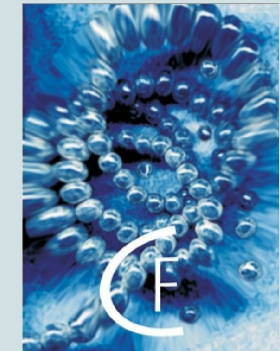


EFEITO DE MEMÓRIA E REPUTAÇÃO EM TEORIA DOS JOGOS

Vinicius da Silva Garcia

Orientadores: Heitor C. M. Fernandes e Jeferson J. Arenzon



Com a motivação de entender como a memória pode agir como mantenedora da cooperação, foram estudados dois modelos de jogos que contêm mecanismos que devem ser utilizados para a implementação de um modelo que integre efeito de memória com estrutura em rede. O primeiro artigo estudado [1] foi um modelo sem rede estruturada com parâmetro de reputação individual. Este modelo, sem estrutura espacial, permite analisar separadamente a reputação como mecanismo que pode manter a cooperação e que em situações reais de relações entre seres humanos é muito relevante nas tomadas de decisões [2]. A reputação mantém a cooperação, porque oferece um custo indireto ao desertor, fazendo com que tenha menos chance de gerar “descendentes”. O segundo modelo estudado foi um jogo do dilema do prisioneiro espacialmente estruturado em rede quadrada, como apresentado em [3]. O estudo desse artigo evidenciou como a estrutura em rede por si só é capaz de manter a cooperação - desde que se esteja dentro de um espaço de parâmetros. Esse modelo é bastante aplicável a sistemas de interesse com motivação biológica.

1 INTRODUÇÃO

Muitos problemas reais motivam uma abordagem em Teoria dos Jogos para se tentar chegar em uma solução. O uso de ferramentas computacionais permite-nos simular e evoluir sistemas e suas dinâmicas, com modelos de Mecânica Estatística, sempre utilizando a Física como base para interpretação dos resultados obtidos. Estudar o motivo pelo qual há manutenção da cooperação em sistemas humanos e biológicos mesmo que os indivíduos busquem o melhor para si é ainda hoje relevante. Várias explicações já foram dadas - como reciprocidade, reputação e punição - mas o problema segue em aberto e ainda há bastante o que se explorar.

Os modelos computacionais trabalhados foram desenvolvidos em linguagem de programação C, com uso de simulações de Monte Carlo.

2 EFEITO DE REPUTAÇÃO: RECIPROCIDADE INDIRETA

Com o objetivo de desenvolver a compreensão do efeito de reputação, foi implementado o modelo proposto por Nowak e Sigmund [1], cuja dinâmica é caracterizada por um parâmetro referente ao “status” dos jogadores em termos de cooperação no passado. Nesse modelo os jogadores interagem em pares aleatórios sorteados, sem rede estruturada, com um parâmetro de reputação individual.

O jogo é de doação (cooperação) e há várias estratégias possíveis para os jogadores assumirem. Os parâmetros de cada jogador são:

- reputação ou status (s): número inteiro que indica a diferença entre o número de vezes que o jogador cooperou e desertou.
- estratégia (k): número inteiro que varia de -5 a 6 e indica a estratégia adotada, sendo o menor valor a estratégia mais cooperadora; ocorre doação (cooperação) se $k_{doador} \leq s_{receptor}$
- payoff (p): valor que cada jogador possui. Adiciona-se $b = 1$ ao payoff do jogador que recebe uma doação e subtrai-se $c = 0.1$ do payoff do jogador que a realiza.

A evolução do jogo se dá pela criação de novas gerações a partir do desempenho dos indivíduos da geração anterior. Quanto maior o payoff (ganhos das doações recebidas) de um indivíduo maior a probabilidade dele gerar descendentes na próxima geração.

O sistema foi evoluído e após muitas gerações obteve-se a dominância de estratégias cooperadoras ($k \leq 0$). Os resultados (Figura 1) mostram que a reputação pode atuar, isoladamente, como mecanismo de manutenção da cooperação. Esse resultado está de acordo com situações reais de relações entre seres humanos, nas quais a reputação dos indivíduos é muito relevante nas tomadas de decisões [2]. O número médio de interações que cada indivíduo tem em uma geração é baixo. É claro, portanto, que jogadores menos segregadores (cooperadores) recebem mais doações (ganhos maiores = maior probabilidade de gerar descendentes) devido a um efeito de reciprocidade indireta.

