

SISTEMA PARA SIMULAÇÃO DA EVOLUÇÃO DE CAMUFLAGEM EM SERES VIVOS

Luiz Henrique Morais Aguiar, Alexandre Zaghetto, Cauê Zaghetto

Resumo: O presente trabalho apresenta a modelagem e a implementação de um simulador que permite observar o processo de Evolução da camuflagem de organismos na presença de seus predadores, semelhante ao que foi observado por John A.

Palavras-chaves: Simulador; Camuflagem; Seres vivos.

Introdução

O conjunto de características que permitem a um organismo permanecer indistinto do ambiente em que vive chama-se camuflagem e pode ocorrer pela cor, forma ou tipo de cobertura do organismo. O desenvolvimento da camuflagem tem por objetivo principal garantir a sobrevivência em um ambiente repleto de predadores.

Em seu livro “O Maior Espetáculo da Terra”, o cientista Richard Dawkins (Dawkins, 2009) exemplifica a Evolução da camuflagem, apresentando uma pesquisa de John A. Endler a respeito de lebistes (Endler, 1980), um peixe de água doce popularmente criado em aquários. Endler verificou que populações desse tipo de peixe apresentavam colorações diferentes dependendo das características do fundo do rio onde viviam e da presença em maior ou menor quantidade de predadores no ambiente.

Em sua obra “A Origem das Espécies”, Charles Darwin [Warburton 2011] descreve como os seres vivos podem evoluir a partir da adaptação pela seleção natural, o processo que proporciona aos mais bem-adaptados a sobreviverem e passarem adiante suas características [Darwin 1859]. Tomando-se como ponto de partida o trabalho de Charles Darwin, o presente trabalho tem por objetivo apresentar a modelagem e a implementação de um simulador que permite observar o processo de Evolução da camuflagem de organismos na presença de seus predadores, semelhante ao que foi observado por John A. Endler em sua pesquisa com os lebistes.

Sistema Proposto

A seguir será descrito o sistema que possibilitará a realização de experimentos onde seres vivos virtuais irão evoluir, adquirindo semelhança com o meio-ambiente, também virtual, em que vivem. Inicialmente serão apresentadas as estruturas que modelam o ambiente, as presas e os predadores. Em seguida serão apresentados os comportamentos que modelam a interação em entre eles.

Estruturas

Atributos do Ambiente

O atributo *cor do ambiente* é definido por três valores inteiros entre 0 e 255. Esses valores representam as intensidades de vermelho (*Red*), verde (*Green*) e azul (*Blue*) que o definem [Gonzalez and Woods 2008]. Além disso, o tabuleiro que representa o ambiente de Simulação é composto por células. Sendo assim, tabuleiro também possui o atributo *dimensão*, que define sua quantidade de células horizontais e verticais.

Atributos Gerais das Criaturas

Cada criatura tem um código identificador exclusivo. O *código* é calculado de acordo com a criação de um novo agente, ordinalmente. As criaturas podem ter parceiros sexuais. Assim, os organismos têm a memória do código do parceiro mais recentemente visto por eles. É atualizado sempre que uma criatura do mesmo tipo, mas de sexo oposto e fértil, ou seja, apto a procriação, é detectado. O *código do parceiro* é utilizado no momento em que uma fêmea vai dar luz, pois as características do descendente devem ser herdadas do pai e da mãe.

Cada criatura se encontra em uma das possíveis categorias que definem a fase da vida em que o organismo se encontra. Inicialmente quando nasce, a criatura pertence à categoria 1. E, com o passar de um certo tempo de vida, a criatura passa sucessivamente da categoria 1 até a 4 e em seguida, morre. A categoria influencia alguns outros atributos. Por exemplo, criaturas que estiverem na categoria 1 não poderão procriar, por serem muito jovens. O mesmo ocorre com as criaturas que estiverem na categoria 4, por já terem passado da idade de procriação. As Tabelas 1 e 2 apresentam os limites de cada categoria para as presas e os predadores, respectivamente.

Tabela 1. Categorias das Presas.

Categoria	Fase da vida	Porcentagem da vida
1	Infância	Em média 10%.
2	Juventude	Em média 40%.
3	Adulta	Em média 40%.
4	3ª idade	Em média 10%.

Table 2. Categorias para os Predadores.

Categoria	Fase da vida	Porcentagem da vida
1	Infância	Em média 18%.
2	Juventude	Em média 23%.
3	Adulta	Em média 24%.
4	3ª idade	Em média 35%.

