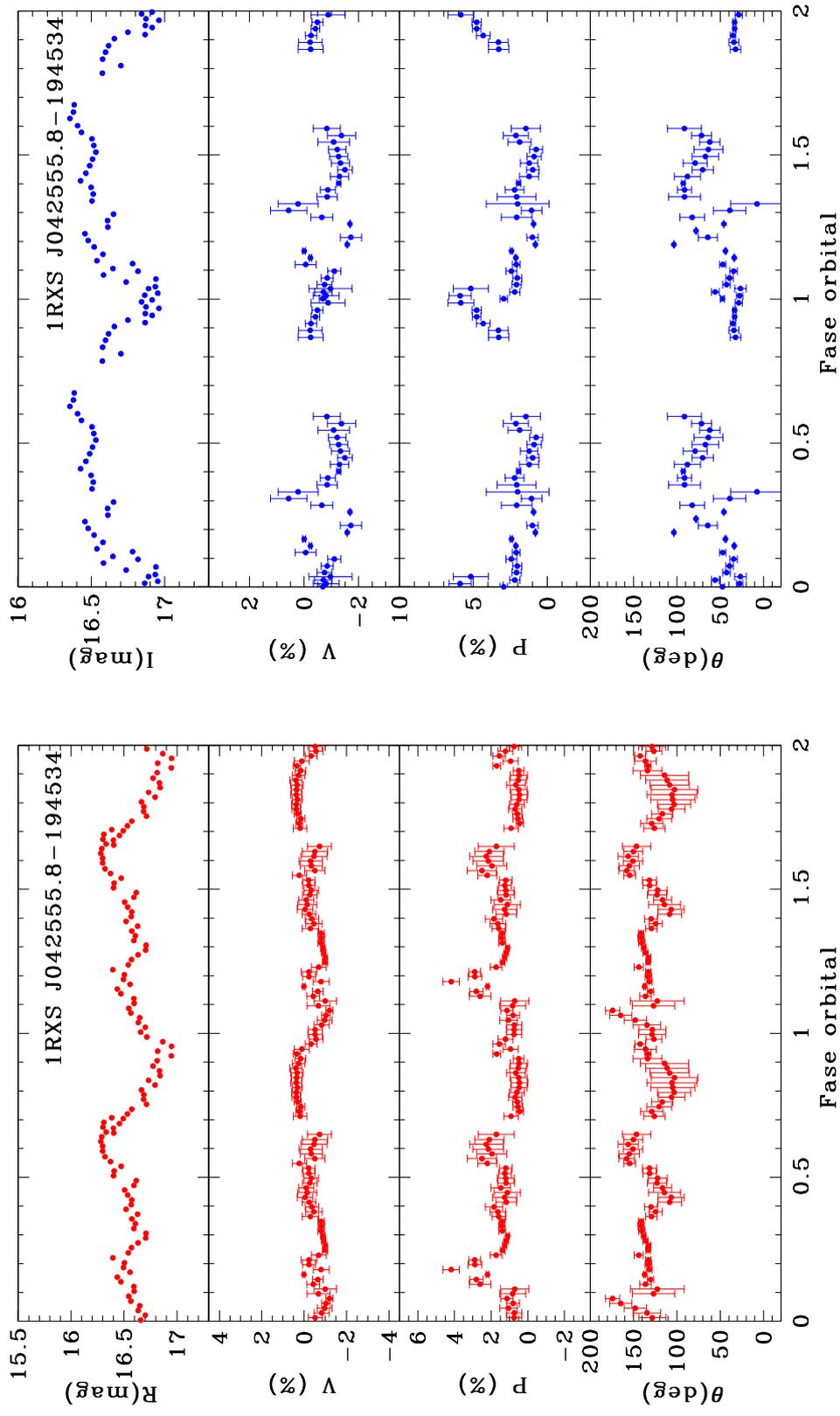


(a) 21 – 22/nov/2006 - filtro I_c

(b) 22 – 23/nov/2006 - filtro I_c

(c) 29 – 30/nov/2006 - filtro I_c

Figura 3.4 - Curvas de luz e curvas de polarização do sistema 1RXS J035410.4-165244 no filtro I_c . Os painéis (a), (b) e (c) representam, respectivamente, as curvas obtidas para cada uma das noites da missão.



(a) 25 - 26/set/2003 - filtro R_c

(b) 27 - 28/set/2003 - filtro I_c

Figura 3.5 - As curvas de luz são apresentadas no quadro superior, enquanto nos demais quadros são apresentadas as curvas polarimétricas do sistema 1RXS J042555.8-194534. O painéis (a) e (b) representam, respectivamente, os dados observados nos filtros R_c e I_c .

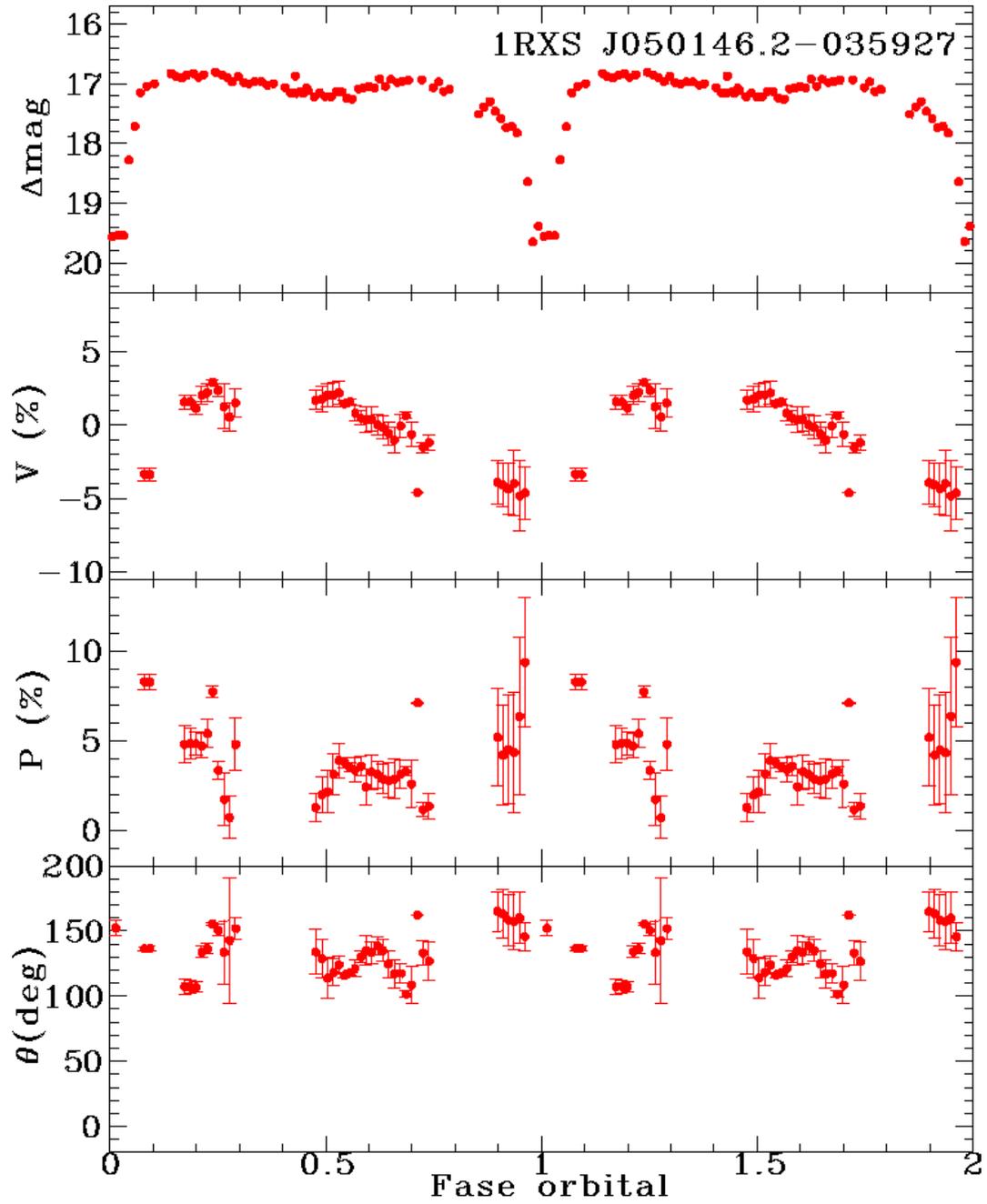
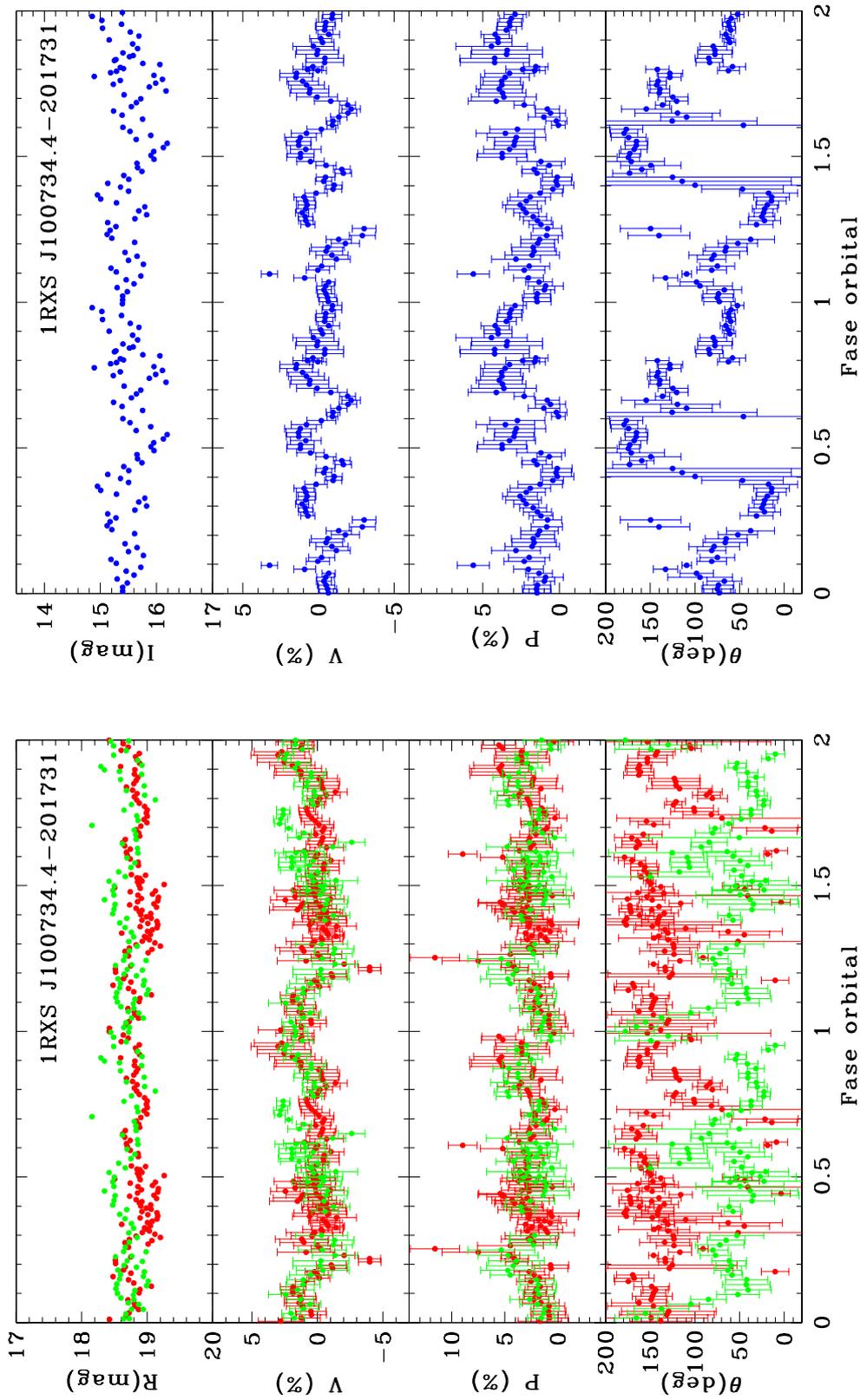


Figura 3.6 - Curvas de luz e curvas de polarização do sistema 1RXS J050146.2-035927 no filtro R_c .



(a) 25 - 26/set/2003 e 26 - 27/set/2003 - filtro R_c

(b) 27 - 28/set/2003 - filtro I_c

Figura 3.7 - As curvas de luz são apresentadas no quadro superior, enquanto nos demais quadros são apresentadas as curvas polarimétricas do sistema 1RXS J100734.4-201731. No painel (a), observamos a presença de pontos nas cores vermelho e verde que representam, respectivamente, dados da primeira e segunda noites da missão, ambas observadas com o filtro R_c , enquanto o painel (b) representa os dados do último dia da missão, observados no filtro I_c .

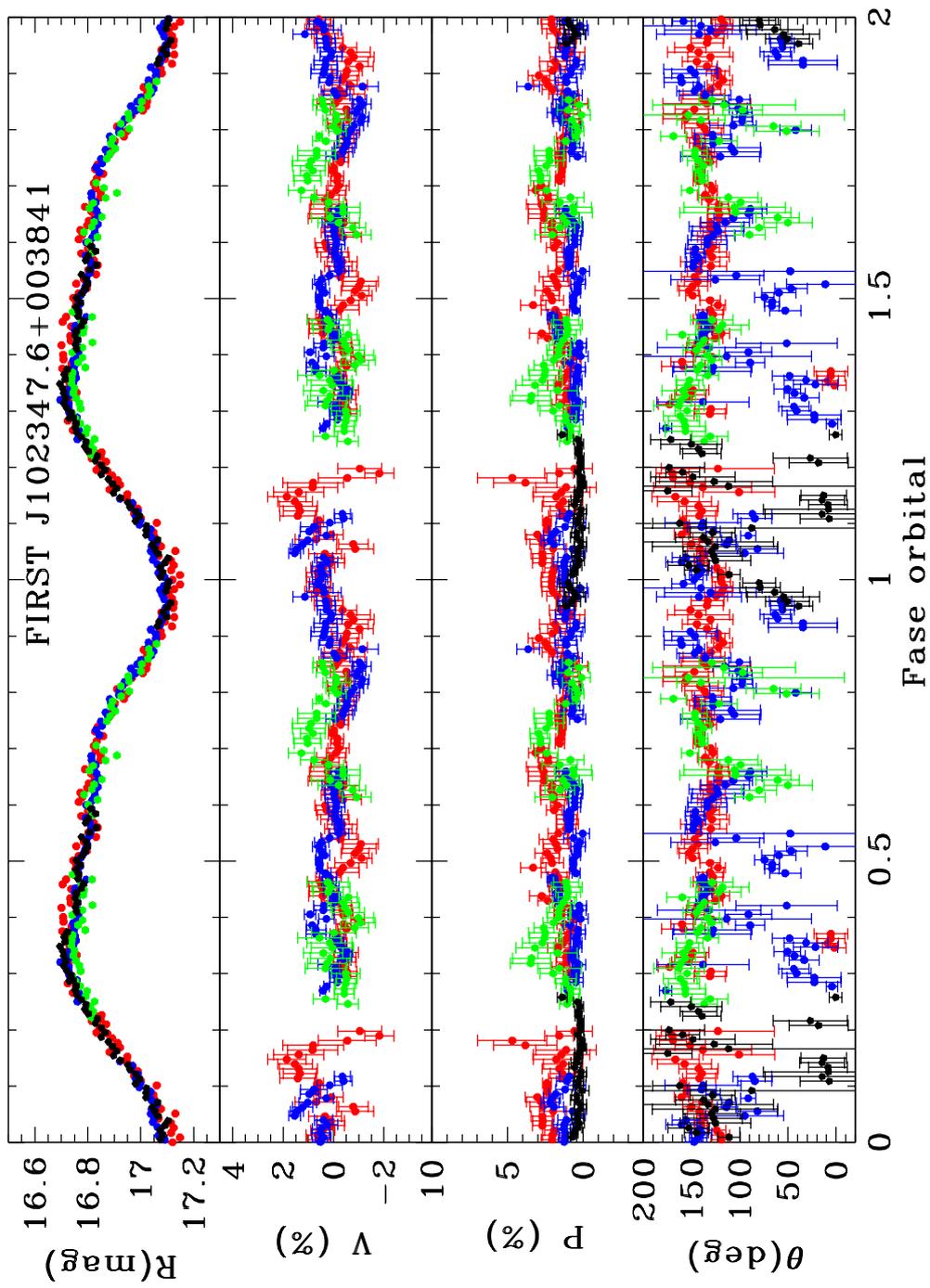
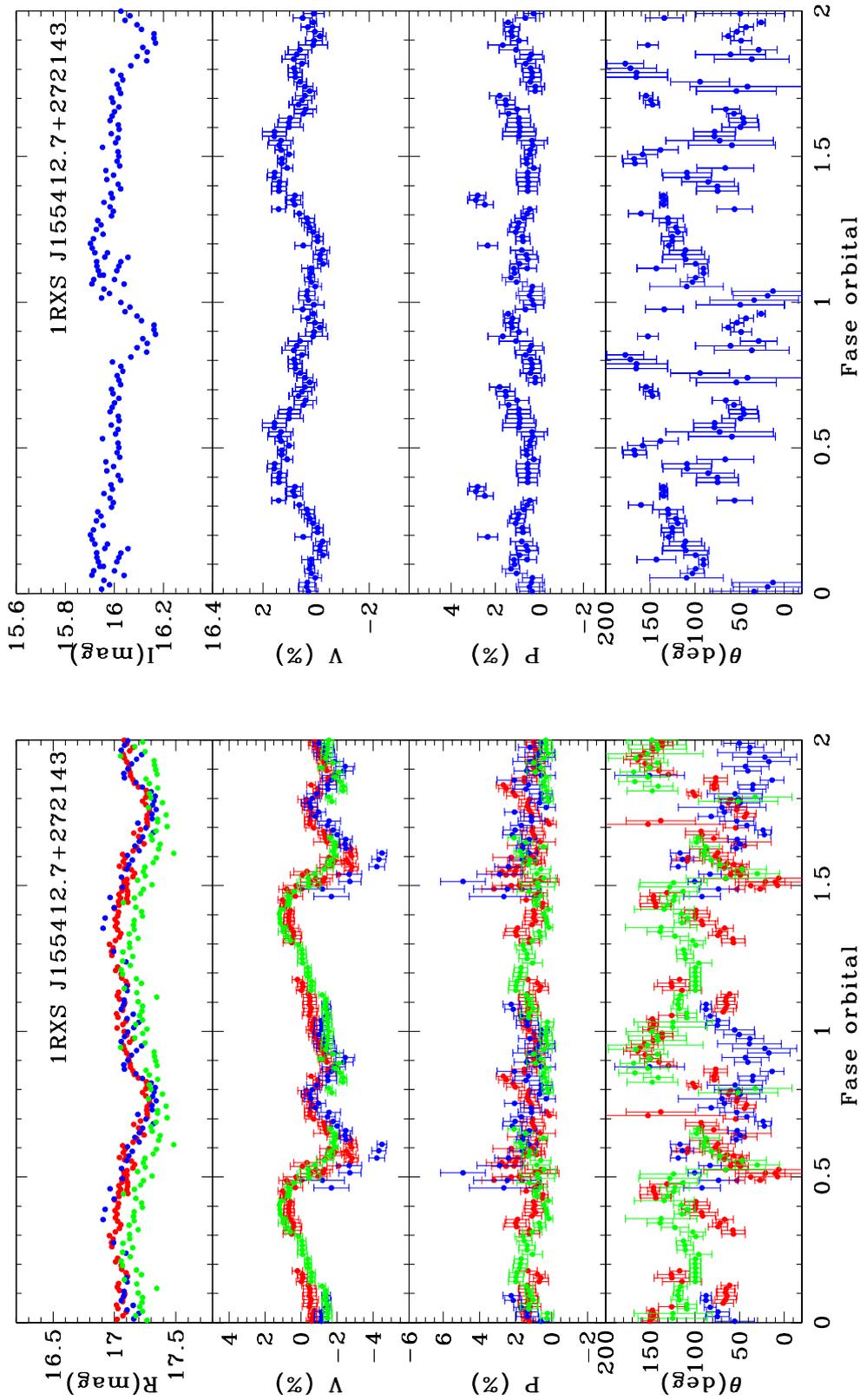


Figura 3.8 - Curvas de luz e curvas de polarização do sistema FIRST J102347.6+003841 no filtro R_c . Observamos a presença de pontos nas cores vermelho, verde e azul que representam, respectivamente, dados da primeira, segunda e terceira noites da missão, todas observadas com a lâmina retardadora $\lambda/4$, enquanto os pontos pretos representam os dados do último dia da missão, observados com a lâmina $\lambda/2$.



