



Ressonâncias Orbitais no Sistema de Satélites de Júpiter

Gustavo Luiz Persich do Carmo, José Eduardo da Silveira Costa
gustavoguhu@gmail.com, edu@if.ufrgs.br

Introdução

As órbitas de dois corpos estão em ressonância quando existe uma comensurabilidade entre seus períodos orbitais. Este é o caso das luas de Júpiter, Ganímedes, Europa e Io (Figura 1), cujos períodos orbitais apresentam proporções de 4:2:1 (Tabela 1). Ressonâncias deste tipo são bastante comuns no Sistema Solar, sendo resultado das interações gravitacionais dos corpos e das interações destes com o meio dentro do qual se formaram.

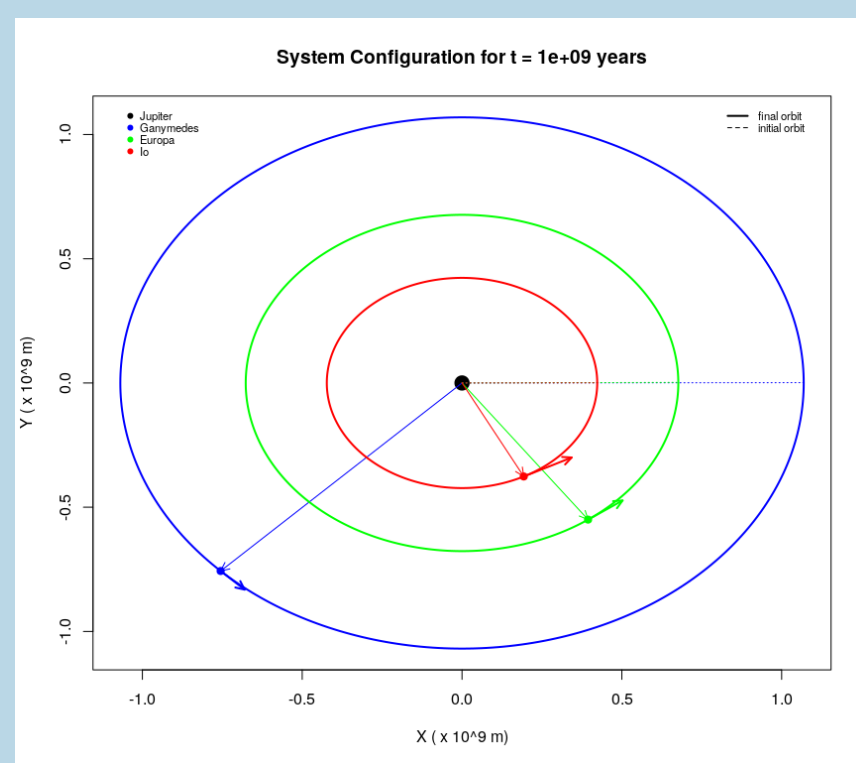


Figura 1: Luas de Júpiter

Tabela 1: Dados das Luas

	Massa(kg)	Excen.	Período(dias)
Io	893×10^{20}	0.0041	1.7691
Europa	480×10^{20}	0.0094	3.5512
Ganímedes	1482×10^{20}	0.0011	7.1546

Objetivos

Neste trabalho, estamos interessados em estudar os mecanismos físicos que levaram o sistema, partindo de uma configuração de não-ressonância atingir o estado de ressonância atual.

Metodologia

Simulamos um sistema formado por uma massa central (Júpiter) e os três satélites (Io, Europa e Ganímedes) em movimento dentro de um disco evanescente, cuja densidade diminui ao longo do tempo. A simulação foi realizada com uso de um código simplético para simulações de N-corpos, assumindo-se que a força de arrasto do meio é proporcional à sua densidade, à área da seção transversal efetiva dos satélites e à v^n , onde v é a velocidade linear do satélite e n um expoente assumido inicialmente como sendo $n = 2$. O efeito de evanescência do disco é assumido como seguindo um decaimento exponencial do tipo $\rho_0 e^{-bt}$, onde ρ_0 é a densidade inicial e b um coeficiente de evanescência.

As simulações da evolução dinâmica do sistema são feitas em sentido inverso, isto é, partindo do estado final de ressonância a simulação regride no tempo a fim de permitir a investigação de possíveis cenários iniciais.

