



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

INPE-12992-PRE/8269

**SOCIEDADE ARTIFICIAL FIGHT4LIFE: AUTÔMATO CELULAR
MODELANDO VIDA ARTIFICIAL**

Fabio Sant'Ana Pascoal*

*Bolsista IBTA

Relatório Final de Projeto de Iniciação Científica (PIBIC/CNPq/INPE), orientado pelo Dr. José Carlos Becceneri e co – orientada pela Dra. Maria das Graças Bruno Marietto



**“SOCIEDADE ARTIFICIAL *FIGHT4LIFE*: AUTÔMATO
CELULAR MODELANDO VIDA ARTIFICIAL”**

**RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA
(PIBIC/CNPq/INPE)**

Fábio Sant’Ana Pascoal (IBTA, Bolsista PIBIC/CNPq)
E-mail: fabio@lac.inpe.br

Dr. José Carlos Becceneri (LAC/CTE/INPE, Orientador)
E-mail: becce@lac.inpe.br

Dr^a Maria das Graças Bruno Marietto (Co-Orientadora)
E-mail: graca_marietto@directnet.com.br

Junho de 2005

*“Nenhum problema pode ser resolvido pelo mesmo estado de consciência que o criou.
É preciso ir mais longe. Eu penso 99 vezes e nada descubro. Deixo de pensar, mergulho
num grande silêncio e a verdade me é revelada”.*

ALBERT EINSTEIN

Agradecimentos

Agradeço a todos aqueles que me ajudaram com idéias e conselhos.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, pelo auxílio financeiro.

Ao Laboratório Associado de Computação e Matemática Aplicada pela oportunidade de estudos e utilização de suas instalações.

Ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE pela oportunidade de estudos e utilização de suas instalações.

Ao orientador Prof. Dr. José Carlos Becceneri pelo conhecimento passado, pela orientação, e oportunidade oferecida.

À orientadora e Prof. Dra. Maria das Graças Bruno Marietto pela orientação, apoio e principalmente pela infinita paciência e carinho.

À minha noiva pela compreensão, pelo incentivo e extremo apoio na confecção deste trabalho.

Aos minha família pela paciência nos momentos de nervosismo.

Resumo

Os principais objetivos deste trabalho são o estudo e a implementação do protótipo *Fight4Life*, que parte do intuito de simular uma suposta competitividade entre uma célula biológica e um antígeno, criando uma situação em que a célula sofre ataques e luta contra um outro organismo. O sistema foi desenvolvido utilizando os conceitos e a estrutura de Automata Celular, estudados no início do trabalho. A abordagem proposta está voltada em descobrir e analisar padrões de comportamento das estruturas, partindo de diferentes configurações iniciais de estados. Acredita-se que os padrões encontrados serão resultados que poderão auxiliar estudos futuros, os quais utilizarão parâmetros do sistema biológico como fonte de comparação. Uma das aplicações que se mostram promissoras seria um estudo desenvolvido para a análise de simulações de alastramento ou regressão de células cancerosas.

Abstract

The main objectives of this work are to study and implement the *Fight4Life* prototype that originates from the intuition of simulating a supposed competition between a biological cell and an antigen, creating a situation in which the cell suffers attacks and fights against another organism. The system is developed using the concepts and structure of Cellular Automata, studied in the beginning of the work. The approach proposed is to discover and analyze standards of behavior of the structures, starting with different configurations of the initial states. It is believed that the standards encountered will be the results that can help future studies, which will use biological system parameters as the source of comparison. One of the promising applications will be a study developed for the analysis of simulations of the spreading or regression of the cancerous cells.

Índice

Agradecimentos	i
Resumo	ii
Abstract	iii
Figuras	vi
Tabela	vii
1 Introdução	8
1.1 Motivação	8
1.2 Objetivo	9
1.3 Método	9
1.4 Estrutura do Trabalho	10
2 Automata Celulares	11
2.1 Breve Histórico	11
2.1.1 John Von Neumann	12
2.1.2 Alan Turing.....	15
2.2 Estrutura Geral de Automata Celulares	16
2.2.1 Células	17
2.2.2 Grade.....	18
2.2.3 Vizinhaça	19
2.2.4 Estados	23
2.2.5 Regras	23
2.2.6 Interação.....	24
2.2.7 Classes Celulares	25
2.2.8 Estado Inicial	25
2.3 Formalismo	26
2.4 Aplicações de Automata Celulares	26
2.4.1 Automata Celulares na Música	27
2.4.2 Automata Celulares em Sistemas de Informação Geográficas.....	29
3 Vida Artificial e Automata Celulares	31
3.1 John Conway.....	31
3.1.1 Critérios de Conway	32
3.1.2 Regras de Conway	33
3.1.3 Padrões de Comportamento	34
3.1.4 Jogo da Vida e Vida Artificial	36

3.2 Langton	37
4 Sociedade Artificial <i>Fight4Life</i>	39
4.1 Simulador de Automata Celular	39
4.2 Modelando a Sociedade Artificial <i>Fight4Life</i>	41
4.2.1 Células	43
4.2.2 Grade	44
4.2.3 Vizinhaça	45
4.2.4 Estados	45
4.2.5 Regras	47
4.2.5.1 Regra de Ataque.....	47
4.2.5.2 Regra de Recuperação da Energia	48
4.2.5.1 Comportamento da Morte.....	48
4.3 <i>Fight4Life</i> : Simulando a Luta pela Vida.....	48
4.3.1 Cenário 1: Borda Forte <i>Versus</i> Núcleo Estável	49
4.3.2 Cenário 2: Borda Forte <i>Versus</i> Núcleo Forte.....	52
4.3.3 Cenário 3: Borda Fraca <i>Versus</i> Núcleo Estável.....	55
5. Conclusão.....	58
5.1 Propostas para trabalhos futuros	58
Referências Bibliográficas.....	59

Figuras

Figura 2.1: Autômato Celular de Von Neumann.....	15
Figura 2.2: Célula Quadrangular	17
Figura 2.3: Célula Triangular	18
Figura 2.4: Célula Hexagonal.....	18
Figura 2.5: Representação 1D, 2D e 3D de um Autômato Celular	19
Figura 2.6: Vizinhança de Neumann	20
Figura 2.7: Vizinhança de Moore.....	20
Figura 2.8: Vizinhança de Moore Estendida	21
Figura 2.9: Vizinhança Aleatória	21
Figura 2.10: Representação Fixa da Borda.....	22
Figura 2.11: Representação da Vizinhança Periódica	22
Figura 2.12: Representação da Vizinhança Reflexiva.....	23
Figura 2.13: Exemplo de Interações.....	24
Figura 2.14: Representação dos Intervalos Musicais	28
Figura 2.15: Representação da utilização de CA em Chaosynth.....	29
Figura 2.16: Ocupação urbana e rede de transporte da Amazônia	30
Figura 3.1: Sobrevivência da Célula	33
Figura 3.2: Nascimento da Célula	34
Figura 3.3: Morte de células.....	34
Figura 3.4: Objeto Block	34
Figura 3.5: Objeto Beehive.....	35
Figura 3.6: Objeto Boat	35
Figura 3.7: Objeto Ship	35
Figura 3.8: Objeto Loaf	35
Figura 3.9: Objeto Blinker.....	35
Figura 3.10: Objeto Toad	36
Figura 3.11: Objeto Gliders.....	36
Figura 3.12: Autômato Reprodutor de Langton	38
Figura 4.1: Telas de interface geradas pelo ProtVirus	40

Figura 4.2: Estrutura do Organismo ProtCell.....	42
Figura 4.3: Representação dos Organismos ProtCell e ProtVirus.....	42
Figura 4.4: Células com as Respectivas Notações	43
Figura 4.5: Grade do sistema – Direção da Aplicação das Regras.....	44
Figura 4.6: Representação das três formas de vizinhança.....	45
Figura 4.7: Configuração Inicial do Cenário 1	49
Figura 4.8: Seqüência de ataques das células da borda.....	50
Figura 4.9: Configuração Final do Resultado da Execução do Cenário 1.....	50
Figura 4.10: Configuração de Variação do Cenário 1	51
Figura 4.11: Configuração Final do Resultado da Variação do Cenário 1.....	52
Figura 4.12: Configuração Inicial do Cenário 2.....	53
Figura 4.13: Configuração Final de Resultado da Execução do Cenário 2.....	53
Figura 4.14: Configuração de Variação do Cenário 2.....	54
Figura 4.15: Configuração Final do Resultado da Execução do Cenário 2.....	55
Figura 4.16: Configuração Inicial do Cenário 3	56
Figura 4.17: Configuração Final de Resultado da Execução do Cenário 3.....	56

Tabela

Tabela 4.1: Classificação dos Estados Possíveis	46
--	----

1 Introdução

O homem por ter como propriedade a inquietação para novas descobertas, sempre observou a natureza aventurando-se, de alguma forma, a analisar a variedade dos comportamentos e fenômenos naturais. Contudo, passou a tentar reproduzir (recriar) e/ou imitar ações e fenômenos biológicos por meio de simulações em sistemas artificiais para adquirir maior compreensão comportamental da vida biológica.

Este trabalho apresenta um estudo realizado na área de Computação Aplicada. O pilar deste está fundamentado no uso de Automata Celulares contextualizado em características da Vida Artificial abrangendo teoria e aplicação. A modelagem do tema proposto foi tentar simular um possível comportamento de uma célula biológica em relação ao ataque de um antígeno.

Durante a especificação e desenvolvimento deste trabalho houve uma necessidade de contemplar uma fase de pesquisa teórica cujo objetivo foi relacionar muito do que já foi feito e está em atual desenvolvimento em pesquisa relacionada a esta área, e uma fase prática que descreve uma implementação computacional dos conceitos estudados, na forma de uma plataforma experimental de desenvolvimento de simulações.

1.1 Motivação

Este trabalho visa concretizar um modelo teórico desenvolvido pelo Laboratório Associado de Computação e Matemática Aplicada do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (LAC/INPE), iniciando um estudo que busca simular comportamentos naturais por meio de modelos computacionais. Com o aprofundamento no estudo do modelo e no início de sua implementação, utilizando o conceito de Automata Celular, observou-se que este apresentava a característica de geração de competitividade entre os elementos nele contidos, possibilitando a abordagem no comportamento da defesa de células biológicas ao ataque de vírus e/ou outros agentes externos.

1.2 Objetivo

O principal objetivo deste trabalho são o estudo e a implementação do protótipo *Fight4Life*, que parte do intuito de simular uma modelagem teórica inspirada no escopo apresentado em (Becceneri et al, 2003).

O sistema desenvolvido baseia-se na simulação de uma suposta competitividade entre uma célula biológica e um antígeno, criando uma situação em que um vírus ou outro agente externo ataca uma célula. Foi desenvolvido utilizando-se dos conceitos e da estrutura de Automata Celular.

A abordagem proposta está voltada em descobrir e analisar padrões de comportamento das estruturas para diferentes configurações iniciais. Acredita-se que os padrões encontrados serão resultados que poderão auxiliar estudos futuros, os quais utilizarão parâmetros do sistema biológico como fonte de comparação. Uma das aplicações que se mostram promissoras seria um estudo desenvolvido para a análise de simulações de alastramento ou regressão de células cancerosas.

1.3 Método

Inicialmente, fez-se um estudo do modelo apresentado em (Becceneri et al, 2003), constatando a utilização da técnica de Análise de Padrões Gradientes (GPA) para descrever a formação e a evolução de padrões de competição e energia do sistema proposto. Como uma nova abordagem, sugeriu-se a utilização de Automata Celular, técnica a qual auxilia na identificação de características existentes em Vida Artificial.

Antes da implementação da nova técnica, viu-se a necessidade de se aprofundar no contexto histórico e nas definições de Vida Artificial, e aplicações voltadas a essa área utilizando Automata Celulares. Para isso foi realizado um levantamento bibliográfico dos dois assuntos.

O novo modelo, denominado *Fight4Life*, baseia-se em um simulador de Automata Celular chamado *Extreme Life*, desenvolvido pelo Departamento de Ciência da Computação da Universidade da Virginia. O simulador adquirido está inteiramente codificado em linguagem Java Orientada a Objetos e, por ser código aberto, permitiu a

adaptação do novo protótipo de acordo com as necessidades da modelagem a ser desenvolvida.

O processo de adaptação exigiu um estudo detalhado do código *Extreme Life* e, conseqüentemente, da linguagem Java e das características da metodologia orientada a objetos empregada no sistema. A partir desta fase, foi possível a criação do módulo adaptativo com novas funções respeitando a estrutura antiga.

O novo protótipo consiste basicamente em uma grade funcional quadrangular com dois conjuntos de elementos, um representando a célula e o outro o antígeno. Regras de transição são criadas para simular a competitividade entre as estruturas, e estados são definidos para distinguir o nível de energia entre cada elemento ao decorrer das interações do sistema.

1.4 Estrutura do Trabalho

O trabalho é organizado da seguinte forma:

O Capítulo 2 introduz a teoria de Automata Celulares, partindo dos estudos realizados, por John Von Neumann e Stanislaw Ulam, a partir da década de 50, e citando outros nomes conceituados na área. Em seguida é realizada uma descrição da estrutura geral de um autômato celular, mencionando os conceitos envolvidos e suas características. Finalizando o capítulo, são citadas algumas aplicações de Automata Celulares já desenvolvidas.

O Capítulo 3 inicia-se explicando o surgimento do termo Vida Artificial. Em seguida cita as significativas colaborações dos matemáticos John Conway e Christopher Langton, que além de unirem o novo conceito à teoria de Automata Celulares, diminuiram a complexidade destas estruturas.

O Capítulo 4 apresenta a prototipagem do sistema *Fight4Life* em aspectos de implementação bem como os testes realizados e respectivas análises.

O Capítulo 5 apresenta as principais conclusões, contribuições e sugestões para trabalhos futuros, apontando possíveis rumos para extensão deste trabalho.

