UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA
Autorizada pelo Decreto Federal nº 77.496 de 27/04/76
Recredenciamento pelo Decreto n°17.228 de 25/11/2016
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
COORDENAÇÃO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

XXV SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UEFS
SEMANA NACIONAL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA - 2021

SIMULAÇÃO NUMÉRICA DO PAR DE GALÁXIAS ESO089-G018 E ESO089-G019

Mariana da Silva Lima Santos[1]; Paulo César da Rocha Poppe[2];
1. Bolsista FAPESB/UEFS, Graduanda em Engenharia da Computação, Universidade Estadual de Feira de Santana, e-mail: marianalima0803@gmail.com
2. Orientador, Departamento de Física, Universidade Estadual de Feira de Santana, e-mail: paulopoppe@uefs.br

PALAVRAS-CHAVE: galáxia peculiar; simulação N-corpos; Gadget4

INTRODUÇÃO

Esta trabalho de Iniciação Científica foi desenvolvido na linha de simulações de galáxias peculiares observadas no Observatório do Pico dos Dias (LNA/MCTIC). Em especial, procuramos simular o par de galáxias interagentes ESO089-G018 e ESO089-G019, presentes no catálogo de Galáxias Peculiares publicado por Arp & Madore (1987).

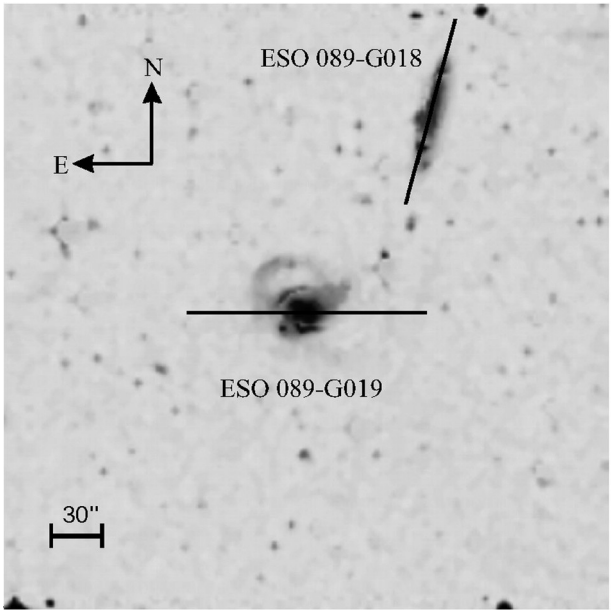

Figura 1: Imagem óptica do DSS realçada para para destacar algumas subestruturas.

Adotamos o código de N-Corpos GADGET-4 (acrônimo de "GAlaxies with Dark matter and Gas intEracT), que é um código N-corpos que usa a técnica SPH (“Smoothed-particle Hydrodynamics”) e permite simular a formação de estruturas cósmicas e de realizar cálculos relevantes para a evolução e dinâmica galáctica. O principal objetivo do trabalho foi o de confirmar se o par de galáxias ESO089-G018 e ESO089-G019 encontra-se em um estágio de interação gravitacional do tipo maré, ainda não discutido ou confirmado na literatura. No entanto, como veremos, as condições iniciais fornecidas resultaram em processo colisional quer resultou em uma fusão dos dois objetos.

METODOLOGIA

Para realizar a simulação das galáxias, primeiro foi necessário realizar a instalação do GADGET-4, entender como o programa funciona e executar algumas simulações de exemplos. Inicialmente, a instalação foi realizada em uma máquina local pessoal (com processador Intel Core i5). Algumas bibliotecas necessárias foram instaladas como pré-requisito do programa: GSL, MPI, FFTW3, HDF5. Essas bibliotecas estão especificadas com link para download na página oficial do GADGET-4 (https://wwwmpa.mpa-garching.mpg.de/gadget4/).

