

Núcleos ativos de galáxias: uma breve introdução

Dinalva A. Sales

Universidade Federal do Rio Grande

Resumo

Núcleos ativos de galáxia (AGN) são caracterizadas pela presença de buracos-negros supermassivos (SMBHs) em seus núcleos, os quais estão envolvidos na aquisição de matéria por meio de um disco de acreção. No paradigma dos AGNs, persiste um debate significativo quanto à origem dessa atividade, abrangendo desde os mecanismos desencadeadores até os impactos sobre a poeira e as moléculas nas galáxias hospedeiras. Este trabalho busca descrever as principais características observacionais da classificação e unificação sobre núcleo ativos de galáxias.

Abstract

Active Galactic Nuclei (AGN) are characterized by the presence of supermassive black holes (SMBHs) at their cores, which are involved in the acquisition of matter through an accretion disk. Within the AGN paradigm, a significant debate persists regarding the origin of this activity, encompassing triggering mechanisms and the impacts on dust and molecules in host galaxies. This work aims to describe the main observational characteristics of the classification and unification of active galactic nuclei.

Palavras-chave: núcleos ativos de galáxias, galáxias ativas, galáxias Seyferts

Keywords: active galactic nuclei, active galaxies, Seyfert galaxies

DOI: [10.47456/Cad.Astro.v5n1.43653](https://doi.org/10.47456/Cad.Astro.v5n1.43653)

1 Introdução

A busca por classificação parece surgir como uma abordagem para decifrar a complexidade de fenômenos multifacetados observado pela humanidade, tais como os núcleos ativos de galáxias (AGNs). Frequentemente, classificar e categorizar representam os primeiros passos empreendidos em uma investigação científica, antecedendo e, de fato, impulsionando a compreensão das causas físicas subjacentes aos fenômenos observados na natureza.

A narrativa científica está repleta de exemplos nos quais a classificação figura como o ponto de partida crucial na jornada rumo à compreensão. Um clássico exemplo de sucesso da abordagem de classificação em astronomia importante ser mencionado é a classificação espectral estelar, onde, é possível ver primeiros estudos desde final do século XIX em Harvard que permitiram a Payne-Gaposhkin evidenciar que a sequência de classificação espectral de Harvard representa uma ordenação de temperatura na fotosfera, enquanto as abundâncias dos elementos mais comuns exibem mínima variação ao longo da sequência principal.

Essa contribuição, por sua vez, desempenhou um papel fundamental na concepção do diagrama de Hertzsprung-Russell (HR) que é utilizado atualmente para estudar a estrutura e evolução estelar [1–3].

Sob vários prismas, os AGNs se revelam como fenômenos mais complexos em comparação com galáxias compostas apenas por estrelas (emissão térmica), também conhecidas como galáxias normais ou galáxias com alta taxa de formação estelar jovem (*starburst*). Enquanto estas últimas emitem predominantemente sua luz na faixa óptica atmosférica, os AGNs irradiam intensamente em todo comprimento de onda do espectro eletromagnético acessível. Essa característica dos AGNs faz com que suas descobertas e classificações foram acontecendo ao longo da evolução tecnológica dos sensores e telescópios. Neste ponto, para leitores que objetiva ter um aprofundamento maior sobre essa classe de galáxia é recomendável ler nos seguintes livros e artigos [1, 4–11].

2 Definição e classificação

À medida que as descobertas progredem com ao longo dos avanços instrumentais, juntamente com as detecções em diferentes comprimentos de ondas, a classificação dos AGNs é complexa e as assinaturas geométricas desses objetos são acessadas empregando muitos métodos diferentes. Embora isso possa parecer um pouco difícil de compreender, um aprofundamento substancial pode ser adquirida ao correlacionar as diversas classificações e propriedades de fontes individuais.

De modo geral, é sabido que AGNs são uma das classes de objetos mais energéticos do Universo e podem emitir, em comprimento de onda do óptico, cerca de $\sim 10^{48}$ erg/s (100 a 1000 vezes o brilho total da Via Láctea). Isso evidencia que eles podem ser aproximadamente $\sim 10^{10}$ vezes mais energéticos do que as galáxias convencionais, contudo, o volume que irradia essa energia é cerca de $\sim 10^{30}$ vezes menor que o volume da galáxia hospedeira.