(a) 25 - 26/set/2003 - filtro R_c

(b) 27 - 28/set/2003 - filtro I_c

Figura 3.9 - As curvas de luz são apresentadas no quadro superior, enquanto nos demais quadros são apresentadas as curvas polarimétricas do sistema 1RXS J155412.7+272143. No painel (a), observamos a presença de pontos nas cores vermelho, azul e verde que representam, respectivamente, dados da primeira, segunda e terceira noites da missão, ambas observadas com o filtro R_c , enquanto o painel (b) representa os dados do último dia da missão, observados no filtro I_c .

4 DISCUSSÃO

Neste trabalho apresentamos um estudo polarimétrico de 6 candidatos a variáveis cataclísmicas magnéticas: 1RXS J035410.4-165244, 1RXS J042555.8-194534, 1RXS J050146.2-035927, 1RXS J100734.4-201731, FIRST J0102347.6+003841 e 1RXS J155412.7+272143. Esses objetos possuem outras nomenclaturas, apresentadas na Tabela 4.1. Na Tabela 4.2 as principais características desses sistemas são apresentadas. Nenhum desses objetos tem polarização publicada. Destacamos que o objeto FIRST foi recentemente associado a um pulsar de milissegundo em uma binária de raio X (ARCHIBALD et al., 2009). Assim, ele não é uma VC, obviamente. Entretanto, mantemos esse objeto neste trabalho já que fazia parte de nossa amostra original.

Nas próximas seções, apresentamos uma revisão bibliográfica, juntamente com os nossos resultados para cada um dos objetos incluídos neste trabalho.

Tabela 4.1 - Objetos estudados

Objeto	Outros nomes
1RXS J035410.4-165244	2MASS J03541032-1652499, RBS 490
1RXS J042555.8-194534	IW Eri, RBS 541
1RXS J050146.2-035927	HY Eri, 2MASS J05014637-0359204, RE J0501-03
1RXS J100734.4-201731	2MASS J10073462-2017323, RE J1007-20
FIRST J0102347.6+003841	PSR J1023+0038, 2MASS J10234768+0038412
1RXS J155412.7+272143	AP CrB, 2MASS J15541234+2721524, SDSS J155412.33+272152.4

Tabela 4.2 - Características dos sistemas estudados

Objeto	P (min)	$\dot{M} (g/s)$	i	q	$M_1 (M_\odot)$	B (MG)	V (mag)	Classe	Ref
1RXS J035410.4-165244	-	-	-	-	-	-	17,4	IP?	6
1RXS J042555.8-194534	82-87	-	-	-	-	-	17,5	P	5
1RXS J050146.2-035927	171	-	75°	1,20	0,43	25	17	P	1
1RXS J100734.4-201731	208	2×10^{16}	-	-	1	92	18	P	4
FIRST J102347.6+003841	285	-	55°	-	-	-	16,7-18	Pulsar	2 e 3
1RXS J155412.7+272143	152	-	45° - 55°	0,42-0,62	0,39-0,57	144	20	P	7 e 8

Legenda:

- P - período orbital
- \dot{M} - taxa de transferência de massa para anã branca
- i - ângulo de inclinação do sistema em relação a linha de visada
- q - razão de massa do sistema
- M_1 - massa da primária
- B - campo magnético na superfície da anã branca
- V - magnitude aparente
- P - polar
- IP - polar intermediária
- Ref - referências

Referências:

- (1) Burwitz et al. (1999)
- (2) Archibald et al. (2009)
- (3) Bond et al. (2002)
- (4) Reinsch et al. (1999)
- (5) Schwope et al. (2002a)
- (6) Thorstensen et al. (2006)
- (7) Tovmassian et al. (2001)
- (8) Gänsicke et al. (2004)

4.1 1RXS J035410.4-165244

O sistema 1RXS J035410.4-165244 é uma VC descoberta com o satélite ROSAT num *survey* de raio X (SCHWOPE et al., 2002a). Um espectro de linhas de pico duplo e uma alta razão de dureza ($HR1 = +0,57$) levaram esses autores a sugerirem se tratar de uma nova anã em quiescência.

Esse objeto foi estudado posteriormente por Thorstensen et al. (2006), com o objetivo de melhor estimar sua distância. Foram obtidos dados astrométricos, fotométricos e de espectroscopia no óptico. A fotometria na banda I mostra um objeto variável entre 16,7 e 17,6 mag, mas sem periodicidade aparente. O espectro obtido por esses autores possui linhas de pico simples (ver Figura 4.1), ao contrário do espectro anteriormente publicado, e apresenta uma fraca linha do $HeII(\lambda 4686\text{\AA})$. Thorstensen et al. (2006), a partir da variação da velocidade radial, também estimaram um possível período para o sistema de aproximadamente 46 *min*. Esse período, entretanto, está abaixo do período orbital mínimo observado para uma VC, $P_{min} \approx 78 \text{ min}$ (e.g. HELLIER, 2001). Existem algumas VCs com períodos orbitais menores, mas elas tendem a apresentarem linhas intensas de hélio, que não é o caso de 1RXS J035410.4-165244. Uma possível explicação para a periodicidade observada seria a rotação de anã branca magnética.

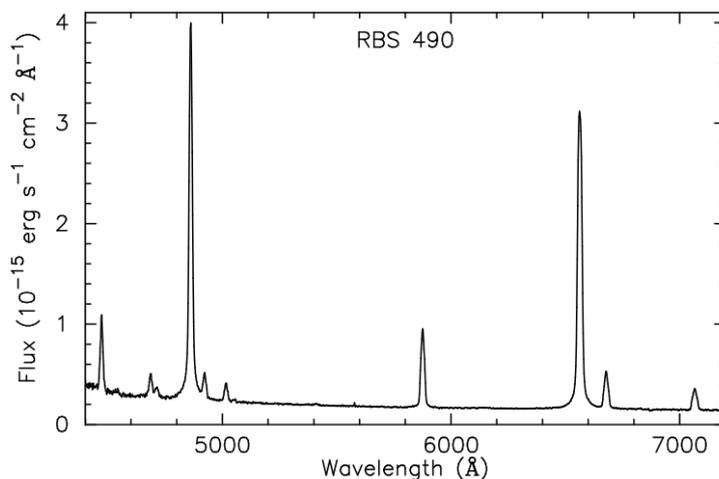


Figura 4.1 - Espectro óptico da binária 1RXS J035410.4-165244
Fonte: Thorstensen et al. (2006)

Assim, incluímos 1RXS J035410.4-165244 em nossa amostra de candidatas a VCs magnéticas por apresentar em seu espectro a linha do $HeII$, mesmo que fraca, e existir alguma evidência de uma anã branca magnética.

Na Figura 4.4 apresentamos as nossas curvas de luz e polarimétricas do sistema 1RXS J035410.4-165244 para cada noite da missão, em HJD. Em todas as noites, o objeto mostrou variabilidade bem acima das estrelas de campo. Isso é bem ilustrado pela Figura B.1, no Apêndice B, que mostra as curvas de luz da 1RXS J035410.4-165244 e das estrelas de campo na noite de 22 de novembro de 2006. Nessa noite, o desvio-padrão da 1RXS J035410.4-165244 é 0,15 mag, enquanto o de estrelas de campo de magnitude similar é da ordem de 0,014 mag (Tabela 4.3). Assim, o objeto é certamente variável. Obtivemos uma estimativa da magnitude média do sistema no filtro I_c de $\approx 16,91 \pm 0,3$ mag a partir da magnitude da estrela de referência do campo, a estrela *USNO B1 0731-0063807*. A magnitude variou entre 16,2 e 17,2 mag. A amplitude de variação é bastante similar à observada por Thorstensen et al. (2006), mas a magnitude média é menor em 0,5 mag. Porém, devido à incerteza da calibração absoluta de 0,3 mag é difícil afirmar que se trata de um estado diferente de brilho.

As nossas curvas de luz mostram uma oscilação em uma escala de tempo similar ao período de 46 min citado por Thorstensen et al. (2006). Assim, fizemos os diagramas de fase usando os períodos que constam na Tabela 5 de Thorstensen et al. (2006), mas para nenhum deles encontramos uma modulação ordenada. Realizamos também uma busca de períodos utilizando os métodos de Transformada Discreta de Fourier (DFT) (DEEMING, 1975), *String-Length* (DWORETSKY, 1983) e *Phase Dispersion Minimization* (STELLINGWERF, 1978) usando rotinas cedidas por F. Jablonski. Não foi encontrada nenhuma periodicidade clara usando o conjunto total de dados ou apenas o da segunda noite, que representa um conjunto de dados longo e de boa qualidade. Entretanto, um dos picos no espectro de potência (47,8298 min) refere-se a um período similar ao encontrado por Thorstensen et al. (2006). A Figura 4.2 mostra o diagrama de fase para esse período, enquanto o periodograma em torno desse período é apresentado na Figura 4.3.

A polarização circular (V) medida é baixa, menor que 2%. Para quantificar se nossas medidas são consistentes com um valor nulo, apresentamos, na Tabela 4.3, os valores médios da polarimetria circular do sistema 1RXS J035410.4-165244 e de uma estrela de campo de magnitude similar para cada uma das noites observadas. A Figura B.8,

no apêndice B, ilustra a polarização da mesma estrela de campo em função do tempo. Espera-se que estrelas de campo tenham polarização circular nula, já que são muito raros os objetos astrofísicos com polarização circular diferente de zero. As dispersões da polarização circular de 1RXS J035410.4-165244 e da estrela de campo são muito similares. Além disso, as dispersões são também muito parecidas com o valor do erro médio de V . Isso indica que a nossa polarimetria de 1RXS J035410.4-165244 é compatível com um valor nulo de polarização circular. A curva de polarização linear (P) é bastante ruidosa e parece apresentar picos da ordem de 10%, mas com grandes barras de erro. Assim esse objeto não apresenta evidência de emissão ciclotrônica em sua curva de luz ou de polarização e não deve, portanto, apresentar acréscimo magnético. Assim, nossos dados não indicam se tratar de uma VC magnética.

Tabela 4.3 - Valores médios da fotometria e polarimetria do sistema 1RXS J035410.4-165244 e de uma estrela de campo de magnitude similar.

Objeto	Data	$\langle V \rangle$	σ_V	$\sigma_{\bar{V}}$	$\langle Mag \rangle$	σ_{mag}
VC	21-22 Nov 2006	-0,819	1,06	1,13	4,94	0,142
	22-23 Nov 2006	-0,190	0,746	0,654	4,91	0,151
	29-30 Nov 2006	-0,581	1,08	1,44	4,72	0,218
Estrela A1	21-22 Nov 2006	-0,457	0,938	1,27	4,69	0,025
	22-23 Nov 2006	0,072	0,525	0,555	4,71	0,014
	29-30 Nov 2006	-0,336	0,939	1,12	4,67	0,026
Legenda:	$\langle V \rangle$ - Polarização circular média σ_V - Valor médio dos erros da polarização circular $\sigma_{\bar{V}}$ - Desvio padrão da polarização circular $\langle Mag \rangle$ - Magnitude média σ_{mag} - Desvio padrão da magnitude					

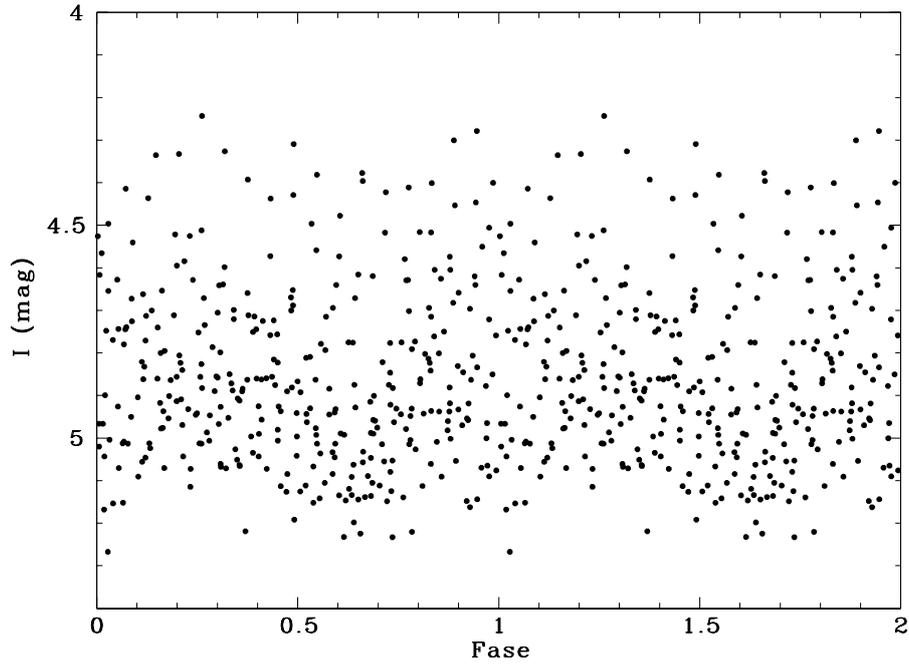


Figura 4.2 - Diagrama de fase para um dos picos no espectro de potência, para um período de 46 min (THORSTENSEN et al., 2006).

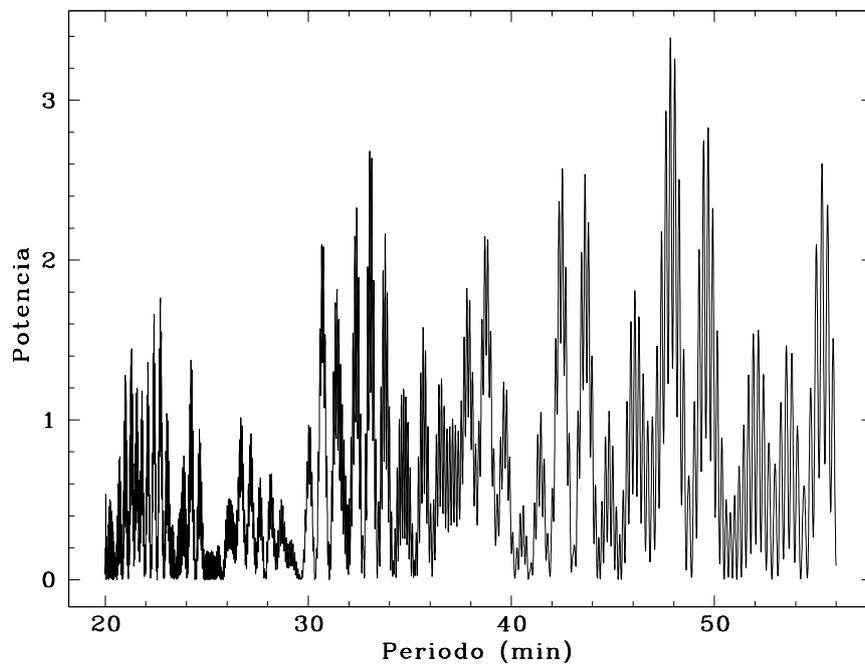


Figura 4.3 - Periodograma do sistema 1RXS J035410.4-165244 no filtro I_c .

4.2 1RXS J042555.8-194534

A binária 1RXS J042555.8-194534 foi, como a 1RXS J035410.4-165244, descoberta através do survey feito com o satélite ROSAT (Schwope et al., 2002a). Seu espectro em raios X é típico de polares. O mesmo é válido para seu espectro óptico, também obtido por Schwope et al. (2002a), que apresenta linhas assimétricas de emissão do H , HeI e $HeII$ e o decremento de Balmer invertido (ver Figura 4.5). A fotometria na banda V apresentada nesse mesmo trabalho mostra uma curva de luz com variação de 0,8 mag, de 17,2 a 18,0 mag, modulada com um período estimado em 87,1 ou 81,8 minutos (Figura 4.6). Durante essas observações fotométricas o sistema apresentou uma variação no nível de emissão da ordem de 0,4 mag. Já a magnitude estimada das observações espectroscópicas é $V \approx 16,7$ mag, indicando que o sistema apresenta mudanças em seu estado de brilho. Foram feitas outras tentativas de observações espectroscópicas, mas o objeto se mostrou muito fraco indicando também uma variação de estado de brilho.

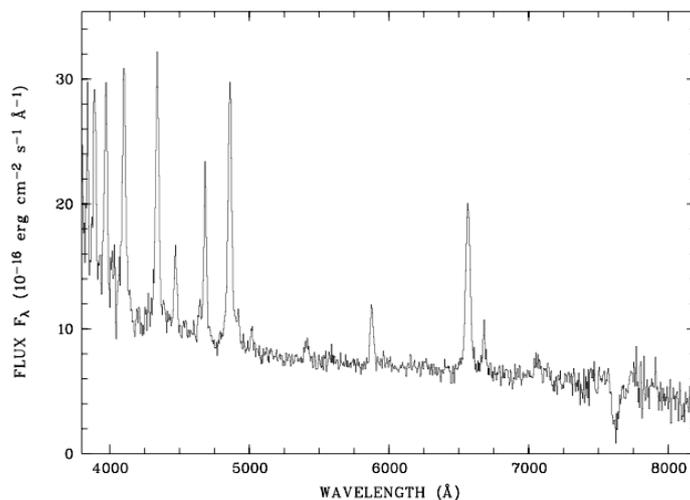


Figura 4.5 - Espectro óptico do sistema 1RXS J042555.8-194534
Fonte: Schwope et al. (2002a)

As nossas observações para o sistema 1RXS J042555.8-194534, feitas nos filtros R_c e I_c , são mostradas na Figura 4.7 onde utilizamos o período estimado por Schwope et al. (2002a), $P_{orb} \approx 81,82$ min, e o tempo de referência HJD = 2.452.908,85439. A escolha dessa efeméride foi arbitrária, pois a base de tempo de nossos dados, 0,056 d

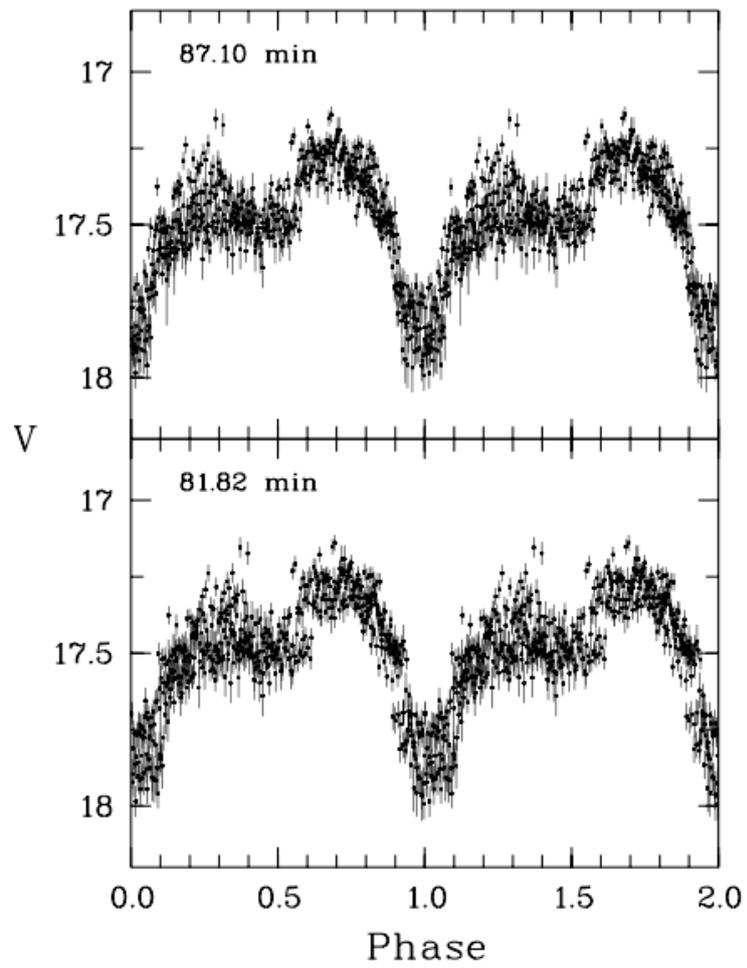


Figura 4.6 - Diagramas de fase na banda V do sistema 1RXS J042555.8-194534
Fonte: Schwobe et al. (2002a)

(≈ 80 min), não permite escolher entre os dois períodos propostos.

