

AUTOMATOS ADAPTÁVEIS

Uma Proposição Teórica

Wellington FERREIRE SILVA



UNICAMP

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS**  
INSTITUTO DE MATEMÁTICA, ESTATÍSTICA E CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

CAMPINAS - SÃO PAULO  
BRASIL


Si38a

6558/BC

AUTOMATOS ADAPTÁVEIS - UMA PROPOSIÇÃO TEÓRICA

Este exemplar corresponde a redação final da tese devidamente corrigida e defendida pelo Sr. WELLINGTON FERREIRA SILVA e aprovada pela Comissão Julgadora.

Campinas, 24 de junho de 1985

  
Prof. Dr. FERNANDO CURADO  
Orientador

Dissertação apresentada no Instituto de Matemática, Estatística e Ciência da Computação, UNICAMP, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Ciência da Computação

junho/85

**UNICAMP**  
**BIBLIOTECA CENTRAL**

Numa época na qual as pessoas se perguntam, cada vez mais, se as máquinas chegarão a pensar como pessoas, eu me pergunto se algum dia as pessoas deixarão de pensar cada vez mais como máquinas.

## Agradecimentos

A realização desta tese deve ser considerada como a conclusão de um ciclo de grande desenvolvimento intelectual, do qual fui objeto; este ciclo corresponde ao período que passei na UNICAMP, onde cursos e discussões do mais alto nível foram colocados à minha disposição. Aproveito o ensejo para entusiasmamente agradecer aos organizadores do curso de pós-graduação em Ciência da Computação desta Universidade, Estudos que vinha me defrontando com certa dificuldade ainda em Salvador ou que estavam apenas planejados para um futuro remoto, rápida e eficazmente foram cobertos em poucos meses -- devo destacar aqui que não foi por falta de tempo ou de dedicação anteriores, mas sim pelo alto grau de objetividade e competência com que os assuntos foram apresentados aqui na UNICAMP --; este é o caso de Arquitetura e Construção de Computadores e de Sistemas Operacionais; também o de certos detalhes de Linguagens de Programação, de Teoria da Computação e de diversos tópicos de Inteligência Artificial. Outros assuntos nem mesmo consistia algum dia estudar, seja porque não houvesse ainda despertado para as suas importâncias, seja porque nem mesmo soubesse de suas existências; nesta última categoria se inserem Filosofia da Ciência, Linguística, diversos outros tópicos de Inteligência Artificial e até mesmo Neurologia. Em vista de ter conseguido tanto, gostaria de enfaticamente agradecer aos professores, em ordem alfabética, Dr. Célio

Cardoso Guimarães (em particular pelas críticas construtivas oferecidas à exposição das idéias aqui contidas, críticas estas que muito ajudaram à melhoria da mesma exposição), Dr. Fernando Curado, Drs. Imre Simon e Istvan Simon (estes da Primeira Escola de Computação, na USP em São Paulo), Dr. Marcelo Dascal, Dr. Nelson Machado e Dr. Tomasz Kowalowski. Em particular gostaria de mencionar a orientação recebida do Prof. Fernando Curado, perfeito na arte da formação intelectual; além dos incentivos e orientações frequentemente dispensadas, sempre dentro de limites precisos -- embora tivesse sempre palavras de estímulo para os meus projetos que lhe apresentava ao mesmo tempo não me permitia escapar da realidade do programa que deveria cumprir --, estava também atento para os acontecimentos aqui na UNICAMP que pudessem me interessar -- este é o caso do curso ministrado pelo Prof. Dascal, no Instituto de Linguística desta Universidade e portanto fora do IMECC, e que se constituiu em um dos pontos básicos, daqueles que se tivesse faltado não me teria sido possível enfrentar esta tese --. Também gostaria de agradecer ao colega Djelma Souza Salles pelos momentos de excitantes discussões, principalmente durante as aulas de Inteligência Artificial, que ajudaram a tornar mais claros diversos aspectos fundamentais aqui. Finalmente ao pessoal da biblioteca que sempre gentil e pacientemente se prestou a localizar livros cujas descrições fornecidas por mim eram na maioria das vezes incompletas, ou quase vazias, constando nestes casos de apenas uns poucos indícios do assunto.

## Nota Introdutória

Este trabalho é constituído de oito secções, três apêndices -- um deles sendo a lista de referências bibliográficas -- e um índice remissivo ao final; além disto é provido de uma tabela de conteúdo, logo no início, contendo indicação das páginas juntamente ao assunto correspondente. Ao longo do texto existem algumas notas especiais, todas convencionadas nesta nota.

A secção das definições básicas foi escrita por último, em decorrência de falhas expositivas detectados posteriormente à estruturação de todo o trabalho; é claro que após sua inserção teve-se de fazer a compatibilização entre todo o material previamente escrito, e as definições introduzidas; também foram revistas diversas explicações tendo em vista as novas bases colocadas por aquela secção. Ao mesmo tempo chama-se a atenção no sentido de manter-se em mente que as definições básicas foram providas em último lugar, podendo isto ter dado origem a lacunas que tenham escapado à revisão compatibilizadora acima mencionada.

Uma das convenções diz respeito às notas de rodapé, muito usadas no texto. Toda nota de rodapé é associada ao corpo principal do texto através de um caractere especial (\*, %, †, etc.); entretanto, este símbolo tem valor exclusivamente local, isto é, mesma página ou página seguinte imediata (quando o texto da nota não cabe na mesma página), havendo

portanto possibilidade de se ter o mesmo caractere denotando diversas notas de rodapé distintas, mesmo em uma única seção; logo, a convenção é que um dado caractere especial associa, de modo não ambiguo, nota situada na mesma página ou na página seguinte imediata.

Outra convenção importante diz respeito à referência bibliográfica ao longo da exposição da tese, referência esta que é sempre envolvida por colchetes ("[" e "]") e simbolizada por um mneumônico para a lista das referências bibliográficas mais detalhada; o uso do mneumônico além de atrapalhar menos a leitura por parte de alguém que num dado instante não esteja preocupado em verificar aspectos bibliográficos, justamente pelo fato de ser uma forma curta, permite saber-se rapidamente qual a referência envolvida após a primeira verificação na lista em final da referência bibliográfica. Adicionalmente, todas as referências bibliográficas mencionadas explicitamente aparecem no índice final, com as páginas para todas as suas ocorrências; o uso dos colchetes possibilita que todas elas estejam agrupadas num mesmo local do índice (o colchete inicial é usado pelo programa formatador, empregado na edição desta tese -- o RUNOFF-DEC10 --, na classificação das palavras constantes no índice).

A escolha das palavras que aparecem no índice, não foi feita arbitrariamente. O objetivo da escolha foi configurar um índice no qual todas as palavras e frases chaves, para leitores com tendências e preocupações mais distintas, nele

aparecessem; com isto esperava-se que tanto um leitor à procura de detalhes no trabalho e portanto desejando um acesso quase que direto (sem necessidade de perdas de tempo) quanto um outro que deseje apenas formar uma idéia inicial acerca do conteúdo, possam tirar proveito do índice. Em relação às frases chave ocorreu uma dificuldade decorrente de uma limitação no uso do formatador; na documentação disponível não se conseguiu identificar a maneira de especificar-se frases para serem inseridas como um todo no índice; em vista desta dificuldade, todas estas frases tiveram de ser mascaradas como se fossem palavras, com remoção posterior das máscaras através de um programa de pós-processamento do texto (que também possui outras funções como processamento da acentuação gráfica, grifagem em negrito, etc.); esta solução, no entanto, apresentou a desvantagem de criar um excesso de espaço vazio nas linhas envolvidas, embora estes sejam raros no texto.

Outro problema, análogo ao acima descrito embora mais imperceptível, ainda que mais frequente, foi encontrado na acentuação. Como a versão do formatador inicialmente utilizada não aceitava acentuação simultânea ao ajuste da margem da direita, ao ocorrer a sobreposição da letra com o acento, na mesma posição, surge um espaço em branco que deve ser reinserido de modo balanceado no texto; com isto, para cada acento, surge um espaço em branco adicional ao espaçamento já propiciado pelo formatador. O mesmo ocorre com a grifagem em negrito que é feita com auxílio de uma marca que para o formatador faz parte do texto.



Apesar dos problemas apontados, acredito que de um modo geral o balanço final da edição do texto tenha sido largamente positivo. Além disto o esforço para se contornar as dificuldades foi amplamente compensado quer seja pelo estilo de redação experimentado, quer seja pela disponibilidade agora existente para este texto o qual pode ser facilmente manipulado para as mais diversas finalidades como melhoramento posterior, inserção parcial em trechos que lhe referenciem, etc; todavia, sem dúvida alguma, o grande dividendo obtido foi o estilo acima mencionado; deve-se ressaltar que o computador não foi utilizado apenas para a formatação final do texto, porém desde a fase da inserção do conteúdo onde a facilidade total de modificação do texto em inserção ampliou grandemente a linha do pensamento -- simplesmente pelo fato de se ficar buscando repetidamente a frase ideal após se ler uma versão anterior (aliás esta situação já foi conjecturada cientificamente, sendo o meu professor de Linguística, o Prof. Marcelo Descal, uma das pessoas preocupadas com este assunto) --, tornando a tarefa não apenas gratificante porém inclusive excitante. É claro que para tal experiência torna-se necessário a disponibilidade de terminal por um grande período, sem que o usuário tenha qualquer preocupação adicional ao seu trabalho intelectual, como por exemplo preocupação com a duração da sessão de terminal; isto sem dúvida iria inibir grandemente o processo criativo.

O meu período de estudos foi financiado pelo programa FICD da Universidade Federal da Bahia. Esta tese foi desenvolvida com

auxílio dos recursos computacionais do Centro de Processamento de Dados desta mesma universidade.

## Resumo

A presente tese apresenta um paradigma, uma teoria e princípios gerais para modelagem do processamento adaptável. O paradigma, que é alternativo ao paradigma computacional, torna-se necessário de modo a remover as prioridades dos objetivos teóricos daquele outro, principalmente a relevância do procedimento efetivo; deve-se enfatizar que tal alternativa deve ser considerada aplicável apenas diante da abordagem dos problemas de adaptação, ainda que ele possa suportar a universalidade computacional, do mesmo modo que o paradigma computacional também pode teoricamente suportar o processamento de adaptação; o que torna cada um restrito à sua área é uma questão de viabilidade que pode ser discutida num contexto teórico, como acontece neste trabalho. Estes fatos são importantes pois colocam os dois paradigmas na condição de potencialmente poderem cooperar entre si ao invés de competirem entre si, podendo-se imaginar as máquinas construídas à luz de um paradigma trabalhando conjuntamente com as máquinas construídas à luz do outro paradigma -- computadores sendo programados por máquinas adaptáveis e calculando para estas últimas --. A teoria é descrita implicitamente durante as discussões, particularmente nas descrições do modelo. A essência do modelo teórico consta na união da idéia de espaço celular de Von Neumann, espaço este estendido aqui para três dimensões, e da idéia de modelagem contínua conforme postulada por René Thom na Teoria da Catástrofe; desta união surgiu o conceito de uma máquina com um comportamento de consequências inéditas para o processamento de informação, como o paralelismo em escala total, sem necessidade de sincronização em qualquer sentido, também uma modificação radical no conceito de tempo interno com um abandono completo da entidade centralizada de marcação do tempo -- o conhecido relógio mestre dos computadores contemporâneo --, etc.

## Sumário

1.0. Introdução	(01)
2.0. Definições Básicas	(18)
2.1. EIFS	(18)
2.2. Quiescência	(19)
2.3. Estabilidade	(20)
2.4. Deslocamento	(20)
2.5. Solidariedade	(21)
2.6. Configuração	(22)
2.7. Automato	(22)
2.8. Ambiente	(23)
2.9. Controle de Automato	(23)
2.10. Especificação de Automato	(24)
2.11. Desenvolvimento	(24)
2.12. Programa de Desenvolvimento	(24)
2.13. Duplicação de Automato	(25)
2.14. Conclusões Preliminares	(27)
3.0. Paradigma Adaptacional	(30)
3.1. Análise Crítica do Modelo de Turins	(32)
3.1.1. Dicotomia Forma x Significado	(36)
3.1.2. Rigidez do Espaço de Turins	(40)
3.2. Características do Espaço Celular	(42)
3.2.1. Interação Direta Ambiente x Espaço Celular	(43)
3.2.2. Flexibilidade do Espaço Celular	(45)
3.2.2.1. Modificação das Configurações	(46)
3.2.2.2. Deslocamento das Configurações	(46)

4.0.	O Modelo do Elemento	(48)
4.1.	Analogia com Automatos Finitos	(54)
4.2.	O Grau de Resolução do Modelo	(57)
4.3.	O Conceito de Tempo	(59)
4.4.	Aspectos do Paralelismo	(61)
5.0.	Universalidade Adaptacional	(63)
6.0.	Tipos de Ajuste	(68)
7.0.	Conclusões Finais	(72)
8.0.	Futuros Desenvolvimentos	(81)
A.	A Rigidez do Espaço Celular de von Neumann	(A1)
B.	Discussão acerca de Significado	(B1)
C.	Referência Bibliográfica	(C1)

## 1.0 Introdução

O presente trabalho apresenta uma nova abordagem de Autômatos Celulares a partir da apresentada inicialmente por von Neumann e posteriormente desenvolvida por outros autores entre os quais [Codd] e [Priesel]. Com esta nova abordagem, acredito que as pessoas percebem logo uma mudança na estrutura intelectual subjacente às abordagens, deixando de ser psicológica, que presentemente domina a Ciência da Computação e portanto dominante no modelo de Turing, e cedendo terreno para uma outra eminentemente biológica.

Já nesta introdução é discutido como se atingiu esta linha de pensamento, uma vez que esta abordagem decorreu mais de tentativas de se alcançar metas mais amplas, nas quais modelos tradicionais da Computação se mostraram incapazes de suportar. Estas metas mais amplas coincidem com as metas da Inteligência Artificial e podem ser resumidas no seguinte:

Dotar as máquinas de processamento automático de informação do senso comum encontrado nas pessoas.

Esta tese se baseia na conjectura de que "Um sistema de informação para atingir o nível de senso comum precisa, pelo menos e fundamentalmente, ter a capacidade de ser passível de ajuste em seu ambiente.

Esta conjectura, que nos parece razoável (e já normalmente

aceita pela comunidade científica), é importante na medida que confere relevância ao presente trabalho. Esta capacidade de ser ajustado ao ambiente é normalmente traduzida pela expressão **ADAPTABILIDADE** ("Qualidade de ser adaptável. Capacidade de se adaptar" [Aurélio]) enquanto se usa a palavra **ADAPTÁVEL** ("que pode ser adaptado" [Aurélio]) para se designar o sistema com esta propriedade -- aqui se evita o anglicismo **ADAPTATIVO** (do inglês "adaptative" = "tending toward, fit for, or having capacity for adaptation" [Heritage]) não apenas por ser desnecessário, mas também por conter traços semânticos que lhe confere mais conotação de ativo do que de passivo conforme efetivamente ocorre (passível de ser adaptado pelo ambiente) --.

Em seguida a esta conjectura é discutida a importância da existência de um **Espaço Celular**, mesmo na forma como proposto por von Neumann; este é um ponto crucial da tese, com o abandono do conceito de endereço em favor de uma referência baseada na topologia das próprias representações no espaço celular; isto equivale a dizer que um programa modifica dados não baseado em endereços arbitrários mas na proximidade física entre eles; é postulado que esta restrição fornece um ingrediente importantíssimo no processamento natural;

Para que haja interação entre programas e dados torna-se necessário que estes programas e dados estejam fisicamente próximos, isto é, nas vizinhanças um do

outro.

Esta restrição desempenha um papel análogo (embora, acredito, numa escala bem maior) às restrições normalmente impostas à Engenharia de Programação (relacionadas ao uso de goto's, variáveis globais, etc.). Aqui a restrição é natural e como tudo que é natural já possui grande parte dos ingredientes que se deseja; por exemplo, a proximidade conceitual (ou relacional) entre duas informações armazenadas num espaço celular deve implicar numa proximidade física entre elas. Assim, o conceito de programas (ou autômatos, as configurações de informação ativas) e dados (as configurações passivas que são manipuladas pelos programas) passa a ser completamente relativo: uma mesma configuração (qualquer forma não simples identificada no espaço celular) pode ser tanto programa como dado, e depender exclusivamente (quando isto ocorrer) do estado existente na sua vizinhança; em confronto direto com configurações mais ativas ele pode se comportar como se fosse dado e inversamente, isto é, diante de configurações menos ativas, como se fosse programa. Esta idéia permite exercer-se controle sobre o processamento simplesmente controlando-se as vizinhanças, ora tornando algumas configurações mais ativas, ora tornando-se outras configurações menos ativas.

O Espaço Celular tal como von Neumann o propôs é constituído por um "array" bidimensional de elementos, cada uma destas dimensões podendo se estender indefinidamente,



analogamente à fita da Máquina de Turins. Por simplicidade pode-se imaginar cada elemento como sendo um quadrado com sua vizinhança disposta como as casas de um tabuleiro do Jogo Xadrez e constituída pelos elementos que lhe são adjacentes lateralmente -- não os adjacentes pelos vértices --. Assim cada vizinhança de von Neumann é formada por cada elemento e os elementos que têm um lado comum com ele. Isto é:

		5	
	2	1	3
		4	

Como se vê, cada vizinhança de von Neumann envolve cinco elementos; por esta razão ela é chamada de Vizinhança-5. Também se pode ver que esta vizinhança será o conceito de Isotropia, caso não haja uma direção no espaço celular que tenha alguma propriedade não existente na outra direção; assim pode-se dizer que tal espaço celular é isotrópico.

Cada elemento se comporta de acordo com o seu estado interno e os estados dos elementos de sua vizinhança. Logo, cada elemento é essencialmente um Automato Finito que muda de estado em decorrência do seu próprio estado e dos estados dos elementos vizinhos.

Em [von N] é mostrado que um esquema deste tipo é equivalente em poder computacional às Máquinas de Turins e portanto também possuem Universalidade Computacional (\*).

Deste modo, o conceito de endereçamento é, pelo menos em princípio, abandonado por von Neumann -- na verdade isto somente não ocorreu totalmente em virtude dele não ter conseguido se libertar das idéias básicas de Turing, conforme é discutido na seção "Paradigma Computacional" -- quando da postulação do seu espaço celular e da sua vizinhança de elementos. Em suma:

O processamento é baseado na interação entre os elementos de uma vizinhança, que pode se estender às vizinhanças adjacentes em decorrência do fato de que um mesmo elemento pode pertencer a mais de uma vizinhança ativa (isto é, constituída de elementos envolvidos com algum processamento em progresso); assim, o processamento pode se estender até regiões mais distantes do espaço celular.

Todavia, não obstante a grande contribuição fornecida pela idéia do espaço celular verificou-se que ele não continha

---

\* Ali também é mostrado que um espaço celular que seja computacionalmente universal, possui como decorrência Universalidade de Construção -- a possibilidade de poder-se programar neste espaço configurações que sejam capazes de construir qualquer configuração -- e seguindo-se imediatamente desta, a Auto-reprodução -- a capacidade de uma configuração de autômato em gerar uma duplicata de si mesma --.

todo o instrumental necessário para suportar o processamento adaptável; isto em decorrência da rigidez das configurações -- as configurações não podem se deformar naturalmente -- ainda apresentada no modelo de von Neumann; rigidez esta herdada de Turing. Neste ponto do trabalho começou-se a análise acerca da razão daquela rigidez, o porquê dela existir, e se era justificável. A conclusão a que se chegou é que ela era perfeitamente necessária aos objetivos de Turing, ainda que estes objetivos sejam contrários aos do processamento da adaptação. Nos modelos de Turing a preocupação é com a representação de processos já perfeitamente conhecidos (por exemplo, a solução de um problema que deve ser repetida exatamente como transmitida pelo programador); além disto existe o aspecto importante de que a atividade da programação seria extremamente difícil se não estivesse sendo realizada em bases absolutamente estáticas. Já na adaptação este rigorismo não é necessário uma vez que os seus programas não precisam levar a resultados exatos, como acontece durante a execução de cálculos, mas sim a tendências gerais que sejam suficientemente flexíveis de modo a possibilitar moldagem pelo ambiente; somente posteriormente, com a manipulação conveniente destas tendências (numa forma de atividade que mais se aproxima a um treinamento do que mesmo de uma programação), é que se poderá pensar em resultados mais precisos -- pode-se ver que na verdade o que está se tentando fazer é deslocar-se as bases da computação para níveis mais fundamentais; isto corrobora o que já dito acima, ou seja, transladar-se as bases

intelectuais das máquinas de processamento de informação do nível da Psicologia para o nível da Biologia (na verdade aquele é suportado por este) --. Tudo isto adicionado ao fato, já mencionado acima, da implicação natural de movimento como pré-requisito para a adaptação.