2 Automata Celulares

Automata Celulares (AC) são sistemas dinâmicos discretos, sendo freqüentemente descritos como contrapartes às equações diferenciais parciais que apresentam a potencialidade para descrever sistemas dinâmicos contínuos. O significado de discreto é que as variáveis de estado mantêm-se inalteradas ao longo de intervalos de tempo, e mudam seus valores somente em momentos bem definidos conhecidos como passo ou tempo de ocorrência de evento.

A idéia básica de AC não é tentar descrever a complexidade de sistemas que utilizam equações complexas, mas focar na simulação de sistemas onde as interações entre as células são regidas por regras simples. Assim, o objetivo não é descrever sistemas com equações complexas, mas deixar a complexidade emergir por meio da interação de indivíduos simples em função de regras simples (Schatten, 2005).

Sob um ponto de vista teórico, os AC foram introduzidos no final dos anos 40 por John Von Neumann (Von Neumann, 1966; Toffoli e Margulos, 1987) e Stanislaw Ulam. Sob um ponto de vista prático, por volta do final dos anos 60, os AC conseguiram maior divulgação através do matemático Conway, que desenvolveu o Jogo da Vida (Gardner, 1970; Dewdney, 1989; Dewdney, 1990).

Este capítulo está organizado da forma como se segue. Na Seção 2.1 tem-se um breve histórico de AC, citando os estudos pioneiros de John Von Neumann e Alan Turing no desenvolvimento na teoria de AC. Na Seção 2.2, descreve-se a estrutura geral de um AC.

2.1 Breve Histórico

A seguir tem-se uma breve apresentação histórica dos trabalhos de John Von Neumann e Alan Turing no campo de AC.

2.1.1 John Von Neumann

No final dos anos 40 o mundo da ciência computacional vivenciou uma explosão no desenvolvimento de novas tecnologias. Neste período, fomentou-se a descoberta de novas técnicas computacionais que poderiam ser utilizadas na modelagem matemática de fenômenos complexos. Um dos nomes mais proeminentes da época foi o matemático húngaro John Von Neumann. Pouco antes de sua morte em 1957, Neumann estava empenhado no desenvolvimento da Teoria de Automata Celulares. De acordo com (Shannon, 1958):

“Von Neumann spent a considerable part of the last few years of his life working in [automata theory]. It represented for him a synthesis of his early interest in logic and proof theory and his later work, during World War II and after, on large scale electronic computers. Involving a mixture of pure and applied mathematics as well as other sciences, automata theory was an ideal field for von Neumann's wide-ranging intellect. He brought to it many new insights and opened up at least two new directions of research.”

Segundo Neumann, a palavra **autômato** era destinada a máquinas automáticas cujo comportamento poderia ser definido por termos matemáticos inconfundíveis. Um autômato era uma máquina que processava logicamente, em etapas metódicas estabelecidas ordenadamente por um meio externo. Pertence também a Neumann a idéia conhecida como autômato auto-reprodutor, que dizia respeito à capacidade de uma máquina artificial de produzir uma cópia de si mesma, que por sua vez fosse capaz de criar novas cópias. Esta reprodução (cópia) estava baseada em algo diferente da mecânica, onde a informação seria a premissa da vida. No centro do seu ser estava uma matriz que, além do comportamento, ditava-lhe a atividade reprodutora (Gilhoto e Rosa, 2005). Um dos principais objetivos de Neumann era o de aplicar essas seqüências em seus estudos sobre neurofisiologia (Goldstine, 1993).

Assim, o conceito original de autômato celular está fortemente associado a John Von Neumann. De acordo com o livro editado por (Burks, 1966), Neumann estava interessado nas conexões entre Biologia e a Teoria dos Automata. Nos seus estudos,

predominava a idéia do fenômeno biológico da auto-reprodução. A questão que ele apresentava era: “*Que tipo de organização lógica é suficiente para um autômato ser capaz de reproduzir a si próprio?*” (Aguiar e Costa, 2005).

Von Neumann também percebeu de que a Biologia proporcionava um importante sistema de processamento de informação disponível, e de que na emulação dela estava a chave de potentes sistemas artificiais.

Segundo (Aguiar, Dimuro e Costa, 2004), Von Neumann construiu um autômato denotado por Mc. Este autômato está embutido sobre um espaço celular bidimensional com regra de transição e configuração de estados iniciais particulares. O espaço bidimensional é considerado infinito, mas todas as células em quantidade finita iniciam em um estado especial de repouso. Existem vinte e nove (29) estados possíveis para cada célula (inclusive o estado de repouso), e a vizinhança consiste em 4 células: uma acima, uma abaixo, uma à esquerda e uma à direita. Esta vizinhança bidimensional é chamada de vizinhança de Von Neumann.

A Figura 2.1 representa esquematicamente, em alto nível, o processo no qual o autômato auto-reprodutor Mc trabalha. Mc é constituído de uma configuração de estados que podem ser agrupados em duas unidades funcionais:

- a unidade de construção, que constrói o novo autômato,
- e a unidade de fita, que armazena e lê a informação necessária para construir o novo autômato.

A unidade de fita é constituída de um controle de fita e da fita propriamente dita. A fita é um *array* linear de células que contém a informação sobre M, o autômato a ser construído. Em particular, a fita contém (da esquerda para direita):

- 1) as coordenadas x e y (x_0 e y_0) do canto inferior esquerdo do retângulo no qual o novo autômato será construído (a área de construção);
- 2) a largura e a altura do retângulo;
- 3) as células que formarão o autômato (listados na ordem inversa na qual eles serão colocadas no retângulo);
- 4) o asterisco, indicando o fim da fita.

A construção do novo autômato M é iniciada pelo envio de sinais (na forma de propagação de estados pelas células) entre a unidade da fita e a unidade de construção. A unidade de construção consiste de um controle de construção e um braço construtor. Conforme a Figura 2.1, o braço construtor é um *array* de células onde as células que serão construídas são enviadas a partir do controle de construção às posições desejadas na área de construção.

O autômato original M_c é ativado por um sinal externo, enviado ao controle de construção. Então, o controle de construção envia um sinal à unidade de fita, que lê a fita e envia (por sinais) os valores de x_0 , y_0 , e ao controle de construção. Logo, o controle de construção faz o braço construtor se mover (expandindo ou contraindo o *array* de células trocando os estados das células intermediárias) da sua posição inicial até o canto superior esquerdo da área de construção. Depois, o controle de construção solicita e recebe os valores dos sucessivos estados da fita, e move o braço construtor para colocá-los nas posições apropriadas na área de construção (Aguiar et al., 2004).

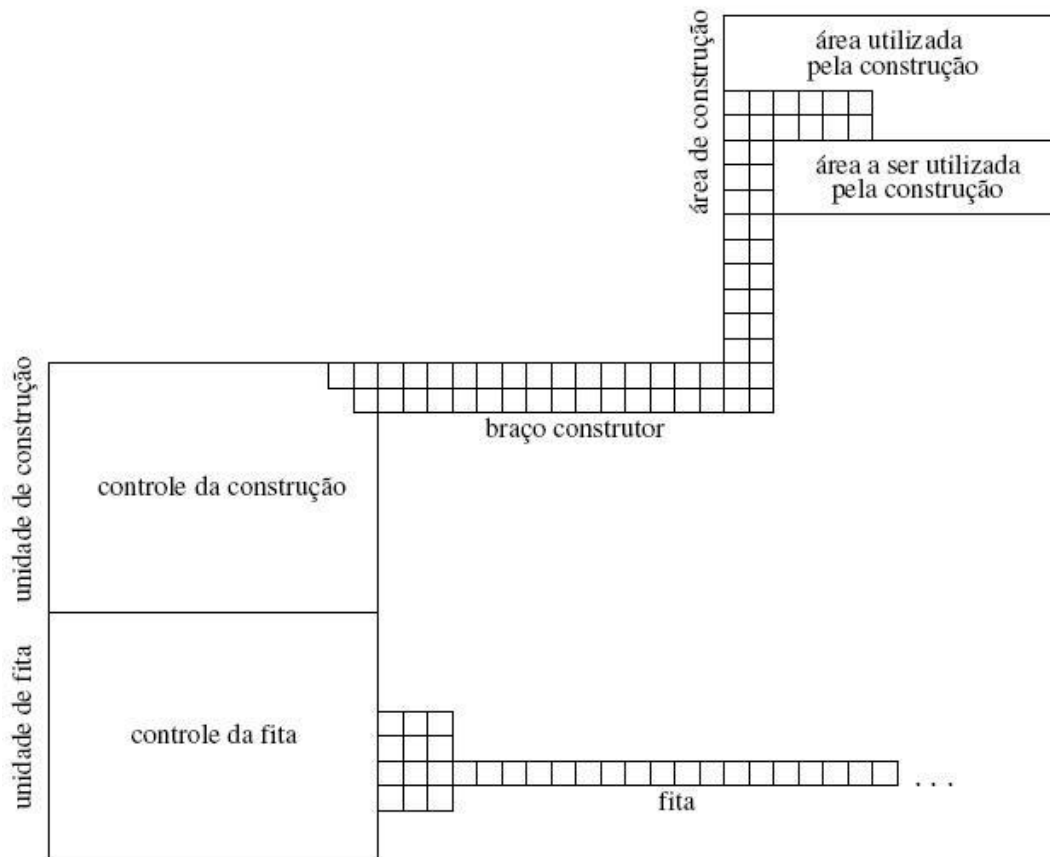


Figura 2.1: Autômato Celular de Von Neumann. Fonte: (Aguiar et al., 2004)

Quando a construção estiver completa, ou seja, o asterisco foi lido na fita, o controle de construção move o construtor para o canto inferior esquerdo de M e envia um sinal que inicia M. Este procedimento faz M iniciar o processo de auto-reprodução novamente. Então Mc move o braço construtor para sua posição original.

Esta é uma descrição em alto-nível do modo de funcionamento do autômato auto-reprodutor de Von Neumann. As funções de alto-nível – como ler células da fita, enviar diferentes sinais, reconhecer e receber diferentes sinais e outras – são totalmente construídas a partir de operações primitivas dos automata celulares. No nível mais baixo, usaram-se operações primitivas de automata celulares para sintetizar as operações lógicas tais como OU e E, operações simples de atrasos e propagação de sinais.

É possível perceber que Mc é capaz de ir mais além do que a auto-reprodução. De fato, ele é um construtor universal, capaz de construir qualquer autômato cuja descrição está na sua fita. Ainda, Mc é capaz de computação universal. Por isso, a auto-reprodução reduz-se a um caso particular onde a fita de Mc contém descrição da própria Mc. Inicialmente, é essencial que o autômato construído esteja desativado, ou seja, seu estado não se modifica antes de receber o sinal de inicialização. Se isto não for garantido, pode ocorrer de M iniciar um novo processo de construção sem ela mesma estar finalizada, o que possivelmente poderá interferir no seu próprio processo de construção (Aguiar et al., 2004).

2.1.2 Alan Turing

Nascido na Inglaterra, Alan Turing foi um matemático e cientista da computação e é considerado um dos pais da computação moderna. Já em 1926 Turing afirmava ser booleana a essência da inteligência. Inventou as máquinas de estado, a máquina universal de Turing, e contribuiu para muitas áreas do conhecimento como Lógica, Criptografia, Filosofia, Biologia, e conceitualmente, para criação de disciplinas como Ciências Cognitivas, Inteligência Artificial e Vida Artificial. Durante os anos finais de sua vida, Turing utilizava o computador Ferranti Mark I, da Universidade de Manchester, em experimentos com algoritmos que exploravam as semelhanças entre

programas digitais e fenômenos como replicação, adaptação e cognição, tópicos que posteriormente viriam a se chamar Vida Artificial e Inteligência Artificial. Durante este período, ele atingiu a distinção de ser o primeiro a se engajar na exploração assistida por computador de sistemas de dinâmica não-linear, uma vez que sua teoria usava equações diferenciais não-lineares para expressar a química do crescimento (Neves, 2003).

O trabalho de Alan Turing no domínio da Lógica Matemática, nomeadamente através do seu autômato finito Máquina de Turing, veio trazer a Von Neumann a certeza de que a duplicação de formas de vida também poderia ser emulada. Mas para isso, seria necessária uma fita muito longa para ser introduzida na máquina (Neves, 2003). A idéia fundamental que norteia a primeira grande tentativa de modelizar mente e comportamento, a partir de uma determinada idéia de processamento de informação, remonta aos trabalhos de Alan Turing e sua concepção de uma máquina pensante (Turing, 1950). Entenda-se que cognição é sinônimo de pensamento, o que leva a procurar modelizar a mente tomando-lhe apenas a parte relativa ao pensamento e, deste, particularmente, aquele dito inteligente.

A idéia de Turing é de que se pode, através de uma máquina abstrata, computar quaisquer proposições (regras, instruções, dados, etc.). Essa máquina (e seus respectivos estados internos), dotada de uma fita (em princípio, infinita) e de uma cabeça leitora é capaz de ler o estado no instante t , modificá-lo e gravar uma determinada instrução no instante $t + 1$. Assim, pode-se perceber a influência direta do trabalho de Alan Turing na estruturação da Teoria de AC. Também, assim como Von Neumann, Turing, estudou a implicação do uso de AC na modelagem de Vida Artificial (Neves, 2003).

2.2 Estrutura Geral de Automata Celulares

Um autômato celular é um conjunto de automata, ou “células”, identicamente programados, que interagem entre si em função de uma coleção finita de condições pré definidas (Li, 2005). Os estados das células são alterados conforme um conjunto de regras de transição. De forma geral, a regra de transição de estados é imposta de forma paralela e sincronizada a todas as células (Vasconcelos, 2005). Uma configuração inicial de autômato, aparentemente simples, pode produzir resultados onde a conjuntura

da matemática dos estados apresentará um alto nível de complexidade.

Nas próximas subseções são apresentados os elementos básicos que compõem um autômato celular tais como células, vizinhança, estados, e regras.

2.2.1 Células

Um dos elementos básicos de um AC é a célula. Uma célula é um tipo de elemento da memória que armazena estados celulares. Em um caso simples, cada célula pode ter os estados em forma de números binários. Mas em uma simulação com maior grau de complexidade, as células podem ter vários estados diferenciados. Isto é, de forma geral cada célula pode possuir mais de uma propriedade ou atributo, e cada uma destas propriedades pode definir dois ou mais estados.

