

Simulação Presa x Predador: Sistemas Dinâmicos e Multi-agentes Probabilístico

Raphael Campos, Gisele Simas, Giovani Farias, Simone Rosa, Camila de Oliveira, Carlos Silva
Universidade Federal do Rio Grande - FURG
Av Itália - Km 8 - Rio Grande - RS - Brasil

Abstract

Este trabalho trata da modelagem do problema Presa x Predador aplicado a peixes (fanecas) e tubarões, através de Simulação Multi-agentes. Uma modelagem matemática desenvolvida, para tal problema, por Volterra [1], foi aplicada no contexto de simulação Social de duas formas distintas: I. utilizando um diagrama de modelo de sistemas dinâmicos; e II. utilizando simulação de agentes com uso de probabilidades. As duas formas de simulação adotadas forneceram bons resultados. Além disso, acreditamos que, por existirem fatores não tratados na modelagem matemática original (por exemplo, a competição de outras espécies pelos alimentos das fanecas), a utilização de probabilidades poderia ajudar a reproduzir melhor as características observáveis no mundo real.

Keywords: Simulação multi-agentes, probabilidades, sistemas dinâmicos, problema presa x predador

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho trata da modelagem do problema Presa x Predador aplicado a peixes (fanecas) e tubarões, através de Simulação Multi-agentes [5]. A modelagem matemática para tal problema foi estudada por Volterra e uma descrição detalhada pode ser encontrada em [1].

Neste trabalho, a modelagem foi desenvolvida utilizando a ferramenta NetLogo [2]. A Simulação foi realizada de duas formas distintas: I. utilizando um diagrama de modelo de sistemas dinâmicos; e II. utilizando simulação de agentes.

Modelos desenvolvidos sob a abordagem de sistemas dinâmicos são descritos por um conjunto de equações diferenciais. Esta abordagem generaliza o comportamento para todos os atores modelados, sendo considerada uma abordagem de nível macro [4]. No entanto, nos modelos sob a abordagem de agentes, o comportamento

de cada agente é contemplado e o resultado emerge da relação dos agentes.

Decorre daí, então, o desafio para adaptar um modelo baseado em sistemas dinâmicos, para um sistema baseado em agentes. Como modelar o comportamento de cada agente, para que o resultado seja o mesmo ou parecido com o modelo baseado em sistemas dinâmicos?

Com base nos parâmetros das equações, aplicou-se a probabilidade, para cada agente, se reproduzir ou morrer. Os valores dos parâmetros foram obtidos experimentalmente, analisando a modelagem matemática apresentada por Volterra [1].

Os resultados obtidos com a Simulação de Agentes, utilizando probabilidades, foram aproximados dos realizados com Sistemas Dinâmicos e com os dados recolhidos por Umberto d'Ancona [1]. Dessa forma, demonstram que a técnica obtida com probabilidade satisfaz as expectativas.

Primeiramente, na seção 2, descrevemos o problema Presa x Predador abordado. Na seção 3, apresentamos a metodologia utilizada de maneira mais detalhada. Após, na seção 4, relatamos os resultados comparativos entre as duas técnicas de simulação utilizadas e, por fim, na seção 5, apresentamos a conclusão.

2. PROBLEMA

Umberto d'Ancona estudou a relação entre tubarões e fanecas, compreendendo de que forma uma espécie afeta a população da outra. D'Ancona percebeu que a população de fanecas deveria crescer quando existisse poucos tubarões e que o mesmo ocorresse com os tubarões quando a população de fanecas aumentasse, decorrendo daí um ciclo [1]. Dessa forma, tem-se:

1) *O aumento do número de fanecas é diretamente proporcional ao número de fanecas existentes.* Este dado qualitativo sobre a evolução das fanecas com o tempo

traduz-se pela equação: $aumento_das_fanecas = A \cdot nro_fanecas$, onde A é uma constante real positiva.

