

Utilizando Modelos de Decisão Ética em Simulação de Agentes*

Gabriel Galvan Neres¹, André Pinz Borges¹, Gleifer Vaz Alves¹

¹Departamento Acadêmico de Informática
Universidade Tecnológica Federal do Paraná(UTFPR)
Ponta Grossa – PR – Brazil

neres@alunos.utfpr.edu.br, apborges@utfpr.edu.br, gleifer@utfpr.edu.br

Abstract. *This work explores simulations involving multi-agent systems. Our major goal is to represent a didactic story: The Ant and the Grasshopper by using three different ethical approaches. The modelling and simulation of this problem were done with the NetLogo tool, where some parameters were used to explore some possible extensions of this problem. Our work includes the analysis of results obtained from two different scenarios, where it is possible to draw comparisons between the three ethical models: consequentialism, deontology and virtue ethics.*

Resumo. *Este trabalho tem como objetivo explorar simulações envolvendo sistemas multi-agentes. O objetivo principal é representar a fábula da formiga e da cigarra por meio de três tipos de decisões éticas envolvendo os agentes do sistema. A modelagem e simulação desse problema foi realizada no NetLogo, com a determinação de alguns parâmetros para explorar possíveis extensões para esse problema. O trabalho apresenta a análise de resultados obtida de dois diferentes cenários, que permite delinear comparações entre os três modelos éticos implementados: consequencialista, deontológico e ética das virtudes.*

1. Introdução

Sistemas Multi-Agentes (SMAs) referem-se a uma área de estudo envolvendo agentes autônomos inseridos em um determinado contexto [Wooldridge 2009]. É possível analisar e entender diferentes sociedades compostas por diferentes indivíduos, com diferentes mentalidades. Isso é possível fazendo simulações entre agentes. Simulações de agentes é uma importante ferramenta para facilitar a visualização e compreensão de SMAs. Essas simulações podem ser utilizadas nas mais diversas áreas de aplicação como mudanças em diferentes volumes de água podem afetar o solo [da Silva Leitzke and Adamatti 2023] e simulação da evolução da cadeia alimentar [Armstrong and Norling 2023].

Ainda dentre as diferentes áreas de aplicação de simulação de agentes, encontra-se a simulação de problemas éticos. A modelagem ética abrange diversas áreas envolvendo temas e tópicos discutidos na sociedade. Em [Hills 2006] é demonstrado um exemplo de simulação envolvendo aspectos éticos, porém sem o uso específico de uma teoria ética, consistindo em simular agentes em um problema envolvendo cooperação e altruísmo.

Por outro lado, [Bench-Capon 2020] apresenta a utilização de três diferentes modelos éticos (baseados em teorias éticas): Consequencialista, Deontológico e Ética das

*Copyright © 2024 for this paper by its authors. Use permitted under Creative Commons License Attribution 4.0 International (CC BY 4.0).

Virtudes. Bench-Capon faz uso desses modelos usando o cenário da fábula da cigarra e da formiga.

Em [Markovicz and Alves 2023] são apresentados estes mesmos três modelos éticos utilizando uma modelagem formal por meio de autômatos temporais.

O trabalho aqui apresentado tem como objetivo principal estender os modelos formais definidos em [Markovicz and Alves 2023] de forma a criar modelos de simulação de agentes na ferramenta NetLogo [Wilensky 1999] para realizar experimentos e comparar os três modelos éticos. De forma geral são modelados e simulados os três modelos éticos citados anteriormente, cujo problema básico é a tomada de decisão da formiga em dar (ou não) comida para a cigarra.

Com a realização dos testes foi possível observar que o modelo Deontológico obteve os resultados com maior número de mortes (das cigarras). Por outro lado, o modelo Consequencialista foi o que apresentou o maior número de sobrevivência das cigarras.

O artigo apresenta uma explicação a respeito dos modelos éticos na seção 2. A seção 3 contém a descrição da modelagem do problema, além de uma explicação dos agentes e dos parâmetros contidos na simulação. Na sequência, na seção 4, tem-se uma análise dos resultados obtidos. Por fim, a seção 5 apresenta as considerações finais.