Dependendo da modelagem proposta de um sistema, a forma geométrica de cada célula pode assumir diversas configurações. Dentre elas cita-se a quadrangular (Figura 2.2), triangular (Figura 2.3) e hexagonal (Figura 2.4). Dentre estas formas, o modo quadrangular representa maior usabilidade devido à sua simplicidade. Por isso, foi escolhido para representar o espaço celular deste trabalho.

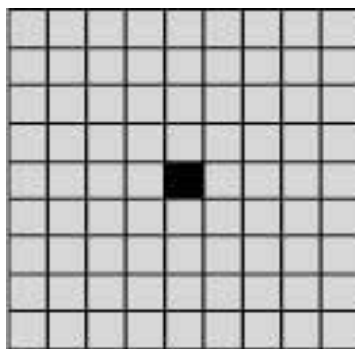


Figura 2.2: Célula Quadrangular

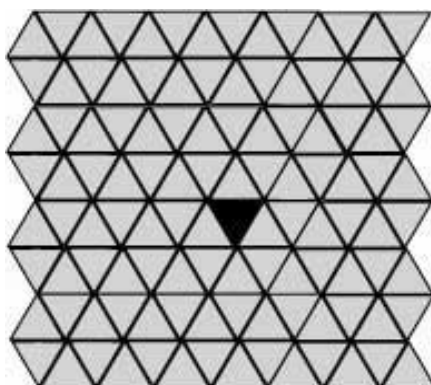


Figura 2.3: Célula Triangular

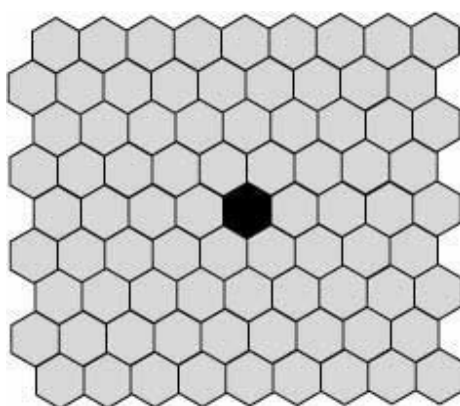


Figura 2.4: Célula Hexagonal

2.2.2 Grade

As células estão dispostas em uma rede espacial que forma a grade celular. A rede que apresenta maior simplicidade é a grade unidimensional, disponibilizando uma acomodação onde todas as células estão arranjadas uma ao lado das outras, em forma de uma fita, conforme ilustra a Figura 2.5 (1D).

As construções mais usuais em AC são as grades de duas dimensões, como apresentado na Figura 2.5 (2D). Existem também grades de três dimensões, conforme ilustra a Figura 2.5 (3D).

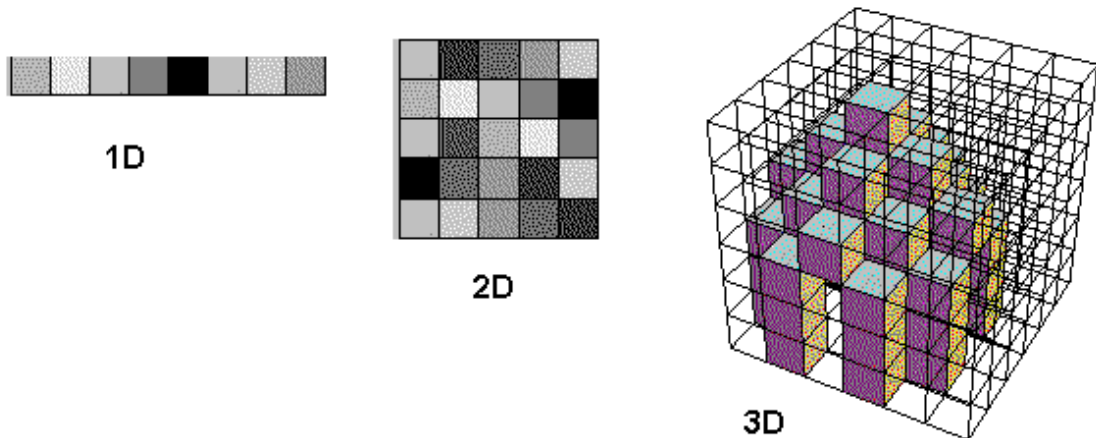


Figura 2.5: Representação Unidimensional (1D), Bidimensional(2D) e Tridimensional (3D) de um Autômato Celular. Fonte: (Leite, Lins e Cerqueira, 2005)

2.2.3 Vizinhança

A vizinhança é a determinação da fronteira que cada célula terá dentro da grade. Existem algumas configurações que definem quais serão as direções em que ocorrerá o processo evolutivo dos estados das células. Por exemplo, a vizinhança de Neumann (Figura 2.6), Moore (Figura 2.7), Moore Estendida (Figura 2.8) e Aleatória (Figura 2.9). Nestas figuras, a representação das cores em escala de cinza refere-se ao processo de interação ao longo do tempo (Tempo 1 e Tempo2). O conceito de vizinhança especifica quais serão os vizinhos de uma célula, pois as regras de transição serão aplicadas baseadas nos estados da vizinhança e da própria célula considerada.

A vizinhança de Von Neumann ocorre com quatro células: células acima, abaixo, da direita e da esquerda de cada célula. O raio (r) desta definição é 1, porque somente a camada seguinte será considerada.

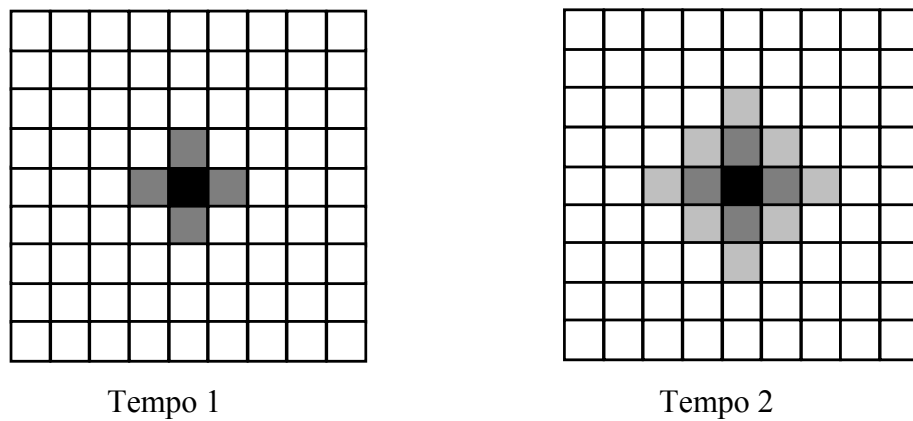


Figura 2.6: Vizinhaça de Neumann

A vizinhaça de Moore é uma ampliação da vizinhaça de Neumann, onde as diagonais também são consideradas como células vizinhas. Neste caso, o raio será $r=1$.

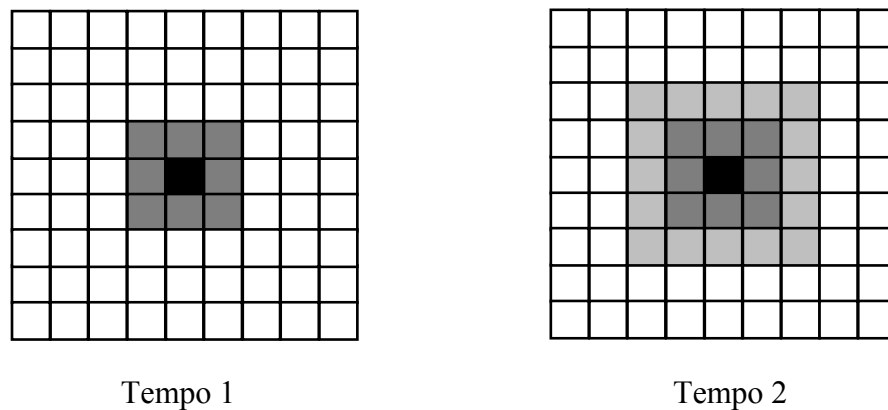


Figura 2.7: Vizinhaça de Moore

A vizinhaça entendida de Moore é equivalente à descrição da vizinhaça de Moore já descrita, porém com um alcance maior de vizinhaça de células, com $r = 2$.

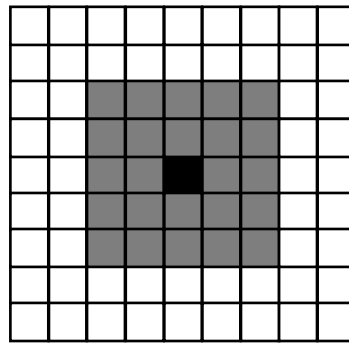


Figura 2.8: Vizinhança de Moore Estendida

Na vizinhança aleatória, as células ficam espalhadas pela grade de forma não ordenada.

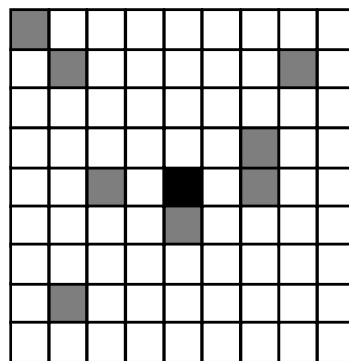


Figura 2.9: Vizinhança Aleatória

A grade do AC teoricamente pode ser finita ou infinita. Normalmente, em simulações em computadores, esta é considerada finita. As grades infinitas podem ser analisadas em nível matemático, pois não possuem limitações laterais. Entretanto, grades finitas devem definir as condições de limite para saber o que acontece nas bordas. A questão a ser analisada é que as células da borda possuem vizinhanças incompletas. De acordo com (Pfeifer, Kunz e Weber, 2002), há três possibilidades de resolver este problema:

- A primeira é supor que existam células "invisíveis" ao redor da grade com um estado predefinido (Limite fixo);
- A segunda é supor que as células da borda são vizinhas das células da borda oposta (Limite periódico);

- A terceira é assumir que células da borda são refletidas internamente a grade (Limite reflexivo).

O limite fixo é obtido simplesmente descrevendo como serão os estados das células no contorno da grade, e esses estados serão mantidos durante todo instante da interação (Figura 2.10). As células invisíveis estão representadas em cinza claro.

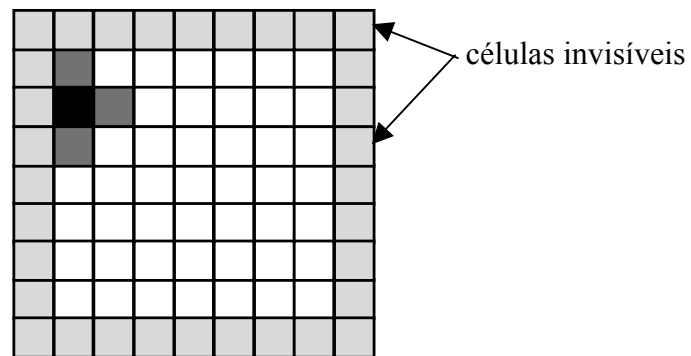


Figura 2.10: Representação Fixa da Borda

O limite periódico é representado quando há uma extensão da grade de forma que cada célula da borda tenha uma célula vizinha (Figura 2.11)

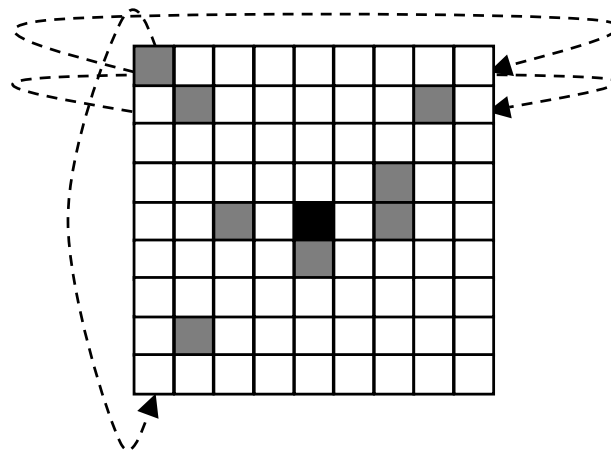


Figura 2.11: Representação da Vizinhança Periódica

O limite reflexivo é representado quando cada célula da borda difunde internamente a grade, de forma a simular uma vizinhança completa (Figura 2.12)

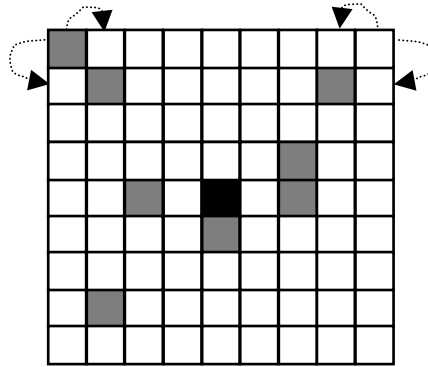


Figura 2.12: Representação da Vizinhança Reflexiva

2.2.4 Estados

As células possuem um conjunto de variáveis que podem mudar em qualquer interação. Os valores das variáveis de uma célula específica são responsáveis, a cada interação, por determinar o tipo de estado corrente. A união dos estados de todas as células forma o estado global, ou a configuração geral do AC.

O estado é um indicador de célula com função de mostrar os valores diferentes de cada célula. Este pode também ser representado em forma de número, ou como propriedades. Por exemplo, uma célula, em um determinado contexto, pode representar o estado com o número de animais de cada localidade, ou um tipo de floresta que esteja crescendo em uma região (Pfeifer, Kunz e Weber, 2002).

2.2.5 Regras

Até o presente momento as células foram apresentadas como dispostas em uma grade, onde ocorre apenas a representação da célula em seu estado de estática. Para proporcionar uma dinamicidade no sistema, torna-se necessário a inclusão de regras. O objetivo destas regras, em princípio, é definir o próximo estado das células para a etapa subsequente. Assim, em automata celulares uma regra define o estado de uma célula em função do vínculo apresentado em relação à sua vizinhança (Schatten, 2005).