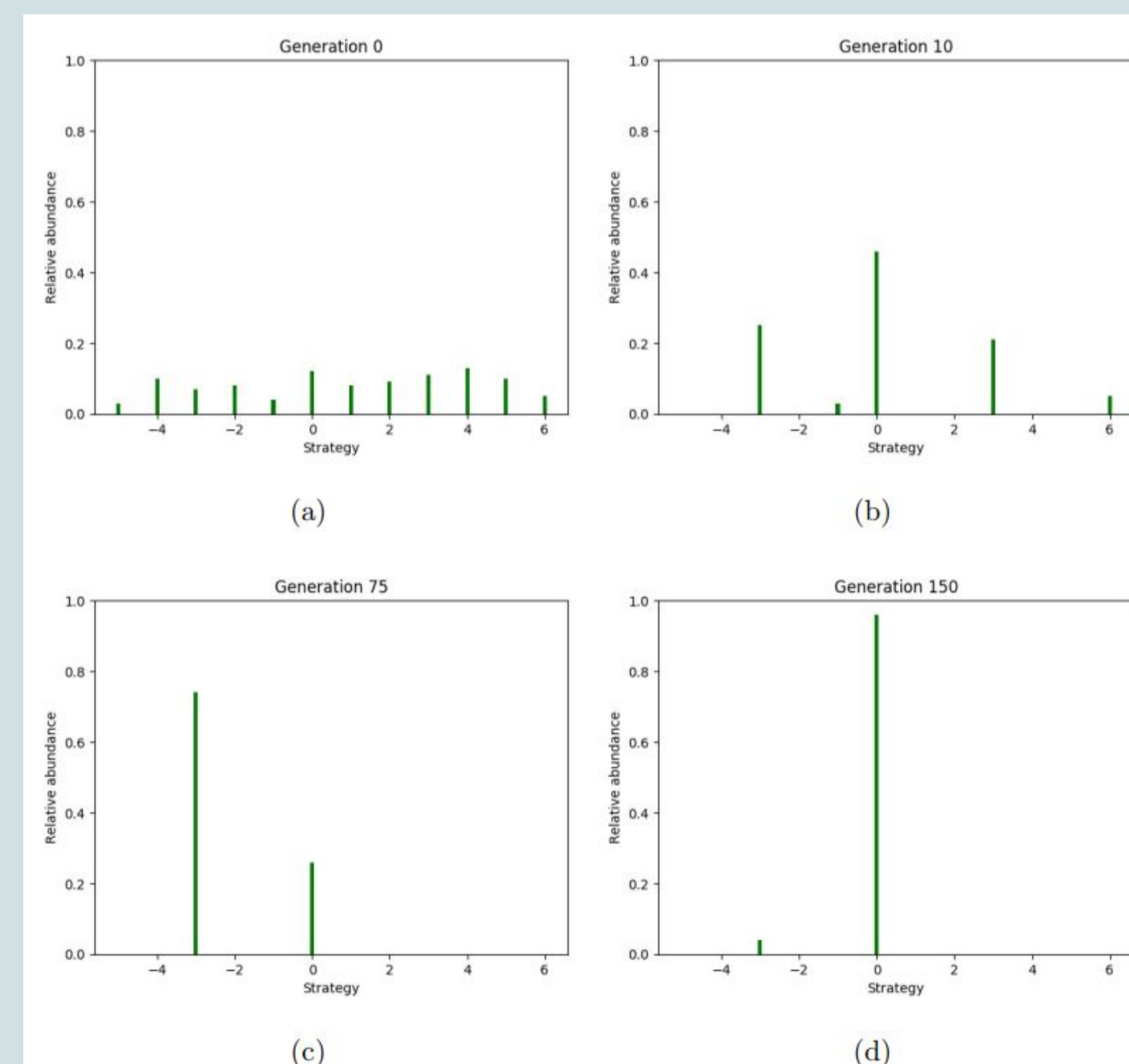


Figura 1: Histogramas das estratégias ao longo das gerações, evidenciando a prevalência de estratégias cooperativas após várias gerações.

