

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

ANÁLISE OBSERVACIONAL DAS VARIÁVEIS CATACLÍSMICAS MAGNÉTICAS CRTS J022732.9+130617 E RX J0525.3+2413

Roger do Prado, Alexandre Soares de Oliveira.

Universidade do Vale do Paraíba/Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento, Avenida Shishima Hifumi,
2911, Urbanova - 12244-000 - São José dos Campos-SP, Brasil, roger.prado.84@gmail.com,
alexandre@univap.br.

Resumo

Neste estudo, apresentamos resultados preliminares da variável cataclísmica magnética polar CRTS J022732.9+130617 e da possível variável cataclísmica magnética polar intermediária RX J0525.3+2413. Foram empregadas diversas técnicas observacionais, incluindo espectroscopia, polarimetria. Para CRTS J022732.9+130617, observamos linhas de emissão características de polares no espectro, como He II 4686 Å e H β , com intensidades semelhantes. Na polarimetria, notamos variações na polarização circular e linear. Para RX J0525.3+2413, observamos polarização circular de cerca de 2%, porém, medidas em estrelas não polarizadas com magnitudes semelhantes mostraram a mesma polarização. Para trabalhos futuros, planejamos analisar dados de espectroscopia, realizar a análise dos dados do TESS e utilizar as técnicas de Fourier para buscar periodicidades e determinar o período orbital da RX J0525.3+2413, um parâmetro fundamental para caracterização das variáveis cataclísmicas que ainda é desconhecido para esse sistema.

Palavras-chave: Astrofísica estelar, Variáveis cataclísmicas magnéticas, Fotometria, Espectroscopia.

Área do Conhecimento: Ciências Exatas e da Terra – Astronomia.

Introdução

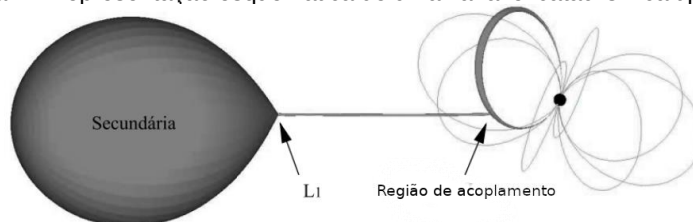
As variáveis cataclísmicas (VC) representam sistemas binários estelares compostos por uma anã branca (primária) e uma anã vermelha (secundária), situadas a cerca de um raio solar de distância, permitindo a transferência de massa da secundária para a primária através do preenchimento do lóbulo de Roche. Essa transferência em alguns casos formam um disco alimentado pelo fluxo de matéria.

Apesar do afastamento natural das componentes para conservar o momento angular, nas VCs a transferência de massa se mantém constante, devido a dois mecanismos de perda de momento angular: o freamento magnético e a emissão de radiação gravitacional. O primeiro atua eficientemente para períodos orbitais acima de 3 horas, enquanto o último é predominante para períodos orbitais abaixo de 2 horas, causando uma lacuna de sistemas entre 2 e 3 horas, conhecida como "*período gap*". A suspensão da transferência de massa nessa faixa de período reduz consideravelmente o brilho das VCs.

Em certos casos, uma VC pode conter uma anã branca com um campo magnético forte o suficiente para desviar a trajetória do fluxo de matéria e impedir a formação do disco de acreção. A matéria expelida da primária segue trajetória balística até ser capturada pelas linhas do campo magnético, onde a força de Lorentz a faz espiralar, resultando em emissão de luz circularmente polarizada. No fim de sua trajetória, o fluxo forma uma coluna de acreção que colide em uma região próxima ao polo magnético da primária, gerando emissões de raios-X moles (em áreas densas) e raios-X duros (em áreas menos densas), descrevendo uma variável cataclísmica magnética do tipo polar (Fig.1), a qual denominamos como mVC. Uma vez que seja aprisionada pelas linhas de campo, a matéria passa por um processo influenciado pela força de Lorentz, levando os elétrons a seguir trajetórias espirais durante sua trajetória. Esse fenômeno resulta em uma emissão intensa de luz com polarização circular, uma característica distintiva das polares.