A curva de luz deste sistema mostra uma oscilação de brilho tanto no filtro R_c quanto no filtro I_c , com amplitude da ordem de 0,7 e 0,6 magnitudes, respectivamente. Nossas estimativas de magnitudes médias do sistema são $R_C \approx 16,6$ mag e $I_C \approx 16,7$ mag, usando como referência a estrela *USNO B1 0702-0045578*. Esse objeto não é o mesmo usado como referência por Schwope et al. (2002a). Na Tabela 4.4 são apresentados os valores do desvio-padrão das magnitudes da polar e de uma estrela de campo de magnitude similar. Nossos dados, de setembro de 2003, mostram o sistema em torno de 2 mag mais brilhante que quando foram realizadas as medidas fotométricas na banda V de Schwope et al. (2002a), em outubro de 1998. Nossas magnitudes são consistentes com a magnitude de outubro de 1996 (SCHWOPE et al., 2002a).

Os valores médios da polarimetria apresentados na Tabela 4.4 para a 1RXS J042555.8-194534 e uma estrela do campo são consistentes com uma polarização circular nula nas duas bandas.

Schwope et al. (2002a) sugeriram que este sistema teria uma geometria similar a da V834 Cen, devido à semelhança encontrada entre suas curvas de luz. A polar V834 Cen é um objeto bastante estudado, inclusive polarimetricamente, assim existe uma grande base de dados para que comparemos também as curvas de polarização. A polarização máxima (como função da fase orbital) da V834 Cen varia entre 10 e 40% em função da época de observação. Assim em nenhuma observação ela chegou em um valor nulo de polarização, como observado para a 1RXS J042555.8-194534. Logo a geometria de V834 Cen pode não ser tão parecida com a de 1RXS J042555.8-194534, como Schwope et al. (2002a) sugeriram.

Tabela 4.4 - Valores médios da fotometria e polarimetria do sistema 1RXS J042555.8-194534 e de uma estrela de campo de magnitude similar.

Objeto	Data	$\langle V \rangle$	σ_V	$\sigma_{\bar{V}}$	$\langle Mag \rangle$	σ_{mag}
VC	25-26 Set 2003	-0,315	0,307	0,462	2,34	0,168
	27-28 Set 2003	-0,805	0,389	0,519	2,56	0,184
Estrela A2	25-26 Set 2003	0,451	2,25	1,76	1,38	0,051
	27-28 Set 2003	-0,315	1,02	1,50	1,50	0,035
Legenda:	$\langle V \rangle$ - Polarização circular média σ_V - Valor médio dos erros da polarização circular $\sigma_{\bar{V}}$ - Desvio padrão da polarização circular $\langle Mag \rangle$ - Magnitude média σ_{mag} - Desvio padrão da magnitude					

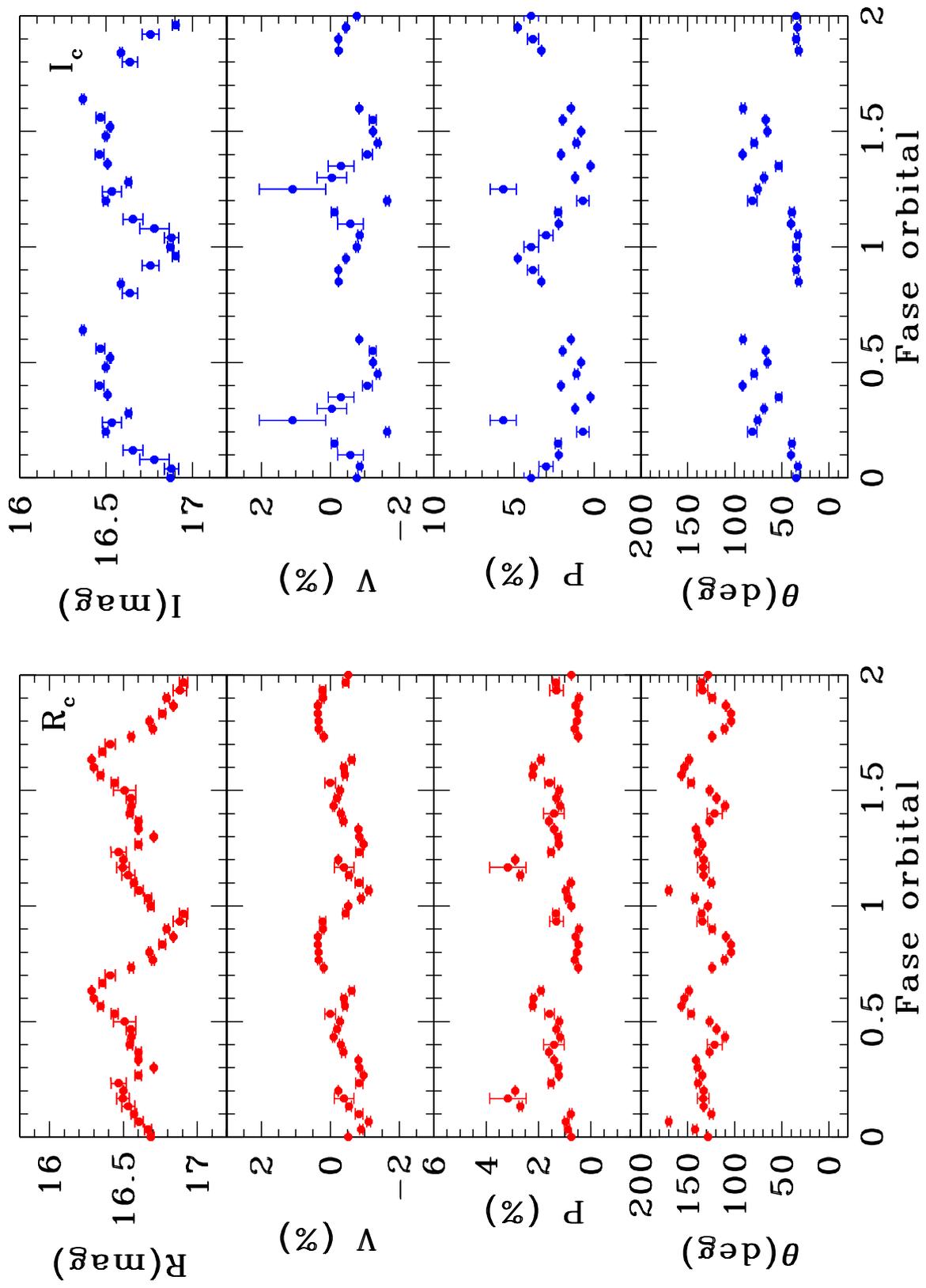


Figura 4.7 - Nossas curvas de luz e de polarização do sistema IRXS J042555.8-194534 nos filtros R_c e I_c representadas, respectivamente, pelas curvas em vermelho e azul.

4.3 1RXS J050146.2-035927

A fonte de raios X 1RXS J050146.2-035927 (ou HY Eri), descoberta por Voges et al. (1996), é uma polar eclipsante com período orbital de 171 min (BURWITZ et al., 1999). Esse trabalho apresenta dados ópticos e em raios X. No óptico, o sistema apresenta $V \approx 17$ mag. O eclipse é bem definido, conforme pode ser visto na Figura 4.8. O eclipse em raio X é mais longo que no óptico, ocorrendo entre as fases 0,75 e 0,35. A modulação da curva de luz no óptico fora do eclipse tem amplitude de cerca de 1 mag, valor típico de polares. Em torno da fase 0,9, pouco antes do eclipse, a curva de luz apresenta um *dip* que pode ser interpretado como obscurecimento da base da coluna pela sua parte superior. O espectro óptico do sistema apresenta a linha de alta ionização do $HeII(4686 \text{ \AA})$ e o decremento de Balmer invertido, como esperado para polares. Uma possível identificação dos harmônicos ciclotrônicos 5 e 6 em um dos espectros (painel inferior da Figura 4.9) permitiu estimar um campo magnético da ordem de 25 MG. Outros parâmetros do sistema binário estimados por Burwitz et al. (1999) são: massa da primária, $M_1 = 0,43_{-0,07}^{0,10} M_{\odot}$; razão de massa, $q = 1,20_{-0,27}^{0,18}$ e inclinação, $i = 75 \pm 3$ deg.

HY Eri destaca-se como uma das polares com a maior razão entre a emissão em raios-X moles com relação a em raios-X duros, de acordo com Ramsay e Cropper (2004). A causa desse observável ainda não é bem compreendida, mas esses autores especulam que essa razão possa ser função do ângulo entre a direção do campo magnético e o fluxo de matéria na região de acoplamento.

Tabela 4.5 - Valores médios da fotometria e polarimetria do sistema 1RXS J050146.2-035927 e de uma estrela de campo de magnitude similar.

Objeto	Data	$\langle V \rangle$	σ_V	$\sigma_{\bar{V}}$	$\langle Mag \rangle$	σ_{mag}
VC	30-31 Jan 2000	-0,7511	1,1156	4,1769	2,1667	0,7085
Estrela A	30-31 Jan 2000	0,0076	0,4805	0,2971	3,4892	0,0560
Legenda:	$\langle V \rangle$ - Polarização circular média					
	σ_V - Valor médio dos erros da polarização circular					
	$\sigma_{\bar{V}}$ - Desvio padrão da polarização circular					
	$\langle Mag \rangle$ - Magnitude média					
	σ_{mag} - Desvio padrão da magnitude					

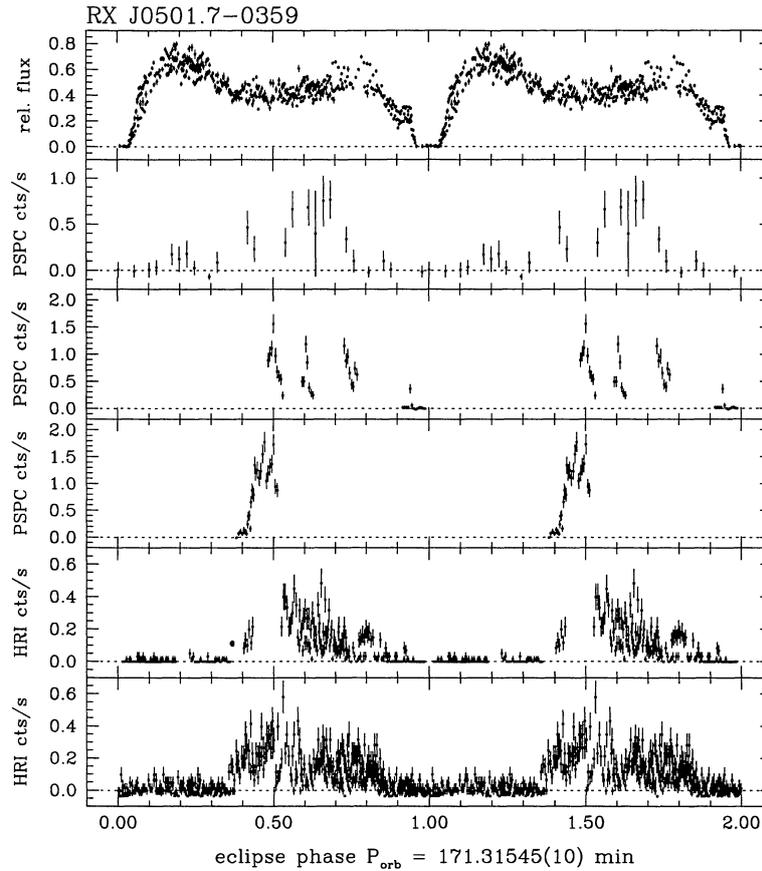


Figura 4.8 - Curvas de luz do sistema 1RXS J050146.2-035927 no óptico e em raios-X
 Fonte: Burwitz et al. (1999)

Na Figura 4.10 apresentamos nossos dados de 1RXS J050146.2-035927, colocados em fase usando as efemérides de Burwitz et al. (1999), isto é, $P_{orb} = 171,31545 \text{ min}$ e $HJD = 2.449.748,83$. A curva de luz do sistema é consistente em forma e nível com os dados de Burwitz et al. (1999). Especificamente a magnitude média do sistema é $\approx 17,3 \text{ mag}$ na banda R_c , usando como referência a estrela *USNO B1 0859-0050908*. A profundidade do eclipse observada é da ordem de 2,5 mag. O valor médio e a dispersão das magnitudes da polar e de uma estrela de campo são mostrados na Tabela 4.5.

Apesar da pobre cobertura temporal de 1RXS J050146.2-035927, podemos observar uma polarização circular (V) com leve modulação em torno dos 4%, alternando entre valores positivos e negativos. O desvio padrão da polarização circular da VC eclipsante é 4,2% cerca de 20 vezes maior que o valor observado para uma estrela

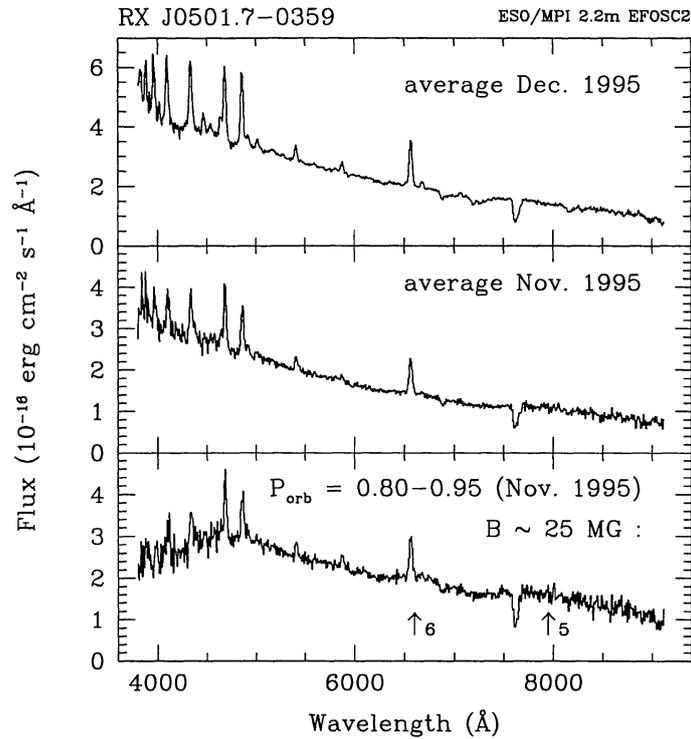


Figura 4.9 - Espectro óptico da polar 1RXS J050146.2-035927
 Fonte: Burwitz et al. (1999)

de campo (Tabela 4.5). Assim, podemos afirmar que se trata de um objeto variável polarimetricamente. A Figura B.10, que mostra a polarização de uma estrela de campo em função do tempo, também ilustra que os valores observados para a polar são bem maiores que os observados para estrelas supostamente não-polarizadas circularmente. A polarização linear da polar é aparentemente também variável.

Assim, podemos concluir pela presença de acréscimo magnético evidenciado pela detecção de radiação ciclotrônica em 1RXS J050146.2-035927. A alternância do sinal da polarização circular e a presença de eclipse podem ser interpretadas como uma coluna vista "de lado", com um campo magnético aproximadamente perpendicular à linha de visada. Isso também explicaria os valores baixos de polarização. Ao longo do ciclo orbital, o sentido da projeção do campo magnético na linha de visada deve se alternar, levando à variação do sinal da polarização. A região emissora, porém, não parece ser eclipsada pela anã branca em nenhum momento da órbita, pois não há evidência de um intervalo de fase com polarização nula e constante. Esse objeto

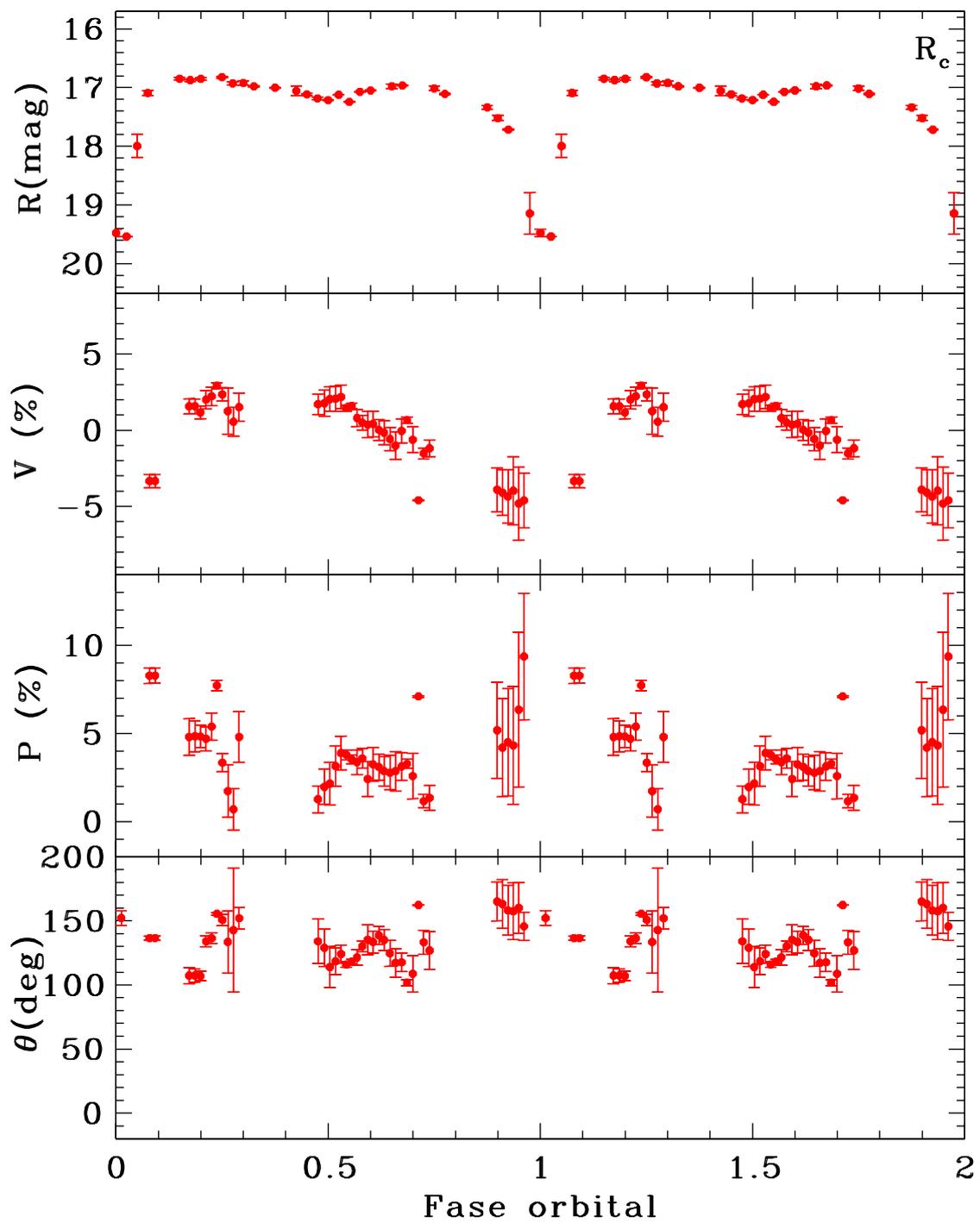


Figura 4.10 - Curvas de luz e curvas de polarização do sistema 1RXS J050146.2-035927 no filtro R_c .

merece ser observado novamente com maior cobertura temporal e em várias bandas, o que permitirá a determinação dos parâmetros físicos e geométricos da base de coluna a partir da modelagem da emissão ciclotrônica.

