

COMPARAÇÃO DE MORFOLOGIA DE GALÁXIAS SINTÉTICAS DO ILLUSTRIS PROJECT COM MORFOLOGIA DE GALÁXIAS OBSERVADAS

GEFERSON LUCATELLI¹; FABRÍCIO FERRARI²;

¹Universidade Federal do Rio Grande – gefersonlucatelli@gmail.com

²Universidade Federal do Rio Grande – fabricao.ferrari@furg.br

1. INTRODUÇÃO

Morfologia é o resultado de formação, evolução e interação de galáxias com suas vizinhanças. A relação entre a morfologia de galáxias e outras propriedades podem nos ajudar a entender como elas adquiriram suas propriedades morfológicas que observamos hoje. Essa é uma importante área da física, que esta enquadrada na astrofísica extragaláctica.

O método tradicional de análise é feito por inspeção visual das imagens, e é deficiente por várias razões: é muito subjetivo; não captura morfologias sutis; não pode ser aplicado a um grande banco de dados. Nos últimos anos, telescópios de alta tecnologia têm sido construídos, e a aquisição de dados feita por eles é grande. É imperativo então usar um recurso computacional, o algoritmo MORFOMETRYKA (FERRARI, 2014), que visa calcular os parâmetros morfométricos através das imagens. Utilizando este, uma análise será feita sobre o banco de dados do *Sloan Digital Sky Survey Legacy Survey* (SDSS) na banda *r* em cerca de 800.000 imagens.

Historicamente, uma análise começou a ser feita de forma objetiva. Existiram várias tentativas de medir dessa forma a morfologia de galáxias e classificá-las corretamente. Um sistema relativamente simples bem sucedido é a concentração, assimétrica, suavidade, Gini e o sistema M20 (CASGM), apresentado por (ARAHAM, 1994), (CONSELICE, 2000) e (LOTZ et al., 2004). Mais tarde, isso foi expandido até outras quantidades, como parâmetros do modelo de Sersic (SERSIC, 1968), raio Petrosiano (PETROSIAN, 1976), etc.

O objetivo geral deste trabalho é aplicar os conceitos anteriormente citados, em conjunto com o MORFOMETRYKA, sobre o banco de dados sintético do *Illustris*, chamado de *Illustris-Project* (NELSON et al., 2015).

Um trabalho nesse banco de dados servirá para validar resultados obtidos até então pelo algoritmo em dados observados, uma vez que se sabe de antemão quais os parâmetros iniciais que serão comparados com os resultados da análise. Isso mostrará o que é conciso ou não, e também poderá nos permitir inferir conceitos que não seriam possíveis observacionalmente.

2. METODOLOGIA

O *Illustris* é uma simulação hidrodinâmica do universo. Esse universo está contido em uma caixa cúbica com arestas de tamanho igual a 106,5 Mpc, e a simulação visa descrever toda a evolução física desse sistema do instante inicial até o tempo presente, desde as grandes estruturas do universo até galáxias, e por fim pequenas estruturas, como estrelas.

A sequência de atividades a serem desenvolvidas em cima do Illustris Project, em quatro trimestres, é:

1. avaliar o formato do banco de dados e sua estruturação para uso com o MORFOMETRYKA;
2. selecionar uma subamostra estatisticamente representativa para avaliar a performance dos algoritmos a serem aplicados. Executar os testes nesta subamostra;
3. processar o banco de dados completo com os algoritmos do MORFOMETRYKA;
4. preprocessar, organizar, analisar e publicar os resultados da análise.

Cada galáxia no Illustris é chamada de *subhalo* e identificada por um ID. O banco de dados está organizado por *snapshots*. Cada snapshot representa um instante de tempo na simulação, e associado a isso, um *redshift*. No total são 135 snapshots, que vai de 0 a 135 (excluindo o 53). O de número 135 corresponde ao redshift $z=0$. Para identificar uma galáxia ao longo de snapshots, é usado a rede de progenitores e descendentes (NELSON et al., 2015). Cada galáxia têm a informação de quais são os seus respectivos. Com isso, é obtido todos os dados da galáxia ao longo de toda a sua evolução. Os arquivos de dados estão em formato *hdf5*.