Referências

- [1] Sinclair, A.T.: *The Orbital Resonance Amongst the Galilean Sattelites of Jupiter*, Monthly Notes of the Royal Astronomical Society (1975). 171(1): 59-72.
[2] Wiegert, P.; Connors, M.; Veillet, C.: *A Retrograde co-orbital Asteroid of Jupiter*. Nature (2017). 543 (7647): 687-689.

Resultados

Nesta fase inicial, as simulações não incluíram a interação gravitacional entre as luas, a fim de se reduzir o tempo de processamento e permitir uma análise preliminar do efeito isolado da força de arrasto hidrodinâmico sobre o movimento orbital das luas. Utilizamos valores arbitrários dentro de certos limites para os parâmetros da simulação e assumimos que a configuração de ressonância 1:2:4 foi atingida cerca de 1 Myr depois da formação do sistema.

Na simulação as luas migraram de regiões mais externas do disco para regiões mais internas (Figura 2-a), o que é decorrente da transferência de momento angular para o disco (Figura 3-b). Para os valores utilizados, obtivemos valores iniciais excessivamente altos para os semieixos das órbitas (Figura 2-a) e para os períodos orbitais (Figura 2-b), sugerindo que a configuração de ressonância foi atingida antes de 1 Myr.

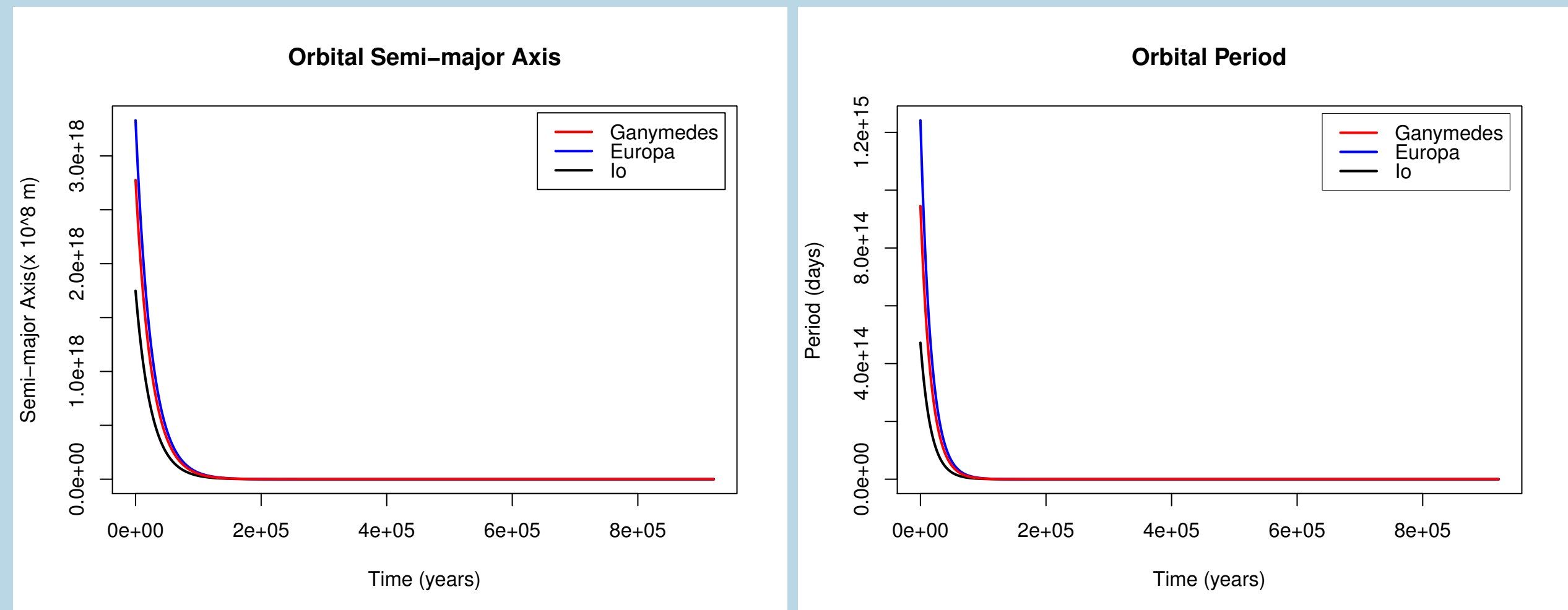


Figura 2: À esquerda (a), variação do semieixo maior das luas. À direita (b), variação do período orbital.