4.4 1RXS J100734.4-201731

1RXS J100734.4-201731, descoberta pelo satélite ROSAT (VOGES et al., 1996), é uma polar com um dos campos magnéticos mais elevados, $B \approx 92 \text{ MG}$ (REINSCH et al., 1999). A estimativa do campo é baseada na presença de harmônicos ciclotrônicos no espectro óptico que também apresenta as típicas linhas de emissão da série de Balmer do hidrogênio e linhas do HeII (vide Figura 4.11). Essa figura apresenta no painel superior duas curvas, uma referente ao espectro medido do sistema e uma ao espectro típico de uma secundária do tipo M4.5 (semelhante \tilde{A} presente no sistema). No painel inferior, o espectro da binária 1RXS J100734.4-201731 subtraído do espectro da secundária é mostrado. Nele dois harmônicos ciclotrônicos são indicados, indicando a presença de acréscimo magnético. As linhas de emissão presentes nesses dados foram utilizadas para estimar um período orbital da ordem de 210 min, bastante incerto. Sua curva de luz em raios X apresenta um *dip*, possivelmente causado pelo obscurecimento da região brilhante do sistema pela própria coluna de acréscimo (Figura 4.13). Essa curva de luz é consistente com uma região emissora visível ao longo de todo o ciclo orbital (REINSCH et al., 1999). O espectro em raios X do sistema (Figura 4.12) é dominado por uma componente intensa em raios X moles (RAMSAY; CROPPER, 2003). Esses autores também estimaram uma taxa de transferência de massa relativamente baixa: $\dot{M} \approx 2 - 20 \times 10^{16} \text{ g/s}$. Esse objeto, similarmente a 1RXS J050146.2-035927, é uma das polares com maior excesso em raios X moles.

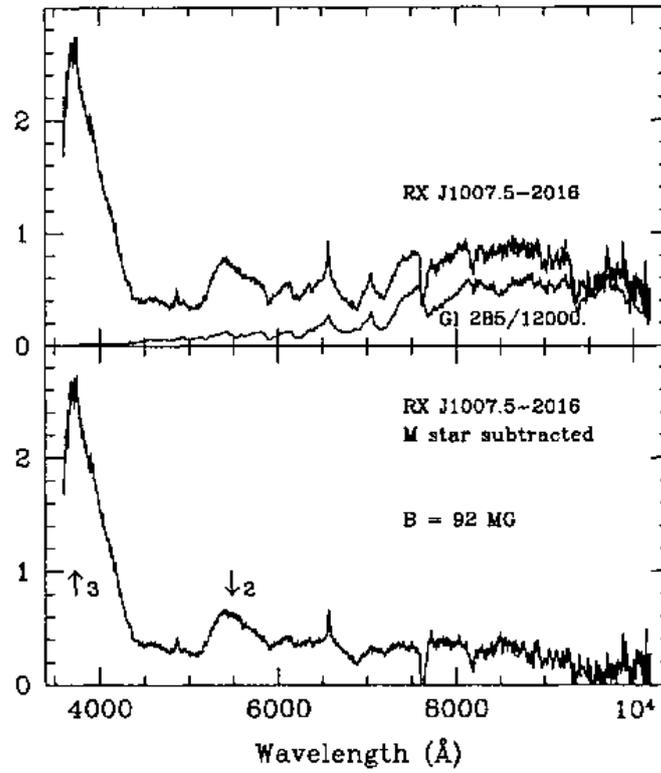


Figura 4.11 - Espectro da polar 1RXS J100734.4-201731
 Fonte: Reinsch et al. (1999)

Tabela 4.6 - Valores médios da fotometria e polarimetria do sistema 1RXS J100734.4-201731 e de uma estrela de campo de magnitude similar.

Objeto	Data	$\langle V \rangle$	σ_V	$\sigma_{\bar{V}}$	$\langle Mag \rangle$	σ_{mag}
VC	18-19 Mar 2004	0,250	1,21	1,18	4,21	0,101
	21-22 Mar 2004	0,675	1,12	1,16	4,12	0,109
	22-23 Mar 2004	-0,143	0,793	1,10	3,32	0,092
Estrela A4	18-19 Mar 2004	-1,11	1,35	1,37	4,38	0,047
	21-22 Mar 2004	-0,323	1,96	1,86	4,49	0,123
	22-23 Mar 2004	0,688	2,96	2,50	4,15	0,070
Legenda:	$\langle V \rangle$ - Polarização circular média σ_V - Valor médio dos erros da polarização circular $\sigma_{\bar{V}}$ - Desvio padrão da polarização circular $\langle Mag \rangle$ - Magnitude média σ_{mag} - Desvio padrão da magnitude					

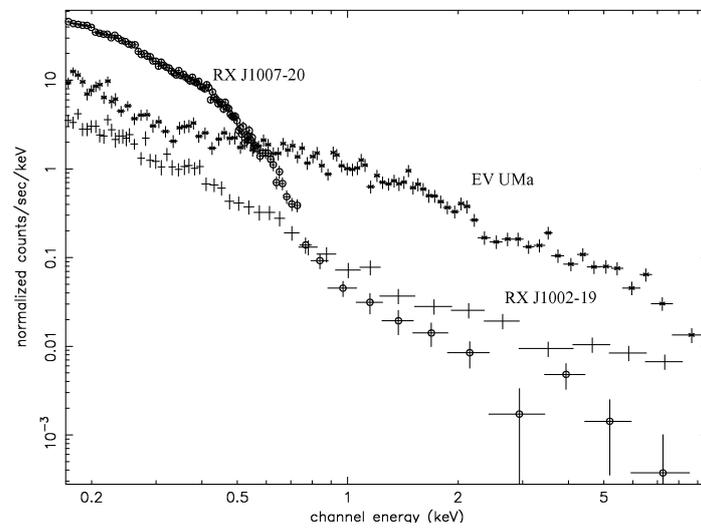


Figura 4.12 - A curva formada por pontos circulares descrevem o espectro, em raio X, da polar 1RXS J100734.4-201731(RX J1007-20). A curva onde cada ponto é representado por uma cruz é o espectro do sistema RX J1002-19, enquanto a curva onde cada ponto é representado por um X representa o espectro do sistema EV UMa.

Fonte: Ramsay e Cropper (2003)

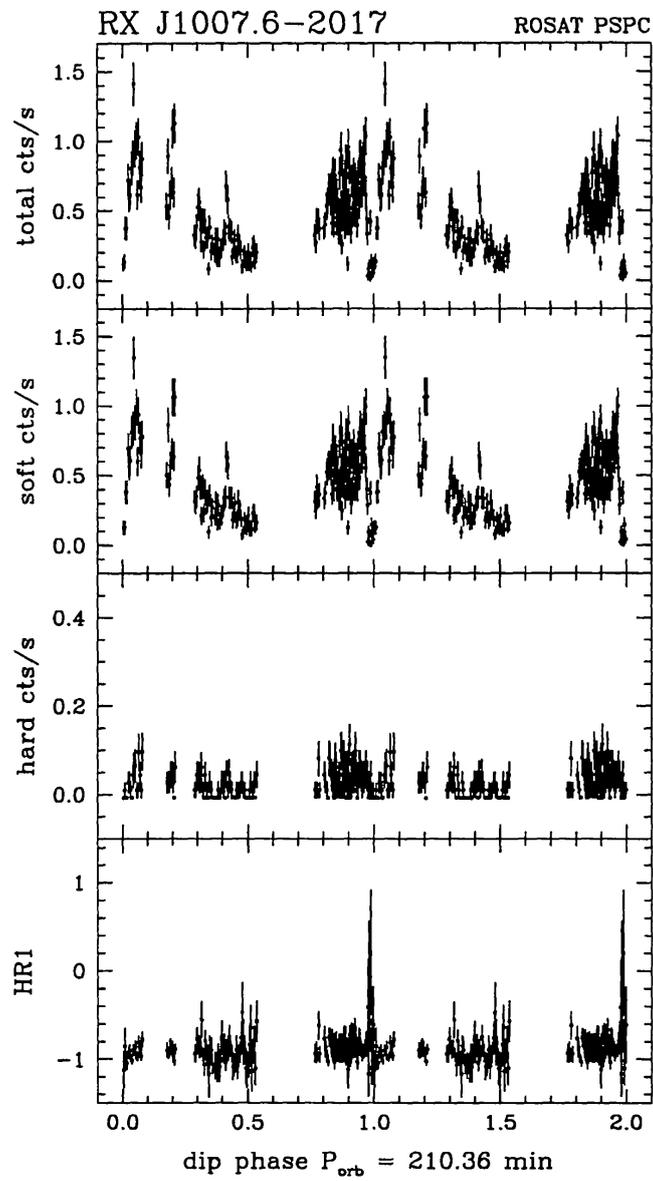


Figura 4.13 - Curva de luz, em raio X, da polar 1RXS J100734.4-201731
 Fonte: Reinsch et al. (1999)

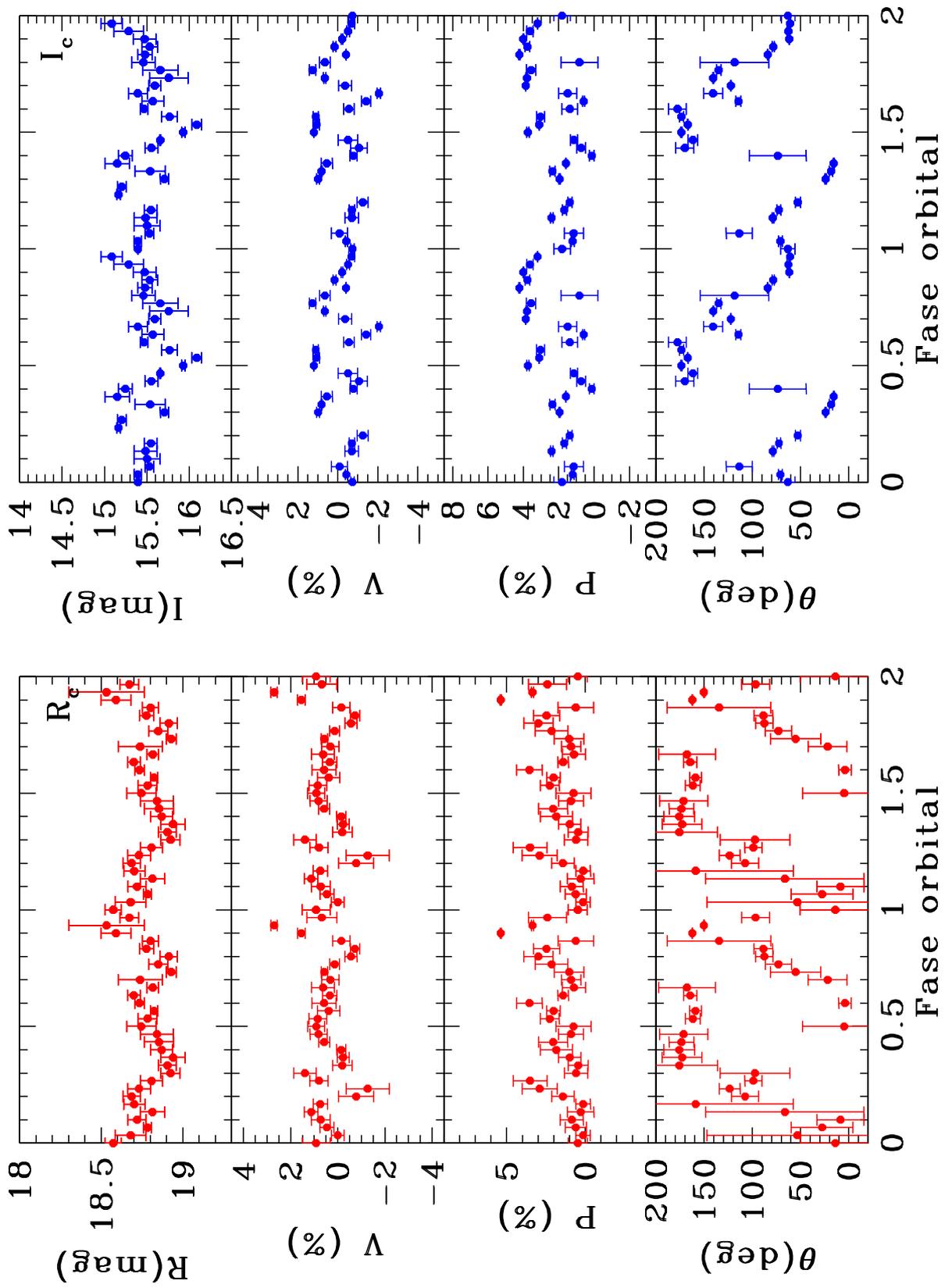


Figura 4.14 - Curvas de luz e curvas de polarização do sistema 1RXS J100734.4-201731 nos filtros R_c e I_c representadas, respectivamente, pelas curvas em vermelho e azul.

Nossos resultados para o sistema 1RXS J100734.4-201731 são apresentados na Figura 4.14. As curvas correspondem a dados binados em fase considerando um período de 208 min (BEUERMANN; BURWITZ, 1995), que não é bem determinado, e o tempo de referência de HJD=2.453.083,0, escolhido a partir de nossos dados. A magnitude média do sistema em ambos os filtros foi calculada a partir da fonte *USNO B1 0697-0236388* (estrela de referência do campo). Obtivemos $R_C \approx 18,7$ e $I_C \approx 15,9$ mag. A curva de luz, no filtro R_c , apresenta uma leve modulação de brilho de aproximadamente 0,5 mag, enquanto que no filtro I_c a modulação observada é um pouco maior, da ordem de 1 magnitude. Na Tabela 4.6 a magnitude média e a dispersão dos pontos para o sistema 1RXS J100734.4-201731 e a estrela A4 são apresentados nas duas últimas colunas, respectivamente. Os valores de dispersão observados para a estrela A4 é uma ordem de grandeza menor em duas noites. Assim este sistema é provavelmente variável fotometricamente.

Os valores médios e as dispersões da polarimetria apresentados na Tabela 4.6 para a 1RXS J100734.4-201731 e uma estrela do campo, não variável, são similares. Isso indica que a VC não apresenta polarização considerável. Na Figura B.11, a curva polarimétrica desta mesma estrela de campo não variável é apresentada e também mostra valores similares aos observados para a VC.

é possível que o período desse objeto não esteja bem determinado, o que levaria a um diagrama de fase incorreto e assim inválido para análise. Pretendemos realizar uma análise temporal de nossos dados no sentido de tentar melhorar essa estimativa. Isso poderia levar a erros menores nos diagramas de fase e assim a limites inferiores na variabilidade do sistema. Porém, isso será dificultado pela pequena variabilidade do sistema, se existente.

Sabemos que esse objeto apresenta uma baixa taxa de acreção (REINSCH et al., 1999), o que implica na diminuição na densidade da coluna de acréscimo e consequentemente redução da emissão do sistema. Assim a emissão ciclotrônica, fonte de luz circularmente polarizada, é baixa e fortemente diluída pela emissão da secundária, principalmente nas bandas observadas. Isso explicaria a pequena variabilidade fotométrica e polarimétrica do sistema. Além disso, considerando um campo magnético de 92 MG, a região espectral observada corresponde a região de baixos harmônicos, onde esperamos baixos valores de polarização. Esse objeto deveria ser reobservado em bandas mais azuis.

4.5 FIRST J102347.6+003841

Como já comentado, FIRST J102347.6+003841 é hoje reconhecida com uma binária de raios-X que abriga um pulsar de milissegundo (ARCHIBALD et al., 2009). Esse objeto foi descoberto como uma fonte rádio cuja contrapartida óptica apresentava um espectro similar a de uma polar: um contínuo no azul sobreposto por linhas de emissão da série de Balmer, juntamente com linhas de emissão do *He I* e *He II* (BOND et al., 2002) - vide Figura 4.15. Essa sugestão levou-nos a incluir esse objeto entre nossa amostra de possíveis VC magnéticas. Szkody et al. (2003), usando os dados do SDSS, também sugerem que este objeto seria uma VC magnética. Woudt et al. (2004) obtiveram a curva de luz do sistema e determinaram um período orbital de 4,75 horas. Thorstensen e Armstrong (2005), entretanto, sugerem que FIRST J102347.6+003841 pode não ser uma VC. O espectro obtido por esses autores (Figura 4.16) diferia, e muito, dos espectros anteriores: os novos espectros não apresentavam linhas de emissão e, sim, de absorção. Como uma das possibilidades para explicar o conjunto de observações desse objeto naquele momento, Thorstensen e Armstrong (2005) sugerem que o objeto compacto neste sistema pode ser uma estrela de nêutrons. Essa hipótese foi confirmada com a detecção de um pulsar de milissegundo por Archibald et al. (2009). Homer et al. (2006) apresentam valores máximos para a polarização da FIRST J102347.6+003841 de 0,5% e 0,03% em maio de 2002 e fevereiro de 2004, respectivamente, obtidos a partir de espectropolarimetria.

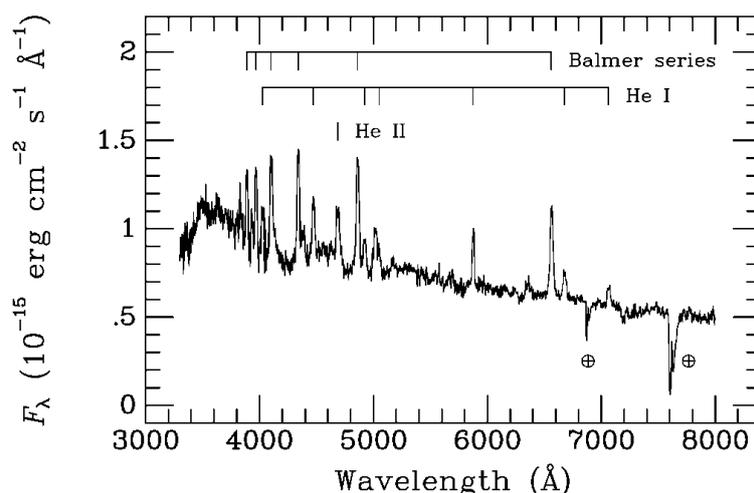


Figura 4.15 - Espectro óptico de FIRST J102347.6+003841 obtido em maio de 2000
Fonte: (BOND et al., 2002)

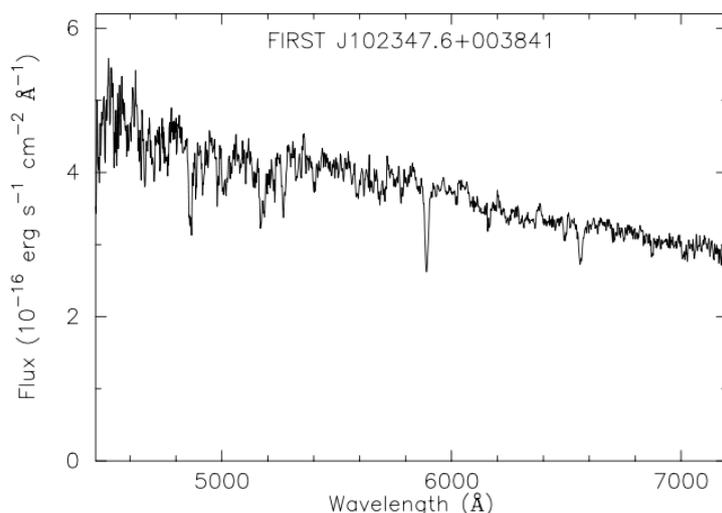


Figura 4.16 - Espectro óptico de FIRST J102347.6+003841
 Fonte: Thorstensen e Armstrong (2005)

Os resultados de nossas observações para este sistema, realizadas em abril de 2003, são apresentados na Figura 4.17. Ela mostra as curvas de luz e polarimétrica, no filtro R_c , que resultam da combinação de nossos dados combinados em fase usando a efeméride de 0,19800962019 dias para o período orbital (ARCHIBALD et al., 2009) e HJD = 2453081.8546 (HOMER et al., 2006). Sua curva de luz nessa banda apresenta uma modulação periódica, com amplitude da ordem de 0,5 mag. A magnitude média é $R_c \approx 16,9$, calculada a partir da estrela de referência *USNO B1 0906-0190476*. A forma da curva de luz é bastante similar à obtida por outros autores como Woudt et al. (2004) e Thorstensen e Armstrong (2005), mas nenhuma dessas observações foi feita na banda R, assim, a comparação do nível não pode ser feita adequadamente. Mas, de modo aproximado, o sistema apresenta brilho compatível com as das bandas adjacentes. Provavelmente, nas datas de nossas observações o sistema apresentava-se sem linhas de emissão, já que em janeiro de 2003 e janeiro de 2004 era esse o estado do sistema Thorstensen e Armstrong (2005).

