

# Relatório Parcial

## A seleção natural dos números primos como resultado de uma estratégia evolucionária

Aluno: Vinicius Isola

Orientador: Douglas S. Galvão

### Introdução

As cigarras passam grande parte de suas vidas debaixo da terra, incubadas. Durante esse período elas se alimentam de seiva das raízes das árvores. Após o período de incubação elas emergem e durante algumas semanas se reproduzem num ritmo alucinante e então morrem.

O fato interessante no comportamento das cigarras, principalmente no de uma espécie de cigarra chamada *Magiscada* é que além de possuírem um período de incubação relativamente longo, ainda possuem períodos de incubação primos, 13 e 17 anos. O que torna esse fato ainda mais interessante é que o número de indivíduos dessa espécie é muito maior do que o número de indivíduos de cigarras de outras espécies que não possuem esse tipo de comportamento. Esse fato chamou a atenção dos cientistas durante muito tempo e algumas teorias apareceram para tentar explicá-lo.

O trabalho que segue tenta verificar, através de uma simulação simples, um desses modelos teóricos. O modelo que tentamos verificar diz que o fato de os períodos de incubação dessa espécie serem números primos mostra que essa é uma estratégia evolutiva adotada para se livrar de determinados predadores.

O modelo simples, que adotamos utiliza uma técnica denominada de Algoritmo Genético (GA). Esse algoritmo é uma maneira simples de simular uma evolução em sistemas computacionais. Ele é muito utilizado em diversas áreas de pesquisas em Física e está se demonstrando uma técnica muito eficaz para fazer análises não determinísticas aonde a solução do problema não se encontra num extremo (como um máximo ou um mínimo).

Um outro paradigma de modelo também é utilizado na nossa simulação para criar uma idéia de ambiente espacial. Esta técnica recebe o nome de Autômato Celular (CA) e não passa de uma representação (que nesse caso é bidimensional) onde temos uma região dividida em pequenas células que podem estar em determinados estados. O estado de cada célula depende do estado das células em seu redor. Com esse paradigma é possível conseguir padrões globais a partir da evolução de interações locais.

### Algoritmo Genético

O Algoritmo Genético é uma técnica de busca que utiliza o mecanismo da seleção natural e da genética natural. Ele foi desenvolvido primeiramente por John H. Holland na década de 60. Essa técnica ajuda os computadores a resolverem problemas difíceis. Utiliza técnicas de evolução baseada na otimização de funções e inteligência artificial para desenvolver soluções.

A técnica consiste em criar uma população inicial de possíveis soluções. Fazendo uso de uma função avaliadora, verifica-se quais são os melhores indivíduos dessa população. Aplica-se uma função reprodutora nesses indivíduos fazendo combinações deles e gerando assim uma nova população. Novamente, através da função avaliadora, escolhe-se os melhores indivíduos e o processo recomeça.

Através da escolha de uma boa função avaliadora e soluções iniciais, espera-se que esse processo iterativo faça as soluções iniciais, que não eram aceitáveis para o problema, “evolua” para novas soluções que são aceitáveis para a resolução do problema desejado.

### O Problema das Cigarras

Para criar a simulação computacional do modelo, utilizamos a seguinte idéia: um ambiente onde coexistem presas e predadores. Esse ambiente é propício para a sobrevivência das presas, sendo que, se não existissem os predadores, as presas não teriam problema nenhum para sobreviver. Com isso, aumentamos a chance de que, se ocorrer alguma evolução, esta ser guiada pela pressão exercida pelos predadores.

Para garantir isso, fazemos o estilo de vida das presas parecido com o dos predadores. Começamos pelo período de evolução. Ambos, tanto as presas quanto os predadores, têm um período de incubação que está entre 1 e 64 mil ciclos. O período de vida de ambos é mil vezes menor, variando de algumas dezenas até uma centena de ciclos. Isso faz com que, se o predador não estiver sincronizado com o ciclo das presas, ele morrerá de fome sem se reproduzir, tornando-o uma espécie fraca.

