

**UNIVERSIDADE DO VALE DO ITAJAÍ
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS DA TERRA E DO MAR
CURSO DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO**

**PROTÓTIPO DE UM SIMULADOR ECOLÓGICO BASEADO NO MODELO
PREDADOR-PRESA**

Área de Inteligência Artificial

por

Rafael Gonzaga Camargo

Edson Tadeu Bez, Dr.
Orientador

Kátia Regina Sgrott Sauer Machado, Dra.
Co-orientadora

Paulo Juliano Burin, Esp.
Co-orientador

São José (SC), dezembro de 2009

**UNIVERSIDADE DO VALE DO ITAJAÍ
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS DA TERRA E DO MAR
CURSO DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO**

**PROTÓTIPO DE UM SIMULADOR ECOLÓGICO BASEADO NO MODELO
PREDADOR-PRESA**

Área de Inteligência Artificial

por

Rafael Gonzaga Camargo

Relatório apresentado à Banca Examinadora do
Trabalho de Conclusão do Curso de Ciência da
Computação para análise e aprovação.
Orientador: Edson Tadeu Bez, Dr.

São José (SC), dezembro de 2009

SUMÁRIO

LISTA DE ABREVIATURAS	iv
LISTA DE FIGURAS	v
LISTA DE TABELAS	vi
LISTA DE EQUAÇÕES	vii
RESUMO	viii
ABSTRACT	ix
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 PROBLEMATIZAÇÃO	2
1.1.1 Formulação do Problema.....	2
1.1.2 Solução Proposta.....	3
1.2 OBJETIVOS	3
1.2.1 Objetivo Geral.....	3
1.2.2 Objetivos Específicos.....	3
1.3 METODOLOGIA	4
1.3.1 Plano de trabalho.....	5
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO	5
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	6
2.1 MODELAGEM AMBIENTAL	6
2.1.1 Teoria dos Sistemas Dinâmicos.....	6
2.1.2 Classificação dos Sistemas Dinâmicos.....	7
2.1.3 Teoria dos Ecossistemas.....	8
2.1.4 Teoria dos Modelos Ambientais.....	9
2.2 SISTEMA PRESA-PREDADOR	13
2.2.1 Introdução.....	13
2.2.2 Definição.....	13
2.2.3 Dinâmica Populacional.....	14
2.3 AUTÔMATOS CELULARES	16
2.3.1 Introdução.....	16
2.3.2 Definição.....	18
2.3.3 Modo de Operação.....	20
2.3.4 Regras.....	20
2.3.5 Classificações.....	22
2.3.6 Aplicações.....	23
2.4 ALGORITMOS GENÉTICOS	24
2.4.1 Introdução.....	24
2.4.2 Definição.....	25
2.4.3 Estruturas Básicas.....	26

2.4.4	Representação dos Algoritmos Genéticos.....	27
2.4.5	Operadores Genéticos.....	27
2.4.6	Função de Aptidão	29
2.4.7	Hibridização	30
3	PROJETO	31
3.1	PROTÓTIPO	31
3.2	AUTÔMATO CELULAR	32
3.3	ALGORITMO GENÉTICO.....	35
3.4	REQUISITOS DO SISTEMA	38
3.4.1	Requisitos funcionais	38
3.4.2	Requisitos não funcionais	38
3.4.3	Casos de uso.....	39
3.4.4	Diagramas de classe	42
3.4.5	Diagramas de sequência	43
3.5	PLANEJAMENTO DO TCC II.....	44
3.5.1	Metodologia	44
3.5.2	Cronograma.....	45
3.5.3	Análise de Riscos	45
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	48
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49

LISTA DE ABREVIATURAS

AC	Autômato Celular
AG	Algoritmo Genético
CE	Computação Evolutiva
IA	Inteligência Artificial
IC	Inteligência Computacional
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
UML	Unified Modeling Language
UNIVALI	Universidade do Vale do Itajaí
XML	eXtensible Markup Language

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Modelo de ecossistema, enfatizando o ambiente externo, que deve ser considerado parte integral do conceito de ecossistema	8
Figura 2. Representação gráfica da dinâmica presa x predador	16
Figura 3. Regras de transição das células	19
Figura 4. Execução durante um tempo do autômato de Greenber-Hasting	20
Figura 5. Tipos de vizinhança: (a) Von Neumann; (b) Moore	21
Figura 6. Condição de contorno periódica	22
Figura 7. Condição de contorno não-periódica	22
Figura 8. Estrutura básica do funcionamento de um AG	26
Figura 9. Representação de um cromossomo	27
Figura 10. Procedimentos de cruzamento de 2 indivíduos	29
Figura 11. Mutação de bit	29
Figura 12. Cenário ambiental: (a) Reticulado de ordem 50 , contendo 25 regiões identificadas por ; (b) Detalhamento das regiões da célula , identificadas por	36
Figura 13. Cromossomo com 25 genes	36
Figura 14. Abertura do aplicativo	39
Figura 15. Ajuste de parâmetros	40
Figura 16. Salvar configuração de parâmetros	41
Figura 17. Exportação de dados	42
Figura 18. Diagrama de classe do protótipo	43
Figura 19. Diagrama de sequência da simulação	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Principais aplicações dos autômatos celulares	23
Tabela 2. Requisitos funcionais	38
Tabela 3. Requisitos não funcionais	38

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1	15
Equação 2	15
Equação 3	35
Equação 4	37

RESUMO

CAMARGO, Rafael Gonzaga. **Protótipo de um ambiente para auxílio ao ensino de ecologia baseado no modelo predador-presa.** São José, 2009. 61 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciência da Computação)–Centro de Ciências Tecnológicas da Terra e do Mar, Universidade do Vale do Itajaí, São José, 2009.

A fragmentação ambiental é possivelmente o maior motivo dos prejuízos causados pelo homem ao meio ambiente. Muitas regiões florestais intactas que eram matas fechadas vêm se transformando em uma paisagem formada por manchas de depredação, gerando ilhas ecológicas. O isolamento do habitat pode instantaneamente matar muitas espécies de animais ou obrigá-los posteriormente a buscarem novas fontes de recursos em outras áreas que também estão cercadas por regiões transformadas. Com o objetivo de minimizar os impactos ao meio ambiente e também conscientizar a raça humana para utilizar prudentemente os recursos naturais, a simulação computacional vem se consolidando como uma ferramenta eficaz para auxiliar em previsões ambientais e ao ensino de ecologia. Este projeto baseia-se na relação dinâmica natural entre presas e predadores para demonstrar através de criação de um modelo computacional quais os impactos causados as espécies que se relacionam desta forma na natureza. A simulação dar-se-á com a utilização das técnicas computacionais de autômato celular e algoritmo genético, utilizados respectivamente para a representação das populações do tipo presa e predador, e na geração de cenários fragmentados cujo objetivo é avaliar o impacto da sobrevivência e adaptação dos indivíduos em diferentes ambientes. O fluxo do processo de simulação consiste na geração de indivíduos (cenário) pelo algoritmo genético e na utilização do autômato celular para o cálculo de aptidão do indivíduo. As duas técnicas são usadas em conjunto com o propósito de obter resultados mais próximos do sistema real.

Palavras-chave: Presa-predador. Autômato celular. Algoritmo genético.

ABSTRACT

The environmental fragmentation is possibly the largest reason of the damages caused by the man to the environment. Many intact forest areas that were closed forests come transforming itself in a landscape formed by depredation stains, generating ecological islands. The isolation of the habitat instantly can kill a lot of species of animals or to force them later look for its new sources of resources in other areas that are also enclosed for transformed areas. With the objective of minimizing the impacts to the environment and also to become aware the being human to use the natural resources advisably, the simulation computational comes itself consolidating as an effective tool to aid in environmental predictions and to the ecology education. This project bases on the natural dynamic relationship between arrested and predators to demonstrate through of creation of a model computational which they caused impacts the species that link this way in the nature. The simulation will feel with use of the techniques computational of cellular automata and genetic algorithm, used respectively for the representation of the populations of the type prey and predator, and in the generation of fragmented sceneries whose objective is to evaluate the impact of the survival and the individuals adaptation in different atmospheres. The flow of the simulation process consists of the individuals (scenery) generation for the genetic algorithm and in the cellular automata use for the calculation of the individual's aptitude. The two techniques are used together with the purpose of obtaining closer results of the real system.

Keywords: Prey-predators. Cellular automata. Genetic algorithm.

1 INTRODUÇÃO

Segundo Odum e Barret (2008) a ecologia como um campo reconhecido da ciência, começa a se estabelecer no início do Século XX, porém os estudos nesta nova área de ciência se intensificaram somente durante a década de 1970. Foi nesta década que começaram a surgir as primeiras inquietações dos cientistas relacionados as ações prejudiciais do homem no meio ambiente: poluição, aquecimento global, crescimento populacional, desmatamentos, consumo de alimento e energia. Apesar desta década ter sido chamada de “década do ambiente”, as atitudes relacionadas ao meio ambiente pararam em meio a causas políticas da época. Recentemente no início deste século, o mundo volta a ter preocupação com as ações depredatórias do homem, “entramos nos cenários iniciais do século XXI, as preocupações com o ambiente vêm de novo à tona”. Contudo, a espécie humana ainda não conseguiu adquirir plena consciência de que fizemos parte do ambiente, “[...] os humanos tendem a considerar normais os bens e serviços provenientes da natureza, pois assumimos que são ilimitados ou de alguma forma repostos [...]”. Nesta linha, o ensino de ecologia tem aparecido cada vez mais no cenário educacional, tomando maior importância e responsabilidade (ODUM; BARRET, 2008).

O ensino de ecologia tem despertado um interesse cada vez maior por parte das autoridades governamentais e, no caso do governo brasileiro, isto pode ser conferido através dos Parâmetros Curriculares Nacionais – PCNs. Nesses guias de referência constam as capacidades desejáveis para os alunos da educação fundamental no ensino de educação ambiental, dentre os quais destacam-se:

- Conhecer e compreender, de modo integrado e sistêmico, as noções básicas relacionadas ao meio ambiente; e
- Identificar-se como parte integrante da natureza, percebendo os processos pessoais como elementos fundamentais para uma atuação criativa e responsável em relação ao meio ambiente.

Diante da importância da educação ambiental e dos objetivos a serem alcançados, novas estratégias metodológicas são adotadas e, neste cenário a inclusão dos computadores como ferramenta multimídia torna-se indispensável, visto que “[...] são inúmeras as alternativas de contextualização dos saberes escolares através de uma forma mais dinâmica, onde o texto educacional passa a ser enriquecido por sons, imagens, cores e movimento.” (PAIS, 2002).

1.1 PROBLEMATIZAÇÃO

1.1.1 Formulação do Problema

Os primeiros registros no Brasil da inclusão dos computadores para auxílio à educação surgiram no início da década de 70. Nos últimos anos foram criados vários projetos do governo com o objetivo de promover a inclusão digital nas escolas públicas. Essas iniciativas visam criar novas metodologias de ensino baseado na tecnologia da informática e maior incentivo às iniciativas científicas e tecnológicas. Algumas destas iniciativas são o Programa Nacional de Informática na Educação – PROINFO e o projeto Um Computador Por Aluno – UCA.

A informática entrou no processo de ensino com o objetivo de melhorar a qualidade do mesmo, promovendo novas estratégias e eliminando o antigo processo onde os alunos eram somente ouvintes dos professores. Com a inclusão de softwares educativos pretende-se que os estudantes troquem de postura dentro da sala de aula, passando a atuar ativamente no processo de ensino-aprendizagem. Com os computadores tornou-se possível maior interação com as disciplinas que estavam sendo ensinadas, fazendo que estes conteúdos não ficassem tão distantes da realidade dos aprendizes, “a inserção dos recursos tecnológicos da informática na educação escolar pode contribuir para a melhoria das condições de acesso à informação, minimiza restrições relacionadas ao tempo e ao espaço e permite agilizar a comunicação entre professores, alunos e instituições.” (PAIS, 2002).

Dentre algumas ferramentas que existem para auxílio ao ensino, destacam-se os softwares da categoria de simulação. Os simuladores “são um análogo aos sistemas físicos estudados por cientistas: não ensinam nem instruem, apenas têm determinado comportamento. É o aprendiz como cientista, que aprende os princípios, analisando o comportamento do sistema em experimentação” (VALENTE, 1999). Esta classe de softwares implica na modelagem matemática de fenômenos reais que podem ser executados através de computadores, dando a liberdade de configurar diferentes condutas de funcionamento destes sistemas e, desta forma analisar os variados resultados conforme uma perspectiva lógica criada pelo próprio indivíduo. A simulação computacional significa a empregabilidade de artifícios matemáticos em computadores, que permite reproduzir quase a totalidade dos sistemas reais existentes. Segundo Pais (2002), aplicativos exclusivos de simulação possibilitam maior percepção do que simples representações gráficas feitas em papel. Na realidade isto se deve ao fato do caráter dinâmico das simulações. Por tais razões, entende-se que uma aplicação do gênero de simulação pode aproximar as questões ambientais dos estudantes.

1.1.2 Solução Proposta

Neste TCC (Trabalho de Conclusão de Curso) propõe-se a criação de um protótipo para simulação de ecossistemas, cujo objetivo é ajudar no ensino de educação ambiental, conscientizar e despertar o interesse dos alunos sobre o grande valor da conservação e manutenção do meio ambiente, de modo a desenvolver uma consciência de sobrevivência sustentável. Segundo Worldwide Fund for Nature – WWF significa ser capaz de atender as nossas eminentes necessidades e ter o compromisso de manter a mesma capacidade de recursos. “É o desenvolvimento que não esgota os recursos para o futuro.”.

A ferramenta a ser desenvolvida utilizará o modelo discreto do autômato celular em seu processo de simulação, o qual permite a evolução no tempo. Entretanto, os autômatos possuem uma forma de reprodução simplificada, o que impossibilita incluir características como a hereditariedade e mutação. Já os algoritmos genéticos possibilitam transmissão de características entre pais e filhos, mutações gênicas e um processo de seleção natural que avalia o mais apto de acordo com a situação atual do ambiente.

Os autômatos celulares (ACs) vêm sendo largamente utilizados por muitos cientistas, atraídos pela forma simples de tratar problemas complexos e dentre estes podemos citar a modelação de sistemas naturais, vejamos alguns exemplos “[...] proliferação de epidemias, simulação de fenômenos, simulação de tráfego urbano e formação de padrões em conchas e peles de animais.” (VIDICA, 2007).

Os algoritmos genéticos (AGs) consistem numa técnica inspirada nos mecanismos de evoluções de populações em acordo com a teoria da seleção natural proposta por Charles Darwin, segundo Linden (2008).

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Desenvolver um protótipo de um ambiente para simulação ecológica, baseado no modelo predador-presa, utilizando autômatos celulares e algoritmos genéticos.

1.2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Analisar a teoria geral de ecossistemas e os modelos de ecossistemas predador-presa;
- Realizar a modelagem do ecossistema;
- Realizar o projeto do protótipo;
- Implementar o protótipo;
- Testar e validar a implementação do protótipo; e
- Documentar o desenvolvimento e os resultados obtidos.