2. Modelos Éticos

Essa seção descreve os 3 modelos éticos (Consequencialista, Ética das Virtudes e Deontológico) em um cenário de simulação usando como inspiração a fábula da formiga e da cigarra [Bench-Capon 2020] e também usada como exemplo na verificação formal demonstrada em [Markovicz and Alves 2023]. Usando o cenário da fábula e os modelos éticos, é possível observar diferentes sociedades compostas por indivíduos que são determinados para uma decisão de compartilhamento de alimento, tendo como objetivo observar no longo prazo o desenvolvimento daquela sociedade, e fazer um comparativo de qual delas em determinada situação, possuiu uma maior taxa de sobrevivência.

A seguir os modelos éticos utilizados na simulação são descritos:

- Consequencialista: é filosoficamente baseado na tese de que a principal propriedade em uma decisão é a consequência que determinado ato vai causar na sociedade. Quando nos referimos a esse pensamento, as ações de um determinado agente é considerada uma decisão moralmente certa quando é examinado o resultado que causou essa ação. Nesse artigo, o modelo consequencialista foi implementado de maneira que o agente avalie uma tomada de decisão visando a melhor opção para o desenvolvimento da sociedade em conjunto de formigas e cigarras.
- Deontológico: é baseado em uma seleção de regras pré-estabelecidas, a definição de uma decisão moralmente certa é julgada justamente no cumprimento dessas normas. Neste artigo, o modelo deontológico foi implementado de tal forma que o agente é julgado com base em seguir fielmente as regras estabelecidas, porém com uma certa avaliação do contexto de sociedade que ele está inserido.
- Ética das virtudes: O modelo da ética das virtudes, mais antigo dentre os citados, é baseado em Virtudes e Vícios que permite perceber quando um determinado indivíduo faz um ato. Se for um ato bom é tratado como uma virtude e caso tenha sido um ato ruim é visto como um vício, a categorização do ato é definida

pelas consequências que o ato irá causar na sociedade, trabalhar é considerado um ato bom por ser um ato coletivista provendo alimento para o indivíduo, enquanto brincar por ser um ato individualista é considerado um ato ruim. Nesse artigo, o modelo da ética das virtudes foi tratado visando um julgamento na sociedade para identificação de agentes com Vícios e com Virtudes.

3. Modelagem do problema

A Fig. 1 apresenta o modelo de simulação desenvolvido no Netlogo, o qual permite ao usuário definir a quantidade de formigas, a probabilidade de trabalho, a quantidade de cigarras, a probabilidade de comida e também visualizar o comportamento das cigarras e formigas.