Uma criatura do tipo *presa* que tem uma expectativa de vida de 100 unidades de vida (*uv*), permanece na categoria 1 de 0 até 10 *uv*. De 11 a 50 *uv*, ela permanece na categoria 2. De 51 a 90 *uv*, ela se encontra na categoria 3 e de 91 até sua morte em 100 *uv* ela encontra-se na categoria 4. Já uma criatura do tipo *predador* que tem uma expectativa de vida de 100 unidades de vida (*uv*), permanece da categoria 1 até 18 *uv*. De 19 a 41 *uv*, ela permanece na categoria 2. De 42 a 65 *uv*, ela se encontra na categoria 3 e de 66 até sua morte em 100 *uv* ela encontra-se na categoria 4. A idade de morte de cada criatura varia e é definida no atributo *idade máxima* descrito mais a diante. O valor de categoria influencia também os atributos *velocidade* e *sentidos*, a serem descritos.

Assim como o ambiente, as criaturas também possuem cores representadas no espaço de cores RGB. É importante ressaltar que a diferença entre os valores da cor de uma presa e do ambiente vai definir o grau de camuflagem da criatura, demonstrada na equação a seguir,

$$D = |r1 - r2| + |g1 - g2| + |b1 - b2|, \quad (1)$$

onde, $r1$, $g1$ e $b1$ são os elementos da cor da presa, $r2$, $g2$ e $b2$ são os elementos da cor do ambiente e D é a soma das diferenças absolutas entre as cores. Uma presa está camuflada quando o valor absoluto da subtração de cada elemento das cores for menor do que o *nível de perseguição*, definido em um arquivo de configuração.

A cor de uma nova criatura é definida pela média aritmética das cores dos pais no momento de seu nascimento e permanece constante até o fim de sua vida. No início da simulação cada criatura recebe uma cor aleatória pelo gerente.

O sexo pode ser definido apenas como masculino ou feminino, isso ocorre no nascimento de uma nova criatura e é escolhido aleatoriamente. O sexo restringe a validade dos atributos gestação e resguardo, a serem descritos, que serão válidos apenas para criaturas do sexo feminino.

Cada criatura está sempre posicionada em uma das células do tabuleiro de simulação. Por isso, guarda também a posição horizontal e vertical onde se encontra. É definido inicialmente pela posição da mãe no momento do nascimento e pode ser modificada a cada movimento. Contudo, no início da simulação cada criatura recebe uma posição aleatória pelo gerente.

A velocidade é um valor inteiro calculado no decorrer da vida de uma criatura de acordo com a categoria em que se encontra e determina sua velocidade de deslocamento. Pode variar entre 0 e 9 de acordo com a tabela abaixo. Nas categorias 1 e 4, o valor da velocidade é sorteado entre 0 e 3. Já nas categorias 2 e 3, o valor da velocidade é sorteado entre 4 e 9. Esses valores de velocidade são utilizados como parâmetros de uma equação que determina um atraso temporal no deslocamento das criaturas, de acordo com a Equ. 2 apresentada mais adiante.

O tamanho é o valor do raio de cada criatura, já que ela é representada graficamente no ambiente de simulação por um círculo com o centro na posição atual da criatura. O tamanho pode variar em relação ao tipo de criatura (presa ou predador), dependendo do que foi predefinido em um arquivo de configuração, que contém também outros valores para modificar a simulação, a serem descritos.

A idade de uma criatura é representada em segundos. A *idade* define a categoria cuja a criatura se encontra. Cada criatura tem um limite de vida, que é um atributo chamado de *idade máxima*, ele representa a idade de morte da criatura, ou seja, quando a *idade* alcançar a *idade máxima*, a criatura morre de velhice. O valor da idade máxima é escolhido aleatoriamente dentro de um intervalo cujo centro é predefinido em um arquivo de configuração, bem como o valor da variação do intervalo.

Tabela 3. Graus de velocidades em função da categoria.

Categoria	Intervalo de sorteio
1	Entre 0 e 3
2	Entre 4 e 9
3	Entre 4 e 9
4	Entre 0 e 3

Ao copular com um parceiro, a fêmea fica em gestação não podendo se acasalar e, após um período, a nova criatura nasce, fazendo com que a mãe fique mais um período infértil chamado de *resguardo*. Apenas quando o período de resguardo acaba que a criatura fêmea poderá estar apta para procriar novamente.