A solução do problema da rigidez foi conseguida trocando-se a natureza dos estados dos autômatos finitos dos elementos; se antes os estados eram discretos agora passaram a ser zonas de estabilidade (zonas onde o comportamento do elemento se mantinha inalterado) apesar de variarem as influências dos vizinhos, dentro de certos limites; além destes limites o elemento passava por uma transição (Catástrofe Matemática, vide mais adiante, já a partir desta introdução) que terminava estabilizando-se em outra zona correspondente a outro comportamento elementar. Com isto cada elemento passava a ser tolerante com as variações da vizinhança; esta tolerância era justamente o ingrediente que faltava no modelo de von Neumann e que agora vai permitir o ajuste entre os elementos -- admitindo-se que uma influência possa se propagar no espaço, com perdas à medida que a distância percorrida aumenta, poder-se ter a possibilidade de elementos guardarem relações no espaço celular que não precisam ser rígidas; daí poderem-se formar configurações de formas flexíveis que poderão se movimentar em todas as posições, em decorrência de forças externas, sem contudo perderem suas propriedades básicas.

A partir desta colocação o trabalho passa a analisar as

consequências imediatas dela, fazendo uma previsão da natureza do processamento obtido. Uma destas consequências toca no aspecto da natureza dos tempos internos em decorrência da descentralização do controle do modelo.

A seguir será feita uma retrospectiva da evolução das idéias que envolvem o trabalho, esperando-se com isto fornecer-se maiores subsídios para a avaliação do mesmo.

Este trabalho se iniciou numa linha que se propunha a usar o modelo do neurônio, na suposição de ser ele a unidade de processamento da informação natural, como base para a implementação dos processos fundamentais estudados em Inteligência Artificial (aprendizado, solução de problemas, etc.).

Em estudos anteriores ao presente trabalho ([Schank], [Rieser], [Rieser1], [RieGrb], [Minski] entre outros), observou-se que nas modelagens apresentadas havia uma idéia fundamental que evoluía a partir dos esquemas mais complicados, onde os elementos e relações primitivas previamente existente na modelagem respectiva era em maior número, para esquemas mais simples nos quais o nível qualitativo de representação também melhorava. O modelo onde possivelmente esta idéia fundamental tenha atingido o clímax, e por isto mesmo tenha se revelado para mim, corresponde àquele desenvolvido por Rieser (vide [Rieser1] e [RieGrb]), onde é proposto um sistema de quadros (do inglês "frames") bastante específico; Rieser propõe primitivas (quadros primitivos) com o objetivo de dotar o sistema de uma

série de procedimentos básicos para consecução de seus objetivos -- fundamentalmente, redes de informação para serem utilizadas na montagem automática de procedimentos mais complexos destinados à solução de problemas (os Commonsense Algorithms ) --. Nestes quadros primitivos já era apresentada com destaque a propriedade de limiar para estabelecer as condições nas quais as instâncias destes quadros seriam ativadas. Esta observação sugeriu que, a idéia fundamental antes referida corresponde exatamente à idéia dos neurônios. Assim pareceu razoável que se abandonasse a linha formal daqueles trabalhos e se passasse a considerar mais de perto o conceito do neurônio. Adicionalmente, se poderia dar a seguinte explicação: Se todos os caminhos que ainda não foram percorridos completamente, alguns deles já apresentando dificuldades sérias nos trechos conhecidos, devem levar a um destino conhecido, então uma opção altamente considerável é partir-se deste destino conhecido e tentar-se retornar à origem, usando-se a informação obtida na fase inicial; no caso, o objetivo é a unidade de processamento da informação natural que, como se sabe, é o Neurônio -- é claro que existem muitos detalhes desconhecidos acerca do neurônio, mas estes detalhes correspondem justamente ao trecho desconhecido e ainda não percorrido da estrada em nossa figura acima --. Outra explicação que poderia reforçar ainda mais esta nova abordagem surge quando se verifica que o lado abandonado corresponde à Psicologia -- ciência cujas teorias são na maioria Teorias Dedutivas Hipoteticamente Construídas -- enquanto o novo

lado é o da Biologia -- na qual se tem em geral Teorias Formuladas por Abstração (Particularmente a Teoria do Neurônio formulada por Ramon y Cajal ), portanto mais confiáveis desde que baseadas em entidades e relações observáveis (vide [Hsbars], capítulo 9, seção 4).

Na tentativa de buscar-se informações mais precisas acerca dos neurônios muitas referências foram realizadas ([Bulck], [Hold], [Sampr] e [Mast] ), culminando-se com um estudo detalhado em [Jacob], posteriormente complementado com leituras adicionais em Genética e em Bioquímica ([White], [McElr] e [WhHnSn] ); deste estudo surgiu uma série de fatos novos que apontavam para perspectivas antes não consideradas. Logo se chegou à percepção de que um neurônio (®) não é um objeto simples o suficiente para ser considerado uma primitiva em um trabalho que se proponha a dar uma abordagem aos processos acima referidos; além da complexidade do neurônio, observou-se também a riqueza de informação que existe no ambiente onde eles surgem, se desenvolvem e vivem. Esta observação foi decisiva para se concluir que o mais importante em um trabalho que busque a implementação de processos de inteligência , é a colocação de um ambiente no qual possa se desenvolver espontaneamente o

---

® E' claro que não se pensava em copiar completamente o neurônio já que esta entidade foi criada para satisfazer os requisitos de outra ciência. O que se objetivava era encaixar todo o conhecimento disponível acerca dos neurônios no contexto do processamento de informação, sem preocupação excessiva com a simplificação como ocorreu no modelo de McCulloch-Pitts (vide [Minsky]).

maquinário básico de inteligência e que o pré-requisito (esta é uma hipótese fundamental adotada para justificar o presente desenvolvimento) essencial para que isto possa ocorrer é permitir que o ambiente possa atuar como o programador do sistema; isto equivale a se dizer que a capacidade de adaptação é essencial. Foi durante esta fase surgiu em mente o trabalho de von Neumann ([von N]) que tinha sido lido, embora sem maiores êxitos, anteriormente. Tal associação de idéias não apenas permitiu então se captar toda a essência do trabalho (e até mesmo, o que não tinha sido declarado explicitamente nele), mas também o tipo de contribuição que este trabalho traria ao presente. Como a essência do trabalho de von Neumann é o próprio espaço celular isotrópico, esta idéia leva a um processamento muito mais próximo das ocorrências que envolvem os neurônios em seu ambiente. Uma novidade aí existente, também já comentada, é o abandono do conceito de endereçamento (%). Conforme já mencionado este abandono decorre basicamente do fato do espaço celular propiciar um tipo de processamento onde a topologia das configurações é que determina o comportamento global; assim o conceito de endereçamento torna-se desnecessário. Adicionalmente, vale à pena destacar os problemas do conceito Endereçamento. O endereçamento é um conceito que decorre da essência

---

% O conceito de endereçamento está claramente presente na Construção Universal de Automatos, quando a configuração a ser construída é especificada através de endereços para cada um dos elementos em estado ainda quiescente.



construtivista do modelo de Turing; este formalismo estabelece a existência de uma fita constituída de unidades de armazenamento nas quais podem ser gravados e lidos símbolos discretos; para localização destas unidades de armazenamento, há necessidade de uma contagem que por sua vez manifesta as características do endereçamento. É claro que esta contagem é suportada pelo controle finito, que por questões de eficiência deve ser projetado levando em conta a magnitude desta contagem; assim uma unidade de armazenamento pode ser diretamente posicionada sob o cabeçote de leitura/gravação. Em decorrência disto temos um novo conceito que é o Espaço de Endereçamento (vide descrição deste conceito em [Guimr1] ). Este novo conceito encerra em si uma limitação que é o número máximo de posições da fita que podem ser abarcadas a partir de uma instrução. Ao mesmo tempo, o espaço de endereçamento tem se transformado num parâmetro tão delicado no projeto de uma máquina computacional que a escolha de sua magnitude pode significar o maior ou menor sucesso deste projeto (vide [Guimr]); destaque-se que isto já se manifesta nas máquinas projetadas para conterem programas (configurações computacionais pré-fixadas -- pré-programadas). Quando se considera uma aplicação na qual as configurações vão sendo geradas e adaptadas automaticamente em decorrência da interação com um ambiente rico em informação, então sem dúvida as limitações do espaço de endereçamento passam a ser bem mais graves. Assim a fragmentação e espalhamento das configurações em endereços distantes entre si torna-se iminente, com problemas de toda

espécie, particularmente no serenciamento de memória com necessidade de substituição em número exagerado de páginas de memória principal versus memória secundária.

Existem ainda outros pontos que distinguem este trabalho do de von Neumann. Um deles diz respeito ao fato do modelo de von Neumann possuir um espaço de apenas duas dimensões, ao invés de três; mesmo considerando que o próprio von Neumann admitia que seu espaço bi-dimensional era apenas uma abordagem inicial, irrelevante do ponto de vista teórico, entendeu-se que tal simplificação, ainda que temporária, iria desvirtuar uma meta importante que é a simplicidade operacional dos modelos construídos (\*) indispensável à executabilidade do, já altamente complexo, processamento da adaptação; é claro que a ampliação de duas para três dimensões não chega a representar uma modificação muito brusca -- conforme indicado acima talvez seja até uma simplificação -- a ponto de se dizer que aquele modelo tenha sido abandonado. Uma outra modificação

---

\* O inevitável cruzamento que ocorre com os muitos canais de comunicação (vias de dados nos computadores contemporâneos) em um espaço bidimensional gera a necessidade de se resolver este problema (através de sincronização de processos de comunicação, por exemplo) que certamente levará às dificuldades já existentes no mundo do "software" contemporâneo.

Já conhecida nossa, esta muito mais importante e fazendo o presente trabalho trilhar por caminhos bem diferentes dos de von Neumann -- deixando apenas a idéia fundamental de espaço isotrópico --, foi o abandono da rigidez, com o surgimento do conceito denominado aqui de Mobilidade Direta (%) do autômato (configurações ativas) ao longo do seu espaço.

Antes do prosseguimento se fará considerações acerca da opção de von Neumann em relação à imobilidade direta. A adoção desta imobilidade não foi apenas uma questão de simplificação porém antes de tudo uma necessidade de manter-se coerente com o paradigma fundamental da Teoria da Computação, ou seja, a idéia fundamental do Procedimento Efetivo de Turing; esta idéia incorpora a hipótese de que tanto o alfabeto de entrada quanto os estados internos do autômato sejam distinguíveis (discretos) -- esta opção de von Neumann foi necessária de modo a aproveitar o desenvolvimento já existente -- não tendo sentido portanto falar-se de aproximação do

---

% Por mobilidade direta subentende-se aquela na qual as configurações do modelo mudam de posição no espaço celular, passando por todas as posições de um subconjunto do espaço que além de ser conectado, contém todos os pontos da configuração antes e depois do deslocamento. Não está incluída aqui, é óbvio, a possibilidade de deslocamentos através de cópia de configurações e transcrevendo-as para outra parte do espaço, pois isto já seria perfeitamente realizável através do modelo de von Neumann.

símbolo de entrada (por exemplo, em lugar de um A ocorrendo um quase-A ) ou de graduação no estado interno do autômato. Como já se sabe, esta rigidez embora perfeitamente aceitável no quadro colocado pelo argumento de Turing, impossibilita o deslocamento livre de uma configuração (+). Temos a convicção de que ao se impedir um simples ajuste posicional de uma maneira simples e direta se está erigindo barreiras intransponíveis ao processamento adaptável que possui exatamente na topologia das configurações (\$) um poderoso meio de armazenamento de informação procedimental.

Em coincidência com os últimos aspectos apontados acima, deve-se citar um outro trabalho que muito auxiliou o presente desenvolvimento, provendo o ferramental matemático que viabilizou a solução dos ajustes posicionais acima mencionados; o referido trabalho é aquele desenvolvido pelo matemático

---

+ A rotação é impossível, enquanto que mesmo a translação paralela a algum eixo do espaço celular é somente possível às custas de grandes complicações como, por exemplo, o aumento do número de estados do elemento, de modo a comportar a necessária sincronização entre os elementos das configurações em deslocamento rígido.

---

\$ "... informação não será mais que a parametrização geométrica de um regime estacionário de dinâmicas confinadas, a cópia desta informação uma extensão espacial deste regime, e a mensagem uma subordinação preferencial entre dois regimes confinados. ..." ([Thom], página 158).

francês René Thom e que é hoje conhecido mundialmente como Teoria da Catástrofe (vide [Thom]). O ajuste posicional acima apontado foi possível graças ao provimento de uma flexibilidade no espaço celular, flexibilidade esta por sua vez viabilizada pelo provimento de uma modelagem contínua para os elementos; através das idéias de catástrofe além da continuidade buscada, pode-se manter as características de mudança brusca de estado de um autômato, já existente no modelo discreto, o que também é importante. Adicionalmente conseguiu-se com isto colocar todo o desenvolvimento da Matemática Contínua. Deve-se destacar que nisto implica em se dispor automaticamente da linguagem das equações diferenciais, para determinação de funções contínuas que, conforme o próprio Thom admite, deveria se constituir no paradigma básico da modelagem científica (\*). Aliás, esta é uma das razões que justificam ao presente trabalho não precisar se preocupar em apresentar algum modelo detalhado.

Acreditamos que esta introdução dê uma idéia razoavelmente aproximada do conteúdo deste trabalho, principalmente antecipando a distinção básica dele

---

\* "... Se  $P$  possui também uma estrutura diferenciável (digamos, espaço Euclidiano  $R^m$ , ou uma variedade diferenciável) a estrutura dinâmica será dada por um campo vetorial  $X$  em  $P$ . Os teoremas de existência e unicidade para as soluções das equações diferenciais com coeficientes diferenciáveis então fornecem o que é sem dúvida o paradigma típico para o determinismo científico. A possibilidade de utilização de um modelo diferencial é, ao meu ver, a justificativa final para o uso de métodos quantitativos em Ciências; ..." ([Thom], cap. 1, 1.2, E).

relativamente aos trabalhos de autômatos celulares, principalmente aqueles que lhe emprestaram uma contribuição mais efetiva como é o caso de [Codd] e [Priesel], sem falar no próprio [vonN].

Antes de terminar-se esta seção, deve-se dar um esclarecimento acerca de um fato que ocorre frequentemente durante o texto desta tese, e que pode confundir o leitor. Durante as discussões acerca das limitações do espaço celular de von Neumann, não raro se fala de máquinas de Turing ao invés do primeiro; isto quer significar que nestes casos as limitações são mais de ordem paradigmática do que mesmo de modelagem, isto é, as referidas limitações transcendem aos modelos de von Neumann, residindo de fato na essência dos processos computacionais que é o Procedimento Efetivo.

## Definições Básicas

### 2.0 Definições Básicas

As definições dadas a seguir foram fornecidas posteriormente à estruturação do presente trabalho, em vista de se ter detectado dificuldades no entendimento de discussões importantes apresentadas ao longo do mesmo. Espera-se que esta seção estabeleça um substrato mais rígido às referidas discussões ao tempo em que, muito provavelmente, coloque um instrumental útil aos desenvolvimentos que porventura venham a aparecer daqui por diante.

### 2.1 Espaço Isotrópico Flexível e Sensível -- EIFS --

É um espaço  $R^3$  onde em cada ponto existe associado um conjunto de "n" propriedades especiais  $P[i]$ , com "i" variando de "1" até "n". Cada uma destas propriedades possui domínio definido no intervalo aberto  $(r[i];s[i])$ . Adicionalmente existem "n" funções  $f[i]$  (aqui chamadas simplesmente de  $f_i$ , para denotar quaisquer de  $f_1, f_2, \dots, f_n$ ), uma para cada propriedade, com as seguintes características: se no centro  $P(x,y,z)$  de uma bola aberta (vide [Thom] à página 332), inicialmente totalmente distribuída com as propriedades  $P[i]$  em cada um dos seus pontos, suas propriedades forem alteradas para  $P'[i]$  então as propriedades de um ponto genérico  $Q(x_0,y_0,z_0)$  da mesma bola serão modificadas para  $P'[i]$  tal que:

$$P'[1] := f_1(P[1], d_0, P'[1], P'[2], \dots, P'[n])$$

\* \* \*

$$P'[n] := fn(P[n], d, P'[1], P'[2], \dots, P'[n])$$

onde  $d = ((x-x_0)**2 + (y-y_0)**2 + (z-z_0)**2)**0,5$ , isto é, a distância entre os dois pontos. O símbolo "!=" deve ser lido como "torna-se".

O espaço é dito Isotrópico por possuir as mesmas características em todos os seus pontos; Flexível, pelo fato de suas propriedades serem modificáveis dentro dos domínios respectivos; finalmente, Sensível em razão de que qualquer alteração de propriedades em um ponto do espaço acarretar em geral alterações nas propriedades de todos os pontos da vizinhança deste ponto.

## 2.2 Quiescência

Diz-se que um ponto P se encontra em estado Quiescente se:

1. As propriedades de um seu vizinho genérico Q não são alteradas, qualquer que seja a distância d entre eles.

$$a[i] := fi(a[i], d, P[1], P[2], \dots, P[n]), \text{ com } i=1, \dots, n$$

2. As suas propriedades não se alteram, com qualquer modificação nas propriedades de um Q genérico, entre seus vizinhos.

$$P[i] := fi(P[i], d, a[1], a[2], \dots, a[n]), \text{ com } i=1, \dots, n$$

### Corolário

Se dois pontos, distantes entre si estiverem em estado quiescente então tem-se para cada um deles:



$p[i] := f_i(p[i], d, p[1], p[2], \dots, p[n])$ . Isto é, eles não se afetarão além de possuírem as mesmas propriedades.

Esta colocação de quiescência deve-se mais a razões históricas do que mesmo por interesse prático. Na verdade, como será visto mais adiante quando se tratar de deslocamento de propriedade no EIFS, ela é incompatível com os conceitos aqui colocados.

### 2.3 Estabilidade

Quando para dois pontos A e B, distantes d entre si, tem-se:

$$a[i] := f_i(a[i], d, b[1], b[2], \dots, b[n]), \text{ com } i=1, \dots, n$$

$$b[i] := f_i(b[i], d, a[1], a[2], \dots, a[n]), \text{ com } i=1, \dots, n$$

Então diz-se que as propriedades de A e de B encontram-se estabilizadas. Vê-se que este conceito é relativo.

### 2.4 Deslocamento

Quando as propriedades  $p[i]$  de um ponto A passam para um ponto B, distantes entre si de  $d = ((x_a - x_b)^2 + (y_a - y_b)^2 + (z_a - z_b)^2)^{0,5}$ , com  $(x_a - x_b) \rightarrow 0$ ,  $(y_a - y_b) \rightarrow 0$ ,  $(z_a - z_b) \rightarrow 0$  -- logo também  $d \rightarrow 0$  --, então diz-se que a propriedade passou por um deslocamento elementar.

Diz-se que as propriedades  $p[i]$  se deslocaram de um ponto A para outro B, se existe um conjunto de pontos entre A e B para os quais para cada par de pontos vizinhos deste conjunto, ocorreu um

e somente um deslocamento elementar das propriedades  $P[i]$ .

**Teorema:** a idéia de estado quiescente é incompatível no contexto de EIFS.

De fato, se existir um ponto  $P$  em estado quiescente coincidindo com a trajetória de uma propriedade não quiescente em deslocamento, então jamais tal propriedade conseguirá ultrapassar o ponto  $P$ , pois para que isto seja possível é necessário que durante a passagem da propriedade em deslocamento no ponto  $P$  este ponto possua a propriedade em questão, o que é impossível pois pela definição de quiescência ela não é influenciada pela vizinhança, logo permanecendo quiescente. Este comportamento é contraditório com o significado de quiescente que implica em passividade, não interferência etc. Assim a idéia de estado quiescente é contraditória no EIFS pois ao invés de tudo permitir, se comportou como um obstáculo intransponível.

## 2.5 Solidariedade

Diz-se que se verifica solidariedade entre duas propriedades estáveis  $A$  e  $B$ , distantes  $d$  entre si, se para qualquer deslocamento elementar de uma delas provocar um correspondente deslocamento elementar na outra, de modo que, ao final, a distancia entre elas continue sendo  $d$ .

## 2.6 Configuração

É um conjunto de propriedades solidárias entre si. As configurações podem se modificar, dando origem a novas configurações; quando isto ocorre elas são ditas mutantes.