Após a instalação das bibliotecas citadas no parágrafo anterior e download do código do GADGET-4 em sua página oficial, algumas alterações precisaram ser feitas. Dentro da pasta do GADGET-4, no arquivo *buildsystem/Makefile.gen.libs* estão definidos os caminhos para as bibliotecas que foram instaladas. É preciso alterar esses caminhos para onde as bibliotecas foram instaladas na máquina. Para isso, a variável $LIB_DIR que é usada no arquivo, precisa ser definida como uma variável de ambiente na máquina e pode ser feita com o seguinte comando no terminal: *export LIB_DIR="value"*, onde “value” é o caminho em que estão instaladas as bibliotecas na máquina.

No entanto, como a máquina local pessoal não foi suficiente para iniciar a simulação, devido ao alto numero de partículas envolvidas (1.600,000 partículas, onde as de 0 a 599.999 são destinadas ao gás; as partículas de 600.000 a 1.199,999 são destinadas ao halo, as alocadas de 1.200,000 a 1.499,999 destinadas ao disco, e de 1.500,000 a 1.599.999 aa bojo), entramos em contato e solicitamos o uso do cluster do LNA/MCTIC. Com o acesso fornecido, todo processo foi realizado de modo remoto por SSH, sendo feitas as instalações e configurações necessárias. A primeira simulação durou cerca de duas semanas e repetidas posteriormente. Para visualizar o resultado da simulação, foi utilizado o programa glnemo2, programa de visualização 3D interativo que exibe as posições das partículas dos diferentes componentes (gás, estrelas, disco, halo de matéria escura e bojo). As Figuras 2 e 3 ilustram os resultados obtidos da simulação.

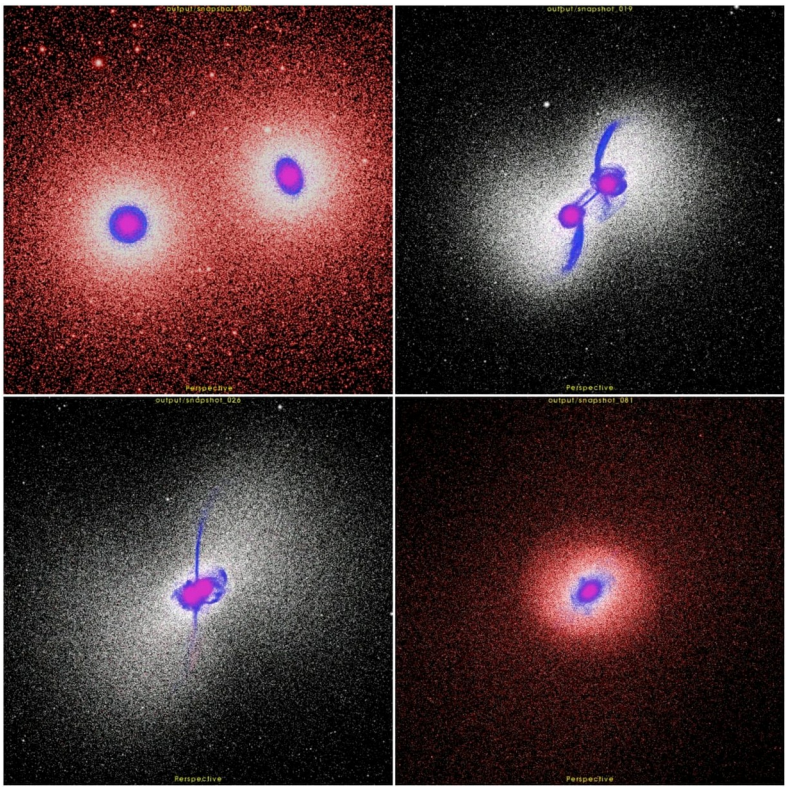

Figura 2: Visualização dos snapshots gerados pela simulação, através do glnemo2.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A simulação numérica de N-corpos representa uma importante ferramenta computacional para a Astronomia. Em particular, no campo da Astronomia Extragaláctica, as simulações permitem qualificar e quantificar modelos teóricos que objetivam descrever a complexa evolução das galáxias presentes em intrincados processos de interação gravitacional. A própria dinâmica do gás e de estrelas em sistemas de galáxias interagentes modifica e remodela de forma substancial as estruturas cósmicas em diferentes escalas de redshift. Portanto, de um ponto de vista particular, as morfologias observadas atualmente em diversos sistemas interagentes sugerem, pelo menos, que uma revisão sobre o sistema de classificação e de evolução das galáxias no Universo local seja considerada.