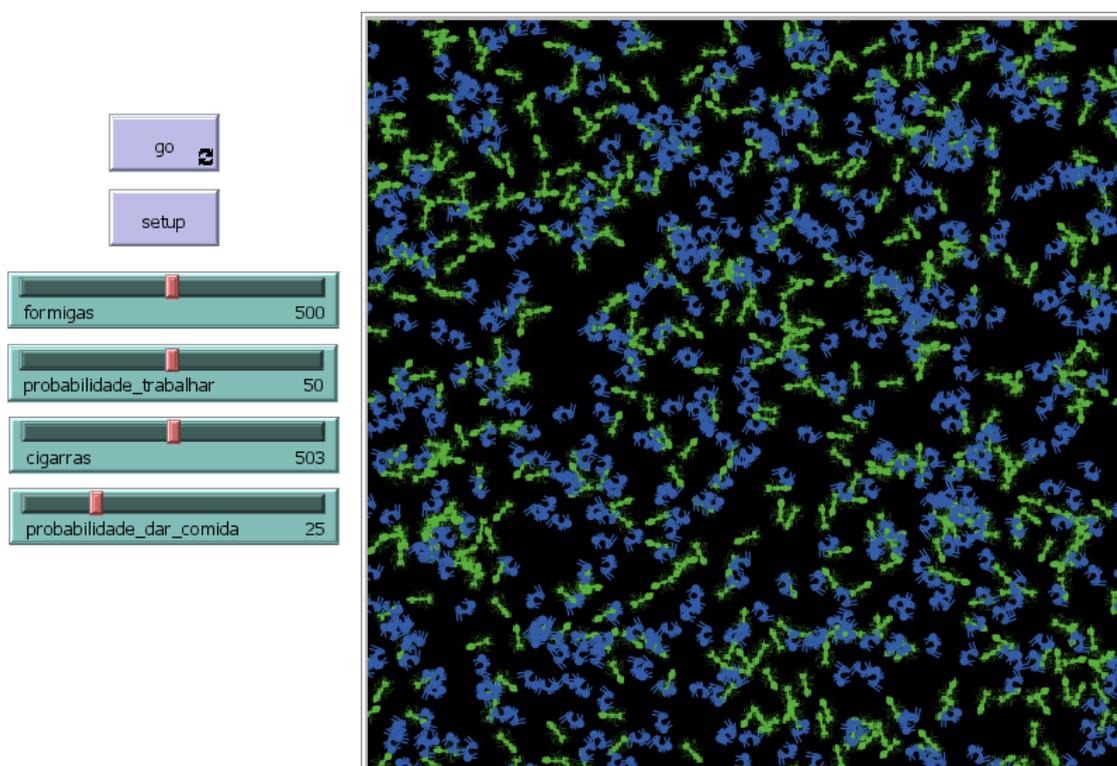


Figura 1. Primeira parte da composição da simulação

A Fig. 2 apresenta nove painéis que mostram a quantidade total de agentes, a quantidade de cigarras em cada uma de suas fases que são detalhadas na Sec. 3.1 e a quantidade de cigarras mortas. São mostrados também os resultados dos experimentos graficamente: proporção de cigarras vivas e mortas ao longo do tempo no gráfico “a”; a proporção de quantidade entre os estados das cigarras nos gráficos “b” e “c”; e o *balance* (que é um termo definido a seguir na seção 3.2), parâmetro médio das cigarras que ainda estão vivas na simulação no gráfico “d”.

3.1. Agentes

Neste trabalho são usados dois tipos de agentes (formiga e cigarra) seguindo o conto da cigarra e da formiga, onde uma formiga trabalhava e guardava comida enquanto a cigarra