1.3 METODOLOGIA

Etapa de pesquisa

Este TCC propõe-se a criar uma ferramenta de simulação, com o objetivo de ensinar sobre o relacionamento dos seres-vivos e o meio onde vivem.

A pesquisa se dará a partir de uma abordagem qualitativa com enfoque indutivo, este tipo não utiliza instrumentos estatísticos para análise de dados, diferentemente é baseado na “obtenção de dados descritivos mediante contato direto e interativo do pesquisador com a situação objeto de estudo.” (NEVES, 1996). Dentre as subdivisões existentes na pesquisa qualitativa a investigação deste projeto ocorrerá sob uma perspectiva de estudo de caso, onde os pesquisadores procuram conhecer detalhadamente os fenômenos. Então, a partir de referências bibliográficas, observações e análise do objeto, os cientistas relatam a sua explicação.

Para fundamentar este trabalho serão feitas pesquisas em bibliotecas, dissertações, teses, artigos e outros textos encontrados na internet. A abordagem será feita a partir do estudo de modelos ecológicos, selecionando o tipo mais adequado para ser aplicado a este projeto, demonstrando a sua teoria e a sua aplicação utilizando autômatos celulares e algoritmos genéticos.

Etapa de modelagem

Esta etapa trata da modelagem do problema e na elaboração de uma análise de riscos da simulação proposta. Esta fase é essencial para o sucesso do projeto.

Etapa de desenvolvimento

Esta etapa consiste no desenvolvimento do protótipo. Transformando o modelo proposto em um código-executável experimental, possibilitando realizar as validações.

Etapa de documentação

Consiste em documentar o resultado referente a todo processo de pesquisa científica, englobando a etapa inicial da descrição do problema até a etapa de validação dos resultados obtidos pela ferramenta.

1.3.1 Plano de trabalho

Inicialmente os estudos ficaram concentrados em modelos de sistemas dinâmicos partindo para os modelos utilizados em ecossistemas e o sistema presa-predador, conhecendo com maiores detalhes a dinâmica de populações deste sistema e os modelos de simulação utilizados.

Posteriormente será realizado um estudo em autômatos celulares e algoritmos genéticos, que serão utilizados para simular o modelo do sistema presa-predador a ser modelado e em seguida uma seção que introduz o assunto de soluções híbridas a ser utilizado neste trabalho. A linguagem de programação a ser utilizada será analisada de forma a escolher a mais adequada à implementação necessária, e após o completo desenvolvimento do sistema computacional, serão feitos testes para garantir a execução contínua da aplicação.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O primeiro capítulo deste trabalho apresenta uma introdução mostrando o aparecimento da palavra ecologia, como surgiu o conceito e a preocupação com o meio ambiente e o início do ensino de educação ambiental nas instituições de ensino; também é discutido o problema a ser tratado por este projeto. Neste mesmo capítulo, são apresentados os objetivos deste trabalho e a metodologia aplicada para serem alcançados os resultados esperados. O capítulo seguinte intitulado de fundamentação teórica trará os pressupostos que guiaram este desenvolvimento, teoria dos sistemas dinâmicos, teoria dos ecossistemas, modelagem de sistemas ambientais, autômatos celulares e algoritmos genéticos, por fim, uma breve introdução sobre soluções híbridas. No terceiro capítulo será mostrada a especificação do modelo a ser simulado, bem como a solução de integração dos autômatos celulares com algoritmos genéticos. E no último capítulo são apresentadas as considerações finais e as referências bibliográficas.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A fundamentação teórica deste trabalho destina-se a apresentar conceitos sobre sistemas dinâmicos, mostrando suas principais características e a sua classificação conforme o tipo de comportamento do sistema. Nesta seção apresenta-se também a teoria dos ecossistemas como elemento essencial para entendimento do processo ecológico. Em seguida são descritos alguns aspectos sobre procedimentos de análise, modelagem e classificação de modelos ecológicos.

Posteriormente dedica-se uma seção da fundamentação teórica para descrever as relações dinâmicas que existem entre as populações de seres vivos, apresentando, através de conceitos matemáticos, a sistemática do processo de predação, visto que este trabalho utiliza esta interação como foco principal.

Em outras duas seções desta fundamentação teórica descrevem-se as técnicas computacionais de autômatos celulares e algoritmos genéticos que serão utilizadas para a construção do protótipo.

2.1 MODELAGEM AMBIENTAL

Nesta seção serão apresentadas as definições referentes à teoria de sistemas dinâmicos e a classificação destes sistemas conforme sua característica real. Posteriormente serão detalhados os ecossistemas e os tipos de modelos utilizados neste tipo de sistema dinâmico.

2.1.1 Teoria dos Sistemas Dinâmicos

Um modelo é uma representação de um sistema ou processo. Este modelo pode incorporar aspectos lógicos, matemáticos e estruturais do sistema ou processo. Como define Trivelato (2003), o modelo é uma imagem formada na mente, um momento em que o raciocínio lógico busca compreender e expressar de forma indutiva relacionando com algo já conhecido.

Para Pidd (1996 *apud* SAKURADA; MIYAKE, 2009) “os modelos são como uma representação externa e explícita da parte da realidade vista pela pessoa que deseja usar aquele modelo para entender, mudar gerenciar e controlar parte daquela realidade”. E ainda chama a atenção para apesar de os modelos serem simplificações dos sistemas reais, estes devem ter um mínimo de detalhamento para que possam fielmente ser consideradas representações válidas.

“Os modelos são construídos para organizar a compreensão dos sistemas e idéias; avaliar os dados observados; fornecer o entendimento das ligações entre os componentes; definir os problemas; fazer previsões” (ANGELINI, 1999).

Os sistemas dinâmicos possuem incidência em diferentes áreas com características particulares a cada tipo de problema. Na seção que segue serão mostradas algumas das principais classificações para este tipo de sistema.

2.1.2 Classificação dos Sistemas Dinâmicos

Este tipo de modelo permite investigar com detalhes e precisão os comportamentos dos sistemas ao longo do tempo, ao invés de restringir a análise a um único ponto de equilíbrio. Pode-se citar como exemplo de sistemas dinâmicos: sistema solar, ecossistemas, circuitos elétricos. De maneira geral os fenômenos físicos e biológicos têm esta relação direta com a variável de tempo.

Um sistema pode ser classificado de diferentes formas e esta classificação está diretamente ligada ao tipo de modelagem que foi aplicada no problema. Nesta seção, serão apresentadas as classificações mais pertinentes a este trabalho e aos sistemas dinâmicos.

Tempo

Um sistema qualquer pode ser definido quanto à sua evolução de tempo como: contínuo ou discreto.

Um tipo de sistema é de tempo **discreto** quando seu estado somente muda durante os instantes de tempo $\{t_0, t_1, t_2, \dots\}$. Villate (2006) explica que nos intervalos entre dois instantes de tempo não acontece nenhuma alteração do estado do seu sistema, ele permanece constante.

Em oposição à variação discreta do tempo podem existir sistemas de tempos **contínuos**, onde a variação do estado do sistema não cessa em nenhum instante durante a evolução do tempo.

Resultados

Angelini e Gomes (2008) explicam que as variações de resultados podem seguir preditivamente distribuições estatísticas; desta forma este tipo de sistema é chamado de **determinístico**. Mas os sistemas também podem apresentar um intervalo possível de valores, porém não seguirão diretamente modelos estatísticos; este outro tipo é chamado de **estocástico**.

2.1.3 Teoria dos Ecossistemas

Segundo Odum (1988), o termo **ecossistema** foi utilizado pela primeira vez em 1935 pelo ecologista britânico A. G. Tansley. Mas antes mesmo desta data já existiam cientistas que faziam referências ao conceito de ecossistema como uma unidade de organismos organizada em um ambiente. No ano de 1877 um alemão chamado Karl Mobius “escreveu sobre comunidade de organismos num recife de ostras como uma biocenose” (ODUM, 1988). E a partir deste momento, os biólogos passaram a considerar o funcionamento dos ambientes naturais analisados como se fosse um sistema.

Odum e Barret (2008) explicam que um ecossistema é fundamentalmente construído a partir de um ambiente biofísico – chamado biótipo – e o entrelaçamento do ambiente e espécies de animais – conhecido por biocenose. Os ecossistemas são considerados a primeira unidade básica na hierarquia ecológica que possui todos os elementos para a sua sobrevivência, diferente de outras unidades que apenas compõem o todo. Os ecólogos frequentemente referem-se a ecossistema como uma unidade discreta e funcional e esta é a unidade que permite integrar os relacionamentos entre as comunidades bióticas diferentes, plantas, animais e diversos fatores abióticos.

Na Figura 1 é possível visualizar que os ecossistemas são uma estrutura bastante dinâmica na qual existem trocas constantes, interações entre objetos biológicos e os fatores externos ligados ao meio ambiente, abióticos. Em concordância com a teoria dos sistemas, estas propriedades se manifestam através da adição simples ou superposição de novos elementos que as constituem.

O ecossistema “pode consistir de uma caixa, denominada sistema, e que representa a área na qual estamos interessados, bem como dois grandes funis que chamamos de ambiente de entrada e ambiente de saída.” (ODUM; BARRET, 2008).

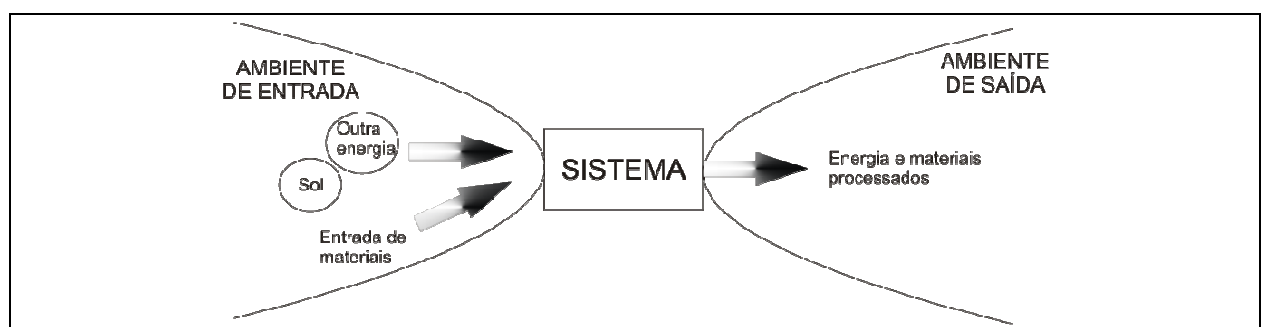


Figura 1. Modelo de ecossistema, enfatizando o ambiente externo, que deve ser considerado parte integral do conceito de ecossistema

Fonte: Adaptado de Odum e Barret (2008).

2.1.4 Teoria dos Modelos Ambientais

Nesta seção apresenta-se uma pequena introdução sobre modelos ecológicos, relatando alguns procedimentos sobre análise e modelagem de sistemas ambientais e classificações de modelos.

Modelos Ecológicos

A modelagem ecológica evolui sob diferentes aspectos e cada modelo é especialista na categoria em que se encontra. A divisão constitui-se hierarquicamente em três níveis: espécies, comunidade e ecossistema.

Em Angelini e Gomes (2008) é relatado que os primeiros modelos matemáticos aplicados às populações foram de Malthus publicado no ano de 1789 e posteriormente em 1838, o modelo de crescimento logístico por Verhulst; este, por sua vez, foi uma melhoria do modelo malthusiano, incluindo um novo termo que tratava o número máximo de indivíduos que o ambiente suporta. Apesar de o modelo logístico ter sido proposto no Século XVIII veio somente a ser muito estudado na década de 20. Nessa mesma década é que Alfred Lotka (1925) e Vito Volterra (1926) desenvolveram as equações do modelo presa-predador. Ele ainda afirma que “provavelmente é o modelo mais usado e abusado por ecólogos do mundo todo, que ainda constroem n variações sobre esse alicerce” (ANGELINI; GOMES, 2008).

Análise de Modelos Ecológicos

Os ecossistemas são sistemas complexos e por este motivo faz-se necessário a utilização de análise de sistemas para seu completo entendimento, através da empregabilidade de métodos quantitativos e qualitativos para descrevê-los. Angelini (1999) descreve que a análise de sistemas proposta por Von Bertalanffy em 1950-1953 inicialmente foi utilizada como uma forma de estruturação do pensamento e exemplifica utilizando Lotka, que segundo Kingsland (1985) pode ter sido primeiro a citar uma abordagem sistemática. “... Lotka afirmava não ter sentido, estudar o hidrogênio, depois o oxigênio e daí concluir sobre a água. O entendimento desta se faz estudando o comportamento da molécula toda.” (ANGELINI, 1999).

Angelini e Gomes (2008) elaboraram alguns tópicos úteis para garantir os passos que devem ser seguidos em um processo de modelagem de ecossistemas e estabelecem que existam duas variáveis importantes neste tipo de modelo:

- **Variáveis de estado:** representam os pontos de matéria do sistema e estão diretamente ligadas aos objetivos principais do modelo. Em um modelo presa-predador, os predadores e ou presas podem ser variáveis deste tipo, independente do tipo espécie.
- **Variáveis forçantes:** também conhecidas como variáveis de direção são aquelas que influenciam as variáveis de estado dando um novo rumo para elas no sistema. Utilizando-se do exemplo anterior, este tipo de variável é a entrada de poluição no modelo, fator determinante para levar o modelo para outras direções fora do equilíbrio inicial.

E finalizam explicando que o relacionamento destas duas variáveis é comumente descrito por equações matemáticas que simbolizam processos bioecológicos, e que tais equações são compostas por parâmetros e coeficientes inerentes ao fenômeno estudado (taxa de nascimento, de mutação). Enfatizando que se deve começar a modelagem por definir a variável de estado central, reconhecendo-a e delimitando o sistema que a circunda. Na próxima seção são demonstradas as técnicas utilizadas para a modelagem do sistema.

Procedimentos de Modelagem

“Não é razoável esperar que exista um procedimento sistemático universal para o desenvolvimento e construção de modelos. Na realidade poder-se-ia até afirmar que o procedimento de construção de modelos constitui uma arte” (GOMES; VARRIALE, 2004) e “Cada artista tem seu procedimento de trabalho” (GOMES; ANGELINI, 2008).

A partir destas duas afirmações pode-se ter como premissa que a modelagem de ecossistemas deve seguir alguns passos, porém fica livre a criação de novas formas e procedimentos para aperfeiçoar os modelos. Estas regras determinam algumas dicas úteis para se atingir os objetivos propostos.

Gomes e Varriale (2004) determinam que a tarefa de modelagem seja naturalmente composta por duas etapas. Sendo que na etapa inicial, a partir de uma teoria geral (Malthus, Lotka-Volterra, outras) verificam-se as relações do sistema chegando a um modelo específico que se supõe que possa descrever o sistema que se está modelando. E na etapa posterior se faz necessário avaliar a qualidade do modelo escolhido utilizando-se de dados experimentais para fazer a calibração, verificação e validação do modelo.

De uma forma diferenciada, Gomes e Angelini (2008) primeiramente explicam que deve-se descrever verbalmente os relacionamentos, criar um diagrama conceitual para que se possa conhecer com detalhes todos os componentes do sistema e somente em um segundo momento atuar na busca de um modelo que possa lhe servir como base.

