

A CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA BINÁRIO (90) ANTIOPE

**Daniel Lourenço ^{1a}, Othon Winter ^{2a}, Giulia Valvano ^{3a}, Rafael Sfair ^{4ac}, Gabriel Borderes ^{5b},
Rai Machado ^{6a}, Tamires Moura ^{7a}**

a - Grupo de Dinâmica Orbital e Planetologia - UNESP - Campus Guaratinguetá

**b - Bioengineering and Aerospace Engineering Department,
Universidad Carlos III de Madrid, Leganes, 28911, Madrid, Spain**

**c - Institut für Astronomie und Astrophysik, Eberhard Karls Universität Tübingen, Auf der
Morgenstelle 10, 72076 Tübingen, German**

**E-mail: ¹lourenco.daniel@unesp.br, ²othon.winter@unesp.br, ³giulia.valvano@unesp.br,
⁴rafael.sfair@unesp.br, ⁵gbordere@ing.uc3m.es, ⁶rai.machado@unesp.br,
⁷santos.moura@unesp.br**



Introdução

- (90) Antiope é um sistema binário de asteróides localizado no cinturão principal. Cada componente (Alpha e Beta) mede aproximadamente 80 km de diâmetro e estão separados por 176 ± 4 km. Antiope é um sistema duplamente síncrono, o que se torna uma motivação para entender a dinâmica entre os corpos.
- Ambos os componentes têm um período de 16.5 h sincronizados com sua órbita mútua (Taylor et al., 2009, 2010 e 2011), e a estimativa da massa total do sistema é de $9.14 \pm 0.62 \times 10^{17}$ kg com densidade média de 1.67 ± 0.23 g cm⁻³ (Merline et al., 2000) (Bartczak et al., 2014).
- Usando o modelo de forma fornecido por Bartczak et al. (2014) foi possível executar várias simulações numéricas para calcular a dinâmica e outras propriedades físicas.