O núcleo dessas galáxias emite energia que não pode ser explicada como sendo gerada unicamente por estrelas. Dentro do paradigma atual, a energia emitida por um AGN é gerada à partir da transformação da energia potencial gravitacional de matéria que é acretaada à um Buraco Negro Supermassivo (SMBH), com massa que varia de um milhão a um bilhão de massas solares, através de um Disco de Acreção.

Neste contexto, o estudo de AGNs é um dos temas fundamentais na busca da melhor compreensão sobre formação e evolução de galáxias, e consequentemente, tal compreensão auxilia no melhor conhecimento sobre a própria evolução do Universo. Mesmo existindo muitos avanços na compreensão sobre AGNs ainda existem perguntas fundamentais que ainda estão em aberto, são eles:

- o que o fenômeno SMBH causa no material (estrelas, gás, poeira e moléculas) que compõe suas galáxias;
- quais as propriedades físicas que as galáxias necessitam para ativar seu buraco negro central?
- qual a importância fundamental que o SMBH possui em promover a estabilidade de suas galáxias?

Muito autores tem dedicados décadas na busca de respostas a essas perguntas e conclusões mais profunda podem ser visto nos seguintes trabalhos [?, 1, 4–20]

Uma das principais características que separam os diferentes tipos de AGNs são galáxias que possuem emissão intensa em comprimentos de onda de rádio (*loud*) e galáxias com fraca ou sem emissão de rádio (*quiet*). A tabela 1 mostra um panorama geral das diferentes classificações e tipos de AGNs.

O primeiro estudo documentação do espectro óptico de um Núcleo Ativo de Galáxia (AGN) foi documentada por [21], ao observar as proeminentes linhas de emissão no espectro nuclear de NGC1068. Entretanto, o exame das regiões nucleares de seis galáxias espirais atípicas realizado por Carls Seyfert (1943) marca o pioneirismo no primeiro estudo sistemático de uma classe de AGN. Ao analisar os espectros ópticos das galáxias NGC 1068, NGC 1275, NGC 3516, NGC 4051, NGC 4151 e NGC 7469, Seyfert observou que todas apresentavam linhas de excitação média, como [O III] 5007Å, além de linhas permitidas de H I, He I e He II com amplas larguras (FWHM > 1000 km s⁻¹).

Após essa investigação, [22] classificou as galáxias Seyfert em duas categorias. Essa categorização é determinada pela presença ou ausência da componente larga nas linhas de emissão permitidas na faixa de comprimento de onda óptico [23]:

- *Seyfert 1* - Nessas galáxias, observam-se duas componentes nas linhas de emissão. Uma delas apresenta larguras semelhantes às observadas em galáxias normais ou com formação estelar (aproximadamente 500 km s⁻¹) e origina-se em um gás ionizado de baixa densidade eletrônica ($10^3 - 10^6$ cm⁻³). A outra componente surge apenas em linhas permitidas, como H I, He I e He II, exibindo larguras de cerca de 5000 km s⁻¹, indicando que essas linhas têm origem em um gás de alta densidade, superior a 10^9 cm⁻³. Uma característica adicional das Seyfert 1 é que o contínuo observado segue uma lei de potência.
- *Seyfert 2* - Nessas galáxias, as linhas de emissão, tanto permitidas quanto proibidas, exibem perfis e larguras semelhantes, raramente

Tabela 1: Principais classificações e tipos de AGNs.