A descrição verbal e o diagrama devem ser baseados em conhecimentos ecológicos e podem ser obtidos de duas formas:

- Literatura especializada ou experimentos em ambientes controlados; e
- Observação em pesquisas de campo.

Depois de executado o procedimento de análise dos componentes dos sistemas, avaliando seu comportamento e relacionamento com o sistema se faz necessário determinar quais as equações matemáticas que regem esses comportamentos. “Matematicamente, muitas relações ainda não estão descritas ou os valores de seus parâmetros não servem para as espécies de um determinado local” (GOMES; ANGELINI, 2008).

Com esta afirmação Gomes e Angelini (2008), dão algumas orientações sobre como resolver tal problema:

- Utilizar-se de um modelo de base e a partir deste, realizar experimentos e análises de campo fazendo novas inferências para criar um modelo mais correto para o comportamento que se necessita descrever;
- Valer-se de outros modelos previamente publicados e apenas ajustar quantitativamente ao objetivo do seu modelo; e
- Alterar o seu modelo até uma forma onde seja possível correlacionar a algum modelo já existente e neste caso pode ser que seja até necessário mudar o objetivo inicial do modelo.

Dadas as orientações, eles explicam que idealmente caso não seja encontrado um modelo que se adéque perfeitamente ao seu objeto de estudo pode-se misturar os procedimentos relatados, com a intenção de conseguir que seu sistema seja formalmente melhor descrito e tenha informações mais precisas sobre os fenômenos observados por outras publicações científicas.

Classificação de Modelos Ecológicos

Os modelos ecológicos podem ser classificados em 12 categorias distintas segundo Gomes e Angelini (2008): nível hierárquico, simetria com a realidade, objetivo, dominância, visão, abrangência, tempo, variações dos resultados, parâmetros, linearidade das equações, resolução das equações e representação temporal da variável de estado.

Para este trabalho convém destacar somente algumas destas classificações, para melhorar o entendimento do escopo em que este trabalho se encontra. A listagem descritiva que segue abaixo são classificações pertinentes ao modelo que será trabalhado neste projeto.

1. **Nível hierárquico:** determina o nível de descrição biológica que o modelo foi concebido. Este pode ser modelos de população (Malthus), de comunidades (Lokta-Volterra) e de ecossistemas (modelo baseado em indivíduo);
2. **Simetria com a realidade:** quando todos os componentes do sistema real são devidamente representados no modelo são chamados de isomórficos. Ou quando é feita uma analogia com o sistema real, representando parte dele no modelo este modelo é conhecido como homomórfico;
3. **Objetivo:** se o modelo é utilizado como base para resolução de outros problemas mais complexos e para novas inferências é classificado como pesquisa/estudo. Caso contrário se somente for usado para simular diferentes situações (irrealizável no sistema verdadeiro) e novos comparativos de resultados que demonstram novas opções ao sistema real, estes são classificados como modelo de manejo; e
4. **Visão:** a visão reducionista procura entender o sistema real embasado nas propriedades dos componentes deste sistema, incluindo quantos detalhes forem possíveis. Outra forma seria uma visão holística, a qual procura utilizar-se de princípios mais gerais das regras do sistema.

As duas últimas classificações **Tempo** e **Variações dos resultados** possuem o mesmo significado descrito para as classificações de sistemas dinâmicos e não têm nenhuma particularidade relacionada à classificação para modelos de ecossistemas.

2.2 SISTEMA PRESA-PREDADOR

Esta seção apresenta uma divisão dos sistemas presente nos ecossistemas o sistema presa-predador, baseado nas interações competitivas das comunidades ecológicas. Explica como este sistema pode ser modelado e alguns tipos de aplicações que utilizam este conceito ecológico.

2.2.1 Introdução

O relacionamento entre espécies constitui a base principal das comunidades e trata de analisar os organismos associados em diferentes condições e estágios nos aspectos físicos e biológicos evoluindo no tempo. Segundo Pinto-Coelho (2000), a maioria desses organismos está unida por “associações sinérgicas ou antagônicas de tal modo que a extinção de uma espécie pode causar sérias e irreversíveis manifestações de desequilíbrio ecológico”.

Ricklefs (1996) classifica essas interações em três grandes grupos, caracterizados pelos efeitos causados a cada uma das espécies: competição, consumidor-recurso e detritívoro-detrito. Neste trabalho será tratado especificamente o relacionamento dos predadores e presas, que é um caso de competição. Essas duas espécies competem com a intenção de obter vantagem uma em cima da outra e isto acaba gerando mecanismos evolutivos com a intenção de maximizar a captura de presas e pelo outro lado não permitir ser capturado.

2.2.2 Definição

“A predação pode ser genericamente definida como sendo o ato de um animal consumir outro organismo para dele alimentar-se.” (PINTO-COELHO, 2000).

De acordo com Odum e Barret (2008), a predação também pode ser definida como um processo que possui como fim efeitos negativo no crescimento e na existência de uma população enquanto a outra tira proveito benéfico e positivo. Segundo Pinto-Coelho (2000) esta relação pode ocorrer em diferentes categorias classificadas em até cinco tipos: herbivoria, quando o predador em questão é um animal (consumidor primário) e a presa uma planta (produtor primário); carnívoros, consumidores de herbívoros; carnívoros, consumidores de carnívoros; insetos parasitóides e canibais.

Na evolução temporal, os efeitos causados por esta competição naturalmente tendem a ser minimizados “quando as populações em interação tiveram uma história evolutiva comum em um

ecossistema relativamente estável” (ODUM; BARRET, 2008). Desta forma o processo seleção natural encarrega-se de conduzir a interação para uma diminuição de seus efeitos nocivos até o ponto em que, dada a contínua redução das presas, leve-as a sua total extinção e também de seus predadores.

Em particular os predadores possuem um papel essencial em suas comunidades. Odum e Barret (2008) possuem uma visão diferente questionando sua função de regulação de população e discutem o fato de que os predadores inevitavelmente reduzem as suas populações-alvo e refletem se não seria melhor para as populações a inexistência da predação. Ao contrário do que se pode pensar, entendem que os predadores trazem benefícios ao ponto que mantêm as populações em densidades baixas, garantindo, assim, que não destruam seus nutrientes. Um exemplo são os herbívoros: “os predadores ajudam a manter os insetos herbívoros em baixa densidade, assim eles não destroem seus próprios alimentos” (ODUM; BARRET, 2008).

Conforme Gercov e Lordelo (2009) para que se possa estudar esta dinâmica é importante ter em mente que um modelo que possua somente duas espécies não permite simular completamente e corretamente todos os eventos complexos que existem no ecossistema. Em contrapartida afirmam que “o estudo de modelos simples é o primeiro passo para a compreensão de fenômenos mais complicados”. (GERCOV; LORDELO, 2009).

2.2.3 Dinâmica Populacional

Segundo Baptistini (2006) uma população pode ser definida como um conjunto de indivíduos de uma determinada espécie que vive provisoriamente agrupado em um mesmo habitat. Isto equivale a dizer que as populações sofrem evoluções ao longo do tempo e a dinâmica de populações procura estudar os fenômenos relacionados a este processo. Neste trabalho será explicado brevemente o modelo que descreve a dinâmica de duas populações, presas e predadores, apresentando o modelo clássico de Lotka-Volterra.

Modelo Lotka e Volterra

Continuando em seu exemplo, Gercov e Lordelo (2009) demonstram algumas inferências que podem ser feitas em modelos deste tipo:

1. Na ausência das espécies predadoras, o nível populacional de presa tende a aumentar a uma taxa proporcional à população atual da mesma;

2. A inexistência de presas leva a extinção dos predadores; e
3. A quantidade de encontro entre predadores e presas é proporcional ao produto destas duas populações. E cada encontro tende a promover o crescimento de predadores e diminuir as presas.

Como conclusão destas premissas levantadas pode-se chegar a equações que regem a dinâmica de interação destas duas populações, conhecidas como as equações de **Lotka-Volterra**.

Dada as populações x e y , respectivamente presa e predador, em um instante de tempo t , tem-se:

$$\frac{dx}{dt} = ax - \alpha xy = x(a - \alpha y)$$

Equação 1

$$\frac{dy}{dt} = -cy + \gamma xy = y(-c + \gamma x)$$

Equação 2

As constantes a e c são taxas de crescimento da população de presas e taxa de morte da população de predadores e α e γ são valores ligados a interação entre as duas populações. Elas foram elaboradas em artigos científicos descritos por Lotka em 1925 e pelo matemático Volterra em 1926.

Gomes e Varriale (2004) em uma abordagem mais descritiva explicam detalhadamente o que as equações de Lotka-Volterra querem dizer:

“No instante inicial, a população de x seja elevada; tal abundância de x permite que as espécies y proliferem. Quando o número de x se tornar muito grande, muitas presas x serão

devoradas, fazendo com que a população de P diminua, e implicando falta de nutrientes para P . A taxa de mortalidade de P , sendo superior à sua reprodução, faz com que sua população seja reduzida. Em compensação, as espécies P voltam a proliferar, acarretando o recomeço do ciclo.”

Na Figura 2 pode-se verificar a variação do número de indivíduos destas duas populações ao longo do tempo.

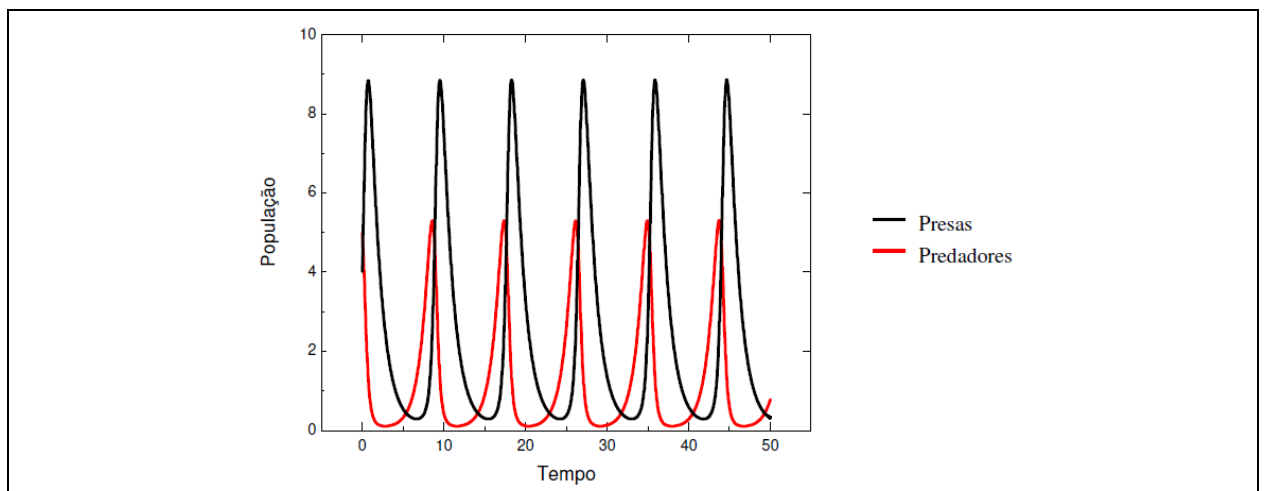


Figura 2. Representação gráfica da dinâmica presa x predador

Fonte: Baptestini (2006).

2.3 AUTÔMATOS CELULARES

Esta seção define os autômatos celulares (ACs), bem como a sua estrutura, suas regras de movimentação e seu processo evolutivo, demonstrando a sua capacidade de simular processos de sistemas dinâmicos. De forma breve também serão apresentadas as aplicações mais comuns para os autômatos e a sua classificação baseada no grau de complexidade do problema modelado.

2.3.1 Introdução

Aguena e Castro (2008) explicam que a teoria dos ACs iniciou na década de 50 a partir de estudos propostos por Von Neumann que procurava encontrar um padrão lógico que fosse auto-suficiente ao ponto em que um autômato pudesse controlar-se a si mesmo e desta forma se reproduzir a cada instante de tempo. Ele iniciou com um trabalho que se baseava na movimentação física dos corpos. Na sequência, outro pesquisador chamado Ulam trouxe para o modelo uma visão de auto-reprodução como se fosse um algoritmo com uma série de passos lógicos definidos a serem seguidos, semelhante a uma Máquina de Turing capaz de perfazer sua própria reprodução (LANGTON, 1986 *apud* AGUENA; CASTRO, 2008).

Posteriormente em 1970, o pesquisador John Conway elaborou o **Jogo da Vida**, o qual nada mais era do que um autômato celular utilizado para simular a evolução dos seres vivos a partir de regras locais de interação. Neste AC, o nascimento ou a morte de cada célula está intimamente ligado às suas células vizinhas, e a simulação possui dois resultados prováveis: todas as células tendem à morte ou à estabilização e isto leva a confecção de um padrão espaço-temporal. Segundo Neves (2008 *apud* AGUENA; CASTRO, 2008) apesar da simplicidade das regras deste autômato, é possível obter-se resultados visuais complexos e imprevisíveis; suaves modificações no início da execução deste sistema podem garantir mudanças na atuação das células no ambiente.

Já na década de 80 a história dos ACs passam a ter seus estudos liderados por Stephen Wolfram. Segundo Vidica (2007) ele estudou os autômatos celulares utilizando-os para simular a formação de padrões a partir de princípios matemáticos para sistemas estatísticos auto-organizados; um exemplo são os padrões de textura das conchas.

Os autômatos celulares podem ser definidos como ferramentas que podem ser utilizadas para simular praticamente todos os processos evolutivos que se pode pensar, “são ferramentas simples e poderosas para representar sistemas físicos compostos por elementos discretos com interações locais” (AGUENA; CASTRO, 2008). Computacionalmente sua principal característica é o seu poder de execução descentralizado, sendo que cada célula é proficiente e consegue determinar a sua própria evolução a partir do ambiente em que se encontra a cada instante de tempo, por consequência as regras para compor esta evolução são ditas de baixa complexidade.

Os autômatos celulares vêm sendo utilizados na área da biologia desde o seu surgimento, contudo Baptestini (2006) explica que a popularidade dos autômatos como ferramenta para a modelagem ecológica ocorreu somente após a publicação por M. Huston, D. DeAngelis e W. Post de um artigo intitulado *New Computer Models Unify Ecological Theory* (1988), que propõe tratar os

indivíduos como unidades discretas e incluir detalhes da vida dos organismos ao invés de utilizar somente os modelos de densidades populacionais. Os ACs também têm sido utilizados em outras áreas. Pesquisadores de diferentes campos têm se beneficiado da capacidade dos ACs para simular sistemas complexos, dentre os quais podemos citar aplicações na dinâmica das reações químicas, nos sistemas dinâmicos de física, em comportamento de mercados e outras.

2.3.2 Definição

De forma geral os autômatos podem ser definidos como uma matriz quadrada qualquer de ordem N pertencente ao conjunto dos números inteiros, onde cada célula que compõe este reticulado pode assumir diferentes estados dentro de um conjunto finito, de acordo com uma regra local de transição a cada instante de tempo.

Outros autores possuem uma visão um pouco diferenciada em relação à conceituação dos autômatos celulares, porém, todos permeiam pelas características principais que são a existência de três componentes: células, regra de transição e um conjunto finito de estados.