3 DILEMA DO PRISIONEIRO ITERADO NA REDE QUADRADA

Com o objetivo de compreender a dinâmica e o efeito de estrutura espacial em um dilema do prisioneiro iterado implementou-se o modelo descrito por Hauert e Szabo [3]. Nesse modelo o estado inicial da matriz (100x100 no modelo implementado) é dado pelo sorteio de uma estratégia (deserção ou cooperação) para cada posição da rede (jogador) com igual probabilidade. O jogo inicia com o sorteio de um jogador x e de um dos seus vizinhos imediatos y . A seguir, são calculados os ganhos P_x e P_y de cada um ao jogar um dilema do prisioneiro com todos os seus vizinhos imediatos. O jogador x copia ou não a estratégia de y com uma probabilidade $W = \{1 + \exp[-(P_x - P_y)/k]\}^{-1}$, sendo $k = 0.1$ um parâmetro de ruído (como $k_B T$ na equação de Fermi-Dirac). Cada passo de Monte Carlo ocorre quando o número de rodadas é igual ao número de jogadores.

O parâmetro que caracteriza o sistema, $r = c / (b - c)$, é a razão entre o custo de se cooperar e o benefício líquido da cooperação mútua (sempre $b > c$). O equilíbrio (exemplo de estado em equilíbrio na Figura 2) foi analisado observando a evolução temporal da fração de cooperadores: quando os histogramas da fração de cooperadores dentro de períodos sequenciais estabilizam, considera-se equilíbrio. Verifica-se que há uma transição de fase (melhor resolvida no artigo, com sistemas maiores) para $r = 0.02112$, valor acima do qual os cooperadores são extintos. Na Figura 3 essa transição não está mostrada.

Os resultados demonstram que a estrutura espacial dos jogadores em redes pode manter a cooperação, apesar de não ser para uma gama muito ampla de valores do parâmetro r . Ainda assim, esse modelo é bastante aplicável a sistemas de interesse com motivação biológica.

Uma abordagem distinta utiliza redes quadradas com espaços vazios [4], mostrando aumento da taxa de cooperação devido a esse fator. Isso é mais um indicativo da influência da estrutura na taxa de cooperação.

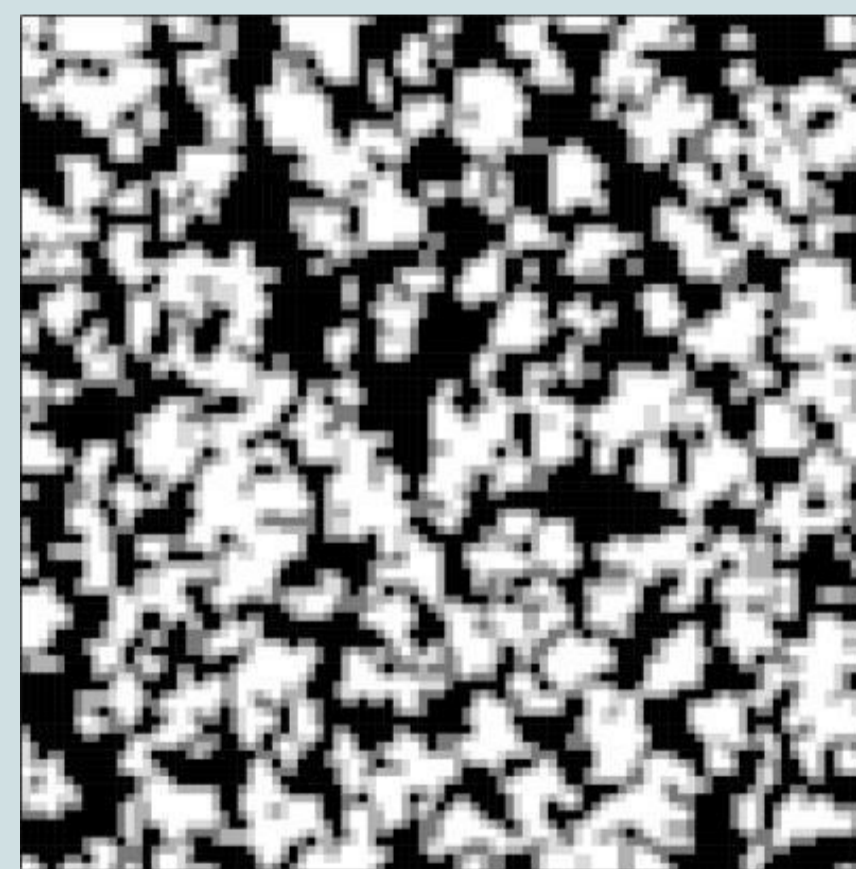


Figura 2: Estado em equilíbrio do sistema 100x100, sendo em preto os cooperadores ($r = 0.01$).