É aí que aparece a questão do número primo ser uma estratégia importante para a sobrevivência das cigarras. Se elas têm um período de incubação primo, e em qualquer instante o período de incubação do predador perder a sincronia com o período da cigarra, ele demorará anos e anos para conseguir encontrar uma cigarra novamente. Isso implica que, se de alguma forma ele dependa da cigarra para a sobrevivência (para se alimentar ou reproduzir) entrará

em processo de extinção.

Na simulação, esses anos estão representados em forma de ciclos. E para garantir que estamos exaurindo todas as possibilidades, é possível configurar o programa para que o predador dependa da cigarra para se alimentar, para se reproduzir ou para os dois ao mesmo tempo.

## Antecedentes

A simulação que estamos realizando atualmente é muito rica em detalhes, e por isso muito difícil de ser completada pois existem muitas variáveis que influenciam no andamento do ambiente.

O que foi realizado anteriormente pelo nosso grupo foi uma simulação mais simples e de mais fácil controle. Ela também se baseava na questão do sincronismo entre os períodos de incubação das presas e dos predadores. E conseguiu chegar nos resultados que o modelo prevê. Porém ela não utilizava nenhuma espécie de técnica de algoritmo genético, utilizando apenas autômato celular para realizar a tarefa.

Os resultados desse trabalho anterior está sendo publicado e já foi apresentado no XXVII Encontro Nacional de Física da Matéria Condensada. O resumo está em anexo. De acordo com este trabalho, fica evidente que períodos de incubação primos são uma boa estratégia evolutiva. A população dos indivíduos que possuíam esse período de incubação cresceu muito e se destacou das outras.

## Nova Simulação

A nova simulação realizada nesse trabalho de iniciação científica começou a ser realizada em outubro do ano de 2003 e a primeira versão do programa ficou pronta no meio de dezembro de 2003. A figura 1 mostra uma imagem da tela desta versão.

Esta primeira versão ainda não tinha muitas opções, sendo muito limitada e com uma única ferramenta de análise de dados, o histograma, mostrando o número de indivíduos por período de incubação.

Outra desvantagem desta versão era a ineficiência. O programa era muito carregado e mantinha todas as cigarras na memória, inclusive as que morriam. Isso tornava o programa instável e era uma questão de tempo até que ele entrasse em overflow.

Uma nova versão começou a ser reescrita no começo de janeiro de 2004 e ainda está em desenvolvimento.

Esta nova versão possui muitas opções para serem escolhidas antes de a simulação ser iniciada.

As opções de tamanho do mapa, número de cigarras, número de parasitas e o número de comidas que já existia na primeira versão, continuam disponíveis na segunda versão.