Cada célula tem um conjunto de regras locais. Dado o estado da célula e os estados das células de sua vizinhança, estas regras determinam o estado da célula no próximo passo. É importante notar que os estados de todas as células são atualizados

simultaneamente (sincronizadamente) baseados em valores (momentâneos) das variáveis de sua vizinhança, de acordo com as regras locais. Se todas as células tiverem o mesmo conjunto de regras, o AC pode ser dito como homogêneo (Pfeifer, Kunz, Weber, 2002). Neste trabalho considerou-se um AC homogêneo.

2.2.6 Interação

A interação, dependendo do conjunto de regras, ocorre quando a célula faz uma leitura dos estados atuais da suas células vizinhas. Sequencialmente, esta executa as instruções características que lhe foram conferidas. Isto se dá de célula em célula, pois assim que todas tiverem lido essas mesmas instruções, dá-se início à próxima interação. Um exemplo ilustrativo mostra a evolução de interação (Figura 2.13) entre as células, usando o conjunto de regras do Jogo da Vida (veja Seção 3.1.1).

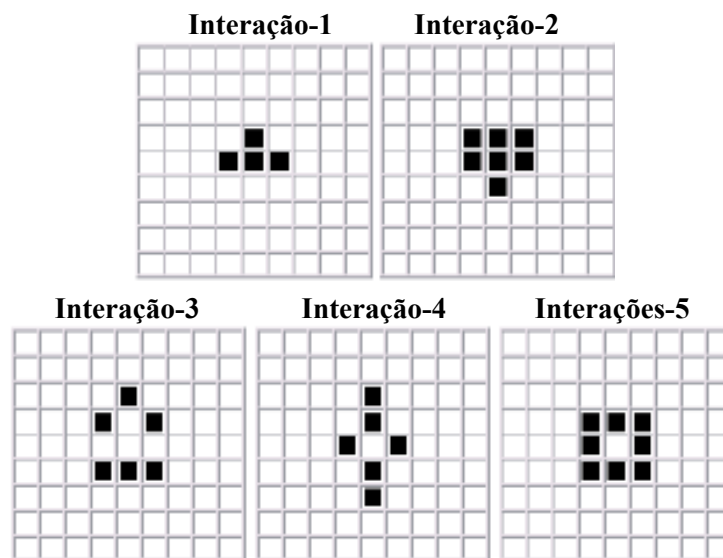


Figura 2.13: Exemplo de Interações

Um exemplo de resultado dinâmico macroscópico de uma interação local é "a onda", formada por torcedores de forma seqüencial em estádios. Cada pessoa reage somente no "estado" após a percepção de seu(s) vizinho(s). Se estiverem em pé, o vizinho seguinte também ficará em pé e após um pequeno instante volta a se sentar novamente. A interação local conduz à dinâmica global (Schatten, 2005).

2.2.7 Classes Celulares

Segundo (Wolfram, 1984), há quatro classes que definem como se dá a evolução das células em função das regras, a partir das configurações iniciais. São eles: classe de pontos limites, ciclo limite, caótica e comportamento complexo.

A primeira classe é denominada “Pontos Limites”. Nesta classe um autômato, após um número finito de interações, alcança um único estado. Ou seja, a evolução leva a um estado homogêneo, no qual todas as células eventualmente alcançam o mesmo valor.

A segunda classe é a de “Ciclo Limite”. Nesta classe os automata geralmente criam imagens que se repetem periodicamente, com poucos períodos ou imagens estáveis.

A terceira classe é a “Caótica”. Nesta classe os automata conduzem a padrões aperiódicos.

Por fim, a quarta é denominada classe do “Comportamento complexo”. Nesta classe os automata celulares, após um número finito de interações, normalmente morrem. Entretanto é possível a aparição de padrões estáveis, como os gerados pela segunda classe.

2.2.8 Estado Inicial

O comportamento de um autômato é função de sua configuração inicial. Portanto a análise desta é fundamental para a previsão da forma como ele irá evoluir. Os valores iniciais das variáveis de estado são referenciados como configurações iniciais. Partindo destas condições iniciais, os automata evoluem no tempo, mudando seus estados através das regras locais.

Deve-se observar que existem determinados estados globais, que só podem ser assumidos por um autômato no instante de sua inicialização, ou seja, que não podem ser atingidos durante o curso de sua evolução (Barone et al., 2003).

2.3 Formalismo

O texto desta seção está baseado em (Barone et al., 2003). De acordo com (Wiemar, 2000) apud (Barone et al., 2003), é possível definir um autômato celular da seguinte forma:

- 1) Seja L um reticulado regular (os elementos de L são chamados de células);
- 2) S um conjunto finito de estados;
- 3) N um conjunto finito (de tamanho $|N| = n$) de índices vizinhos, tal que para todo r em N e todo c em L : $r+c$ está em L ;
- 4) $f: S^n \rightarrow S$ uma função de transição.

A 4-tupla (L, S, N, f) é denominada autômato celular. Defini-se aqui que um reticulado é regular se é uma rede periódica de um espaço de dimensão d , e os elementos do reticulado, as células, preenchem o espaço completamente, e ao se transladar o reticulado em d direções independentes, obtendo-se o mesmo reticulado.

Uma configuração $C_t: L \rightarrow S$ é uma função que associa um estado a cada célula do reticulado. O efeito da função de transição f deve mudar a configuração C_t na nova configuração C_{t+1} , de acordo com a seguinte equação:

$$C_{t+1}(r) = f(\{C_t(i) \mid i \in N(r)\})$$

Onde $N(r)$ é o conjunto de vizinhos da célula r .

$$N(r) = \{i \in L: r-i \in N\}$$

Em aplicações práticas, os reticulados são apresentados em um tamanho finito. A definição dos vizinhos de cada célula depende do problema a ser resolvido (Wiemar, 2000) apud (Barone et al., 2003).

2.4 Aplicações de Automata Celulares

De acordo com (Sipper, 1999), a computação celular se baseia em três princípios: simplicidade, paralelismo e localidade. A célula, unidade fundamental de um sistema celular, possui um conjunto de atributos extremamente simples e realiza poucas

tarefas. Um aspecto poderoso desta estrutura de dados é o alto grau de conectividade existente entre as células. Nestes sistemas, uma célula pode se comunicar com suas vizinhas, trocando informações. Entretanto, nenhuma célula tem uma visão geral do sistema, o que caracteriza estes sistemas como descentralizado. Portanto, sistemas celulares têm como aplicações potenciais sistemas em que a ordem global emerge de ações locais, tais como sistemas biológicos. O paralelismo é um ponto controverso na computação celular, assim como em outras áreas da computação. O paralelismo é desejado, mas dificilmente atingido em um grau satisfatório, devido à falta de ambientes computacionais estritamente paralelos. Entretanto, mecanismos artificiais permitem acelerar o desempenho de tais sistemas através da sincronização das ações.

Em um espaço celular as relações espaciais entre as células se dão no espaço próximo, onde as relações de vizinhança desempenham um papel determinante. O tamanho e a configuração (forma) de uma vizinhança podem variar de sistema para sistema, de modelo para modelo, e de variável para variável. Entretanto, na maioria dos sistemas existentes a vizinhança é tratada de forma estacionária, isto é, os vizinhos de uma célula estão sempre dispostos nas mesmas direções (norte, sul, leste, oeste). Outro ponto importante no modelo celular é a necessidade de gerenciar uma variedade de escalas. As operações celulares podem se dar em escala local (por célula), zonal (por região) e global (por plano de informação).

Os problemas que podem ser modelados utilizando a teoria de AC possuem as características apresentadas anteriormente. Nas próximas subseções serão apresentadas algumas áreas onde a teoria de AC é aplicada.

2.4.1 Automata Celulares na Música

Segundo (Miranda, 2000), a música tem sido um campo interessante para a aplicação das descobertas científicas, convidando compositores a combinar a criatividade artística com os métodos científicos. Hoje está tornando-se cada vez mais freqüente a presença de compositores envolvidos em ciência, no intuito de conhecer novas áreas ou melhorar seus métodos de composição. Pelo mesmo motivo, os cientistas parecem também mostrar interesse nos princípios organizacionais que podem

ser mostrados na música.

Em (Miranda, 2000) tem-se a introdução de dois sistemas musicais baseados em AC: o CAMUS e Chaosynth. CAMUS usa o plano cartesiano a fim de representar uma tríade. Neste contexto, uma tríade é um conjunto de três notas musicais, que podem ou não soar simultaneamente. Estas três notas são definidas em função das distâncias entre elas, ou em intervalos determinados segundo a teoria musical. A coordenada horizontal do modelo representa o primeiro intervalo de tríade, e a coordenada vertical representa seu segundo intervalo da tríade, conforme a Figura 2.14. Para começar o processo de produção musical, o AC é ajustado inicialmente com uma configuração aleatória. Após uma determinada interação, quando um autômato torna-se vivo, as coordenadas da célula são analisadas para gerar os intervalos e compor a tríade.

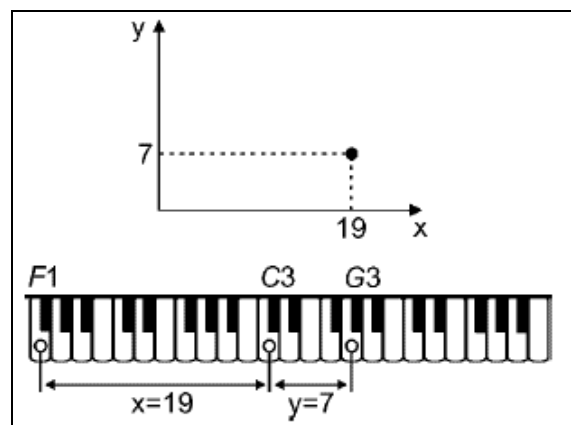


Figura 2.14: Representação dos Intervalos Musicais

Chaosynth é essencialmente um sintetizador granular que trabalha com a geração de uma sucessão rápida de explosões sonoras de curta duração. Essas explosões são chamadas *granules*, e juntas formam eventos sonoros maiores. Os resultados tendem a gerar um grande senso de movimento e fluxo de som.

O Chaosynth usa AC que gera padrões celulares que tendem a evoluir inicialmente, de forma aleatória, para um ciclo oscilatório (Figura 2.15). O resultado é um conjunto de imagens que servem para controlar o ciclo e a duração de simulações de ondas.

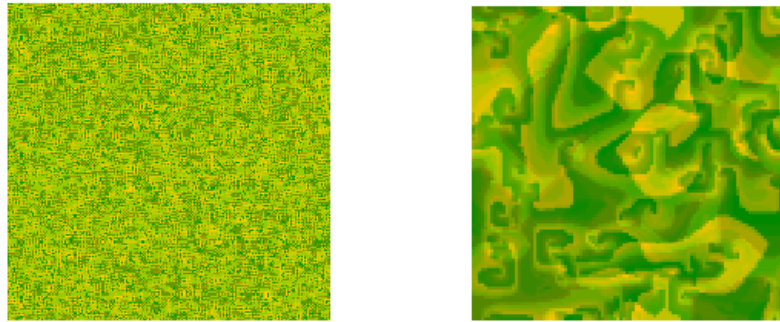


Figura 2.15: Representação da utilização de CA em Chaosynth – A imagem à esquerda mostra a distribuição aleatória das células na grade; e à direita mostra os padrões gerados pelo ciclo oscilatório

2.4.2 Automata Celulares em Sistemas de Informação Geográficas

O trabalho de (Pedrosa, 2003) apresenta TerraML, um ambiente computacional para modelagem dinâmica espacial a ser usado em aplicações ambientais. TerraML baseia-se num modelo celular de representação do espaço, utilizando o paradigma de automata celulares para abstrair operações de elementos de sistema dinâmico. As operações celulares podem se dar em escala local (por célula), zonal (por região) e global (por plano de informação). A integração de processos multi-escala pode ser facilmente implementada com distribuição uniforme dos dados.

Para capturar os dados e ações à distância, TerraML adota o conceito de vizinhança generalizada, implementada como uma matriz de proximidade, definida a partir de cálculos de distâncias entre as células ou a partir de redes de transporte. A análise de rede de transporte é importante, pois em muitos fenômenos do mundo real, relações de influência se estabelecem com base em redes de transporte. Como exemplo, considere o processo de mudança no uso do solo da Amazônia. Este processo é condicionado pela ocupação urbana, que por sua vez, é fortemente determinada pela rede de transporte (rios e rodovias) da região, como mostra a Figura 2.16 (rede de transporte esta marcada em vermelha e os assentamentos urbanos em branco).

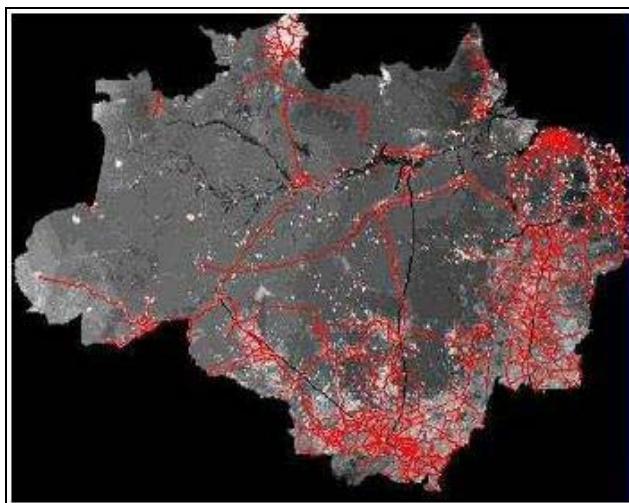


Figura 2.16: Ocupação urbana e rede de transporte da Amazônia. Fonte: (Pedrosa, 2003)

Segundo Pedrosa (2003), automata celulares são eficientes para representar sistemas em que a ordem global emerge de ações locais e descentralizadas. Entretanto, em Sistemas de Informações Geográficas, do Inglês Geographic Information Systems (GIS), a ordem global depende também de ações à distância. A fim de superar esta limitação, e acomodar ações à distância, várias extensões à noção de autômato celular clássico têm sido propostas. Em TerraML, usou-se a abstração de um autômato híbrido para modelar as transições e modos de controle do sistema. Desta forma, além da vizinhança e de conjunto de células, um autômato híbrido possui um conjunto de modos de controle e um conjunto de transições.