Os *sentidos* são representados por uma circunferência que indica os limites da região circular dentro da qual a criatura está capacitada a detectar possíveis parceiros, ameaças (no caso das presas) ou alvos (no caso dos predadores). É variável de acordo com a categoria atual, pois criaturas jovens (categoria 1) ou velhas (categoria 4) demais não possuem os sentidos tão aguçados quanto as criaturas que se encontram nas categorias 2 ou 3. A Tab. 4 apresenta a porcentagem dos sentidos utilizada por uma criatura de acordo com a categoria em que se encontra..

Table 4. Porcentagem do sentido em função da categoria

Categoria	Porcentagem do sentido utilizado
1	50%
2	100%
3	100%
4	60%

Por exemplo, se o valor predefinido para os sentidos de uma criatura for igual a 100, e essa criatura se encontra na categoria 1, ela só poderá detectar outros agentes a uma distância de 50 ou menos. E quando passar para a categoria 2, será capaz de utilizar 100% dos seus sentidos, ou seja, seus sentidos serão iguais a 100. Entretanto, quando a criatura atingir a categoria 4, seus sentidos serão reduzidos a 60.

A *área de interesse* é o valor do raio do círculo de deslocamento, que é um círculo que tem a posição da criatura no centro, utilizado para a movimentação padrão das criaturas. A direção do movimento padrão de uma criatura é definida por um foco escolhido aleatoriamente no interior da coroa circular do círculo de deslocamento definida por círculos concêntricos de raios $r1$ e $r2$, sendo $r1 > r2$. Após definido esse ponto de interesse, a criatura, se não interrompida, se aproxima dele célula por célula no campo de Simulação, escolhida estrategicamente em sua vizinhança de 8 para que seja algum local que a distância entre ela e o *ponto de interesse* não aumente. Quando a criatura atinge o *foco de deslocamento*, um outro foco é escolhido a partir da sua posição atual. O valor da área de interesse é predefinido em um arquivo de configuração

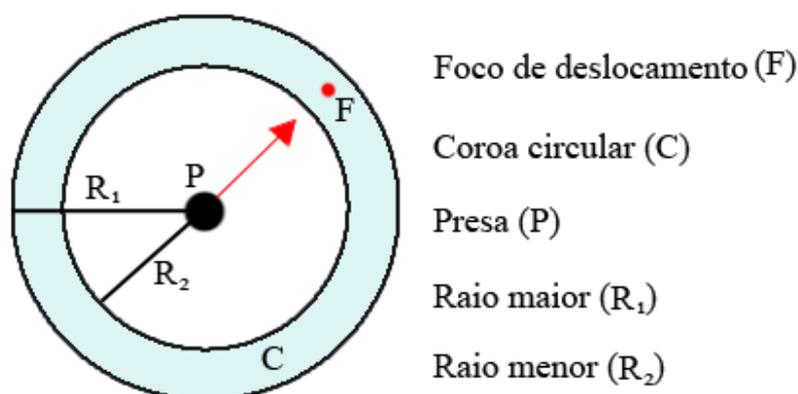


Figura 1. Representação da área de interesse de uma presa.

Atributos Específicos das Criaturas

Quando as presas percebem a presença de um predador, através de seus sentidos, elas marcam esse predador guardando seu código. Uma presa sempre vai guardar o código do último predador visto, como forma de ameaça. Atualmente, o *código da ameaça* não está sendo utilizado, mas no futuro, auxiliara a presa a definir sua rota de fuga.

Os predadores precisam se alimentar de presas para continuarem vivos. Quando eles passam um período sem se alimentar, denominado tempo de fome, morrem de fome. Assim como as presas guardam o código do predador mais recentemente visto, os predadores guardam o código da presa mais próxima como alvo. Os predadores, então, seguem sua presa alvo até a alcançarem e se alimentarem dela ou até que a presa consiga fugir de seu raio de visão. Quando conseguem se alimentar, passam um período denominado tempo de saciedade em que estão satisfeitos e não procuram presas alvo, e quando esse tempo acaba, o tempo de fome é iniciado, representando a necessidade do predador de comer, dando início novamente ao processo de predação.

Comportamentos

Além do ambiente e das criaturas, o sistema conta com um gerente que define alguns dos comportamentos gerais da simulação. Um exemplo é o posicionamento das presas e dos predadores no início da simulação. O ambiente apresenta um comportamento estático. Uma vez que o gerente o inicia com uma determinada cor e tamanho, os valores que esses atributos recebem permanecem constantes ao longo de toda a simulação. Sendo assim, vamos detalhar apenas os comportamentos do gerente da simulação e das criaturas.