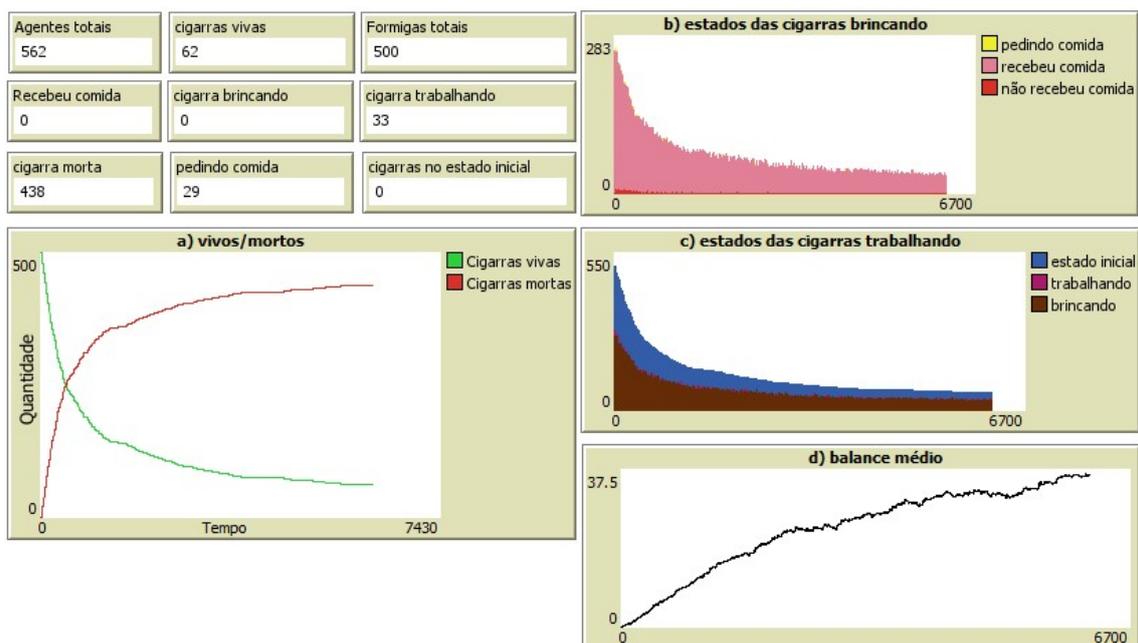


Figura 2. Segunda parte da composição da simulação

brincava, e então dependia da formiga compartilhar alimento para conseguir sobreviver. Neste modelo, formigas e cigarras possuem características e personalidades distintas em suas definições.

Um dos agentes presente nas simulações é a formiga (ver Fig. 3), entidades que sempre vão trabalhar e produzir alimento. As formigas são as que tomam a decisão se vão ou não compartilhar sua comida com as cigarras. Essa tomada de decisão é baseada no modelo ético simulado. Conforme o modelo usado, a formiga muda sua tomada de decisão. Outro fator que influencia a tomada de decisão é um parâmetro probabilístico determinado pelo usuário, para que uma formiga possua uma chance de dar comida às cigarras. Elas não possuem mais de um estado pois em nenhum momento tomam a decisão de trabalhar, por isso elas sempre se mantêm no estado inicial que não possui alterações de cor, ficando sempre na cor verde.



Figura 3. Representação gráfica de uma formiga

O segundo agente na simulação é a cigarra (ver Fig. 4). Cigarras são agentes que possuem a escolha entre trabalhar ou brincar, essa tomada de decisão possui um parâmetro probabilístico definido pelo usuário. Quando ela brinca e não consegue alimento, fica dependente das formigas para conseguir alimento e sobreviver. Diferente das formigas que possuem um único estado, as cigarras possuem diferentes estados representados pelas seguintes cores:

- **Azul**: o estado inicial. Nenhuma decisão foi tomada ainda neste estado e a cigarra pode decidir entre trabalhar ou brincar.

- **Violeta:** estado em que a decisão de trabalhar foi tomada. Como a cigarra trabalhou, ela não depende de comida das formigas, então ela está em situação de autonomia. A cigarra fica nele por 3 *ticks* (que determinam a contagem de interações da simulação), logo após isso, a cigarra retorna ao estado azul.
- **Marrom:** estado em que a decisão de brincar foi tomada. Como a cigarra brincou, ela não conseguiu comida, e fica dependente de uma formiga lhe fornecer alimento para conseguir sobreviver, com isso ela tem que fazer um pedido à formiga passando para o estado amarelo.
- **Amarelo:** estado em que a cigarra está pedindo comida à formiga. É nesse estado então que as cigarras que estavam no estado marrom e tinham uma formiga próxima para pedir comida vão ser avaliadas, em cada um dos critérios do modelo ético, para ver se vão ganhar comida ou não.
- **Rosa:** estado em que a cigarra recebeu comida da formiga, independente de qual motivo ou modelo ético. Neste estado a cigarra conseguiu sobreviver com a ajuda de uma formiga. Logo após o estado rosa ela retorna ao estado azul no qual o ciclo se reinicia.
- **Vermelho:** estado que a cigarra não está próxima de nenhuma formiga para pedir comida, ou quando as formigas próximas da cigarra acham que ela não é merecedora de receber comida. O estado vermelho simboliza o estado de morte do agente, então quando a formiga chega nesse estado é seu estado final, ela se encontra morta, após 1 *tick* nesse estado essa cigarra é removida da simulação.