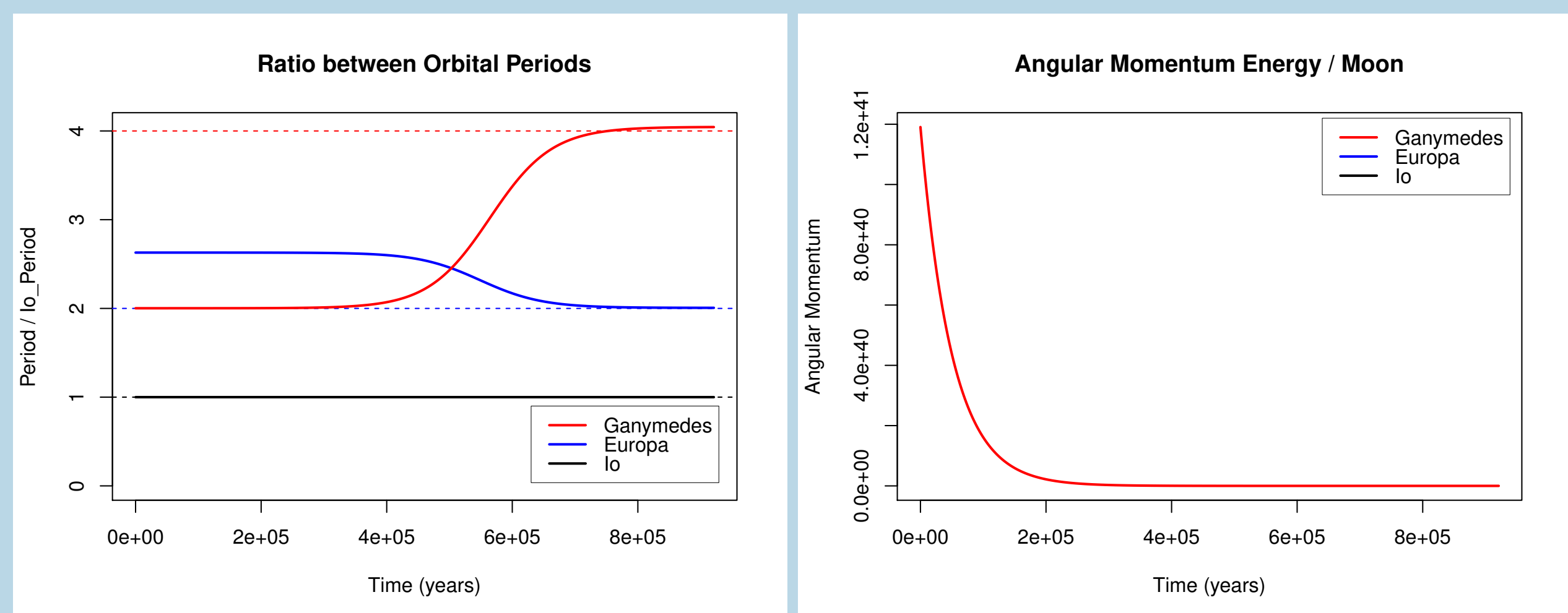


Figura 3: À esquerda (a), variação do período orbital normalizado pelo período de Io. As linhas tracejadas indicam as ressonâncias 1:2 e 1:4. Nota-se que em $t = 0$, Io e Ganímedes estavam em condição de ressonância. À direita (b), variação do momento angular total das luas.

Um resultado interessante e surpreendente obtido é que a simulação sugere que na fase inicial, Ganímedes estaria em um órbita mais interna em ressonância 1:2 com Io e Europa em uma órbita mais externa e não ressonante. Entre 400 mil e 600 mil anos, Ganímedes teria migrado para uma órbita mais externa até atingir a ressonância 1:4 com Io, enquanto Europa migrava para uma órbita mais interna até atingir a ressonância de 1:2 com Io (Figura 3-a)

Perspectivas Futuras

Pretendemos testar a dependência dos resultados em relação a diferentes valores para os parâmetros iniciais da simulação. Também realizaremos simulações incluindo as interações gravitacionais entre as luas, para estudar seu efeito sobre a evolução dinâmica do sistema e analisar o efeito de migração tipo-I.