

Relatório Final de Pós-Doutorado

Interplay of Magnetic Accretion in Compact Binary Systems for Planetary Formation and Evolution

Bolsista: Dra. Isabel de Jesus Lima

**Supervisora/Co-Supervisor: Profa. Dra. Rosana Aparecida Nogueira de Araujo/Prof. Dr.
Rafael Ribeiro de Sousa**

Local: Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - Faculdade de Engenharia e Ciências de Guaratinguetá

Vigência: 01/01/2024 a 01/10/2024

Número do processo: #88887.913793/2023-00

Interplay of Magnetic Accretion in Compact Binary Systems for Planetary Formation and Evolution

Relatório científico relativo ao projeto de pós-doutorado financiado pela CAPES
(proc. #88887.913793/2023-00).



Documento assinado digitalmente

ISABEL DE JESUS LIMA

Data: 11/12/2024 08:05:06-0300

Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Dra. Isabel de Jesus Lima



Documento assinado digitalmente

ROSANA APARECIDA NOGUEIRA DE ARAUJO

Data: 10/12/2024 12:17:26-0300

Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Dra. Rosana Aparecida Nogueira de Araujo

Guaratinguetá

19 de dezembro de 2024

Resumo

Apresentamos neste relatório as atividades realizadas no pós-doutorado nas áreas de dinâmica orbital e astrofísica observacional durante o período de janeiro a outubro de 2024. Neste projeto de pesquisa, estudamos anãs brancas em sistemas binários cerrados que recebem matéria de sua companheira que podem ser uma estrela gigante vermelha, sistemas denominados de estrelas simbióticas ou estrelas de baixa massa da sequência principal denominado de variáveis cataclísmicas. Durante a vigência da bolsa, um artigo foi publicado sobre classificação de estrelas simbióticas usando dados de raios X e outro artigo foi submetido no dia 7 de dezembro sobre a variável cataclísmica V1082 Sgr usando dados no óptico de polarimetria circular obtido no Observatório Pico dos Dias gerenciado pelo Laboratório Nacional de Astrofísica. Além disso, iniciamos a investigação da estabilidade e da evolução dinâmica dos sistemas planetários circumbinário à variáveis pré-cataclísmicas e no candidato a exoplaneta no sistema V808 Aur usando simulações numéricas de N-corpos.

Sumário

1	Introdução	1
2	Objetivos	1
3	Material e métodos	2
4	Resultados e Discussão	2
5	Atividades	3
5.1	Docência	4
5.2	Extensão	4
5.3	Participações em eventos	4
5.4	Artigos	5
6	Comentários do supervisor	6

1 Introdução

Anãs brancas são o resultado final da evolução de uma estrela de massa entre 0,08 e 10 massas solares. Muitas anãs brancas são encontradas recebendo matéria de suas companheiras, que podem ser (Warner, 1995): (i) uma estrela da sequência principal ou pouco evoluída, para esses sistemas denominamos de variáveis cataclísmicas ou (ii) uma gigante vermelha (estrela fria), sistemas denominados de estrelas simbióticas. Ambos sistemas são candidatos a progenitoras de supernovas do tipo Ia, pedras angulares da cosmologia moderna.

A descoberta de exoplanetas em sistemas de estrelas cada vez mais peculiares como as VCs está crescendo, o que desafia os modelos de formação planetária padrão. Os candidatos a exoplanetas ao redor de estrelas com atividade magnética como AU Mic (Martioli et al., 2020), de pré-VC QS Vir (Almeida & Jablonski, 2011) e das VCs magnéticas V808 Aur (Leichty et al., 2024), UZ For (Potter et al., 2011), DP Leo (Qian et al., 2010) e HU Aqr (Qian et al., 2011) com planetas com alta excentricidade e próximos ao par binário das VCs, traz questionamentos de como estes planetas atingiram suas órbitas atuais. Alguns cenários propostos para explicar a arquitetura orbital dos exoplanetas ao redor de VCs são: (i) primeira geração de planetas formados a partir de um disco proto-planetário, neste estágio as estrelas da sequência principal podem possuir planetas de diversos tipos e com diversas configurações orbitais (Izidoro et al., 2021) e (ii) a segunda geração de planetas originados a partir da massa ejetada pelo envelope comum (Perets, 2010). Na fase de envelope comum propomos que a estrela primária, que se torna uma gigante vermelha rapidamente, perde seu sistema planetário. Mas, a estrela secundária mantém os seus planetas, o qual sofre o arrasto provocado pelo envelope. Tanto a estrela quanto os exoplanetas se aproximam da estrela primária durante a fase de envelope comum e diminuem a separação orbital. Os planetas sofrem modificações orbitais durante essa fase e eventualmente um deles pode atingir órbitas similares aos exoplanetas observados nas VCs magnéticas.