## 2.7 Autômato

É um conjunto, normalmente unitário, de configurações mutantes cujo comportamento é caracterizado pela quintupla seguinte:

$$(K, S, d, \alpha, F)$$

onde:

1.  $K$  é um conjunto finito e não vazio de estados.
2.  $S$  é um conjunto de variáveis reais  $s[i]$ , de entrada, definidas cada uma delas no intervalo aberto  $(a[i], b[i])$ , com  $a[i] < b[i]$  e tal que a interseção  $(a[i], b[i])$  e  $(a[k], b[k])$  é vazia, para  $i$  diferente de  $k$ .
3.  $d$  é uma aplicação  $K \times S$  em  $K$ .
4.  $I$  é o conjunto de estados iniciais -- obviamente com  $I$  contido ou coincidindo com  $K$ .
5.  $F$  é o conjunto de estados finais -- também aqui  $F$  está contido ou coincide com  $K$ .

Pode-se notar que esta definição é uma generalização de autômato finito (vide [HopUlm]); a alteração mais importante ocorre em  $S$ . Aqui  $S$  representa um conjunto de intervalos reais, o que equivale dizer, que passa a reconhecer infinitos símbolos; porém o que importa é que  $S$  simboliza as possibilidades extra

autômato que podem lhe afetar; estas possibilidades são materializadas pelo estado -- propriedades -- do ambiente (vide mais adiante a definição deste) onde se encontrar o autômato e que podem lhe afetar fazendo-o passar para outro estado, isto é, fazendo-o mudar para outra configuração (que normalmente também é mutante), para outra relação entre configurações, ou ambos. O conjunto  $K$  é dado pelo conjunto de todas as configurações estáveis e/ou relações entre configurações.

## 2.8 Ambiente

É um subconjunto de EIFS, adjacente a um dado autômato, e se estendendo até resistências que ainda podem alterar a estabilidade do autômato (fazendo-o mudar de estado) pela colocação de uma ou mais configurações.

## 2.9 Controle de Autômato

Um controle sobre um autômato é criado pela colocação no seu ambiente de configurações que possam lhe influir, fazendo-o modificar convenientemente o seu estado de acordo com o objetivo do programador (e das limitações do próprio autômato, é claro). Se o controle faz o autômato mudar de estado apenas uma vez, ao invés de passar por sucessivos estados, ele é dito **Controle Elementar**.

## 2.10 Especificação de Automato

Tendo-se uma ou mais configurações A que uma vez submetido a um controle C resulta em um ou mais automatos B , irreversíveis no sentido de que não existe controle capaz de fazer B retornar para A , diz-se que A é uma especificação de B . Outros termos que podem se originar desta definição: (a) a configuração A se transformou no automato B ; (b) A gerou B sob as restrições C . As transformações que podem ocorrer nas configurações se dividem em dois tipos básicos:

1. Por Decomposição - quando uma configuração é quebrada em duas ou mais configurações.
2. Por União - quando várias configurações distintas se juntam para dar origem a uma única.

## 2.11 Desenvolvimento

Quando se tem um conjunto de automatos A que dá origem a outro conjunto de automatos B sob um conjunto de restrições C , atuando sequencial e/ou paralelamente, diz-se que o conjunto A desenvolveu-se para o conjunto B .

## 2.12 Programa de Desenvolvimento

É um conjunto de especificações de automato unidas temporariamente entre si e formando uma única configuração em

cadeia linear, que pode ser decomposta sequencialmente sob a ação de um conjunto de restrições C atuando sequencial e/ou paralelamente.

A disposição em cadeia linear deve existir em decorrência da facilidade necessária para manipulação: uma cadeia linear pode ser quebrada em qualquer ponto que se deseje ou pode ser unida a outra cadeia linear para formar uma terceira maior; operações complexas podem dar origem a cadeias completamente distintas das cadeias originais.

### 2.13 Duplicação de Automato

A técnica a ser adotada para se duplicar automatos, constará basicamente em duplicar-se os programas de desenvolvimento. Para que isto seja possível, os programas de desenvolvimento devem ser constituídos de cadeias lineares de configurações básicas de desenvolvimento -- cada uma destas configurações básicas deve ser responsável por uma etapa essencial do desenvolvimento --; além disto cada configuração poderá ser passível de ligação física com outra configuração básica, sendo esta ligação anulável através de um controle específico conveniente. Baseado nisto, é possível formar-se uma cadeia dupla que a qualquer momento pode ser desfeita apenas pelo acionamento do controle respectivo que causará a decomposição da cadeia dupla em duas cadeias simples. Todavia, cessado a ação do controle, as duas cadeias

simples podem voltar a se reunir em uma única cadeia dupla; porém, caso seja provido no ambiente uma população razoável de configurações básicas, é mais provável que estas configurações básicas se unam a cada uma das cadeias simples formando duas cadeias duplas, ocasionando deste modo uma efetiva duplicação do programa de desenvolvimento de autómatos e conseqüentemente do número de autómatos resultantes de tais programas.

Neste ponto torna-se obrigatório fazer-se algumas observações em função da coincidência de diversos aspectos acima apontados com a teoria do DNA. Em princípio deve-se registrar que, de acordo com colocações feitas em diversos locais deste trabalho, a essência das idéias aqui expostas é de inspiração claramente biológica; então é muito natural que se existe alguma coincidência de fins deve conseqüentemente haver também alguma coincidência de meios -- também não se deve esquecer que por inspiração biológica quer dizer inspiração nas teorias e modelos vigentes na biologia, e não em verdades finais, cujas comprovações carecem de recursos teóricos mais poderosos (como o espaço celular em questão) que permitam um maior refinamento de suas idéias básicas; assim tal inspiração tem suas limitações --. Por outro lado deve-se notar que as preocupações essenciais da Biologia são claramente distintas das nossas aqui; enquanto ali se procura explicar o comportamento de coisas supostamente existentes, aqui o objetivo é construir máquinas cujo

comportamento não é necessariamente coincidente com aquele exibido pelos seres vivos. Assim acreditamos que a Biologia irá prover grandes subsídios durante a infância da teoria que aqui se esboça, porém à medida que se atinja determinados patamares de conhecimento se passará a aplicação puramente da lógica desenvolvida para a aplicação de construção de máquinas, e certamente neste momento esta lógica mencionada será de grande valia na verificação das próprias teorias da Biologia conforme já mencionado.

Outro aspecto relevante, a esta altura, diz respeito ao desprezo da técnica de auto-duplicação de autômato proposta por von Neumann; esta desconsideração deveu-se ao ingrediente da programação imperativa daquele modelo, completamente incompatível com a natureza da programação aqui proposta; a opção por este último tipo de programação será objeto de discussões detalhadas mais adiante.

#### 2.14 Conclusões Preliminares.

Nas linhas restantes desta seção se procurará fazer alguns comentários acerca do que foi definido, não apenas com a finalidade de se melhorar o discernimento acerca do material exposto, mas também tentando ensinar uma lição com o que virá a seguir.



1. A idéia de autômato é inerentemente recursiva. Ou seja, autômatos podem ser configurações isoladas satisfazendo à definição dada para autômatos, ou um conjunto de configurações apresentando globalmente um comportamento que satisfaça à definição de autômato; neste caso, nada impede que cada uma destas configurações já apresentem comportamentos individualizados que satisfaçam à definição de autômato -- aqui seria oportuna a nomenclatura de sub-autômato --. Projetando-se esta visão em sentido contrário, isto é do mais simples para o menos simples, pode-se concluir que pela reunião de diversos autômatos pode-se manifestar novos comportamentos e portanto novos autômatos; esta idéia básica conduz a uma espécie de estruturação da programação.
2. A movimentação das configurações no EIFS torna-se necessária para que se possa manifestar as idéias de controle, duplicação etc., todas elas essenciais para a ocorrência de adaptações de autômatos em todos os níveis possíveis. Acreditamos portanto que adaptação não exista sem que a idéia de movimento não lhe esteja embutida.
3. Finalmente, para fazer-se seqüência com o material que se seguirá, a idéia de espaço celular exposta exhaustivamente ao longo do presente trabalho surge como uma necessidade de materializar-se a idéia da

programação acima colocada. Assim, da impossibilidade de manifestar-se uma máquina artificial capaz de simular o EIFS, se procurará discretizar-se o espaço num "array" de elementos cujo comportamento se aproxime tanto quanto se deseje (para as finalidades práticas) do EIFS -- num certo sentido o espaço celular está para o EIFS como o método dos elementos finitos está para o método matemático das equações diferenciais. Para um dado espaço celular proposto, será necessário provar-se que tal espaço seja universal para os objetivos correspondentes; em outras palavras, que qualquer comportamento desejável seja realizável através de alguma configuração; sem dúvida, uma das condições necessárias para que isto ocorra é a ausência de limitação nas dimensões das configurações; isto é análogo à necessidade de fita ilimitada para as máquinas de Turing Universais. Deste modo o conceito de EIFS permanece como o quadro teórico explanativo além de originador do conceito de espaço celular; assim, o EIFS torna-se relevante no provimento de meios mais rigorosos para as provas que surjam como necessárias ao longo das discussões e construções no contexto de autômatos celulares.

## Paradigma Adaptacional

### 3.0 Paradigma Adaptacional

Neste capítulo apresenta-se o paradigma a ser adotado no presente trabalho. Deve-se chamar a atenção para o fato de que, ao se propor um novo paradigma quer-se dizer que as bases das teorias, e não as próprias teorias, é que estão sendo questionadas; portanto as teorias relativamente ao paradigma anterior podem permanecer consistentes porém o paradigma anterior, que as suporta, não é mais aplicável na solução de novos problemas que surtem. O que se segue não deve ser interpretado como uma refutação à teoria do procedimento efetivo e suas consequências, mas põe em dúvida a eficácia da aplicação destes conceitos teóricos como primitivos na abordagem dos objetivos presentes; para programação de tarefas em que se possa antecipar minuciosamente os detalhes -- como ocorre na programação dos computadores contemporâneos -- então eles permanecem de pé; todavia quando esta antecipação não for possível então estes conceitos turianos perdem a sua relevância. Os objetivos acima referidos se tornarão mais claros à medida que se evoluir na exposição; aproximadamente, se poderia dizer que se busca uma estrutura capaz de suportar programas que realizem processamento de informação natural -- por informação natural subentende-se aquela para a qual não seja possível fixar-se uma gramática; deve-se ressaltar que informação natural não é aleatória pois ao contrário desta última é sempre possível determinar-se para ela uma gramática para qualquer subconjunto convenientemente (isto é, sem cortes

bruscos) isolado a partir delas; isto é a informação natural sempre possui coerência --, e portanto tal estrutura deve facilitar a modificação das formas que se encontrem sobre ela numa maneira tal que estas formas estejam sempre se modificando em decorrência das solicitações que chegam até elas; assim tais formas poderão compor uma entidade complexa que poderá reagir gradualmente às solicitações do ambiente em que elas forem colocadas -- esta capacidade de reagir ao ambiente confere a tal entidade complexa os atributos de um autômato --; se estas reações forem coerentes com as solicitações então pode-se dizer que a entidade complexa tem capacidade de adaptação (em algum sentido arbitrariamente estabelecido) ao ambiente, podendo portanto ser chamada de Autômato Adaptável ao ambiente. Para facilitar o raciocínio pode-se pensar nesta estrutura como parecida com um ambiente bioquímico onde as formas seriam as moléculas em reação (programas em ação). Estas formas serão chamadas durante o trabalho de configurações.

Inicialmente será feita uma análise crítica do modelo de Turing e de suas implicações na teoria do espaço celular de von Neumann que tornou-se limitada ao tentar manter-se coerente com o paradigma computacional (%), proposto nos trabalhos de

---

% Neste trabalho nos referiremos ao paradigma que suporta a Teoria de Turing através desta denominação, ou seja, Paradigma Computacional.

Turins e correlatos (vide [Minsky] página 111; também [Simon I] ). Assim serão inicialmente apontados os problemas básicos do paradigma corrente e em seguida indicados os aspectos fundamentais que irão orientar o novo paradigma, à luz daqueles problemas.

### 3.1 Análise Crítica do Modelo de Turins

Inicialmente deve-se destacar que para as suas finalidades o paradigma computacional, baseado na efetividade procedimental, tem funcionado a contento, e também que a idéia do Procedimento Efetivo engloba em si aspectos que raramente têm sido questionados em Ciências da Computação. Essencialmente, a teoria que o propõe afirma que uma vez que se tenha um roteiro intuitivo para se resolver um problema, ao se repetir a solução do mesmo não mais se tem uma busca no espaço do problema mas sim a uma simples interpretação daquele roteiro. A Máquina de Turins é um modelo que traz à nossa realidade estes conceitos envolvendo o Procedimento Efetivo, através da construção de um sistema formal que supostamente seja capaz de representar qualquer roteiro intuitivo -- Tese de Church --. Através destas simples idéias, tem sido possível programar-se os computadores contemporâneos. Dentro deste quadro não há mais nada a fazer senão encontrar-se técnicas cada vez mais sofisticadas que implementem ao máximo de eficiência estas idéias, tanto no aspecto do provimento de facilidades para descrição dos algoritmos, através de linguagens de alto nível, quanto no

Projeto de máquinas cada vez mais velozes.

Todavia a essência da Ciência consta em buscar-se soluções cada vez mais adequadas para as necessidades humanas; sem dúvida nenhuma, a humanidade se encontra numa fase de euforia pela automação, onde tarefas realizadas pelas pessoas, cada vez mais tentam ser transferidas para máquinas. Na era dos computadores, esta fase efetivamente se iniciou pela substituição da atividade aritmética das pessoas pelo uso de máquinas; apesar disto cada vez mais constatamos computadores executando tarefas que não são, pelo menos principalmente, cálculos. Notamos computadores destinados a tarefas de segurança em habitações, de monitoração de atividades fabris, de armazenamento e recuperação de informação, de manipulação simbólica de informação, de pesquisa em espaço de problemas ([Nilsson1]), etc.; nestas tarefas muitas vezes se questiona acerca da adequacidade dos computadores no desempenho destas tarefas devido a diversos aspectos, principalmente envolvendo confiabilidade; talvez o progresso por que passa o mundo dos computadores seja muito mais decorrente dos progressos da eletrônica do que mesmo do desenvolvimento dos próprios computadores; talvez haja possibilidade de expandir-se os horizontes do mundo da automação através do desenvolvimento efetivo na arquitetura das máquinas de processamento de informação, e que este desenvolvimento possa orientar o desenvolvimento tecnológico da Eletrônica para este novo "status quo"; note que se isto for verdade, o desenvolvimento das

técnicas da Eletrônica pode, em parte, estar se dando no sentido diferente daquele que seria o ideal.

Suponha-se que existam tipos de processamento de informação que ainda não tenham sido desenvolvidos e implementados pela Ciência e Tecnologia mas que sejam relevantes no dia a dia das pessoas; acrescente-se que tais problemas embora sejam facilmente tratáveis de uma maneira alternativa à solução tradicional (isto é, esta maneira alternativa não se enquadra no paradigma atual); pelas vias tradicionais a solução corresponde a uma tarefa formidável (\*). Ilustremos esta colocação através de um exemplo. Suponhamos que se deseja retratar uma paisagem; uma opção consta em representarmos a paisagem utilizando a técnica da pintura; outra opção constaria no uso da fotografia para o mesmo fim. Na primeira opção a qualidade do resultado depende da capacidade do pintor em se conscientizar dos detalhes dos objetos que visualiza; note-se que cada detalhe deve ser considerado isoladamente, ao longo do tempo. Na opção da técnica fotográfica, por mais complicada que seja a operação -- medições fotométricas, posicionamento da câmera etc. --, certamente ela é várias ordens de grandeza mais simples do que a pintura. Alguém poderá dizer que um quadro pintado por um mestre, rigorosamente dentro de um padrão técnico altamente apurado, certamente

---

\* Por **formidável** subentende-se aqui uma magnitude de grandeza tal que se torne imeraticável a tarefa de vencer um obstáculo que possa ser assim caracterizado, ainda que este obstáculo envolva grandezas finitas.

resultará num trabalho melhor do que a fotografia -- para simplificar a discussão admitiremos que não existam mestres da fotografia e que a qualidade dos filmes fotográficos deixe muito a desejar, relativamente à qualidade da pintura --. Assim, neste caso em que se deseja retratar apenas uma única paisagem, a escolha poderá recair na primeira opção, da pintura; esta escolha poderá ser mentida, mesmo que o número de paisagens a representar comece a crescer -- é claro que à medida que o número de paisagens aumentar, a viabilidade da opção pintura diminui e conseqüentemente a da opção fotografia aumenta --; todavia quando o número de paisagens tornar-se muito grande se poderá dizer que embora teoricamente seja possível utilizar-se a pintura, tal tarefa seria formidável; note-se que isto não implica necessariamente que a mesma tarefa seja também formidável para a técnica da fotografia. Deve-se também observar que no caso da técnica da fotografia ela é muito mais sujeita a desenvolvimento do que a técnica da pintura, não sendo nenhum absurdo admitir-se que algum dia, com o desenvolvimento das câmaras automáticas e da qualidade dos filmes, não será difícil conseguir-se, talvez até sem recursos profissionais, fotografias de paisagens bem superiores aos trabalhos dos mestres da pintura paisagística. Assim, quando mais solicitados, os caminhos tradicionais podem deixar de ser viáveis mesmo que teoricamente conduzam a uma solução.



3.1.1 Dicotomia Forma x Significado - As Máquinas de Turing são modelos formais; usando-se a linguagem de [Thom] isto quer dizer: existe um sistema formal  $P$  e neste sistema formal são construídas proposições que parametrizam os estados do processo que acionam estas máquinas; e mais, se no decurso do tempo, um estado é transformado em outro então as proposições que parametrizam este novo estado podem ser deduzidas das proposições que parametrizam o estado anterior. Como o próprio Thom observa, "tais modelos não são necessariamente determinísticos, pois um conjunto  $a$  de premissas de  $P$  pode em geral implicar um grande número de conclusões formalmente diferentes, e deste modo os modelos não são inteiramente satisfatórios pois, sendo não determinísticos, nem sempre permitem previsão". Em [Minsky] encontra-se a observação que as teorias das máquinas funcionam inversamente às teorias acerca dos fenômenos naturais (exatamente aqueles tipos de fenômenos que interessam Thom); isto é, enquanto nas primeiras nós construímos objetos que satisfaçam a metas estabelecidas por proposições, nas últimas nós construímos proposições que devem se relacionar a fenômenos naturais (o maquinário da natureza). Com isto nós podemos tomar as conclusões de Thom e aplicá-las ao ponto que nos interessa; quando ele fala em "grande número de conclusões formalmente diferentes", ou seja para uma forma ocorrem muitos significados, nós tomamos a aplicação inversa de acordo com a observação acima e dizemos que aplicados à Teoria de Máquinas, os modelos formais conduzem a mais formas que significados -- Programas podem estar

sintaticamente corretos e não obstante isto, carecerem de qualquer significado --. Em suma, podem haver formas representacionais que não tenham significado, ainda que todos os significados (no caso do modelo de Turins, roteiros intuitivos para solução de problemas) possuam uma forma que lhe represente (o procedimento efetivo). Em outras palavras, o modelo de Turins não permite uma aplicação bijetiva para **Forma x Significado**. Este problema do modelo de Turins é decorrente do seu próprio objetivo, qual seja, dar um cunho de realidade ao conceito teórico **Procedimento Efetivo** ; sem dúvida, a simplicidade deste conceito orientou pela opção de um recurso formal pois além deste ser mais eficiente para os esquemas pré-definidos, possivelmente era o único em disponibilidade efetiva naquela época. Assim, podemos constatar hoje em dia um grande número de linguagens de programação para as mais diferentes aplicações, nas quais formas convenientemente escolhidas, não obstante arbitrárias, são facilmente associadas às semânticas correspondentes. Num modelo contínuo, por exemplo, a determinação de um procedimento efetivo representaria no mínimo uma tarefa **formidável** de resoluções matemáticas envolvendo sistemas de equações diferenciais parciais, e ainda assim caso se consiga equacioná-los. Acredito que dificilmente teria sido encontrada solução mais adequada.

Todavia, quando os objetivos passam a ser adaptados nos mais diversos ambientes, então a situação se modifica

radicalmente. Nesta nova situação não mais é possível a pré-definição do problema uma vez que ele é extremamente complicado para ser captado mentalmente por qualquer entidade pensante (mesmo grupos de pessoas extremamente bem treinados e disciplinados para trabalharem intelectualmente em conjunto); isto porque o número de possibilidades que devem ser previstas para serem programadas a priori é extremamente alto e admitindo que alguém encontrasse um algoritmo que realizasse tal tarefa, ainda assim pouco se conseguiria com isto em consequência da complexidade computacional envolvida. A chave para a solução deste problema é admitir-se que embora o espaço de opções seja extremamente (possivelmente, infinitamente) vasto, a faixa de trabalho é estreita; é claro que tal faixa de funcionamento não pode ser prevista pois de outro modo o procedimento efetivo seria aplicável. As tentativas já feitas para tratar-se estas situações de adaptação através do recurso da programação pré-fixada (pré-programação), envolveram ou a postulação de **minimundos** (onde a complexidade espontânea não existiria) ou então a postulação de **especialistas** (com faixa de trabalho pré-definidas e portanto implicando com isto nos riscos óbvios de limitação devido ao afastamento da faixa prevista com a efetivamente encontrada). Tais abordagens embora extremamente importantes do ponto de vista científico, devido ao maior discernimento que propiciaram, ainda estão muito distantes das aplicações práticas. Não se ajusta nesta colocação um robô de linha de produção que precisa ser programado detalhadamente para funcionar no seu ambiente que é em si um

minimundo, precisando cada um de seus movimentos ser minuciosamente antecipado; em consequência o robô não pode fazer qualquer coisa para a qual não tenha sido programado; isto não ocorreria se estas máquinas possuissem um mínimo de "bom senso" -- conforme já observado, tem sido continuamente proclamado pelos pesquisadores da Inteligência Artificial que o objetivo desta disciplina seja dotar as máquinas com o "bom senso" (esta expressão correspondendo à tradução de "common sense", da língua inglesa) das pessoas -- que as permitisse tomar muitas decisões, independentemente de programação específica.

