

IMPACTOS DA EXTINÇÃO NAS RAZÕES DE PAH EM GALÁXIAS STARBURST

VITOR N. AVELANEDA¹; CARLA M. CANELO²; JULIA C. FISCHER³; EMANUEL
ROCHA DA SILVA⁴; DINALVA A. SALES⁵

¹Universidade Federal do Rio Grande – avelaneda.vitor@gmail.com

²Universidade Federal do Rio Grande – camcanelo@gmail.com

³Universidade Federal do Rio Grande – juh.fischer@gmail.com

⁴Universidade Federal do Rio Grande – rochaemanuel7@gmail.com

⁵Universidade Federal do Rio Grande – dinalvaires@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

A poeira astrofísica, presente em todo o meio interestelar (ISM), é composta por grãos carbonáceos como PAHs, grafite e silicatos (DRAINE, 2003). Esses grãos absorvem radiação ultravioleta/visível e reemitem no infravermelho médio (MIR), desempenhando papel essencial no balanço energético das galáxias. Esse processo causa extinção da luz, cuja intensidade depende das propriedades ópticas e da composição dos grãos (SALIM; NARAYANAN, 2020), tornando necessária a aplicação de modelos de correção.

As galáxias Starburst são ambientes ricos em poeira e intensa formação estelar, onde o espectro no MIR é dominado por bandas de PAHs, que podem responder por até 50% da luminosidade total (LI, 2004; SMITH et al., 2007). Essas emissões, localizadas em 3.3, 6.2, 7.7, 8.6, 11.3 e 12.7 μm , fornecem informações sobre as condições físico-químicas do ISM (DRAINE; LI, 2001; AVELANEDA et al. 2024). A intensidade relativa das bandas está ligada ao estado de ionização e ao tamanho molecular, aspectos que fundamentam diagramas diagnósticos baseados em razões espectrais (DRAINE; LI, 2001; BAUSCHLICHER; PEETERS; ALLAMANDOLA, 2009; SALES; CANELO, 2022).

Estudos mostram que subestimar os efeitos da extinção pode comprometer a interpretação de tais diagnósticos, sobretudo em torno de $\sim 10 \mu\text{m}$, região afetada pela absorção de silicatos (HERNÁN-CABALLERO et. al., 2020; LAI et. al., 2024). Nesse contexto, torna-se relevante investigar o impacto da extinção sobre as bandas de PAHs em galáxias Starburst, visando avaliar como diferentes cenários de obscurecimento podem modificar as razões espectrais utilizadas na caracterização do ISM.

2. METODOLOGIA

Neste estudo foram utilizados dados do Infrared Database of Extragalactic Observables from Spitzer (IDEOS), que reúne mais de 3000 espectros no infravermelho médio (MIR) obtidos pelo IRS a bordo do Telescópio Espacial Spitzer (SPOON et al., 2022). Além dos espectros, o IDEOS disponibiliza fluxos e larguras equivalentes de PAHs, intensidade da absorção em 9.7 μm , fluxos de linhas de emissão, características de estado sólido entre 5.5-36 μm e fotometria sintética (SPOON et al., 2022). A amostra foi selecionada considerando três critérios: (i) classificação MIDIRCLASS = 1C, assegurando espectros dominados por starburst (SPOON et al., 2007); (ii) força do silicato em 9.7 μm entre -0.15 e 0; (iii) razão sinal-ruído superior a 30 em 6.6 μm e 24 μm , garantindo qualidade nos intervalos onde se destacam as principais emissões de PAHs.

A decomposição espectral foi realizada com a ferramenta PAHFIT (SMITH et al., 2007), que modela os espectros considerando componentes como o contínuo estelar, contínuos térmicos da poeira, absorção por silicatos, linhas iônicas e moleculares, e bandas de PAHs. O modelo considera perfis de corpo negro para os contínuos, gaussiano para as linhas atômicas e moleculares, e de Drude para as bandas de PAHs, conforme equações descritas em SMITH et al. (2007). Os ajustes foram realizados com os parâmetros padrão do PAHFIT, fixando temperatura do contínuo estelar em 5000 K e utilizando valores de 300 a 35 K para os contínuos de poeira.