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

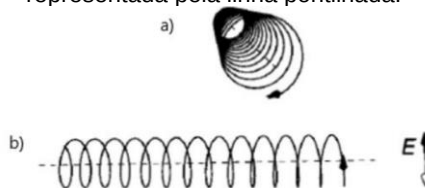
Figura 1 - Representação esquemática de uma variável cataclísmica tipo polu



Fonte: Adaptado de (KUBE; GÄNSICKE; BEUERMANN, 1999)

A polarização observada depende da geometria do sistema: quando a coluna de acreção está alinhada com a linha de visão, ocorre emissão de luz circularmente polarizada (Figura 2.a); quando a linha de visão é perpendicular às linhas do campo, ocorre emissão de luz linearmente polarizada (Figura 2.b).

Figura 2 – Tipo de polarização em relação a linha de visada, onde a linha de campo magnético está representada pela linha pontilhada.



Fonte: Adaptado de (Hellier, 2001)

Devido à variedade de interações, as VC magnéticas polares emitem em diversas partes do espectro eletromagnético, tornando-se importantes objetos de estudo.

Metodologia

As observações e obtenção dos dados da CRTS J022732.9+130617 ocorreram em duas fases. A primeira fase consiste na obtenção dos dados de polarimetria realizados em 11 e 16 de novembro de 2014, realizada no Observatório Pico dos Dias (OPD), localizado na cidade de Brazópolis (MG) com altitude de 1864 metros acima do nível do mar, com o telescópio de 1,6 metros. Os dados foram adquiridos pela Dra. Cláudia Vilega Rodrigues (INPE) e pela Dra. Isabel de Jesus Lima (IAFE, Argentina). A segunda fase, realizada em 18 e 20 de novembro de 2014, consistiu na obtenção dos dados de espectroscopia no Southern Astrophysical Research Telescope (SOAR), que possui espelho principal de 4,1 metros, localizado no Cerro Pachón, uma montanha dos Andes Chilenos com altitude de 2.700 metros acima do nível do mar. Os dados da espectroscopia foram obtidos pelo Dr. Alexandre Soares de Oliveira (UNIVAP) com a participação da Dra. Karleyne M. G. Silva em La Serena, Chile.

A obtenção dos dados de polarimetria da RX J0525.3+2413 foi realizada nos dias 13 e 16 de novembro de 2014, no Observatório Pico dos Dias (OPD). Utilizou-se o telescópio de 1,6 metros e os dados foram adquiridos pelas Dras Cláudia Vilega Rodrigues (INPE) e Isabel de Jesus Lima (IAFE, Argentina).

Os dados foram processados usando as funcionalidades do software de redução de dados IRAF. Inicialmente, executou-se a subtração de *bias* para eliminar as contagens já presentes no CCD da câmera. Em seguida, foi realizada a correção das flutuações no ganho dos pixels através da divisão pela média de um *flat-field*, um processo padrão para todos os conjuntos de dados.

No contexto dos espectros, os dados são representados em uma imagem bidimensional, em que o eixo horizontal denota a dispersão e o eixo vertical representa o posicionamento espacial. O espectro unidimensional é extraído a partir dessa imagem. É importante observar que o eixo de dispersão pode não ser perfeitamente horizontal, podendo divergir ligeiramente de uma linha reta por alguns pixels. Para superar essa questão, aplicamos um processo chamado "*tracing*", que envolve o ajuste de uma função suave que acompanha a trajetória do eixo de dispersão. Neste caso, utilizamos uma função de *spline* de ordem 3 para realizar esse ajuste. Finalmente, realizamos a calibração do comprimento de

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

onda e do fluxo dos espectros. A calibração de comprimento de onda foi realizada utilizando uma lâmpada de comparação com linhas de emissão cujos comprimentos de onda são conhecidos. Para a calibração de fluxo, utilizamos a estrela padrão GD50 como referência para comparação.

Na etapa de redução dos dados de polarimetria, além das ferramentas do software IRAF, também implementamos o conjunto de ferramentas PCCDPACK projetado para a redução de dados polarimétricos.