II) *diminuição do número de tubarões é diretamente proporcional ao número de tubarões existentes.* Assim a evolução dos tubarões descreve-se pela equação: $diminuicao_dos_tubaroes = C \cdot nro_tubaroes$, onde C é uma constante real positiva.

2.1. MODELO

A criação do modelo veio posteriormente com a intervenção do matemático e físico italiano Vito Volterra, o qual, formalizou matematicamente a relação entre tubarões (predadores) e fanecas (presas) [1]: *a diminuição do número de fanecas e o aumento do número de tubarões são diretamente proporcionais ao número de encontros entre as duas espécies.*

Nesse modelo, a relação traduz-se pelo produto do número de elementos em cada espécie e possui uma motivação probabilística:

$$\begin{aligned} diminuicao_fanecas &= B \cdot nro_fanecas \cdot nro_tubaroes \\ aumento_dos_tubaroes &= D \cdot nro_fanecas \cdot nro_tubaroes \end{aligned}$$

A partir das conseqüências (aumentos e diminuições) dessa relação para cada espécie, obtém-se as seguintes expressões:

$$\begin{aligned} variacao_fanecas &= \\ A \cdot nro_fanecas - B \cdot nro_fanecas \cdot nro_tubaroes \\ variacao_dos_tubaroes &= -C \cdot nro_tubares \\ &+ D \cdot nro_fanecas \cdot nro_tubaroes \end{aligned}$$

Apartir dos estudos feitos por Volterra, pode-se definir um sistema de equações diferenciais que modelam o fenômeno presa x predador aplicado às espécies de fanecas e tubarões. Para isto, vamos denominar t como o tempo (variável real não negativa), $x(t)$, como o número de presas no instante t e $y(t)$, como o número de predadores no instante t . As variações em número de indivíduos das duas espécies, ao longo do tempo, são dadas pelas derivadas temporais das funções x e y , ou seja, x' e y' . Dessa forma, obtemos o seguinte sistema de equações diferenciais (A, B, C e D são constantes positivas):

$$\begin{cases} x' = Ax - Bxy \\ y' = -Cy + Dxy \end{cases}$$

Note que, neste modelo, $x(t)$ e $y(t)$ variam nos números reais não negativos, diferentemente, do que acontece na realidade onde o número de indivíduos varia apenas em números inteiros.

3. METODOLOGIA

Tendo-se compreendido o problema a ser tratado neste artigo, esta seção passa a descrever as duas abordagens utilizadas para a simulação do fenômeno presa x predador. Primeiramente, a seção 3.1 relata questões sobre a definição dos parâmetros adotados. Após, a seção 3.2 apresenta a primeira abordagem utilizada: Sistemas Dinâmicos e, por último, a seção 3.3 descreve a Simulação Multi-agentes baseada em probabilidades.

3.1. ESTIMAÇÃO DOS PARÂMETROS

Para a obtenção das constantes A (taxa de natalidade dos peixes), B (taxa de predação), C (taxa de mortalidade dos tubarões) e D (eficiência do predador), empregadas nas equações da Seção 2, foram realizados testes no Octave [3] até que se obtivesse constantes que reproduzisse graficamente os dados observados no mundo real e modelados matematicamente por Volterra [1]. As constantes escolhidas foram: $A = 0.04$, $B = 0.0005$, $C = 0.15$ e $D = 0.0005$. Os resultados obtidos no Octave [3] utilizando tais constantes são demonstrados nas figuras 1, 2 e 3.

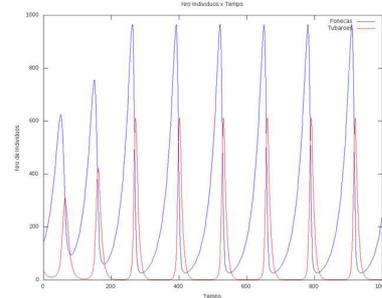


Figure 1. Número de Indivíduos x Tempo (até o passo de tempo = 1000) obtidos matematicamente no Octave.