Comportamento do Gerente

A Simulação tem início quando o ambiente de Simulação é criado pelo gerente. Inicialmente o tabuleiro é definido a partir das dimensões e cor especificados em um arquivo de configuração. Nesse mesmo arquivo de configuração, estão as quantidades de presas e predadores, macho e fêmea iniciais da simulação. O gerente a cria, de acordo com a quantidade predefinida de cada sexo, e os posiciona aleatoriamente no tabuleiro. Ainda no arquivo de configurações estão os valores dos atributos tamanho, idade média máxima

(utilizada para calcular a idade máxima de cada criatura), sentidos e área de interesse iniciados logo após a criação de cada criatura. No caso dos predadores inicia-se também o atributo fome.

Além de inicializar esses atributos com as informações indicadas em um arquivo de configuração, ao se criar uma nova criatura, o gerente inicializa também os atributos cor e idade. A cor é definida pela média aritmética das cores do pai e da mãe e a idade é inicializada com o valor zero, exceto no início da simulação que as cores das criaturas iniciais são definidas aleatoriamente, tais como as idades.

Outra função do gerente é calcular a média e a variância das cores das presas, esses valores são calculados e registrados em relatórios de simulação. Isso acontece de 5 em 5 segundos, tornando possível a visualização da evolução da camuflagem das presas.

Comportamento das Criaturas

Após a criação de uma criatura, seu movimento é iniciado. Para que esse movimento aconteça, são realizadas diversas verificações e eventos que podem, ou não, influenciá-lo.

Quando estimulado por um fator externo, o movimento de uma criatura é definido pela situação atual dela, isso acontece quando ela está disponível para procriação e encontra uma outra criatura do mesmo tipo também disponível, mas de sexo diferente, então, se aproxima dela com o objetivo de procriar.

Outro fator que influencia no movimento das criaturas, precisamente dos predadores é a presença de alvos. Pois, quando uma presa que não esteja camuflada no ambiente, é detectada por um predador, o predador vai em direção a ela a fim de se alimentar, ignorando seu movimento padrão.

O movimento padrão de uma criatura é o movimento utilizado quando ela não é afetada por um fator externo, sejam parceiros, alvos ou ameaças. Esse movimento é definido com o auxílio do atributo área de interesse.

A cada célula que a criatura se movimenta, ou seja, a cada passo ou ciclo de movimento, é verificado se ela está na mesma posição do seu parceiro, para que a procriação aconteça, caso a criatura for fêmea. A cada movimento, também é verificado se a criatura envelheceu, ou seja, se passou mais um segundo de tempo de vida. Quando a idade da presa aumenta, é verificado se a categoria é alterada e, caso for fêmea, se a gestação chegou ao fim para gerar uma nova criatura.

O espaço de tempo entre um passo e outro é definido pela equação,

$$t = Fdm - v \left(10 \times \frac{Fdm}{100} \right), \quad (2)$$

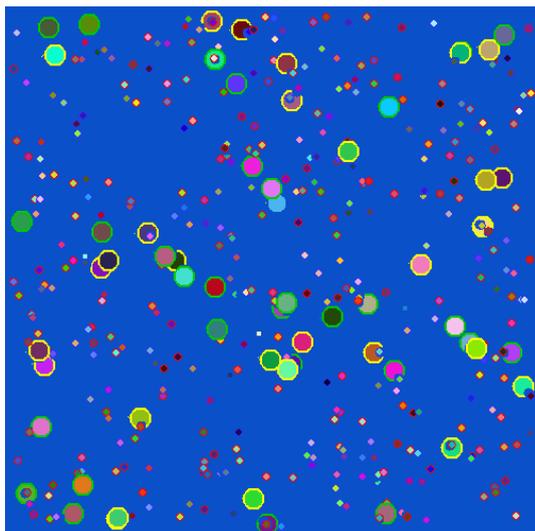
onde, t é o tempo de espera entre cada movimento, Fdm é o fator delay máximo predefinido e v é o grau de velocidade da criatura, escolhida de acordo com a Tab.3.