3 Vida Artificial e Automata Celulares

O termo Vida Artificial foi citado pela primeira vez pelo pesquisador Christopher Langton, na década de 80, a fim de especificar uma nova ciência emergente (Langton, 1995). Langton coloca em discussão conceitos que eram tidos como explicados pela ciência, isto é, conceitos físicos e biológicos acerca da vida e todas as suas etapas. Tradicionalmente, o conceito de vida tem sido identificado por uma coleção de materiais que observam certas listas de propriedades, tais como: metabolismo, adaptação, autonomia, crescimento, auto-suficiência, replicabilidade, reatividade (irritabilidade), evolução, etc (Ronaldo e Cordenonsi, 2002).

A Vida Artificial, ou Alife (Artificial Life) como é conhecida no Inglês, surgiu da mistura de várias disciplinas. Inicialmente, foi considerada apenas como um movimento passageiro de crítica às teorias clássicas. Porém, conseguiu reconhecimento acadêmico e atualmente é o principal pivô da recuperação das antigas introspecções sobre a realidade de um mundo cibernético e a construção de vida in sílico na área de Vida Artificial (Calegari e Nagel, 2003).

A Vida Artificial tem por objetivo estudar a vida natural, tentando reproduzi-la por meios artificiais. Ao contrário da Biologia, que individualiza os organismos para ver como estes funcionam, a Vida Artificial tenta agrupar sistemas que se comportem como organismos vivos, sendo capaz de contribuir com a Biologia mudando sua visão de “a vida como ela é” para uma visão mais abrangente da “vida como ela poderia ser”.

A seguir tem-se uma apresentação dos trabalhos dos matemáticos John Conway e Langton na área de Vida Artificial.

3.1 John Conway

O Jogo da Vida foi inventado pelo matemático John Conway em 1970. Conway explorava a idéia do construtor universal, de forma que uma máquina hipotética pudesse construir cópias de si mesma. Este assunto começou a ser estudado primeiramente pelo matemático John Von Neumann nos anos 40. Como visto na Seção 2.1.1, Neumann criou um modelo matemático cuja máquina seria baseada em uma

grade cartesiana, com as suas células podendo assumir vinte e nove (29) estados. Conway simplificou este modelo criando o conhecido "Jogo da Vida" (Reed College Artificial Life Project, 2005).

O Jogo da Vida é um autômato celular bidimensional governado por regras simples que definem nascimentos, mortes e sobrevivências de células. Cada uma das células do universo bidimensional pode estar em dois estados possíveis: viva ou morta. Começando-se com um padrão inicial dado às células vivas, pode-se empregar as regras de Conway a fim de determinar o comportamento geral do universo sobre qualquer número de gerações. Se uma célula sobrevive, morre ou nasce isto será determinado pelo número de vizinhos vivos ao redor de uma célula (Conway's Game, 2005).

Conway escolheu regras com cuidado após ter tentado inúmeras possibilidades. Algumas delas fizeram com que células morressem rapidamente, e outras com que nascessem. O Jogo da Vida equilibra estas tendências de forma a testar, pela lei de sobrevivência, se todas as células morrerão completamente, ou se darão forma a uma população estável, ou se crescerão para sempre (Conway's Game, 2005).

3.1.1 Critérios de Conway

Segundo Conway, a idéia básica do Jogo da Vida é iniciar com uma configuração simples dos organismos, de uma a uma célula. Em seguida, observar como ocorre a mudança quando se aplicam as leis que determinam nascimentos, mortes e sobrevivências.

Embora as regras de Conway pudessem, inicialmente, parecer um tanto arbitrárias, estas não vieram por acaso. Conway seguiu uma série de critérios específicos de forma que direcionassem seu estudo em de busca de regras que não conduzissem a qualquer comportamento caótico, ou de crescimento infinito, ou de rápida estabilidade. Em seguida, procurou acertar as regras as quais permitissem aos objetos que crescessem e mudassem por muito tempo antes de se estabilizarem Usando estes critérios, chegou às regras que ditariam o Jogo da Vida. Ao final, Conway chegou aos seguintes critérios (Reed College Artificial Life Project, 2005):

- Não deverá haver nenhum teste inicial de forma a garantir que exista uma prova de que a população possa crescer sem limites;
- Devem ser aplicados testes padrões iniciais que, aparentemente, façam crescer sem limite;
- Deve haver testes iniciais simples para que as células cresçam e mudem por um período de tempo considerável, antes de pararem seus movimentos em três maneiras possíveis:
 - ✓ Desaparecendo completamente (por superlotação ou por escassez);
 - ✓ Fixando-se em uma configuração estável, de forma imutável;
 - ✓ Ou incorporando uma fase oscilatória que se repete por um ciclo infinito de dois ou mais períodos.

3.1.2 Regras de Conway

As três observações apresentadas por Conway, na Seção 3.1.1, objetivaram fazer com que o comportamento da população fosse imprevisível. Inicialmente, cada célula do tabuleiro pode ter oito células vizinhas. As regras definidas para o Jogo Vida envolvem três tópicos: sobrevivência, nascimentos e mortes.

A regra de sobrevivência de células pode ser descrita como: cada célula com duas ou três células vizinhas sobrevive (Figura 3.1).

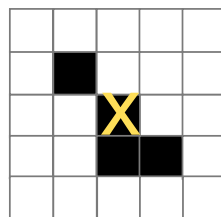


Figura 3.1: Sobrevivência da Célula – O “x” indica qual célula irá sobreviver na próxima interação

A regra de nascimento de células pode ser descrita como: cada célula, com exatamente três vizinhos, nasce na próxima fase conforme ilustra a Figura 3.2.



Figura 3.2: Nascimento da Célula - O “x” indica qual célula irá nascer na próxima interação. O preenchimento do quadrado mostra a nova célula

A regra para a morte de células pode ser descrita como: cada célula com quatro ou mais vizinhos morre por superpopulação. Cada célula com menos de um vizinho também morre por isolamento. A Figura 3.3 mostra quatro exemplos para morte das células.

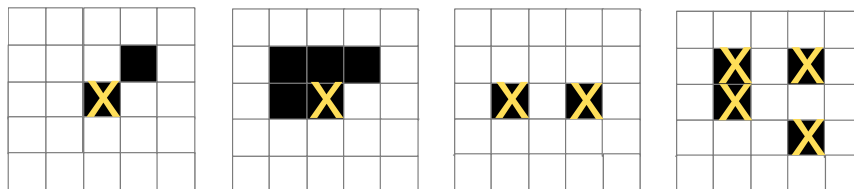


Figura 3.3: Morte de células - O “x” indica quais células morrerão na próxima interação

É importante compreender que todos os nascimentos e mortes ocorrem simultaneamente. Juntos constituem uma única geração ou um "movimento", na “hipótese de vida” a partir da configuração inicial do Jogo da Vida.

3.1.3 Padrões de Comportamento

Alguns objetos comuns no Jogo da Vida permanecem os mesmos, de etapa em etapa. Esses objetos podem ser estáveis ou oscilatórios. Os objetos estáveis ocorrem quando nenhuma célula viva tende a morrer, e nenhuma célula tende a nascer. Como exemplo tem-se o block (Figura 3.4), beehive (Figura 3.5), boat (Figura 3.6), ship (Figura 3.7), loaf (Figura 3.8) (Conway’s Game, 2005).

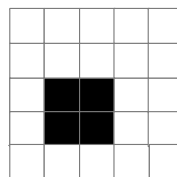


Figura 3.4: Objeto Block

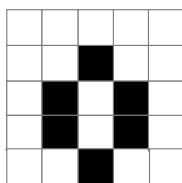


Figura 3.5: Objeto Beehive

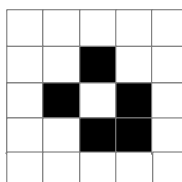


Figura 3.6: Objeto Boat

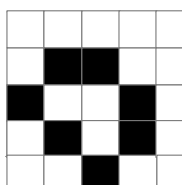


Figura 3.7: Objeto Ship

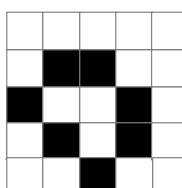


Figura 3.8: Objeto Loaf

Os objetos oscilatórios comuns, tais como blinker (Figura 3.9) e toad (Figura 3.10), são formas que mudam da etapa em etapa até atingir um ciclo constante. O tipo mais simples são os osciladores de dois períodos, ou aqueles que se repetem após duas etapas.

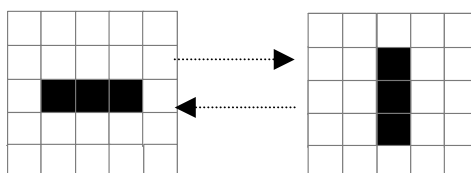


Figura 3.9: Objeto Blinker

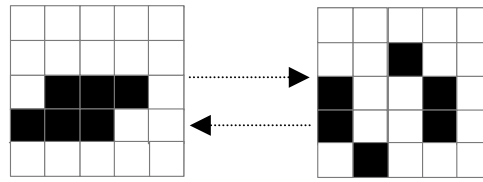


Figura 3.10: Objeto Toad

3.1.4 Jogo da Vida e Vida Artificial

O universo de Conway é um exemplo clássico da Vida Artificial. Outros modelos da vida artificial são significativamente mais complexos que o Jogo da Vida, mas é notável como muitas das capacidades características destes já estão no Jogo da Vida. Conway tem mostrado que as formas de vida como a dos *gliders* (Figura 3.11) podem ser usados para a criação de portas lógicas fundamentadas na Máquina de Turing. (Reed College Artificial Life Project, 2005).

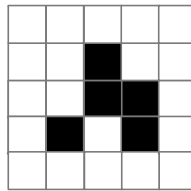


Figura 3.11: Objeto Gliders

De acordo com (Emmeche, 1994) em sua visão sobre vida artificial em *The Garden in the Machine*, relata que “... pode ser mostrado explicitamente que teoricamente é possível ser implementado, em um simples jogo, a complicada reprodução de Von Newman”.

Mesmo que o Jogo da Vida não seja um instrumento que simule uma vida real, o fenômeno pode ser desvendado por meio deste jogo, pois ele oferece uma infraestrutura básica para análise de testes e hipóteses. Além disso, o Jogo da Vida é uma boa ferramenta com a qual alguns conceitos podem ser estudados como, por exemplo, a complexidade de sistemas (Reed College Artificial Life Project, 2005).

3.2 Langton

Christopher G. Langton foi graduado em Antropologia e Filosofia pela Universidade do Arizona e recebeu seu PhD em Ciência da Computação pela Universidade de Michigan, com o tema “Computação no Limite do Caos”. É editor responsável pelo “*Artificial Life Journal*”, publicado pela MIT Press. Langton organizou o primeiro simpósio de Vida Artificial em Los Alamos em 1988, e tem sido o principal organizador de muitos dos simpósios posteriores em Vida Artificial. Sua pesquisa envolve arquiteturas computacionais para estudos em Vida Artificial, medidas formais de complexidade, sistemas dinâmicos distribuídos, automata celulares, morfologia da evolução e as origens da vida. Langton é autor de vários livros sobre o tema Vida Artificial, dentre eles “*Artificial Life: An Overview*” apud (Langton, 1995) que sintetiza a história da pesquisa realizada em Vida Artificial até recentemente (Neves, 2003).

Na tentativa de propor uma versão menos complexa do autômato auto-reprodutor de Neumann, Langton optou por desinteressar-se pela construção de um computador para fins genéricos, focando preferencialmente suas atenções na construção de uma configuração mais simples que pudesse reproduzir-se pelos mesmos meios que os seres vivos (Guilhoto e Rosa, 2005).

O autômato de Langton lembra a letra “q”. Sua estrutura era similar a um quadrado com uma cauda curta, que foi batizada de “Argolas” (veja Figura 3.12). Estas eram compostas por três camadas: o isolador externo, interno e o núcleo. A camada exterior era constituída por uma cadeia de células com uma representação de estado igual a 2. O núcleo era constituído por células que transportava a informação necessária para a reprodução. Em cada geração, as células da parte interna obedeciam a regras que afetavam o estado das células vizinhas e propagavam os sinais, de forma efetiva, por meio do fluxo genético do núcleo. Estes sinais eram propagados em sentido anti-horário e, toda vez que era lido um estado representado numericamente por 7 no final da cauda, a mesma era aumentada por uma unidade; por sua vez, um estado 4 lido no final da cauda gerava um canto na mesma e os estados 0 e 1 não alteravam o fenótipo (Barone et al., 2003).