A partir desses dados sintéticos, utilizando-se dois algoritmos já desenvolvidos em *python*, o SUNRISE e o SUNPY, são geradas as imagens sintéticas das galáxias (TORREY et al., 2014). O SUNRISE cria um arquivo *data-cube* a partir do arquivo *hdf5*, nomeado de *broadband*, onde este contém a imagem da galáxia composta por diferentes filtros, diferentes ângulos de visada (quatro no total), entre outras informações, e está em formato *fits*. Nesse arquivo, aplica-se o algoritmo SUNPY, onde este nos dá o produto final das imagens sintéticas. Essas por fim, também estão no formato *fits*. Ainda com o SUNPY, é possível adicionar às imagens, ruído de fundo randômico, PSF e ainda um *background*, que é um fundo de imagem formado por galáxias e estrelas (SDSS), entre outros. Uma criação de uma parcela de imagens foi feita por (SNYDER et al, 2015) e (GENEL et al., 2014).

Iremos processar essas imagens *fits* no MORFOMETRYKA e verificar como se dá a evolução das mesmas, e paralelamente comparando com o resultados do processamento das imagens que são extraídas a partir dos telescópios. A análise se dá a partir dos seguintes passos:

1. concentração índice (C): é a razão de um raio circular contendo 20% e 80% do fluxo total da galáxia, onde essas porcentagens podem ser definidas em ordem para maximizar a distinção entre sistemas e maximizar efeitos visuais;
2. coeficiente de assimetria (A): é determinado comparando a imagem original com o seu homólogo rotacionado;
3. suavidade (S): mede as estruturas de pequenas escalas na galáxia;
4. coeficiente de Gini: mede o quanto a luz é concentrada ao longo dos pixels da galáxia;
5. parâmetros de Sérsic: índice de Sérsic, raio efetivo, brilho significativo superficial interno;
6. raio Petrosiano: é o local onde a razão entre o brilho de superfície e a área dentro do raio assume certo valor.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O presente trabalho está em fase inicial de desenvolvimento. Até aqui, estudamos a literatura e entendemos como está organizado o banco de dados, para podermos ter acesso a ele sem nenhuma dificuldade. Utilizando a rede de progenitores, foram criados algoritmos para adquirirmos dados, de uma forma simples e fácil, de toda a evolução de uma dada galáxia. Analisamos o formato dos arquivos e buscamos os softwares/algoritmos requeridos para que possamos trabalhar com estes.

Até o momento foi possível gerar imagens sintéticas apenas de galáxias referentes ao snapshot 135, ou seja $z=0$. Foram encontrados problemas na instalação do pacote SUNRISE para processar os demais arquivos hdf5 referentes aos outros snapshots. O que geramos para $z=0$, foi devido os broadbands desse snapshot terem sido criados pela equipe do Illustris. Estamos a resolver o problema com o SUNRISE para assim dar sequência ao trabalho e gerar as imagens em formato fits aos demais redshifts da evolução de uma dada galáxia.

As figuras abaixo mostram uma representação de uma imagem sintética de uma certa galáxia para o snapshot 135. A Figura 1 é uma imagem criada com o SUNPY, originalmente sem adição de ruído de fundo, PSF e background e a Figura 2 é acrescentado isso.