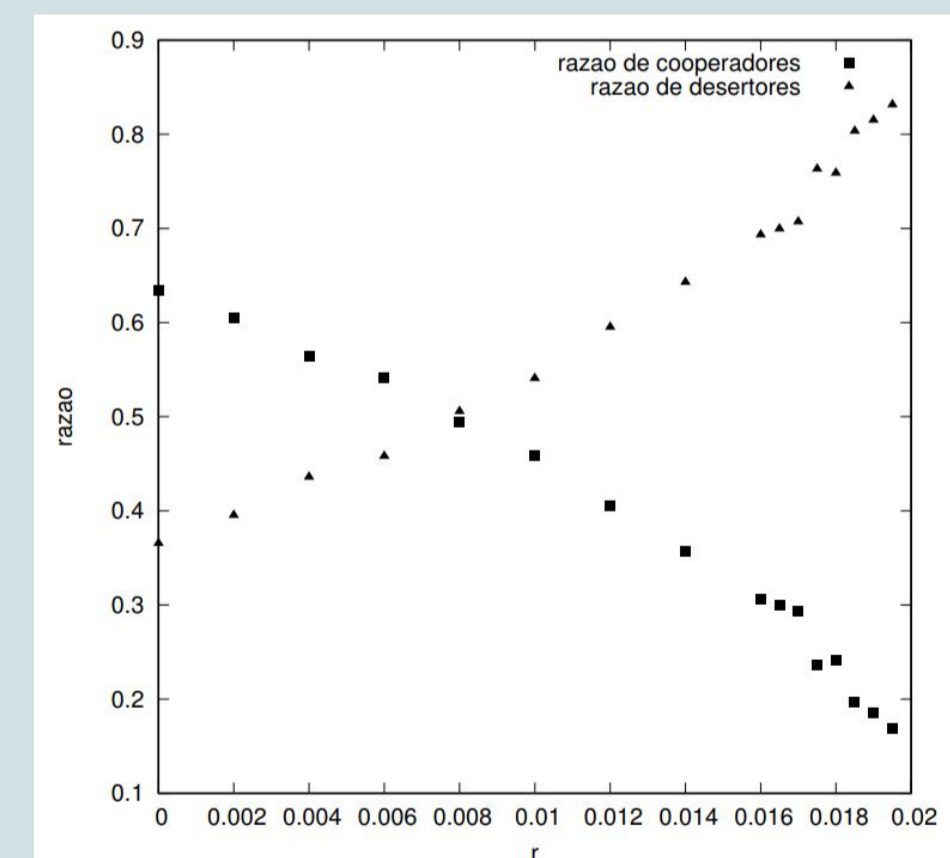


Figura 3: Proporção de equilíbrio para diferentes valores do parâmetro r .

CONCLUSÕES E PERSPECTIVA

O estudo dos dois modelos apresentados possibilitou que fosse desenvolvida familiaridade com o assunto e com o uso dos mecanismos associados. A estrutura em rede e a reputação estão sendo usados com modificações das formas aqui apresentadas para implementação de um novo modelo que integre efeito de memória.

O modelo que está sendo desenvolvido é a implementação de efeito de memória sobre as escolhas (deserção ou cooperação) dos jogadores, em redes com conexões dinâmicas, podendo as conexões serem desfeitas ou estabelecidas entre quaisquer indivíduos. O modelo computacional será baseado no experimento publicado por Cuesta et al. [2]. Efeitos de memória podem apresentar efeitos de reciprocidade direta e indireta, o que será explorado, além de ser um fator relevante nas relações humanas.

REFERÊNCIAS

- [1] M. A. Nowak e K. Sigmund, Nature **393**, 573 EP (1998).
- [2] J. A. Cuesta, C. Gracia-Lázaro, A. Ferrer, Y Moreno e A. Sánchez, Scientific Reports **5**, 7843 (2015).
- [3] C. Hauert e G. Szabo, Am. J. Phys. **73**, 405 (2005).
- [4] M. H. Vainstein e J. J. Arenzon, Phys. Rev. E **64** 051905 (2001).