

ANÁLISE DA POPULAÇÃO DE PAHs EM NEBULOSAS PLANETÁRIAS COMPACTAS GALÁCTICAS

**JULIA FISCHER¹; CARLA CANELO²; ISABEL ALEMAN³; STAVROS AKRAS⁴;
JULIANO MARANGONI⁵; DINALVA SALES⁶**

¹*Universidade Federal do Rio Grande – juh.fischer@gmail.com*

²*Universidade Federal do Rio Grande (INOVENTER) – camcaneo@gmail.com*

³*Universidade Federal de Itajubá – bebel.aleman@gmail.com*

⁴*National Observatory of Athens – stavrosakras@gmail.com*

⁵*Universidade Federal do Rio Grande – julianomarangoni@furg.br*

⁶*Universidade Federal do Rio Grande – dsales@furg.br*

1. INTRODUÇÃO

Nebulosas Planetárias (NPs) são importantes objetos astronômicos, pois desempenham um papel crucial na evolução química de uma galáxia quando liberam material produzido em sua nucleossíntese para o meio interestelar. Em alguns casos, podem ser os únicos objetos observáveis capazes de fornecer informações sobre a abundâncias químicas das galáxias, tornando-as de grande interesse para estudos astroquímicos e astrobiológicos.

Esses objetos são formados nos estágios finais de estrelas de baixa e média massa, quando estes corpos não alcançam mais o seu equilíbrio hidrostático e colapsam expulsando suas camadas externas para o meio interestelar. Esse processo expõe seu núcleo quente e degenerado, que vai ser responsável pela ionização da matéria ejetada e formação de um envoltório de plasma ao redor da estrela central.

Essa nuvem circunstelar possui grande quantidade de material ionizado, neutro e molecular, no qual estudaremos mais a fundo uma população específica de moléculas chamadas de Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos (PAHs), que podem ser importantes traçadores biológicos, pois podem estar ligados a formação de nucleobases e aminoácidos, blocos fundamentais do mundo RNA/DNA (EHRENFREUND et al., 2006).

Os PAHs são as moléculas orgânicas mais abundantes no espaço e presentes em quase todos os ambientes astrotípicos relacionados com gás, poeira e iluminação por fótons ultravioleta. No infravermelho médio podem representar até 50% da luminosidade, e suas bandas mais intensas são nos comprimentos de onda de 3.3, 6.2, 7.7, 8.6, 11.3 e 12.7 μm (Li, 2004; SALES; PASTORIZA; RIFFEL, 2010; SALES et al., 2013; RUSCHEL-DUTRA et al., 2014).

Dessa maneira, o presente trabalho investiga o comportamento dos PAHs e correlaciona com as propriedades do ambiente em que estão. Buscando entender a contribuição das NPs e como elas podem ser responsáveis por um ciclo evolutivo desses aromáticos (SHANNON; BOERSMA, 2019).

2. METODOLOGIA

Os espectros das NPs selecionadas foram acessados pelo catálogo CASSIS1 - Combined Atlas of Sources with Spitzer IRS Spectra, (LEBOUTEILLER et al., 2011), que fornece espectros já reduzidos de baixa resolução ($R \sim 60 - 127$) e alta

¹ <https://cassis.sirtf.com/>



resolução ($R \sim 600$), obtidos pelo espectrógrafo infravermelho (IRS) (HOUCK et al., 2004) a bordo do telescópio espacial Spitzer (WERNER et al., 2004). Para utilização desses espectros, o primeiro passo foi fazer a medição dos fluxos das bandas de interesse com o código PAHFIT (SMITH et al., 2007), um pacote em IDL desenvolvido para decompor espectros do IRS, compostos por emissão do contínuo estelar e térmico, absorção de silicato e emissões de linhas iônicas e moleculares. Essa amostra foi coletada com o objetivo de fornecer informações sobre a evolução inicial das estrelas pós-AGB e as características da poeira e da metalicidade neste estágio, por isso foram escolhidas com o critério de possuírem um diâmetro $< 4''$, com distâncias heliocêntricas menores que 6 kpc, possuindo uma velocidade típica de expansão de 20 a 40 km s^{-1} , o que as identifica como NPs jovens, com menos de 2×10^3 anos (VILLAVER; MANCHADO; GARCIA-SEGURA, 2002).

As propriedades das NPs utilizadas aqui foram de luminosidade total no infravermelho (LIR), distância radial ao centro galáctico (RGal), raio da nebulosa (R) e temperatura da estrela central (T^*) e foram especificadas em STANGHELLINI et al. (2012).

Posteriormente foram calculadas as razões de linha, que podem descrever características físico-químicas dessas moléculas. As razões utilizadas aqui são dos fluxos de $11.3\mu\text{m}/7.7\mu\text{m}$, para determinar o potencial de ionização das moléculas de PAHs, já que a banda de $11.3\mu\text{m}$ é predominantemente emitida por moléculas neutras, e $7.7\mu\text{m}$ por moléculas ionizadas (BAUSCHLICHER; PEETERS; ALLAMANDOLA, 2008). E a razão de $6.2\mu\text{m}/7.7\mu\text{m}$, que reflete o tamanho das moléculas emissoras, já que $6.2\mu\text{m}$ é uma banda característica de moléculas menores (n° de átomos de carbono < 180). Além dessas, foi calculada a razão entre as linhas iônicas de $[\text{Nelli}]/[\text{Nell}]$, que reflete a dureza do campo de radiação local (THORNLEY et al., 2000).