2 Objetivos

Este projeto de pesquisa foi dividido em duas frentes de atuação: uma relacionada ao estudo observacional das estrelas simbióticas usando dados de raios X e na confirmação do sistema V1082 Sgr como VC magnética usando, respectivamente, dados de raios X dos satélites *XMM-Newton* e *Swift* e dados ópticos obtidos do Observatório Pico dos Dias gerenciado pelo Labo-

ratório Nacional de Astrofísica uma unidade de pesquisa vinculada ao Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovações (OPD/LNA/MCTI), respectivamente. A outra parte deste projeto está relacionada ao estudo da estabilidade e da evolução dinâmica de candidatos a exoplanetas usando simulações durante a evolução de uma pré-VC e simultaneamente considerando o candidato a exoplaneta no sistema V808 Aur.

3 Material e métodos

Os dados públicos dos satélites *Swift*, *XMM-Newton* e *TESS* foram usados para realizar um estudo sobre classificação de estrelas simbióticas e para estudar sua dinâmica de acreção. Além disso, para confirmar a natureza magnética do objeto V1082 Sgr obtivemos dados observados da gaveta polarimétrica no OPD/LNA. Para realizar simulações de N-corpos usamos o cluster do Grupo de Dinâmica Orbital & Planetologia (GDOP) do programa de pós-graduação em Física e Astronomia da UNESP - Campus de Guaratinguetá.

4 Resultados e Discussão

Em [Lima et al. \(2024\)](#), apresentamos um estudo sobre as estrelas simbióticas BD Cam, V1261 Ori, NQ Gem, e CD -27 8661. Analizamos dados de raios-X dos satélites *Swift* e *XMM-Newton* e dados ópticos do *TESS*. Os espectros de raios-X foram ajustados com modelos de plasma térmico opticamente fino absorvido, com uma ou várias temperaturas com $kT < 8$ keV e a presença de centilações nas curvas de luz do *TESS* indicam que a acreção dos sistemas ocorrem via disco de acreção. Além disso, os objetos foram classificados da seguinte forma: BD Cam como possível do tipo β , V1261 Ori e CD -27 8661 como do tipo δ , e no caso de NQ Gem, confirmamos a sua anterior classificação do tipo β/δ .

Iniciamos a investigação de estabilidade da configuração orbital e a arquitetura dinâmica de formação de uma pré-VC usando integrador numérico de N-corpos *REBAUND*. Resultados preliminares mostram que durante o caminho evolutivo seguido pela pré-CV apenas o primeiro corpo com um raio de Hill permanece estável, os outros são ejetados com massas de super-Terras; $5 M_{\odot}$ e de gigantes gasosos; $125 M_{\odot}$ (Figura 1, veja outros resultados preliminares no pôster em anexo). No estudo sobre a estabilidade do candidato a planeta do polar V808 Aur obtivemos uma órbita estável para cindo sistemas com excentricidade de 0 a 0,45 e inclinação de

5° ou 90°. Um sistema foi ejetado e um colidiu com uma estrela de baixa massa para excentricidades de 0,9 e inclinações de 45° e 90°, respectivamente. Sete sistemas são gravitacionalmente perturbativos, com a possibilidade de alguns sistemas se tornarem estáveis. Os restantes sistemas são instáveis (Tabela 1). No entanto, mais simulações devem ser realizadas e os resultados publicados em revistas científicas (Lima et al., in prep.).

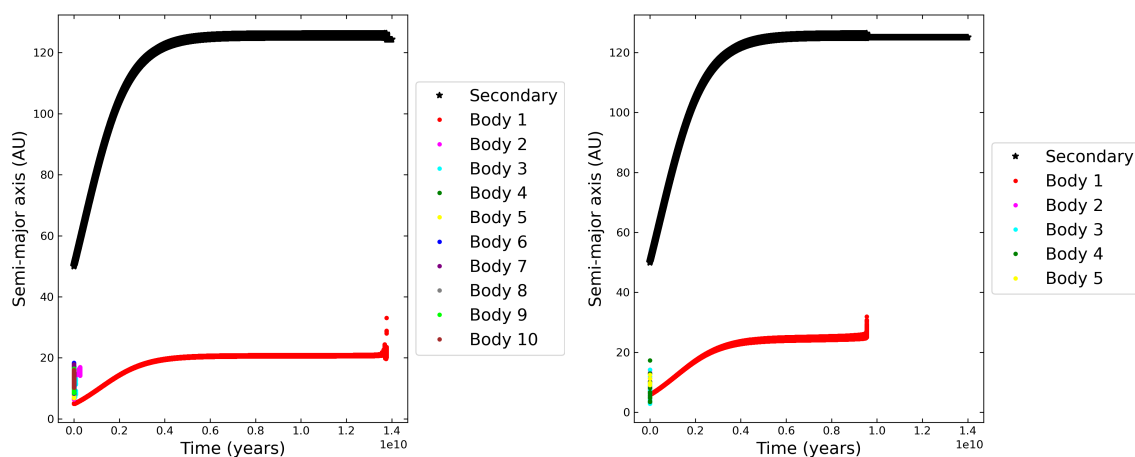


Figura 1: Sistema planetário com diferentes números de embriões e massas $5 M_{\odot}$ (esquerda) e $125 M_{\odot}$ (direita).