Resultados Experimentais

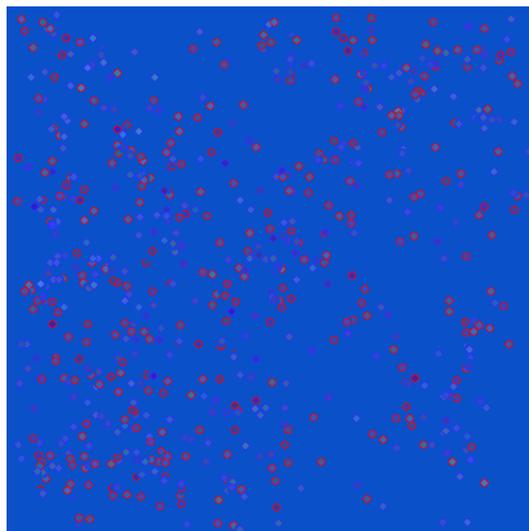
Cinco experimentos considerando diversas configurações iniciais de ambiente e populações de presas e predadores foram realizados. Nos quatro primeiros, cujos resultados estão sintetizados nas Figuras 2 a 5, é possível observar o processo de Evolução da camuflagem das presas. Nesses experimentos a cor das presas convergiu para uma cor próxima a do ambiente. Os círculos maiores representam os predadores e os menores representam as presas. Predadores machos e fêmeas tem bordas verdes e amarelas, respectivamente. Presas machos e fêmeas têm bordas azuis e vermelhas, respectivamente. No quinto experimento a camuflagem das presas não evoluiu para a cor do ambiente foram computados ao longo do tempo a quantidade de presas e predadores de ambos os sexos, além da média das componentes RGB das cores das presas. Nos experimentos 1 a 4 onde a camuflagem evoluiu conforme o esperado, observa-se um aumento inicial do número de predadores e uma diminuição do número de presas. Isso ocorre porque as presas têm suas cores iniciadas aleatoriamente e por isso carecem de camuflagem. Com o tempo as presas que apresentam cores mais próximas as do ambiente passam a gerar descendentes melhor camuflados. A partir de então a quantidade de predadores começa a diminuir em função da dificuldade de encontrarem alimento e a quantidade de presas começa a aumentar. No experimento 5, cujo resultado está resumido na Figura 6 a quantidade de predadores permanece praticamente constante e a quantidade de presas aumenta. Os resultados foram formatados com o auxílio da biblioteca gráfica WinBGIm para a linguagem de programação C e do software MATLAB. As configurações para cada experimento estão detalhadas nas Tabelas 5 e 6.

Conclusão

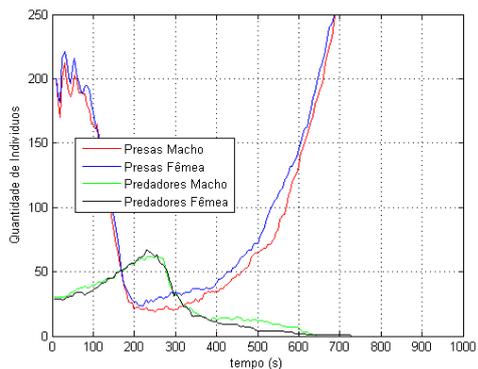
Foi apresentada uma ferramenta que permite observar em um espaço de tempo reduzido os princípios da Teoria da Evolução das espécies pela seleção natural proposta por Charles Darwin. Observou-se também que o ajuste dos valores iniciais dos parâmetros de Simulação tem um grande impacto no resultado da Simulação. Para que uma espécie possa prosperar e ter uma determinada característica selecionada pelo ambiente, o ajuste desses valores deve ser preciso, caso contrário pode-se observar a não evolução ou a extinção como resultado da Simulação. Para trabalhos futuros pretende-se implementar o atributo *fome* também nas presas e permitir que igualmente os predadores possa evoluir.



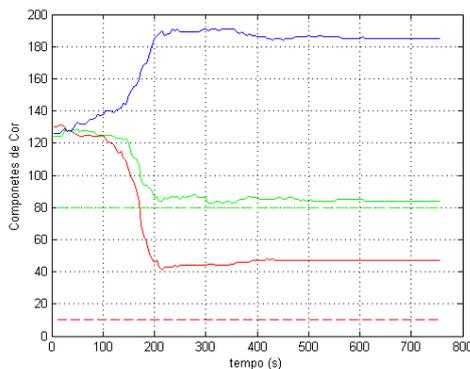
(a) Estado inicial da Simulação.



(b) Estado final da Simulação.

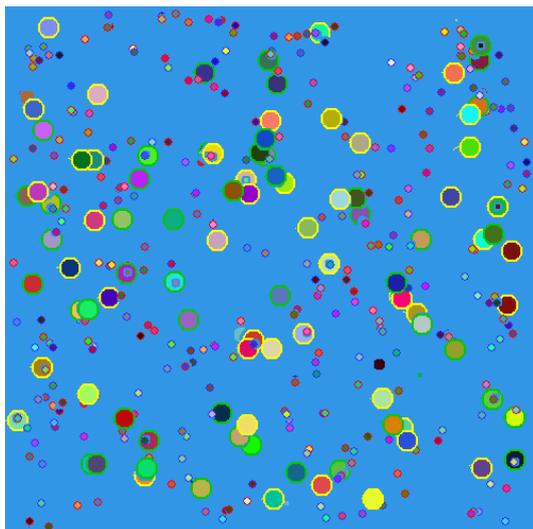


(c) Evolução das populações de presas e predadores.