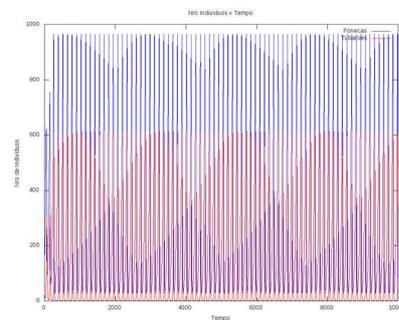


Figure 2. Número de Indivíduos x Tempo (até o passo de tempo = 10000) obtidos matematicamente no Octave.

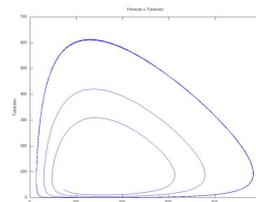


Figure 3. Número de Indivíduos Fanecas x Tubarões, obtidos matematicamente no Octave.

3.2. MODELO DINÂMICO

Na simulação pelo diagrama de modelo dinâmico, é criado um diagrama gráfico que representa as relações existentes entre as duas espécies. Este diagrama é apresentado na Figura 4. Como observado, foram criadas duas populações: a de peixes (Fishes) e a de tubarões (Sharks).

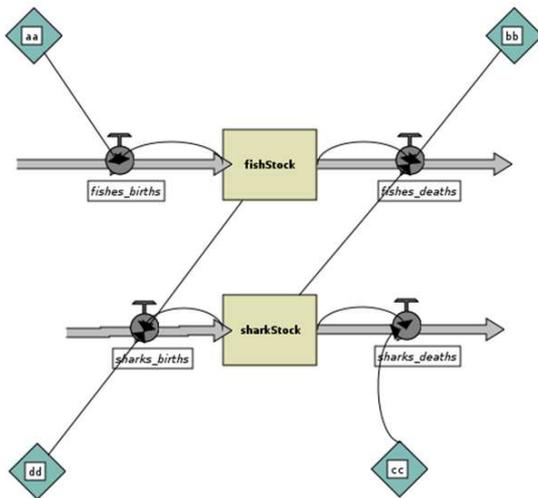


Figure 4. Diagrama do Modelo Dinâmico obtido no NetLogo (aa = A, bb = B, cc = C e dd = D em relação à Seção 2).

I) População de Peixes:

$$\text{variacao_de_peixes} = A \cdot \text{nro_peixes} - B \cdot \text{nro_peixes} \cdot \text{nro_tubaroes}$$

A cada passo de tempo, acrescentam-se à população de peixes $A \cdot \text{nro_peixes}$ indivíduos (informação descrita pela seta à esquerda ligada a população de peixes); e subtraem-se $B \cdot \text{nro_peixes} \cdot \text{nro_tubaroes}$ indivíduos (informação descrita pela seta à direita ligada a população de peixes).

II) População de Tubarões :

$$\text{variacao_de_tubaroes} = -C \cdot \text{nro_tubaroes} + D \cdot \text{nro_peixes} \cdot \text{nro_tubaroes}$$

A cada passo de tempo, acrescentam-se à população de tubarões $D \cdot \text{nro_peixes} \cdot \text{nro_tubaroes}$ indivíduos (informação descrita pela seta à esquerda ligada a população de tubarões); e subtraem-se $C \cdot \text{nro_tubaroes}$ indivíduos (informação descrita pela seta à direita ligada a população de tubarões).

3.3. SIMULAÇÃO DE AGENTES

Na Simulação de Agentes, cada agente deve tomar uma ação baseado em algumas informações que possui, ou seja, a ação a ser tomada é definida individualmente para cada agente e, portanto, não se tem como realizar as equações descritas acima de forma determinística. Dessa forma, nós realizamos uma abordagem que

descreve as equações, descritas acima, através de probabilidades. A cada passo de tempo, todos os agentes executam o seguinte código, implementado na ferramenta NetLogo [2]:

```
ask turtles [
  if (breed = fishes)
  [ let variacao ( A * (count fishes) - B * (count fishes) * (count sharks));
    ifelse (variacao > 0)
    [ if(random-float 10000000 <= variacao * 10000000 / (count fishes)) [ reproduce_fish ]
    [ if(random-float 10000000 <= -1 * variacao * 10000000 / (count fishes)) [ death_fish ]
  ]
  if (breed = sharks)
  [ let variacao (- C * (count sharks) + D * (count fishes) * (count sharks));
    ifelse (variacao > 0)
    [ if(random-float 10000000 <= variacao * 10000000 / (count sharks)) [ reproduce_shark ]
    [ if(random-float 10000000 <= -1 * variacao * 10000000 / (count sharks)) [ death_shark ]
  ]
  move ]
```