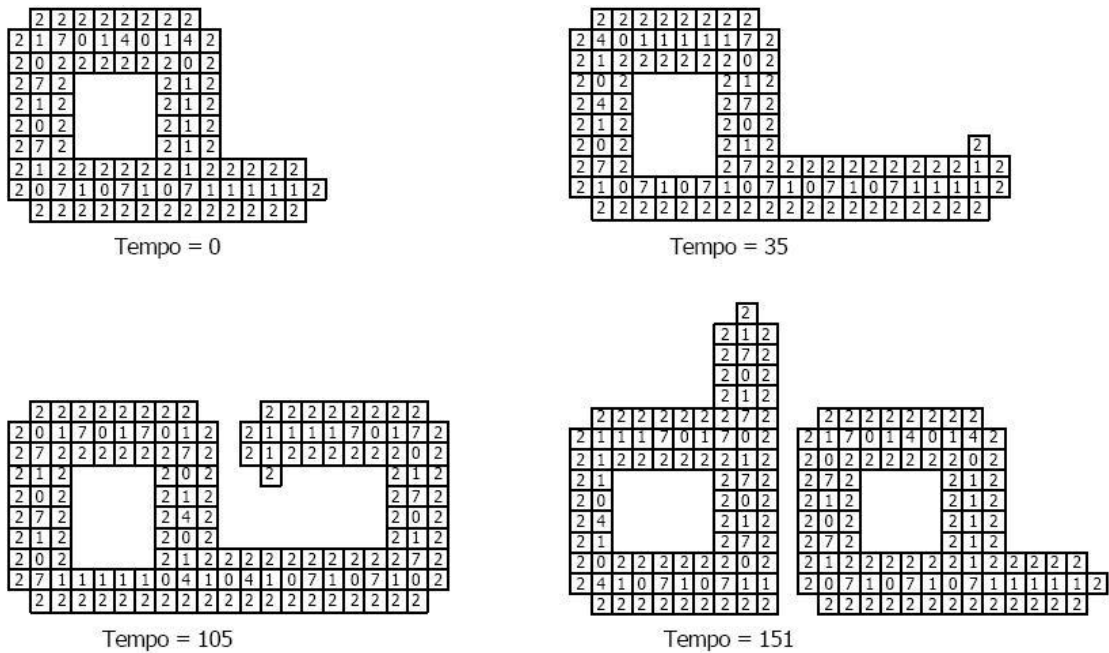


Figura 3.12: Autômato Reprodutor de Langton

Langton observou uma estrutura emergente. Ou seja, quando o ciclo da argola começava, as argolas novas e as suas progenitoras formavam uma espécie de colônia. Após a primeira argola fornecer uma descendente, tanto o ancestral como o descendente iniciavam uma outra reprodução. A ancestral iniciava uma outra forma descendente para o norte, e a primeira descendente para leste. Mas, à medida que novas argolas eram criadas, algumas das mais velhas, completamente rodeada de descendentes, se tornavam incapazes de reproduzir mais herdeiros. A partir destas características, Langton provou que automata podem reproduzir padrões auto-reprodutivos gerados espontaneamente de regras simples, sem serem construtores universais.

4 Sociedade Artificial *Fight4Life*

Neste capítulo tem-se a apresentação da sociedade artificial *Fight4Life*, que objetiva ser uma bancada de testes para a elaboração e análise de mecanismos presentes no fenômeno da luta pela sobrevivência. Esta sociedade utiliza a teoria de AC em sua construção, tendo presente características tais como:

- Presença de comportamentos complexos, gerados a partir de regras simples
- Comportamentos coletivos gerados a partir do conceito de vizinhança

Neste capítulo será descrito detalhadamente o protótipo desenvolvido, explicando a sua funcionalidade e demais características. A Seção 4.2 aborda a modelagem do autômato utilizando conceitos de Vida Artificial e descreve a sua estrutura geral, citando as regras de transição, seus estados, e o tipo de células que compõem a grade. Na Seção 4.3 são realizados testes estratégicos que simulam cenários caracterizados pela distribuição inicial de energia entre os dois tipos de elementos da grade. São analisados e discutidos os resultados obtidos.

4.1 Simulador de Automata Celular

O protótipo da sociedade artificial *Fight4Life* foi desenvolvido no simulador de AC desenvolvido pelo Departamento de Ciência da Computação da Universidade da Virginia (Extreme Life, 2003). Este simulador está codificado na linguagem de programação Java, sendo de código aberto. Desta forma, foi possível a adaptação do protótipo *Fight4Life* de acordo com as necessidades da modelagem a ser desenvolvida.

Este simulador contém módulos que fornecem uma interface gráfica, a qual permite a visualização da grade celular como um todo (Figura 4.1a) e as mudanças de estados subsequentes da aplicação de regras. Cores distintas são utilizadas para diferenciar células de acordo com o seu estado a cada interação (Figura 4.1b). Além da interface gráfica há ainda a listagem em linha de comando das operações realizadas em cada interação (Figura 4.1c), o que permite visualizar as perdas e ganhos de energia de cada célula da grade, os ataques e restabelecimentos sofridos, entre outras informações

A tela de visualização do protótipo oferece três opções de interação do usuário com o sistema:

- **Botão Iniciar:** Deve ser pressionado para comandar o início das interações. Uma vez pressionado, as interações são visualizadas consecutivamente com as devidas transições de estados.
- **Botão Passo:** Dá início às interações, porém passo a passo, ou seja, a cada interação que se deseja visualizar, o botão deve ser pressionado;
- **Botão Parar:** Finaliza as interações no momento em que é pressionado, independente do número de interações que já ocorreram. É pressionada para parar o ciclo iniciado pela pressão do **Botão Iniciar**. É importante explicar que pode ocorrer uma situação na qual o sistema pode estar visualmente parado sem que o **Botão Parar** tivesse sido pressionado. Isto ocorre quando se chega a um ponto em que o sistema se torna relativamente estável e as transições de estado não são suficientemente significativas para gerar uma mudança na visualização;
- **Botão Limpar:** Limpa a configuração atual da grade e restabelece a configuração inicial do sistema.

4.2 Modelando a Sociedade Artificial *Fight4Life*

Como visto no Capítulo 3, a área de Vida Artificial objetiva simular em ambientes computacionais os princípios da estrutura de organismos vivos. Além disto, esta área procura ir além da “a vida como ela é” para um possível cenário onde se consiga obter “a vida como ela pode ser”. Neste sentido os modelos desenvolvidos podem ser abstratos a ponto de não representarem ambientes e/ou organismos previamente conhecidos. De acordo com (Marietto et al., 2004), a simulação de modelos em tal nível de abstração visa testar teorias e/ou hipóteses, sem um comprometimento com uma validação empírica. A validação aqui dar-se-ia em um nível conceitual do modelo proposto. Tais simulações, neste nível de abstração, recebem o nome de **sociedades artificiais**.

Dentro deste contexto, nesta seção tem-se a apresentação de uma sociedade artificial denominada *Fight4Life*. A proposta é simular, ainda que de forma rudimentar, mecanismos utilizados na “luta pela vida”. Trata-se da simulação do comportamento da reação de um organismo biológico ao ataque de outros organismos.

Esta sociedade artificial é composta por um organismo vivo denominado ProtCell, formado por uma parte externa e uma parte central. A Figura 4.2 ilustra tal organismo.

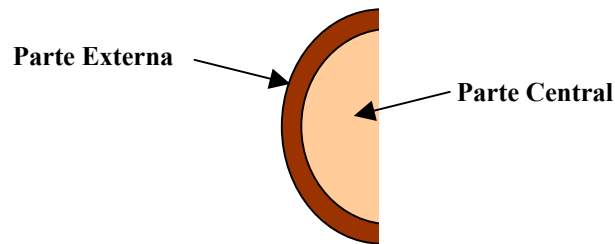


Figura 4.2: Estrutura do Organismo ProtCell

A parte central contém os componentes principais deste organismo, e por isto deverá ser protegida por sua parte externa. Na sociedade artificial *Fight4Life* haverá apenas um organismo ProtCell. O outro organismo que compõe a sociedade é denominado ProtVirus, que tem por objetivo atacar o organismo ProtCell. Na sociedade *Fight4Life* haverá doze (12) organismos deste tipo.

Ambos organismos são alocados em uma grade bidimensional 4x4, sendo que nas bordas estão alocados os ProtVirus, e no núcleo da grade está alocado o ProtCell. Veja a Figura 4.3, que representa os organismos ProtCell com a letra C e os ProtVirus com V. A quantidade de organismos do tipo ProtCell e ProtVirus baseou-se nesta disposição bidimensional, visando simular um ataque concentrado das bordas em direção ao núcleo.

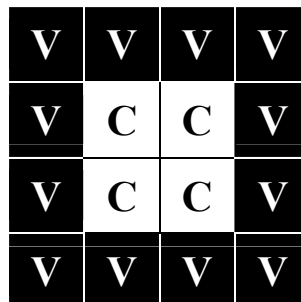


Figura 4.3: Representação dos Organismos ProtCell e ProtVirus na Grade do Autômato Celular

Os mecanismos de interação entre os organismos na sociedade *Fight4Life* obedecem aos princípios de AC, no sentido de que há uma estreita interação entre organismos vizinhos: o atual estado de um organismo deve poder afetar o estado de seus vizinhos, e vice-versa. Assim, nas próximas seções tem-se a explicação do modelo da sociedade artificial proposta, utilizando o ferramental teórico-técnico da área de AC.

4.2.1 Células

O autômato onde está representado a sociedade *Fight4Life* é composto por células quadrangulares. Adotou-se essa configuração por esta atender às necessidades da configuração espacial dos organismos da sociedade. Outro fator considerado foi sua simplicidade. Foi utilizada uma notação para cada célula da grade. A Figura 4.4 mostra as células com as respectivas notações.

Coluna	0	1	2	3
Linha 3	[0,3]	[1,3]	[2,3]	[3,3]
Linha 2	[0,2]	[1,2]	[2,2]	[3,2]
Linha 1	[0,1]	[1,1]	[2,1]	[3,1]
Linha 0	[0,0]	[1,0]	[2,0]	[3,0]

Figura 4.4: Células com as Respectivas Notações

Considerando o modo de notação [coluna,linha], as células das linhas 0 e 3 e as das colunas 0 e 3, que compõem a borda da grade, aloca os organismos ProtVirus (em amarelo); e as demais, que compõem o centro, representam o organismos ProtCell (em azul). Mais especificamente com relação ao ProtCell, as células [1,1] e [1,2] representam sua parte externa, e as células [2,1] e [2,2] representam sua parte central.

4.2.2 Grade

A grade é uma matriz quadrada de tamanho 4 x 4 e agrega dois conjuntos, em um total de dezesseis (16) células. A borda da grade totaliza doze (12) células e o núcleo é composto por quatro (4) células (Figura 4.5).

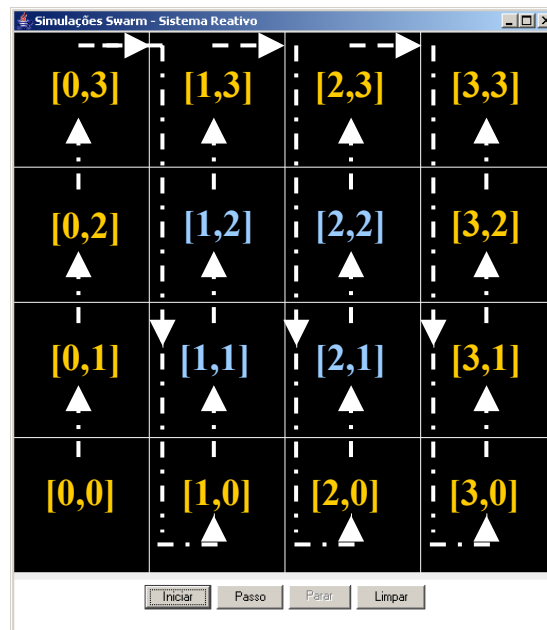


Figura 4.5: Grade do sistema – Direção da Aplicação das Regras

O autômato onde a sociedade *Fight4Life* será executada aplica regras em cada célula, percorrendo a grade de célula em célula. Como a primeira célula a ser analisada, por possuir denotação [0,0], é a localizada no canto inferior esquerdo da grade, a varredura pode ser dita realizada da esquerda para a direita, como mostra a Figura 4.5.

A utilização deste parâmetro de direção implica em um modelo no qual as células das posições [1,1] e [1,2], que representam a parte externa do organismo ProtCell, serão as primeiras a sofrerem tentativa de ataque. Apenas posteriormente as células centrais [2,1] e [2,2] serão atacadas. Esta seqüência procura simular um ataque a um organismo vivo que possui um mecanismo de defesa (parte externa do ProtCell) que procura proteger seus componentes vitais (parte central do ProtCell).

4.2.3 Vizinhança

A vizinhança do autômato desenvolvido é a de Moore. Ela é composta por oito (8) células: uma à esquerda, uma à direita, uma acima, uma abaixo e uma em cada extremidade diagonal, como é ilustrado na Figura 4.6 (a).

Pelo fato da grade utilizada neste trabalho possuir uma dimensão pequena, a maioria das vizinhanças é formada por um número reduzido de células. Por exemplo, as células das pontas da grade possuem uma vizinhança formada por somente de três (3) células (Figura 4.6 (b)); as das bordas, exceto as das extremidades, possuem cinco (5) células como vizinhas (Figura 4.6 (c)).

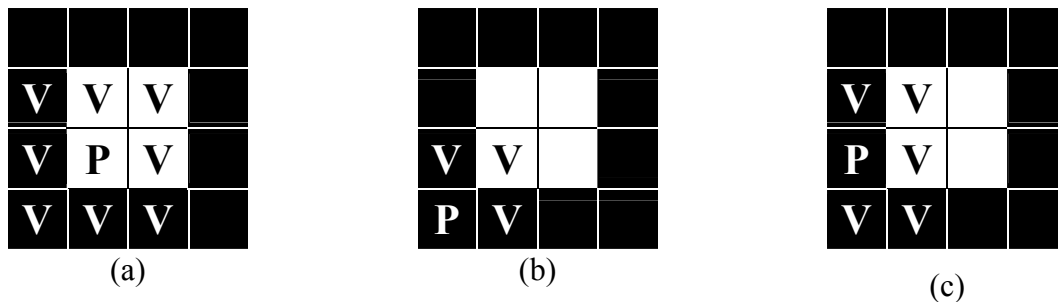


Figura 4.6: Representação das três formas de vizinhança onde a letra P representa a célula em questão (principal) e a letra V representa as respectivas células vizinhas

Como a grade possui células referentes à borda e ao meio, a vizinhança de uma célula sempre será composta por células de ambos os tipos, ou seja, do tipo borda e do tipo meio.

4.2.4 Estados

No contexto da vida biológica, grande parte dos fenômenos envolve trocas de energia entre os meios envolvidos, podendo a energia ser originada de diversas fontes tais como temperatura e mecânica. Na modelagem da vida artificial, um conceito semelhante pode ser utilizado a fim de caracterizar de forma mais adequada o comportamento artificial.