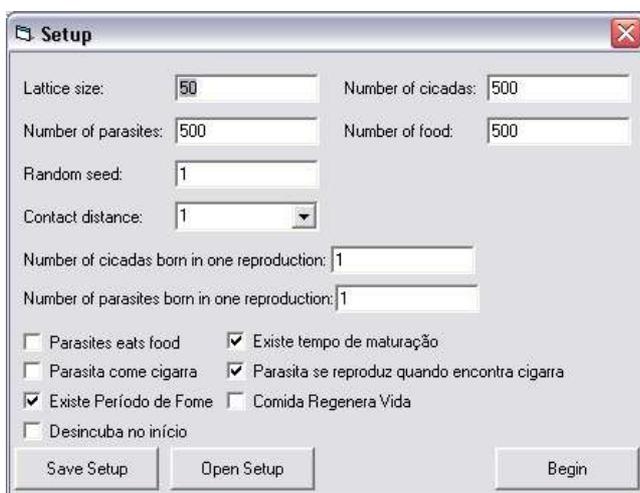


Figura 2 - Tela de opções da segunda versão do programa

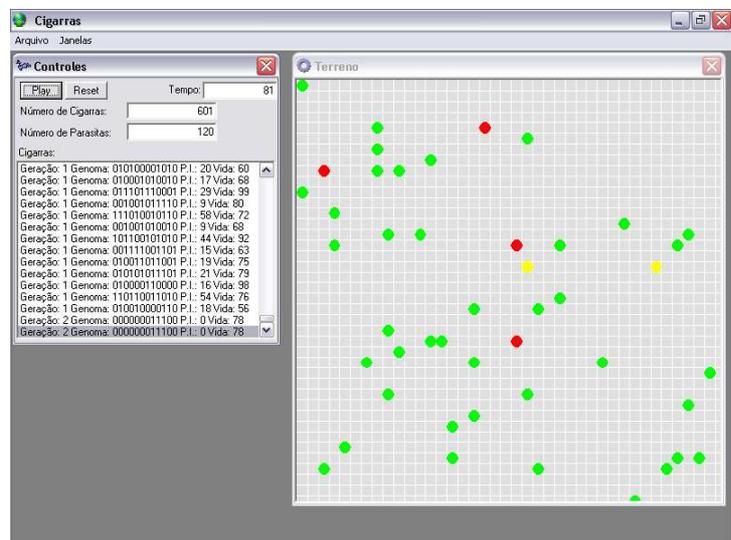


Figura 1 - Tela da versão 1.2 do programa

As opções novas são a semente do número randômico, o número de cigarras que nascem quando se reproduzem, o número de parasitas que nascem quando se reproduzem, se os parasitas também comem as comidas, se existe um tempo de maturação (durante o qual, nem a cigarra, nem o parasita se reproduzem), se o parasita se alimenta da cigarra, se os parasitas se reproduzem quando encontram uma cigarra ou quando encontram outro parasita, se existe um período de fome, se a comida regenera a vida ou simplesmente mata a fome e se alguns indivíduos nascem desincubados no início da simulação.

Nessa nova versão também é possível salvar as configurações para gerar uma nova simulação com os mesmos parâmetros.

As ferramentas de análises de dados estão muito mais completas e variadas. Existe, além do histograma, uma análise das populações por ciclos. Isso implica que é

possível ver se uma determinada população cresceu com o tempo ou diminuiu, por exemplo, ver se a população de cigarras com período de incubação dezessete cresceu ou diminuiu.

A última ferramenta de análise que ainda está sendo implementada no programa é a dinâmica de fase, que mostra um gráfico onde a abscissa representa o número de cigarras e a ordenada o número de parasitas. Através dessa análise podemos ter uma idéia melhor de como a simulação está caminhando e também, se existe alguma periodicidade no sistema.

Além de tudo isso, a nova versão também está muito mais eficiente. Nela as informações sobre as cigarras e os parasitas ficam armazenadas num arquivo, o que libera memória, aumentando a estabilidade. Uma nova implementação, mais inteligente e com uma abordagem melhor planejada, tornou o programa extremamente mais eficiente, tornando possível simulações mais rápidas e uma conseqüente obtenção mais simples dos dados. Também foi colocada uma opção de rodar mais de um ciclo por milissegundo. Isso possibilita ocupar todo o processamento, não deixando o processador ocioso, como ocorria em versões anteriores.

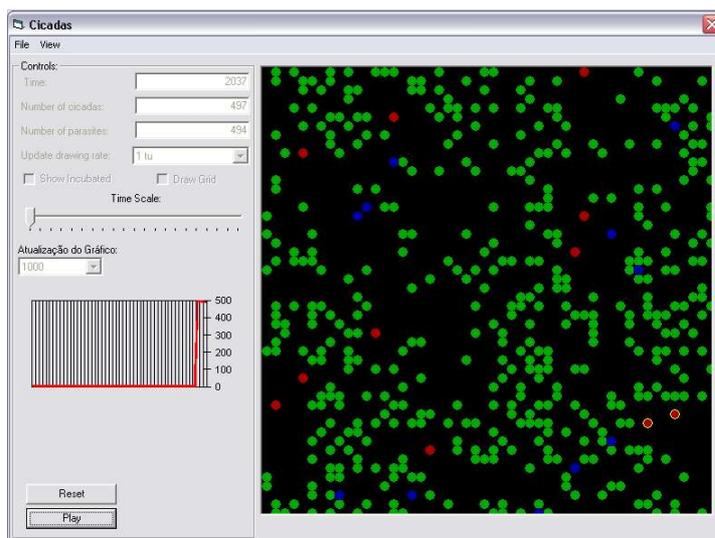


Figura 3 - Tela da versão 2.0 do programa

## Dificuldades

O programa que gera a nova simulação ainda está muito instável. Além disso, o fato de termos muitas variáveis está tornando o problema demasiadamente complexo e difícil de controlar. Está difícil por exemplo conseguir uma estabilidade nas populações de presas e predadores.