Nesse trecho de código, primeiramente, se verifica qual a espécie (breed) do agente (turtle) em questão. Após, se calcula, através das equações da modelagem matemática de Volterra (Seção 2), a variação, em números de indivíduos, que a população de tal agente deve sofrer (variável *variacao* no código acima).

Caso esta variação seja positiva ($\text{variacao} > 0$), significa que devem nascer novos indivíduos e, portanto, o agente em questão terá uma probabilidade de se reproduzir (*reproduce_fish* ou *reproduce_shark*) que será tão maior quanto maior for o valor da proporção entre o número de indivíduos existentes na população (*count fishes* ou *count sharks*) e o número de indivíduos que devem nascer (variável *variacao*).

De forma semelhante, caso esta variação de indivíduos (variável *variacao*) seja negativa, o agente em questão terá uma probabilidade de morrer (*death_fish* ou *death_shark*) que será tão maior quanto maior for o valor da proporção entre o número de indivíduos existentes na população (*count fishes* ou *count sharks*) e o número de indivíduos que devem morrer (variável *variacao*).

Portanto, para efeitos de entendimento, vamos considerar a espécie fish, no caso em que a variação de indivíduos seja positiva ($\text{variacao} > 0 \rightarrow$ devem nascer fishes). Sabendo que este trecho será executado, em cada passo de tempo, tantas vezes quanto o número de agentes existentes. Tem-se que: o número de vezes que o código será executado multiplicado pela probabilidade de nascer indivíduos deve ser igual à variação no números de agentes:

$$\text{Nro de repetições do código} * \text{probabilidade (nascer)} = \text{variação de indivíduos}$$

$$\text{Nro de agentes} * \text{probabilidade (nascer)} = \text{variacao}$$

$$(\text{Count fishes}) * \text{probabilidade (nascer)} = \text{variacao}$$

$$\text{Probabilidade (nascer)} = \text{variacao} / (\text{count fishes})$$

A probabilidade é implementada, então, utilizando a geração de números randômicos:

Se $Random K < probabilidade(nascer) * K$ então
Agente reproduz, ou seja,
Se $Random K < variacao * K / (count\ fishes)$ então
Agente reproduz.

Sendo que K é uma constante atribuída apenas para que se gere um número randômico entre 0 e K, quanto maior for, menor serão os efeitos indesejáveis de imprecisão de erros de representação de número real com várias casas decimais após a vírgula.

4. RESULTADOS

As figuras 5, 6, 7 mostram as variações das populações de peixes e tubarões até o instante 1021 obtidas como resultado das simulações:

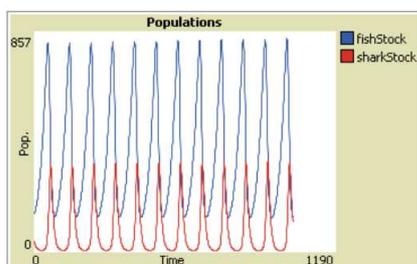


Figure 5. Variação de números de indivíduos das espécies no decorrer do tempo, obtidos pela abordagem de Sistema Dinâmico.

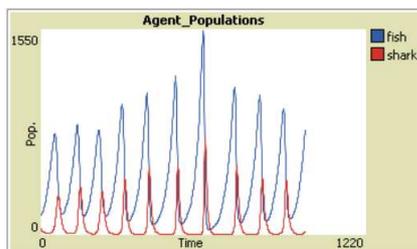


Figure 6. Variação de números de indivíduos das espécies no decorrer do tempo, obtidos pela abordagem de Simulação Multi-agentes.