“Um Autômato Celular consiste numa grade de células, onde cada célula pode assumir um determinado estado de acordo com uma regra local” (JESUS, 2002).

“A descrição mais simples de um AC é aquela composta por um vetor unidimensional (infinito à esquerda e à direita) de células. O tempo é uma grandeza discreta e, a cada instante, tem-se cada uma das células em um dos diversos estados possíveis” (PÁDUA, 2004).

Vidica (2007) diferentemente propõe que os autômatos celulares são uma composição de dois principais componentes: o Espaço Celular e a Regra de Transição. Trata o espaço celular também como uma matriz de N células iguais, com padrões de conexões iguais entre seus vizinhos e com condições de contorno que definem regras diferenciadas para as células que se encontram nas extremidades da matriz. As regras de transição são utilizadas para determinar o próximo estado de cada célula, levando-se em conta o seu próprio estado e o de suas vizinhas. A todo instante da evolução discreta do tempo a matriz terá um novo estado que será atualizado de acordo com esta função.

Em conformidade com os conceitos pesquisados pode-se caracterizar um autômato celular pelas seguintes propriedades, segundo Weimar (1996 *apud* AGUENA; CASTRO, 2008):

- Consistem em uma matriz;
- A evolução do tempo é de forma discreta;
- A célula é caracterizada por um estado do conjunto finito de estados;
- Cada célula muda seu estado através das mesmas regras locais, porém dependem do estado da sua célula vizinha e de um número pré-definido de vizinhos; e
- A relação com a vizinhança é uniforme e local a cada célula.

O modelo de Greenber-Hasting explicado por Aguená e Castro (2008) pode ser utilizado como exemplo de um autômato celular para exemplificar os conceitos introdutórios. Este exemplo é uma simulação do processo de excitação dos tecidos do corpo humano. A célula deste modelo pode encontrar-se em três estados: (0) descanso, (1) excitado, (2) recuperando. E a regra de transição para evolução das células é da seguinte forma:

- Uma célula no estado zero permanece nesse estado até que alguma vizinha entre no estado dois, isto faz com que a célula também vá para o estado dois;
- Uma célula no estado um sempre entra no estado dois no próximo instante de tempo; e
- Uma célula no estado dois sempre entra no estado zero no próximo instante de tempo.

O modelo de vizinhança a ser seguido será o modelo proposto por von Neumann, que é composto por quatro células vizinhas.

É possível visualizar na Figura 3 o esquema transição do modelo de Greenber-Hasting.

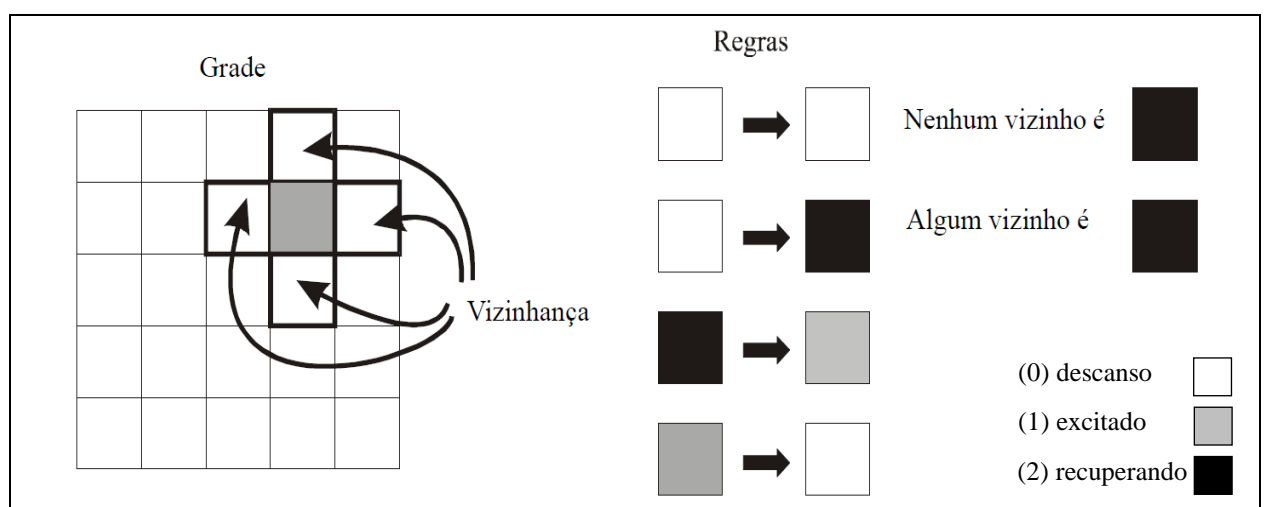


Figura 3. Regras de transição das células

Fonte: Agüena e Castro (2008).

O processo evolutivo dos autômatos celulares está diretamente relacionado ao estado inicial em que estes começam a sua execução. Na Figura 4 pode-se ver um exemplo da evolução deste modelo durante alguns instantes de tempo. Neste exemplo existe uma célula no estado dois e todas as outras no estado zero:

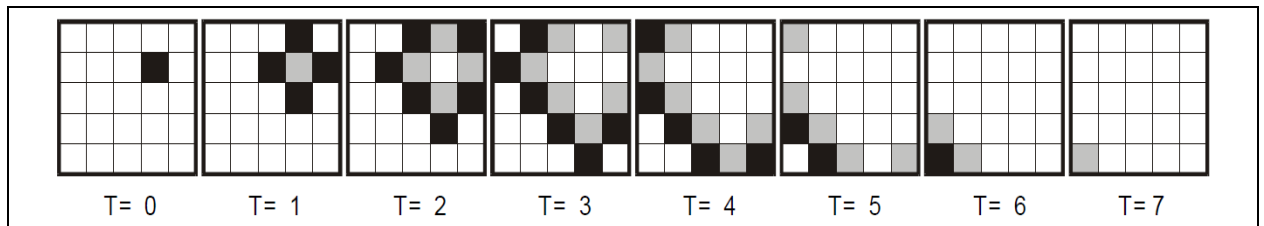


Figura 4. Execução durante um tempo do autômato de Greenber-Hasting

Fonte: Agüena e Castro (2008).

Nos próximos itens desta seção será explicado com maior detalhe cada componente existente nos ACs.

2.3.3 Modo de Operação

Além das características anteriormente citadas os ACs possuem uma outra importante propriedade conhecida como **paralelismo**. Pádua (2004) explica que um sistema pode ser definido como paralelo quando os seus componentes desenvolvem-se de forma simultânea, independente e todos no mesmo instante de tempo, e no caso das células dos autômatos a modificação dos estados pode acontecer desta forma. Vidica (2007) abrange um pouco mais esta característica e cria outras duas categorias: sequencial e aleatória. No caso da atualização sequencial significa dizer que somente uma célula altera o seu estado em um instante de tempo, este processo inicia-se através da célula 0 e continua até a célula $N - 1$. Desta forma quando for atualizar a próxima célula, já será utilizado o estado atualizado da célula anterior. E no caso da categoria aleatória, que é uma subdivisão da sequencial, apenas muda-se a ordem de atualização do estado da célula e é feito um sorteio para verificar qual célula será alterada, porém continua somente uma única modificação a cada instante de tempo.

2.3.4 Regras

As regras são propriedades aplicadas às células que determinam a dinâmica dos autômatos; elas são os principais responsáveis pelos padrões e comportamentos gerados pelos ACs. Nas seções a seguir são apresentadas as regras de transição, determinação da vizinhança e condições de contorno.

Regra de Transição

As regras de transição são funções utilizadas para definir a evolução das células que compõe o AC. São empregadas para determinar qual o próximo estado da célula, e para isto utiliza em conjunto as definições de vizinhança e condições de contorno. Utilizando um autômato binário como exemplo, podem-se criar tais regras:

- Uma célula no estado 1 com dois ou três vizinhos neste mesmo estado, continua no estado 1; e
- Uma célula no estado 1 com um ou nenhum vizinho neste mesmo estado, vai para o estado 0.

Vizinhança

Dado um determinado AC bidimensional de ordem N , pode-se determinar diversos tipos de vizinhança que serão utilizados para efeito no cálculo das regras de transição, estas funções normalmente consideram as células vizinhas para descobrir o novo estado da célula que está sendo atualizada. Os padrões de vizinhança mais conhecidos são o de Von Neumann e de Moore. Na Figura 5 pode ser visualizado um exemplo das regras de vizinhança:

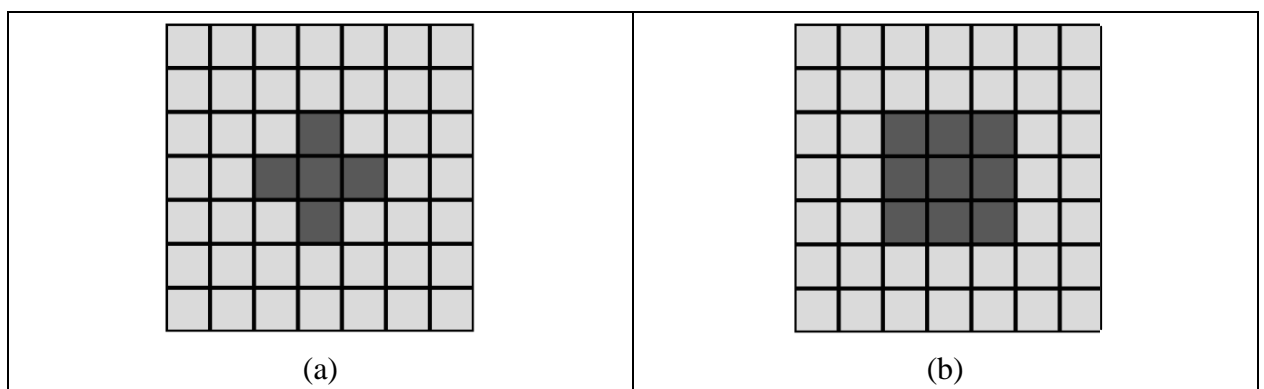


Figura 5. Tipos de vizinhança: (a) Von Neumann; (b) Moore

Fonte: Pádua (2004).

Contorno

Além da etapa de escolha do tipo de vizinhança a ser adotada, também se deve escolher como serão tratadas as bordas do AC; as células que se encontram nesta região possuem a particularidade de não possuir o mesmo número de vizinhos em relação às outras que não estão localizadas na extremidade do reticulado.

Vidica (2007) explica que pode-se definir o contorno do AC de duas formas: periódica ou não-periódica. No primeiro caso as células da matriz estão conectadas como se fosse um anel; a Figura 6 demonstra um exemplo deste tipo. Em um instante de tempo, o cálculo da regra de transição para a célula localizada na posição 0 utiliza como vizinhos as células com o índice 9 e 1, assim como a célula da posição 9 tem como vizinho as células identificadas na posição 8 e 0; é como se as duas extremidades estivessem conectadas.

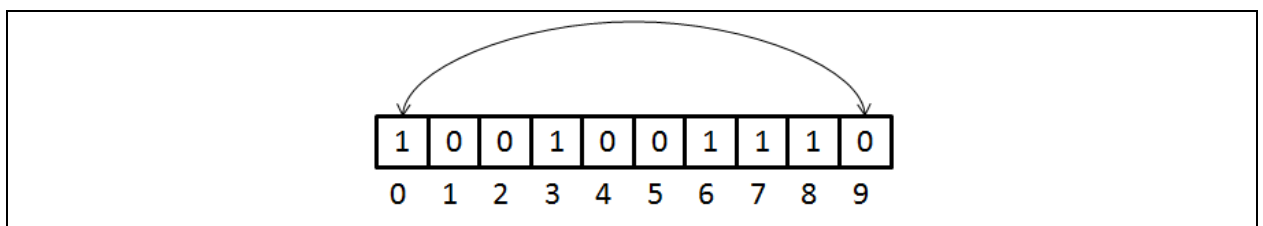


Figura 6. Condição de contorno periódica

Fonte: Adaptado de Vidica (2007).

Já para a condição não-periódica as duas extremidades não estão conectadas. Vidica (2007) chama a atenção para este tipo de contorno; nesta situação pode-se definir qualquer tipo de conexão que seja mais condizente com o modelo do AC. O método mais comum é a criação de uma vizinhança virtual utilizada somente para auxiliar na função de transição e logo em seguida descartada; estas células sempre devem possuir um estado neutro. Na Figura 7, pode ser visualizado o mesmo exemplo da Figura 6 utilizando o contorno não periódico.

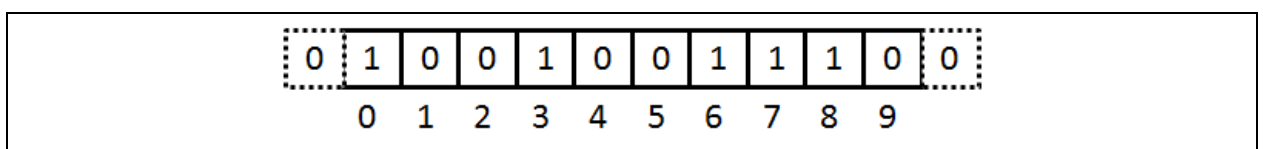


Figura 7. Condição de contorno não-periódica

Fonte: Adaptado de Vidica (2007).

2.3.5 Classificações

Os autômatos celulares tornaram-se importantes ferramentas de estudo para a análise de sistemas dinâmicos; dentro deste escopo é possível observar o comportamento destes sistemas através de estatísticas das ocorrências de padrões espaço-temporais dos estados das células ou por análise das regras de transição, explica Vidica (2007).

Para o trabalho proposto neste projeto, cabe detalhar a análise por regras de transição. Esta metodologia usa indicadores estatísticos gerados pelas regras, extraindo dados sobre o número de transições possíveis de cada regra, o número de células em cada estado e qual o próximo estado da célula a partir do instante atual. Esses são alguns exemplos de informações possíveis de serem obtidas.

Pádua (2004) cita que dentre os diferentes comportamentos para um sistema dinâmico, Wolfram propôs um esquema de classificação dividindo os ACs em 4 classes:

- Autômatos cuja evolução temporal tende a um estado homogêneo na qual as células atingem o mesmo valor;
- Autômatos cuja evolução temporal leva a um estado periódico no tempo e espacialmente não homogêneo onde algumas células podem possuir o mesmo valor;
- Autômatos que levam a um padrão caótico de forma desordenada evoluem para um padrão desconhecido; e
- Autômatos cuja evolução leva a estruturas regionalizadas complexas e com evolução imprevisível, que pode se propagar, criar, destruir outras estruturas, algumas vezes por longos instantes de tempo.