Figura 4. Representação gráfica de uma cigarra no estado inicial

3.2. Parâmetros

Cada um dos agentes possui características de tomada de decisão, estabelecidas no início de cada experimento, que permitem modificar o comportamento dos agentes, sendo:

- **Balance:** é a diferença entre as vezes que a cigarra brincou e as vezes que trabalhou. Quando uma cigarra trabalha, o seu *balance* incrementa em uma unidade, e quando ela brinca e deixa de trabalhar ela decrementa uma unidade. O *balance* é uma das variáveis que vai definir se a cigarra vai ganhar comida ou não.
- **Probabilidade de trabalhar:** é pré-definida pelo usuário antes de iniciar uma simulação. Esta propriedade se refere às cigarras, e define qual a porcentagem de chance de uma cigarra trabalhar ou brincar, por exemplo, caso haja uma probabilidade de 98% de trabalhar, a quantidade de cigarras que vai brincar e então depender de alimento vai ser de 2 a cada 100. Caso a probabilidade de trabalhar tenha sido definida em 10% uma minoria das cigarras estará trabalhando, sendo assim a maioria necessitando de alimento de formigas.
- **Probabilidade de dar comida:** probabilidade da formiga fornecer comida para a cigarra. Mesmo quanto a formiga avalia que uma cigarra não é socialmente válida para receber comida com base em seus conceitos éticos ela ainda possui uma probabilidade de fornecer comida para a cigarra.

- **Proximidade:** é uma das condições que existe, referente tanto a formigas quanto a cigarras. Considerando a situação em que uma cigarra precisa pedir comida para uma formiga, ela apenas vai conseguir fazer isso se a cigarra estiver próxima da formiga. Cada um dos agentes da simulação possui um raio próprio de tamanho definido em duas cigarras de distância, e somente quando uma cigarra está dentro do alcance do raio de uma formiga consegue solicitar comida.

3.3. Implementação

A implementação dos três modelos tem alguns aspectos similares entre si. O código está estruturado de maneira que analisa a tomada de decisões baseadas nos estados em que as cigarras se encontram na simulação, na condição se existe uma formiga próxima da cigarra ou não e a tomada de decisão ética é o que distingue cada um dos modelos.

O diferencial entre cada um dos modelos é implementado quando a cigarra está no estado amarelo. Neste ponto da simulação é feita uma análise dos parâmetros da cigarra, sendo avaliados para cada modelo:

- Ética das Virtudes: o *balance* e a quantidade de vezes que a cigarra brincou. Para ela receber o recurso (comida) a cigarra tem que ter brincado menos de 2 vezes ou o *balance* deve ser maior que 0. Caso um dos parâmetros seja verdadeiro a formiga fornece o recurso.
- Consequencialista: o *balance* deste modelo é mais permissível em relação à ética das virtudes, pois para uma formiga decidir fornecer comida para cigarra é necessário que ela tenha um *balance* maior que -1 .
- Deontológico: a quantidade de vezes que a cigarra brincou. Esse modelo é rigoroso em relação aos outros. Uma formiga só vai dar comida para a cigarra, caso ela tenha brincado menos que duas vezes.

4. Experimentos

Ao todo foram realizados 12 experimentos que são divididos em dois blocos como mostra a Tabela 1. Além do *Modelo* simulado foi determinada também a quantidade de agentes (*Formigas* e *Cigarras*) de cada simulação. Outros parâmetros registrados são as questões probabilísticas: probabilidade da cigarra trabalhar (*Pr_Tra*) e a probabilidade da formiga dar comida (*Pr_Com*). Para registro dos experimentos realizados foi usada uma contagem de iterações da simulação (*ticks*) como controle de tempo, assim tendo uma percepção de quanto tempo foi registrado em cada comunidade. O resultado de cada experimento, indicado pela quantidade de cigarras que permaneceram vivas é apresentado na coluna *Res*.

No primeiro bloco (experimentos de 1 até 6) tem-se 2 testes para cada modelo ético. O mesmo serve para os experimentos de 7 ao 12 que compõem o segundo bloco de testes. Durante os 6 primeiros experimentos são analisadas as diferenças entre 2 probabilidades da simulação (50% e 25%), e nos 6 últimos experimentos é testado quando há uma diferença entre os tipos de agentes (formigas e cigarras) presentes na simulação.