No processamento da adaptação primeiro deve existir o que é conhecido como extração de características do ambiente para somente depois haver possibilidade do autômato realizar interações coerentes com este ambiente -- quando estas interações coerentes atingirem o nível das pessoas, pode-se dizer que ele possui "bom senso" --; na última fase, já possuindo "bom senso", poderia ser treinado (ou instruído) para realizar tarefas. Observe que a fase de obtenção das características do ambiente para a adaptação inicial inexistente no modelo de Turins pois ela é substituída pelo arbitramento do alfabeto dos símbolos que podem ser escritos e/ou lidos na fita (substituindo as características extraídas) e pela fixação dos estados (substituindo as configurações internas e correspondentes àquelas características e desenvolvidas durante a mesma fase). Note-se que o próprio autômato faz parte do

ambiente -- admitindo que ele possa atuar sobre o ambiente, o que é bastante razoável -- pois suas ações também influem nas características do ambiente. Ora, todas as ações de um autômato são inicialmente decorrentes de seus estados internos; em outras palavras, da forma de suas configurações internas. Portanto, para que haja possibilidade de interação torna-se necessário que todas as formas internas que possam existir no autômato tenham um significado (o significado aqui já assume uma interpretação muito mais fundamental e abrangente, relacionando-se às características do meio ambiente); e mais ainda, que este significado seja graduável com a forma respectiva. Mais precisamente, é necessário que exista um homeomorfismo entre forma e significado em modelo destinado a processamento adaptável; e para completar, o significado deve ser construído automaticamente sem qualquer fixação prévia por parte das pessoas pois, conforme é discutido em apêndice especial para este fim, a determinação deste significado apresenta dificuldades incontornáveis. É toda esta dificuldade dos modelos formais, discriminando forma de um lado e significado do outro, que aqui se denomina de dicotomia entre forma e significado.

3.1.2 Rigidez do Espaço de Turing - Na semântica da palavra *adaptação* encontra-se embutido o conceito de mudança. Assim não há como se entender *adaptação* de alguma coisa sem que com isto não esteja implícita uma modificação. Em nosso

caso, a mudança diz respeito ao próprio autômato, isto é à entidade complexa de formas referida na introdução; mais precisamente, mudança em larga escala, tanto qualitativamente quanto quantitativamente, na estrutura do autômato. Todavia qualquer mudança, por mais simples que seja, em um espaço contendo uma grande quantidade de objetos justapostos normalmente implica numa acomodação de todos estes objetos em busca de uma nova condição de equilíbrio. Como em nosso espaço de autômato ocorre um grande ajuntamento de configurações que interagem entre si durante o funcionamento do autômato, uma acomodação destas configurações em busca do equilíbrio pode envolver uma complexidade computacional de tal monta que torne este funcionamento impraticável, senão impossível. Isto é particularmente verdadeiro com o espaço de autômatos de Turins, espaço este que corresponde a um espaço de endereços onde são depositadas as configurações dos programas; caso se queira inserir alguma modificação em algum programa, então primeiro torna-se necessário rearranjar-se tal espaço para somente após isto introduzir-se as partes novas (\*). Todavia, considerando-se este espaço de Turins -- a fita -- generalizado para o espaço celular com mais de uma dimensão, então as dificuldades aumentam ainda mais. Pode-se mostrar que alguns tipos de movimentos, para os quais existe um componente de rotação (vide

---

\* A possibilidade de utilização da técnica de ponteiros, ao invés de resolver agrava ainda mais esta questão, além de implicar em não se poder utilizar um espaço celular, conforme já discutido na introdução.

apêndice que discute a "Residez do Espaço Celular de von Neumann), o deslocamento é impossível, conseguindo-se no máximo uma modificação brusca no posicionamento da configuração; este fato pode acarretar prejuízos graves na busca de estabilidade do autômato, além de quebrar toda a naturalidade do processo. Para se contornar esta dificuldade, deve-se exigir que o autômato tenha possibilidade de deslocar-se naturalmente através do espaço celular, de modo que todas as suas partes em movimento percorram um caminho conexo dentro deste mesmo espaço. Esta propriedade do espaço celular em apresentar esta característica será denominada neste trabalho de mobilidade direta. No mesmo apêndice, referenciado há pouco, é mostrado que o espaço celular de von Neumann carece desta propriedade.

### 3.2 Características do Espaço Celular

Esta seção aborda mais diretamente a essência do trabalho ou seja, os pré-requisitos necessários ao processamento adaptável. Em primeiro lugar será discutido o aspecto da interação direta entre o ambiente e o espaço celular; será argumentado que esta interação direta elimina o problema do provimento artificial do significado (vide apêndice com discussão acerca de significado). Em seguida virá a outra discussão importante, que apresentará um caminho para evitar-se a complexidade computacional apresentada pelo espaço celular de von Neumann.

3.2.1 Interação Direta Ambiente x Espaço Celular - Aqui serão discutidos aspectos que poderão possibilitar uma distinção bem clara entre a abordagem de interação de autômatos com ambientes e a que é frequentemente encontrada em trabalhos comumente rotulados com o termo Cibernética e também encontrado em trabalhos sobre Perceptrons (vide [MnkPar] e também [Nilsson]) (%). Ao invés de se definir à priori como primitiva a interação entre autômatos e ambiente externo estabelecendo-se as fronteiras entre cada uma das partes e, a partir daí, provendo-se os canais de comunicação entre elas, procurar-se-á estudar a essência da interação em todos os níveis, de modo a se evitar ao máximo artificios "ad hoc". Em outras palavras, a interação entre o espaço celular e o ambiente externo, ao invés de ser uma primitiva do modelo será uma natural consequência das propriedades comuns do espaço celular aqui colocado. Neste espaço a preocupação básica é prover-se um ambiente interno de modo tal que toda e qualquer perturbação existente tende a se propagar em busca de equilíbrio; mais precisamente, qualquer instabilidade se propaga pelo espaço até que a condição de estabilidade, ainda que dinâmica, volte a se estabelecer. Eventualmente esta instabilidade em propagação atinge as fronteiras do autômato

---

% As bases dos trabalhos conhecidos até o presente acerca de Perceptrons, são essencialmente computacionais; isto explica porque em tais propostas ocorre a necessidade de construir-se entidades específicas, em outras palavras pré-programadas, para proverem capacidades inexistentes no modelo de Turing, como é o caso da interação do autômato com seu meio ambiente.



e, numa forma análoga à conservação de energia, passa para o ambiente, que, neste caso, funciona como uma extensão do próprio autômato, e vice-versa. A perturbação emanada para o ambiente pode eventualmente se refletir sobre o autômato voltando a se propagar no espaço celular. Esta descrição pretende construir uma interação autômato versus meio ambiente simultaneamente básica e natural: A interação é natural pois não existe no modelo qualquer entidade especialmente concebida para suportar o aspecto da interação; é básica porque a partir dela os demais tipos de interação, todos mais complexos, podem ser derivados.

A exposição acima pode parecer purista e fora da realidade, porém ela é fundamental para o estabelecimento das propriedades deste espaço celular. Está-se convicto que interação entre dois objetos ocorre num grau proporcional à proximidade entre as estruturas destes dois objetos; esta proximidade estrutural conduzirá a uma proximidade de propriedades e daí a uma proximidade linguística -- admitindo-se, como em [Pattee], que linguagem seja uma manifestação das propriedades do objeto; portanto linguagem está aqui num sentido bastante generalizado --; com proximidade linguística temos assegurado os canais de comunicação necessários à interação, e isto como decorrência das propriedades dos objetos e não em decorrência de condições específicas previamente colocadas para que seja alcançada a interação. É por esta razão que as propriedades do espaço celular devem ser o mais próximo possível das propriedades do

ambiente externo. Destas considerações poderíamos abstrair o seguinte princípio:

A capacidade de adaptação de um autômato é tanto maior quanto mais correspondentes forem as propriedades do seu espaço celular com as propriedades do meio ambiente externo (+).

3.2.2 Flexibilidade do Espaço Celular - A outra característica importante do espaço celular, aqui apresentado, é a flexibilidade. Esta característica, que se contrazõe à rigidez do Modelo de Turins, é essencialmente necessária para que haja possibilidade de ajustes físicos nas configurações; na verdade esta necessidade é uma consequência imediata do princípio enunciado na última seção acima, que trata da interação direta entre o espaço celular e seu ambiente externo.

A flexibilidade do espaço celular é manifestada através de dois tipos de mudança que ocorrem durante o processamento da adaptação. Para melhor caracterização elas são discutidas isoladamente e a seguir.

---

+ A situação ideal, a nível de modelo, corresponde a um homeomorfismo entre as propriedades, consideradas fundamentais, das duas partes. A identidade entre as duas partes é irrelevante pois escapa ao contexto de modelos.

**3.2.2.1 Modificação das Configurações** - Este tipo de mudança corresponde geralmente a uma variação na geometria, normalmente em decorrência de acréscimos ou perdas; portanto mudanças mais definitivas, em seu próprio corpo, todavia as alterações podem também ser temporárias em decorrência de contactos com outras configurações lhe pressionando lateralmente durante algum momento de acomodação física dentro do espaço celular.

Uma fase importante do autômato adaptável é o seu desenvolvimento no espaço celular. Este desenvolvimento é caracterizado pelo aumento da dimensão física do autômato de acordo com os programas de desenvolvimento. Este aumento de dimensão ocorre em consequência do aumento nas dimensões das configurações complexas, e este último aumento por sua vez decorre da multiplicação de suas configurações básicas constituintes, e obviamente isto implica no aumento do arcabouço que envolve e delimita este micro-ambiente formador da configuração complexa mencionada.

**3.2.2.2 Deslocamento das Configurações** - Este outro tipo de mudança diz respeito mais à alteração das coordenadas dos pontos das configurações relativamente ao espaço celular. O deslocamento de configurações é também importante durante a fase de desenvolvimento onde se pode encontrar configurações migrando de uma parte para outra do espaço celular em busca de sua posição correta onde pode iniciar seu processo de

auto-duplicação, tudo isto em decorrência do controle exercido pelo programa de desenvolvimento. Todavia o ponto mais interessante a se registrar a esta altura é o fato de se poder utilizar esta importante possibilidade do espaço celular para se prover um eficiente e poderoso meio para controle de processos; isto é feito através do provimento no espaço celular de configurações mensageiras, contendo cada uma delas mensagens específicas para destinatários específicos, e de configurações capazes de receber as mensagens sob forma de estímulos específicos, que elas são particularmente sensíveis, provocados por configurações específicas (as mensageiras respectivas) quando próximas uma da outra.

## Modelo do Elemento

### 4.0 Modelo do Elemento

Neste ponto procuraremos objetivar as colocações filosóficas das seções anteriores. Na seção de definições básicas foi definido o EIFS e características dele que deveriam ser importantes. Caso estivessemos preocupados apenas com questões filosóficas permaneceríamos concentrados no EIFS, trabalhando matematicamente no sentido de revelar completamente detalhes de suas características -- aliás, conforme será colocado mais adiante na seção que aponta para desenvolvimentos que deverão se seguir à presente tese, tal trabalho é muito importante --; todavia existem outros níveis a serem discutidos, pois a limitação do estudo ao EIFS impedirá que os objetivos do presente trabalho sejam efetivamente atingidos. Em outras palavras, estudos profundos no EIFS poderão a vir revelar a essência ideal que possibilitará atingir-se o conhecimento acerca das circunstâncias nas quais os autômatos adaptáveis podem existir; todavia, será muito difícil construir-se uma máquina real que simule o EIFS, devido à sua natureza contínua e a complexidade das representações que lhe ocorrerão. É para contornar toda esta dificuldade que torna-se necessário adotar-se uma solução de compromisso, onde a essência do EIFS seja sacrificada em troca de uma efetiva praticidade para os conceitos colocados.

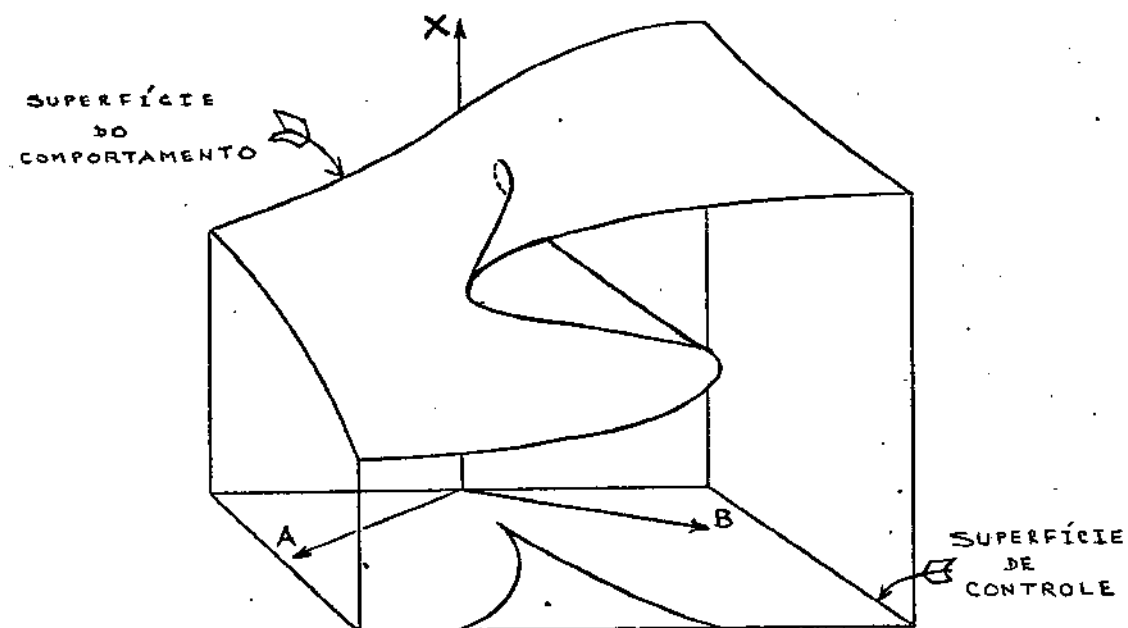
A solução de compromisso acima referida constar em se discretizar o EIFS em elementos, como se o cortássemos completamente em delgadas fatias (a espessura sempre constante)

com os cortes dispostos nas direcções de três planos ortogonais, digamos, X, Y e Z; com isto daríamos origem a um novo espaço que chamaremos, por razões históricas, de Espaço Celular. Em decorrência da disciplina obedecida durante os cortes aplicados no EIFS, surgiría uma unidade cúbica de lado constante (correspondente à espessura constante dos cortes); esta unidade cúbica será denominada aqui de elemento (note-se que a arrumação dos elementos corresponde a um "array" tri-dimensional); espera-se que a possibilidade de simular-se na prática cada um destes elementos, através de uma máquina real, tenha sido significativamente facilitada. Para manter-se os ideais do EIFS iremos tentar transferir para cada um destes elementos as propriedades matemáticas do ponto do EIFS; todavia o que importa mesmo é aproximar-se o comportamento global do Espaço Celular ao do EIFS de modo a se conseguir o comportamento almejado.

Já foi discutido que o modelo de von Neumann se baseia em um modelo formal; a razão de se ter afirmado isto prende-se ao fato de que o controle daquele modelo ser baseado em um modelo discreto sobre o qual é estabelecido uma base lógica que confere ao elemento meios para mudar de estado em decorrência de uma solicitação que ele seja submetido. Foi também discutido que este controle apresentava problemas de rigidez, pelo fato deste estado estar associado a conjunto de símbolos ao invés de um conjunto de valores correspondentes a estes símbolos, valores estes que poderiam se modificar dentro de uma certos limites sem que houvesse modificação importante no estado do elemento.

O fato de se tomar um modelo contínuo para se representar um processo, até mesmo computacional, não é novidade; por exemplo em [Brm] se pode encontrar uma modelagem computacional contínua, além de uma discussão acerca deste fato. Em suma, a modelagem contínua, principalmente quando envolve reconhecimento de padrões, permite que se trate com um aspecto qualitativo de uma vez por todas ao invés de se ficar tratando com diferentes nuances dela como se fossem aspectos qualitativos distintos -- admitindo é claro, que estas diferentes nuances não sejam relevantes para modificação da qualidade --; isto obviamente oferece reflexos no aspecto de complexidade computacional. Aqui nós temos adicionalmente a possibilidade de uma propriedade poder variar dentro de certos limites e conferindo a almejada flexibilidade -- note que o termo flexibilidade é aqui empregado em toda a sua extensão, e não apenas de maneira figurada --. Matematicamente falando nós poderíamos dizer que dado um ponto (cujas coordenadas seriam as propriedades que desejamos representar) em um espaço topológico, se este ponto estiver fora de um certo conjunto fechado então a natureza do fenômeno manifestado por estas propriedades não varia para uma deformação suficientemente pequena deste estado -- a esta altura muitos dos leitores já terão reconhecido o tipo de modelo matemático que seria recomendável para tratar esta questão justamente acima colocada; me refiro naturalmente à Teoria da Catástrofe (vide [Thom]) que coloca uma discussão muito próxima à que temos focalizado para o aspecto particular da modelagem do elemento do espaço celular --.

Para melhor visualização considere-se o exemplo (\*) a seguir no qual se procurará fornecer a essência da modelagem em questão. Neste exemplo teremos uma função simples de comportamento (vide figura a seguir).



Nesta figura vemos uma superfície tri-dimensional e mais três eixos cartesianos respectivamente para as variáveis  $a$ ,  $b$  e  $x$ .

Se a superfície se destina a fornecer uma variação do comportamento de um sistema, este comportamento deve decorrer das entradas alimentadas nele, aqui chamadas de controle do comportamento; no caso, temos os controles  $a$  e  $b$  ditando o comportamento  $x$ . Não é difícil de se perceber o modo de funcionamento acima; em certas regiões do plano  $(a,b)$  temos os

\* Este exemplo está fortemente inspirado nos exemplos providos por [Zeeman]



chamados pontos regulares, nos quais, para uma variação suave dos controles  $a$  e  $b$ , tem-se variação também suave para o comportamento  $x$ . Em outras regiões, todavia, temos variações bruscas de  $x$  (comportamento) ainda que ocorram variações suaves do controle. A projeção da dobra da superfície sobre o plano  $(a,b)$  -- na figura, chamada de superfície de controle -- fornece o conjunto de bifurcação em forma de cúspide (é por esta razão que a superfície de comportamento acima é chamada de Cuspóide). Outro aspecto interessante na forma acima, que destaca a sua riqueza de informação, se relaciona ao fato de que eventualmente pode-se ter mais de uma ordenada, para um mesmo par  $(a,b)$ ; nestas situações aparentemente ambíguas a ordenada que deve prevalecer é aquela que oferece maior economia ao sistema, ou seja a de menor variação (mantendo a suavidade de variação ou permitindo o menor salto -- se for o caso). Isto é bastante coincidente com fenômenos observáveis em que uma mudança de fase envolve ambiguidades (&).

O exemplo acima tem o mérito de ser bastante claro, em decorrência de sua simplicidade. Esta simplicidade pode ser mantida no nível conceitual no sentido de que teremos entradas de controle, e comportamentos em função destes controles. Todavia o número destes controles e comportamentos deverá crescer em decorrência da vizinhança do espaço celular que

---

& E' o caso, por exemplo, de um líquido que resfriado suavemente, com um mínimo de perturbação, consegue ultrapassar o seu ponto de solidificação mantendo-se no estado líquido.

envolve um número de elementos da ordem desde sete (vizinhança-7, caso se considere a vizinhança idêntica à proposta por von Neumann -- isto é, apenas adjacência facial de elementos --) até vinte e oito (vizinhança-28, quando se considera qualquer tipo de adjacência de elementos); estes valores devem crescer mais ainda pois normalmente o número de influências entre pares de elementos adjacentes é superior a um. Todavia a dificuldade de equacionamento do modelo matemático do elemento não pode ser comparada com aquelas decorrentes das proposições dos pesquisadores da Teoria da Catástrofe; enquanto aqueles estão preocupados com modelagem de fenômenos complexos, como o comportamento de um organismo biológico, por exemplo, a preocupação aqui é com processos básicos e portanto de simplicidade incomparavelmente maior; numa analogia, poderíamos dizer, que enquanto ali se trabalharia ao nível biológico aqui se trabalharia ao nível molecular ou atômico. O truque utilizado para se atingir qualquer uma complexidade desejada seria o mesmo daquele usado nas máquinas de Turing, ao dispor de uma fita de tamanho infinito; aqui tem-se um espaço celular tri-dimensional, infinito em quaisquer dimensões.