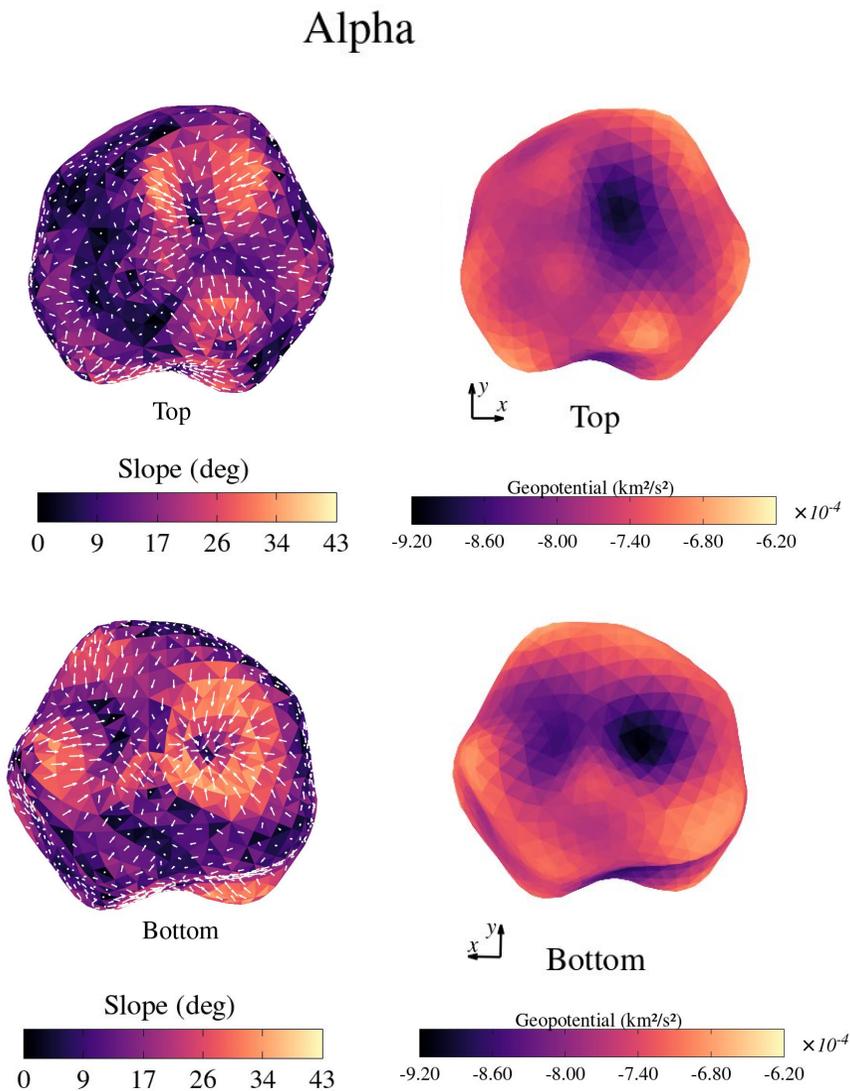
Objetivos

- A partir da propriedade de duplo sincronismo de Antiope, pretendemos calcular os efeitos gravitacionais que um corpo exerce sobre o outro através de uma série de simulações numéricas.
- A análise das características da superfície será realizada em duas partes: Primeira parte com as componentes Alpha e Beta separadas, e a segunda com as componentes juntas, visando quantificar a perturbação realizada por cada corpo sobre o outro.

Alpha e Beta - Separados

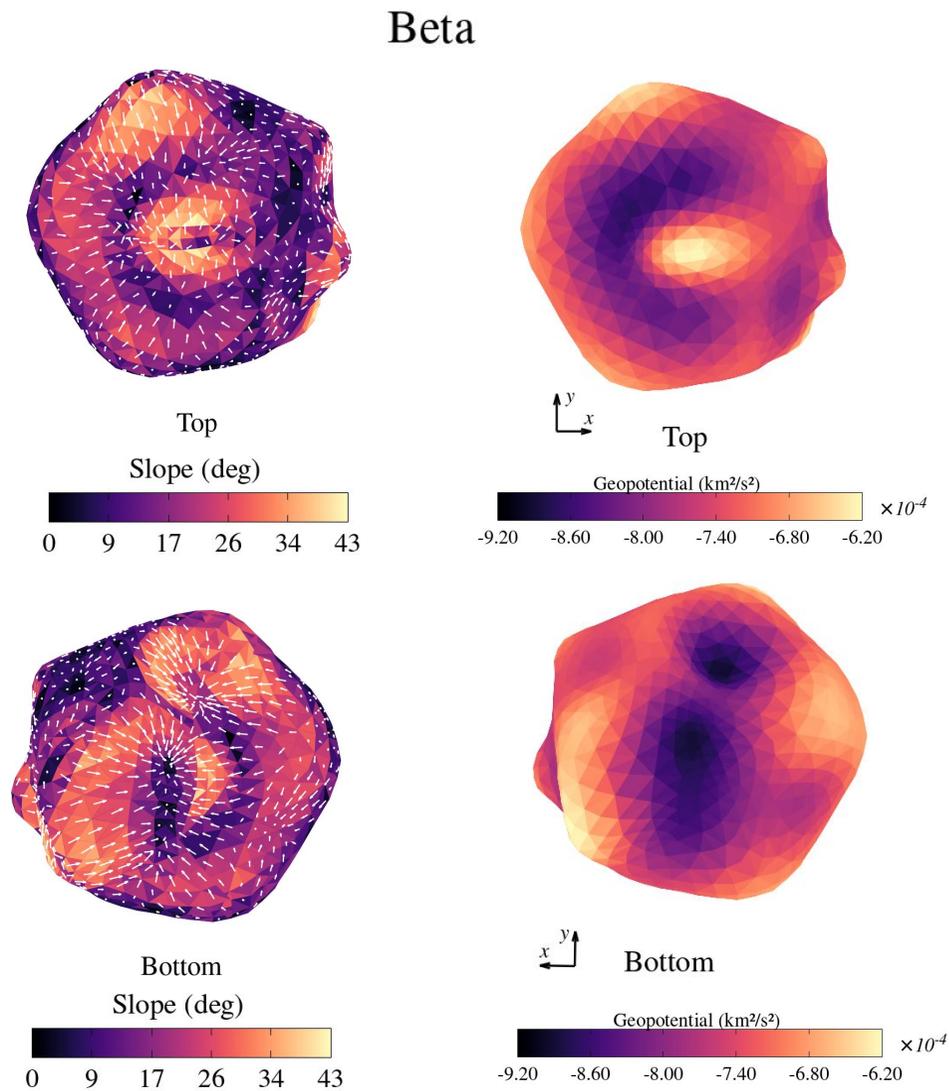
- Usamos o método dos poliedros para representar a forma desses corpos, e então determinamos o potencial gravitacional através de integrações numéricas baseadas nas faces e vértices que compõem o poliedro de cada corpo.
- Em seguida, determinamos características de superfície como slope, os vetores aceleração tangencial e o geopotencial (Winter et al., 2020) para cada corpo, conforme mostrado na Fig. 1. A partir dessas medições na Fig. 1, observe que a aceleração tangencial vetores, tanto para Alpha quanto para Beta, são direcionados para regiões de baixa altitude, e também para locais com geopotencial mais intenso no módulo. Este é um comportamento esperado (Winter et al., 2020), pois nestes corpos os vetores são opostos às regiões de maior slope, e são direcionados para regiões de menor slope. Como as regiões de slope escuro são conhecidas por serem estáveis por terem materiais em repouso, é possível que em Alpha e Beta aconteça da mesma forma.