Rádio fraco, <i>quiet</i>	Rádio intenso, <i>loud</i>	Tipos
Quasar rádio fraco (RQQ)	Quasar rádio intenso (RLQ)	AGNs tipo 1
Seyfert 1	Galáxia rádio com linhas largas (BLRG)	
Seyfert 2	Galáxia rádio com linhas largas (NLRG)	AGNs tipo 2
LINER	Galáxia rádio com linhas largas (NLRG)	AGNs tipo 3

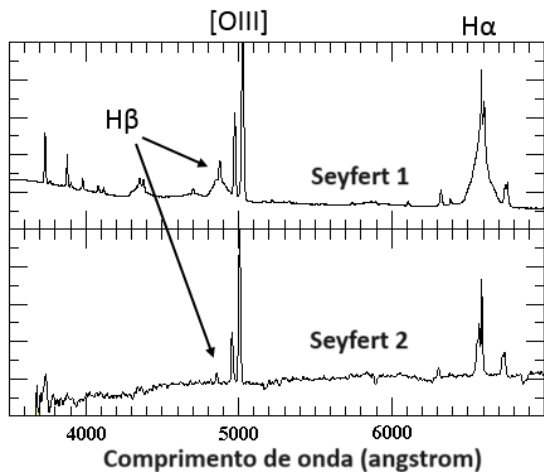


Figura 1: Um exemplo de espectros de Seyfert 1 e Seyfert 2 destacando suas diferenças. As linhas largas de $H\beta$ e $H\alpha$ estão presentes apenas em Seyferts do tipo 1. A linha de emissão $[OIII]$ forte é estreita em ambos os casos. O fluxo está em unidades arbitrárias e o comprimento de onda está em unidade de angstroms. Figura adaptada de [24].

ultrapassando uma velocidade de $\sim 600 \text{ km s}^{-1}$. No entanto, em contraste com as Seyfert 1, o espectro de energia contínua das galáxias Seyfert 2 pode ser descrito como uma combinação de uma componente estelar e uma lei de potência.

A Figura 1 mostra o espectro em comprimento de onda do óptico de AGNs Seyfert 1 e 2. É possível claramente a diferença nas linhas de emissão onde as linhas de recombinação do hidrogênio ($H\beta$ e $H\alpha$) em Seyfert 1 estão alargadas enquanto essas mesmas linhas de recombinação são estreitas em Seyfert 2.

As principais categorias de AGNs compreendem as galáxias Seyfert e os quasares, distinguindo-se pela quantidade de energia irradiada pela fonte central. Nas galáxias Seyfert, a luminosidade do núcleo na faixa de comprimentos de onda visível é comparável à energia emitida pela galáxia hospedeira. Por outro lado, nos qua-

sares, a fonte nuclear é aproximadamente com vezes mais intensa do que a luminosidade da galáxia hospedeira [5, 8]. Os estudos sobre AGNs receberam uma notável atenção no início da década de 1960, impulsionada pela descoberta de quasares, que se destacavam por suas elevadas luminosidades, aparência quase estelar e espectros ópticos semelhantes aos das galáxias Seyfert 1 [25, 26].

Opostos aos Quasares, AGNs mais luminosos, existem AGNs que possuem linhas de emissão iônica estreitas apenas de baixa ionização, também conhecidos como LINES [27]. Entretanto, ainda é bem discutido e permanece incerto se LINERS são AGNs ou galáxias com formação estelar no núcleo das galáxias [8].

A criação de sistemas de classificação para AGNs com intensa emissão em comprimentos de onda de rádio (*loud*) ocorreu, em muitos aspectos, de maneira paralela àquela dos AGNs identificados primeiramente com dados do óptico. Estudos ópticos das galáxias com rádio intenso mostrou que elas tinham características espectrais semelhantes aquelas classes de AGNs tipo 1, 2 e 3. A tabela 1 mostra as classes similares em emissão óptica sendo uma parte com emissão de rádio fraco (*quiet*) e intenso (*loud*).

À medida que a sensibilidade dos instrumentos melhora e novas técnicas são desenvolvidas, as classificações podem parecer ambíguas. Isso é especialmente notável na distinção entre Seyfert 1 e Seyfert 2, assim como, BLRG ou NLRG. Quando os espectros abrangem apenas a parte azul da janela óptica (ou seja, cobrindo a região espectral das linhas $H\alpha$ e $H\beta$), pode ser desafiador detectar linhas largas permitidas, especialmente se a componente AGN da linha larga for tênue em comparação com o continuum estelar da galáxia hospedeira e/ou se a relação sinal-ruído (S/N) for baixa e/ou a resolução espacial das observações também forem baixas. Em determinadas situações, é necessário empregar espectros de alta relação