4.1. Cenário A: Comparação de dois tipos de sociedades

Estes experimentos são baseados nas probabilidades da cigarra trabalhar e da formiga dar comida. Os parâmetros definidos para essa simulação de população são 500 formigas e 500 cigarras, para assim ter um equilíbrio entre os dois tipos de agentes.

Tabela 1. Parâmetros e resultados dos 12 experimentos realizados

Exp	Modelo	Formigas	Cigarras	<i>Pr_Tra</i> (%)	<i>Pr_Com</i> (%)	<i>ticks</i>	Res.
1	E.V.	500	500	50	25	50000	18
2	E.V.	500	500	25	50	24189	0
3	Deon.	500	500	50	25	1437	0
4	Deon.	500	500	25	50	23177	0
5	Con.	500	500	50	25	50000	29
6	Con.	500	500	25	50	24333	0
7	E.V.	200	800	50	50	3852	0
8	E.V.	800	200	50	50	50000	177
9	Deon.	200	800	50	50	701	0
10	Deon.	800	200	50	50	50000	172
11	Con.	200	800	50	50	3484	0
12	Con.	800	200	50	50	50000	184

Foram realizados 2 experimentos, para cada um dos modelos éticos, para distinção entre os 2 tipos de probabilidades. A probabilidade de trabalhar é definida pela chance de uma cigarras conseguir o seu próprio alimento, assim trabalhando e não estando dependente de uma formiga para conseguir seu alimento (recurso). A outra probabilidade é a de que a formiga fornece comida mesmo que um determinado indivíduo não seja considerado merecedor de alimento, assim ficando em uma situação de dependência das formigas para conseguir o seu próprio alimento.

É possível fazer o comparativo entre 2 tipos de sociedade, uma sociedade em que os indivíduos são auto-suficientes e apenas uma parcela fica dependente de formigas para sobreviver. Então, é determinada uma probabilidade de 50% das cigarras conseguirem seu próprio alimento, e uma probabilidade de 25% de as formigas darem comida. E a outra simulação tem os valores invertidos, sendo 25% para as cigarras trabalharem e 50% para as formigas fornecerem alimento.

Comparando os experimentos da Tabela 1, é possível observar os resultados obtidos no Cenário A. No modelo Ética das Virtudes, que é referente aos experimentos 1 e 2, nota-se uma diferença em relação à sobrevivência das cigarras ao final da simulação, é perceptível uma maior taxa de sobrevivência dos indivíduos no experimento 1 em relação ao 2. As simulações 3 e 4, referentes ao modelo Deontológico, obtiveram em ambos testes a morte totalitária de sua população. Porém, observa-se que no experimento 4 a sociedade viveu por um tempo maior que no experimento 3. Os resultados obtidos nos experimentos 5 e 6 representam o modelo Consequencialista. Nesses resultados, observa-se que o experimento 5 apresenta quantidade de cigarras vivas ao fim da simulação, enquanto no experimento 6 toda a população de cigarras foi morta.

Durante os experimentos da Ética das Virtudes e Consequencialista é possível observar que os que tiveram maior taxa de sobrevivência são os que possuem indivíduos com mais independência. Porém, quando se analisam os resultados obtidos no modelo Deontológico, percebe-se um resultado oposto. Nos experimentos 3 e 4 tem-se a morte de toda população de cigarras, Mas, no experimento 3 a população foi morta em apenas 1.437 ticks, ao passo que no experimento 4 foram 23.177 ticks.

Os experimentos 3 e 5 apresentam resultados bem distintos. O experimento 3 apresenta o pior resultado enquanto o experimento 5 apresenta o melhor resultado (em quantidade de cigarras vivas). Observa-se na Fig. 5 a relação entre cigarras vivas e mortas ao longo do tempo da simulação. Ao fim da população chegou em um intervalo de tempo menor comparado ao tempo da Fig 6 (exp. 5). A diferença de valores ocorre devido ao modelo Deontológico ter um aspecto mais punitivo em comparação ao modelo Consequencialista.

