

DINÂMICA EM SISTEMAS DE CATRACAS ACOPLADAS

Pierre Alexandre Gomes¹, Cesar Manchein².

¹ Acadêmico(a) do Curso de Licenciatura em Física – CCT - bolsista PIBIC/CNPq

² Orientador, Departamento de Física – CCT - cmanchein@gmail.com

Palavras-chave: *Dinâmica Não-linear. Efeito Catraca. Partículas acopladas.*

Podemos descrever genericamente um sistema dinâmico como sendo uma função temporal de um ponto em um espaço geométrico. Inúmeros problemas matemáticos podem ser descritos através da dinâmica linear, como por exemplo o movimento de pêndulos, fluxo de água em dutos e até mesmo o crescimento de populações. Pode-se dizer que tal estudo teve seus primórdios com Johannes Kepler com a descrição da mecânica celeste e Newton através da modelagem matemática para formalização da mecânica clássica que culminou com os trabalhos de Hamilton e Lagrange. E com o francês Henri Poincaré o estudo da dinâmica não-linear pode ser estendido com a introdução de conceitos qualitativos para equações diferenciais que permitiam estudar essas através de estabilidade e periodicidade sem necessariamente resolvê-las.

No estudo de sistemas dinâmicos, podemos encontrar comportamentos aperiódicos, ou chamados não-lineares, cujos modelos da dinâmica linear não poderiam efetivamente resolver e foram durante séculos evitados, constituindo ao que chamaram de paradigma linear. Chama-se de movimento caótico aquele que possui uma alta sensibilidade às condições iniciais, o que implica que a evolução do sistema pode ser alterada por uma mínima perturbação inicial. Poincaré estudou o problema não-linear que trata da atração gravitacional entre três corpos. Ele percebeu que diferenças mínimas nas condições iniciais produziriam diferenças muito grandes no fenômeno final. Entretanto, somente em 1963 que se obteve uma caracterização numérica da existência de comportamentos caóticos. Lorenz estudando fenômenos meteorológicos e com um auxílio de um computador percebeu que uma pequena alteração nos dados iniciais acarretaria grandes diferenças nos resultados finais.

No que tange a esse projeto de pesquisa, catracas clássicas são sistemas que produzem transportes direcionados de matéria através de forças com média nula no espaço e no tempo. Qualquer sistema que contenha assimetria espacial, dissipação e ausência de equilíbrio térmico é um forte candidato a apresentar transporte direcionado. Esse conceito de catraca foi proposto por Feynman, que didaticamente tentava desmascarar um exemplo que a princípio violaria a segunda lei da termodinâmica e anos mais tarde o conceito foi estendido para estudos com contextos biológicos e a áreas físicas. As aplicações do efeito Catraca são inúmeras, como por exemplo a separação do DNA, estudo do transporte intracelular, separação (pela massa) de partículas coloidais em um potencial dielétrico assimétrico periodicamente ligado e desligado e separação de células de diferentes tipos, possibilitando a dissociação de células saudáveis e tumorais.

Nosso objetivo foi estudar o efeito na dinâmica em partículas acopladas elasticamente e submetidas a um potencial tipo catraca através de simulações computacionais. Partindo de um modelo matemático do tipo catraca representado pelo mapa:

$$\begin{aligned}p_{n+1} &= \gamma p_n + K[\sin x_n + a \sin(2x_n + \phi)] , \\x_{n+1} &= x_n + p_{n+1}\end{aligned}$$

Onde p representa o momento linear, x a posição das partículas, K o parâmetro de não-linearidade, ϕ e a são relacionados à assimetria espacial, escrevemos um programa em linguagem Fortran. Então variamos os parâmetros como o forçamento e a dissipação e obtivemos uma sequência de dados. Essa dinâmica de partículas acopladas e submetidas ao efeito Catraca é recente na Física, o que sugere que mais estudos sejam feitos e aprimorados para que em um futuro próximo possam ser feitas aplicações tecnológicas através dessa modelagem matemática que obtivemos.

Os primeiros resultados obtidos para um plano de parâmetros foram analisados em uma série de imagens cujas amplitudes do acoplamento elástico foram sistematicamente aumentadas para que desta forma pudéssemos analisar a dinâmica do sistema. Nas figuras ilustradas abaixo, apresentamos um plano de parâmetros cujo eixo vertical representa a dissipação gama e o eixo horizontal é o coeficiente de não-linearidade K , que são algumas das condições computacionais para a que ocorra o efeito Catraca no sistema. Para distinguir os valores do momento médio nas imagens, fizemos um gradiente de cores no qual os valores negativos fossem representados do vermelho até o amarelo escuro e os positivos verde escuro até verde claro.

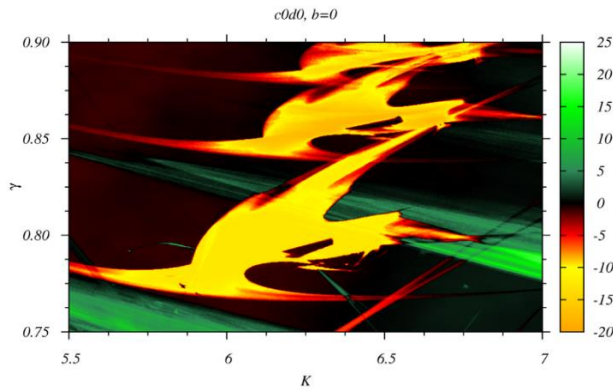


Figura 1-Plano de parâmetros obtidos pela equação I, 5 condições iniciais, 40000 tempo de iteração e sem acoplamento.

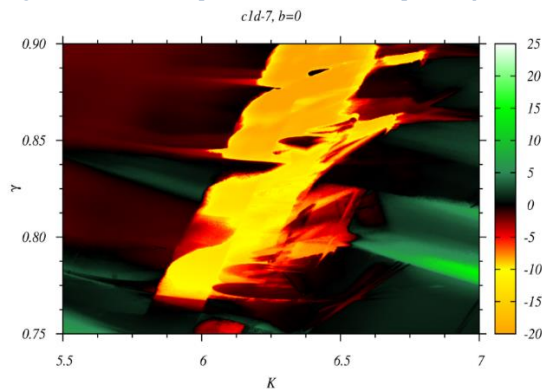


Figura 2- Plano de parâmetros obtidos pela equação I, 5 condições iniciais, 40000 tempo de iteração e com acoplamento de $\times 10^{-7}$.

Na figura 1 temos um plano de parâmetros, obtido para as catracas desacopladas, ou seja, o potencial elástico entre elas é nulo. Observamos estruturas peculiares, cujo corpo está em amarelo e possui extremidades do tipo “antena”, que estão em vermelho. Essas estruturas se repetem e vão ficando cada vez mais negativas (o módulo do momento médio aumenta) e se aproximam conforme a dissipação e o coeficiente de não-linearidade aumentam. Algumas regiões representadas pela cor preta são de momentos médios nulos, ou existências de dinâmica caótica. Na figura 2 temos um baixo valor de acoplamento entre as partículas, ou seja, o potencial elástico é baixo. Percebemos as mesmas estruturas da figura 1, porém agora se separam e perdem o seu formato original e ocorre uma espécie de “fusão do corredor” de momentos médios otimizados. Se o acoplamento for aumentado ocorre uma supressão das correntes otimizadas ao longo do corredor. Assim, estamos automaticamente criando sistemas mais robustos na presença de perturbações externas.

Isso sugere que estudos aprofundados sejam feitos sobre a dinâmica das partículas acopladas, como determinação do período, bifurcações e bacias de atração para um melhor entendimento sobre como o potencial pode afetar o sistema.