Tabela 1: Estabilidade orbital de V808 Aur

Inclinação	Excentricidade							
	e = 0	e = 0.15	e = 0.30	e = 0.45	e = 60	e = 0.75	e = 0.80	e = 0.90
i = 5°	instável	estável	estável	estável	instável	instável	instável	instável
i = 30°	instável	instável	instável	instável	instável	perturbativo	perturbativo	perturbativo
i = 45°	instável	instável	instável	instável	instável	perturbativo	perturbativo	ejeção
i = 90°	estável	estável	perturbativo	perturbativo	instável	instável	instável	colisão

5 Atividades

Apresentamos as atividades desenvolvidas pela bolsista durante o pós-doutorado: docência na Seção 5.1; participação em atividade de extensão na Seção 5.2; participação em eventos na Seção 5.3 e publicação de artigos na Seção 5.4. Em paralelo, a bolsista também realizou concursos públicos na área de pesquisa no Laboratório Nacional de Astrofísica e no Instituto Nacional de

Pesquisas Espaciais com o objetivo de permanecer no país e contribuir para o desenvolvimento científico.

5.1 Docência

A bolsista desenvolveu atividades de docência no primeiro semestre do Departamento de Matemática com a disciplina Cálculo Diferencial e Integral II com carga horária de 30-h e na Pós-graduação de Física e Astronomia com a disciplina “Tópicos Especiais em Técnica Observacional” com carga horária de 34 h. No anexo, encontra-se os documentos comprobatórios e a ementa da disciplina.

5.2 Extensão

Participação como palestrante do planetário no evento Asteroid Day (Dia do Asteroide), evento mundial que ocorre sempre no dia 30 de Junho, data em que foi registrado o evento de Tunguska na Sibéria na UNESP - Campus de Guaratinguetá (sem certificado).

5.3 Participações em eventos

A seguir enumeramos os eventos dos quais participei durante o pós-doutorado e os certificados (ver certificados em anexo):

1. Conferencista na 28^a Escola de Verão em Dinâmica Orbital e Planetologia ocorrido na UNESP - Campus de Guaratinguetá, de 19 a 23 de fevereiro de 2024. “Anãs brancas em sistemas binários”.
2. Conferencista na 1^a Escola de Verão de Astronomia para o Ensino Médio ocorrido na UNESP - Campus de Guaratinguetá, de 19 a 22 de fevereiro de 2024. “Estudo observacional de anãs brancas em sistemas binários”.
3. Apresentação oral no Enabling Astronomical Transient discoveries in the Rubin era: the Fink-Brazil Workshop, Rio de Janeiro, 6 a 10 de maio de 2024. “Circular polarimetry of V1082 Sgr: an extraordinary long-period magnetic cataclysmic variable”.
4. Ouvinte do curso “Disco protoplanetário” promovido pela Dra. Anna Penzlin ocorrido na UNESP - Campus de Guaratinguetá, de 12 a 15 de agosto de 2024.

5. Apresentação oral na XLVII Reunião Anual da Sociedade Astronômica Brasileira, Águas de Lindóia, São Paulo, 22 a 26 de setembro de 2024. “White dwarf symbiotic stars as seen by optical, UV and X-ray observations”.
6. Ouvinte no X Workshop de Cosmologia e Astrofísica da Universidade Federal de São Paulo - Campus Diadema (UNIFESP) ocorrido na modalidade a distância no dia 02 de outubro de 2024.
7. Conferencista no Workshop da Pós-Graduação em Física e Astronomia ocorrido na UNESP - Campus de Guaratinguetá, no dia 08 de outubro de 2024. “Anãs brancas em sistemas binários compactos: origem, evolução e vida”.
8. Ouvinte da 1ª Edição do Workshop Mirando as Estrelas: Encontro da Ciência com a Tecnologia da Instrumentação Astronômica ocorrido na Universidade Vale do Paraíba (UNIVAP), São José dos Campos, dia 07 de novembro de 2024.
9. Apresentação de pôster no XXII Brazilian Colloquium on Orbital Dynamics ocorrido no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, de 2 a 6 de dezembro de 2024. “Orbital dynamics of the third body in the polar V808 Aurigae.”
10. Ouvinte no VI Workshop do Departamento de Física da Universidade Federal de São Paulo - Campus Diadema (UNIFESP) ocorrido na modalidade a distância no dia 19 de dezembro de 2024.

