Um estudo sobre um aglomerado de galáxias

Lucas A. L. Siconato*, Reinaldo R. de Carvalho

Resumo

Neste trabalho, desenvolvemos uma sólida formação teórica em cosmologia e propriedades de galáxias através do estudo de livros textos referências em suas áreas. A saber i) Ryden¹, ii) Carrol² e iii) Mo³. Além disso, utilizando o software CyMorph⁴ calculamos os índices CASHG₂^{4,6} de 946 galáxias a fim de utilizá-los para sua classificação morfológica através de um algoritmo de aprendizado de máquina. Classificamos 258 delas como do tipo early-type, 558 como late-type e 130 não obtiveram classificação. Posteriormente, investigamos a correlação de sua classificação morfológica com quatro propriedades comuns a galáxias. Analisamos a amostra de galáxias early-type, utilizando o software GALPHAT a fim de vermos na prática o poder e funcionamento da análise bayesiana.

Palavras-chave:

cosmologia, galáxias, classificação-morfológica

Introdução

A classificação morfológica de galáxias é essencial para compreendermos as suas propriedades e características evolutivas. Além disso o volume de dados disponíveis sobre esses objetos celestes cresce a cada segundo e portanto, o desenvolvimento de novas e eficientes técnicas para a análise desses dados tornam-se um desafio.

Com isso em vista exploramos o funcionamento de dois softwares: o CyMorph⁴ e o GALPHAT⁵. O primeiro diz respeito a um pacote para o cômputo dos índices de classificação morfológica de uma abordagem não paramétrica referentes ao sistema CASHG₂^{4,6} enquanto que o segundo é uma ferramenta de decomposição de imagens que segue um modelo de inferência bayesiana.

Resultados e Discussão

O sistema CASHG₂^{4,6} está relacionado com cinco diferentes índices, que são computados para cada imagem de galáxia que será analisada. O índice (C) é referente a concentração, um parâmetro que é utilizado qualitativamente na classificação de galáxias. Por sua vez, (A) e (S) referem-se, respectivamente, a assimetria e a smoothness da imagem. Tal como é intuitivo inferir, o primeiro classifica a assimetria presente na imagem, enquanto que o segundo mede a dispersão do fluxo de pixels locais de uma imagem. (H) referem-se a entropia Shannon e quantifica a distribuição dos valores dos pixels na imagem analisada. (G₂) é dito segundo momento de gradiente de uma imagem e é introduzido por (6).

Os dados referentes a esses parâmetros foram computados para uma amostra de 946 galáxias e através de um algoritmo de aprendizado de máquina elas foram classificadas: 258 como do tipo early-type, 558 como late-type e 130 não obtiveram classificação.

Com as galáxias classificadas, investigamos o comportamento de quatro propriedades: i) A idade de cada galáxia, ii) a metalicidade ([Z/H]) iii) a massa estelar e iv) a internal extinction; verificando, de fato, a correlação delas com a sua classificação morfológica.

Na subamostra de 258 galáxias early-type, fizemos uma análise utilizando o GALPHAT que é uma ferramenta de decomposição de imagem capaz de promover uma estimativa robusta de perfis de brilho

superficiais de galáxias através do uso de Bayesian Markov Chain Monte Carlo. Essencialmente, seu poder está relacionado ao fato de que sua abordagem é capaz de comparar a compatibilidade de diferentes modelos para um mesmo conjunto de dados.

Conclusão

Neste projeto construímos uma sólida base em cosmologia e astrofísica moderna e, analisamos uma amostra de 946 galáxias referentes a um aglomerado escolhido. Aplicamos a elas um modelo de classificação morfológica através do uso dos índices CASHG₂, calculados pelo software CyMorph e que posteriormente foram submetidos a um algoritmo de aprendizado de máquina para classificação. Com as galáxias classificadas, usamos o software GALPHAT em uma subamostra de 258 galáxias early-type (ou do tipo (E)) a fim de vermos na prática o poder proporcionado por uma análise do tipo bayesiana.

Com a classificação feita, exploramos ainda quatro diferentes propriedades de galáxias a fim verificar a correlação de sua classificação morfológica com essas mesmas propriedades.

Agradecimentos

Agradecemos a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo pela concessão da bolsa referente ao projeto 2016/23563-9.

¹Ryden B. Introduction to Cosmology. 2nd ed.; Cambridge University Press; 2016

²Carroll, B. W.; Ostlie, D. A. *An introduction to Modern Astrophysics*; Pearson Addison Wesley: San Francisco, 2007.

³Mo, H.; Bosch, F. V. den; White, S. *Galaxy formation and evolution*; Cambridge University Press: Cambridge, 2010.

⁴Barchi, P. H.; de Carvalho, R. R.; Rosa, R. R.; Sautter, R. A.; Soares-Santos, M.; Marques, B. A. D.; Clua, E.; Gonçalves, T. S.; de Sá Freitas, C.; Moura, T. C. Machine and Deep Learning Applied to Galaxy Morphology - A Comparative Study. *In preparation*, 2019.

⁵Yoon, I.; Weinberg, M.; Katz, N. New Insights into Galaxy Structure from GALPHAT. *Lecture Notes in Statistics Statistical Challenges in Modern Astronomy V* 2012, 555–556.

⁶Rosa, R. R.; De Carvalho, R. R.; Sautter, R. A.; Barchi, P. H.; Stalder, D. H.; Moura, T. C.; Rembold, S. B.; Morell, D. R. F.; Ferreira, N. C. Gradient Pattern Analysis Applied to Galaxy Morphology. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society: Letters* 2018 477 (1).