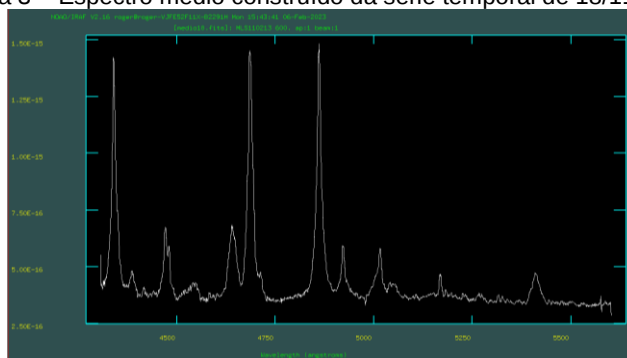
O polarímetro é composto por dois componentes principais: uma lâmina retardadora e um bloco de calcita. O bloco de calcita divide o feixe de luz em dois, resultando em pares de imagens para cada estrela. A polarização da fonte luminosa é determinada calculando a razão entre a diferença e a soma das contagens dos dois feixes. Para garantir a precisão das medidas, foram obtidas imagens de estrelas polarizadas padrões durante as observações no OPD. Essas imagens foram usadas para estabelecer a posição inicial da lâmina retardadora, que no nosso caso foi ajustada para 22 graus. Isso permite a extração precisa dos valores de polarização dos dados.

Resultados

Foram construídos espectros médios a partir de observações realizadas em dois dias diferentes: 18 de novembro de 2014 (Figura 3) com 12 espectros e 20 de novembro de 2014 (Figura 4) com 14 espectros. Esses espectros já foram calibrados em termos de comprimento de onda e fluxo. As principais características desses espectros são as linhas de emissão $H\gamma$, $H\beta$ e He II 4686 Å. Devido à limitação da cobertura espectral, não foi possível capturar a linha $H\alpha$. Outras emissões menos intensas também foram identificadas, como He I em 4388, 4471, 4922 e 5015 Å, He II em 5411 Å e a linha do complexo C III/N III em 4640 Å.

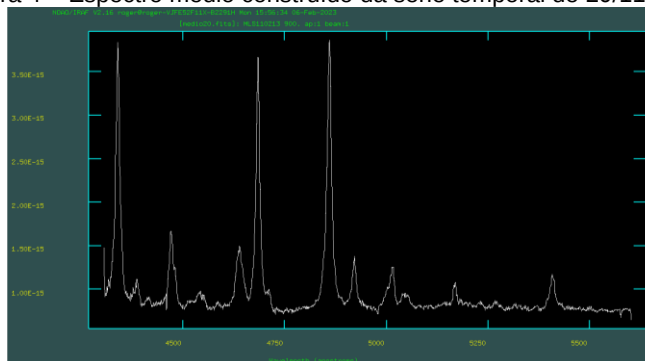
A Figura 5 ilustra a combinação dos espectros médios obtidos nas duas noites de observação. Essa figura mostra uma redução gradual na intensidade do contínuo à medida que o comprimento de onda aumenta ao longo do intervalo espectral analisado.

Figura 3 – Espectro médio construído da série temporal de 18/11/2014.



Fonte: O Autor

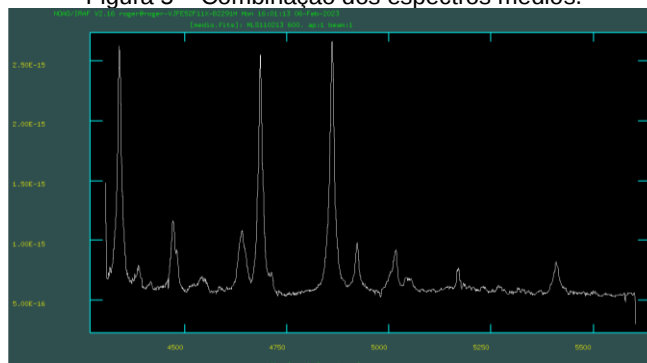
Figura 4 – Espectro médio construído da série temporal de 20/11/2014.



Fonte: O Autor.

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

Figura 5 – Combinação dos espectros médios.