Para modelar os efeitos da extinção, os espectros decompostos foram normalizados em 21 μm e combinados em um modelo médio representativo da amostra. Em seguida, aplicou-se a curva de extinção de HENSLEY; DRAINE (2020), normalizada em 9.7 μm , conforme metodologia de CANELO et al. (2021):

$$F_v^{ext}(\lambda) = F_v(\lambda) e^{-\tau_{norm}(\lambda) \times \tau_{sil}} \text{ com } \tau_{norm}(\lambda) = \frac{\tau(\lambda)}{\tau(9.7 \mu\text{m})}$$

onde $F_v^{ext}(\lambda)$ é o fluxo extinto, $F_v(\lambda)$ o fluxo original, $\tau_{norm}(\lambda)$ a curva de extinção normalizada e τ_{sil} o fator de extinção (0-5). Após esse processo, os espectros obscurecidos foram novamente ajustados com o PAHFIT, e as razões entre os fluxos das principais bandas de PAHs foram calculadas para quantificar os efeitos da extinção.

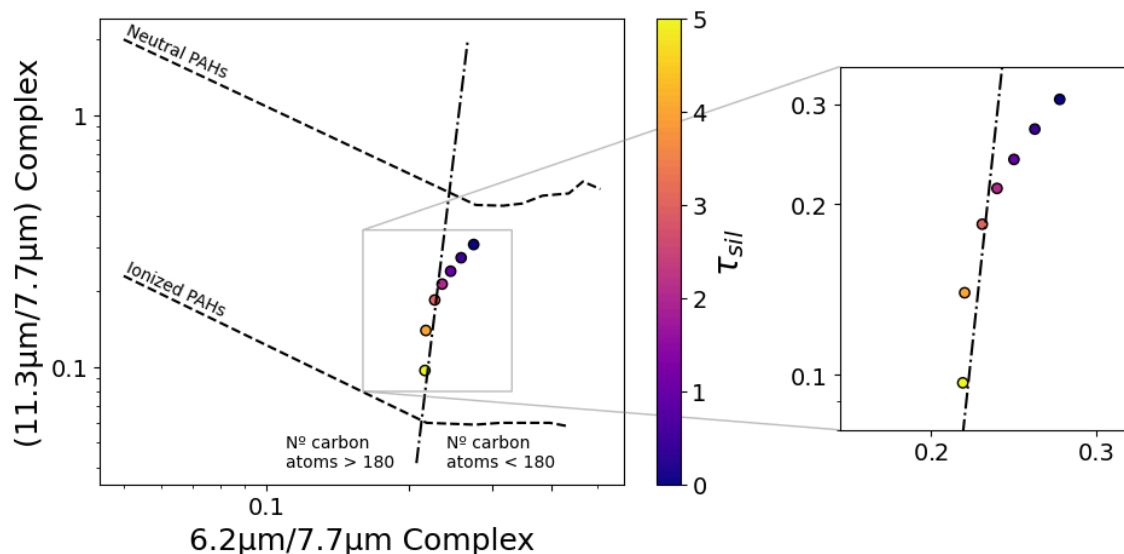
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados mostram que o aumento da profundidade óptica afeta de forma desigual as bandas de PAHs, devido à absorção de silicato em torno de 9.7 μm . A banda de 11.3 μm , embora inicialmente intensa, sofre redução de quase 95% em $\tau_{sil} = 5$, sendo a mais impactada pela extinção, seguida pela de 8.6 μm . Já para $\tau_{sil} = 2$ e 3, observou-se que a opacidade da poeira reduz a intensidade da banda de 11.3 μm em relação às menores, alterando proporções entre as razões diagnósticas. Também foram registradas variações nos complexos de 7.7 e 11.3 μm , com componentes específicas (7.6 e 11.2 μm) mais atenuadas, o que pode modificar o perfil espectral das moléculas.

O diagrama diagnóstico (Figura 1) proposto por (DRAINE; LI, 2001), baseado nas razões 6.2/7.7 e 11.3/7.7 μm , permitiu avaliar deslocamentos causados pela extinção em comparação com valores teóricos de PAHs neutros e ionizados. Até $\tau_{sil} = 2$, não foram observadas mudanças significativas no tamanho molecular, predominando moléculas com mais de 180 átomos de carbono. Entretanto, a partir de $\tau_{sil} = 3$, os pontos passaram a se deslocar no diagrama, sugerindo pequenas alterações nas características moleculares estimadas.

A razão 11.3/7.7 μm , sensível ao grau de ionização, apresentou redução gradual com o aumento da profundidade óptica, indicando que ambientes mais obscurecidos tendem a favorecer moléculas de PAHs ionizadas. Esse efeito, discutido em (HERNÁN-CABALLERO et. al., 2020) e (SHANNON; STOCK; PEETERS, 2016), ressalta a necessidade de correções adequadas para evitar superestimação dos fluxos em bandas fortemente afetadas pela poeira.