2.3.6 Aplicações

As aplicações dos autômatos celulares ao longo das últimas décadas são diversas e podem ser encontradas em diversas áreas da ciência, desde sistemas biológicos até a astronomia. Na Tabela 1 é possível visualizar alguns pesquisadores e seus respectivos trabalhos:

Tabela 1. Principais aplicações dos autômatos celulares

Utilização	Autor (es), Ano
Modelagem de Sistemas Biológicos	Lindenmayer, 1968; Herman, 1969; Ulam, 1974; Kitagawa, 1974; Baer e Martinez, 1974; Rosen, 1981
Desenvolvimento de estruturas e padrões no	Thompson, 1961; Stevens, 1974

crescimento de organismos	
Teoria dos Números	Miller, 1970; ApSimon, 1970; Sutton, 1981
Processamento de imagens e reconhecimento de padrões visuais	Deutsch, 1972; Rosenfeld, 1979; Stenberg, 1980
Sistemas químicos não-lineares	Greenberg et al., 1978
Evolução de galáxias espirais	Gerola e Seiden, 1978; Schewe, 1981
Crescimento de cristais dendríticos	Harvey et al., 1982

Fonte: Jesus (2002).

Pádua (2004) exprime que os trabalhos nesta área têm procurado demonstrar a capacidade dos ACs de forma criativa, empregando novos estilos de aprendizagem, no ensino de tecnologia e incentivando habilidades de modelagem. “Neste contexto, busca-se usar ACs como ferramentas pedagógicas que proporcionem aos estudantes, através de um aprendizado visual, o conhecimento de diversos fenômenos na natureza” (PÁDUA, 2004).

2.4 ALGORITMOS GENÉTICOS

Esta seção refere-se aos Algoritmos Genéticos (AGs), e apresentará os conceitos básicos que envolvem a estrutura de um algoritmo genético e suas características fundamentais. Abaixo segue uma breve introdução, explicando o seu surgimento e a sua inspiração nos processos naturais, os elementos necessários para a construção de um algoritmo genético.

2.4.1 Introdução

De acordo com Vidica (2007), a inteligência pode ser definida como um jogo de propriedades da mente, as quais incluem habilidades de planejamento, resolução de problemas e a razão. Ainda a inteligência pode ser entendida como a capacidade de tomar a decisão certa em uma determinada situação, frente à variedade de opções possíveis.

Conforme Vidica (2007), a inteligência artificial (IA) apareceu no ano de 1950 através de Alan Turing, na publicação de seu artigo com o título *Computing Machinery and Intelligence*, o qual continha as primeiras definições de algoritmos genéticos e aprendizagem por máquina.

A analogia citada anteriormente, o qual define o conceito de inteligência, pode ser utilizada em Inteligência Computacional (IC) aplicada ao desenvolvimento de sistemas. Linden (2008), explica que a IC é uma área da ciência que procura estudar e entender o intelecto dos seres humanos, tanto no campo comportamental quanto cognitivo, com o objetivo de emular esta inteligência, reproduzindo o mesmo padrão em computadores. Significa afirmar que “inteligência

artificial é o estudo das idéias que permitem aos computadores simular inteligência”. (WINSTON, 1987 *apud* LINDEN, 2008). Segundo Linden (2008), a inteligência computacional divide-se em muitas áreas e neste trabalho o foco será dado à computação evolutiva, mais precisamente, em algoritmos genéticos.

Conforme afirma Vidica (2007), a computação evolutiva surge ao final dos anos 60 a partir dos estudos de John Holland sobre o princípio da evolução das espécies, baseado na teoria de Charles Darwin sobre seleção natural e adaptação, para resolução de problemas computacionais na área de inteligência computacional. As técnicas evolutivas resumem princípios evolutivos em algoritmos que podem ser usados para a busca de ótimas soluções a um problema. Um aspecto fundamental que distingue um algoritmo evolutivo de algoritmos tradicionais é fato de o primeiro ser baseado em populações, de forma que através de adaptações das sucessivas gerações de indivíduos pertencentes a determinada população se observa a convergência para soluções eficientes.

2.4.2 Definição

Os algoritmos genéticos podem ser explicados como “uma técnica de busca baseada numa metáfora do processo biológico de evolução natural” (LINDEN, 2008), correspondendo a algoritmos de pesquisa fundamentados nos princípios de seleção natural e genética. O funcionamento dos AGs consiste na sobrevivência dos melhores indivíduos que, através de estruturas de dados trocam informações genéticas entre integrantes da população proporcionando uma heurística de busca. Para Hamawaki (2005) apesar da incerteza dos algoritmos genéticos, eles são capazes de guardar informações históricas da evolução e obter novos pontos de busca com melhores soluções.

Vidica (2007), explica que a estrutura básica de um AG equivale a um procedimento iterativo até que uma solução que satisfaça as condições seja encontrada ou que um determinado número de gerações estabelecidas tenha sido alcançado. Primeiramente define-se um esquema de representação que trata de simbolizar formalmente o problema que está sendo trabalhado e cria-se uma população inicial formada por várias soluções individuais deste esquema estabelecido. Existe uma função de aptidão (*fitness*) que avalia para cada indivíduo o seu nível de adaptação ao ambiente e, seguindo o princípio Darwiniano, os melhores indivíduos possuem maiores chances de sobreviver. Nesta mesma população alguns indivíduos são selecionados aleatoriamente, ou por alguns critérios previamente estabelecidos, para gerarem novos indivíduos que serão constituídos

pela combinação genética (cruzamento) dos pais, e também serem submetidos a pequenas alterações em seu código genético (mutação). Por fim, indivíduos aptos da população e novos descendentes desses indivíduos se fundem para formarem uma nova população para a próxima geração, dando início a uma nova iteração. A Figura 8 apresenta um esquema simplificado do processo relatado.

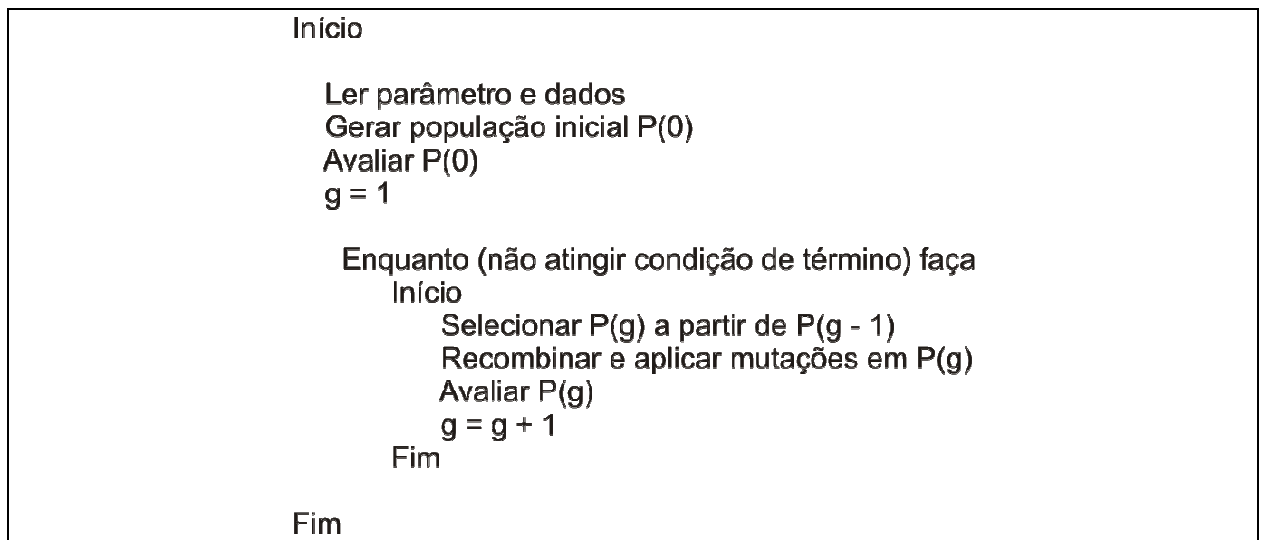


Figura 8. Estrutura básica do funcionamento de um AG

Fonte: Adaptado de Vidica (2007).

2.4.3 Estruturas Básicas

Dentre os elementos básicos no contexto de algoritmos genéticos, alguns termos estão implicitamente ligados à área de genética, enquanto outros estão relacionados com a informática, conforme Vidica (2007):

- Cromossomo ou indivíduo: representação através de estruturas de dados, de modelos de soluções do problema;
- População: coleção de cromossomos ou indivíduos;
- Gene: unidade de característica básica, parte integrante do cromossomo.
- Alelo: valores possíveis dentro de um determinado gene;
- Locus: posição do gene no cromossomo;
- Fenótipo: corresponde à interação do conteúdo genético com o ambiente, os parâmetros definidos no escopo do problema; e

- Genótipo: estrutura do cromossomo, características representadas pela estrutura de dados.

Para melhor compreensão dos componentes básicos do AG na Figura 9, é possível visualizar a estrutura apresentada de um cromossomo que mostra a ligação entre os elementos.

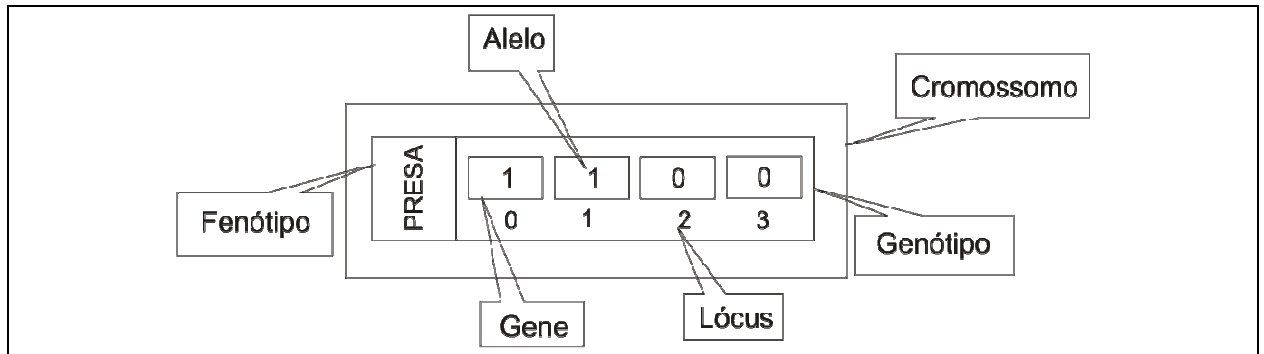


Figura 9. Representação de um cromossomo

Fonte: Adaptado de Vidica (2007).

2.4.4 Representação dos Algoritmos Genéticos

A representação cromossômica pode ser definida como “uma maneira de traduzir a informação do nosso problema em uma maneira viável de ser tratada pelo computador” (LINDEN, 2008).

Lacerda e Carvalho (1999) definem que um cromossomo é uma estrutura de dados que armazena uma representação possível de solução do problema (genótipo). Estas estruturas podem ser números binários, números reais ou outros símbolos que possam definir de forma eficiente uma solução para o problema.

A codificação pode variar conforme o tipo de problema, sendo a mais comum e simples a codificação binária. Tal codificação é definida como uma cadeia de caracteres zero e um, onde cada bit representa uma característica da solução; o valor destes bits são os alelos e o índice de cada um deles na cadeia representa o seu lócus. Bez (2005) ainda explica que no caso da representação binária, ela pode ser posicional ou não e neste caso o posicionamento dos genes dentro do cromossomo causam alteração no fenótipo.

2.4.5 Operadores Genéticos

Os operadores genéticos são funções aplicadas às populações que possibilitam gerar novas populações; eles são os maiores responsáveis pela transformação gradual dos indivíduos a cada geração. Nas seções a seguir são apresentados estes operadores.

Seleção

O processo de seleção consiste em escolher dois indivíduos da população para serem pais e submetê-los aos operadores de combinação genética. Linden (2008) enfatiza que este processo deve ser muito similar ao processo de seleção natural ocorrido nas espécies biológicas, onde pais mais qualificados são capazes de gerar mais filhos e garantir seus descendentes sem, no entanto, desprezar os menos aptos, que também são competentes para produzirem filhos, porém com menores chances. Assim, devem-se privilegiar os indivíduos melhores adaptados, pois estes possuem certamente boas combinações para a solução do problema, não se descartando os menos aptos, visto que estes podem ter em seu material genético, combinações que podem gerar nas futuras populações indivíduos mais qualificados. Os métodos da roleta, seleção por torneio e seleção por truncamento são alguns dos possíveis métodos aplicados no processo de seleção.

O método roleta é um dos mais tradicionais e conhecidos, afirma Vidica (2007). Ele corresponde a um método em que se selecionam os indivíduos a partir de uma probabilidade proporcional à aptidão de cada um. Seu princípio consiste em escolher probabilisticamente os indivíduos em uma roleta; cada um possui uma ou mais posições de acordo com sua aptidão proporcional ao total das aptidões de toda a população, a roleta é girada e o indivíduo sorteado é selecionado. Esta técnica não é considerada agressiva do ponto de vista da renovação total da população ou de privilegiar os melhores, visto que não é possível garantir que os mais aptos serão selecionados, eles apenas possuem uma chance maior, portanto este método pode garantir que os mais aptos sejam selecionados sem descartar a chance dos menos aptos.

Cruzamento

Este processo é bio-inspirado na reprodução sexuada. Vidica (2007) explica que os novos indivíduos são produzidos a partir da permuta de material genético entre os pais e os progenitores possuirão uma combinação de código genético de ambos os pais. Este passo do AG possui como

objetivo enriquecer a população com indivíduos mais qualificados, na sua forma mais simples consiste em um procedimento aleatório com uma probabilidade fixa definida pelo usuário. Bez (2005) mostra um exemplo deste processo no caso da representação binária, definindo que esta etapa resume-se em dividir os cromossomos em um número de porções e fazer a troca destas seções. Na Figura 10, podem ser visto três exemplos diferentes para se fazer um cruzamento:

Par de cromossomos selecionados para acasalamento	Tipo de crossover	Descendentes
1010001010 - 1110111100	1 ponto	1110101010 - 1010011100
1010001010 - 1110111100	2 pontos	1010111010 - 1110001100
1010001010 - 1110111100	uniforme	1010101010 - 1110011100

Figura 10. Procedimentos de cruzamento de 2 indivíduos

Fonte: Bez (2005).

Mutação

Após o cruzamento os novos indivíduos seguem para o processo de mutação e aleatoriamente podem ou não serem submetidos a este operador. Nesta operação de caráter aleatório busca-se causar uma perturbação maior na população existente, aumentando a biodiversidade. Segundo Vidica (2007), esta operação introduz novas estruturas genéticas na população e é o responsável por manter a diversidade genética, possibilitando que novas combinações genéticas possam ser exploradas nas gerações futuras.

Existem formas diversas de se fazer a mutação, para diferentes tipos de representação. Na numeração binária, por exemplo, uma simples mutação pode consistir na inversão de valor de um gene associado a uma probabilidade. Um exemplo de mutação binária pode ser visualizado na Figura 11.

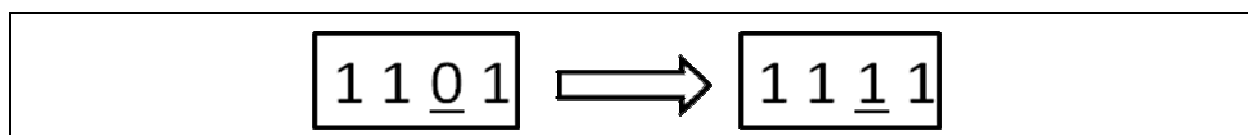


Figura 11. Mutação de bit

2.4.6 Função de Aptidão

Linden (2008) explica que a aptidão de um indivíduo em um AG corresponde ao valor de uma função objetivo para avaliar o fenótipo. Primeiramente o cromossomo deve ser decodificado para, em seguida, ser feita a avaliação. A definição desta função é um ponto crítico da modelagem do AG e é determinante para a convergência do algoritmo.