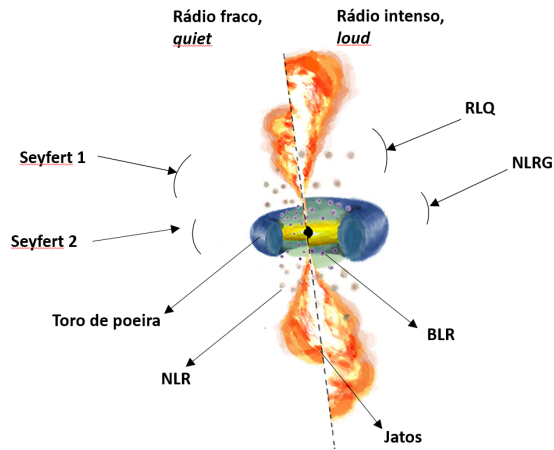


Figura 2: Modelo unificado de AGNs identificando as classificações dos diferentes tipo de AGNs e suas linhas de visadas. A legenda mostra as localizações e geometrias do disco de acreção, região de linhas largas (BLR), região de linhas estreitas (NLR), toro de poeira e jatos. Os ângulos de visada dos AGNs tipo Seyfert 1, Seyfert 2, RLQ e NLRG também são mostradas. Figura adaptada de [28].

S/N, que cubram a forte linha $H\alpha$, combinados com modelagem e subtração precisas do contínuo estelar, para revelar o verdadeiro caráter Seyferts 1 de um AGN.

Embora possa parecer complexo, uma compreensão substancial pode ser alcançada ao correlacionar as diversas classificações e propriedades de fontes individuais em diferentes comprimentos de onda do espectro eletromagnético, assim, a classificação pode ser mais robusta [29]. Essa seção sobre classificação de AGNs não abordou as classes de galáxias com variabilidade na emissão em rádio e também os AGNs com jatos em rádio.

3 Modelo unificado de AGNs

A motivação para a proposição do modelo unificado de AGNs surgiu da necessidade de explicar as diversas características espectrais e morfológicas dos dados observados em diferentes comprimentos de onda nesses objetos. Antes da concepção dessa unificação, muitos desafios eram encontrado na interpretação das propriedades observadas entre diferentes subclasses de AGNs, como as galáxias Seyfert 1 e Seyfert 2, além de outras classes como quasares e rádio galáxias.

Nesse sentido, o modelo unificado de AGNs propõe a existência de um núcleo central contendo um SMBH, um disco de acreção e regiões

de gás ionizado como mostrado da Figura 2. A orientação do observador em relação a essas estruturas determina as características observadas, como a presença de linhas largas (BLR) permitidas e linhas estreitas (NLR), a emissão de rádio, e outros aspectos do espectro eletromagnético [12].

A proposição do modelo unificado de AGNs por [12] prevê a presença de um SMBH no centro da galáxia, cercado por pelo disco de acreção. Nesse modelo, as linhas largas são geradas pelas nuvens de gás próximas ao núcleo, na chamada região de linhas largas (BLR), enquanto as linhas estreitas são produzidas por nuvens de gás localizadas nas regiões mais externas da galáxia, aproximadamente 1 kiloparsec de distância, na região de linhas estreitas (NLR). Portanto, quando observamos a luz proveniente da BLR e da NLR, identificamos uma galáxia Seyfert 1. Este modelo também propõe que Seyfert tipo 1 e 2 são os mesmo objetos, porém, uma estrutura toroidal composta por poeira obscurece as BLR, assim identificamos uma galáxia Seyfert 2 [4, 12].

Esse modelo unificado busca explicar a variedade de observações em AGNs de forma consistente e dependente da orientação do observador em relação à estrutura intrínseca da galáxia ativa.

O modelo unificado de AGNs também propõe a existência de um meio difusor, posicionado acima do toro de poeira, que dispersa a luz proveniente da BLR e pode ser visto pelo observador quando a galáxia é classificada como Seyfert 2 [30]. Essa proposição foi confirmada por observacionalmente por [12], que identificaram linhas permitidas largas no espectro polarizado da galáxia Seyfert 2 NGC 1068.