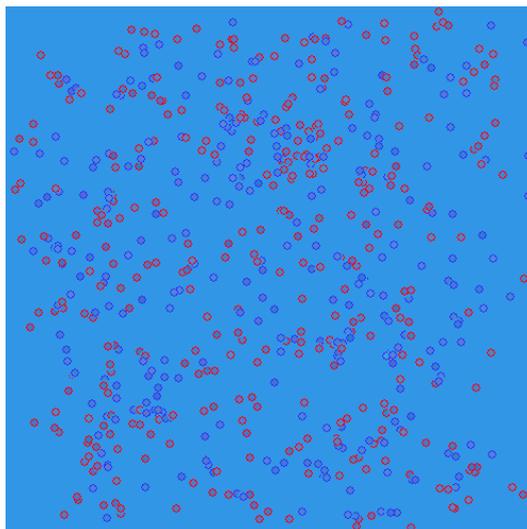


(d) Evolução das cores das presas

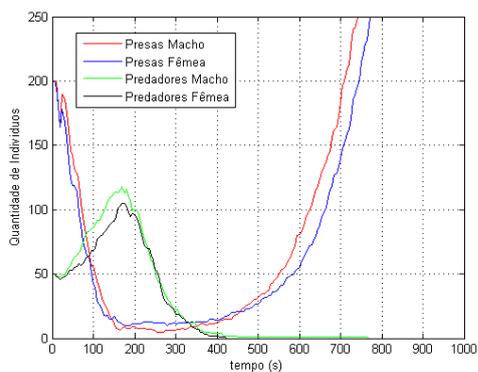
Figura 2. Experimento 1: as camuflagens das presas convergem para a cor do ambiente.



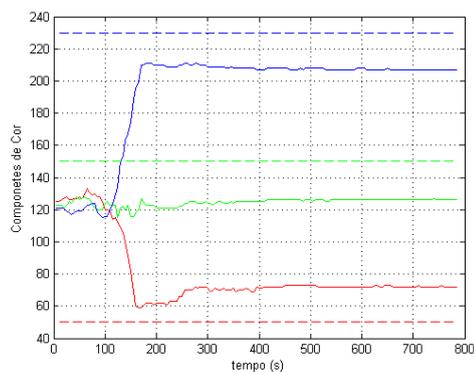
(a) Estado inicial da Simulação.



(b) Estado final da Simulação.