Por último foi construído um gráfico a partir dos dados de interesse, que mostra o comportamento das variáveis em um histograma, os diagramas de dispersão entre elas e, em sua parte inferior, mostra um gráfico de curvas de densidade de probabilidade pelo método não paramétrico de estimativa de densidade de kernel (KDE), que suaviza os dados e possibilita inferências sobre a população, com base em uma amostra de dados finita.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 mostra o gráfico construído, onde observamos curvas vermelhas onde os valores de densidade de probabilidade são mais altos. Com isso podemos estimar um comportamento para essas variáveis em NPs jovens com características similares a da amostra.

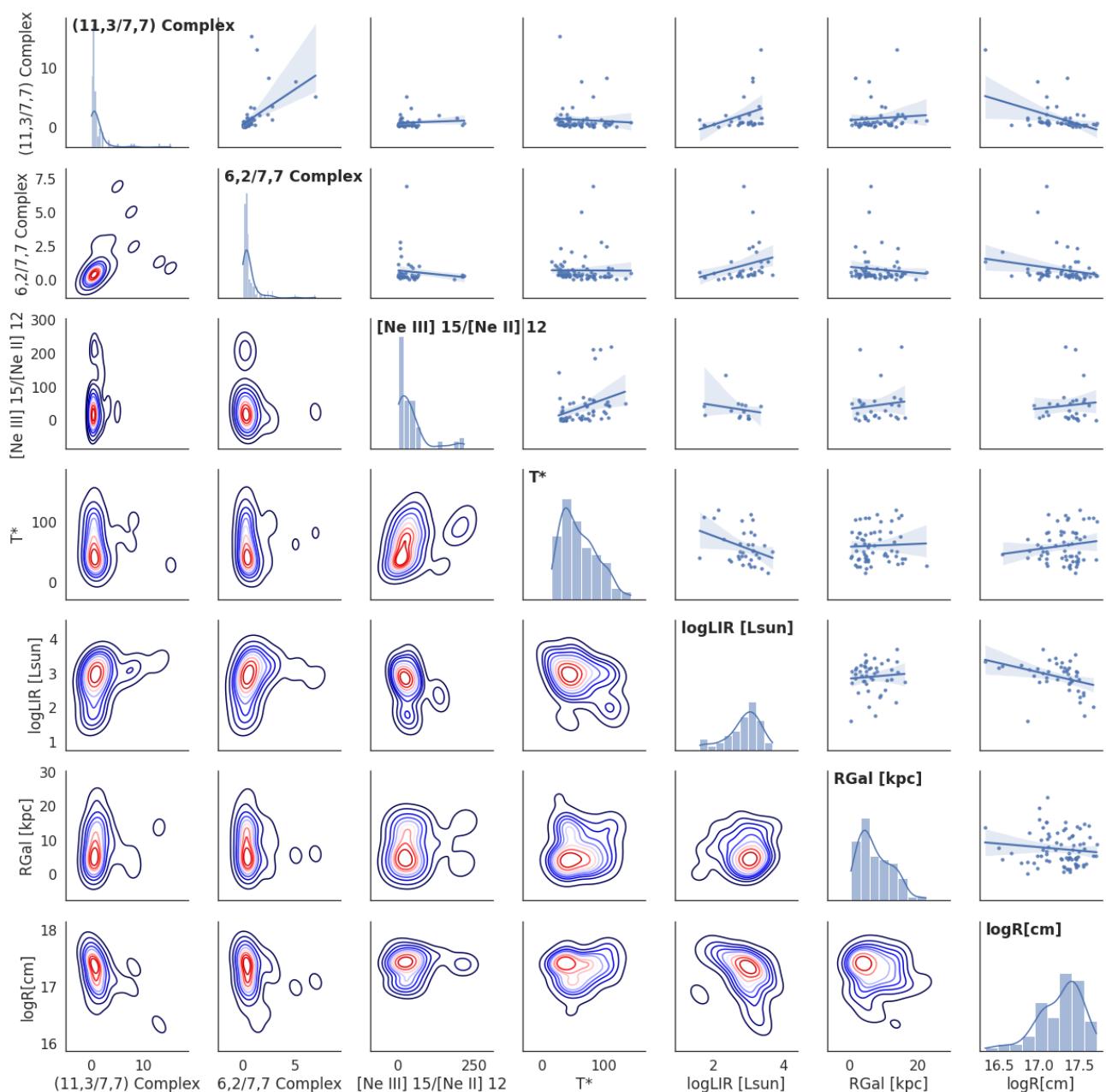
Para a razão de PAHs de $6.2\mu\text{m}/7.7\mu\text{m}$, verificamos que a amostra apresenta maior incidência de valores próximos ou menores que 1, o que indica que grande parte das NPs possuem maior emissão de moléculas grandes de PAHs. Em relação a razão de $11.3\mu\text{m}/7.7\mu\text{m}$, observamos valores menores que 1 para quase toda a amostra e podemos concluir que temos mais moléculas ionizadas de PAHs emitindo. E para razão de neônio podemos encontrar valores maiores, indicando ambientes com alta dureza do campo de radiação.