De acordo com os resultados da Teoria da Catástrofe, o número de catástrofes cresce consideravelmente quando o número de dimensões também se eleva. Este fato é positivo (%) pois

---

% Isto particularmente não seria verdadeiro caso se estivesse diante de um modelo destinado a ser programado por pessoas.

ele permite, pelo menos teoricamente, uma riqueza representacional muito grande portanto capaz de captar prontamente maior número de características do ambiente (confronte com a discussão do próximo bloco-subseção).

Sumarizando os resultados desta seção. O nosso controle é aqui alcançado através de um função contínua do comportamento, apresentando conjuntos de variação brusca -- conjuntos de catástrofe --, e tendo dimensões chamadas de controle. Uma função de tal tipo pode ser representada simbolicamente por

$$f(e[1,1], e[2,1], \dots, e[1,2], e[2,2], \dots, e[i,j], \dots)$$

onde  $i$  é o índice indicativo de elemento da vizinhança (elemento adjacente facial anterior numa dimensão particular, por exemplo) enquanto  $j$  é o índice de influência particular propiciada por este mesmo elemento adjacente.

#### 4.1 Análise com Autômatos Finitos

Observando-se com cuidado a função do comportamento apresentada acima, notamos nela muitos traços semânticos do modelo de Autômatos Finitos.

Tomando-se o autômato finito  $\{K, S, d, a_0, F\}$  sobre o alfabeto  $S$ , conforme definido em [HofUlm], onde  $K$  é o conjunto finito de estados,  $S$  é o alfabeto finito de entrada,  $d$  é uma aplicação de  $K \times S$  em  $K$ ,  $a_0$  em  $K$  é o estado inicial e  $F$  contido em  $K$  é o conjunto de estados

finais; comparando-o com a função contínua do comportamento, pode-se abstrair os seguintes comentários:

1. Na função contínua encontra-se regiões de estabilidade. Nestas regiões pode-se dizer que para qualquer variação do controle que não ultrapasse as fronteiras delas, que o estado do comportamento permanece inalterado. Logo, o conjunto de todas estas regiões é completamente análogo ao conjunto  $K$  do autômato finito.
2. No autômato finito tem-se uma aplicação  $d$  que permite ao autômato trocar de estados; a função do comportamento é em si uma aplicação dos controles para o comportamento -- deve-se destacar que o comportamento do elemento deve ser realimentado nele próprio sob forma de controle (aqui também o estado depende do estado anterior, da mesma forma que o autômato finito) --. Interpretando-se de outro modo. No caso de autômato finito pode-se fazê-lo representar-se por um grafo matemático; neste grafo as arestas manifestariam as relações topológicas entre estados, aqui denotados pelos nós do grafo; na função do comportamento tem-se as regiões de catástrofe que, poderíamos dizer, ligam as regiões de estabilidade representativas dos estados.

3. O alfabeto finito de entrada  $S$  é replicado no modelo contínuo pela influência dos elementos adjacentes. Isto corresponde a alguns dos parâmetros da função -- note que o estado do elemento que fornece o comportamento é também parâmetro --.
4. O conjunto  $F$  não tem correspondência no modelo contínuo. Isto em razão do paradigma que suporta o processamento adaptável que não admite dicotomia entre forma e significado. Assim, por princípio, para qualquer controle existe um comportamento correspondente, não existindo possibilidade de não reconhecimento de uma entrada.
5. O estado inicial  $q_0$  também é irrelevante para o modelo contínuo pois em qualquer situação pode-se ativar um elemento.

Vê-se portanto que a função do comportamento tem a essência dos autômatos finitos. Portanto é razoável que a chamemos de **Autômato Finito Contínuo**. Pode-se ver também que este tipo de autômato finito é conceitualmente mais poderoso, pois através de uma única entidade, a função do comportamento, ele consegue um poder representacional igual ou superior (%) àquele outro, em cuja definição entram diversas

---

% Na verdade superior, pois o alfabeto de entrada passa do domínio dos inteiros para o domínio dos reais, aumentando a abrangência em consequência.

entidades. Se isto for comprovado, então pelo princípio da economia científica propalado por Guilherme de Occam, o modelo contínuo do Autômato Finito é melhor em qualquer sentido que se considere -- mesmo para as implementações envolvendo Máquinas de Turing --.

#### 4.2 O Grau de Resolução do Modelo

Neste aspecto interessa saber até que ponto o modelo pode representar configurações; em outras palavras, qual a complexidade de representação que pode ser atinsida através do presente espaço celular.

Conforme já foi apontado anteriormente, esta questão é muito similar à questão do poder computacional das Máquinas de Turing. No caso das máquinas de Turing interessava saber se dada uma máquina finita, o que se tornava necessário adicionar a esta máquina finita de modo que ela passasse a ter um poder computacional universal; isto é, dada qualquer função computável e esta função poderia ser calculada através de uma tal máquina. A solução constou em tomar-se a fita de tamanho infinito e acoplá-la à máquina finita; neste caso, um aspecto qualitativo foi resolvido através de um subsídio quantitativo ([Minsky]).

O mesmo tipo de abordagem pode ser usado para a questão do poder representacional universal, do espaço celular. Para que se tenha um poder representacional universal é necessário que se tenha um espaço celular cujas dimensões em qualquer

direção sejam infinitas. Não é difícil de se ver que, para uma dada grade pode-se representar um contorno imitando um contorno visual qualquer fornecido, por mais complexo que seja; isto pode ser conseguido enesrecendo-se os quadrados situados dentro do contorno representado (numa escala escolhida) e deixando-se em branco os demais quadrados. É claro que o contorno cópia será apenas uma aproximação do contorno original; todavia pode-se melhorar a representação, ao ponto que se deseje, simplesmente aumentando-se suficientemente o número de malhas da representação. Embora a representação almejada no espaço celular não seja do tipo deste exemplo, relativamente ao poder representacional a analogia é aplicável. Caso se deseje representar uma configuração no espaço celular, se esta configuração for possível de acordo com as leis da física então ela será representável com exatidão no EIFS e conseqüentemente será representável com algum grau de aproximação, o grau que se desejar, no espaço celular.

É claro que estamos discutindo um aspecto apenas necessário para se ter um poder representacional universal. A outra condição necessária diz respeito à função do comportamento que deve levar em conta todas as influências que ocorrem em qualquer representação e o papel desempenhado por elas; e mais ainda, quanto mais poderosa for a função do comportamento, menos complexas (em termos do número de elementos necessários à representação) poderão ser as configurações.

### 4.3 O Conceito de Tempo

Também o conceito de tempo difere do modelo tradicional de autômatos finitos. No modelo tradicional, tempo corresponde ao conceito de ritmo; isto é, além do modelo do autômato existe uma entidade que produz um ritmo que anima o autômato; a cada pulso deste ritmo o autômato reage tomando a sua próxima ação. Isto também implica que o tempo é absoluto no sistema.

Em nosso modelo o conceito de tempo não é uma primitiva, mas uma decorrência do estado de animação de cada vizinhança de elemento. O que queremos dizer com estado de animação é o seguinte: quando um elemento muda de estado (obviamente por ter passado por uma catástrofe) então ele provoca uma perturbação em sua vizinhança, afetando os demais elementos envolvidos nesta vizinhança; esta perturbação será uma troca de influências recíprocas durante algum período; é esta troca de influências que é aqui chamada de animação. Um elemento no meio de uma vizinhança em estado de animação, recebe influências dela num ritmo qualquer (aparentemente aleatório); este ritmo passa a ser o tempo deste elemento -- note que nada ocorre para um elemento se ele não recebe alguma influência da vizinhança; isto equivale a se dizer que o tempo para ele parou, embora possa estar correndo em diversas velocidades em outras vizinhanças --. É claro que este conceito de tempo é completamente relativo; podemos dizer que o tempo em cada vizinhança depende do estado de animação da vizinhança respectiva.



Acredito que este conceito de tempo esteja bastante próximo do conceito mais intuitivo e natural de tempo; este conceito se relaciona ao estado de consciência (memória) decorrente da percepção de fenômenos. Sabe-se que um fenômeno a ocorreu num tempo anterior ao tempo de outro fenômeno b, devido à memória de que, quando da ocorrência de a ainda não se havia registrado b, e inversamente, quando da ocorrência de b já se tinha registrado a. O aspecto de duração, maior ou menor, de tempo entre os fenômenos a e b diz respeito ao fato de se ter registrado na memória um número, maior ou menor, de fenômenos intermediários (®).

Sumarizando; o conceito de tempo do modelo em apresentação é completamente relativo e derivado do estado de animação da vizinhança que se considere. Portanto, além de ser mais intuitivo e natural, o que certamente irá tornar o espaço celular mais homeomórfico ao meio ambiente natural, melhorando a sua capacidade de adaptação, oferece um dividendo de credibilidade adicional pelo fato de tornar a sua postulação teórica mais econômica ainda, em vista dos critérios da economia científica já citados acima.

---

® O conceito de intermediário é decorrente do conceito de antecedência acima apontado.

#### 4.4 Aspectos do Paralelismo

Em um modelo celular baseado no paradigma computacional, obviamente, uma certa dose de paralelismo já existe implicitamente. Todavia este paralelismo se manifesta apenas em coexistência com sincronismo sequencial (\*); isto é ilustrado no apêndice que trata da rigidez do modelo de von Neumann.

No modelo celular baseado no paradigma adaptacional não existe necessidade de sincronismo, ou por outra, pode-se considerar que ele se dá de maneira completamente paralela no nível elementar; assim, nunca se verifica qualquer ponto de estrangulamento durante o processamento; Isto em consequência da flexibilidade do espaço celular. Esta flexibilidade inclusive existe este paralelismo total, sem o qual as condições de equilíbrio (ou desequilíbrio) não podem ser verificadas. também ela permite um espaço variável de acomodação; assim, quando surge uma fonte desestabilizadora, seu efeito é imediatamente transmitido no espaço celular e em caso de haver necessidade de espaço disponível para alguma configuração este espaço normalmente pré-existe, mesmo que em consequência desta utilização de espaço implique numa posterior estabilização definitiva feita também paralelamente. Deve-se

---

\* e' aquele no qual os eventos não podem ocorrer normalmente e o paralelismo deles deve ser refreado em certas circunstâncias, de modo que se dê sequencialmente; isto é, em tempos absolutos não coincidentes.

notar que este fato pode ocorrer simultaneamente em diversos pontos do espaço celular e que eventualmente os efeitos transmitidos se encontram; neste caso eles se sobrepõem e apenas o efeito resultante continua a ser transmitido. Este fato no espaço de von Neumann acarretaria problemas de sincronização para a sequência de transmissões, e mesmo que tais problemas fossem teoricamente resolvidos ainda assim seria com graves repercussões na complexidade (no caso, computacional) da operação.

## Universalidade Adaptacional

### 5.0 Universalidade Adaptacional

Esta questão da universalidade já foi tocada quando da discussão acerca do grau de resolução do modelo do elemento. Nesta parte será tentado um aprofundamento da discussão objetivando, senão esvaziar completamente o problema, pelo menos apontar os aspectos relevantes que devem ser considerados na sua solução.

Antes de se passar à discussão objeto desta seção, se fará um breve comentário acerca da universalidade discutida no modelo de von Neumann. Conforme já comentado anteriormente, o modelo de von Neumann segue o paradigma computacional, que por sua vez possui essência formal, e conseqüentemente apresentando os problemas dos modelos formais, como dicotomia forma x significado, etc. É por esta razão que ele teve de conceber tantos artificios para tentar alcançar seus objetivos -- o estado quiescente é um destes artificios --. Assim, uma das primeiras preocupações na apresentação de seu modelo, foi prover uma demonstração de que seu modelo comportava universalidade computacional, pois esta característica seria fundamental para outros aspectos do modelo, como Universalidade Construtiva e Autoreprodução, deduzidos a partir dele.

Todavia para o modelo que está sendo agora introduzido, a universalidade computacional é irrelevante (+), da mesma forma que outros tantos ingredientes contidos no paradigma computacional, pois os objetivos aqui não são essencialmente computacionais mas principalmente adaptacionais.

Conforme já sugere o título desta seção, a universalidade que interessa aqui é a universalidade para a adaptação e é em torno dela que girará a discussão. A esta altura da exposição o leitor já deve ter começado a ter uma idéia mais precisa acerca do funcionamento do autômato celular. Este tipo de autômato consta de um conjunto de configurações que interagem entre si. Cada configuração por seu turno tem sua própria estrutura, formada pela reunião de elementos numa disposição apropriada e que possibilita a manifestação do seu desempenho no conjunto. Estas configurações, que podem ter um elevado grau de complexidade (\*), devem ser razoavelmente

---

+ A título de curiosidade, pode-se demonstrar a universalidade computacional deste modelo simplesmente mostrando que ele pode ser particularizado para o modelo de von Neumann; na verdade o passo mais importante desta particularização já foi realizado ao se fazer analogia do modelo do elemento com o autômato finito; o que faltaria então seria trivial e de inferência fácil e imediata.

---

\* Esta complexidade não deve ser nunca ilimitada pois senão pode gerar grandes disparidades no espaço celular, com prejuízo global para o conjunto de todas as configurações que constitui o autômato. Um aspecto importante no processamento adaptável é a competição livre entre as configurações; isto somente é possível se houver compatibilidade de porte (número de elementos formadores) entre elas.

estáveis pois suas estruturas têm relação com suas funções dentro do autômato; em particular, elas devem ser mantidas intactas após um deslocamento -- admitindo-se obviamente que nenhuma causa desestabilizadora tenha ocorrido paralelamente --, além de possuírem inércia tanto de repouso quanto de deslocamento; ainda mais, esta estabilidade também deve ser mantida mesmo diante de choques físicos normais (%). Também é necessário que possa haver interação à distância; isto é, deve ser possível que uma configuração possa reagir à presença de outra, mesmo que não haja adjacência imediata entre os elementos que pertençam a configurações distintas; isto permite estabelecer-se e programar-se eficientemente especificidade (vide [Jacob], [Mast], [AttSp], [Gaze], [GazKeat], [Keat], [LevJacob] e [MyerSp]) entre configurações, necessária ao desenvolvimento de autômato. A interação à distância também pode ser necessária para aumentar o poder construtivo elementar do autômato. Explicando mais detalhadamente: no nível elementar, temos elementos formando cadeias de vizinhanças de modo que sejam construídas as configurações; estas cadeias podem ser formadas tanto de elementos que estejam efetivamente adjacentes, formando uma vizinhança compacta, quanto podem ser formadas por elementos que estejam

---

% Deve-se chamar atenção de que isto não implica que se deva tentar manter uma estabilidade ilimitada, pois isto iria desvirtuar os objetivos do processamento adaptável, através da eliminação de um importante componente de controle.

interagindo-se à distância; com esta última hipótese tem-se o poder representacional aumentado consideravelmente (§) em decorrência do aumento da superfície de envolvimento; deste modo, temos construção de cadeias a partir de elementos que interagem-se à distância através de uma espécie de atração e/ou repulsão, desta interação resultando uma condição de equilíbrio que mantém estável a cadeia.

Adicionalmente tem-se a possibilidade de integrar-se ao modelo propriedades adicionais, com finalidade de simplificar as configurações ou torná-las mais eficientes. Analogamente às máquinas de Turins, o aumento do poder do autômato finito torna o Espaço Celular mais eficiente, não obstante não lhe confira poder adicional.

Para completar, e enfeixando-se todas estas colocações, vê-se que a universalidade adaptacional está relacionada a uma universalidade de representação onde os aspectos relevantes à adaptação, desde os mais simples como estabilidade, deslocamento, solidariedade -- isto é, a capacidade de se representar no espaço celular estas características (vide Definições Básicas) -- até as mais sofisticadas como representação de configurações com grande poder de ação no ambiente, capazes de se unirem em cadeias duplas onde permanecem sem ação até que sejam liberadas em duas cadeias simples (para

---

§ Note que esta última hipótese não exclui a primeira. A dificuldade é que ela encarece (em termos do número de elementos) consideravelmente a representação.

fins de duplicação) ou liberadas individualmente (para manifestarem suas funções específicas para as quais foram programadas). Assim um Espaço Celular que apresente Universalidade Adaptacional deverá ser capaz de representar todos estes fatos: vê-se assim, que embora existam muitos aspectos abertos à pesquisa, os objetivos destas pesquisas estão bastante claros (mais comentários neste sentido são fornecidos na seção de Futuros Desenvolvimentos).



## Tipos de Ajuste

### 6.0 Tipos de Ajuste

Durante a vida de um autômato adaptável, normalmente ele se vê diante de circunstâncias para as quais sua estrutura não se encontra prontamente preparada; é em situações como esta que surge a necessidade de adaptação. Todavia uma adaptação não deve ser uma modificação brusca de modo a resolver o problema imediato mas sim um processo global de modo a tornar o autômato cada vez mais harmonizado com o ambiente; caso exista um algoritmo que permita esta modificação brusca, que em si é uma questão difícil, ainda assim este algoritmo não deve ser empregado pois certamente ele não irá resolver o problema da adaptação, mas sim, complicá-lo ainda mais; isto requer uma justificativa. O fato do autômato ser adaptável não significa que para ele a pré-programação deva necessariamente ser eliminada, mesmo na ausência do espaço celular; o que o torna adaptável é justamente o fato de que esta pré-definição não impede de que alterações estruturais profundas possam ocorrer posteriormente com o autômato; assim qualquer autômato adaptável deve ter o seu objetivo (&) delineado pelo seu programa ou plano global. Se tivermos um ajuste estrutural brusco na estrutura do autômato, então qualquer objetivo poderá ser destruído com tal mudança estrutural. Com esta afirmativa, a adaptação recebe uma conotação de refinamento,

---

& No caso de autômatos adaptáveis de poderia dizer que tal objetivo considerado seja instantâneo, no sentido de que este objetivo varia sistematicamente.

uma espécie de micro-modificação. As grandes alterações estruturais devem ser realizadas ao longo do tempo, naturalmente acompanhando as correspondentes alterações de objetivos, através das micro-alterações do dia-a-dia do autômato; ainda assim devem existir modificações que sejam incompatíveis para um autômato já desenvolvido e devidamente amadurecido (\*) mesmo que estas incompatibilidades não impeçam a melhoria sistemática do processamento adaptável.

Analisando-se com cuidado as palavras acima tem-se a sensação de um dilema: de um lado devem haver modificações, ainda que através de micro-passadas; por outro, algumas modificações são incompatíveis com a estrutura do autômato ainda que nunca se possa provar qual a melhor opção, com o perigo da degeneração rondando por perto. A solução para este dilema parece consistir em respeitar-se as limitações de um autômato individual porém registrar-se estas limitações devidamente no programa de desenvolvimento do autômatos de modo que os futuros autômatos a serem formados a partir de tais programas, tenham cada vez menos tais limitações estruturais registradas; é claro que também aqui aplica-se o critério das micro-mudanças pois se tal modificação for efetivamente justificável ela poderá vir após algumas gerações de

---

\* As restrições são normalmente de natureza puramente operacional; da mesma forma que de um modo geral os programas de computadores possuem um limite em sua adaptabilidade, além do qual é melhor escrever-se um novo programa, aqui ocorre um fenômeno análogo com o agravante de que a não colocação de restrições à adaptação do autômato pode resultar em degeneração do próprio autômato.

autômatos.

Assim, de acordo com o exposto acima, temos dois tipos de ajustes básicos para os autômatos adaptáveis:

#### Ajustes Individuais

#### Ajustes Inter-individuais

Assim, todos os ajustes realizados pelo autômato durante a sua vida útil seriam os ajustes individuais, pois feitos em um único indivíduo. Já os ajustes em decorrência dos relatórios (%) das dificuldades adaptacionais encontradas durante a vida útil do autômato, se constituem nos ajustes inter-individuais, pois feitos com a cooperação entre diversos autômatos individuais. Deve-se ressaltar que esta cooperação entre diversos autômatos pode ser sequencial ou sequencial-paralela; no primeiro tipo temos uma linhagem de autômatos evoluindo sempre em decorrência de um ancestral de cada vez; todavia nada impede que se tome vários relatórios das limitações de autômatos distintos e os integre num único relatório, resultando uma influência paralela de vários autômatos numa etapa de evolução da linhagem.