Esse sistema foi o único da amostra monitorado com os dois tipos de lâminas reter-dadoras ($\lambda/2$ e $\lambda/4$). Com as observações com a lâmina retardadora $\lambda/2$ foi possível obter a polarização linear com um erro menor: os pontos pretos, no terceiro quadro da Figura 3.8. Os valores médios da polarimetria apresentados na Tabela 4.7 mostram uma polarização circular para FIRST J102347.6+003841 consistente com zero.

Tabela 4.7 - Valores médios da fotometria e polarimetria do sistema FIRST J102347.6+003841 e de uma estrela de campo de magnitude similar.

Objeto	Data	$\langle V \rangle$	σ_V	$\sigma_{\bar{V}}$	$\langle Mag \rangle$	σ_{mag}
VC	23-24 Abr 2003	-0,103	0,520	0,637	2,43	0,103
	24-25 Abr 2003	0,071	0,324	0,532	2,55	0,117
	25-26 Abr 2003	0,646	0,899	1,95	2,53	0,088
	26-27 Abr 2003	-	-	-	2,62	0,141
Estrela A5	23-24 Abr 2003	0,062	0,397	0,695	2,42	0,014
	24-25 Abr 2003	0,099	0,284	0,304	2,48	0,008
	25-26 Abr 2003	0,033	0,678	0,805	2,45	0,017
	26-27 Abr 2003	-	-	-	2,5081	0,0104
Legenda:	$\langle V \rangle$ - Polarização circular média σ_V - Valor médio dos erros da polarização circular $\sigma_{\bar{V}}$ - Desvio padrão da polarização circular $\langle Mag \rangle$ - Magnitude média σ_{mag} - Desvio padrão da magnitude					

4.6 1RXS J155412.7+272143

O sistema 1RXS J155412.7+272143 faz parte da amostra de VCs apresentada por Jiang et al. (2000) selecionada a partir de dados do ROSAT e do *Hamburg Quasar Survey*. Eles obtiveram o primeiro espectro óptico deste sistema que confirmou se tratar de uma VC. Esse espectro apresenta algumas linhas de emissão, como por exemplo H_α (λ 6563 Å), e uma forte contribuição da secundária, bem como uma componente contínua no azul. Tovmassiam et al. (2001) e Thorstensen e Fenton (2002) estudam 1RXS J155412.7+272143 com a mesma abordagem, fotometria e espectroscopia óptica, e chegam em conclusões muito semelhantes apresentadas a seguir. Curiosamente, esses dois trabalhos foram aceitos dentro de um intervalo de 5 dias. Ambos trabalhos sugerem que 1RXS J155412.7+272143 é um sistema do tipo AM Her. Nas bandas R e I, o sistema alterna entre estados de brilho com diferença da ordem de 0,5 mag em escala de tempo da ordem de um mês. No estado baixo, a variação fotométrica nessas bandas é dominada pela variação elipsoidal da secundária, que é mascarada por uma emissão adicional no estado alto. Do ponto de vista da espectroscopia, no estado baixo, a secundária tem uma contribuição dominante na região vermelha do espectro e apresenta também linhas de emissão. No estado alto,

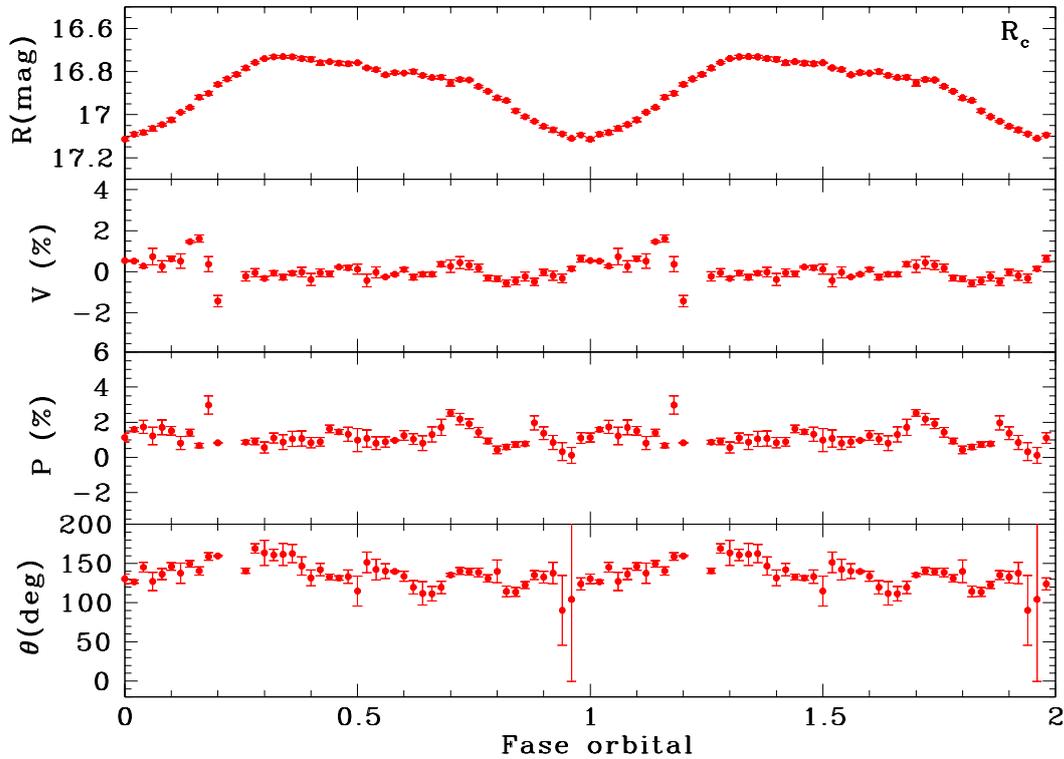


Figura 4.17 - Curvas de luz e curvas de polarização do sistema FISRT J102347.6+003841 no filtro R_c .

a secundária é menos visível no espectro, mas ainda presente, e aparecem linhas de emissão de maior excitação, como as do HeII (vide Figura 4.18). Tovmassiam et al. (2001) interpretam a nitidez do espectro da secundária, mesmo no estado de alto brilho, como uma baixa taxa de transferência de matéria. Esses autores também modelam os espectros observados incluindo a emissão ciclotrônica evidenciada pela presença de seus harmônicos (Figura 4.19). Tovmassiam et al. (2001) inclui também a análise de dados em raios-X. Destacamos que o espectro em raios-X de 1RXS J155412.7+272143 tem um componente "mole" bastante intenso. O período orbital do sistema é de aproximadamente 2,53 h (TOVMASSIAM et al., 2001).

Espectroscopia no ultravioleta distante foi realizada com o *Hubble Space Telescope* (HST) em 2003 (GÄNSICKE et al., 2004; ARAUJO-BETANCOR et al., 2005). O desdobramento Zeeman da linha $Ly\alpha$ permitiu uma estimativa para o campo magnético superficial da anã branca no valor de $B \approx 144$ MG (GÄNSICKE et al., 2004). Na

época, apenas 2 polares (AR UMa e V884 Her) apresentavam uma anã branca com campo magnético superior a 100 MG.

Em 2005, o sistema voltou a ser observado no óptico pelo SDSS (SCHWOPE *et al.*, 2006). No espectro observa-se a presença de um harmônico ciclotrônico, centrado em $\lambda \approx 4950 \text{ \AA}$ (ver Figura 4.20). Os autores explicam essa componente sendo produzida em uma região de baixíssima densidade e campo magnético de 110 MG. Eles também sugerem uma componente ciclotrônica no ultravioleta (UV) proveniente de uma região mais densa (com valores típicos de polares), mas com a mesma intensidade de campo magnético. Essa componente torna consistente as estimativas da temperatura da anã branca no óptico e no UV.

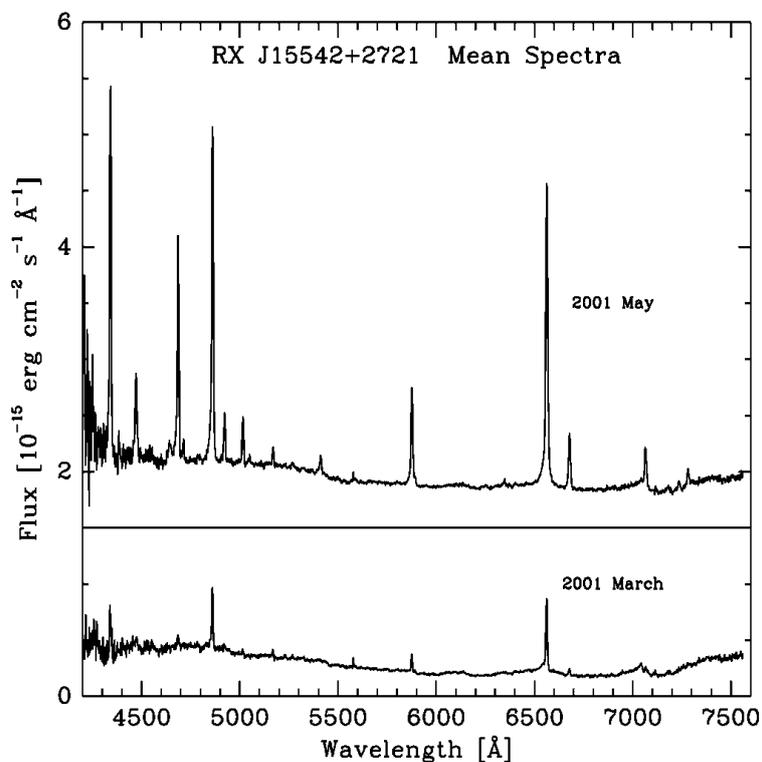


Figura 4.18 - Espectros da binária 1RXS J155412.7+272143. No painel superior o espectro obtido com dados de maio de 2001, enquanto no painel inferior o espectro foi obtido com dados de março de 2001.

Fonte: Thorstensen e Fenton (2002)

Na Figura 4.21, apresentamos os nossos dados para a binária 1RXS J155412.7+272143 nas bandas R_c e I_c combinados de acordo com as

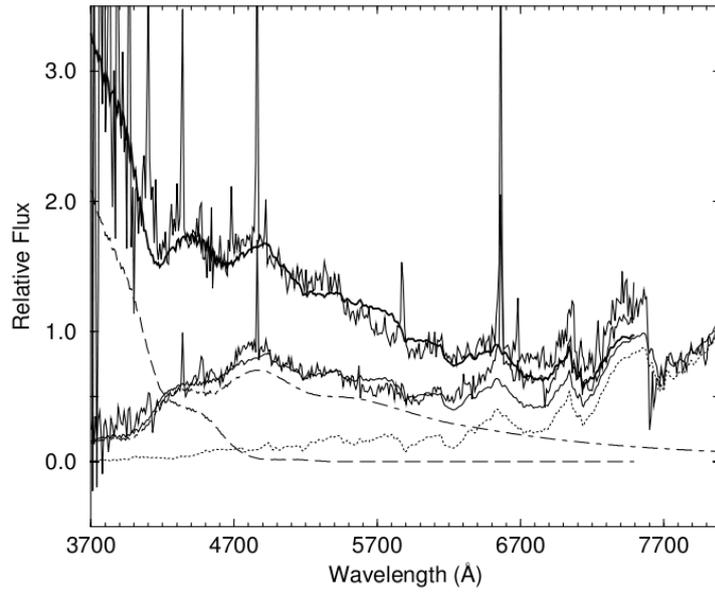


Figura 4.19 - As linhas sólidas finas representam os espectros no estado de alto e baixo brilho do sistema 1RXS J155412.7+272143. A linha pontilhada descreve o espectro teórico da secundária do sistema. As linhas tracejada e tracejada-pontilhada representam, respectivamente, os espectros teóricos de absorção e emissão da radiação ciclotrônica. A linha sólida grossa descreve o contínuo do sistema, obtido através de um ajuste dos fits de ambos os estados de brilho do sistema.

Fonte: [Tovmassiam et al. \(2001\)](#)

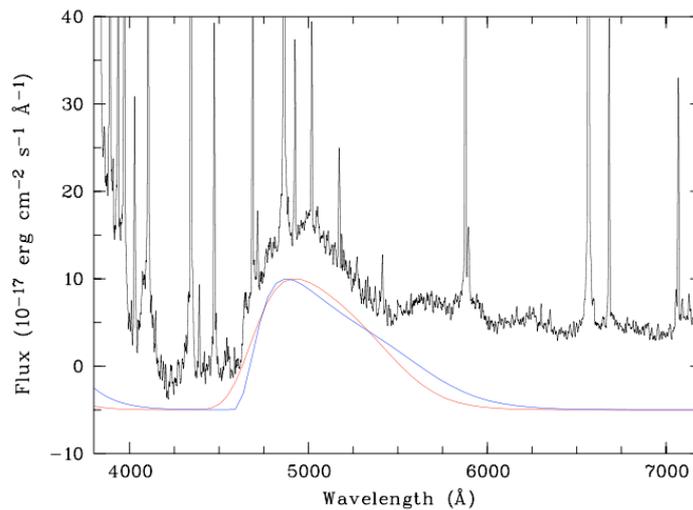


Figura 4.20 - Espectro cíclotron da binária 1RXS J155412.7+272143, onde observamos a presença de um harmônico ciclotrônico, centrado em $\lambda \approx 4950 \text{ \AA}$.

Fonte: [Schwope et al. \(2006\)](#)

efemérides de 0.105462 dias para o período orbital e $HJD = 2452079.791$ (THORSTENSEN; FENTON, 2002). Ambas curvas de luz mostram um único máximo por ciclo orbital com amplitudes da ordem de 0,3 mag nas duas bandas. As magnitudes médias nos filtros R_c e I_c são, respectivamente, 17,1 mag e 16,1 mag, valores calculados a partir da estrela de referência no campo *USNO B1 1173-0298589*. Essas curvas de luz são consistentes em forma e magnitude com o estado alto brilho. A Tabela 4.8 mostra os valores do desvio padrão das magnitudes da polar e da estrela *A6*, uma estrela de campo de magnitude similar, para cada noite de observação. Isso nos permite ter uma estimativa das incertezas associadas a cada ponto individual.

O deslocamento da fase de brilho mínimo com relação \tilde{A} fase zero pode ser interpretada como uma necessidade de refinamento das efemérides.

Nesse sistema as polarizações circular e linear não são consistentes com zero. Isso é particularmente evidente pela Figura 3.9, onde os pontos das diferentes noites são muito consistentes entre si. Entretanto, apesar de não nulos, os valores são baixos, se comparados ao observado para sistemas do tipo AM Her. A polarização na banda R_c oscila entre -2,5% e +1,5%, enquanto na banda I_c ela é sempre positiva, atingindo um valor máximo de 2%. Ressaltamos que esses valores pode estar incorretos por um fator multiplicativo de (-1). A inversão de sinal presente na banda R_c pode ser interpretada pela presença de duas regiões emissoras com polaridades diferentes ou pela observação de uma mesma região que ao longo do ciclo orbital é vista por diferentes ângulos de modo que a direção do campo magnético muda de sentido para o observador. O baixo valor de polarização pode ter como causa uma grande diluição da componente ciclotrônica por outras emissões no sistema, que no caso de 1RXS J155412.7+272143 é certamente a secundária, como já mostrado pelos trabalhos acima. A interpretação correta dessas observações deve ser feita através da modelagem da emissão ciclotrônica de polares. Em particular, esse objeto mostra-se muito interessante para uma modelagem simultânea da polarização e dos harmônicos ciclotrônicos em observações espectroscópicas resolvidas em fase.

Tabela 4.8 - Valores médios da fotometria e polarimetria do sistema 1RXS J155412.7+272143 e de uma estrela de campo de magnitude similar.

Objeto	Data	$\langle V \rangle$	σ_V	$\sigma_{\bar{V}}$	$\langle Mag \rangle$	σ_{mag}
VC	18-19 Mar 2004	-0,615	0,375	0,994	3,70	0,081
	20-21 Mar 2004	-1,68	0,483	0,970	3,76	0,084
	21-22 Mar 2004	-0,767	0,239	1,05	3,74	0,080
	22-23 Mar 2004	0,608	0,296	0,527	3,05	0,049
Estrela A6	18-19 Mar 2004	-0,030	0,354	0,607	4,12	0,002
	20-21 Mar 2004	-0,198	0,430	0,340	4,00	0,023
	21-22 Mar 2004	0,265	0,510	0,534	4,26	0,026
	22-23 Mar 2004	0,167	0,657	0,574	3,59	0,028
Legenda:	$\langle V \rangle$ - Polarização circular média σ_V - Valor médio dos erros da polarização circular $\sigma_{\bar{V}}$ - Desvio padrão da polarização circular $\langle Mag \rangle$ - Magnitude média σ_{mag} - Desvio padrão da magnitude					

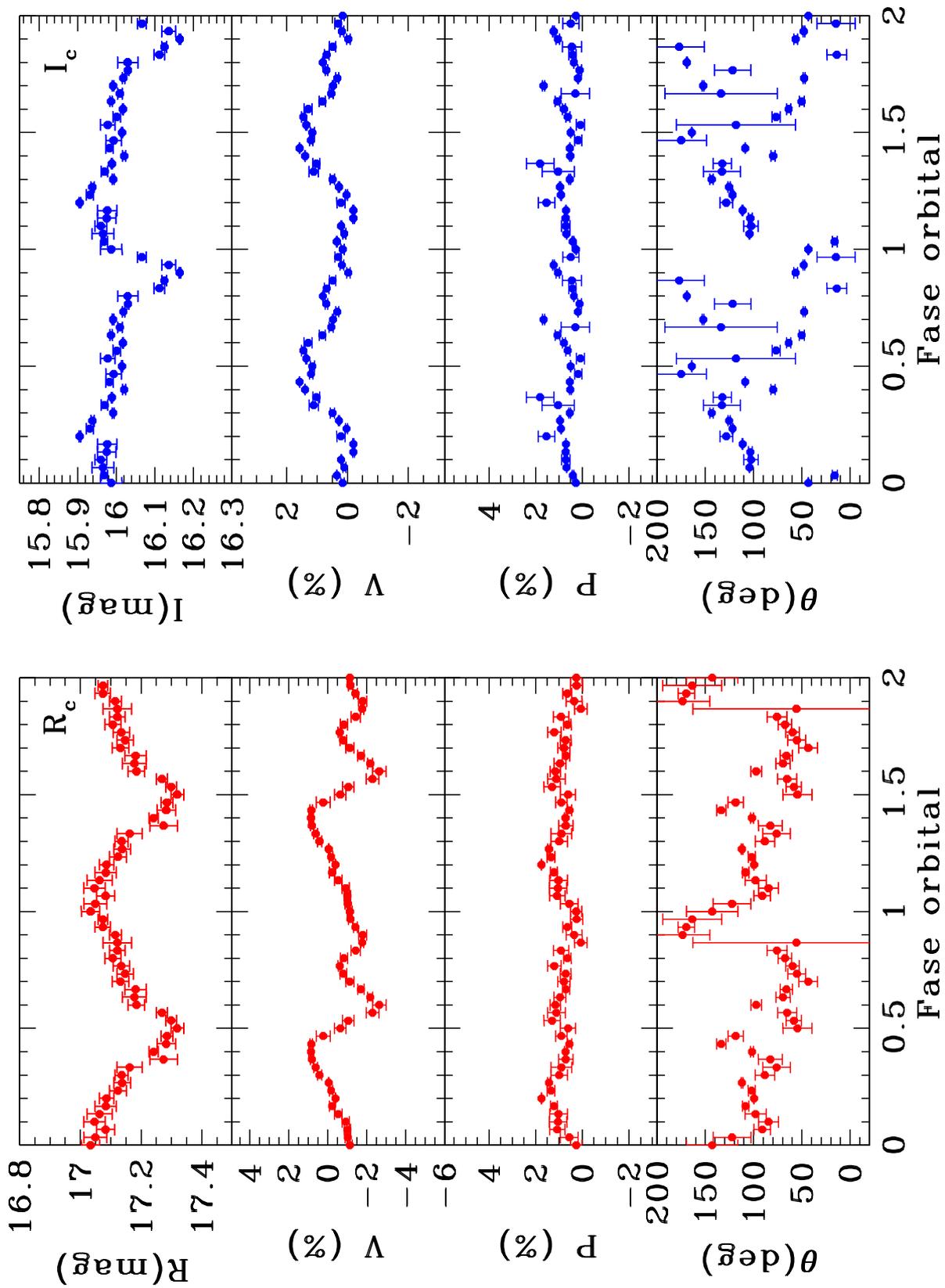


Figura 4.21 - Curvas de luz e curvas de polarização do sistema 1RXS J155412.7+272143 nos filtros R_c e I_c representadas, respectivamente, pelas curvas em vermelho e azul.