Conforme Vidica (2007), os procedimentos de avaliação de aptidão são particulares de cada problema e necessitam de uma especificação apropriada para garantir a boa execução do AG. Isto permite definir a taxa de adaptação do indivíduo, ou seja, o quanto o cromossomo gerado aproxima-se de uma boa solução para o problema. Somente os indivíduos mais aptos é que serão selecionados para a próxima geração, repassando seu código genético para as gerações futuras.

2.4.7 Híbridização

A possibilidade de melhores soluções através de modelos híbridos pode ser utilizada, para combinar diferentes técnicas com o objetivo buscar resultados mais satisfatórios ao invés da utilizar as técnicas de forma singular.

“A hibridização resulta na integração de uma boa maneira convencional de resolver um problema aos conceitos usuais de AG” (BITTENCOURT, 1998 *apud* SANTA CATARINA, 2009). “O resultado costuma ser melhor que o obtido com qualquer uma das duas técnicas isoladamente” (DAVIS, 1991 *apud* SANTA CATARINA, 2009).

Este trabalho utilizará um modelo híbrido em relação à função de avaliação dos indivíduos e utiliza em combinação com os autômatos celulares, para determinar os melhores indivíduos da população do AG. Moroni (2003), explica que normalmente os AGs híbridos ou algoritmos meméticos, como também são conhecidos, são aplicados na melhoria das heurísticas de busca global, utilizando técnicas de busca local determinísticas, que de forma geral, determinam novas regiões promissoras no espaço de busca, com o objetivo de aumentar a aptidão dos indivíduos. Para o modelo proposto, serão extraídos indicadores das populações, que são o resultado do processo de simulação do autômato celular e que serão diretamente atribuídos como valor de aptidão do indivíduo que está sendo avaliado.

3 PROJETO

Na etapa de projeto será feita a modelagem e implementação do protótipo do simulador da dinâmica presa-predador; a aplicação será projetada utilizando a plataforma JavaFX para aplicações *Rich Internet Application* – RIA, um novo padrão de aplicações Web que aumenta a usabilidade e interatividade nos sistemas, alguns dos principais componentes são descritos a seguir. Essa plataforma foi escolhida porque proporciona o desenvolvimento de um sistema Web e facilita a utilização da ferramenta em diferentes sistemas operacionais.

A descrição do modelo de simulação será feita na forma de texto, com o objetivo de explicar o funcionamento, características e as regras adotadas para cada componente das técnicas de autômato celular e algoritmo genético.

Para descrever a aplicação é utilizada *Unified Modeling Language* – UML que faz uso de diagramas para explicitar as características do modelo. Os diagramas são desenhos gráficos que seguem algum padrão lógico, uma coleção de elementos gráficos que possuem um significado pré-definido. Segundo Bezerra (2007) o fato dos modelos serem representados através de diagramas possibilita aos desenvolvedores uma visão esclarecedora e concisa do sistema.

A implementação da aplicação utiliza a linguagem JavaFX Script e o Eclipse IDE que é uma ferramenta para desenvolvimento de software sobre o controle da Eclipse Foundation e de código aberto, adotada por diferentes públicos: empresas, usuários acadêmicos, autônomos.

A descrição dos diagramas foi feita utilizando a ferramenta Enterprise Architect, dentro dos padrões da linguagem UML, no qual se demonstra a arquitetura de desenvolvimento da aplicação, empregando os diagramas que são descritos posteriormente.

3.1 PROTÓTIPO

A solução proposta neste trabalho fará uma combinação das técnicas computacionais autômato celular e algoritmo genético cujo objetivo é simular a dinâmica de presas e predadores em ambientes ecologicamente fragmentados. Será feita uma aplicação em forma de protótipo, sendo que para se tornar um produto concreto deverá passar por outros processos de testes e validações com outros usuários, o que não está determinado no escopo deste projeto. O protótipo terá as funções básicas para a entrada dos parâmetros que devem ser utilizados para fazer experimentos,

simulando diferentes situações e uma saída através de indicadores gráficos que demonstrarão como está o cenário ecológico e as populações no decorrer do processo, com a possibilidade fazer suposições, retirarem conclusões e como resultado final define se o relacionamento das populações está ou não equilibrado.

No modelo proposto o algoritmo genético será usado para fazer a geração de cenários ambientais, com o objetivo final de encontrar o cenário mais crítico para as espécies de presa e predador. O cenário mais crítico é o ambiente, onde houve um desequilíbrio do número de presas e predadores que se pode determinar pelo crescimento demasiado do número de presas e morte de predadores ou vice-versa. A convergência do AG se baseia na evolução da sua população e utiliza o valor de aptidão do indivíduo para isto; neste trabalho este valor será determinado pelo autômato celular, que através das suas regras irá gerar um indicador percentual que mostra o tamanho do desvio padrão em relação aos parâmetros iniciais que definem o número equilibrado de presas e predadores. Este indicador é um número que mostrará a quantidade de espécies acima ou abaixo do que é considerado adequado em um sistema equilibrado.

O autômato celular representará as populações de presa e predador divididas em n células; a partir do ambiente gerado pelo AG as duas populações de espécies serão dispostas de forma aleatória e proporcional em todas as células e em seguida as espécies irão evoluir de acordo com as regras estabelecidas no AC. A regra de transição do AC será composta por uma forma que evidencie a busca de recursos para a sua sobrevivência.

Nas seções a seguir serão detalhados os algoritmos e funções utilizadas em cada uma das técnicas, bem como a estrutura de cada componente existente nos AGs e ACs.

3.2 AUTÔMATO CELULAR

A estruturação do autômato consiste em determinar a composição celular com seus estados possíveis, regras de transição, parâmetros de entrada, condições de contorno e vizinhança. A condição de contorno periódica será a regra adotada, porque ecologicamente um cenário possui uma continuidade mesmo que seja um trecho fragmentado. Quanto à vizinhança, optou-se por Moore, por possibilitar um número maior de combinações nas regras de transição. A composição celular e as regras de transição são detalhadas a seguir.

Parâmetros de entrada

Os parâmetros necessários para orientação das regras do AC e que podem ser manipulados pelos usuários são:

- Tempo de execução (T_e): define o número de iterações que os autômatos irão testar o ambiente;
- Quantidade de presas (Q_{ps}): define a quantidade de presas distribuídas inicialmente pelo ambiente;
- Nível de equilíbrio de presas (N_{ps}): define o percentual de presas presentes no sistema para considerar a dinâmica em equilíbrio;
- Taxa de natalidade da presa (T_{nps}): define o número células vizinhas necessárias para nascer outra presa;
- Taxa de mortalidade da presa (T_{mps}): define o número de células vizinhas necessárias para a morte natural de uma presa;
- Quantidade de predador (Q_{pa}): define a quantidade de predador distribuído inicialmente pelo ambiente;
- Nível de equilíbrio de predadores (N_{pa}): define o percentual de predadores presentes no sistema para considerar a dinâmica em equilíbrio;
- Taxa de natalidade do predador (T_{npa}): define o número de células vizinhas necessárias para nascer outro predador; e
- Taxa de mortalidade do predador (T_{mpa}): define o número de células vizinhas necessárias para a morte natural de um predador.

Cabe uma importante observação a respeito dos parâmetros α e β ; sua somatória não precisa ser 100%, sendo assim caso seja abaixo podem existir células que não serão inicialmente habitadas. A seguir será explicado com detalhes a composição celular e seus estados possíveis e também as regras de transição para estes estados.

Composição celular

No autômato celular as células poderão ter quatro estados possíveis, que vão determinar a presença ou não de espécie: (0) paisagem, (1) presa, (2) predador, (3) mancha. A respeito dos estados (0) e (1), o primeiro significa que a célula não possui nenhum indivíduo e pode ser habitada a qualquer instante; no segundo caso significa uma célula que não pode possuir nenhum indivíduo. Quanto aos outros dois estados, são utilizados para determinar o tipo de indivíduo que existe na célula.

Também será adotado um índice de capacidade de recurso ρ , que representa a quantidade de recursos disponíveis na célula para a presa. Este modelo de capacidade celular foi sugerido por Conceição (2008), com o objetivo de determinar qual o melhor momento para a presa sair da célula e buscar alimentos. A capacidade de uma célula é definida utilizando valores gerados por uma distribuição uniforme $U(0, \rho)$. A locomoção das presas se dará através da soma das capacidades das células vizinhas e em seguida cálculo da probabilidade de cada vizinho; a que tiver maior capacidade possui a maior chance de ser colonizada.

Regras de transição

As regras de transição de estado adotadas neste trabalho seguem listadas a seguir.

Estado (0):

- Uma célula no estado 0, com sete ou oito vizinhos no estado 1 vai para o estado 1;
- Uma célula no estado 0, com sete ou oito vizinhos no estado 2 vai para o estado 2;

- Uma célula no estado 0, com exatamente (T_{npd}) vizinhos no estado 1 vai para o estado 1;
- Uma célula no estado 0, com exatamente (T_{npd}) vizinhos no estado 2 vai para o estado 2;

Estado (1):

- Uma célula no estado 1, com três ou mais vizinhos no estado 2 vai para o estado 2;
- Uma célula no estado 1, com quatro ou mais vizinhos no estado 3 vai para o estado 0;
- Uma célula no estado 1, com exatamente (T_{npd}) vizinhos no estado 0 vai para o estado 0;

Estado (2):

- Uma célula no estado 2, com quatro ou mais vizinhos no estado 3 vai para o estado 0;
- Uma célula no estado 2, com exatamente (T_{npd}) vizinhos no estado 0 vai para o estado 0;

3.3 ALGORITMO GENÉTICO

Como foi dito anteriormente o AG será utilizado para a geração de cenários ambientais; dentro deste escopo, somente serão criados cenários que compõem matrizes quadradas de ordem $(A = N)$. A partir desta definição esta área será dividida em macro regiões de ordem $(A = N)$ e cada uma delas estará representada em um gene do cromossomo. O número de regiões a serem geradas será determinado pela Equação 3 e exige-se que $N \text{ mod } 16 = 0$, para garantir regiões de tamanhos iguais. É determinado o mínimo de 16 regiões para possibilitar a variabilidade genética na geração do cromossomo, portanto conclui-se que os alelos de cada gene vão possuir um quantificador que define o nível de desmatamento daquela região, podendo assumir valores aleatórios no intervalo entre 0 e 1.

Equação 3

$$Nr = \left(\frac{N}{Tr}\right)^2$$

Para melhor explicar o formato do cromossomo, supõe-se uma entrada de parâmetros com os seguintes valores:

Tamanho Cenário N_c : 50; e

Tamanho Região N_r : 10.

Utilizando a Equação 3 chega-se ao número de regiões N_r identificadas por

$R_i, i = 0, \dots, N_r - 1$, com tamanho região N_r como demonstra a Figura 12. Desta forma o cromossomo do AG terá 25 genes, como pode ser visualizado na Figura 13.

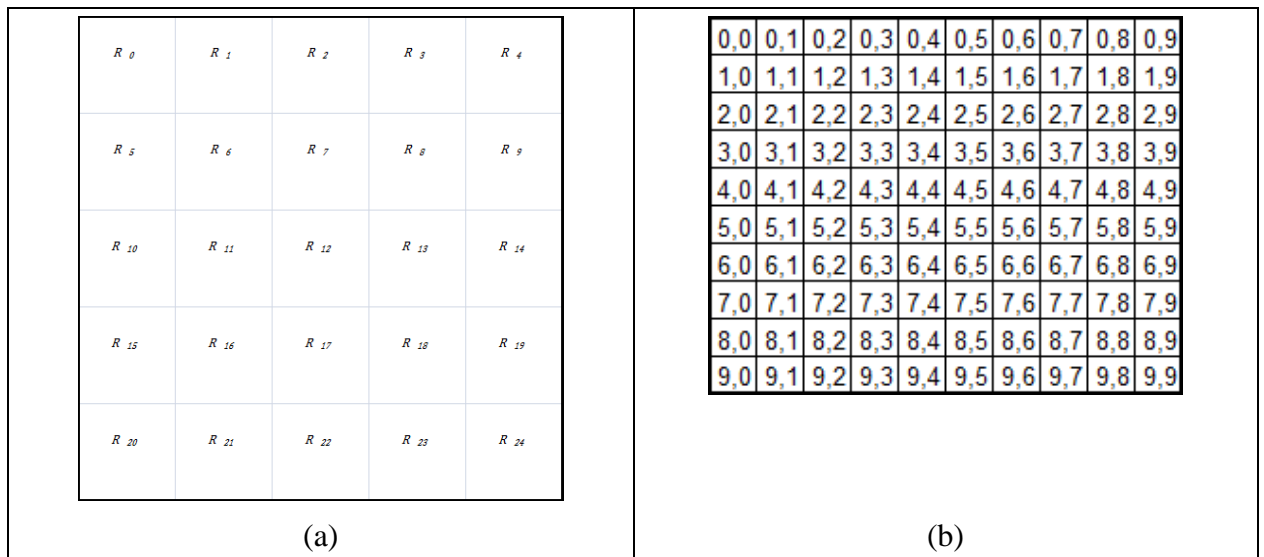


Figura 12. Cenário ambiental: (a) Reticulado de ordem 50, contendo 25 regiões identificadas por R_i ; (b) Detalhamento das regiões da célula R_0 , identificadas por $R_{i,j}$.

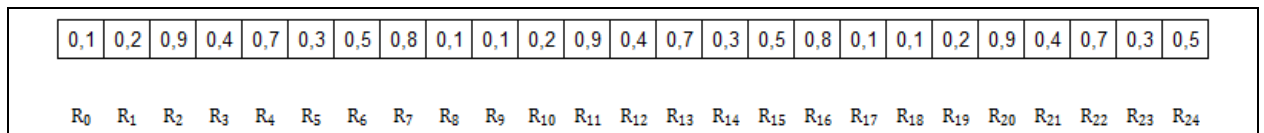


Figura 13. Cromossomo com 25 genes

As outras etapas de um AG consistem na utilização dos operadores de seleção, reprodução e mutação e a avaliação da população, nesta ordem descrita. Quanto ao operador de seleção será utilizado o método da roleta, que permite escolher os pais de acordo com o seu nível de adequação da solução sem descartar a chance dos menos adaptados. Para a reprodução será utilizado o

cruzamento uniforme; a escolha deste operador tem como objetivo minimizar a quebra de cenários em oposição aos operadores de pontos de corte. Por fim para o operador de mutação será utilizado um fator μ que será adicionado ou subtraído do valor atual do alelo; todos os genes vão ser percorridos e através de um sorteio binário define-se a aplicação ou não do fator. O procedimento acontecerá da seguinte forma: dado um determinado gene identificado por i , se o valor aleatório gerado for zero então não haverá mutação, caso contrário acontecerá outro sorteio para descobrir se o valor μ será somado ou subtraído. Se o valor gerado encontrar-se no intervalo $[\mu, 2\mu]$, será subtraído, se estiver no intervalo $[-\mu, 0]$, será somado. A função de aptidão será detalhada a seguir.