Dada a diversidade observada na população geral de AGN e suas galáxias hospedeiras, é improvável que tal unificação perfeita possa se manter e ainda se mantém muitas perguntas fundamentais sobre classificação e natureza dos AGNs. O modelo unificado de AGNs, centrados na orientação do observador, demonstra notável êxito na explicação de algumas propriedades observadas nos AGNs, especialmente na relação entre AGN de linhas largas e estreitas. Ao longo das últimas duas décadas, esses esquemas resistiram à maioria dos principais testes estatísticos. No entanto, é evidente que representam uma generalização, uma tentativa de simplificar, possivelmente simplificando excessivamente, uma situação intrínse-

camente complexa.

A principal utilidade do modelo de unificação reside no fato de possibilitarem uma melhor compreensão da física fundamental de formação e evolução dos AGN. Simultaneamente, o estudo desenvolvidos para validar a unificação proporcionou informações significativas sobre a distribuição e evolução do meio interestelar nas regiões centrais dos núcleos de AGNs. Como resultado, é possível compreender os AGN como sistemas dinâmicos e em evolução, que exercem um impacto substancial em seu entorno. Porém, é válido ressaltar novamente que este trabalho está mostrando apenas alguns pontos principais de um complexo estudo de AGNs, assim, uma maior compreensão sobre o tema pode ser aprofundado através de estudos das referências bibliográficas apresentadas neste trabalho (ver seção Referências).

4 Agradecimentos

Dinalva A. Sales agradece ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS).

Sobre o autor

Dinalva Aires de Sales (dinalvaires@gmail.com) é graduada em Matemática pela Universidade do Vale do Paraíba (2005), Mestre em Física e Astronomia pela Universidade do Vale do Paraíba (2007) e Doutora em Física pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (2012). Foi NASA Postdoctoral Fellow no Rochester Institute of Technology (2012/2013) e pós-doutoranda da DOCFIX-FAPERGS/CAPES na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (2013/2016).

Possui experiência na área de Astrofísica, atuando principalmente nos seguintes temas: núcleo ativo de galáxia, galáxias em interação, moléculas complexas, espectroscopia e imageamento. Atualmente é professora adjunta do Instituto de Matemática, Estatística e Física (IMEF) da Universidade Federal do Rio Grande (IMEF-FURG), foi Coordenadora do Programa de Pós-Graduação

em Física (PPG-Física) do IMEF-FURG (2019-2021) e atualmente Coordenadora de Bolsas Institucionais da Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação (PROPESP) da FURG.

Referências

- [1] C. Tadhunter, *An introduction to active galactic nuclei: classification and unification*, *New Astronomy Reviews* **52**(6), 227 (2008).
- [2] E. D. d. Santos et al., *O caminho tortuoso de mulheres na ciência e na astronomia: evolução e composição estelar a partir de estudos feitos por Cecilia Payne*, *Revista Vitruvian Cogitationes* **4**(extra), 246 (2023). Disponível em <https://periodicos.uem.br/ojs/index.php/revisvitruscogitationes/article/view/70590>, acesso em fev. 2024.
- [3] P. C. Vieira, N. T. Massoni e A. Alves-Brito, *O papel de Cecilia Payne na determinação da composição estelar*, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **43** (2021).
- [4] R. Antonucci, *Unified models for active galactic nuclei and quasars.*, *Annual Review of Astronomy and Astrophysics* **31**(1), 473 (1993).
- [5] B. M. Peterson, *An introduction to active galactic nuclei* (Cambridge University Press, Cambridge, 1997).
- [6] J. H. Krolik, *Active galactic nuclei: from the central black hole to the galactic environment* (Princeton University Press, Princeton, 1998).
- [7] D. E. Osterbrock e G. J. Ferland, *Astrophysics of gaseous nebulae and active galactic nuclei* (University Science Books, Melville, 2006).
- [8] L. C. Ho, *Nuclear activity in nearby galaxies.*, *Annual Review of Astronomy and Astrophysics* **46**, 475 (2008). [ArXiv:0803.2268](https://arxiv.org/abs/0803.2268).
- [9] H. Netzer, *Revisiting the unified model of active galactic nuclei*, *Annual Review of Astronomy and Astrophysics* **53**(1), 365 (2015).