Dependendo das condições iniciais a população de predadores se torna muito grande e as presas entram em extinção. Ou em outros casos tanto o número de presas quanto o de predadores diminuem até o ponto onde os dois entram em extinção. O ponto de equilíbrio ainda não foi encontrado e ainda exigirá muito trabalho e estudo.

Através de [2] vemos importantes ferramentas de análises de dinâmicas de populações e uma delas, a dinâmica de fase mostra como o sistema está se comportando. No caso de sistemas de presa-predador utilizando CA, esperava-se que o sistema adquirisse certa periodicidade, porém, isso não está ocorrendo.

Essa periodicidade se deve ao fato de as populações serem mutuamente dependentes. Isso quer dizer que a variação de uma implica na variação da outra. Por exemplo, se a população de presas crescer muito, então a população de predadores também crescerá, mas se a população de predadores crescer muito então a população de presas começará a sofrer uma redução. É daí que nasce a periodicidade, pois se a população de presas cair muito, a de predadores também começará a diminuir.

A periodicidade aparece em alguns casos como mostra o gráfico 1. Porém dificilmente consegue-se dois ciclos ou mais dessas oscilações. O sistema ainda está muito sensível, fazendo com que pequenas oscilações desestabilizem o ambiente e algum dos dois (presas ou predadores) acabem entrando em processo de extinção. Assim, a periodicidade aparece seguida de uma grande desestabilização.

O que é mais importante é perceber que estamos no caminho correto pois o sistema já está adquirindo as características desejadas.

Talvez, uma coisa importante que deve ser levada em consideração é que esse sistema possui presas e predadores com um período de incubação longo, comparado com a vida ativa. Porém, ainda não sabemos como isso influencia nas variáveis.

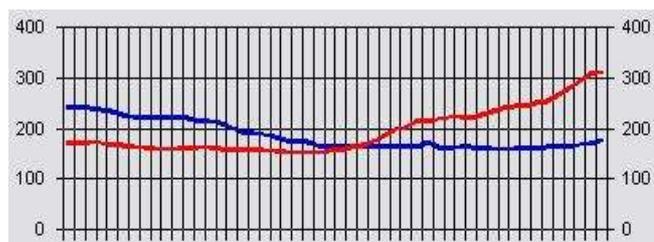


Gráfico 1 - Gráfico demonstrando uma oscilação do sistema (vermelho = presa, azul = predador)

## Dados Obtidos

Os dados que foram obtidos até agora não demonstraram nenhum tipo de evolução do sistema, pelo menos não no grau esperado. Houve alguns casos onde a população das cigarras se tornou tão grande que o programa não suportou o valor e teve um overflow. Em alguns desses casos os parasitas entraram em extinção e por isso a simulação foi parada. Houve outros casos onde a população de parasitas explodiu junto com a população de cigarras.

Abaixo segue alguns gráficos com os dados. Os gráficos mostram as variações das populações de cigarras e parasitas por ciclos. No gráfico a linha verde registra a população dos parasitas e a linha azul a população das cigarras.

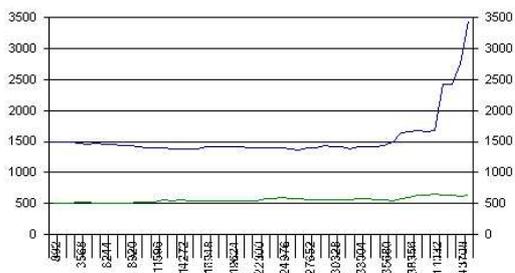


Gráfico 2 - População das cigarras se torna muito grande e a dos parasitas continua constante