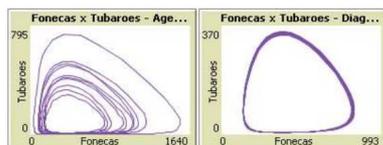


Figure 7. Relação entre fishes (fanecas - eixo x) e sharks (tubarões - eixo y) no decorrer do tempo - gráfico à esquerda refere-se à Simulação Multi-agentes e à direita, ao Sistema Dinâmico.

Os resultados apresentados foram gerados utilizando os seguintes parâmetros: número inicial de peixes = 148; número

inicial de tubarões = 39; taxa de natalidade dos peixes (A) = 4; taxa de predação (B) = 0.05; taxa de mortalidade dos tubarões (C) = 19; eficiência do predador (D) = 0.05.

As figuras 5 e 6 representam a evolução populacional das duas espécies, no decorrer tempo, obtidas pela abordagem de sistema dinâmicos e de simulação de agentes respectivamente. Percebe-se que, nos instantes iniciais, os gráficos são bastante parecidos, com maior instabilidade na abordagem multi-agentes. Esta instabilidade se acentua à medida que aumentam os instantes, havendo, portanto, uma maior distinção entre as abordagens com o avanço do tempo.

A figura 7 demonstra a relação cíclica entre fanecas e tubarões no ecossistema. Percebe-se que, em ambas as abordagens, está presente o comportamento cíclico, no entanto, na abordagem com sistemas dinâmicos, por seus parâmetros serem estáticos, o ciclo foi mais estável. Para o caso dos agentes, os quais têm seus comportamentos probabilísticos baseados em parâmetros variáveis constata-se um ciclo mais aleatório quanto ao número de fanecas e de tubarões por instante.

5. CONCLUSÃO

As duas abordagens, de simulação, aplicadas sobre o problema: "presa x predador", estudado por Umberto d'Ancona, apresentaram resultados coerentes com o seu estudo matemático. Observa-se isso nos gráficos comparativos apresentados nos resultados. De modo geral, as diferenças se devem a precisão proporcionada pela abordagem em sistemas dinâmicos e a incerteza causada pela simulação multi-agentes, na qual, o comportamento dos agentes é orientado pela probabilidade.

Tais simulações estão coerentes com o modelo matemático da relação entre fanecas e tubarões no ecossistema. A probabilidade proporcionou a aplicação da abordagem de agentes, pois diferentemente dos sistemas dinâmicos, não há como se obter meio agente, o que é possível de se modelar em uma simulação baseada em equações. Além disso, acreditamos que, por existirem fatores não tratados na modelagem matemática original (por exemplo, a competição de outras espécies pelos alimentos das fanecas), a utilização de probabilidades poderia ajudar a reproduzir melhor as características observáveis no mundo real, inserindo oscilações que poderiam ocorrer devido a estes outros fatores não modelados.

Por fim, este trabalho nos proporciona um desafio motivador ao demandar duas abordagens distintas para um mesmo problema, propiciando o raciocínio sob duas lógicas diferentes. Desta forma, compreendem-se melhor as distinções entre as abordagens, bem como, aprimora-se o conhecimento da ferramenta NetLogo. Com isso, potencializa-se a aplicação destas abordagens para diferentes fenômenos sociais.

REFERENCES

- [1] <http://www.atractor.pt/> - Acessado em dezembro de 2009.
- [2] <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/> - Acessado em dezembro de 2009
- [3] <http://www.gnu.org/software/octave/> - Acessado em dezembro de 2009
- [4] N. Gilbert, G. K. Troitzsch. *Simulation for the social scientist*, McGraw-Hill, 2nd edition, New York, 2005.
- [5] L. Panait, S. Luke. *Cooperative Multi-Agent Learning: The State of the Art*. Autonomous Agents and Multi-Agent Systems. 2005.