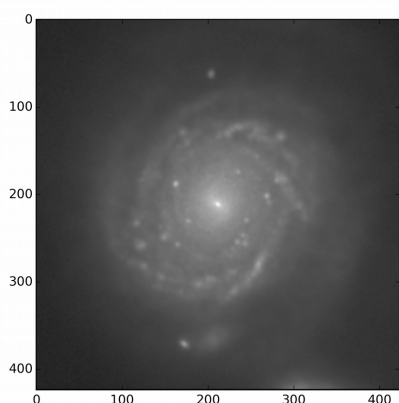


Figura 1

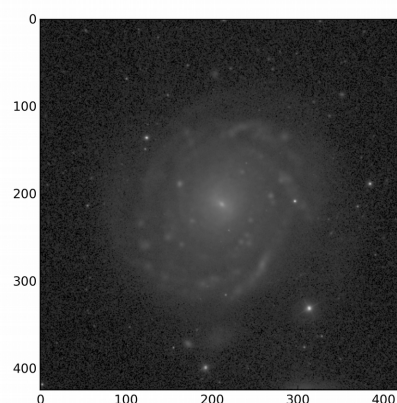


Figura 2

4. CONCLUSÕES

Este trabalho em cima dos dados sintéticos nos permitirá validar os resultados que serão obtidos pelo MORFOMETRYKA nos dados reais. Se obtermos um bom resultado, isso significa os dados serem consistentes, teremos mais uma garantia de que o algoritmo está executando os passos corretamente.

Paralelamente a isso, depois que as imagens sintéticas forem criadas para toda a evolução de uma certa galáxia, podemos usando o algoritmo, classificar a morfologia de uma forma mais concreta dos dados reais, pois sabemos os parâmetros dos dados sintéticos. Tendo tudo isso funcionando da melhor forma possível, uma análise será feita do grande banco de dados do SDSS, e se terá uma boa estatística de como as galáxias evoluem.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAHAM, R. G. et al. The morphologies of distant galaxies. 1: an automated classification system, **Astrophysical Journal, Part 1**, Hampton, v.432, n.1, p.75-90, 1994.

BITBUCKET. **SUNRISE**. Acessado em 24 jul. 2015. Online. Disponível em: <https://bitbucket.org/lutorm/sunrise>

CONSELICE, C. J.; The Asymmetry of Galaxies: Physical Morphology for Nearby and High-Redshift Galaxies. **The Astrophysical Journal**, Chicago, v.529, n.2, p.886-910, 2000.

DE VAUCOULEURS, G. Classification and Morphology of External Galaxies, **Handbuch der Physik**, v.53, p.275, 1959.

FERRARI, F. MORFOMETRYKA: Algoritmo de fotometria e morfologia de galáxias, FURG, 2014.

GENEL, S. et al. Introducing the Illustris project: the evolution of galaxy populations across cosmic time, **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, Oxford, v.445, n.1, p.175-200, 2014.

GITHUB. **SUNPY**. Acessado em 25 jul. 2015. Online. Disponível em: <https://github.com/ptorrey/sunpy>

HUBBLE, E. P.; Extragalactic nebulae, **Astrophysical Journal**, Massachusetts, v.64, p.321-369, 1926.

ILLUSTRIS-PROJECT. Acessado em 25 jul. 2015. Online. Disponível em: <http://www.illustris-project.org/>

LOTZ, J. M.; PRIMACK, J.; MADAU, P.; A new nonparametric approach to galaxy morphological classification. **The Astronomical Journal**, v. 28, p.163–182, 2004.

NELSON, D. *et al*, The Illustris Simulation: Public Data Release, **eprint arXiv**, ARXIV, 1504.00362, 2015.

PETROSIAN, V. Surface brightness and evolution of galaxies, **Astrophysical Journal**, Hampton, v.209, n.2, p.L1-L5, 1976.

SÉRSIC, J. L. **Atlas de galaxias australes**. Cordoba, Argentina: Observatorio Astronomico, 1968.

SNYDER, G. F. *et al*. Galaxy Morphology and Star Formation in the Illustris Simulation at $z=0$, **eprint arXiv**, ARXIV, 1502.07747, 2015.

TORREY, P. *et al*. Synthetic galaxy images and spectra from the Illustris simulation, **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, Oxford, v.447, n.3, p.2753-2771, 2015.