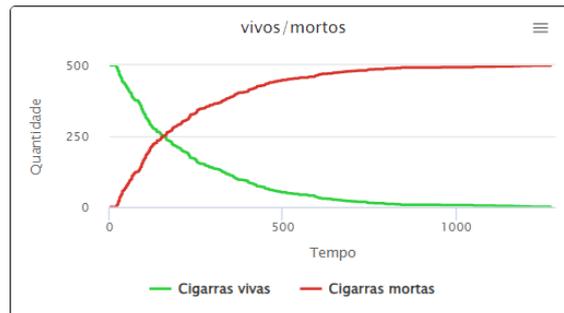


Figura 5. Gráfico de cigarras mortas do experimento 3

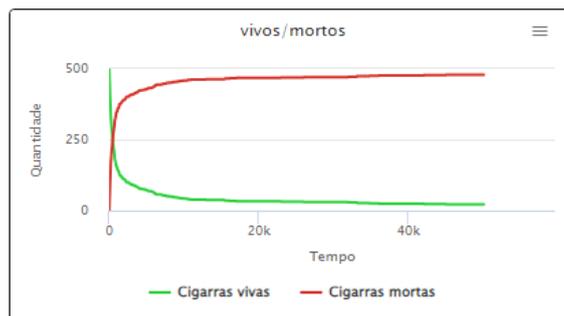


Figura 6. Gráfico de cigarras mortas do experimento 5

Observando os experimentos da Tabela 1 é possível fazer um comparativo entre os experimentos 2, 4 e 6 que são as simulações com 25% de trabalhar e 50% de dar comida. Logo, as sociedade com indivíduos dependentes de formigas. Com os resultados obtidos, nota-se que os três experimentos geraram resultados semelhantes. Todos tiveram a morte total de sua população em um valor aproximado de 24.000 ticks. Isso demonstra a dificuldade de desenvolvimento da população em um ambiente de dependência e não de auto-sustentação.

4.2. Cenário B: Comparação entre 2 tipos de populações

Aqui o objetivo é abordar a quantidade de agentes na sociedade. Nesta simulação as questões probabilísticas foram fixadas em 50% para as cigarras trabalharem e 50% para as formigas fornecerem alimento, assim mantendo uma questão de igualdade entre os esses dois aspectos da simulação.

O Cenário B aborda também situações de superpopulação e de subpopulação, com uma determinada espécie com alta densidade populacional e outra com baixa densidade

populacional (800 formigas e 200 cigarras). Com isso, é possível analisar uma sociedade composta pela proporção de 4 indivíduos sustentando 1. E o segundo tem uma inversão dos valores populacionais. Contendo 800 cigarras para 200 formigas, fazendo então uma sociedade que uma pequena parcela sempre produz seu alimento e a maior parte da população então dependa de poucos indivíduos para a própria sustentação.

Conforme resultados da Tabela 1, todos os modelos tiveram resultados parecidos. Observando os experimentos 7, 9 e 11 referentes aos testes contendo 200 formigas e 800 cigarras, tem-se a morte totalitária da população. Quando se analisam os resultados dos experimentos 8, 10 e 12, onde as populações são compostas por 800 formigas e 200 cigarras, tem-se a sobrevivência da população com apenas algumas mortes no intervalo de tempo de 50000 ticks.

Os experimentos 7 e 11 nos modelos Ética das Virtudes e Deontológico não tiveram diferença em comparação ao resultado da simulação 9, apesar desta possuir a mesma conclusão dos outros dois. Chegou ao fim da civilização em um tempo de 701 ticks, sendo esse o menor intervalo de tempo dentre todos os 12 experimentos, algo que se é possível visualizar no gráfico da Figura 7.