Alpha e Beta - Separados



(a)

Fig.1



(b)

Perturbações na Superfície - Alpha e Beta

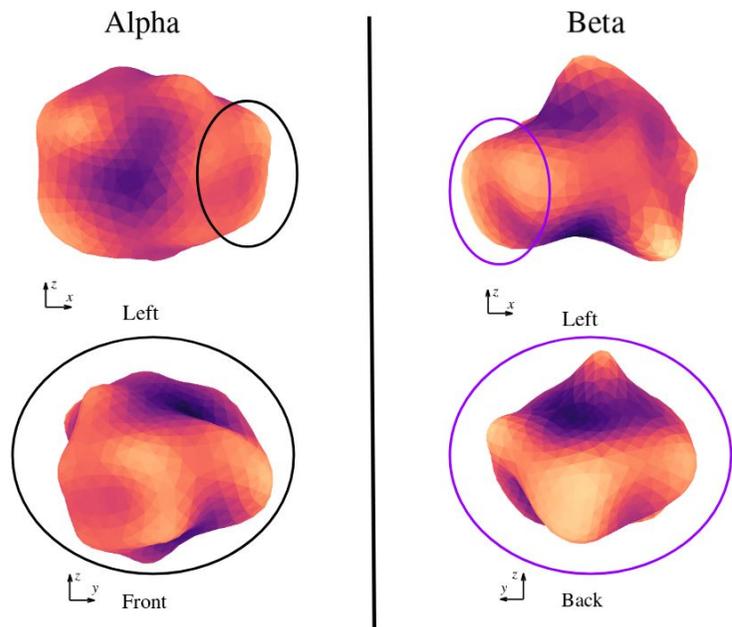


Fig.2

- Para identificar a perturbação assumimos uma configuração hipotética para o sistema Alpha-Beta. Definimos um dos corpos como um ponto de massa em seu centro geométrico e calculamos o slope no outro corpo.
- Como o sistema é duplamente síncrono, diz-se que regiões específicas de cada corpo estarão interagindo umas de frente para as outras constantemente (Taylor et al., 2009, 2010 e 2011) (Safwan et al., 2020). As regiões que sempre interagiriam seriam a Front do Alpha e o Back do Beta, conforme destacado na Fig. 2

- Para entender o efeito dinâmico na superfície entre os corpos do sistema Antiope, foi calculada uma diferença entre os vetores de aceleração total, com e sem a gravidade do objeto perturbador, levando a um slope que chamamos de delta slope (Δs). O Δs é a mudança no ângulo de slope produzida pela perturbação gravitacional do objeto perturbador na superfície do corpo que está sendo perturbado.