Função de aptidão

A função de aptidão será extraída a partir da quantidade de indivíduos do tipo presa e predador existentes no cenário após a execução do autômato celular; os parâmetros μ e σ são os limites considerados no cálculo para quantificar o desequilíbrio. O nível de desequilíbrio é diretamente colocado como valor da aptidão V_a do indivíduo. A Equação 4 demonstra a fórmula utilizada:

$$V_a = \left| \frac{\sum_{\text{presa}}}{\sum_{\text{indivíduos}}} - (N_{\text{ps}}/100) \right| + \left| \frac{\sum_{\text{predador}}}{\sum_{\text{indivíduos}}} - (N_{\text{pd}}/100) \right| \quad \text{Equação 4}$$

Parâmetros de entrada

Os parâmetros necessários para a execução de um AG e que podem ser manipulados pelos usuários são:

- Tamanho da população (p): define a quantidade de indivíduos na população;

- Taxa de mutação (m): determina a probabilidade de mutação dos indivíduos; e
- Taxa de reprodução (r): determina a probabilidade de reprodução dos indivíduos.

3.4 REQUISITOS DO SISTEMA

3.4.1 Requisitos funcionais

Os requisitos funcionais são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Requisitos funcionais

Identificador	Descrição
RF. 01	O protótipo deve possuir uma interface para ajuste dos parâmetros da simulação
RF. 02	O protótipo deve exibir indicadores gráficos durante a simulação
RF. 03	O protótipo deve permitir exportar os dados gerados na simulação
RF. 04	O protótipo deve permitir salvar a configuração de parâmetros

3.4.2 Requisitos não funcionais

Os requisitos não funcionais são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Requisitos não funcionais

Identificador	Descrição	Categoria
RNF. 01	O protótipo será desenvolvido na linguagem JavaFX Script	Software
RNF. 02	O protótipo deve estar disponível na internet	Usabilidade
RNF. 03	As mensagens de erros devem ser esclarecedoras	Usabilidade
RNF. 04	As configurações dos parâmetros serão armazenadas em arquivos XML	Backup
RNF. 05	Possuir uma interface amigável de modo a facilitar o aprendizado, o mais simples	Usabilidade

	possível	
--	----------	--

3.4.3 Casos de uso

O caso de uso representa uma unidade funcional disponibilizada pelo sistema, demonstrando as mensagens trocadas entre as unidades e os atores. Dentro de cada caso é apresentado o cenário básico e os alternativos e de exceção caso aconteçam. A seguir o detalhamento dos casos de uso presentes neste protótipo.

Abertura do aplicativo

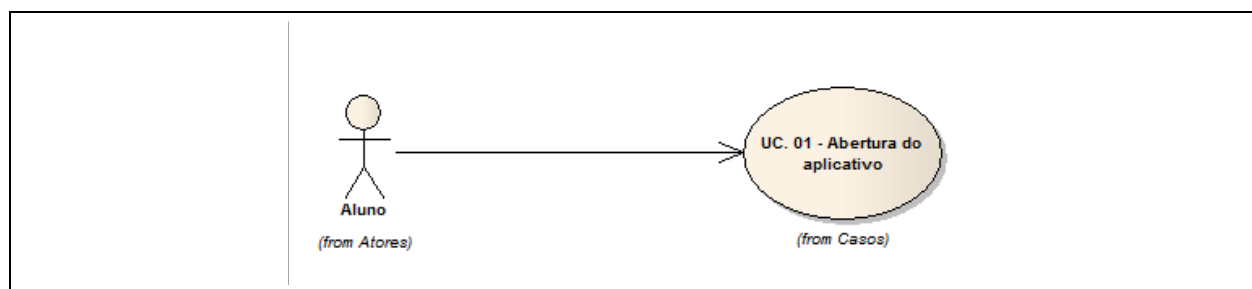


Figura 14. Abertura do aplicativo

1. Solicitação de abertura do aplicativo (Principal)

O ator solicita a abertura do aplicativo.

O ator requisita a página inicial com o aplicativo;

O ator requisita a execução da aplicação;

O aplicativo exibe a tela principal com o menu de opções e o caso de uso termina.

2. Fluxo de erro (Exceção)

Erro na abertura do aplicativo.

Se a máquina do ator não possuir o Java 6 instalado;

A página do aplicativo mostra uma mensagem de erro e exibe link para instalação do Java 6.

Ajuste de parâmetros

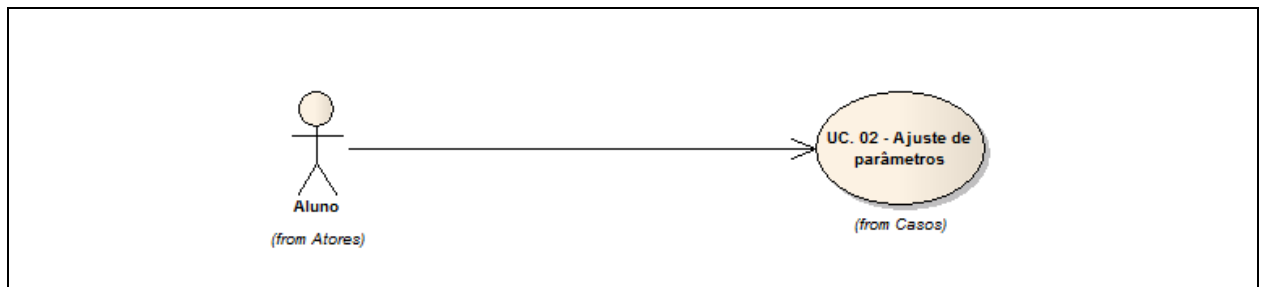


Figura 15. Ajuste de parâmetros

1. Entrar com os parâmetros no sistema (Principal)

O ator informa os parâmetros para execução da simulação.

O ator solicita o menu de configuração dos parâmetros;

O aplicativo exibe a tela de configuração;

O ator efetua os ajustes;

O aplicativo deve fazer a validação dos valores e o caso de uso termina.

2. Fluxo de erro (Exceção)

Erro na validação dos parâmetros.

O ator entra com valores inadequados nos parâmetros;

O aplicativo deve exibir uma mensagem de erro e mostrar ao usuário como corrigir o problema.

Salvar configuração de parâmetros

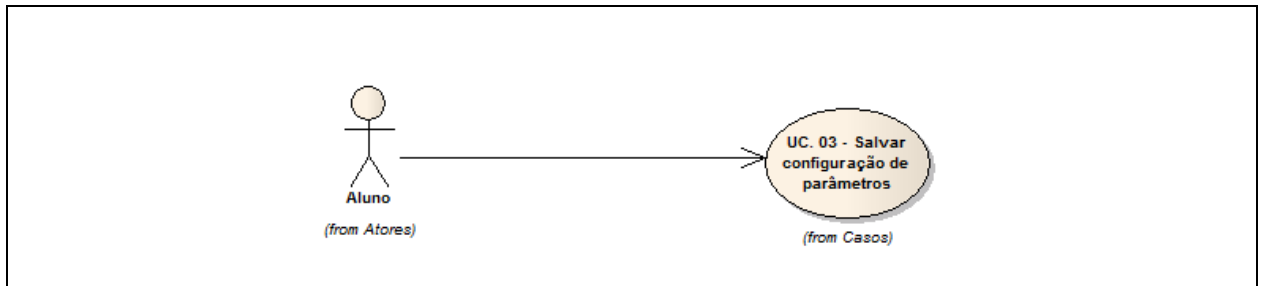


Figura 16. Salvar configuração de parâmetros

1. Salvar ajustes dos parâmetros (Principal)

O ator salva os valores dos parâmetros de configuração para posterior recuperação.

O ator acessa o menu para salvar configuração da aplicação;

O aplicativo deve exibir um menu que permita ao ator selecionar quais configurações deseja salvar;

O ator deve selecionar as configurações desejadas;

O aplicativo deve disponibilizar o arquivo para ser baixado e o caso de uso termina.

2. Fluxo de erro (Exceção)

Problemas na geração do arquivo.

Erro na geração do arquivo;

O aplicativo deve exibir uma mensagem de erro ao ator, mostrar instruções para corrigir o problema.

Exportação de dados

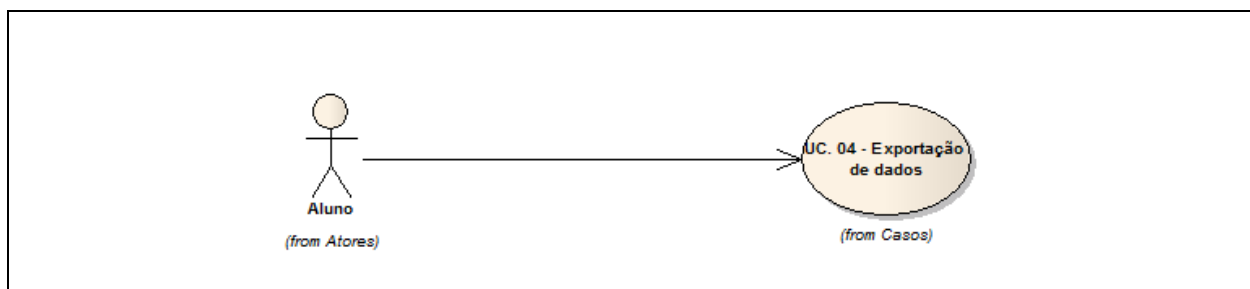


Figura 17. Exportação de dados

1. Exportação dos dados gerados pela simulação (Principal)

O ator solicita exportação dos dados gerados pela simulação.

O ator acessa o menu de exportação de dados da aplicação;

O aplicativo deve exibir a tela de exportação e permitir ao usuário selecionar o tipo de arquivo: txt ou csv;

O ator deve selecionar o tipo de arquivo;

O aplicativo deve disponibilizar o arquivo para ser baixado e o caso de uso termina.

2. Fluxo de erro (Exceção)

Problema na geração do arquivo.

Erro na geração do arquivo;

O aplicativo deve exibir uma mensagem de erro ao ator, mostrar instruções para corrigir o problema.

3.4.4 Diagramas de classe

Os diagramas de classe tratam de um aspecto estático e estrutural do sistema, demonstrando as classes e seus relacionamentos. A Figura 18 mostra o diagrama de classe do protótipo.

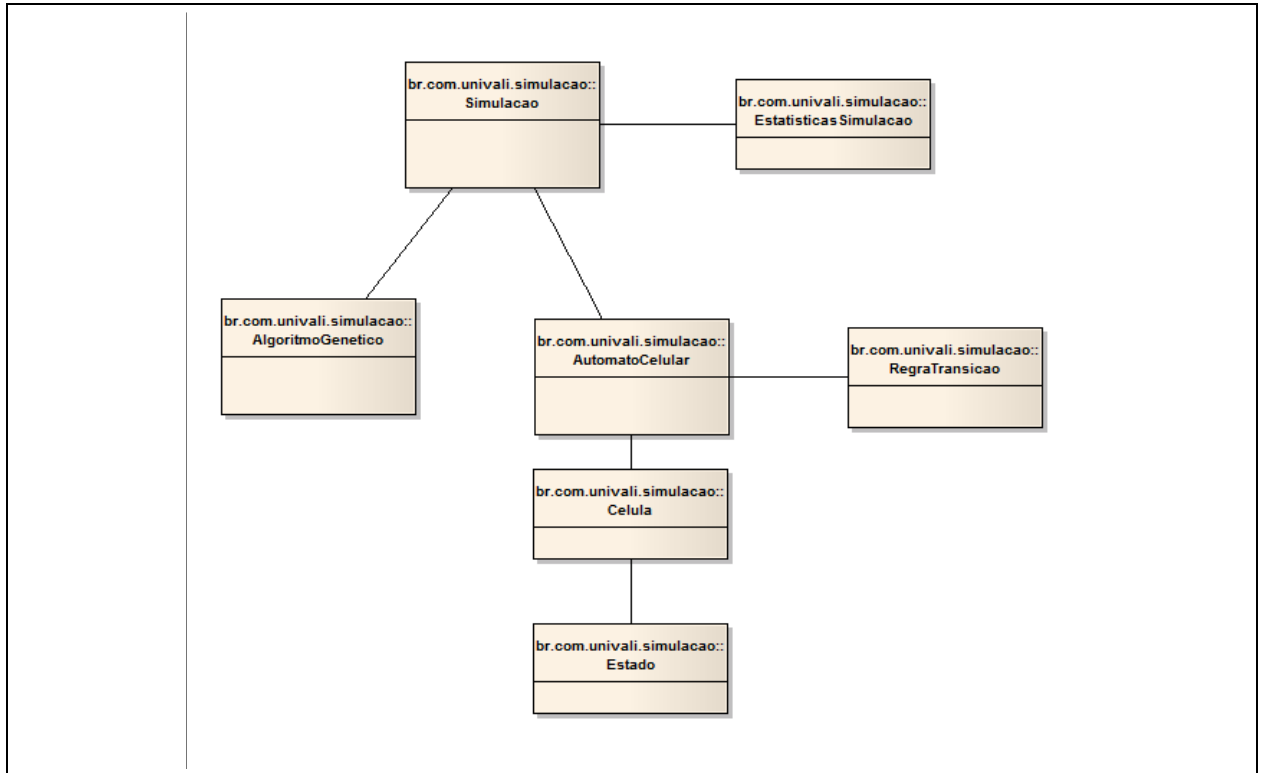


Figura 18. Diagrama de classe do protótipo

3.4.5 Diagramas de sequência

Os diagramas de sequência mostram as mensagens trocadas entre os componentes de sistema para realizar determinadas operações. A Figura 19 mostra o diagrama de sequência do processo de execução de uma simulação.