A simulação final resultou em 82 arquivos “snapshots” que foram visualizados pelo software glnemo2. A Figura 1 fornece a interação entre as duas galáxias. No canto superior esquerdo, as posições iniciais do par interagente. Contudo, a medida que o simulação evolui, nota-se claramente que as mesmas passam por um processo de interação gravitacional de colisão com a posterior fusão, tornando-se uma única galáxia (canto inferior direito).

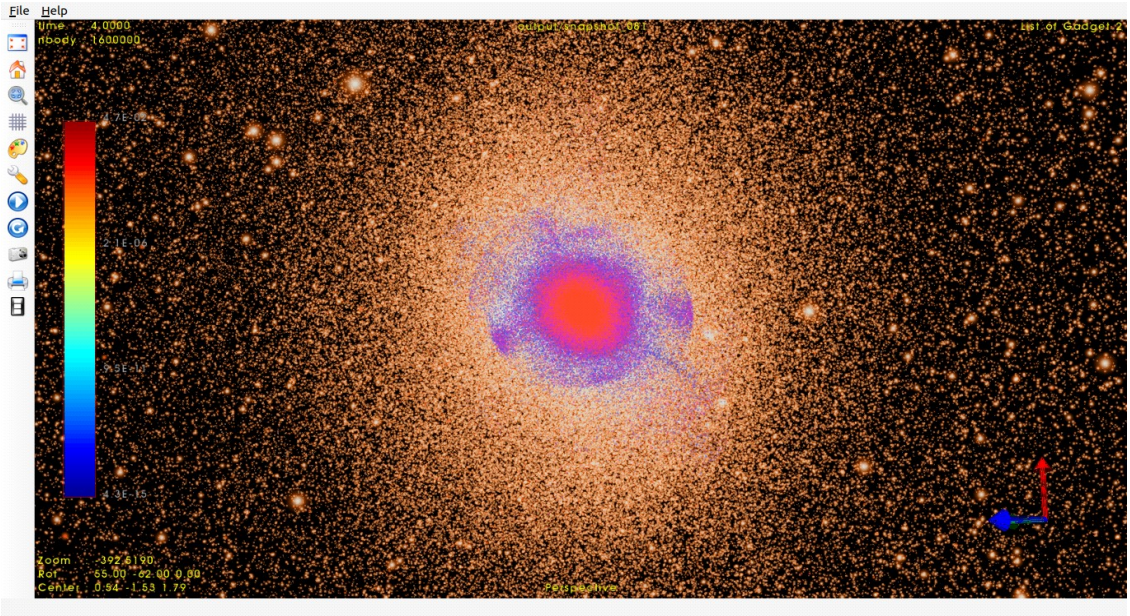

Figura 3: Visualização do snapshot final gerado pela simulação, através do glnemo2.

A aproximação e interação das duas galáxias fez com que a matéria de uma fosse puxada para a direção da outra, formando caudas de matéria. A Figura 3 exibe com aproximação o resultado final da simulação, com a visualização do último “snapshot” gerado. A partir desse resultado, é possível observar que a galáxia possui jatos, pois parece estar ejetando material para fora de seu núcleo.

O resultado final reproduziu, no entanto, com uma certa concordância a galáxia peculiar AM 2146-350, classificada na Categoria 7 (Jatos) do catálogo de Arp & Madore (Figura 4). Mas, o par interagente estudado é avaliado em nossos estudos atravessando um processo de interação via efeito de maré, onde uma galáxia passa próxima o suficiente para perturbar gravitacionalmente o outro objeto. Porém, como mostrado na Figura 3, o resultado final é a fusão fornecendo a peculiares de jatos, halo e condensações, frequentemente observados nos processos de interação gravitacional.