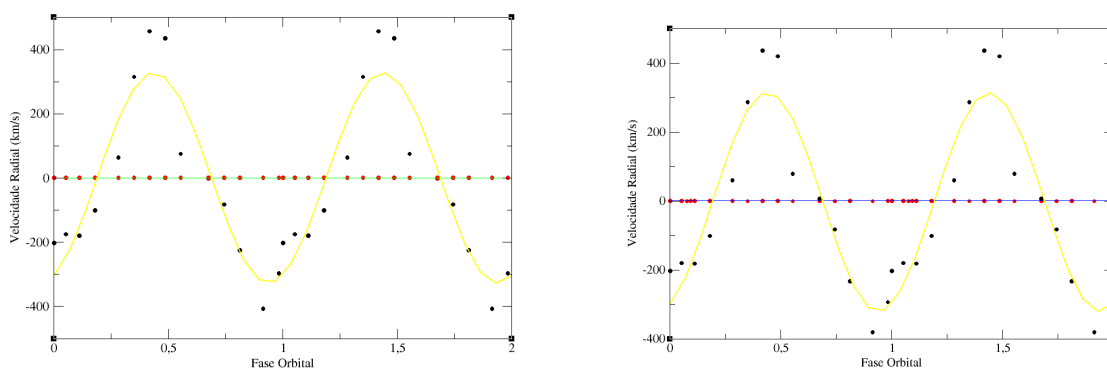


Fonte: O Autor.

Para calcular a velocidade radial deste objeto, foram utilizadas as linhas de emissão mais proeminentes, como $H\gamma$, $H\beta$ e a linha de He II 4686 Å. A periodicidade da variação da velocidade radial em função da fase orbital será analisada utilizando o método de *Lomb-Scargle*, o que permitirá determinar o período orbital do sistema. Nesta fase do trabalho, apresentaremos as curvas de velocidades radiais das linhas espectrais mencionadas, utilizando o período e o $T_0 = .15779878(\pm 6)$ da efeméride obtido por (SILVA et al., 2015).

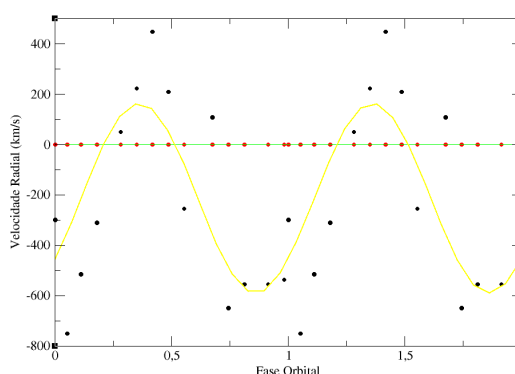
As Figuras 6 (a, b) e 7, apresentam as velocidades radiais das três principais linhas de emissão obtidas durante a missão realizada em 18/11/2014. Os pontos pretos representam as velocidades obtidas a partir de cada espectro, enquanto os pontos vermelhos indicam as velocidades radiais da linha telúrica OI 5577,3387 Å.

Figura 6 – Curvas de velocidade radial de $H\gamma$, $H\beta$ respectivamente.



Fonte: O Autor.

Figura 7 – Curva de velocidade radial He II.

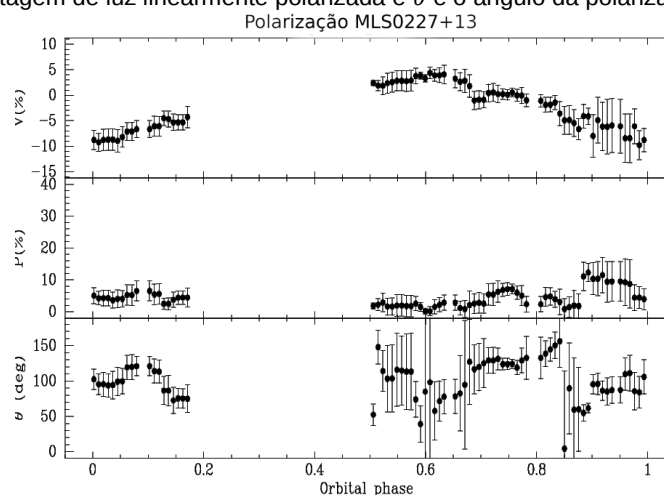


Fonte: O Autor.

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

A Figura 8 apresenta a redução dos dados de polarimetria da CRTS J022732.9+130617 obtidos durante as observações realizadas em 16 de novembro de 2014. Infelizmente, essas observações foram interrompidas por um período de 1 hora devido à alta umidade do ar, o que afetou a qualidade das imagens obtidas.