Na sociedade artificial *Fight4Life* o conceito de energia é utilizado como a

principal característica dos organismos modelados, servindo como parâmetro para determinar a continuidade (ou não) da vida e a possibilidade de ataque a outros organismos. A quantidade de energia é que determinará as transições entre estados, bem como a evolução global da simulação.

Cada célula terá um valor de energia inicial, que é alterado de acordo com as interações ocorridas entre os organismos. Os valores que a energia pode assumir estão restritos ao conjunto dos números Reais entre zero (0) e cem (100). Tais valores foram escolhidos objetivando estabelecer um grau de comparação intuitivo entre a “força” dos organismos. Os estados das células, do autômato considerado, são definidos de acordo com o seu valor de energia. A Tabela 4.1 descreve a classificação empregada.

Energia E	Estado	Cor
$20 > E$	Morto	Preto
$20 \leq E \leq 50$	Não-atacante	Amarelo
$E > 50$	Atacante	Verde

Tabela 4.1: Classificação dos Estados Possíveis

Como dito anteriormente, a transição de estado de uma célula é determinada pela quantidade de energia dessa célula e ocorre em função da interação entre ela e a sua vizinhança. No decorrer das mudanças de estado, as células podem ganhar ou perder energia, podendo chegar a um valor mínimo de 0 e máximo de 100 (o ganho de energia não é ilimitado).

O estado “morto” ocorre quando o organismo possui pouca energia, caracterizando uma situação onde o mesmo não poderá atacar outras células e nem ser atacado. O estado “não atacante” ocorre quando o organismo possui uma quantidade de energia suficiente para deixá-lo vivo, mas sem estrutura para atacar outros organismos. Por fim, o estado “atacante” caracteriza-se quando o organismo tem energia para permanecer vivo, bem como para atacar demais organismos que estiverem em sua vizinhança.

4.2.5 Regras

Como visto na Seção 3.1, as simulações e modelos em Vida Artificial não têm compromisso de terem qualquer relacionamento com alguma realidade empírica. Seu objetivo é o estudo da vida possível, mesmo que esta possibilidade não ocorra em ambientes fisicamente conhecidos (Calegari e Nagel, 2003). Na tentativa de modelar sociedades artificiais utilizando a infraestrutura técnico-teórica de AC, faz-se necessário construir um conjunto de regras determinísticas que expliquem o domínio de fenômenos que se quer representar. As regras criadas para o autômato celular da sociedade *Fight4Life* visam representar três mecanismos básicos presentes na luta pela sobrevivência. São eles:

- As perdas e ganhos de energia dos organismos
- O ataque de um organismo a outro
- A morte de um organismo

Nas próximas subseções tem-se a apresentação das regras a serem aplicadas nas células da sociedade *Fight4Life*. Todas as regras levam em consideração que cada célula (organismo) possui uma energia limitante inferior e limitante superior. O valor da energia variará no transcorrer das interações, e seu valor determinará o estado de cada célula.

4.2.5.1 Regra de Ataque

Para que a regra de ataque seja disparada é necessário que a célula considerada esteja no estado “atacante”. Nesta situação, para cada célula atacante (que pode conter um organismo ProtCell ou ProtVirus) os passos a seguir são executados:

1. Para cada célula, utilizando a informação da sua posição na grade, determina-se sua vizinhança;
2. Das células vizinhas são consideradas apenas as que não estiverem no estado “morto”. Vale ressaltar que cada célula vizinha viva já está rotulada como N (Núcleo) ou B (Borda), de acordo com a sua posição;
3. Tendo como base esta classificação em células do núcleo e células da borda,

é realizada uma busca por células vizinhas inimigas. Ou seja, células de tipo diferente ao da analisada. Destas células inimigas determina-se a célula com o menor valor de energia, e por isto mais propícia a ser atacada;

4. Esta célula é atacada pela célula que está atuando como atacante. O ataque ocorre na medida em que a célula atacada perde 1/5 de sua energia, e a energia da célula atacante é acrescentada de 1/5 da energia da célula atacada.

4.2.5.2 Regra de Recuperação da Energia

Qualquer célula da grade que possui um número de atacantes menor ou igual a dois (2) receberá um incremento equivalente a uma porcentagem da sua energia atual. Essa regra existe para tentar garantir que haja uma competitividade constante ao decorrer das interações.

4.2.5.1 Comportamento da Morte

A morte é um estado atingido por consequência de vários ataques e perdas de energia sofridas por um mesmo organismo. Uma célula que sofre consecutivos ataques pode perder energia até à sua insuficiência (valor de energia inferior a 20), chegando ao ponto de morrer, ou seja, transitando o seu estado de **não-atacante** para **morto**. As células, uma vez mortas, não participam mais do processo interativo, ou seja, não atacam, não são atacadas e nem ganham ou perdem energia, até o fim das interações.

4.3 *Fight4Life*: Simulando a Luta pela Vida

O objetivo da simulação de sociedades artificiais, como é o caso da sociedade *Fight4Life*, é verificar a validade de teorias e/ou hipóteses relacionadas ao ambiente modelado. Isto é feito através da definição de cenários que ilustrem tais teorias e/ou hipótese, com a posterior execução e análise dos resultados obtidos.

Como visto na Seção 4.2, a sociedade considerada visa simular mecanismos básicos presentes na luta pela sobrevivência. Visando validar preliminarmente o modelo conceitual da sociedade *Fight4Life*, três cenários foram construídos. Tais cenários estão descritos nas próximas subseções.

4.3.1 Cenário 1: Borda Forte *Versus* Núcleo Estável

O primeiro cenário a ser analisado considera a situação onde o organismo ProtCell está em uma posição de não atacante, e com energia igual a cinquenta (50). Esta configuração indica uma situação estável de tal organismo, pois não está em posição de ataque e possui um nível de energia intermediário. Considera-se que em tal situação o organismo ProtCell não se sente ameaçado pelos demais organismos ProtVirus.

Entretanto, agora ao redor do organismo ProtCell são alocados organismos ProtVirus, que formarão a borda do autômato celular. Esta borda terá uma característica de ataque, pois as células dos extremos da grade estão configuradas como atacantes, e com uma energia consideravelmente superior à energia das células do núcleo. A configuração inicial deste cenário está ilustrada na Figura 4.7.

60	35	35	60
35	50	50	35
35	50	50	35
60	35	35	60

Figura 4.7: Configuração Inicial do Cenário 1

O posicionamento das células atacantes da borda pode ser considerado privilegiado, pois todas as células do centro estão sendo atacadas simultaneamente (veja Figura 4.8).

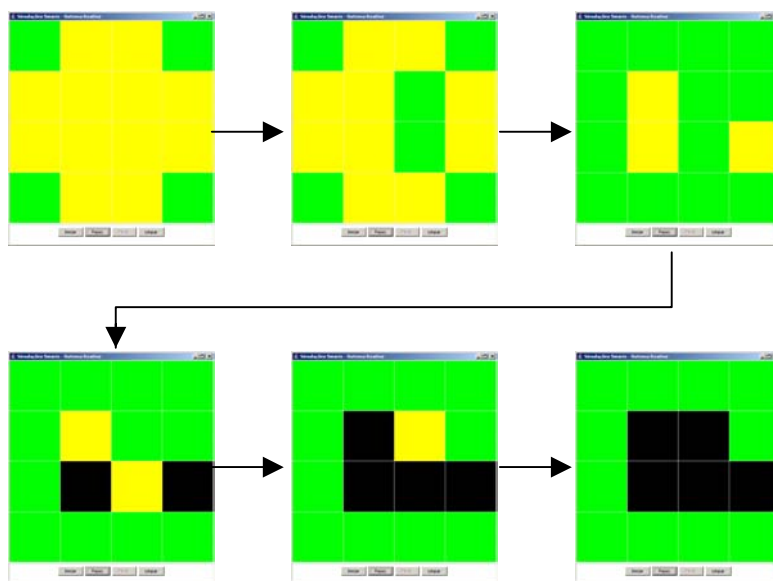


Figura 4.8: Seqüência de ataques das células da borda

A hipótese a ser testada neste cenário é que a configuração inicial da borda aqui proposta pode ser considerada “forte”, no sentido de que os organismos ProtVirus conseguirão matar o organismo ProtCell (em sua situação de estabilidade). O cenário foi executado e o resultado está apresentado na Figura 4.9.

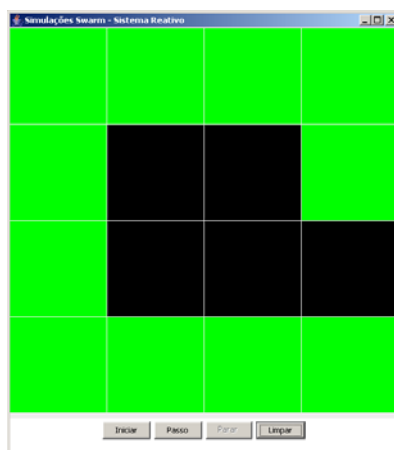


Figura 4.9: Configuração Final do Resultado da Execução do Cenário 1

A configuração da Figura 4.9 foi obtida após seis (6) passos da simulação. Pode-se observar pela figura que a hipótese foi comprovada, pois as células do núcleo

estão mortas. Isto significa que o organismo ProtCell foi morto pelas células da borda, os ProtVirus. A morte de uma das células da borda na posição [3,1] foi ocasionada em função da ordem da aplicação das regras, conforme visto na Seção 4.2.2, pois a antecipação no ganho de energia na célula [2,1] propiciou sua mudança para atacante por um determinado período. Com relação às células do núcleo, estas não tiveram tempo hábil para uma provável recuperação de energia.

Uma vez tendo-se determinado que a configuração da Figura 4.7 é de uma borda “forte” (pelo menos contra um núcleo estável), uma primeira variação do Cenário 1 foi construída. Tal variação, ilustrada na Figura 4.10, visa verificar se é possível diminuir a energia da atual configuração da borda, e mesmo assim os organismos ProtVirus conseguirem matar o organismo ProtCell. Caso isto se comprove na execução deste subcenário, então ter-se-á constatado a possibilidade de se definir um valor mínimo de energia para as células da borda, de tal forma que estas ainda consigam matar as células do núcleo.



Figura 4.10: Configuração de Variação do Cenário 1

Esta primeira variação do Cenário 1 foi executada, e o resultado está apresentado na Figura 4.11.

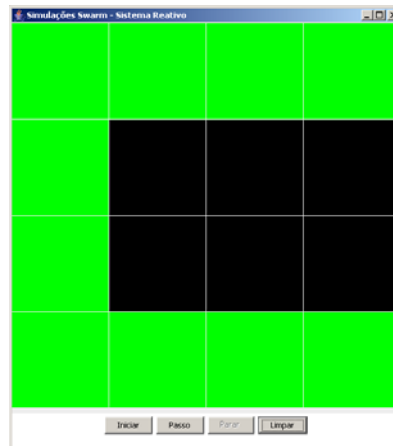


Figura 4.11: Configuração Final do Resultado da Execução da Variação do Cenário 1

A configuração da Figura 4.11 foi obtida após quinze (15) passos da simulação. Pode-se observar pela figura que a hipótese foi comprovada, pois as células do núcleo estão mortas. Isto significa que é possível se buscar uma configuração ótima para borda de tal forma que, com menos energia alocada às suas células, ainda assim seja possível que o organismo ProtCell seja morto. Este resultado, comparado ao anterior (Figura 4.9), apresentou um número maior de interações justificado pela maior resistência por parte do núcleo em função do déficit de energia apresentado na borda.

4.3.2 Cenário 2: Borda Forte *Versus* Núcleo Forte

O segundo cenário a ser analisado considera a situação onde o organismo ProtCell está em uma posição de atacante, e com energia igual a setenta (70). Esta configuração aponta uma situação forte de tal organismo, pois está em posição de ataque e possui um nível de energia avançado. Considera-se que em tal situação o organismo ProtCell se sente ameaçado pelos demais organismos ProtVirus, e por isto procura se defender.

Entretanto, agora ao redor do organismo ProtCell são alocados organismos ProtVirus, que formarão a borda do autômato celular. Esta borda também terá uma característica de ataque, pois as células dos extremos da grade estão configuradas como atacantes, mas com uma energia consideravelmente um pouco inferior à energia das células do núcleo. A configuração inicial deste cenário está ilustrada na Figura 4.12.

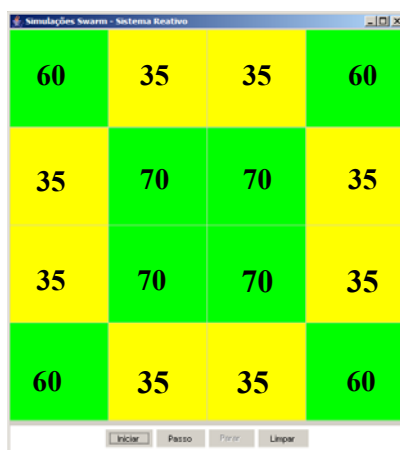


Figura 4.12: Configuração Inicial do Cenário 2

Esta configuração da borda foi considerada no Cenário 1 como “forte”. Entretanto, isto ocorreu no contexto de um núcleo estável. Agora, no Cenário 2 o núcleo pode ser considerado “forte” pois o valor da energia é elevado nas quatro células. Levando em consideração tais observações, duas hipóteses podem ser estabelecidas. A primeira delas considera que a borda e o núcleo caracterizam-se como “fortes”, e por isto resultado da simulação será um empate. A segunda hipótese trabalha com a possibilidade da borda ser “fraca”, para a configuração deste cenário. O cenário foi executado e o resultado está apresentado na Figura 4.13

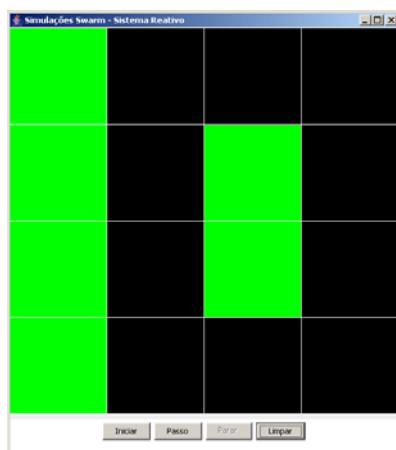


Figura 4.13: Configuração Final de Resultado da Execução do Cenário 2

A configuração da Figura 4.13 foi obtida após oitenta e sete (87) passos da

simulação. Pode-se observar pela figura que a segunda hipótese foi comprovada, pois as bordas do núcleo conseguiram matar 66,66% das células da borda. Por sua vez, as células da borda mataram 50% das células do núcleo. Isto significa que o organismo ProtCell apresentou maior competitividade em relação ao ProtVirus.