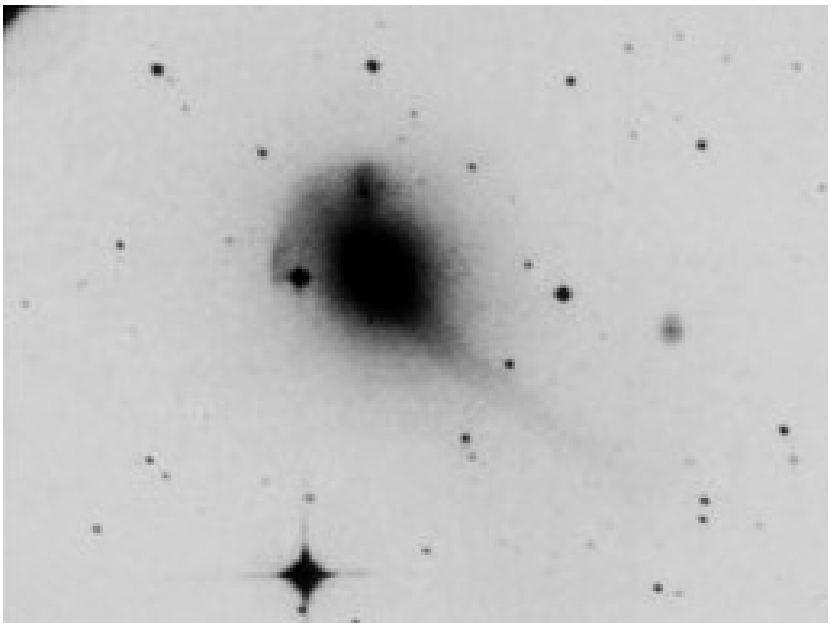

Figura 4: Galáxia peculiar AM 2146-350 classificada na Categoria 7 (Jatos).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O fenômeno de interação gravitacional é um processo relativamente comum no Universo. Morfologias ora observadas em galáxias interagentes podem ser explicadas por processo que envolvem fusão (quando duas ou mais galáxias se combinam em apenas uma), colisão (quando uma galáxia atravessa a outra, existindo, neste caso, uma seção eficaz de choque) ou efeito de maré (quando uma galáxia passa próxima o suficiente de uma outra para perturbar a sua estrutura). Portanto, alguns dos tipos morfológicos que observamos hoje em dia podem ter tido sua origem parcial ou total no fenômeno de interação, e não apenas na evolução dinâmica do objeto em um dado estado isolado.

O principal objetivo deste projeto foi o de compreender o processo de interação gravitacional das galáxias simuladas. A partir da simulação numérica de N-corpos com o uso do software gadget4 e da visualização dos arquivos gerados com o software glnemo2, foi possível perceber que as galáxias simuladas passaram por um processo de fusão. Não era o resultado esperado, de tal modo que somos levados a acreditar que as condições iniciais não foram corretamente escolhidas para caracterizar o par interagente que acreditamos que esteja atravessando (ou atravessou) um processo gravitacional do tipo maré.

REFERÊNCIAS

Arp, H., Madore, B., 1986, “Catalogue of Southern Peculiar Galaxies and Associations”, I, Positions and Descriptions, Clarke-Irwin, Toronto.

Página Oficial do GADGET-4. Disponível em <https://wwwmpa.mpa-garching.mpg.de/gadget4/>
Acesso em: 01 de outubro de 2021.

Código fonte do GADGET-4. Disponível em <https://gitlab.mpcdf.mpg.de/vrs/gadget4/-/tree/master/>. Acesso em: 01 de outubro de 2021.

Página do glnemo2. Disponível em <https://projets.lam.fr/projects/glnemo2/wiki>. Acesso em: 01 de outubro de 2021.