Para concluir deve-se destacar que os relatórios acima mencionados devem obviamente ser implementados como processos na mesma base procedimental do espaço celular, a saber,

---

% Estes relatórios devem ser entendidos como modificações no programa de desenvolvimento, de modo que as versões posteriores sejam melhoradas em relação às limitações existentes; é claro que isto depende da existência de mecanismos que realizem tais tarefas, os quais devem ser construídos conjuntamente com a primeira versão do autômato, e reajustados durante a evolução do mesmo.

configurações compostas de elementos numa disposição particular. Este processamento deve utilizar decisivamente a possibilidade de se ter configurações competitivas e cooperativas coexistindo numa mesma região do espaço celular.

## Conclusões Finais

### 7.0 Conclusões Finais

O presente trabalho apresenta uma nova modalidade de processamento de informação radicalmente diferente daquele conhecido e que ocorre normalmente nos computadores contemporâneos; esta diferença transcende a meros aspectos de arquitetura, tocando a aspectos profundos que modificam completamente as bases filosóficas do processamento; para se ter uma idéia da profundidade destas mudanças, máquinas tidas como de arquiteturas revolucionárias como os computadores celulares são aqui nivelados aos computadores convencionais nos confrontos com as máquinas aqui apresentadas. Conforme foi exhaustivamente reiterado, estas diferenças se deram devido a trocas nos objetivos dos processamentos; ao contrário de antes, agora não se tem qualquer preocupação com a cristalização de processos, cristalização aqui entendido no sentido de definição; agora o que importa é prover máquinas que se sensibilizem com as modificações do seu ambiente, adaptando-se da melhor forma possível ao mesmo. Espera-se com criar-se não uma base rígida para descrição dos processos, mas ao contrário uma base flexível que possa se moldar facilmente as esperanças dinâmicas do ambiente. Nestas esperanças encontramos o chamado senso comum que de acordo com as definições dos dicionários é um item eminentemente variável ("Conjunto de opiniões tão geralmente aceitas em época determinada que as opiniões contrárias aparecem como aberrações individuais" [Aurélio]) não apenas para diferentes culturas mas inclusive

para diferentes momentos de uma mesma cultura. Esta adaptação assim envolve não apenas a capacidade das máquinas em se moldarem ao ambiente que seja apresentado num intervalo relativamente curto, mas também a capacidade de evoluírem com as necessidades apresentadas pelo próprio ambiente. Assim, considerou-se que as propriedades básicas destas máquinas deveriam se identificar com as propriedades relevantes deste ambiente, principalmente as propriedades físicas. Assim procurou-se incorporar-se um paralelismo em toda linha, atingindo até mesmo a interação entre processos que agora ocorre sem necessidade de sequencialização e portanto desaparecendo completamente o conceito de região crítica ([Dijkstra]); outra característica é que o espaço celular é agora flexível pois permite que as configurações (programas) nele existentes tenham formas não rígidas, podendo inclusive se deslocarem livremente uma vez que tenham sido solicitadas para tanto.

Todavia, um aspecto que deve ser ressaltado (talvez captado pelo leitor mais atento) é que para as finalidades mais complexas, justamente aquelas objetivadas pela Inteligência Artificial, a modelagem pode ser bastante dispendiosa em número de elementos. Primeiro, ao se modelar o elemento do espaço, a depender do resultado desta modelagem, se poderá ter configurações muito esparsas (+) ou de outro modo muito

---

+ O grau de esparsidade implica em se ter maior poder representacional por unidade de elemento sasta, já que maiores combinações de elementos podem ser obtidas -- existe uma maior abertura para combinação.

complexas. Adicionalmente, virá o fato de que para um processamento no contexto acima referido, grande número de configurações serão necessárias -- neste particular, este processamento não iria requerer mais informação do que alguns bancos de dados já em funcionamento --. Apesar disto, o espaço celular é teoricamente viável pois para a implementação de seu processamento pode-se fixar um limite superior (em número de elementos), não trivial, para as configurações médias; em outras palavras, é possível colocar-se a dimensão desejável de um espaço no instante do projeto do modelo elementar) para tanto é suficiente que se compense a perda representacional em número de elementos do espaço, através de um correspondente no comportamento (mais rico) do elemento. Assim, o aspecto fundamental no projeto do modelo do elemento, a essência do Processador Celular (%), é o compromisso entre o poder de processamento que ele irá possibilitar e o custo de elementos necessários às configurações normais; é esta marca que ditará a viabilidade prática de um projeto independente da viabilidade prática do processamento celular (que é outra questão a ser determinada apenas com o futuro, em decorrência do aspecto dual Modelagem x Tecnologia ).

Deve-se também destacar que existem muitas aplicações úteis que podem ser divisadas para o processamento celular, e que não envolvem a complexidade recém-apontada. Por exemplo,

---

% Vamos usar esta denominação para o processador que implementa o espaço celular.

através do espaço celular é possível construir-se redes de configurações com função de responder a um limiar simples para suas entradas; isto pode ser ajustado para as mais diversas aplicações -- tal esquema é universal -- como controle de processos, filtragem de sinais, etc. Para filtragem de sinais, pode-se imaginar um filtro colocado num receptor de imagem ou som de modo a se corrigir as distorções ocasionadas durante a transmissão de imagem ou do som, podendo-se assim atingir-se uma recepção perfeita (numa televisão, por exemplo) (&); note-se que semelhante aplicação em tempo real, como ocorre na maioria das vezes, seria extremamente dificultada nos computadores (máquinas de Turing) em razão da sequencialidade operacional deles -- nestas aplicações, o processamento é eminentemente paralelo -- além do desnível envolvido entre as operações (booleano-aritmética ou leitura/gravação de bits) das máquinas de Turing e as operações (limiar) envolvidas no processamento.

Uma pergunta que poderia surgir refere-se à maneira como tal processamento poderia ser implementado. É claro que tal pergunta -- de modo mais acentuado ainda do que a consideração anterior --, e conseqüentemente a sua resposta, extrapola o

---

& No caso a rede de configurações iria implementar os padrões possíveis na transmissão, ativando aqueles que fossem reconhecidos (ainda que parcialmente) a partir da transmissão. A programação da rede poderia usar os recursos de adaptação, provendo-se inicialmente uma rede geral que iria se refinando com a exposição repetida dos padrões desejados -- ajustamento dos limiares das configurações ativadas e destruição das ligações não ativadas --.



presente contexto; todavia, assim mesmo, se tentará apresentar algum indício neste sentido (2). Observando-se que um processador celular seja um conjunto não unitário de elementos, já que com o processador correspondendo a um único elemento seria praticamente impossível gerenciar-se um número extremamente alto de processadores com tão alto grau de comunicação, por questões de simplicidade de análise se irá admitir que o processador seja todo o espaço celular -- portanto possua dimensão triplamente infinita, em número de elementos --; posteriormente se relaxará este requisito, sem perda da generalidade do espaço celular.

Considerando-se que do ponto de vista prático um processador de dimensões infinitas significa que ele tem um tamanho tal que é capaz de envolver qualquer processo, começemos examinando a dificuldade implicada no fato de se ter muitos elementos integrados no mesmo conjunto. Inicialmente deve-se destacar que o posicionamento do processador é bastante uniforme; cada elemento, que corresponde à unidade do conjunto, tem conexão apenas com seus vizinhos imediatos, nunca ocorrendo ligações que não sejam entre componente fisicamente vizinhos; assim, a despeito da complexidade física de cada elemento, já se pode prever uma grande facilidade para compactar-se muitos componente no mesmo integrado -- note que no presente esta

---

2 E' claro que o desenvolvimento tecnológico desta área é que trará as respostas definitivas e qualquer tentativa agora no sentido de antecipar tais respostas deve ser considerado um mero ensaio.

facilidade não é encontrada nem mesmo nos projetos de memórias, nos quais existem linhas de endereço e dados atravessando o integrado fisicamente de um lado até o outro --. Quanto ao elemento, correspondente a uma função contínua, deve ser realizado na prática através de um componente analógico; acredita-se que após suficientemente desenvolvida, a tecnologia que venha a implementar espaços celulares representará um elemento médio destes espaços num custo que estará bem abaixo de quaisquer componentes dos computadores contemporâneos, por mais simples que sejam estes componentes. Outro ponto que deve ser destacado é que tal tecnologia não deve ser prioritariamente rápida como ocorre com os computadores (+), mas sim flexível ao ponto de se poder representar com facilidade as funções projetadas para os elementos.

Um aspecto que pode ter um peso grande na escolha da tecnologia é o da quantidade de calor despreendida durante o funcionamento -- isto em termos das tecnologias contemporâneas, o que de certo modo é irrelevante --; uma implementação de espaço celular, pelo que foi dito acima, não pode desprezar a dimensionalidade dele; assim uma tecnologia que gerasse grande quantidade de calor seria inviável em vista do calor acumulado que certamente terá muito mais dificuldade para ser retirado do

---

+ Pois não se terá grandes viagens de sinais em cada ciclo -- um ciclo de um processador celular é variável e pode corresponder ao tempo que dura a propagação de uma perturbação -- mas sim grande número de pequenas viagens em tempos não seguidos. Além disto o paralelismo proverá a velocidade que for necessária para as aplicações; isto não é difícil de ver.

que numa tecnologia planar. Pode-se observar também que o tipo de funcionamento do espaço celular não necessita que haja circulação (circuito) de sinais mas sim acumulação de condição cujo extravasamento possa afetar ao vizinho. Esta característica pode ajudar ainda mais na determinação de uma tecnologia menos geradora de calor .

Mais outro aspecto que poderia ser explorado nas implementações de espaços celulares, e que certamente representaria um forte componente de barateamento dos custos, seria a possibilidade de se projetar elementos para reconhecerem o mal-funcionamento de vizinhos, isolando-os neste caso. Com este recurso, seriam anulados os custos de teste e de manutenção dos sistemas -- note que até mesmo durante a fase de fabricação poderiam haver falhas que não invalidariam o projeto global (&) pois estas falhas seriam automaticamente isoladas pelo sistema --; note que tecnologicamente não é difícil de se prover esta facilidade nos computadores; o difícil é que esta facilidade seja aproveitada num custo razoável (\*).

Para terminar, não é difícil de ver que é possível colocar-se vários espaços celulares, interagindo-se reciprocamente; para tanto é suficiente que haja comunicação

---

& E' claro que a partir de um certo grau de falhas, haveria uma repercussão comprometedora no sistema, impedindo-o de ter um funcionamento normal. Esta fase pode ser interpretada como a morte do sistema.

entre eles. Esta possibilidade de interação entre espaços celulares (&) é a chave para que se alcance o processamento celular modular; a consequência imediata disto é que não é mais necessário se ter processadores de tamanho infinito, para se captar a universalidade do espaço celular; agora se tem a alternativa de se ter infinitos processadores de tamanho finito e permitindo o mesmo poder de um processador de tamanho infinito -- note-se que o número infinito de processadores pode ser viabilizado por um único processador aplicado infinitas vezes, obviamente em tempos distintos --; todavia, como já se pode prever, na prática sempre estarão envolvidos valores finitos compatíveis com os recursos disponíveis. De qualquer sorte, pode-se ver que sempre que eventualmente mais recursos do que o normalmente disponível for solicitado, há meios de se responder a esta solicitação, ainda que seja com algum prejuízo da eficiência. Assim, pode-se ter com recursos finitos todas as propriedades do espaço celular teórico.

---

\* Ninguém consideraria razoável num sistema de computadores, processadores serem postos de lado por causa do mal-funcionamento de um de seus componentes, da mesma forma que já se coloca as trilhas defeituosas, de um disco magnético, de lado sem que o disco seja necessariamente invalidado; todavia, para um processador celular, um elemento representa muito pouco do total; além disto a flexibilidade do espaço celular permitiria às configurações se rearranjarem dentro dele, de modo a comportarem as novas condições.

---

& Aliás, pelos próprios fundamentos teóricos de espaço celular -- vide Características do Espaço Celular -- isto já está naturalmente implícito nele.

Vê-se com esta breve exposição que em contra-partida às dificuldades propiciadas pelo grande número de configurações que em si já são complexas, em razão da demanda da complexidade do processamento envolvido, tem-se facilidades não providas pelas máquinas de Turing, facilidades estas que podem ser decisivas na viabilidade prática de autômatos celulares.

Assim, espera-se que o presente trabalho não se restrinja ao campo teórico, apenas provendo maior discernimento acerca das possibilidades das máquinas de processamento de informação, mas que possa se constituir numa base para o suporte de desenvolvimentos práticos que ajudarão diretamente na solução dos problemas do dia-a-dia do homem comum, não se limitando conseqüentemente ao debate no pequeno círculo do mundo científico.

## Futuros Desenvolvimentos

### 8.0 Futuros Desenvolvimentos

Na última sessão, nas Conclusões Finais, pôde-se perceber a importância que um projeto cuidadoso do modelo dos elementos representa para o sucesso do autômato celular decorrente dele. Deste modo, todo e qualquer desenvolvimento futuro de Autômato Celular deve começar pelo estudo teórico dos modelos dos elementos, num nível tal que bastante discernimento tenha sido alcançado em torno dele; até que o quadro teórico desta modelagem tenha sido completado. Após isto podem suceder-se estudos de otimização de modo a se ter modelagem ótima quando então já será possível a consideração do processamento celular na prática, através da seleção ou desenvolvimento da tecnologia conveniente para estes objetivos.

Para o estudo da modelagem dos elementos, se terá necessariamente de começar-se pelo estudo das propriedades matemáticas do EIFS; as formas das funções  $f[i]$  das propriedades serão grandemente influenciadas pelas características do espaço; estabilidade, deslocamento, solidariedade etc. Estas características estudadas à luz da teoria das equações diferenciais, principalmente levando-se em conta os resultados da Teoria de Catástrofe irão dar origem a um conjunto de conhecimentos que serão básicos para as etapas seguintes. Somente a partir daí se poderá passar à formulação de modelos experimentais para elementos do espaço celular. Outro aspecto relevante que também será beneficiado

pela etapa anterior diz respeito à análise da complexidade representacional -- o quanto de espaço celular, medido em termos de número de elementos necessários à representação --; esta análise poderá ser bastante ajudada por análises correspondentes no EIFS já que os objetos representados com um maior ou menor precisão no espaço celular são representados sem erro no EIFS. Somente quando se tiver resolvido todos estes problemas básicos, inclusive com modelos de espaços celulares já suficientemente estabilizados (do ponto de vista do desenvolvimento científico), já havendo razoável concordância acerca das propriedades relevantes a serem representadas, o nível de representação exigido para cada elemento etc, se poderá pensar em implementações físicas com a seleção ou desenvolvimento da tecnologia necessária à realização prática dos autômatos celulares.

## APENDICE A

### A Rigidez do Modelo de von Neumann

Neste apêndice se examinará a rigidez do espaço de von Neumann reproduzindo-se a experiência que teve o autor na tentativa de conferir mobilidade às configurações; embora não haja maiores preocupações em fazer-se revelações aqui neste sentido, pois basta ler a lúcida declaração de von Neumann mostrada abaixo (1) para concluir-se da inviabilidade do deslocamento das configurações em espaço celular com bases formais; esta discussão também ajuda a se ter uma visão acerca da complexidade operacional envolvida ilustrando de certo modo a inviabilidade do paradigma computacional para finalidades de adaptação.

A seguir serão fornecidas regras de funcionamento do autômato; estas regras são aplicáveis no estilo encontrado em [Codd], com algumas adições decorrentes da possibilidade de deslocamento. Por simplicidade expositiva, se tomará um espaço bidimensional, sem que isto influencie os resultados.



Considere-se as configurações A e B abaixo:

```

      0 0 0 0 0 0 0 0 0
      A A A 0 0 0 B B B 0
---->A A A 0 0 0 B B B 0
      A A A 0 0 0 B B B 0
      0 0 0 0 0 0 0 0 0
  
```

Onde a seta junto à configuração A (toda a área coberta

---

§ "Comparando estes processos de construção e reprodução de autómatos, com aqueles do crescimento e reprodução efetivos na natureza, tem-se uma diferença gritante; em nosso caso o local desempenha papel mais crítico do que se dá na realidade. A razão é que passando do espaço Euclidiano contínuo para um cristal discreto, nós temos propositalmente ignorado, tanto quanto possível, a cinemática. Onde o movimento em torno de uma estrutura que permanece congruente a si mesma, mas que muda sua posição relativamente à estrutura cristalina, não é mais a simples e elementar operação que se dá na natureza. Em nosso caso ela poderia ser tão complexa quanto uma reprodução genuína. Isto significa que todas as nossas estruturas são antes de tudo rigidamente vinculadas a suas posições originais, de modo que todos os conflitos e colisões entre elas são primariamente conflitos de localização." (von N] página 129)

pela letra A) indica a existência de uma causa que force o deslocamento da mesma configuração no seu sentido; no gráfico ainda se nota uma outra configuração B além de espaço vazio (para onde pode se deslocar a configuração) que neste anexo será sempre rotulado por zero. Vamos examinar como tal deslocamento seria possível no paradigma computacional.

No paradigma computacional tem-se estados discretos, tal como 0, 1, ... ; cada elemento poderia assumir qualquer um destes estados. Se o espaço celular é universal então pode-se construir qualquer configuração neste espaço, inclusive permitir que uma configuração possa se autoduplicar. Todavia conforme colocado isto nem sempre é satisfatório do ponto de vista da eficiência. Para contornar-se esta dificuldade vamos permitir que as configurações possuam a mobilidade direta. Como a mobilidade direta não é suportada nos espaços celulares convencionais, se fará extensões (talvez não conceituais) ao espaço celular de von Neumann de modo que este espaço passe a suportar esta nova propriedade.

De um modo geral, a existência de mobilidade direta em um espaço celular implica que os elementos que compõem as configurações são capazes de sincronizarem-se entre si, de modo que no instante do deslocamento este possa ser realizado sem prejuízo para as configurações que são compostas por eles. Assim a sincronização justamente permite que as partes que vão se deslocando, o façam de maneira ordenada de modo que a estrutura do conjunto não seja desfeita. Esta sofisticação

obviamente implica em se ter um acréscimo de possibilidades para o elemento; isto naturalmente implica em uma ampliação no número de estados do autômato finito do elemento (&).

Como primeira abordagem ao aspecto da colocação de mobilidade direta ao espaço celular de von Neumann, considere-se a situação na qual se tenha um estado  $s$  possuído de movimento. Como na idéia intuitiva de corpo em movimento, se não houver obstáculo ao movimento do corpo então este movimento prossegue inalterado; caso o movimento seja no sentido de um elemento vizinho cujo estado seja vazio então o estado  $s$  passa a ocupar a posição do estado vazio enquanto este último passa a ocupar a posição daquele. Pode-se ver que esta regra ocasiona um movimento retilíneo uniforme o que não é conveniente para o autômato celular que precisa apenas se deslocar de modo a possibilitar espaço para as necessidades de adaptação. Assim, tão logo estas necessidades tenham sido atendidas, o movimento deve cessar. Isto pode ser feito possibilitando-se distinguir quando o objetivo do deslocamento, a

---

& É claro que, dado um modelo sem possibilidade de deslocamento, cujos elementos poderiam assumir um genérico estado  $s$ , caso se deseje ampliar a capacidade deste modelo de modo que ele passe a aceitar a possibilidade de deslocamento, então a cada momento que um elemento deve assumir um estado genérico  $s$ , na verdade torna-se necessário completar-se a informação deste estado (estático) com a informação do estado de movimento (se em movimento e em que sentido). Assim, na verdade o número de estados aumenta, juntamente com o número de transições entre estados.

obtenção de espaço disponível, tenha sido atingido ou não. Uma solução para isto consta na colocação de dois estados de animação para o espaço celular: o estado de animação ativa, no qual as configurações podem se deslocar e o estado de animação passiva que é o estado para o qual passa uma configuração que seja solicitada a se movimentar mas que não possa fazê-lo devido à falta de espaço disponível.

De acordo como estabelecido por último acima, podemos ter uma regra que diz: sempre que haja um estado não vazio possuído de movimento ativo no sentido físico de um estado vazio então o estado não vazio passa para o movimento passivo ao tempo que o estado vazio se anima de movimento ativo (regra 1). Note que a propriedade de movimento ativo se propaga como uma frente de onda fazendo com que aqueles que são atingidos passem para a condição de movimento passivo sem que haja deslocamento efetivo de configuração. Isto é melhor entendido se for estabelecida uma nova regra que diga: sempre que se tem um estado não vazio possuído de movimento ativo no sentido físico de um elemento vizinho cujo estado seja também não vazio, então o estado originalmente em movimento ativo passa para passivo enquanto o último que se encontrava em repouso passa à condição de movimento ativo (regra 2).