Neste cenário percebe-se que houve um aumento considerável no número de interações em que, embora grande parte da borda estivesse em condição de ataque, não foi possível desconjuntar integralmente o organismo ProtCell.

Uma vez tendo-se determinado que a configuração da Figura 4.12 é de uma borda fraca e núcleo “forte”, uma primeira variação do Cenário 2 foi construída. Tal variação, ilustrada na Figura 4.14, visa verificar se é possível diminuir a energia da atual configuração do núcleo, e mesmo assim haver uma vitória do mesmo. Caso isto se comprove na execução deste subcenário, então ter-se-á constatado a possibilidade de se definir um valor mínimo de energia para as células do núcleo.

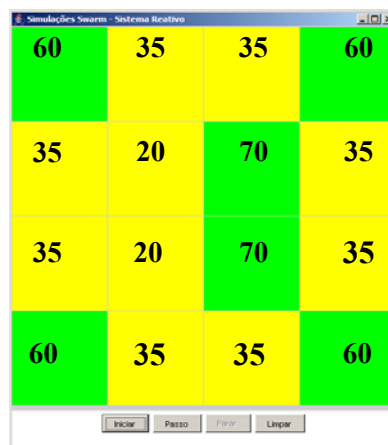


Figura 4.14: Configuração de Variação do Cenário 2

Esta primeira variação do Cenário 2 foi executada, e o resultado está apresentado na Figura 4.15.



Figura 4.15: Configuração Final do Resultado da Execução do Cenário 2

A configuração da Figura 4.15 foi obtida após cento e dezesseis (116) passos da simulação. Pode-se observar pela Figura 4.15 que a hipótese foi comprovada, pois de novo o núcleo venceu a borda. Isto significa que é possível diminuir os valores configurados no núcleo de tal forma que, com menos energia alocada às suas células, seja demonstrado sua prevalência. Este resultado, comparado ao anterior (Figura 4.13), apresentou um número ainda maior de interações justificado pela maior resistência por parte do núcleo em função do déficit de energia apresentado na borda.

4.3.3 Cenário 3: Borda Fraca *Versus* Núcleo Estável

O último cenário a ser analisado considera a situação onde o organismo ProtCell está em uma posição de não atacante, e com energia igual a cinquenta (50). Esta configuração indica uma situação estável de tal organismo, pois não está em posição de ataque e possui um nível de energia intermediário. Considera-se que em tal situação o organismo ProtCell não se sente ameaçado pelos demais organismos ProtVirus.

Ao redor dos organismos ProtCell, determinou-se que os organismos ProtVirus terão a mesma característica não atacante. Entretanto, seu nível de energia será menor que o nível do núcleo. A configuração inicial deste cenário está ilustrada na Figura 4.16.

35	30	30	35
30	50	50	30
30	50	50	30
35	30	30	35

Figura 4.16: Configuração Inicial do Cenário 3

A hipótese a ser testada neste cenário é que, a partir de uma configuração inicial de núcleo estável e borda fraca, ter-se-á a vitória do núcleo. O cenário foi executado e o resultado está apresentado na Figura 4.17

Black	Black	Black	Black
Black	Green	Green	Black
Black	Green	Green	Black
Black	Black	Black	Black

Figura 4.17: Configuração Final de Resultado da Execução do Cenário 3

A configuração da Figura 4.17 foi obtida após cinquenta e nove (59) passos da simulação. Pode-se observar pela figura que a hipótese foi comprovada (o núcleo venceu), porém o número de interações diminuiu consideravelmente. Isto comprovou que o organismos ProtCell, em menor situações de pressão, apresentam maior potência de competitividade em relação ao ProtVirus.

Para finalizar, uma vez tendo-se determinado que a configuração da Figura 4.16 seja de uma borda “fraca” e um núcleo “estável”, uma primeira variação do Cenário 3 foi construída. Tal variação, ilustrada na Figura 4.18, visa verificar se é possível diminuir a energia do núcleo, e mesmo assim haver um combate rápido. Esta primeira variação do Cenário 3 foi executada, e o mesmo resultado foi alcançado e pode ser visto na Figura 4.17.



35	30	30	35
30	45	45	30
30	45	45	30
35	30	30	35

Figura 4.18: Configuração de Variação Final do Cenário 3

5. Conclusão

O desenvolvimento deste trabalho de Iniciação Científica permitiu a aprendizagem de novos conceitos como a teoria de Autômato Celular e Vida Artificial, partindo do histórico e aplicações iniciais na área.

Após ter adquirido uma maior noção da empregabilidade destes conceitos, surgiu a idéia de se implementar um protótipo utilizando os conceitos aprendidos. Propôs-se simular, ainda que de forma rudimentar, mecanismos utilizados na “luta pela vida”. O estudo desta proposta mostrou que regras simples utilizados em AC poderiam permitir facilmente a simulação do comportamento de organismos artificiais baseando-se superficialmente em características da vida real.

No entanto, durante a escolha de como seria a forma de implementação, através de conhecimentos pré-adquiridos em linguagem de programação, optou-se pelo método de programação orientado a objetos, pela facilidade de adaptação que este tipo de programação ofereceria à modelagem do problema.

A implementação da sociedade artificial *Fight4Life* trouxe alguns resultados que, embora tenham sido interessantes, partiram somente de teorias e/ou hipóteses relacionadas ao ambiente modelado. A validação dos resultados obtidos foi realizada através da definição de cenários que ilustrassem tais teorias e/ou hipótese.

A concepção de que um organismo biológico necessita de alguma fonte de energia para a sua sobrevivência foi a base da qual se partiu toda a simulação. E com a manipulação dessa energia, gerando regras de trocas (ganhos e perdas), o sistema apresentou a competitividade entre organismos artificiais.

5.1 Propostas para trabalhos futuros

Uma proposta sugerida para a continuidade deste trabalho seria levantar informações reais de como se comportam organismos vivos. Com isso, acredita-se que em uma visão macro de energia para a continuidade da vida possa ser fracionada fazendo transparecer as verdadeiras variáveis e complexidade do funcionamento da vida.

Referências Bibliográficas

- [1] AGUIAR, M., S; DIMURO, G., P.; COSTA, F., A. Modelos Matemáticos Baseados em Autômatos Celulares para Geoprocessamento, São Carlos-Sp, Brasil 2004. Disponível em: <<http://www.sbmac.org.br/index.php?notas/index.php>>. Acesso em: 25 mai. 2005.
- [2] AGUIAR, M.S.; COSTA; A.C.R. Automatas Celulares para Análise da Monotonicidade da Declividade de Áreas Geológicas. Disponível em: <<http://www.geoinfo.info/geoinfo2001/papers/146marilton.pdf>>. Acesso em: 03 jun.2005.
- [3] BARONE, D. A. C., SIMOES, E. V., FERRUGEM, A.,BAZZAN, A. L., YEPES, I., FRANZEN, E., SILVEIRA, S. R. Sociedades Artificiais - A Nova Fronteira da Inteligência Das Maquinas. Porto Alegre RS: Bookman., 2003.
- [4] BECCENERI, J. C.; ROSA, R. R.; MARCHI, M. M.; RAMOS, F. M.; VIJAYKUMAR, N., Padrões de Competição e Sinergia em Colônias Heterogêneas de Agentes Artificiais Cooperativos. INPE, 2003.
- [5] CALEGARI, G. V. Jr., NAGEL, M., T., Vida Artificial, 2003. Disponível em: <http://www.inf.ufsc.br/~barreto/trabaluno/TCG_Geraldo_MariaTereza.pdf>. Acesso em: 23 mai. 2005.
- [6] CONWAY'S GAME of Life, Math.com - The World of Math Online. Disponível em: <<http://www.math.com/students/wonders/life/life.html>>. Acesso em: 12 jun. 2005.
- [7] DEWDNEY, A., K. A Cellular Universe of Debris, Droplets, Defects and Demons, Scientific American, August 1989, 261:2, 102-105.
- [8] DEWDNEY, A., K., The Cellular Automata Programs That Create Wireworld, Rugworld and Other Diversions, Scientific American, January 1990, 262:1, 146-149.
- [9] EMMECHE, Claus. The Garden in the Machine: the Emerging Science of Artificial Life (Princeton University Press, 1994). Another excellent overview of artificial life, with sections on the Game of Life
- [10] GARDNER, M. The Fantastic Combinations of John Conway's New Solitaire Game of "Life", Scientific American, April 1970, 223:4, 120-123.
- [11] GUILHOTO, P. J. S., ROSA, S. P. C. S, Simulação Avançada – Vida Artificial. Disponível em: <http://student.dei.uc.pt/~guilhoto/downloads/vida_artificial.pdf>. Acesso em: 03 jun. 2005
- [12] GOLDSTINE, H. H., The Computer - from Pascal to Von Neumann. Philadelphia: Princeton, 1993. p. 271-285.

- [13] JUAN LI. Communications Laboratory, HUT. Disponível em: <http://www.control.hut.fi/hyotyniemi/publications/04_report145/Chapter7.pdf>. Acesso em: 03 jun. 2005
- [14] LANGTON, G. C., “Artificial Life: An Overview (Complex Adaptive Systems)” MIT Press; Reprint edition (January, 1997) ISBN: 0-262-62112-6
- [15] LEITE, I., O. B.; LINS, J., C., S., CERQUEIRA, M., G., C., .Autômatos Celulares. Disponível em: <<http://www.di.ufpe.br/~iobl/monografia/index.html>>. Acesso em: 20 abr. 2005.
- [16] NERO, H. S. D., Computação Topológica e Controle Voluntário em Arquiteturas Naturais e Artificiais, 1997. Disponível em: <<http://www.lsi.usp.br/%7Ehdelnero/DOUTOR1.html>>. Acesso em: 03 mai. 2005
- [17] MARIETTO, M.; DAVID, N.; SICHMAN, J. S.; COELHO, H. A Classification of Paradigmatic Models Agent-Based Social Simulation. Fourth International Workshop on Multi-Agent Systems and Agent-Based Simulation (MABS03). Lecture Notes in Artificial Intelligence, 2002.
- [18] MIRANDA, E. R., On the Music of Emergent Behaviour What can Evolutionary Computation bring to the Musician? Disponível em: <<http://www.csl.sony.fr/downloads/papers/2000/miranda-gecco2000.pdf>>. Acesso em: 25 mai. 2005.
- [19] NEUMANN, J. Von. In: BURKS A.W. (Ed.). Theory of Self-Reproducing automata. Urbana: University of Illinois Press, 1966.
- [20] NEVES, R., P., O.. Vida Artificial em ambientes virtuais: UMA PLATAFORMA EXPERIMENTAL EM REALIDADE VIRTUAL PARA ESTUDOS DOS SERES VIVOS E DA DINÂMICA DA VIDA, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2003.
- [21] PFEIFER, R, KUNZ, H., WEBER, M., M. Artificial Life, 2002. Disponível em: <<http://www.ifi.unizh.ch/ailab/teaching/AL00/>>. Acesso em: 25 mai. 2005.
- [22] PEDROSA, B., M. Ambiente Computacional para Modelagem Dinâmica Espacial, INPE 2003.
- [23] REED COLLEGE ARTIFICIAL LIFE PROJECT, The Game of Life, Reed College, Oregon, USA, 2005. Disponível em: <<http://www.reed.edu/alife/classes/gameoflife.html>>. Acesso em: 12 jun. 2005.
- [24] RONALDO, J. Jr., CORDENONSI, A. Z., Estudo de Modelos e Sistemas de Vida Artificial. Disponível em: <http://www.inf.unifra.br/tfg2002.sis_info/tfg.2002.33.pdf>. Acesso em: 11 jun. 2005.
- [25] SIPPER, M. The emergence of cellular computing. Computer, (July 1999):18–26.

- [26] SCHATTEN, Alexander. Cellular Automata Tutorial. Disponível em: <<http://www.schatten.info/info/ca/ca.html>>. Acesso em: 25 mai. 2005.
- [27] SHANNON, C., E; Von Neumann's contributions to automata theory, Bull. Amer. Math. Soc. 64 (1958), 123-129. Disponível em: <http://www-groups.dcs.st-andrews.ac.uk/~history/Mathematicians/Von_Neumann.html>. Acesso em: 25 mai. 2005.
- [28] TOFFOLI T.; MARGOLUS, N. Cellular Automata Machines: A New Environment for Modeling, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1987.
- [29] EXTREME LIFE, University of Virginia, Department of Computer Science CS201J: Engineering Software, Fall 2003. Disponível em: <<http://www.cs.virginia.edu/cs201j/problem-sets/ps1/>>. Acesso em: 4 abr. 2005.
- [30] VASCONCELOS. M.H.S. Computação Evolutiva e Autômatos Celulares. Universidade Católica de Pelotas, 2005.
- [31] WEIMAR, J. Simulation with Cellular Automata. Technical Iniversity Braunschweig/Institute for Scientific Computation, June 1996. Disponível em: <<http://www.tu-bs.de/institute/Wir/weimar/ZAscript/ZAscript.html>>. Acesso em: 03 jun 2005.
- [32] WOLFRAM, Stephen, Cellular Automata. Disponível em: <<http://www.stephenwolfram.com/publications/articles/general/83-cellular/>>. Acesso em: 15 mai. 2005.
- [33] WOLFRAM, S., Universality and Complexity in Cellular Automata, Physica 10D, 1-35, 1984.
- [34] WOLFRAM, S., Cellular automata as models of complexity. Nature, 1984.