- [10] T. M. Heckman e P. N. Best, *The coevolution of galaxies and supermassive black holes: insights from surveys of the contemporary universe*, *Annual Review of Astronomy and Astrophysics* **52**, 589 (2014).
- [11] W. N. Brandt e D. M. Alexander, *Supermassive black-hole growth over cosmic time: Active galaxy demography, physics, and ecology from Chandra surveys*, *Proceedings of the National Academy of Sciences* **107**(16), 7184 (2010).
- [12] R. R. J. Antonucci e J. S. Miller, *Spectropolarimetry and the nature of NGC 1068*, *The Astrophysical Journal* **297**, 621 (1985).
- [13] R. Terlevich e J. Melnick, *Warmers: the missing link between starburst and Seyfert galaxies*, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* **213**(4), 841 (1985).
- [14] A. Alonso-Herrero et al., *Nuclear 11.3 μm PAH emission in local active galactic nuclei*, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* **443**(3), 2766 (2014).
- [15] C. M. Canelo et al., *Profile comparison of the 6-9 μm polycyclic aromatic hydrocarbon bands in starburst-dominated galaxies*, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* **507**(4), 6177 (2021).
- [16] C. M. Canelo et al., *Variations in the 6.2 μm emission profile in starburst-dominated galaxies: a signature of polycyclic aromatic nitrogen heterocycles (PANHs)?*, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* **475**, 3746 (2018).
- [17] C. M. Canelo, *O mundo aromático - dos PAHs no meio interestelar às condições bióticas*, Dissertação de Mestrado, IAG, São Paulo (2016).
- [18] M. G. Pastoriza, *Studies of galaxies with peculiar nuclei*, *Astrophysics and Space Science* **33**(1), 173 (1975).
- [19] R. A. Riffel et al., *Mapping of molecular gas inflow towards the Seyfert nucleus of NGC 4051 using Gemini NIFS*, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* **385**(3), 1129 (2008).
- [20] R. Riffel, A. Rodriguez-Ardila e M. G. Pastoriza, *A 0.8-2.4 μm spectral atlas of active galactic nuclei*, *Astronomy & Astrophysics* **457**(1), 61 (2006).
- [21] E. A. Fath, *The spectra of some spiral nebulae and globular star clusters*, *Lick Observatory Bulletins* **5**(149), 71 (1909).
- [22] E. Y. Khachikian e D. W. Weedman, *An atlas of Seyfert galaxies*, *ApJ* **192**, 581 (1974).
- [23] D. E. Osterbrock, *Observational model of the ionized gas in Seyfert and radio-galaxy nuclei*, *Proceedings of the National Academy of Sciences* **75**(2), 540 (1978).
- [24] J. Runco, *Frequency of Seyfert type transitions in a sample of 102 local active galactic nuclei*, Trabalho de Conclusão de Curso, California Polytechnic State University (2015). Disponível em <https://digitalcommons.calpoly.edu/physp/128/>, acesso em fev. 2024.
- [25] M. Schmidt, *3C 273: a star-like object with large redshift*, *Nature* **197**, 1040 (1963).
- [26] J. L. Greenstein, *Redshift of the unusual radio source: 3C 48*, *Nature* **197**, 1041 (1963).
- [27] T. M. Heckman, *An optical and radio survey of the nuclei of bright galaxies - activity in the normal galactic nuclei*, *Astronomy & Astrophysics* **87**, 152 (1980). Disponível em <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1980A&A...87..152H>, acesso em fev. 2024.
- [28] M. Berton et al., *An orientation-based unification of young jetted AGN: the case of 3C 286*, *Frontiers in Astronomy Space Sciences* **4** (2017).
- [29] D. A. Sales et al., *An embedded active nucleus in the OH Megamaser Galaxy IRAS16399-0937*, *The Astrophysical Journal* **799**(1), 25 (2015).
- [30] R. D. Blandford e M. J. Rees, *Some comments on radiation mechanisms in Lacertids*, in *Pittsburgh Conference on BL Lac Objects*, *Proceedings*, editado por A. M. Wolfe (1978), 328-341.