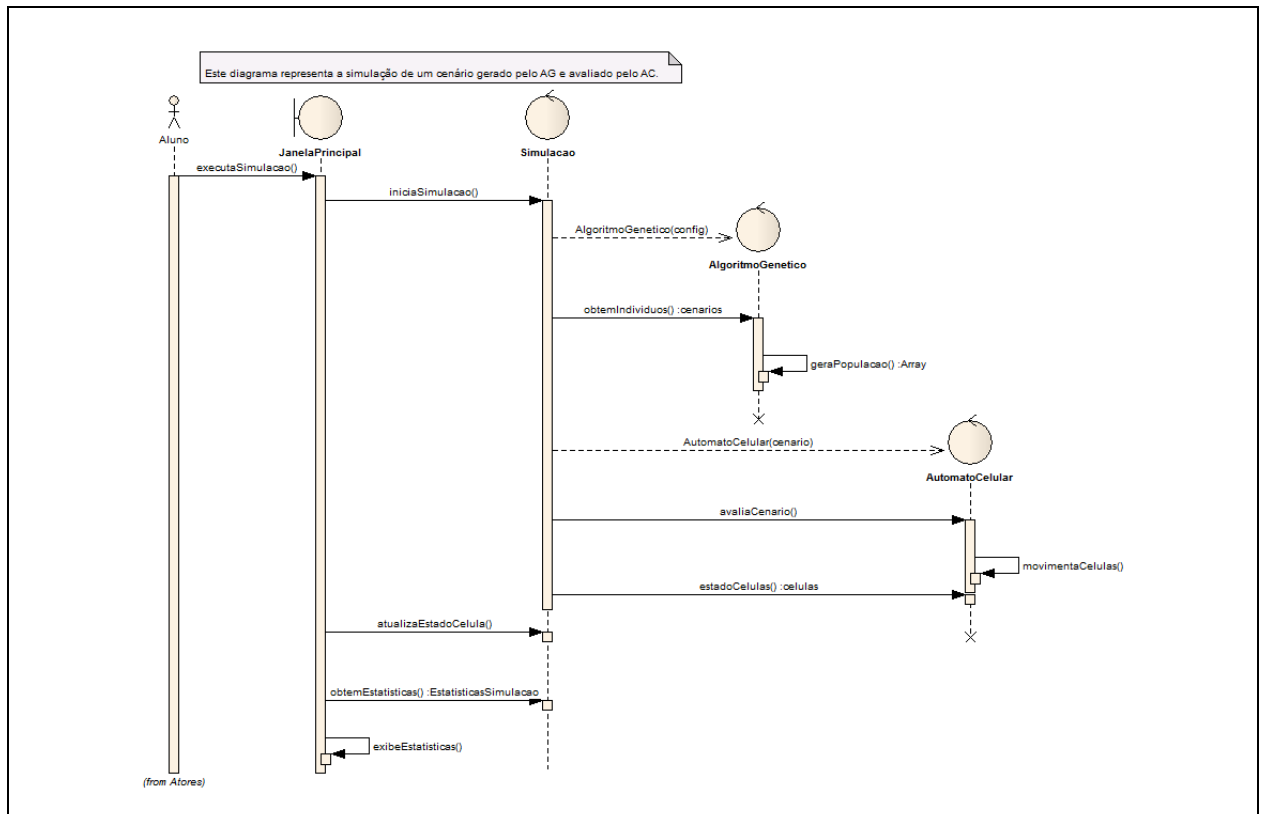


Figura 19. Diagrama de seqüência da simulação

3.5 PLANEJAMENTO DO TCC II

Após a etapa de fundamentação teórica e modelagem finalizada, a metodologia adotada para a próxima jornada do TCC II é enumerada a seguir. Também é mostrado um quadro de cronograma com a lista de tarefas para o cumprimento da segunda parte deste projeto.

3.5.1 Metodologia

Documentação: esta etapa consiste na retificação de toda a fundamentação teórica deste trabalho e adicional necessários durante o desenvolvimento do TCC II;

Implementação: etapa conseguinte, responsável construir e organizar logicamente o modelo UML dentro da aplicação;

Testes: realizar testes de usabilidade da interface para minimizar os erros de implementação;

e

Calibração: etapa que responde pelos testes e ajustes dos parâmetros de entradas para o funcionamento correto do protótipo.

3.5.2 Cronograma

3.1.1 Implementação do protótipo de simulação

4.1.1 Execução dos testes

4.1.2 Validação do protótipo

5.1.2 Elaboração do artigo científico

5.1.3 Documentação dos resultados

5.1.4 Elaboração do TCC II

Atividade	mar/10			abr/10			mai/10			jun/10			jul/10		
3.1.1															
4.1.1															
4.1.2															
5.1.2															
5.1.3															
5.1.4															

3.5.3 Análise de Riscos

Com base na dificuldade de especificação do modelo e na complexidade computacional dos algoritmos, faz com que existam alguns aspectos que devem ser analisados para que se consiga cumprir adequadamente o cronograma proposto para o TCC II.

Risco 1: Erros de programação e modelagem.

A solução proposta para a utilização do autômato celular e do algoritmo genético não funcionar de uma forma ecologicamente correta. Deve-se durante o desenvolvimento levantar informações numéricas que possam esclarecer os problemas e validar com especialista na área ecológica.

Impacto: MÉDIO.

Probabilidade: MÉDIA.

Risco 2: Excesso de tempo para execução dos testes.

Para calibração dos parâmetros de entrada do modelo, serão necessárias diversas execuções para observação do comportamento do sistema. As combinações de parâmetros devem ser bem planejadas a fim de diminuir o número de testes e com rapidez se chegar a uma execução adequada.

Impacto: ALTO.

Probabilidade: ALTA.

Risco 3: Levantamento de parâmetros incorretos.

O levantamento dos parâmetros de entrada podem não ter sido escolhidos adequadamente e por este motivo o modelo proposto não funcionar. Para evitar este tipo de problema, pretende-se com a execução dos testes fazer a validação com especialista na área ecológica e caso haja necessidade redefinir novos parâmetros.

Impacto: ALTO.

Probabilidade: ALTA.

Risco 4: Indisponibilidade de recursos.

Falhas de software, hardware e outros sistemas que serão utilizados devem ser evitados ou contornados. A utilização de sistemas de controle de versão, backups diferenciais e incrementais são essenciais.

Impacto: ALTO.

Probabilidade: BAIXA.

Risco 5: Convergência do AG.

A função de aptidão utilizada para determinar a qualidade dos indivíduos da população do AG for inadequada, pode inviabilizar o processo de simulação com a convergência precoce ou a ausência. A etapa de execução dos testes torna-se indispensável para eliminar este risco.

Impacto: ALTO.

Probabilidade: ALTA.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho iniciou com um enfoque puramente educacional, e no decorrer do projeto constatou-se a dificuldade que seria elaborar em um modelo de simulação ecologicamente correto e também preparar uma ferramenta para ser utilizada em sala de aula, então optou-se pelo foco no modelo de simulação. O objetivo deste protótipo é demonstrar a dinâmica entre os indivíduos presa e predador e os problemas causados pelo impacto ambiental gerado pela sociedade, sendo um dos motivos para a confecção deste trabalho.

As referências bibliográficas na área de modelagem ecológica são restritas, houve certa dificuldade para obtê-las, pois existem poucas linhas de pesquisas no Brasil para este campo científico. A maior parte das fontes utilizadas foram teses e dissertações. No projeto procurou-se levantar todos os requisitos necessários para o desenvolvimento, através de diagramas e texto descritivo.

Na etapa de conclusão deste trabalho será realizada a codificação e validação das regras do modelo, que propõe uma solução híbrida utilizando algoritmo genético e autômato celular. Também será realizado uma bateria de testes numéricos, com o objetivo de poder garantir a coerência e clareza nos resultados obtidos e chegar a uma conclusão válida.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUENA, M. L. S.; CASTRO, R. O. Autômatos celulares: implementações de von Neumann, Conway e Wolfram. **Revista de Ciências Exatas e Tecnologia**, Anhanguera, v. 3, n.3, 2008. Disponível em: < <http://sare.unianhanguera.edu.br/index.php/rcext/article/view/412/408>>. Acessado em: 13 de setembro de 2009.

ANGELINI, R. Ecossistemas e Modelagem ecológica. In: POMPÊO, M. L. M. (Org.). **Perspectivas da Limnologia no Brasil**. 1. ed. São Luís: Editora União, 1999. Disponível em: <<http://www.ib.usp.br/limnologia/Perspectivas/arquivo%20pdf/Capitulo%201.pdf>>. Acessado em: 21 de setembro de 2009.

ANGELINI, R.; GOMES, Luiz C. **O Artesão de ecossistemas: construindo modelos com dados**. 1. ed. Maringá: Eduem, 2008.

BAPTESTINI, E. M. **Um modelo presa-predador com evasão mediada por feromônio de alarme**. 2006. 82f. Dissertação (Mestrado em Física Aplicada) - Programa de Pós-Graduação em Física Aplicada, Universidade Federal de Viçosa, 2006. Disponível em: <<http://www.ufv.br/dpf/mestrado/teses/baptestini.pdf>>. Acessado em: 10 de junho de 2009.

BEZ, Edson Tadeu. **Procedimento de Representação de soluções em otimização global: Aplicação em modelos de interação espacial**. 2005. 224f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005. Disponível em: <<http://www.tede.ufsc.br/teses/PEPS4577.pdf>>. Acessado em: 04 de outubro de 2009.

BEZERRA, E. **Princípios de Análise e Projeto de Sistemas com UML**. 2. ed. São Paulo: Elsevier, 2007.

BRASIL. **Parâmetros Curriculares Nacionais**. Brasília: MEC, 1996. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/meioambiente.pdf>>. Acessado em: 09 de maio de 2009.

CONCEIÇÃO, K. S. **Estudo do Efeito da Fragmentação de Habitat sobre Padrões de Biodiversidade**. 2008. 96f. Dissertação (Mestrado em Biometria e Estatística Aplicada) - Programa de Pós-Graduação em Biometria e Estatística Aplicada, Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2008. Disponível em: <http://www.pgbiom.ufrpe.br/dissertacoes/2008/dissertacao_katiane_silva_conceicao.pdf>. Acessado em: 24 de outubro de 2009.

GERCOV, I. G.; LORDELO, A. D. S. **Análise e simulação de modelos matemáticos para o sistema predador-presa**. In: 8ª Jornada Científica e Tecnológica da UFSCar, 2009. São Carlos, 2009. Disponível em: <<http://www.ambiente-augm.ufscar.br/uploads/A1-031.pdf>>. Acessado em: 12 de outubro de 2009.

GOMES, Affonso G.; VARRIALE, Maria C. **Modelagem de ecossistemas: uma introdução**. 2. ed. Santa Maria: Editora UFSM, 2004.

HAMAWAKI, Cristiane Divina Lemes. **Geração Automática de Grade Horária Usando Algoritmos Genéticos: O Caso da Faculdade de Engenharia Elétrica da UFU**. 2005. 104f.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Uberlândia, Minas Gerais, 2005. Disponível em: <<http://www.dominiopublico.gov.br/download/texto/cp009024.pdf>>. Acessado em: 07 de julho de 2009.

JESUS, Ricardo Alves de. **Aplicação de Autômatos Celulares na Propagação de Ondas**. 2002. 107f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia de Construção Civil, Universidade de São Paulo, 2002. Disponível em: <<http://publicacoes.pcc.usp.br/PDF/BTPCC314.pdf>>. Acessado em: 10 de junho de 2009.

LACERDA, Estefâne G. M; CARVALHO, André C. P. L. F. Introdução aos Algoritmos Genéticos. In: _____. (Org.). **Sistemas Inteligentes: Aplicações e Recursos Hídricos e Ciências Ambientais**. 1. ed. Porto Alegre: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1999. Disponível em: <<http://www.dca.ufrn.br/~estefane/metaheuristicas/ag.pdf>>. Acessado em: 21 de março 2009.

LINDEN, Ricardo. **Algoritmos genéticos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Brasport, 2008.

MORONI, A. M. F. S. **arTEbitrariade: uma reflexão sobre a natureza da criatividade e sua possível realização em ambientes computacionais**. 2003. 193f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e de Computação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003. Disponível em: <ftp://ftp.dca.fee.unicamp.br/pub/docs/vonzuben/theses/artemis_dout/>. Acessado em: 01 de novembro de 2009.

NEVES, José L. **Pesquisa qualitativa - características, usos e possibilidades**. Caderno de pesquisas em administração, São Paulo, v.1, n.3, 2 sem., 1996. Disponível em: <<http://www.ead.fea.usp.br/cad-pesq/arquivos/C03-art06.pdf>>. Acessado em: 25 de maio 2009.

ODUM, Eugene P. **Ecologia**. 1. ed. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan S. A., 1988.

ODUM, Eugene P.; BARRET, Gary W. **Fundamentos de Ecologia**. 2. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2008.

PÁDUA, F. L. C. **Autômatos Celulares: Teorias e Aplicações**. Disponível em: <<http://www.lsi.cefetmg.br/~cardeal/Publications/AutomatosCelulares.pdf>>. Acessado em: 10 de junho de 2009.

PAIS, Luiz C. **Educação escolar e as tecnologias da informática**. 1. ed. Belo Horizonte: Autêntica, 2002.

PAGLIA, A. P.; FERNANDEZ, F.A.S.; DE MARCO JR, P.. **Efeitos da Fragmentação de Habitats: Quantas Espécies, Quantas Populações, Quantos Indivíduos, e Serão Eles Suficientes?**. In: C.F.D. Rocha; H.G. Bergallo; M. Van Sluys; M.A.S. Alves. (Org.). *Biologia da Conservação: Essências*. São Carlos: RIMA Editora, 2006. Disponível em: <http://www.icb.ufmg.br/labmasto/site/publicacoes/adrianopaglia/12_efeitos_fragmentacao_florestal.pdf>. Acessado em: 21 de outubro de 2009.

PINTO-COELHO, Ricardo M. **Fundamentos em ecologia**. 1. ed. Porto Alegre: Artes Médicas Sul, 2000.

PROINFO. **Programa Nacional de Informática na Educação**. Disponível em:

<http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=244&Itemid=462>. Acessado em: 28 de fevereiro 2009.

RICKLEFS, Roberts E. **A Economia da Natureza**. 3. ed. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan S.A., 1996.

SAKURADA, N.; MIYAKE, D. I. **Simulação baseada em agentes para modelagem de sistemas de operação**. In: SIMPOI, 2009. São Paulo, 2009. Disponível em: <http://www.simpoi.fgvsp.br/arquivo/2009/artigos/E2009_T00461_PCN51634.pdf>. Acessado em: 30 de setembro de 2009.

SANTA CATARINA, A. **SAHGA - Um algoritmo genético híbrido com representação explícita de relacionamentos espaciais para análise de dados geoespaciais**. 2009. 122f. Tese (Doutorado em Computação Aplicada) - Curso de Pós-Graduação em Computação Aplicada, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2009. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/~asc/Documentos/Tese%20-%20SAHGA%20-%20CAP-INPE.pdf>>. Acessado em: 04 de outubro de 2009.

TRIVELATO, G. C. **Técnicas de Modelagem e Simulação de Sistemas Dinâmicos**. São José dos Campos: INPE, 2003. Disponível em: <<http://mtc-m05.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/jeferson/2003/07.08.08.27/doc/INPE%20-%209665%20-%20NTC.pdf>>. Acessado em: 03 de outubro de 2009.

UCA. **Projeto Um Computador Por Aluno**. Disponível em: <<http://www.pilotosdoprojetouca.blogspot.com/>>. Acessado em: 28 de fevereiro 2009.

VALENTE, José A. **O computador na sociedade do conhecimento**. 1. ed. Campinas: NIED-UNICAMP, 1999.

VIDICA, Paulo M. **Novas abordagens na evolução de autômatos celulares aplicados ao escalonamento de tarefas em multiprocessadores**. 2007. 168f. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) - Faculdade de Computação, Universidade Federal de Uberlândia, Minas Gerais, 2007.

VILLATE, E. M. J. **Introdução aos sistemas dinâmicos: uma abordagem prática com Maxima**. 1. ed. Porto, Portugal: Universidade do Porto, 2006. Disponível em: <<http://fisica.fe.up.pt/pub/maxima/sistdinam.pdf>>. Acessado em: 12 de outubro de 2009.

WWF. **Worldwide Fund for Nature**. Disponível em: <<http://www.wwf.org.br>>. Acessado em: 01 de abril de 2009.