5 CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS

Neste trabalho, apresentamos um estudo polarimétrico de uma amostra, composta por seis objetos, de candidatos a VCs magnéticas. São eles: 1RXS J035410.4-165244, 1RXS J042555.8-194534, 1RXS J050146.2-035927, 1RXS J100734.4-201731, FIRST J102347.6+003841 e 1RXS J155412.7+272143. Nenhum destes sistemas tem polarização publicada até o momento, e alguns não possuem curva de luz determinada no óptico ou em bandas utilizadas neste trabalho. Recentemente, um dos objetos de nossa amostra inicial, FIRST J102347.6+003841, foi identificado como um pulsar, tendo como objeto compacto uma estrela de nêutrons (ARCHIBALD *et al.*, 2009). Resolvemos manter esse sistema nesta dissertação, já que as observações polarimétricas já tinham sido realizadas. Nossas observações foram realizadas com o telescópio Perkin Elmer de 1,6 m do OPD, usando a câmera CCD e a gaveta polarimétrica, nas bandas R_c e I_c . Foram utilizadas as lâminas retardadoras de meia onda ($\lambda/2$) e de quarto de onda ($\lambda/4$). Nossos resultados mostram valores baixos ou consistentes com zero para polarização circular de todos os seis sistemas analisados.

A seguir apresentamos um resumo de nossos resultados para cada sistema estudado.

O sistema 1RXS J035410.4-165244 apresenta variabilidade fotométrica com amplitude de 1 mag na banda I_C e encontrava-se, em nossas observações, cerca de 0,5 mag mais brilhante que em observações anteriores na mesma banda. O seu valor de polarização circular é consistente com zero com uma incerteza menor que 1%. Assim, não encontramos nesse sistema evidência de emissão ciclotrônica e, portanto, de acréscimo magnético. Esse sistema não parece ser uma polar.

Observamos o sistema 1RXS J042555.8-194534 no estado de alto brilho. Apesar desse objeto apresentar todas as características de uma polar, sua polarização circular é consistente com zero. Possíveis causas da baixa polarização deste sistema são discutidas a seguir. A existência de uma forte componente de origem não ciclotrônica, e assim não polarizada, poderia provocar uma diminuição na polarização observada para o sistema. Porém, não existe evidência da emissão da secundária no espectro e a não esperamos uma contribuição da anã branca nas bandas observadas. Assim, essa explicação parece pouco plausível. Supondo que a modulação orbital seja de origem ciclotrônica, que características levariam a valores muito baixos de polarização? A emissão ciclotrônica pode ser opticamente espessa, o que seria causado por uma maior densidade do fluxo de matéria oriundo da anã vermelha ou por

um baixo harmônico. O sistema, durante nossas observações, estava em um estado de alto brilho, o que poderia corroborar tal hipótese. Porém, as polares costumam ser polarizadas em ambos os estados de brilho. A geometria do sistema também determina a polarização. Por exemplo, se a coluna de acréscimo for vista por uma direção na qual o campo magnético seja aproximadamente perpendicular à linha de visada, esperamos que a polarização circular seja baixa. Em qualquer um dos casos, uma modelagem da emissão ciclotrônica do sistema seria necessária para testar cada hipótese.

A nossa fotometria de 1RXS J050146.2-035927 foi realizada na banda R_C , que não foi observada por outros autores. Mesmo assim, a magnitude que encontramos, 17,3 mag, é consistente com o valor observado na banda V em trabalhos anteriores. Assim, todas as observações desse sistema parecem ter sido realizadas no mesmo estado de brilho. O objeto mostra polarização circular baixa e diferente de zero e modulada entre valores positivos e negativos ao longo do ciclo orbital. A coluna parece ser observada de lado o que explicaria os baixos valores de polarização circular.

O sistema 1RXS J100734.4-201731 não tinha sido observado fotometricamente no óptico. Assim, nossas curvas de luz, obtidas nas bandas R_C e I_C , são as primeiras obtidas para esse sistema. As magnitudes médias obtidas são $R_C \approx 18,7$ e $I_C \approx 15,9$ mag. O objeto é variável fotometricamente mas não polarimetricamente. Em particular, a polarização circular do objeto é consistente com zero. Assim, a componente ciclotrônica é muito fraca ou inexistente nas bandas observadas.

O pulsar FIRST J102347.6+003841 apresenta fotometria consistente com publicações prévias e a polarização medida é consistente com zero, dentro das barras de erros.

A polar 1RXS J155412.7+272143 apresenta uma modulação pequena de fluxo e polarização, mas suficientes para identificar uma componente ciclotrônica. Os baixos valores de polarização desse sistema são causados provavelmente pela forte diluição da emissão da coluna pela emissão da estrela secundária.

Assim, dos seis sistemas estudados, dois não parecem ser VC magnéticas e não apresentam polarização mensurável. Os demais quatro objetos parecem ser polares, mas dois deles não apresentam polarização circular mensurável: 1RXS J042555.8-194534 e 1RXS J100734.4-201731. No último caso, o resultado pode ser explicado

em função do alto campo magnético do sistema e baixa taxa de acréscimo. Para 1RXS J042555.8-194534, entretanto, não é claro se o sistema possui emissão ciclotrônica e, se esse for o caso, o que levaria a valores extremamente baixos de polarização.

Essa dissertação mostra várias perspectivas de trabalho que podem contribuir com um melhor entendimento das VCs magnéticas. Os objetos de alto campo magnético podem ser observados em filtros mais para o azul, como o B ou V, com o objetivo de investigar a possibilidade da existência maiores valores de polarização nessas bandas do espectro.

Os objetos com a presença de harmônicos ciclotrônicos podem ser estudados através de espectroscopia em fase para que sejam estudados seu comportamento em função da fase orbital, já que eles são extremamente dependentes do ângulo entre observador e campo magnético.

Além da obtenção de mais dados, como sugerido nas perspectivas acima, é possível utilizar o código CYCLOPS (COSTA; RODRIGUES, 2009), para estudar esses sistemas, e as possíveis causas para os baixos valores de polarização encontrados para os mesmos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAÚJO-BETANCOR, S.; GÄNSICKE, B. T.; LONG, K. S.; BUERMANN, K.; MARTINO, D. de; SION, E. M.; SZKODY, P. Far-Ultraviolet Spectroscopy of Magnetic Cataclysmic Variables. **The Astrophysical Journal**, v. 622, p. 589–601, mar. 2005. [18](#), [69](#)
- ARCHIBALD, A. M.; STAIRS, I. H.; RANSOM, S. M.; KASPI, V. M.; KONDRATIEV, V. I.; LORIMER, D. R.; MCLAUGHLIN, M. A.; BOYLES, J.; HESSELS, J. W. T.; LYNCH, R.; LEEUWEN, J. V.; ROBERTS, M. S. E.; JENET, F.; CHAMPION, D. J.; ROSEN, R.; BARLOW, B. N.; DUNLAP, B. H.; REMILLARD, R. A. A Radio Pulsar/X-ray Binary Link. **Science**, v. 324, p. 1411–1414, jun. 2009. [43](#), [44](#), [65](#), [75](#)
- BERG, R. A.; DUTHIE, J. G. The nature of AM Herculis. **Astrophysical Journal**, v. 211, p. 859–865, fev. 1977. [14](#)
- BEUERMANN, K.; BURWITZ, V. Am hereulis binaries in the rosat era. In: BUCKLEY, D. A. H.; WARNER, B. (Ed.). **Cape Workshop on Magnetic cataclysmic variables**. Cape Town, San Francisco, USA: Astronomical Society of the Pacific, 1995. v. 85, p. 99–+. [64](#)
- BOND, H. E.; WHITE, R. L.; BECKER, R. H.; O'BRIEN, M. S. FIRST J102347.6+003841: The First Radio-selected Cataclysmic Variable. **Astronomical Society of the Pacific**, v. 114, p. 1359–1363, dez. 2002. [44](#), [65](#), [66](#)
- BURWITZ, V.; REINSCH, K.; BEUERMANN, K.; THOMAS, H. RX J0501.7-0359: a new ROSAT discovered eclipsing polar in the period gap. In: Hellier, C. & Mukai, K. (Ed.). **Annapolis Workshop on Magnetic Cataclysmic Variables**. [S.l.]: Astronomical Society of the Pacific Conference, 1999. v. 157, p. 127–132. [44](#), [55](#), [56](#), [57](#)
- BUTTERS, O. W.; KATAJAINEN, S.; NORTON, A. J.; LEHTO, H. J.; PIIROLA, V. Circular polarization survey of intermediate polars I. Northern targets in the range $17h < RA < 23h$. **Astronomy and Astrophysics**, v. 496, p. 891–902, mar. 2009. [1](#)
- COSTA, J. E. R.; RODRIGUES, C. V. Stokes imaging of AM Her systems using 3D inhomogeneous models - I. Description of the code and an application to V834

- Cen. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 398, p. 240–248, set. 2009. [23](#), [77](#)
- CROPPER, M. The Polars. **Space Science Reviews**, v. 54, p. 195–295, dez. 1990. [1](#), [5](#), [12](#), [14](#)
- DEEMING, T. J. Fourier Analysis with Unequally-Spaced Data. **Astrophysics and Space Science**, v. 36, p. 137–158, ago. 1975. [46](#)
- DOWNES, R. A.; WEBBINK, R. F.; SHARA, M. M.; RITTER, H.; KOLB, U.; DUERBECK, H. W. A Catalog and Atlas of Cataclysmic Variables: The Final Edition. **The Journal of Astronomical**, v. 11, dez. 2005. [15](#)
- DWORETSKY, M. M. A period-finding method for sparse randomly spaced observations of 'How long is a piece of string?'. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 203, p. 917–924, jun. 1983. [46](#)
- EGGLETON, P. P. Approximations to the radii of Roche lobes. **Astrophysical Journal**, v. 268, p. 368–369, maio 1983. [8](#)
- FERRARIO, L.; WEHRSE, R. Emission line formation in accretion funnels in am herculis systems. In: HELLIER, C.; MUKAI, K. (Ed.). **Annapolis Workshop on Magnetic Cataclysmic Variables, ASP Conference Series**. San Francisco: Astronomical Society of the Pacific, 1999. v. 157, p. 103–+. [17](#), [18](#)
- FRANK, J.; KING, A.; RAINE, D. J. **Accretion power in astrophysics**. [S.l.]: Cambridge University Press, 2002. 681 p. [9](#)
- GÄNSICKE, B. T.; JORDAN, S.; BEUERMAN, K.; MARTINO, D. D.; SZKODY, P.; MARSH, T. R.; THORSTENSEN, J. A 150 MG magnetic white dwarf in the cataclysmic variable RX J15554.2+2721. **The astrophysical journal**, v. 613, p. L141–L144, set. 2004. [44](#), [69](#)
- HEARN, D. P.; BOLEY, F.; TAPIA, S. 2A 0311-227. **International Astronomical Union Circular**, v. 3327, p. 2–+, fev. 1979. [15](#)
- HEARN, D. R.; RICHARDSON, J. A.; CLARK, G. W. Detection of soft X-ray emission from an unidentified source at high galactic latitude. **Astrophysical Journal Letters**, v. 210, p. L23–L26, nov. 1976. [14](#)

HELLIER, C. **Cataclysmic variables stars**. Chichester: Springer, 2001. 210 p. 5, 12, 45

HIND, J. R. On a new Variable Star. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 16, p. 56–56, jan. 1856. 4

HOMER, L.; SZKODY, P.; CHEN, B.; HENDEN, A.; SCHMIDT G. ANDERSON, S. F.; SILVESTRI, N. M.; BRINKMANN, J. XMM-Newton and Optical Follow-up Observations of SDSS J093249.57+472523.0 and SDSS J102347.67+003841.2. **The Astronomical Journal**, v. 131, p. 562–570, jan. 2006. 65

JIANG, X. J.; ENGELS, D.; WEI, J. Y.; TESCH, F.; HU, J. Y. New cataclysmic variables from the RASS. **The Publications of the Astronomical Society of the Pacific**, v. 362, p. 263–267, ago. 2000. 66

KRZEMINSKI, W.; SERKOWSKI, K. AN Ursae Majoris. **International Astronomical Union Circular**, v. 3039, p. 2–+, fev. 1977. 15

_____. Extremely high circular polarization of an Ursae Majoris. **Astrophysical Journal Letters**, v. 216, p. L45–L48, ago. 1977. 15

LAMB, D. Q.; MASTERS, A. R. X and UV radiation from accreting magnetic degenerate dwarfs. **Astrophysical Journal Letters**, v. 234, p. L117–L122, dez. 1979. 22

LINNELL, A. P.; SZKODY, P.; PLOTKIN, R. M.; HOLTZMAN, J.; SEIBERT, M.; HARRISON, T. E.; HOWELL, S. B. Galex and optical light curves of WX LMi, SDSSJ103100.5+202832.2 and SDSSJ121209.31+013627.7. **Astrophysical Journal**, v. 713, p. 1183–1191, abr. 2010. 18, 19

MAGALHÃES, A. M.; RODRIGUES, C. V.; MARGONINER, V. E.; PEREYRA, A.; HEATHCOTE, S. High Precision CCD Imaging Polarimetry. In: ROBERGE, W. G.; WHITTET, D. C. B. (Ed.). **Polarimetry of the Interstellar Medium**. San Francisco: Astronomical Society of the Pacific, 1996. v. 97, p. 118–+. 25

MEGGITT, S. M. A.; WICKRAMASINGHE, D. T. The polarization properties of magnetic accretion columns. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 198, p. 71–82, jan. 1982. 22, 24

MONET, D. G.; LEVINE, S. E.; CANZIAN, B.; ABLES, H. D.; BIRD, A. R.; DAHN, C. C.; GUETTER, H. H.; HARRIS, H. C.; HENDEN, A. A.; LEGGETT,

S. K.; LEVISON, H. F.; LUGINBUHL, C. B.; MARTINI, J.; MONET, A. K. B.; MUNN, J. A.; PIER, J. R.; RHODES, A. R.; RIEPE, B.; SELL, S.; STONE, R. C.; VRBA, F. J.; WALKER, R. L.; WESTERHOUT G. AND BRUCATO, R. J.; REID, I. N.; SCHOENING, W.; HARTLEY, M.; READ, M. A.; TRITTON, S. B. The USNO-B Catalog. **The Astronomical Journal**, v. 125, p. 984–993, fev. 2003. 32

O'DONOGHUE, D.; BUCKLEY, D. A. H.; BALONA, L. A.; BESTER, D.; BOTHA, L.; BRINK, J.; CARTER, D. B.; CHARLES, P. A.; CHRISTIANS, A.; EBRAHIM, F.; EMMERICH, R.; ESTERHUYSE, W.; EVANS, G. P.; FOURIE, C.; FOURIE, P.; GAJJAR, H.; GORDON, M.; GUMEDE, C.; KOCK, M. de; KOESLAG, A.; KOORTS, W. P.; KRIEL, H.; MARANG, F.; MEIRING, J. G.; MENZIES, J. W.; MENZIES, P.; METCALFE, D.; MEYER, B.; NEL, L.; O'CONNOR, J.; OSMAN, F.; PLESSIS, C. D.; RALL, H.; RIDDICK, A.; ROMERO-COLMENERO, E.; POTTER, S. B.; SASS, C.; SCHALEKAMP, H.; SESSIONS, N.; SIYENGO, S.; SOPELA, V.; STEYN, H.; STOFFELS, J.; SCHOLTZ, J.; SWART, G.; SWAT, A.; SWIEGERS, J.; TIHELI, T.; VAISANEN, P.; WHITTAKER, W.; WYK, F. van. First science with the Southern African Large Telescope: peering at the accreting polar caps of the eclipsing polar SDSS J015543.40+002807.2. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 372, p. 151–162, out. 2006. 16

PEREYRA, A. **Dust and magnetic field in dense regions of the interstellar medium**. Tese (Doutorado) — Depto.de Astronomia, Instituto AstronÃ´mico e GeofÃsico (USP), 2000. 26

POGSON, N. Catalogue of 53 Variable Stars, with Notes. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 16, p. 185–+, maio 1856. 4

_____. On the Variable Star U Geminorum. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 17, p. 200–202, maio 1857. 4

RAMSAY, G.; CROPPER, M. XMM-Newton observations of the polars EV UMa, RX J1002-19 and RX J1007-20. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 338, p. 219–226, jan. 2003. 59, 61

_____. The energy balance of polars revisited. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 347, p. 497–507, jan. 2004. 55

REINSCH, K.; BURWITZ, V.; BEUERMANN, K.; HANS-CHRISTOPH, T.
ROSAT - discovered high-field magnetic CVs. In: HELLIER, C.; MUKAI, K. (Ed.).
Annapolis workshop on Magnetic Cataclysmic Variables. San Francisco:
Astronomical Society of the Pacific, 1999. v. 157, p. 187–194. [44](#), [59](#), [60](#), [62](#), [64](#)

RODRIGUES, C. V.; CIESLINSKI, D.; JABLONSKI, F. J.; D'AMICO, F.;
STEINER, J. E.; DIAZ, M. P.; HICKEL, G. R. Circular polarimetry of magnetic
cataclysmic variables. In: ADAMSON, A.; ASPIN, C.; DAVIS, C. J.; FUJIYOSHI,
T. (Ed.). **Astronomical polarimetry: current status and future directions**
ASP conference series. Waikoloa, Hawai'i, USA: Astronomical Society of the
Pacific, 2005. v. 343, p. 401–+. [2](#)

RODRIGUES, C. V.; CIESLINSKI, D.; STEINER, J. E. Polarimetry and
spectroscopy of the polar RX J1141.3-6410. **Astronomy and Astrophysics**,
v. 335, p. 979–984, jul. 1998. [92](#), [93](#)

RODRIGUES, C. V.; JABLONSKI, F. J.; D'AMICO, F.; CIESLINSKI, D.;
STEINER, J. E.; DIAZ, M. P.; HICKEL, G. Optical polarimetry and infrared
photometry of two AM Her binaries: 1RXS J161008.0+035222 and 1RXS
J231603.9-052713. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**,
v. 369, p. 1972–1982, set. 2006. [2](#)

SCARINGI, S.; BIRD, A. J.; NORTON, A. J.; KNIGGE, C.; HILL, A. B.;
CLARK, D. J.; DEAN, A. J.; MCBRIDE, V. A.; BARLOW, E. J.; BASSANI, L.;
BAZZANO, A.; FIOCCHI, M.; LANDI, R. Hard x-ray properties of magnetic
cataclysmic. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 401, p.
2207–2218, fev. 2010. [13](#)

SCHMIDT, G. D.; SZKODY, P.; HENDEN, A.; ANDERSON, S. F.; MARGON,
B.; SCHNEIDER, D. P. Two additions to the new class of low accretion rate
magnetic binary. **The Astronomical Journal**, v. 654, p. 521–526, jan. 2007. [17](#),
[19](#), [20](#)

SCHMIDT, G. D.; SZKODY, P.; HOMER, L.; SMITH, P. S.; CHEN, B.;
HENDEN, A.; SOLHEIM, J.-E.; WOLFE, M. A.; GREIMEL, R. Unraveling the
Puzzle of the Eclipsing Polar SDSS J015543.40+002807.2 with XMM and Optical
Photometry/Spectropolarimetry. **The Astronomical Journal**, v. 620, p.
422–431, fev. 2005. [19](#)

SCHMIDT, G. D.; SZKODY, P.; VANLANDINGHAM, K. M.; ANDERSON, S. F.; BARENTINE, J. C.; BREWINGTON, H. J.; HALL, P. B.; HARVANEK, M.; KLEINMAN, S. J.; LONG, J. K. D.; MARGON, B.; JR., E. H. N.; NEWMAN, P. R.; NITTA, A.; SCHNEIDER, D. P.; SNEDDEN, A. New low accretion rate magnetic binary systems and their significance for the evolution of cataclysmic variables. **The Astronomical Journal**, v. 630, p. 1037–1053, set. 2005. 17