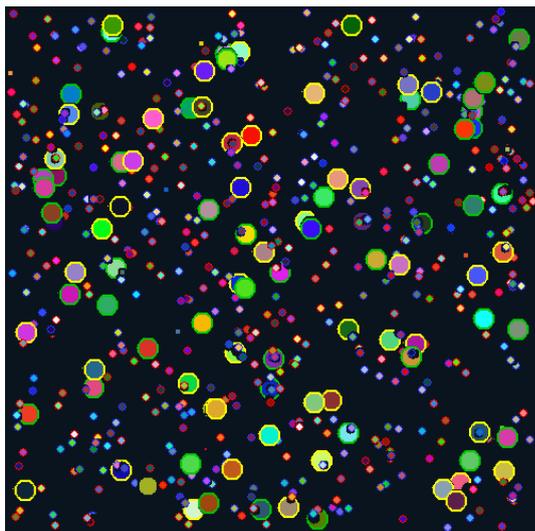


(c) Evolução das populações de presas e predadores

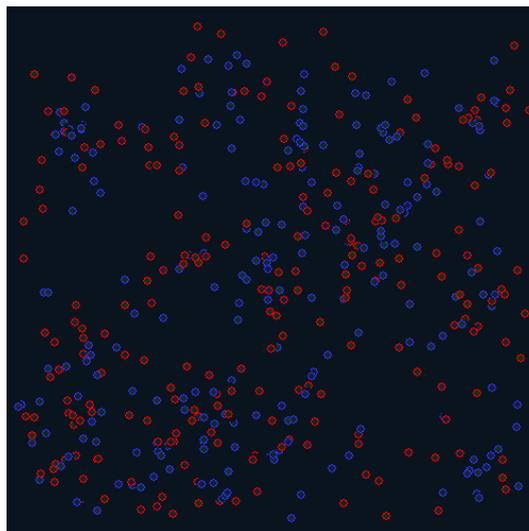


(d) Evolução das cores das presas

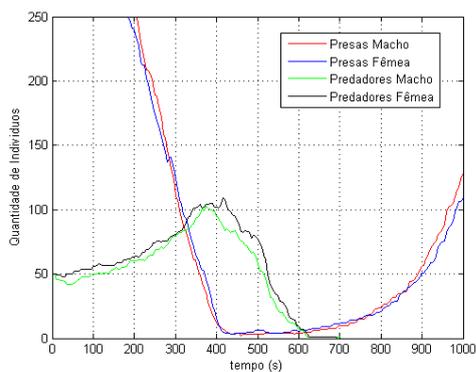
Figura 3. Experimento 2: as camuflagens das presas convergem para a cor do ambiente.



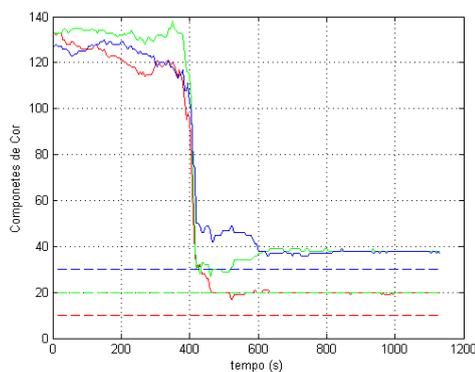
(a) Estado inicial da Simulação



(b) Estado final da Simulação

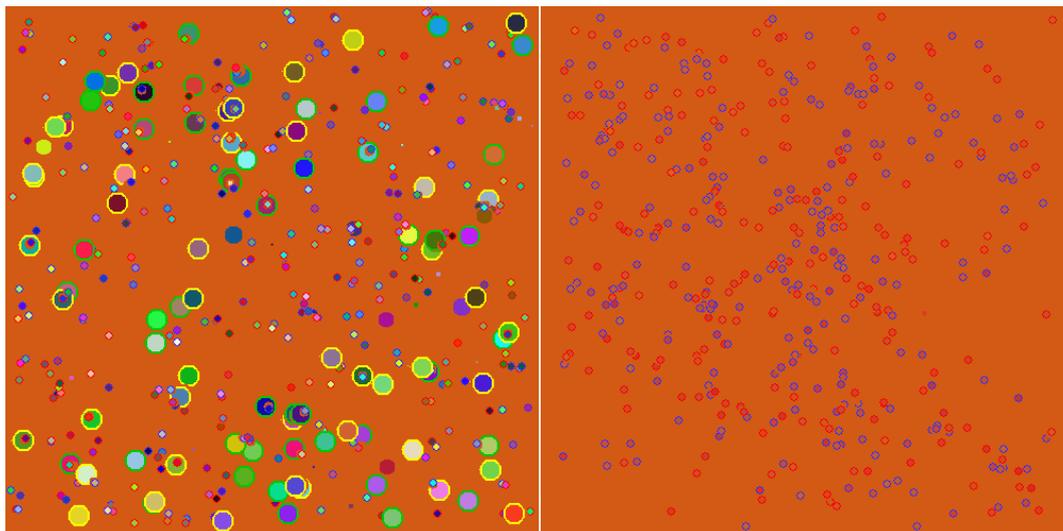


(c) Evolução das populações de presas e predadores.



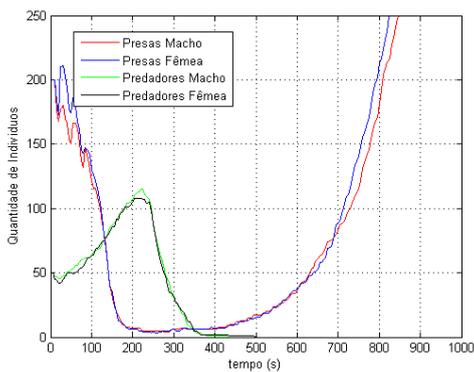
(d) Evolução das cores das presas

Figura 4. Experimento 3: as camuflagens das presas convergem para a cor do ambiente.