5.4 Artigos

A bolsista realizou durante a vigência da bolsa atividades para publicação dos seguintes artigos, os quais encontram-se parcialmente anexados:

- Lima I. J., Luna G. J. M., Walter F. M., Nuñez N. E., Mukai K., Oliveira A. S., Sokoloski J. L., Walter F. M., Palivanas N., Nunez N. E., Souza R. R., Araujo R. A. N., *A&A*, 689, A86.doi:10.1051/0004-6361/202449913. [Symbiotic stars in X-rays IV: XMM-Newton, Swift and TESS observations.](#)
- Lima I. J. et al., submetido no dia 7 de dezembro de 2024 na revista *The Astrophysical Journal*, “Detection of the white-dwarf spin of the long-orbital period magnetic cataclysmic variable V1082 Sgr”.

6 Comentários do supervisor

A Dra. Isabel de Jesus Lima demonstrou excelência no desenvolvimento de seu pós-doutorado na FEG-UNESP, tendo contribuído significativamente com trabalhos científicos nas áreas de Dinâmica Orbital e Astrofísica. A bolsista demonstrou habilidade em trabalhar com grande volume de dados e ferramentas computacionais, tendo contribuído para o entendimento de sistemas binários e exoplanetas.

Destaca-se a publicação de um artigo na revista de alto impacto *Astronomy & Astrophysics* (A&A) e a submissão de outro artigo para o renomado periódico *The Astrophysical Journal*. Houve também expressiva participação em importantes eventos científicos da área, com apresentação de trabalho.

A Dra Isabel contribuiu também para a formação acadêmica, ao ministrar a disciplina de Cálculo II na Graduação para os cursos de Engenharia da FEG-UNESP. Foi ministrado também um curso semestral, voltado para o estudo de técnicas observacionais, junto ao Programa de Pós-Graduação em Física e Astronomia da mesma unidade. A bolsista demonstrou seriedade e comprometimento em suas atividades de docência.

O conjunto de atividades realizadas pela Dra. Isabel de Jesus Lima em seu pós-doutorado na FEG-UNESP certamente contribuiu para sua trajetória como pesquisadora e docente.

Referências

- Almeida, L. A., & Jablonski, F. 2011, in *The Astrophysics of Planetary Systems: Formation, Structure, and Dynamical Evolution*, ed. A. Sozzetti, M. G. Lattanzi, & A. P. Boss, Vol. 276, 495–496, doi: [10.1017/S1743921311020941](https://doi.org/10.1017/S1743921311020941)
- Izidoro, A., Bitsch, B., Raymond, S. N., et al. 2021, , 650, A152, doi: [10.1051/0004-6361/201935336](https://doi.org/10.1051/0004-6361/201935336)
- Leichty, M., Garnavich, P., Littlefield, C., et al. 2024, , 967, 81, doi: [10.3847/1538-4357/ad3bac](https://doi.org/10.3847/1538-4357/ad3bac)
- Lima, I. J., Luna, G. J. M., Mukai, K., et al. 2024, , 689, A86, doi: [10.1051/0004-6361/202449913](https://doi.org/10.1051/0004-6361/202449913)
- Martioli, E., Hébrard, G., Moutou, C., et al. 2020, , 641, L1, doi: [10.1051/0004-6361/202038695](https://doi.org/10.1051/0004-6361/202038695)
- Perets, H. B. 2010, arXiv e-prints, arXiv:1001.0581, doi: [10.48550/arXiv.1001.0581](https://doi.org/10.48550/arXiv.1001.0581)
- Potter, S. B., Romero-Colmenero, E., Ramsay, G., et al. 2011, , 416, 2202, doi: [10.1111/j.1365-2966.2011.19198.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2966.2011.19198.x)
- Qian, S. B., Liao, W. P., Zhu, L. Y., & Dai, Z. B. 2010, , 708, L66, doi: [10.1088/2041-8205/708/1/L66](https://doi.org/10.1088/2041-8205/708/1/L66)
- Qian, S. B., Liu, L., Liao, W. P., et al. 2011, , 414, L16, doi: [10.1111/j.1745-3933.2011.01045.x](https://doi.org/10.1111/j.1745-3933.2011.01045.x)
- Warner, B. 1995, *Cataclysmic variable stars* (United Kingdom: Cambridge Astrophysics Series)