SCHWOPE, A. D.; BRUNNER, H.; BUCKLEY, D.; GREINER, J.; HEYDEN, K. v. d.; NEIZVESTNY, S.; POTTER, S.; SCHWARZ, R. The census of cataclysmic variables in the ROSAT Bright Survey. **Astronomy and Astrophysics**, v. 396, p. 895–910, dez. 2002. 44, 45, 51, 52, 53

SCHWOPE, A. D.; BRUNNER, H.; HAMBARYAN, V.; SCHWARZ, R. LARPs – Low-accretion rate polars. In: B. T. Gänsicke, K. Beuermann, & K. Reinsch (Ed.). **The Physics of Cataclysmic Variables and Related Objects**. [S.l.: s.n.], 2002. (Astronomical Society of the Pacific Conference Series, v. 261), p. 102–+. 17

SCHWOPE, A. D.; GOMEZ-MORAN, A. N.; SCHREIBER, M. R.; GÄNSICKE, B. T. Post common envelope binaries from the SDSS. VI. SDSS J120615.73+510047.0: a new low accretion rate magnetic binary. **Astronomy and Astrophysics**, v. 500, p. 867–872, jun. 2009. 17

SCHWOPE, A. D.; SCHREIBER, M. R.; SZKODY, P. A 110 MG cyclotron harmonic in the optical spectrum of RX J1554.2+2721. **Astronomy and Astrophysics**, v. 452, p. 955–958, fev. 2006. 69, 72

SEDS. **The Milky Way Galaxy**. 2007. Disponível em:

<<http://www.seds.org/messier/more/mw.html>>. Acesso em: 20 Julho 2010. 3

SILVA, K. M. G. **Polarimetria optica e modelagem da polar FL Ceti**. 90 p. Dissertação (Mestrado) — Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2009. Disponível em:

<<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m17@80/2009/02.04.18.04>>. 2

STELLINGWERF, R. F. Period determination using phase dispersion minimization. **Astrophysical Journal**, v. 224, p. 953–960, set. 1978. 46

SZKODY, P.; FRASER, O.; SILVESTRI, N.; HENDEN, A.; ANDERSON, S. F.; FRITH, J.; LAWTON, B.; OWENS, E.; RAYMOND, S.; SCHMIDT, G.; WOLFE, M.; BOCHANSKI, J.; COVEY, K.; HARRIS, H.; HAWLEY, S.; KNAPP, G. R.;

MARGON, B.; VOGES, W.; WALKOWICZ, L.; BRINKMANN, J.; LAMB, D. Q. Cataclysmic Variables from the Sloan Digital Sky Survey. II. The Second Year. **The Astrophysical Journal**, v. 126, p. 1499–1514, set. 2003. 65

TAPIA, S. Discovery of a magnetic compact star in the AM Herculis/3U 1809+50 system. **Astrophysical Journal Letters**, v. 212, p. L125–L129, mar. 1977. 15

_____. VV Puppis. **International Astronomical Union Circular**, v. 3054, p. 1–+, mar. 1977. 15

TAPIA, S.; IN, E. AM Herculis. **International Astronomical Union Circular**, v. 2987, p. 2–+, set. 1976. 15

THORSTENSEN, J. R.; ARMSTRONG, E. Is FIRST J102347.6+003841 Really a Cataclysmic Binary? **The Astronomical Journal**, v. 130, p. 759–766, ago. 2005. 65, 67

THORSTENSEN, J. R.; FENTON, W. H. RX J15542+2721: An Apparently Magnetic Cataclysmic Variable with a 2.53 Hour Orbital Period. **The Publications of the Astronomical Society of the Pacific**, v. 114, p. 74–82, ago. 2002. 66, 70

THORSTENSEN, J. R.; SÉBASTIEN, L.; MICHAEL, S. The Unusual Cataclysmic Binary Star RBS 0490 and the Space Density of Cataclysmic Variables. **The Publications of the Astronomical Society of the Pacific**, v. 118, p. 1238–1244, set. 2006. xv, 44, 45, 46, 48

TOVMASSIAM, G. H.; GREINER, J.; ZHARIKOV, S. V.; ECHEVARRÍA, J.; KNIAZEV, A. The new cataclysmic variable RX J1554.2+2721 in the period gap. **Astronomy and Astrophysics**, v. 380, p. 504–515, dez. 2001. 13, 66, 69, 71

TOVMASSIAN, G. H.; GREINER, J.; ZHARIKOV, S. V.; ECHEVARRÍA, J.; KNIAZEV, A. The new cataclysmic variable RX J1554.2+2721 in the period gap. **Astronomy and Astrophysics**, v. 380, p. 504–515, set. 2001. 44

URNSHEK, D. A.; BOHLIN, R. C.; II, R. L. W.; LUPIE, O. L.; KOORNEEF, J.; MORGAN, D. H. An Atlas of Hubble Space Telescope Photometric, Spectrophotometric, and Polarimetric Calibration Objects. **The Astrophysical Journal**, v. 99, p. 1243–1261, abr. 1990. 33

UNIVERSIDADE DE BERKELEY. **Milky Way galaxy is warped and vibrating like a drum**. 2006. Disponível em:
<http://www.berkeley.edu/news/media/releases/2006/01/09_warp.shtml>.
Acesso em: 20 Julho 2010. 3

VOGEL, J.; SCHWOPE, A. D.; GÄNSICKE, B. T. An in-depth study of the pre-polar candidate WX Leonis Minoris. **Astronomy and Astrophysics**, v. 464, p. 647–658, mar. 2007. 17, 18

VOGES, W.; ASCHENBACH, B.; BOLLER, T. e. a. The rosat all sky survey bright source catalogue (1rxs). In: **IAUC 6420**. [s.n.], 1996. Disponível em:
<<http://rosat.mpe-garching.mpg.de/survey/rass-bsc/>>. 55, 59

WARNER, B. **Cataclysmic variable stars**. Cambridge: Cambridge University Press, 1995. 572 p. 5, 11, 12, 15, 16

WICKRAMASINGHE, D. T.; FERRARIO, L. Accretion and magnetic field structure in AM Herculis systems. **New Astronomy Reviews**, v. 44, p. 69–74, abr. 2000. 15, 20

WICKRAMASINGHE, D. T.; MEGGITT, S. M. A. The polarization properties of magnetic accretion columns. III - A grid of uniform temperature and shock front models. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 214, p. 605–618, jun. 1985. 22

WIKIPÈDIA. **Polarização**. 2010. Disponível em:
<<http://pt.wikipedia.org/wiki/Polarizaçã{o}>>. Acesso em: 23 abril 2010. 92

_____. **Variável Cataclísmica**. 2010. Disponível em:
<http://pt.wikipedia.org/wiki/Variável_Cataclísmica>. Acesso em: 19 abril 2010. 7

WOUDT, P. A.; WARNER, B.; PRETORIUS, M. L. High-speed photometry of faint cataclysmic variables - IV. V356 Aql, Aqr1, FIRST J1023+0038, HÎ±0242 – 2802, *GIMon*, *AOOct*, *V972Oph*, *SDSS0155 + 00*, *SDSS0233 + 00*, *SDSS1240 – 01*, *SDSS1556 – 00*, *SDSS2050 – 05*, *FHSer*. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 351, p.1015–1025, jul.2004. 65

WU, K. Accretion onto magnetic white dwarfs. **Space Science Reviews**, v. 93, p. 611–649, abr. 2000. [19](#)

WU, K.; KISS, L. L. High and low states of the system AM Herculis. **Astronomy and Astrophysics**, v. 481, p. 433–439, abr. 2008. [16](#)

ZHANG, C. M.; WICKRAMASINGHE, D. T.; FERRARIO, L. Is there evidence for field restructuring or decay in accreting magnetic white dwarfs? **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 397, p. 2208–2215, ago. 2009. [15](#)

APÊNDICE A - POLARIZAÇÃO

Polarização é uma medida que quantifica se a amplitude do campo elétrico possui uma direção preferencial. Quando um feixe é completamente polarizado, o extremo do vetor que representa a amplitude do campo elétrico descreve uma elipse no plano perpendicular ao de propagação.

Quanto a polarização, a radiação eletromagnética pode ser classificada como linearmente polarizada, circularmente polarizada ou elipticamente polarizada. No primeiro caso, o campo elétrico irá descrever uma reta no plano, quando a reta descrita coincide com um dos eixos de referência, por exemplo o eixo-x, dizemos que a luz é x-polarizada, da mesma forma podemos ter uma luz y-polarizada. No segundo caso, a amplitude do vetor campo elétrico é a mesma em todas as direções e a extremidade do vetor campo elétrico descreve, no plano perpendicular ao de propagação, um círculo. Num caso mais geral podemos ter luz linearmente polarizada numa direção qualquer, onde poderíamos decompor essa polarização em duas componentes lineares, uma x-polarizada e outra y-polarizada. Finalmente, no terceiro caso, descreve-se uma elipse no plano perpendicular ao de propagação, nessa situação a amplitude do vetor campo elétrico não é constante, apresentando valores distintos, por exemplo, no plano xy .

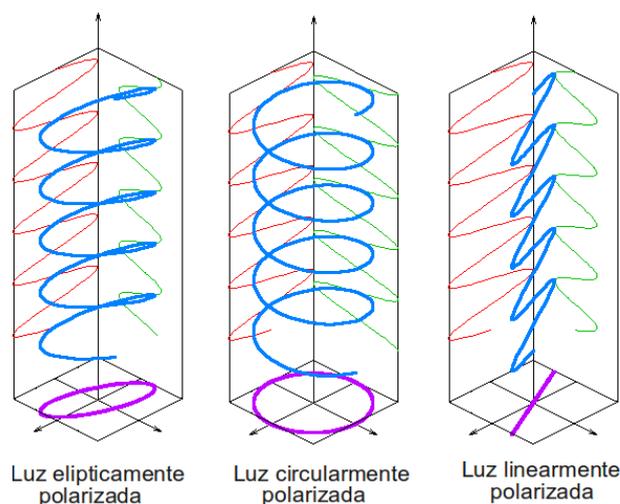


Figura A.1 - Formas de polarização
Fonte: Wikipédia (2010a)

Quando um feixe é totalmente não polarizado os vetores elétricos distribuem-se de forma aleatória. Na natureza é muito difícil observar luz completamente polarizada, geralmente observamos um feixe parcialmente polarizado. Uma forma de facilitar a análise da polarização é decompor este feixe em duas componentes: uma componente polarizada e outra não polarizada.

Um feixe de radiação eletromagnética pode ser descrito através dos parâmetros de Stokes, S:

$$S = \begin{bmatrix} I \\ Q \\ U \\ V_f \end{bmatrix} \quad (\text{A.1})$$

onde I é a intensidade, Q e U definem a polarização linear e V_f define a polarização circular.

O grau de polarização linear é dado por:

$$P = \frac{(Q^2 + U^2)^{1/2}}{I} \quad (\text{A.2})$$

O grau de polarização circular é dado por:

$$V = \frac{V_f}{I} \quad (\text{A.3})$$

A polarização de um feixe de luz pode ser representada pelos parâmetros de Stokes. Para o caso da lâmina retardadora de quarto de onda, os fluxos das imagens ordinária e extraordinária apresentam uma dependência com os parâmetros de Stokes dado por [Rodrigues et al. \(1998\)](#):

$$\begin{aligned} 2I_o &= I + q \cos^2 2\alpha + u \sin 2\alpha \cos 2\alpha - v \sin 2\alpha \\ 2I_e &= I - q \cos^2 2\alpha - u \sin 2\alpha \cos 2\alpha + v \sin 2\alpha, \end{aligned} \quad (\text{A.4})$$

onde I_o e I_e são, respectivamente, o fluxo das imagens ordinária e extraordinária, α

é o ângulo da posição da lâmina retardadora $\lambda/4$ e I , q , u , e v são os parâmetros de Stokes do feixe de entrada.

Os parâmetros de Stokes são obtidos a partir das relações (RODRIGUES et al., 1998):

$$\begin{aligned} Q &= \frac{1}{3} \sum Z_i \cos^2 2\alpha_i, \\ U &= \sum Z_i \sin 2\alpha_i \cos 2\alpha_i, \\ V &= -\frac{1}{4} \sum Z_i \sin 2\alpha_i, \end{aligned} \tag{A.5}$$

onde α_i é o ângulo da lâmina retardadora na posição i ($i = 1$ a 16), Q , U e V são os parâmetros de Stokes do feixe de entrada, normalizados.

Sendo F_o e F_e , respectivamente, as contagens dos feixes ordinário e extraordinário, obtidas da fotometria de abertura, a quantidade Z_i é definida como:

$$Z_i = \frac{F_o - F_e}{F_o + F_e}. \tag{A.6}$$

A quantidade Z_i é função dos parâmetros de Stokes, para cada uma das posições da lâmina. Podemos determinar o vetor de Stokes incidente, usando o método de χ^2 , a partir de um conjunto de imagens obtidas.

APÊNDICE B - CURVAS DE LUZ E DE POLARIZAÇÃO DOS CAMPOS ESTUDADOS

Neste apêndice, apresentamos alguns resultados para estrelas de campo que são úteis na discussão da variabilidade fotométrica e polarimétrica dos objetos de programa.

Nas figuras B.1 à B.6, apresentamos curvas de luz da fotometria diferencial de estrelas de campo, para cada um dos campos analisados (ver Seccão 3.2), onde cada curva representa a curva de luz de uma estrela do campo. Essas curvas de luz são importantes no momento de escolha da estrela de referência do sistema: se todas as curvas mostram o mesmo padrão de variabilidade, provavelmente ele é devido à variação da estrela de referência, que deve, então, ser descartada. Na figura B.7 temos um exemplo, onde essa análise nos ajudou a descartar uma dada estrela como referência, uma vez que por estar próxima às bordas do CCD sofria o efeito *vignetting* descrito no Capítulo 3. A variabilidade da estrela de referência devida ao *vignetting* foi propagada para as demais estrelas. Esse efeito não ocorre na Figura B.4, referente ao mesmo campo, onde escolhemos outra estrela de referência. Além de problemas instrumentais, esse gráfico nos permite analisar se a estrela de referência é intrinsecamente variável.

Uma vez escolhida uma estrela de referência adequada podemos analisar, a partir deste gráfico, se o candidato \tilde{A} variável cataclísmica magnética é de fato um objeto variável ou não. Em casos como o do sistema 1RXS J050146.2-035927 e da FIRST J102347.6+003841 esta análise não é necessária, pois os sistemas são obviamente variáveis (ver Figuras 4.10 e 4.17). Entretanto, para sistemas como 1RXS J035410.4-165244, 1RXS J042555.8-194534, 1RXS J100734.4-201731 e 1RXS J155412.7+272143, essa análise é determinante na conclusão da variabilidade ou não do sistema. Essa análise é feita no Capítulo 4.

As figuras B.8 à B.13 apresentam as curvas polarimétricas de estrelas não polarizadas, de magnitude similar as VCs estudadas. Essas estrelas são identificadas na Figura 3.3 pela letra A, seguida de um número. Como estes objetos supostamente não são polarizados, suas curvas de polarização podem ser usadas como um padrão do que é esperado para uma polarização circular nula. O painel superior representa a polarização circular, o painel do meio a polarização linear e o painel inferior representa o ângulo polarimétrico.