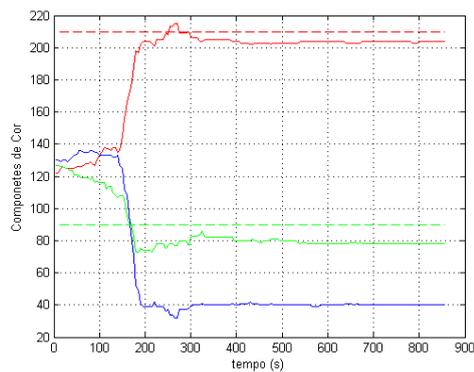


(a) Estado inicial da Simulação

(b) Estado final da Simulação

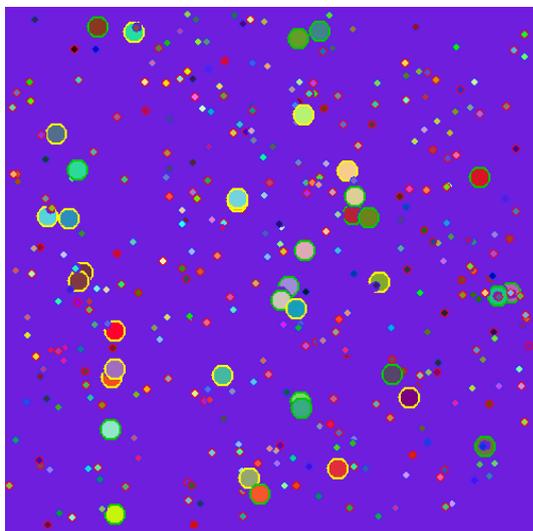


(c) Evolução das populações de presas e predadores.

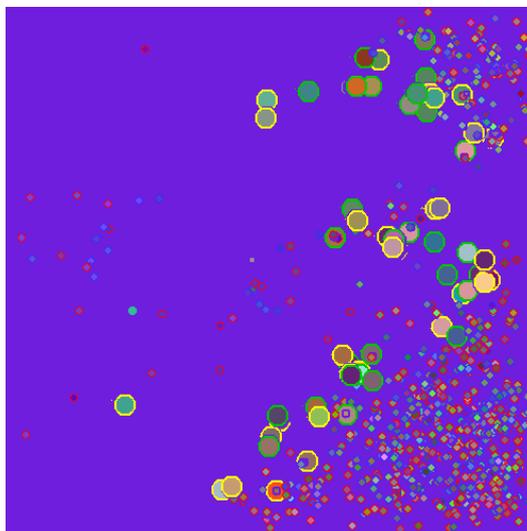


(d) Evolução das cores das presas

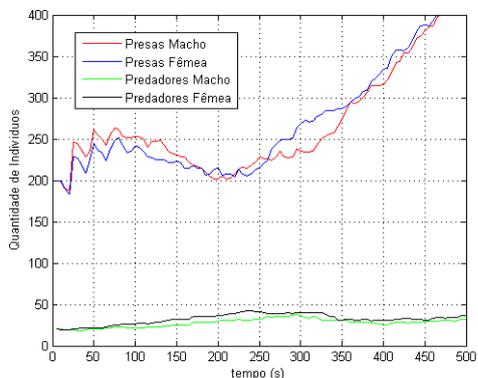
Figure 5. Experimento 4: as camuflagens das presas convergem para a cor do ambiente.



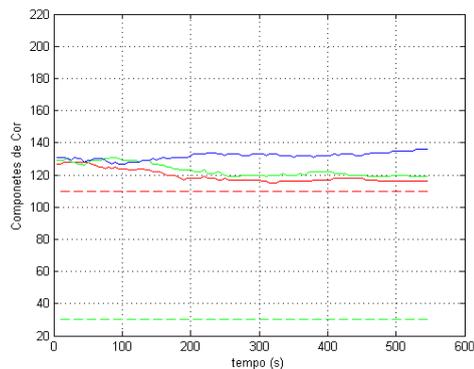
(a) Estado inicial da Simulação



(b) Estado final da Simulação.



(c) Evolução das populações de presas e predadores



(d) Evolução das cores das presas

Figura 6. Experimento 5: a camuflagem das presas não convergem para a cor do ambiente.

Referências

DARWIN, C. *On the Origin of Species by Means of Natural Selection, or the Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life*. John Murray, London, 1859.

DAWKINS, R. *O Maior Espetáculo da Terra - As Evidências da Evolução*. Companhia das Letras, São Paulo, 2009.

ENDLER, J. A. Natural selection on color patterns in poecilia reticulata. *Evolution*, v.8, n.34, p.76–91, 1980.

GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. (2008). *Digital image processing*. Prentice Hall, Upper Saddle River, N.J, 2008.

WARBURTON, N. *Uma Breve História da Filosofia*. L&pm Pocket, Porto Alegre, 2011.