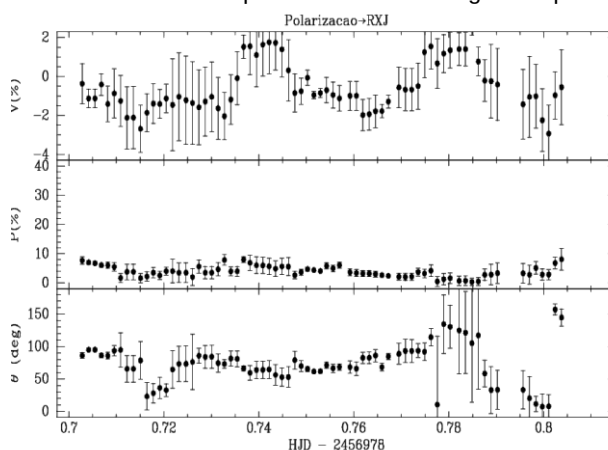
Figura 8 – Curva de polarização no filtro I, onde $V(\%)$ é a porcentagem de luz circularmente polarizada, $P(\%)$ é a porcentagem de luz linearmente polarizada e θ é o ângulo da polarização linear.



Fonte: O Autor.

A Figura 9 mostra a redução dos dados de polarimetria da RXJ0525.3+2413 coletados em 16 de novembro de 2014. Na noite de 13 de novembro de 2014, o período de observação foi mais curto e mais ruidoso devido à quantidade de nuvens no céu, o que impossibilitou uma análise. Na segunda noite (16/11/2014), o período de observação foi mais longo e indicou uma polarização circular de cerca de 2%.

Figura 9 – Curva de polarização no filtro I, onde $V(\%)$ é a porcentagem de luz circularmente polarizada, $P(\%)$ é a porcentagem de luz linearmente polarizada e θ é o ângulo da polarização linear.



Fonte: O Autor.

Discussão

Em resumo, as observações de polarimetria da MLS0227+13 em 16 de novembro de 2014, embora tenham enfrentado um intervalo de uma hora devido à alta umidade, indicaram um possível eclipse a partir da imagem 48. Esses dados cobriram metade de um ciclo orbital e no final das observações, as barras de erro aumentaram devido às más condições climáticas e a obtenção de imagens de

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

polarimetria de melhor qualidade. No entanto, a curva de luz polarimétrica, apresentada na Figura 8, está em consonância com a de Silva et al. (2015).

A análise dos dados de polarimetria coletados em novembro de 2014 revelou uma polarização circular de cerca de 2% na RXJ0525.3+2413. Embora a primeira noite de observação tenha sido breve e sujeita a ruídos, a segunda noite proporcionou resultados mais coerentes devido ao período de observação mais longo. Para verificar a relevância dessa baixa polarização medida, examinamos a polarização de outras estrelas na mesma região do céu onde não era esperado encontrar polarização circular. Surpreendentemente, encontramos uma polarização semelhante à da RXJ0525.3+2413 nessas estrelas. Portanto, não é possível concluir que a RXJ0525.3+2413 apresentou polarização com base em nossos dados.

Conclusão

Com base nos resultados, podemos assim confirmar a classificação da CRTS J022732.9+130617 como uma polar, com variações de polarização circular entre -12% e 6% no filtro I e polarização linear em um intervalo de aproximadamente 5% a 10%, com picos máximos ocorrendo na fase 0,85.

Também com base nos resultados obtidos e discussão, sugerem que a RXJ0525.3+2413 pode ser uma polar Intermediária (IP), um caso de variável cataclísmica com campo magnético expressivo, porém menos intenso que das polares, embora sejam necessários mais dados para confirmar essa classificação.

Referências

HELLIER, C. Cataclysmic Variable Stars-how and why they vary. [S.l.]: Springer Science Business Media, 2001.

KUBE, J.; GÄNSICKE, B.; BEUERMANN, K. Eclipse mapping of the accretion stream in uz fornacis. arXiv preprint astro-ph/9912442, 1999.

SILVA, K.; RODRIGUES, C.; OLIVEIRA, A.; ALMEIDA, L.; CIESLINSKI, D.; COSTA, J.; JABLONSKI, F. Mls110213: 022733+ 130617: a new eclipsing polar above the period gap. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Oxford University Press, v. 451, n. 4, p. 4183–4192, 2015.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.