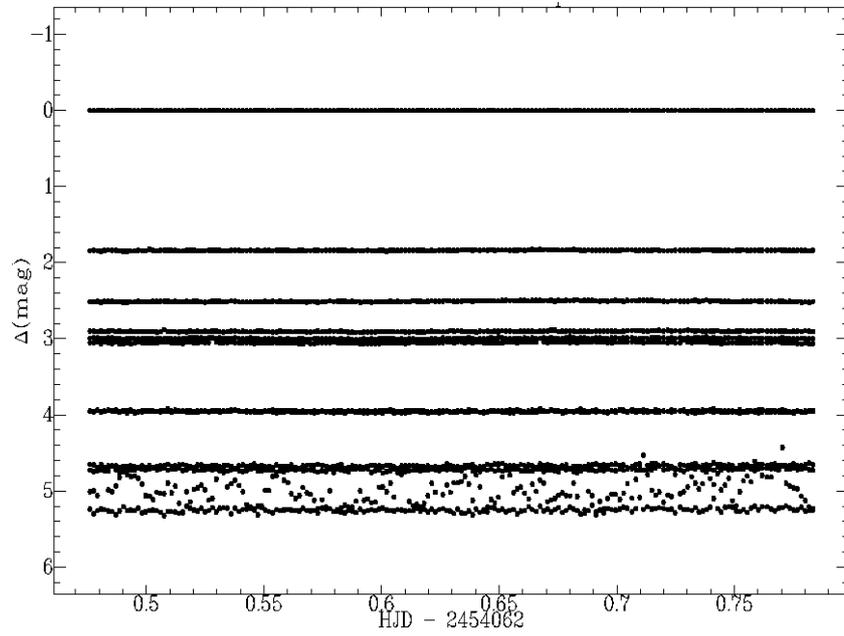


Figura B.1 - Curva de luz do campo do sistema 1RXS J035410.4-165244

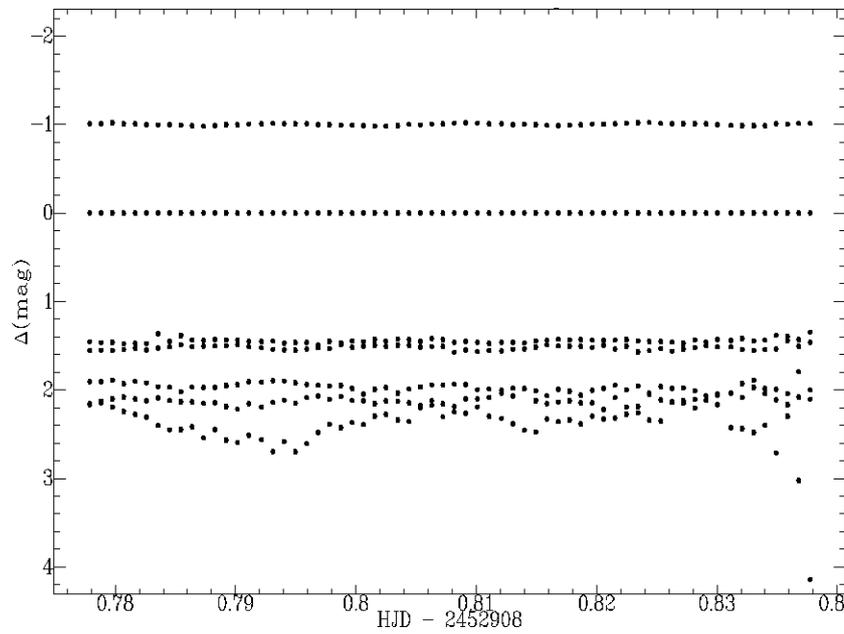


Figura B.2 - Curva de luz do campo do sistema 1RXS J042555.8-194534

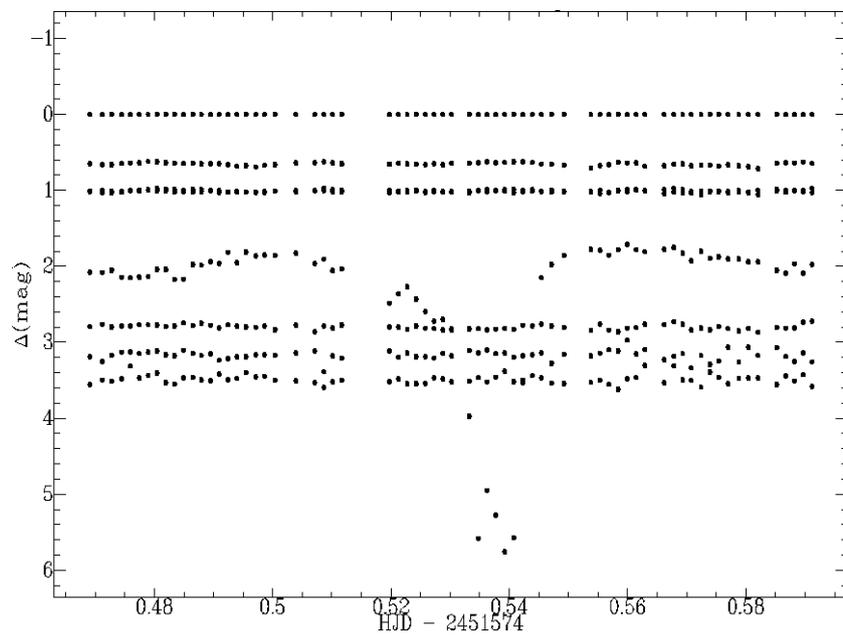


Figura B.3 - Curva de luz do campo do sistema 1RXS J050146.2-035937

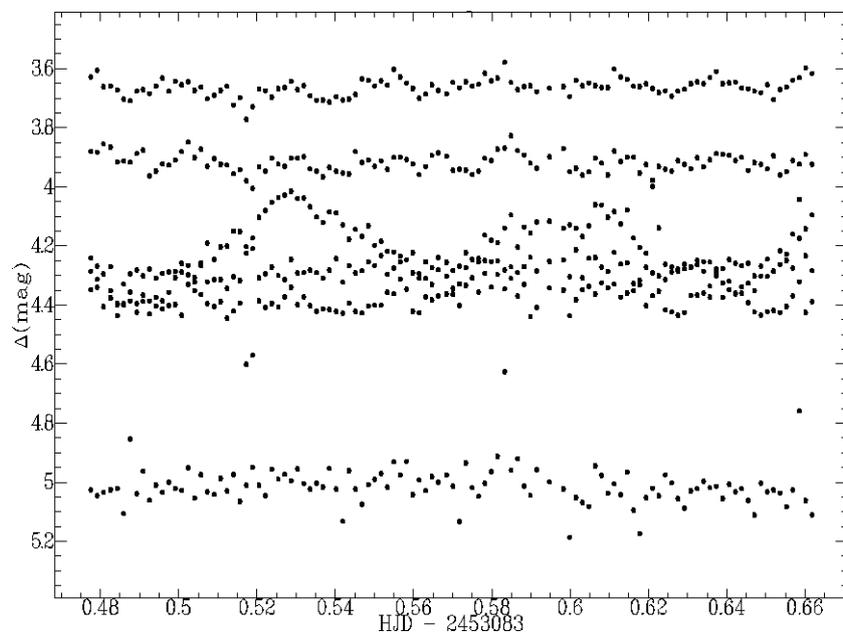


Figura B.4 - Curva de luz do campo do sistema 1RXS J100734.4-201731

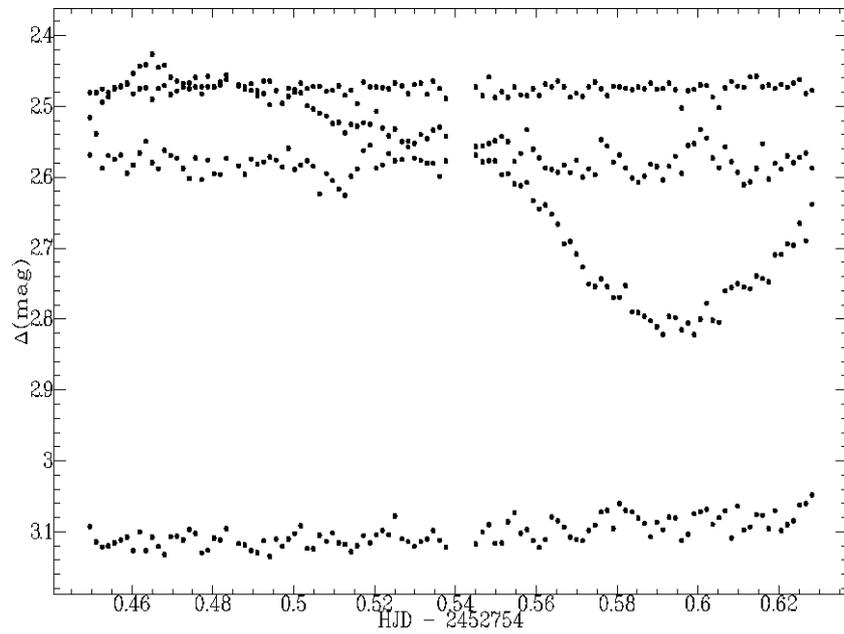


Figura B.5 - Curva de luz do campo do sistema FIRST J102347.6+003841

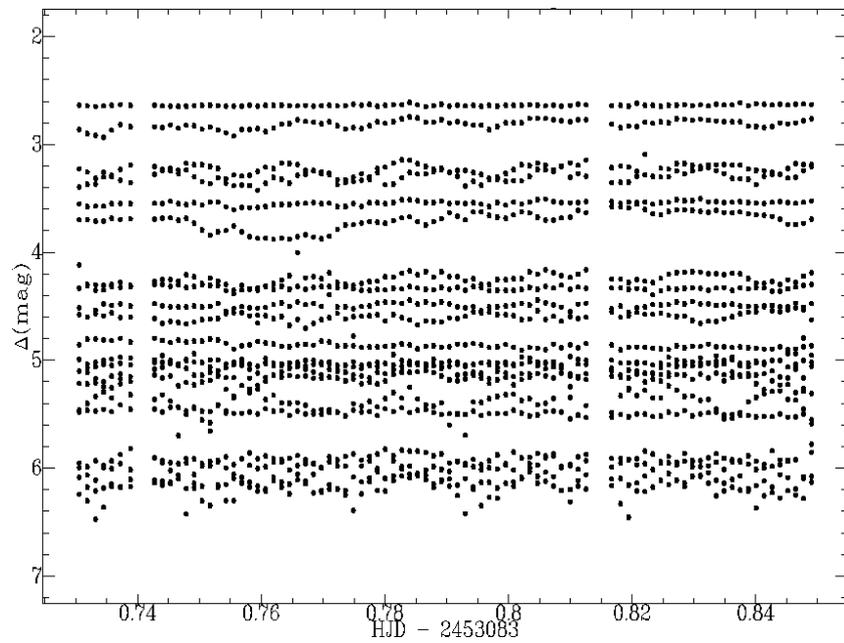


Figura B.6 - Curva de luz do campo do sistema 1RXS J155412.7+272143

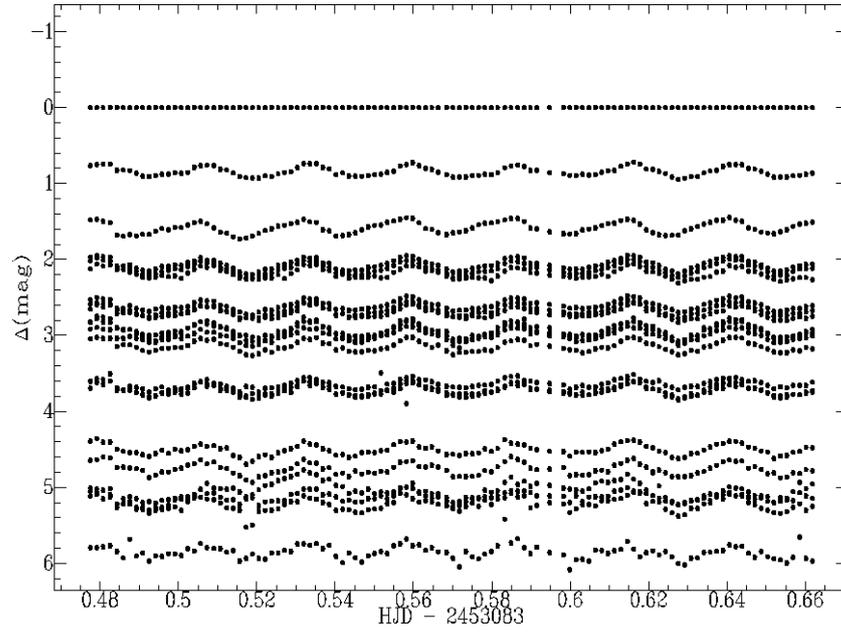


Figura B.7 - Curva de luz do campo do sistema 1RXS J100734.4-201731, cuja estrela de referência apresenta *vignetting*.

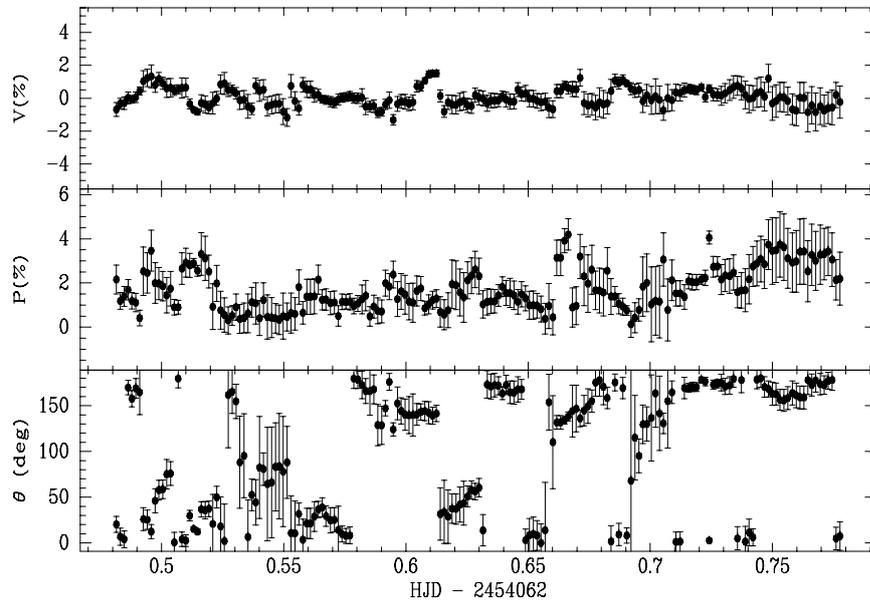


Figura B.8 - Curvas polarimétricas de uma estrela não variável presente no campo do sistema 1RXS J035410.4-165244.

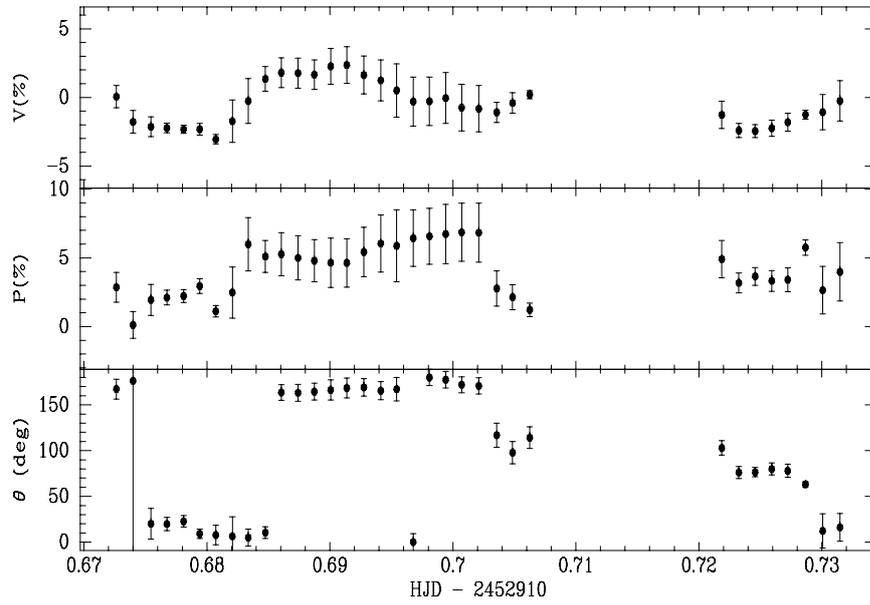


Figura B.9 - Curvas polarimétricas de uma estrela não variável presente no campo do sistema 1RXS J042555.8-194534.

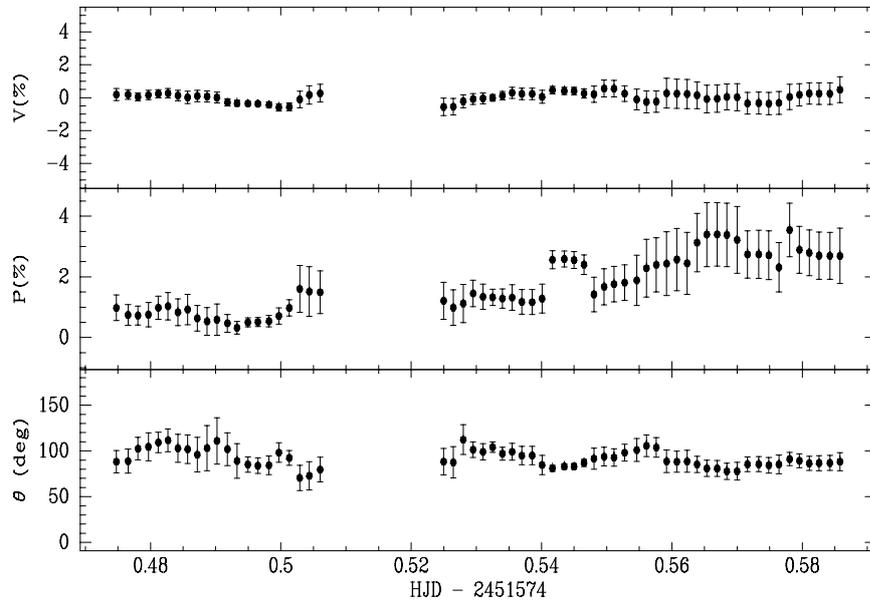


Figura B.10 - Curvas polarimétricas de uma estrela não variável presente no campo do sistema 1RXS J050146.2-035927.

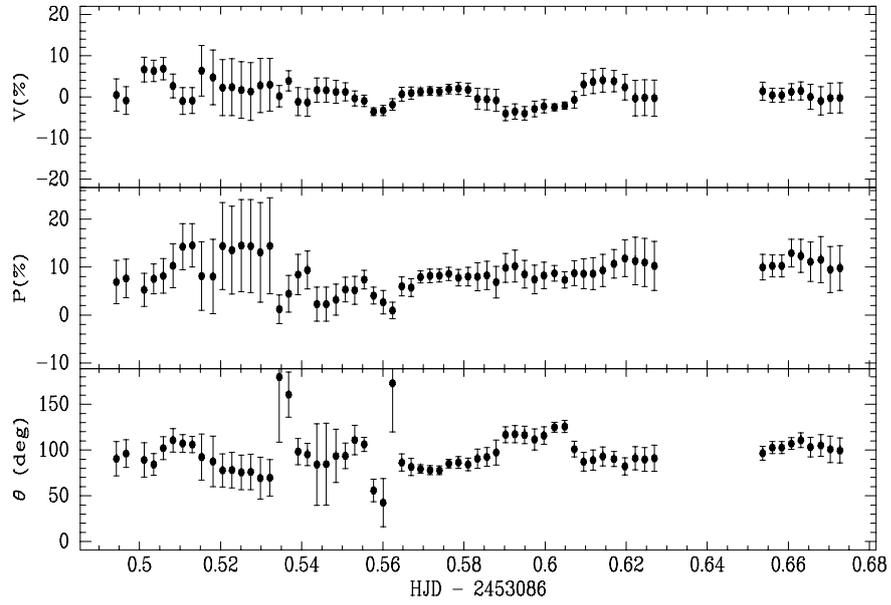


Figura B.11 - Curvas polarimétricas de uma estrela não variável presente no campo do sistema 1RXS J100734.4-201731.

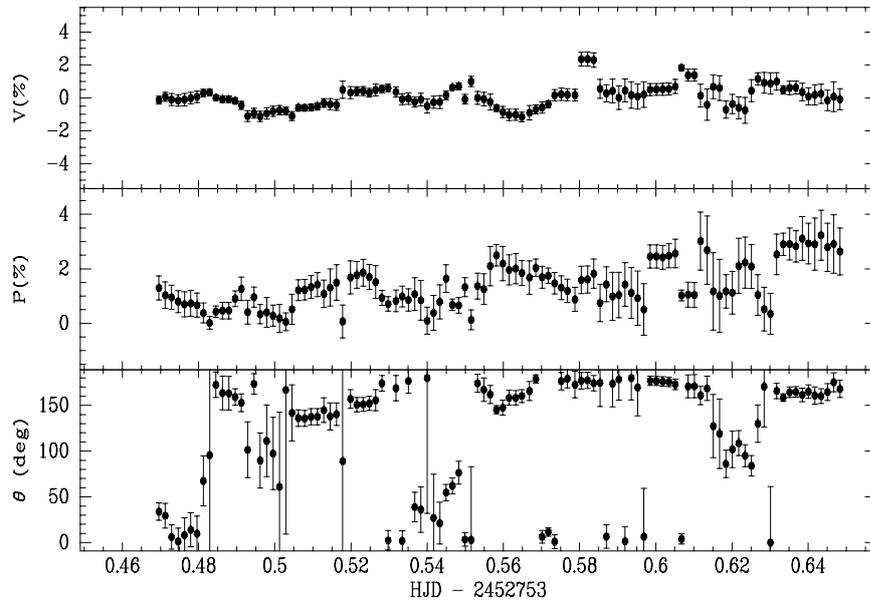


Figura B.12 - Curvas polarimétricas de uma estrela não variável presente no campo do sistema FIRST J102347.6+003841.

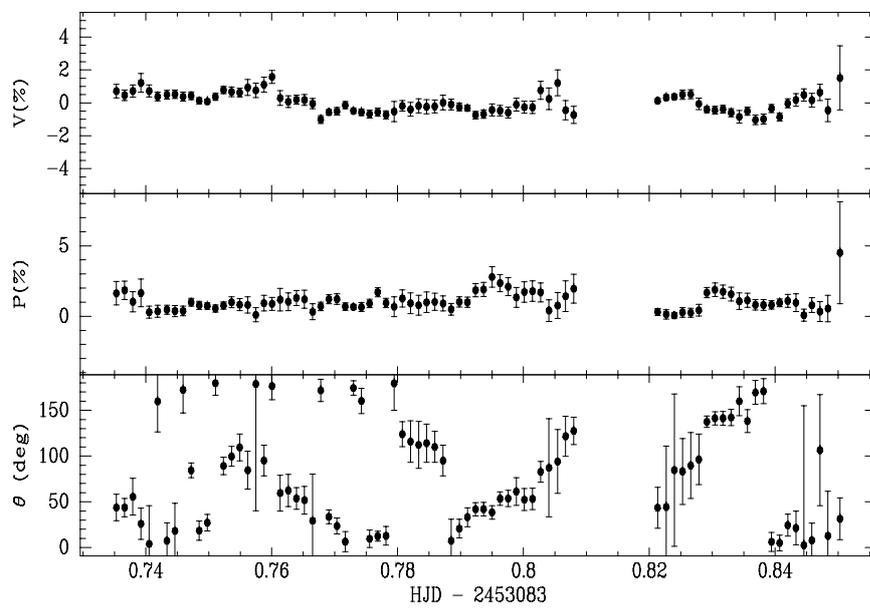


Figura B.13 - Curvas polarimétricas de uma estrela não variável presente no campo do sistema 1RXS J155412.7+272143.

PUBLICAÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS EDITADAS PELO INPE

Teses e Dissertações (TDI)

Teses e Dissertações apresentadas nos Cursos de Pós-Graduação do INPE.

Manuais Técnicos (MAN)

São publicações de caráter técnico que incluem normas, procedimentos, instruções e orientações.

Notas Técnico-Científicas (NTC)

Incluem resultados preliminares de pesquisa, descrição de equipamentos, descrição e ou documentação de programas de computador, descrição de sistemas e experimentos, apresentação de testes, dados, atlas, e documentação de projetos de engenharia.

Relatórios de Pesquisa (RPQ)

Reportam resultados ou progressos de pesquisas tanto de natureza técnica quanto científica, cujo nível seja compatível com o de uma publicação em periódico nacional ou internacional.

Propostas e Relatórios de Projetos (PRP)

São propostas de projetos técnico-científicos e relatórios de acompanhamento de projetos, atividades e convênios.

Publicações Didáticas (PUD)

Incluem apostilas, notas de aula e manuais didáticos.

Publicações Seriadas

São os seriados técnico-científicos: boletins, periódicos, anuários e anais de eventos (simpósios e congressos). Constam destas publicações o Internacional Standard Serial Number (ISSN), que um código único e definitivo para identificação de títulos de seriados.

Programas de Computador (PDC)

São a seqüência de instruções ou códigos, expressos em uma linguagem de programação compilada ou interpretada, a ser executada por um computador para alcançar um determinado objetivo. Aceitam-se tanto programas fonte quanto os executáveis.

Pré-publicações (PRE)

Todos os artigos publicados em periódicos, anais e como capítulos de livros.