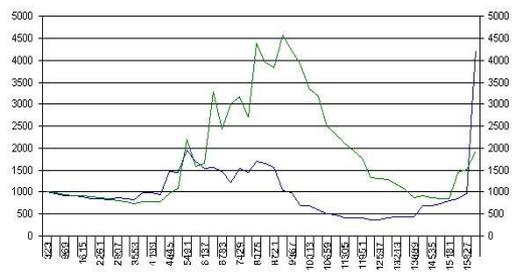


Gráfico 3 - População de parasitas cresce muito e depois cai junto com a população das cigarras, ambas explodem no final

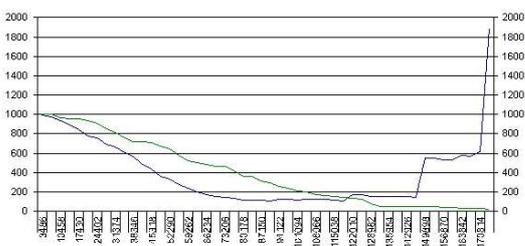


Gráfico 4 - A população de cigarras explode e os parasitas entram em extinção

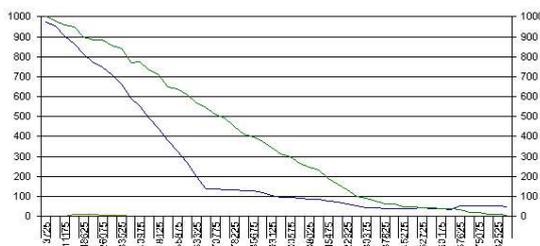


Gráfico 5 - Ambas as espécies entram em extinção

## Conclusão

Pelo que foi realizado até agora, vemos claramente que ainda resta muito trabalho pela frente. Além de tornar o programa mais estável, será necessário conseguir acertar as variáveis para conseguir alcançar o equilíbrio e observar para onde o sistema evolui.

O importante é notar o progresso que já foi realizado. Com a primeira simulação realizada pelo grupo, um pouco mais simples, porém muito direta, os resultados foram obtidos. Com essa segunda simulação, mais complexa e mais completa, uma abordagem mais realista, poderá mostrar como a dinâmica da população, em pequenos grupos, influencia o comportamento de um ecossistema inteiro.

As dificuldades que estão aparecendo para conseguir o equilíbrio do sistema só nos mostra como estamos no caminho correto. Um ecossistema é uma coisa muito sensível a pequenas variações, demoramos milhões de anos para conseguir o equilíbrio que estamos presenciando no planeta hoje.

## Referência

1. PC AI – Genetic Algorithms, na internet: "[http://www.pcai.com/web/ai\\_info/genetic\\_algorithms.htm](http://www.pcai.com/web/ai_info/genetic_algorithms.htm)"
2. Chen, Q., Mynett, A. E., *Effects of cell size and configuration in cellular automata based prey-predator modelling*, Simulation Modelling Practice and Theory 11 (2003) 609–625.
3. M. Lloyd and H. S. Dybas, *Evolution* 20, 466 (1966).

## **Anexo 1 – Resumo de Trabalho Anterior Apresentado no XXVII Encontro Nacional de Física da Matéria Condensada**

**The Emergence of Prime Numbers as the Result of Evolutionary Strategy**, Vinicius Isola, Paulo R. A. Campos, Viviane M. De Oliveira, R. Giro And Douglas S. Galvão, Departamento de Física Aplicada, Instituto de Física Gleb Wataghin, Unicamp.

We investigate by means of a simple theoretical model the emergence of prime numbers as life cycles of species in nature. The cicadas, more precisely the Magicicadas, which are flying, plant-feeding insects, have the longest life cycle for insects. The Magicicadas spend most of their lives below the ground and then emerge and die in a short period of time. The Magicicadas display an uncommon behavior: their emergence is synchronized and these periods are usually prime numbers, and for this reason has received great attention from the scientific extended model at which preys and predators coexists and can change their life cycle in the case of preys, whereas the predators can change their robustness to the lack of food. We obtained that prime numbers as life cycles emerge as a result of evolution of the population. Our results seem to be a first step in order to prove that the development of such strategy is selectively advantageous, especially for those organisms that are highly vulnerable to attack of predators.