Quanto ao comportamento característico da amostra, podemos verificar temperaturas da estrela central próximas a 50 kK, raios aproximados a $3,2 \times 10^{12}$ km, com uma luminosidade no infravermelho de 10^3 vezes a luminosidade solar, e

distâncias radiais próximas a 5 kpc em relação ao centro galáctico, o que indicaria que boa parte da amostra não estaria no bojo Galáctico (2 kpc), mas próxima a ele.

Também vemos que as variáveis não possuem distribuição normal, mas assimétrica com uma cauda à esquerda nos casos da luminosidade no infravermelho e do raio, o que indica a maior frequência coincidindo com os maiores valores medidos. E assimétrica com cauda à direita nos demais casos, o que indica maior frequência de medições nos menores valores medidos. E notamos que principalmente as razões de linha utilizadas possuem muitos outliers que, se não forem tratados, podem alterar os ajustes e possíveis correlações lineares entre as observações.

Figura 1: Curvas de densidade de probabilidade, histograma e gráfico de dispersão das variáveis com melhor ajuste linear.



Fonte: Os autores.

4. CONCLUSÕES

Este trabalho conseguiu analisar uma amostra extensa de 145 NPs compactas e galácticas, direcionando a investigação às principais características desses objetos e da sua população de PAHs. Ele aproveita a análise estatística para otimizar o processamento e facilitar a interpretação dos dados, alcançando resultados importantes.

Pôde-se concluir que nesse estágio inicial de estrelas pós-AGB, sua população de PAHs possui uma predominância de moléculas grandes e ionizadas. Um próximo passo é incluir dados que descrevem características químicas da poeira e da morfologia das NPs para investigar correlações entre essas propriedades e tentar descrever melhor a evolução dos PAHs nesses ambientes.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAUSCHLICHER, C. W.; PEETERS, E.; ALLAMANDOLA, L. J. The infrared spectra of very large, compact, highly symmetric, polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs). *ApJ*, v. 678, n. 1, p. 316, 2008.
- EHRENFREUND, P. et al. Experimentally tracing the key steps in the origin of life: The aromatic world. *Astrobiology*, v. 6, n. 3, p. 490–520, 2006.
- HOUCK, J. R. et al. The infrared spectrograph*(IRS) on the Spitzer space telescope. *ApJS*, v. 154, n. 1, p. 18, 2004.
- LEBOUTEILLER, V. et al. CASSIS: the cornell atlas of spitzer/infrared spectrograph sources. *ApJS*, v. 196, n. 1, p. 8, 2011.
- LI, A. Interaction of nanoparticles with radiation. In: **ASP Conference Series Astrophysics of Dust**, 2004. v. 309. p. 417.
- RUSCHEL-DUTRA, D. et al. A mid-IR comparative analysis of the Seyfert galaxies NGC 7213 and NGC 1386. *MNRAS*, v. 438, n. 4, p. 3434–3442, 2014.
- SALES, D. A.; PASTORIZA, M. G.; RIFFEL, R. Polycyclic aromatic hydrocarbon and emission line ratios in active galactic nuclei and starburst galaxies. *ApJ*, v. 725, n. 1, p. 605, 2010.
- SALES, D. A. et al. Polycyclic aromatic hydrocarbon in the central region of the Seyfert 2 galaxy NGC 1808. *MNRAS*, v. 429, n. 3, p. 2634–2642, 2013.
- SHANNON, M. J.; BOERSMA, C. *ApJ*, v. 871, n. 1, p. 124, 2019.
- SMITH, J. et al. The mid-infrared spectrum of star-forming galaxies: global properties of polycyclic aromatic hydrocarbon emission. *ApJ*, v. 656, n. 2, p. 770, 2007.
- STANGHELLINI, L. et al. The nature of dust in compact Galactic planetary nebulae from Spitzer spectr. *ApJ*, v. 753, n. 2, p. 172, 2012.
- THORNLEY, M. D. et al. Massive star formation and evolution in starburst galaxies: mid-infrared spectroscopy with the ISO Short Wavelength Spectrometer. *ApJ*, v. 539, n. 2, p. 641, 2000.
- VILLAVER, E.; MANCHADO, A.; GARCIA-SEGURA, G. The dynamical evolution of the circumstellar gas around low-and intermediate-mass stars. II. The planetary nebula formation. *ApJ*, v. 581, n. 2, p. 1204, 2002.
- WERNER, M. W. et al. The Spitzer space telescope mission. *ApJS*, v. 154, n. 1, p. 1, 2004.