Resultados e Discussões

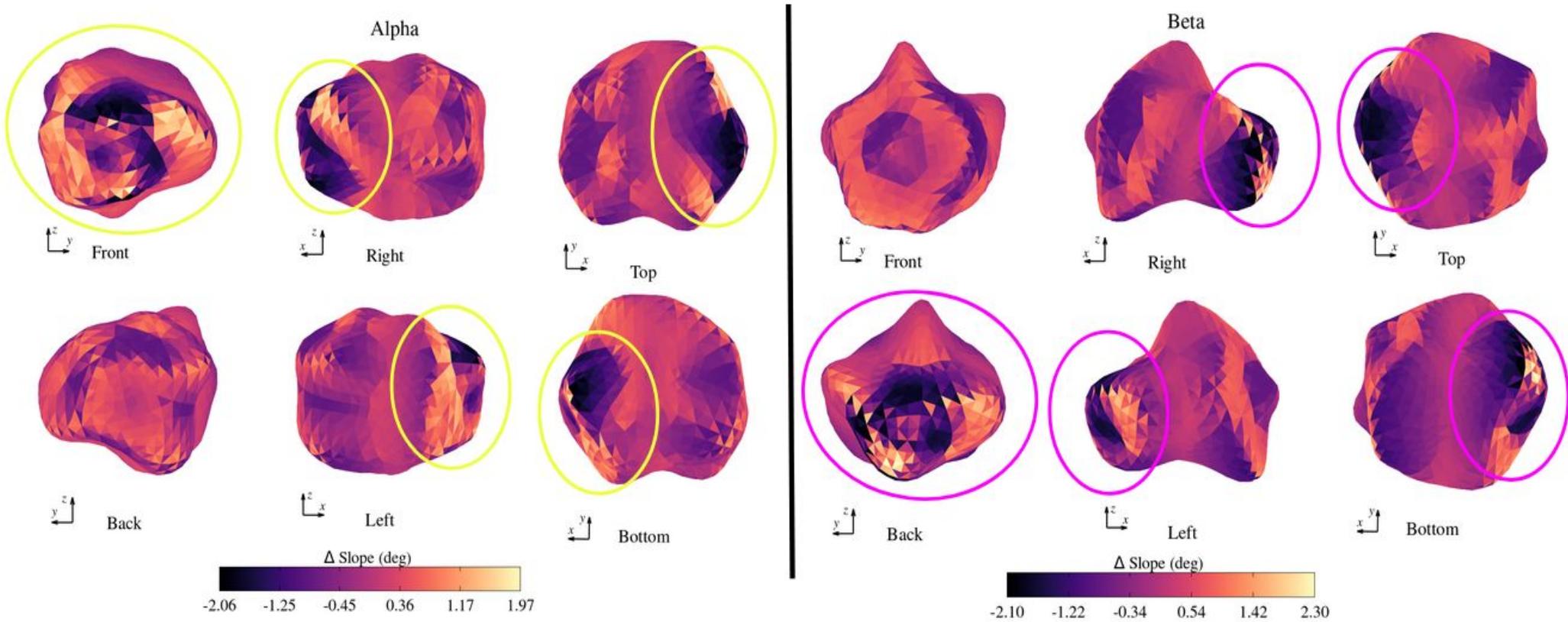


Fig.3

- A Fig. 3 mostra Δs como a perturbação causada por cada componente do sistema sobre o outro, sendo que alguns valores da inclinação podem ultrapassar o ângulo de repouso. Ballouz et al. (2019) caracteriza que uma variação em torno de 2° pode ser suficiente para iniciar um processo lento de erosão em regiões com grande slope.

Conclusões e Próximos Passos

- E concluindo sobre a Fig.3, pode se dizer que Beta é o componente mais afetado por seu companheiro, porém as perturbações que ocorrem entre os corpos não provocariam uma remodelação drástica na superfície ou na forma um do outro. Uma situação semelhante para Δs pequenos foi abordada por Valvano et al. (2021).
- Para complementar a caracterização do sistema Antiope, ainda serão realizadas simulações com discos de partículas sem massa, a fim de observar a interação das partículas com regiões com altos valores de Δs .

Referências

- [1] Taylor P. A., 2009, PhD thesis, Cornell University
- [2] Taylor P. A., Margot J.-L., 2010, *Celest. Mech. Dyn. Astron.*, 108, 315
- [3] Taylor P. A., Margot J.-L., 2011, *Icarus*, 212, 661
- [4] Merline W. J., Close L. M., Dumas C., Shelton J. C., Menard F., Chapman C. R., Slater D. C., 2000, *BAAS*, 32, 1017
- [5] Bartczak P., Michałowski T., Santana-Ros T., Dudziński G., 2014, *MNRAS*, 443, 1802
- [6] Winter, O. C., G. Valvano , T. S. Moura , G. Borderes-Motta , A. Amarante, R. Sfair, 2020, *MNRAS* 492, 4437–4455
- [7] S. Aljbaae, A. F. B. A. Prado, D. M. Sanchez, H. Hussmann, 2020, *MNRAS* 496, 1645–1654
- [8] Ballouz R.-L., Baresi N., Crites S. T., Kawakatsu Y., Fujimoto M., 2019, *Nature Geoscience*, 12, 229
- [9] G. Valvano "Efeitos do flyby com a Terra em 2029 na superfície e na vizinhança do asteroide Apófis" - Sistemas Planetários - XLIV RESAB - 15/09/2021

XI Reunião de Trabalho sobre Ciências Planetárias- 14 a 18 de Fevereiro de 2022 - Edição Virtual

Organizado pelo Grupo de Ciências Planetárias, FCEFN - UNSJ, San Juan

Agradecimentos pelo financiamento desta pesquisa

- Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES), Código 001, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) - Proc. 2016/24561-0, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) - Proc.129996/2021-1 e Proc. 305210/2018-1.
- DFG German Research Foundation project 446102036.