Antes de se passar à efetivação do movimento, consideremos a situação de várias configurações justapostas; neste caso a tendência ao deslocamento (movimento passivo acima definido) deve ser propagada ao longo das configurações

Justapostas até que seja encontrado o espaço disponível. Isto pode ser implementado através da regra: quando se tem um elemento com estado vazio animado de movimento ativo no sentido físico de um elemento com estado não vazio então o elemento em estado vazio passa para movimento passivo enquanto o estado não vazio passa para movimento ativo ( regra 3 ).

Finalmente tem-se a situação quando o movimento ativo atinge o espaço disponível. Isto é dado pela seguinte regra: quando se tem dois elementos vizinhos, ambos no estado vazio porém um deles animado de movimento ativo no sentido do outro então o que se encontrava em movimento ativo perde o movimento ficando na mesma situação do outro, isto é, vazio e sem movimento -- ativo ou passivo -- ( regra 4 ). Note que a execução desta regra caracteriza o objetivo atingido: o espaço disponível.

A regra a seguir tem a finalidade de efetivar o movimento da configuração, uma vez que já tenha sido encontrado o espaço para tal. Ela diz: quando se tem um elemento em estado não vazio e animado de movimento passivo no sentido físico de um elemento vizinho em estado vazio, então os elementos trocam os estados, sendo que no fim ambos perdem qualquer animação (regra 5) -- note que a troca efetiva o movimento --.

Com estas poucas regras já é possível se ver algumas implicações da rigidez do espaço celular de von Neumann. Por

exemplo, a complexidade computacional envolvida no deslocamento de uma configuração particular. A configuração é retilínea com  $n$  elementos e solicitada a se deslocar na direção de seu eixo longitudinal. Isto é:

```

      00 00 00 00 ... 00 00 00
----> s1 s2 s3 s4 ... sn 00 00
      00 00 00 00 ... 00 00 00

```

Onde os  $s$ 's representam estados não vazios de elementos, enquanto os zeros representam estados vazios. No tempo  $t_1$  (uma unidade de tempo após o tempo inicial) tem-se  $s_1$  passando à condição ativa da frente de onda da perturbação que irá causar deslocamento à configuração; isto implica que a regra (2) passa a ser aplicável entre  $s_1$  e  $s_2$ . Caso houvessem apenas  $s_1$  e  $s_2$  então esta regra (2) seria aplicável apenas uma vez; como existem  $n$  elementos em estado não vazio então esta regra é aplicável  $n-1$  vezes consecutivamente. Após o tempo  $n-1$  tem-se a possibilidade de aplicar-se a regra (1) e logo em seguida a regra (4). O tempo total para se chegar a este ponto é  $(n-1)+1+1$  que é igual a  $n+1$ . Finalmente tem-se a possibilidade de aplicar-se a regra (5)  $n$  vezes, o que possibilitará o deslocamento efetivo da configuração ao final de  $(n+1)+n$  que é igual a  $2n+1$  unidades de tempo.

Neste ponto é oportuno estabelecer um confronto entre os paradigmas, o computacional e o proposto neste trabalho. No paradigma computacional, um deslocamento torna-se um fato

monótono, principalmente em decorrência do conceito de tempo neste paradigma: aqui o tempo corresponde a uma contagem serial para todo o sistema -- qualquer evento no sistema sempre ocorre em decorrência desta contagem --. É por esta razão que se tem a complexidade de tempo normalmente tendendo para valores altos. Por outro lado, o senso comum desenvolvido na maioria das pessoas através das experiências no mundo real, embora concorde com a possibilidade de se ter deslocamento de uma frente de onda, estranha o fato de que seja necessário haver um ciclo completo de tempo para que haja transmissões entre elementos vizinhos; parece intuitivo de que os tempos envolvidos nos eventos dependam da natureza dos eventos e não de fatores externos aos próprios eventos (mesmo admitindo-se que existem propriedades gerais primitivas, e o tempo poderia ser uma delas, deve haver alguma flexibilidade nestas propriedades -- o paradigma adaptacional implica que o tempo não é uma primitiva no espaço celular mas sim uma consequência dos eventos que ocorrem neste espaço), seguindo-se daí um aspecto inteiramente relativo. No paradigma adaptacional, embora a complexidade computacional seja irrelevante e portanto não apresentando qualquer significado, se poderia dizer que a transmissão de um efeito ao longo de toda uma configuração (qualquer que seja o tamanho dela) gasta um tempo teórico nulo, pois instantaneamente um elemento que recebesse uma solicitação a passaria adiante (se for o caso) sem qualquer perda de tempo -- é claro que nas implementações físicas reais haverá um atraso finito, porém deve ser entendido que tal atraso decorre exclusivamente das propriedades

dos materiais usados na implementação e não do modelo teórico --.

Deve-se destacar que o exemplo acima engloba a situação na qual se tenha várias configurações retilíneas alinhadas e separadas por um elemento vazio -- que possibilitaria a aplicação da regra (3) --.

Conforme o exemplo pode ter sugerido, as regras acima não cobrem todas as possibilidades, particularmente quando se tem configurações bidimensionais. Por simplicidade, ao invés de refazer-se as regras para a situação bidimensional completa, vamos admitir que o provimento de regras adicionais completem as nossas necessidades (%) -- isto será suficiente para a análise em curso, ainda que o modelo permaneça incompleto --.

As regras adicionais para suprir a situação geral, isto é configurações bidimensionais, seriam:

Regra (6): quando se tem um elemento em estado não vazio em movimento ativo no sentido tangencial a um outro elemento em estado vazio, então o estado não vazio passa ao movimento passivo sem afetar o elemento em estado vazio.

Regra (7): Quando se tem um elemento em estado vazio porém animado de movimento ativo no sentido tangencial a um elemento vizinho sem movimento porém em estado não vazio, então o

---

% O correto seria prover-se regras envolvendo toda a vizinhança do elemento; isto é necessário para sincronizar-se tendências em diversas direções.



estado vazio passa para o movimento passivo enquanto o não vazio passa a movimento ativo. Note-se que esta regra tem uma significação muito próxima à da regra (3), ou seja permite a sincronização de configurações distintas; apenas que, aqui, as configurações não estão em linha com o deslocamento mas sim tocando-se (ou quase) tangencialmente.

Regra (8): Quando um elemento em estado não nulo e em movimento ativo no sentido tangencial a um outro elemento em estado também não vazio porém sem movimento, então o elemento inicialmente em movimento ativo passa para movimento passivo enquanto que o outro passa para movimento ativo. Esta regra permite que a tendência ao movimento se estenda a todas as direções de uma configuração bidimensional, simulando uma espécie de tensão cizalhante na configuração.

Regra (9): Quando se tem um elemento em estado vazio em movimento ativo tangencialmente a elemento vizinho em estado vazio e sem movimento, então este último não é afetado de modo algum enquanto que o primeiro perde completamente a sua animação. Vê-se que esta regra cobre a situação de se ter atingido o espaço disponível.

Para se completar se deveria prover as regras que permitem a sincronização do retorno da onda passiva, quando deve ser efetivado o movimento. Deve-se notar que o espaço disponível pode ser encontrado em tempos distintos para lados opostos tangenciais ao movimento; assim é necessário que haja sincronização de modo que o deslocamento ocorra da maneira mais

monolítica que for possível. Todavia para os objetivos deste apêndice, que consta na obtenção de uma visualização razoável da dificuldade ao deslocamento apresentada pelo espaço celular baseado no paradigma computacional, o nível de detalhamento fornecido é suficiente. Por ele já se pode ter uma idéia da complexidade computacional envolvida no simples ajuste posicional de um espaço celular. Apesar de se ter um espaço que sugere a existência de um paralelismo em larga escala, não obstante isto tem-se a necessidade de sequencializar-se muitos eventos que poderiam ser esperados ocorrerem paralelamente. Deve-se notar que a análise acima é bastante superficial no sentido de que ela omite problemas de solução extremamente difícil, como por exemplo a situação na qual se tenha duas frentes de onda em sentidos contrários, encontrando-se numa região do espaço celular; o que deveria ocorrer nesta situação? que frente deveria ter prioridade para prosseguir (é claro que se fosse permitido ambas continuarem a viajar, pode-se correr o risco de se ter um seccionamento na configuração, o que é inadmissível)? Aparentemente se está diante de uma questão indecidível.

Todavia as questões acima deixam de preocupar completamente quando se considera não mais apenas a translação simplificada acima mas também combinada com a rotação. No caso da rotação, ainda que seja rotação pura, tem-se um problema impossível de se resolver quando se existe a mobilidade direta, conforme já admitia o próprio von Neumann em comentário

transcrito no início deste apêndice. Esta situação pode ser ilustrada pelo exemplo a seguir.

Considere-se a seguinte configuração:

```
s01 s02 s03 s04 s05
s06 s07 s08 s09 s10
s11 s12 s13 s14 s15
s16 s17 s18 s19 s20
s21 s22 s23 s24 s25
```

Admita-se que haja necessidade da configuração acima realizar uma rotação no sentido horário, em torno do elemento s13. Para que isto seja possível torna-se necessário que ao fim do processo, a vizinhança de cada elemento permaneça a mesma de antes da rotação -- esta é a condição necessária para que se possa afirmar que a configuração não foi alterada durante o processo de rotação --. Não é difícil de ver que no primeiro deslocamento para a rotação verifica-se uma larga destruição da vizinhança. Isto não é o mais importante; o mais grave é que não há meio de se memorizar de maneira simples, qual a relação anteriormente descrita. No caso do modelo contínuo, a relação entre os elementos é colocada não por regras arbitrárias porém através de uma espécie de campo de forças que eventualmente se estabiliza numa configuração; neste caso as configurações comportam-se como corpos elásticos que podem se deformar, mas que cessada a causa da deformação, retornam à forma anterior (0) -- é por esta

razão que se fala de flexibilidade do modelo adaptacional, em confronto com a rigidez do modelo computacional --.

Assim, acredita-se que este apêndice facilite a visualização dos problemas incontornáveis encontrados no modelo de von Neumann, tendo em vista atingir-se uma base de processamento que seja viável à adaptação.

---

@ Isto é tanto mais verdadeiro quanto mais esparsa for a configuração, em decorrência da modelagem do elemento no espaço celular; isto é, quanto maior for o número de elementos vazios situados entre os elementos não vazios da configuração. A partir de certo grau de esparsamento das configurações, as variações na forma possibilitadas pelas rotações tornam-se completamente irrelevantes. Neste caso o espaço celular passa a se comportar quase como um continuum.

## APENDICE B

### Discussão acerca de Significação

O problema do significado é tão antigo quanto a razão humana; isto é, desde que o homem começou a pensar já começava também a tentar descobrir o que existia por trás de cada objeto, examinando cada uma de suas propriedades e conseqüentemente tentando associar-lhe um significado. Assim o significado de um objeto é o conjunto de idéias que estão associadas a este objeto; de uma maneira comum estes significados permitem que os objetos sejam usados de maneira mais eficiente, pois suas propriedades ficam melhor distinguidas. Note-se que o uso de significados de objetos não é uma exclusividade da raça humana (\*), não obstante este seja um indicativo poderoso de sua superioridade neste planeta. Para completar este comentário inicial deve-se registrar que a criação mental, que permite que objetos em geral sejam criados a partir da atividade pensante, decorre justamente de um trabalho

---

\* A própria percepção sensorial é em si um meio de conferir significado a objetos.

de caráter abstrato realizado sobre o terreno da significação; um objeto utópico é gradativamente visualizado mentalmente, a partir de uma idéia inicial que passa a ser considerada uma meta, e daí vão sendo esculpados pedaços de significados (%) de objetos reais que possam ajudar a realização da utopia idealizada; isto prossegue até que se tenha a composição completa quando se consegue a manifestação do objeto, que deixa de ser utópico para passar ao plano da realidade.

Ve-se portanto que a idéia do significado, que não deixa de ser teórica, é perfeitamente intuitiva. E' por esta razão que ela vem sendo largamente estudada, não considerando é claro sua indiscutível importância. Todavia existe uma questão: apesar do conceito de significado ser bastante claro do ponto de vista qualitativo, a sua quantificação, o que equivale dizer sua objetivação final, é problemática. Isto decorre do fato de que o significado de um objeto para uma pessoa não ser o mesmo para uma outra (@). Este problema do significado, que por

---

% Estes pedaços de significados já receberam diversos nomes na Ciência, tais como traços semânticos (na Linguística), quadros (na Inteligência Artificial), etc.

---

@ Esta quantificação difícil tem sido proposta através de diversas abordagens, entre as quais podemos destacar aquela que usa o conceito abstrato de Conjuntos Nebulosos (Fuzzy Sets) como instrumento matemático. Sem dúvida a palavra "nebuloso" dá uma boa idéia da dificuldade envolvida.

sua abrangência em diversas áreas seria melhor caracterizado como um problema filosófico geral; tem recebido diversas colorações decorrentes dos ambientes científicos por onde ela tem transitado. Na linguística ele tem suscitado polémicas entre as suas duas principais correntes, dos comunicativistas e dos cognitivistas, com ramificações intestinas dentro das próprias correntes; obviamente a coloração que o problema em discussão recebeu na Linguística foi traduzida por "Problema do Significado dos Enunciados Linguísticos". Na Filosofia da Ciência temos a discussão acerca do conteúdo empírico, isto é do significado, das Entidades Teóricas, culminando com o movimento de vários filósofos que passaram a ser conhecidos por diversas expressões como Grupo de Viena, Positivistas Lógicos, etc; é interessante notar que após o movimento restou o consenso de que não havia ligação material entre entidades teóricas e coisas observáveis e que esta ligação (que deixa de ser uma ligação para passar a ser um salto) deveria ser realizada com o consentimento das pessoas, no elo final da cadeia argumentativa; em outras palavras, todos concordaram que o problema não tem solução, pelo menos a curto prazo.

Este problema está chegando agora à Ciência da Computação, e pelo que sei ele ainda não foi devidamente diagnosticado; Como ainda não tem nome no mundo dos computadores e certamente é muito próximo daquele linguístico acima citado, chamemo-lo de **Problema Semântico das Linguagens de Programação**. Este problema começa a assolar aqui de uma maneira muito sutil e possivelmente por esta razão

as pessoas ainda não se deram conta de sua presença efetiva. Me refiro especificamente ao trabalho desenvolvido por pesquisadores do mundo inteiro e conhecido como correção de Programas (&). Este problema será completamente resolvido quando se tiver resolvido o problema acima apontado da Semântica da Linguagem de Programação; quando se puder encontrar o significado de um programa, a partir daí fazer a verificação de sua correção será trivial pois se reduzirá a uma simples constatação do tipo "sim ou não". Todavia na busca desta solução parece que estão cometendo o mesmo tipo de atitude cometida pelos linguistas na abordagem do seu problema correspondente.

Na Linguística houve uma fase na qual os pesquisadores pensavam que iriam resolver esta questão pelo desenvolvimento de uma linguagem do significado; uma destas linguagens ficou conhecida como linguagens de marcas. Também aqui na Linguística, da mesma forma que na Filosofia da Ciência, tudo indica que se tenha chegado pelo menos a um consenso: Caso o problema do Significado Linguístico venha a ser resolvido isto não se dará através de uma outra linguagem seja ela chamada de "mentalese", "marqueresse", ou qualquer outra denominação que se

---

& Deve-se destacar que estas pesquisas são muito importantes pois elas devem resolver uma série de problemas técnicos imediatos e conseqüentemente melhorar as condições de trabalho da programação de computadores; Na verdade é uma correção relativa a uma base o que está sendo buscada; todavia esta base é arbitrária e por esta razão não acredito que seja este o problema fundamental, pois tal relativismo não captará o significado e conseqüentemente a correção absoluta dos programas.



lhe dê, pois ao se colocar uma outra linguagem para fornecer o significado de uma primeira, então nesta outra linguagem permanece o problema do significado, que não foi resolvido mas, ao invés disso, adiado.

Em correção de programas, deve-se estar prevenido para o fato de que o que se está buscando não é a correção teórica dos programas mas sim ferramentas que melhorem a confiabilidade destes mesmos programas através de correções localizadas, e ainda assim caso estas ferramentas sejam habilmente manipuladas. E mais, se a correção de programas for possível ela não será viabilizada pela colocação de uma meta-programação que teoricamente não irá resolver mas, da mesma forma que ocorreu na Linguística, apenas adiar a solução procurada.

Possivelmente este problema da Significação está a esperar de uma solução que seja isenta de interpretações pessoais, como ocorreu com o problema do Procedimento Efetivo. Todos sabem que ele ganhou uma nova vida com as Máquinas de Turins, que demonstraram de maneira indiscutível que para a sua execução não havia necessidade de demanda intelectual, daí advindo todas as consequências que hoje são do conhecimento geral. Aqui no caso do Significado está faltando um modelo que sirva de intermediário entre a codificação, de um modo geral, e o que está por trás dela -- uma máquina que possa associar o código linguístico aos objetos respectivos e vice-versa (obviamente através das impressões do objeto, captadas diretamente pela máquina) --; quando isto for possível certamente se terá alcançado uma posição estratégica para se abordar

definitivamente esta questão.

Outro aspecto, envolvido na questão acima, é a relatividade do conceito do significado. Talvez um dos entraves à solução deste problema seja esta visão que coloca os objetos de um lado e os significados do outro; quando se sabe que um significado de um objeto é sempre outro objeto ou conjunto de objetos (\*), que por sua vez também possuem significados.

Tudo isto leva ao conceito de uma rede associativa na qual cada nó está ligado a diversos outros nós, através de relações de significados -- chamemo-la de Rede Semântica --. A dificuldade, em minha opinião, surge quando se tenta fechar esta rede semântica em si mesma e mantendo-se as suas relações de significados completamente isolados. Esta dificuldade pode ser removida caso se considere tal rede como ligada ao ambiente que lhe envolve, através de dispositivos sensoriais; deste modo os nós da rede poderiam estar associados não apenas a outros nós mas também a imagens advindas do ambiente; é justamente esta associação dos nós internos à rede com as imagens captadas do ambiente que evitaria a necessidade de se fazer associações arbitrarias entre os nós internos. Esta idéia em si não é nova, pois os Perceptrons fazem essencialmente isto; todavia os perceptrons implementados

---

\* Observe que os códigos da linguagem em si são objetos que devem ser captados pelo autômato e associados a outros objetos captados anteriormente.

com suporte das Máquinas de Turing terão forçosamente de conter aquelas relações arbitrárias -- esta obrigatoriedade decorre da pergunta "como realizar cada associação?" --. No paradigma aqui proposto é suficiente que se forneçam os dispositivos sensoriais na forma de simples interfaces conectando o meio interno com o externo (do tipo de um foto-resistor que converte sinais luminosos em elétricos); a forma em si como se darão as associações, embora dependente das limitações da implementação -- como não poderia deixar de ocorrer --, não conterá qualquer característica imposta a nível da rede semântica; conseqüentemente, pode-se dizer, não se terá significados arbitrariamente impostos.

## APÊNDICE C

### Referências Bibliográficas

- AttSp Attardi, Domenico G. & Sperry, R. W. Preferential Selection of Central Pathway by Regenerating Optic Fibers. *Exp. Neurol.*, 1963, 7, 46-64.
- Aurélio Ferreira, Aurélio Buarque de Holanda. *Novo Dicionário da Língua Portuguesa*. Primeira Edição. Editora Nova Fronteira.
- Brm Bremermann, Hans. Pattern Recognition by Deformable Prototypes. Em "Lecture Notes in Mathematics", vol. 525: "Structural Stability, the Theory of Catastrophes, and Application in the Sciences". Springer-Verlag. (1975).
- Bulck Bullock, Theodore H. Neurons as Biological Transducers and Communication Channels. Em Beckenbach e Tompkins (eds.), *Concept of Communication: Interpersonal,*

- Intrapersonal, and Mathematical. John Wiley and Sons, Inc. New York, 1971, pp. 119-155.
- Codd Codd, E. F. Cellular Automata. Academic Press, Inc., New York and London. (1968).
- Dijkstra Dijkstra, Edsger W. Hierarchical Ordering of Sequential Processes. Acta Inf. 1, 2, pp. 115-138. (1971).
- Gaze Gaze, R. M. The Formation of Nerve Connections. Academic Press, New York. (1970).
- GazKeat Gaze, R. M. e Keating, M. J. The Visual System and Neuronal Specificity. Nature (London), 1972, 237, 375-378.
- Guimr Guimarães, Célio C. Influência do Espaço de Endereçamento na Evolução de Famílias de Computadores. Departamento de Ciência da Computação, UNICAMP, Escola de Computação, Campinas, SP. (1981).
- Guimri Guimarães, Célio C. Princípios de Sistemas Operacionais. Editora Campus Ltda. Rio de Janeiro. (1980).
- Heritage The Heritage Illustrated Dictionary of the English

- Langue, William Morris (editor), McGraw-Hill International Book Company.
- Hsbars Hesenbers, Leônidas. EXPLICAÇÕES CIENTÍFICAS, Introdução à Filosofia da Ciência. editoras: E.P.U. e EDUSP, São Paulo. (1974).
- Hold Holden, Arun V. Models of the Stochastic Activity of Neurones. Em Lecture Notes in Biomathematics, No. 12, Springer-Verlag. (1976).
- HorUlm Horcroft, John E. and Ullman, Jeffrey D. Formal Languages and their Relation to Automata. Addison-Wesley Publishing Company. (1969).
- Jacob Jacobson, Marcus. Developmental Neurobiology. Second Edition, Plenum Press, New York and London. (1978).
- Keat Keating, M. J. The Formation of Visual Neuronal Connections: An appraisal of the present status of the Theory of Neuronal Specificity. Em G. Gottlieb (ed.), Studies on the Development of Behavior and the Nervous System, vol. 3: Neural and Behavioral Specificity. Academic Press, New York, 1976, pp. 59-110.
- LevJacob Levine, R. L. e Jacobson, M. Development of Optic Nerve Fibers in Determined by Positional Markers in the

Frog's Tectum. *Exp. Neurol.*, 1974, 43, 527-538.