Figura 1 - Diagrama diagnóstico razões 6.2 μ m/7.7 μ m e 11.3 μ m/7.7 μ m



4. CONCLUSÕES

A análise dos modelos espectrais e do diagrama diagnóstico confirma que a extinção por poeira afeta de forma significativa as emissões de PAHs, principalmente nas bandas de 11.3 e 8.6 μ m. Entre os complexos analisados, os componentes em 7.6 e 11.2 μ m mostraram-se os mais sensíveis a esse efeito, revelando que a atenuação desigual pode levar a interpretações equivocadas sobre as propriedades físico-químicas das moléculas.

Ambientes fortemente obscurecidos, como regiões de intensa formação estelar em galáxias starburst, tendem a modificar o perfil das moléculas emisoras, sobretudo no que se refere ao grau de ionização. Essa influência da poeira dificulta análises diretas e reforça a necessidade de métodos mais robustos para tratar a extinção em espectros de galáxias ricas em poeira.

Como perspectiva, propõe-se avaliar razões espectrais alternativas e explorar curvas de extinção distintas, de modo a aprimorar a recuperação da luminosidade intrínseca das bandas de PAHs e possibilitar diagnósticos mais precisos sobre a natureza e a ionização dessas moléculas em ambientes extragalácticos.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AVELANEDA, V. N. et al. Modelagem do Perfil de 6.2 μ m: Os Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos Nitrogenados em Galáxias Ativas. **Revista Mundi Engenharia, Tecnologia e Gestão** (ISSN: 2525-4782), v. 9, n. 4, 2024. DOI: 10.21575/25254782rmetg2024vol9n41987.

BAUSCHLICHER, C. W.; PEETERS, E.; ALLAMANDOLA, L. J. The infrared spectra of very large irregular polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs): Observational probes of astronomical PAH geometry, size, and charge. **The Astrophysical Journal**, v. 697, n. 1, p. 311, 2009.

CANELO, C. M. et al. Profile comparison of the 6–9 μm polycyclic aromatic hydrocarbon bands in starburst-dominated galaxies. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 507, n. 4, p. 6177-6195, 2021.

DRAINE, B. T. Interstellar dust grains. **Annual Review of Astronomy and Astrophysics**, v. 41, n. 1, p. 241-289, 2003.

DRAINE, B. T.; LI, A. Infrared Emission from Interstellar Dust. I. Stochastic Heating of Small Grains. **The Astrophysical Journal**, v. 551, n. 2, p. 807, 2001.

HENSLEY, B. S.; DRAINE, B. T. Detection of PAH absorption and determination of the mid-infrared diffuse interstellar extinction curve from the sight line toward Cyg OB2-12. **The Astrophysical Journal**, v. 895, n. 1, p. 38, 2020.

HERNÁN-CABALLERO, A. et al. Extinction in the 11.2 μm PAH band and the low L 11.2/L IR in ULIRGs. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 497, n. 4, p. 4614-4625, 2020.

LAI, T. S. Y. et al. Spectroscopic Constraints on the Mid-infrared Attenuation Curve. I. Attenuation Model Using Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Emission. **The Astrophysical Journal**, v. 967, n. 2, p. 83, 2024.

LI, A. “Interaction of Nanoparticles with Radiation”, em **Astrophysics of Dust**, A. N. Witt, G. C. Clayton e B. T. Draine, editores, sér. **Astronomical Society of the Pacific Conference Series**, vol. 309, mai. de 2004, p. 417.

SALES, D. A.; CANELO, C. M. AstroBioQuímica em ambientes inóspitos: estudo de hidrocarbonetos aromáticos policíclicos em galáxias ativas. **Cadernos de Astronomia**, v. 3, n. 2, p. 66-74, 2022. DOI: 10.47456/Cad.Astro.v3n2.38711.

SALIM, S.; NARAYANAN, D. The dust attenuation law in galaxies. **Annual Review of Astronomy and Astrophysics**, v. 58, n. 1, p. 529-575, 2020.

SHANNON, M. J.; STOCK, D. J.; PEETERS, E. Interpreting the subtle spectral variations of the 11.2 and 12.7 μm polycyclic aromatic hydrocarbon bands. **The Astrophysical Journal**, v. 824, n. 2, p. 111, 2016.

SMITH, J. D. T. et al. The mid-infrared spectrum of star-forming galaxies: global properties of polycyclic aromatic hydrocarbon emission. **The Astrophysical Journal**, v. 656, n. 2, p. 770, 2007.

SPOON, H. W. W. et al. Mid-infrared galaxy classification based on silicate obscuration and PAH equivalent width. **The Astrophysical Journal**, v. 654, n. 1, p. L49, 2007.

SPOON, H. W. W. et al. The infrared database of extragalactic observables from Spitzer. II. The database and diagnostic power of crystalline silicate features in galaxy spectra. **The Astrophysical Journal Supplement Series**, v. 259, n. 2, p. 37, 2022.