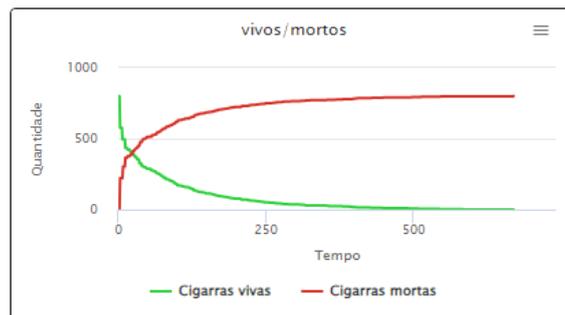


Figura 7. Gráfico de cigarras mortas do experimento 9

4.3. Discussões

Quando se observam os experimentos do cenário A, é perceptível que os melhores resultados de desempenho em termos de sobrevivência da população foram os experimentos do modelo Consequencialista. Por outro lado, os piores resultados foram os experimentos do modelo Deontológico devido à rigorosidade do modelo ético em relação às regras pré-estabelecidas visto que, caso o indivíduo faça algo contra os princípios ele não poderá receber os recursos solicitados.

Os modelos Consequencialistas de Ética das virtudes tiveram resultados parecidos, com uma taxa mais elevada de sobrevivência para o modelo Consequencialista. É possível perceber isso no experimentos 1 e 5, com uma diferença de apenas 11 cigarras devido ao fato de que uma cigarra é taxada como não merecedora de alimento quando está com *balance* menor que -1 , enquanto no Ética das virtudes é com *balance* de 0.

É possível perceber analisando os experimentos do cenário B, que independente do modelo ético abordado, uma sociedade com superpopulação de cigarras não obtém um longo tempo de vida em comparativo à sociedade com subpopulação de cigarras, que obtiveram um resultado de longo prazo com apenas algumas mortes.

5. Conclusão

Nesse artigo foi implementada uma simulação baseada na fábula da formiga e da cigarra, envolvendo diferentes modelos éticos. O trabalho analisou a tomada de decisão de agentes com base em experimentos para realizar uma análise comparativa entre os modelos éticos e o impacto de suas decisões para a alocação de recursos entre os indivíduos da população (formigas e cigarras).

Os resultados apresentados possibilitam recomendar a utilização de um dado modelo ético, conforme o problema e cenário de aplicação apresentados. Em um cenário com uma sociedade composta por uma maioria de cigarras independentes (de formigas para obtenção de recursos) o modelo ético adequado para a sobrevivência das cigarras é o consequencialista, enquanto o deontológico é aquele que apresenta o pior resultado. Em outro cenário composta com a maioria de cigarras dependentes (das formigas) o resultado obtido foi a morte de toda população de cigarras em um semelhante espaço de tempo, independente do modelo ético utilizado. Assim, naturalmente, uma sociedade de cigarras com menor dependência de recursos é duradoura em comparação a uma que necessite de outros indivíduos (formigas) para sua sobrevivência.

Como trabalhos futuros, pretende-se estender e adaptar a modelagem para um cenário realista, onde tem-se veículos autônomos em cenários de tomada de decisões éticas em ambientes urbanos, envolvendo cruzamentos, pedestres, sinalizações e outros veículos.

Referências

- Armstrong, S. and Norling, E. (2023). Reconsidering an agent-based model of food web evolution. In Lorig, F. and Norling, E., editors, *Multi-Agent-Based Simulation XXIII*, pages 70–81, Cham. Springer International Publishing.
- Bench-Capon, T. (2020). Ethical approaches and autonomous systems. *Artif. Intell.*, 281(C).
- da Silva Leitzke, B. and Adamatti, D. F. (2023). Land use management using multi-agent based simulation in a watershed in south of the brazil. In Lorig, F. and Norling, E., editors, *Multi-Agent-Based Simulation XXIII*, pages 1–15, Cham. Springer International Publishing.
- Hills, T. T. (2006). Building "ethical agent" based simulations: A case study of a pathological problem in altruistic punishment. In *ALife Ethics Workshop Artificial Life X, Bloomington, IN, USA*.
- Markovicz, J. V. and Alves, G. V. (2023). Modelagem formal de abordagens éticas para comportamento de agentes. In *Anais do Workshop-Escola de Informática Teórica (WEIT)*, pages 134–138.
- Wilensky, U. (1999). NetLogo. <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>.
- Wooldridge, M. (2009). *An Introduction to Multiagent Systems*. Wiley, Chichester, UK, 2 edition.