Mast Masterton, R. Bruce. Sensory Intesration (vol. 1).  
Em "Handbook of Behavioral Neurobiology, ed.:  
Frederick A. Kins. Plenum Press, New York and London,  
(1978).

Mather Mather, J. N. Stability of C[infinite] Mappings I:  
The Division Theorem. *Annals of Math.* 87, pp.  
89-104. (1968).

Mather1 Mather, J. N. Stability of C[infinite] Mappings III:  
Finitely Determined Map-Germs. *Publ. Math. i. h.  
e. s.* 35, pp. 127-156. (1968).

Mather2 Mather, J. N. Right Equivalence. *Warwick Preprint.*  
(1969).

Minsky Minsky, Marvin L. *Computation: Finite and Infinite  
Machines.* Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, N.  
Y.

Minsk1 Minsky, Marvin. A Framework for Representing  
Knowledge. Massachusetts Institute of Technology.  
Artificial Intelligence Memo No. 306. (1974).

McElr Mcelroy, William D. *Fisiologia e Bioquimica da*

- Célula. Traduzido por Antonio Lamberti. Editora Edsær Blucher Ltda e Editora da Universidade de São Paulo. (1972).
- MnkPap Minsky, Marvin L. & Papert, Seymour. PERCEPTRONS, An Introduction to Computational Geometry. MIT Press (1969).
- MyerSp Myer, R. L. e Sperry, R. W. Retinotectal Specificity: Chemoaffinity Theory. Em Gottlieb (ed.), Studies on the Development of Behavior and the Nervous System. Vol. 3: Neural and Behavioral Specificity. Academic Press, New York, 1976, pp. 111-149.
- Nilsson Nilsson, Nils J. Learning Machines, Foundations of Trainable Pattern-Classifying Systems. McGraw-Hill Book Company. (1965).
- Nilsson1 Nilsson, Nils. Problem Solving Methods in Artificial Intelligence. McGraw-Hill Book Company. (1971) .
- Pattee Pattee, Howard. The Nature of Hierarchical Controls in Living Matter. Em Foundations of Mathematical Biology. Ed.: Robert Rosen, Academic Press, N. Y. and London. (1972).
- Priese Priese, Lutz. On a Simple Combinatorial Structure



Sufficient for Sublinear Nontrivial Self-Reproduction.  
Em "Journal of Cybernetics", 6: 101-137. (1976).

Rieser Rieser, Charles J. III. Conceptual Memory: A Theory  
and Computer Program for Processing the Meaning Content  
of Natural Language Utterance. Stanford University.  
(July 1974).

Rieser1 Rieser C. The Commonsense Algorithm as a Basis for  
Computer Models of Human Memory, Inference, Belief and  
Contextual Language Comprehension. Technical Report  
373. Department of Computer Science. University of  
Mariland. (May 1975).

RieGrb Rieser, C. and Grinbers, M. The Declarative  
Representation and Procedural Simulation of Causality  
in Physical Mechanisms. Department of Computer  
Science. University of Mariland.

SampSr Sampath, G & Srinivasan, S. K. Stochastic Models for  
Spike Trains of Single Neurons. Em Lecture Notes in  
Biomathematics, No. 16, Springer-Verlag. (1977).

Schank Schank, R. C. Conceptual Information Processing (cep.  
1 e 2). North-Holland Publishing Company, Amsterdam e  
Oxford, e American Elsevier Publishing Company, Inc.,  
New York. (1975).

- Simon        Simon, Herbert A. The Sciences of the Artificial. The MIT Press, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts, and London England. (1968).
- Simon I      Simon, Istvan. Introdução à Teoria da Complexidade de Algoritmos. Escola de Computação, São Paulo, SP. (1979).
- Thom        Thom, René. Structural Stability and Morphogenesis. Traduzido para o inglês por D. H. Fowler. The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc., Reading, Massachusetts. (1975).
- vonN        von Neumann, John. Self-Reproducing Automata. Editado e completado por Arthur W. Burks. University of Illinois Press. Urbana and London. (1966)
- Warsm      Wassermann, Gordon. Stability of Unfoldings. Lecture Notes in Mathematics No. 393. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York. (1974).
- WhHnSm     White, A., Handler, F. e Smith, E. I. Principles of Biochemistry. McGraw-Hill Book Company. New York, Toronto and London. (1954).
- White       White, M. J. D. Os Cromossomos. Traduzido por Anselma Maria Vianna Morgante. Companhia Editora Nacional e

Editora da Universidade de São Paulo, (1977).

Zeeman Zeeman, E. C. Catastrophe Theory, Em Scientific American, Vol. 234, Número 4, (Abril 1976).

Zeeman Zeeman, C. The Classification of Elementary Catastrophes of Codimension  $\leq 5$ . (Com notes escritas for David Thom). Em Structural Stability, The Theory of Catastrophes, and Applications in the Sciences, pp. 263-327, Lecture Notes in Mathematics No. 525, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, (1974).

## INDICE ALFABÉTICO

Acções . . . . .	40
Acomodação . . . . .	41
Adaptação . . . . .	37, 40
Adaptação . . . . .	68, A-4
Adaptação . . . . .	13
Adiar a solução . . . . .	B-5
Adjacência facial . . . . .	53
Ajustes . . . . .	45, 70
Ajustes Individuais . . . . .	70
Ajustes Inter-individuais . . . . .	70
Ajuste posicional . . . . .	16
Aleatório) . . . . .	59
Alfabeto . . . . .	54
Algoritmo . . . . .	68
Amadurecido . . . . .	69
Ambiente . . . . .	23, 40
Ambiente . . . . .	68
Ampliação . . . . .	A-4
Análise Crítica do Modelo de Turins . . . . .	32
Análisis com Autómatos Finitos . . . . .	54
Ancestral . . . . .	70
Animação . . . . .	59, A-5

Animação ativa . . . . . A-5  
 Animação passiva . . . . . A-5  
 Aplicações . . . . . 74  
 Aplicar-se a resre . . . . . A-7  
 Argumento de Turins . . . . . 15  
 Aspectos do Paralelismo . . . . . 61  
 Atividade pensante . . . . . B-1  
 Atracção . . . . . 66  
 Atrazo finito . . . . . A-8  
 Atuar . . . . . 40  
 Auto-duplicação . . . . . 47  
 Auto-reprodução . . . . . 5  
 Autoduplicar . . . . . A-3  
 Autoreprodução . . . . . 63  
 Autômato . . . . . 22, 31  
 Autômatos Celulares . . . . . 1  
 Autômatos Finitos . . . . . 54  
 Autômato Adaptável . . . . . 31  
 Autômato Finito . . . . . 4  
 Autômato Finito Contínuo . . . . . 56  
 A Rigidez do Modelo de von Neumann A-1  
  
 Biologia . . . . . 10  
 Bioquímica . . . . . 10  
 Booleano-aritmética . . . . . 75  
  
 Cópia . . . . . 15

Campo de forcas . . . . . A-12  
 Características do Espaço Celular . 42  
 Catástrofe . . . . . 59  
 Catástrofe Matemática . . . . . 7  
 Causar deslocamento . . . . . A-7  
 Celular . . . . . 41  
 Choques físicos . . . . . 65  
 Cibernética . . . . . 43  
 Científico . . . . . 80  
 Científicos . . . . . B-3  
 Cinemática . . . . . A-2  
 Cognitivistas . . . . . E-3  
 Colisões . . . . . A-2  
 Commonsense Algorithms . . . . . 9  
 Competição livre . . . . . 64  
 Complexidade . . . . . 64  
 Complexidade computacional . . . 41, A-7  
 Complexidade computacional . . . 50  
 Comportamento . . . . . 51  
 Comportamento . . . . . 55  
 Compromisso . . . . . 74  
 Computável . . . . . 57  
 Computacionais . . . . . 43  
 Comunicativistas . . . . . B-3  
 Conceito de tempo . . . . . 59  
 Conclusões Finais . . . . . 72  
 Conclusões Preliminares . . . . . 27

Condição de estabilidade . . . . .	43
Confisuração . . . . .	22
Confisurações . . . . .	41, A-9
Confisurações Justapostas . . . . .	A-5
Conflitos . . . . .	A-2
Confronto . . . . .	A-7
Consruente . . . . .	A-2
ConJuntos Nebulosos . . . . .	B-2
Consentimento . . . . .	B-3
Consequência dos eventos . . . . .	A-8
Construção Universal de Autômatos . . . . .	11
Construido automaticamente . . . . .	40
Contagem . . . . .	A-8
Conteúdo empírico . . . . .	B-3
Controle . . . . .	51
Controle de Autômato . . . . .	23
Controle de processos . . . . .	75
Controle de processos . . . . .	47
Convencionais . . . . .	A-3
Cooperação . . . . .	70
Corpos elásticos . . . . .	A-12
Correcção absoluta . . . . .	B-4
Correcção de Programas . . . . .	B-4
Criação mental . . . . .	B-1
Cuseóide . . . . .	52
Debate . . . . .	80

Definições Básicas . . . . .	18
Desenvolvido . . . . .	69
Desenvolvimento . . . . .	24, 69
Deslocamento . . . . .	20, 42, 65, A-1, A-3
Deslocamento das Configurações . . . . .	46
Destruição de vizinhanças . . . . .	A-12
Destruído . . . . .	68
Determinísticos . . . . .	36
Dicotomia . . . . .	40, 56
Dicotomia Forma x Significado . . . . .	36
Dificuldades . . . . .	70
Dificuldade dos modelos formais . . . . .	40
Dilema? . . . . .	69
Dimensão triplamente infinita . . . . .	76
Discussão . . . . .	B-1
Dispendiosa . . . . .	73
Distorções . . . . .	75
Duplicação de Autômato . . . . .	25
Economia científica . . . . .	57, 60
Eficiente . . . . .	66
Eficiência . . . . .	79, A-3
EIFS . . . . .	18
Eixo longitudinal . . . . .	A-7
Em repouso . . . . .	A-5
Endereçamento . . . . .	11
Entidades Teóricas . . . . .	B-3



Equações diferenciais . . . . .	16
Equilíbrio . . . . .	41
Espaço de Endereçamento . . . . .	12
Espaço disponível . . . . .	A-5
Especialistas . . . . .	38
Especificação de Automato . . . . .	24
Especificidade . . . . .	65
Estabilidade . . . . .	20
Estados . . . . .	A-5
Estados . . . . .	54
Estados internos . . . . .	40
Estado de animação . . . . .	59
Estudo teórico . . . . .	81
Evolução de linhas em . . . . .	70
Exemplo . . . . .	A-12
Extensões . . . . .	A-3
Extração de características . . . . .	39
Fenômenos naturais . . . . .	36
Filtragem de sinais . . . . .	75
Fits . . . . .	41
Flexibilidade . . . . .	50
Flexibilidade do Espaço Celular . . . . .	45
Flexibilidade do modelo adaptacional . . . . .	A-13
Formas não risidas . . . . .	73
Forma x Significado . . . . .	37
Frames . . . . .	8

Frente de onda . . . . .	A-5
Fundamental . . . . .	63
Futuros Desenvolvimentos . . . . .	81
Fuzzy Sets . . . . .	B-2
Genética . . . . .	10
Grupo de Viena . . . . .	B-3
Guilherme de Occam . . . . .	57
Homem comum . . . . .	80
Homeomorfismo . . . . .	40
Idealizada . . . . .	B-2
Imagem . . . . .	75
Imobilidade direta . . . . .	14
Inércia . . . . .	65
Infinitas . . . . .	58
Influências . . . . .	59
Informação . . . . .	15
Instruído . . . . .	39
Inteligência Artificial . . . . .	B, 39
Interação . . . . .	42
Interação Direta Ambiente x Espaço Celular . . . . .	43
Interação à distância . . . . .	65
Inviabilidade . . . . .	A-1
Isotropia . . . . .	4

Justificativa . . . . .	68
Limiar . . . . .	9, 75
Limitações . . . . .	69
Limitações estruturais . . . . .	69
Linguística . . . . .	B-3
Linguagem do significado . . . . .	B-4
Linguagens de marcas . . . . .	B-4
Linguagens de Programação . . . . .	B-3
Máquina . . . . .	B-5
Máquinas de Turins . . . . .	B-7
Máquina de Turins . . . . .	4
Materiais . . . . .	A-9
McCulloch-Pitts . . . . .	10
Mensagem . . . . .	15
Meta-programação . . . . .	B-5
Micro-alterações . . . . .	69
Micro-modificação . . . . .	69
Micro-passadas . . . . .	69
Minimundos . . . . .	38
Mobilidade Direta . . . . .	14
Mobilidade direta . . . . .	A-4
Mobilidade direta . . . . .	A-11
Mobilidade direta . . . . .	42, A-3
Modelagem contínua . . . . .	50
Modelagem dos elementos . . . . .	81
Modelagem x Tecnologia . . . . .	74
Modelo contínuo . . . . .	50

Modelo discreto . . . . .	16
Modelo do Elemento . . . . .	48
Modificação das Configurações . . . . .	46
Modificações . . . . .	69
Movimento ativo . . . . .	A-5
Movimento da configuração . . . . .	A-6
Movimento passivo . . . . .	A-5
Movimento retilíneo . . . . .	A-4
Mudança . . . . .	40
Neurônio . . . . .	10
Objetivação final . . . . .	B-2
Objetivo do deslocamento . . . . .	A-4
Objeto utópico . . . . .	B-2
Observáveis . . . . .	10, B-3
Obstáculo . . . . .	A-4
Onda de perturbação . . . . .	A-7
Onda passiva . . . . .	A-10
O Conceito de Tempo . . . . .	59
Parâmetros . . . . .	13
Paradigma . . . . .	64
Paradigmas . . . . .	A-7
Paradigma Adaptacional . . . . .	30
Paradigma adaptacional . . . . .	A-8
Paradigma computacional . . . . .	A-1

Paradigma Computacional . . . . . 31

Paralelismo . . . . . 61

Perceptrons . . . . . 43, B-6

Perturbação . . . . . 59

Poder . . . . . 57

Poder construtivo . . . . . 65

Fontes regulares . . . . . 52

Posicionamento . . . . . 42

Positivistas Lógicos . . . . . B-3

Prática . . . . . 79

Pré-programação . . . . . 68

Prédefinição . . . . . 38

Predição . . . . . 36

Primitiva . . . . . A-8

Princípio: . . . . . 45

Problemas do dia-a-dia . . . . . 80

Problema do significado . . . . . B-1

Problema filosófico . . . . . B-3

Problema Semântico . . . . . B-3

Procedimento Efetivo . . . . . 14, 37

Procedimento Efetivo . . . . . 17, B-5

Processador Celular . . . . . 74

Processamento . . . . . 13

Processamento adaptável . . . . . 42

Programa . . . . . 68

Programação . . . . . 37

Programa de Desenvolvimento . . . . . 24

Programa de desenvolvimento . . 70

Projeto . . . . . 74

Proposições . . . . . 36

Propriedades gerais . . . . . A-8

Proximidade estrutural . . . . . 44

Proximidade linguística . . . . . 44

Psicologia . . . . . 9

Quadros . . . . . 8, B-2

Quadro teórico . . . . . 81

Questão: . . . . . B-2

Quiescência . . . . . 19

Ritmo . . . . . 59

Ramon y Cajal . . . . . 10

Razão humana . . . . . B-1

Receptor . . . . . 75

Recursos . . . . . 79

Recurso formal . . . . . 37

Rede Semântica . . . . . B-6

Referências Bibliográficas . . . C-1

Refinamento . . . . . 68

Resra . . . . . A-5 a A-6

Resras adicionais . . . . . A-9

Resra (6): . . . . . A-9

Resra (7): . . . . . A-9

Resra (8): . . . . . A-10

Regra (9): . . . . .	A-10
Relatórios . . . . .	70
Relativo . . . . .	59
René Thom . . . . .	16
Repouso . . . . .	65
Reprodução genuína . . . . .	A-2
Repulsão . . . . .	66
Rieser . . . . .	8
Risidamente . . . . .	A-2
Risidez do espaço . . . . .	A-6
Risidez do Espaço de Turins . . . . .	40
Risidez do modelo computacional . . . . .	A-13
Rotacão . . . . .	41
Rotacão . . . . .	A-11
Rotacão pura . . . . .	A-11
Roteiros intuitivos . . . . .	37
Seccionamento . . . . .	A-11
Senso comum . . . . .	1, A-8
Sentidos contrários . . . . .	A-11
Sentido . . . . .	A-9
Sequencial . . . . .	70
Sequencialidade operacional . . . . .	75
Sequencializar-se . . . . .	A-11
Significacão . . . . .	B-1
Significado . . . . .	40
Significados . . . . .	36

Simplicidade . . . . .	52
Sincronização . . . . .	A-3, A-10
Solidariedade . . . . .	21
Solução . . . . .	69
Som . . . . .	75
Tendencial . . . . .	A-9
Teóricas . . . . .	B-3
Tempo . . . . .	59, A-8
Tempo teórico . . . . .	A-8
Tempo total . . . . .	A-7
Teorias das máquinas . . . . .	36
Teorias Formuladas por Abstração . . . . .	10
Teoria da Catástrofe . . . . .	50
Teoria de Turins . . . . .	31
Teoria do Neurônio . . . . .	10
Tese de Church . . . . .	32
Tipos de Ajuste . . . . .	68
Tracos semânticos . . . . .	B-2
Transições . . . . .	A-4
Transmissão . . . . .	75
Treinado . . . . .	39
Troca . . . . .	A-6
Turins . . . . .	14
Universal . . . . .	57
Universalidade Adaptacional . . . . .	63



Universalidade Computacional . . . 4  
 Universalidade Construtiva . . . 63  
 Universalidade de Construção . . . 5  
 Utoris . . . . . B-2  
  
 Vazio . . . . . A-4  
 Viabilidade prática . . . . . 74  
 Vizinhanca-28 . . . . . 53  
 Vizinhanca-5 . . . . . 4  
 Vizinhanca-7 . . . . . 53  
 Von Neumann . . . . . 11, A-1  
 Von Neumann . . . . . A-4  
  
 [AttS@] . . . . . 65  
 [Brm] . . . . . 50  
 [Bulck] . . . . . 10  
 [Codd] . . . . . 1, 17  
 [Dijkstra] . . . . . 73  
 [Gaze] . . . . . 65  
 [GazKeat] . . . . . 65  
 [Guimr1] . . . . . 12  
 [Guimr]) . . . . . 12  
 [Hsbers] . . . . . 10  
 [Hold] . . . . . 10  
 [HopUlm] . . . . . 54  
 [Jacob] . . . . . 10, 65  
 [Keat] . . . . . 65

[LevJacb]	. . . . .	65
[Mast]	. . . . .	10
[Mast]	. . . . .	65
[McElr]	. . . . .	10
[Minsk1]	. . . . .	8
[Minsk2]	. . . . .	32, 36
[Minsk3]	. . . . .	10, 57
[MnkPaf]	. . . . .	43
[MyerSP]	. . . . .	65
[Nilsson1]	. . . . .	33
[Nilsson]	. . . . .	43
[Pattee]	. . . . .	44
[Priese]	. . . . .	17
[Priese]	. . . . .	1
[Rieser1]	. . . . .	8
[Rieser1]	. . . . .	8
[Rieser]	. . . . .	8
[RieGrb]	. . . . .	8
[RieGrb]	. . . . .	8
[Samer]	. . . . .	10
[Schank]	. . . . .	8
[Simon 1]	. . . . .	32
[Thom]	. . . . .	16, 36
[Thom]	. . . . .	50
[Thom]	. . . . .	15 e 16
[vonN]	. . . . .	17
[von N]	. . . . .	4

[von N] . . . . . 11  
[WhHnSn] . . . . . 10  
[White] . . . . . 10  
[Zeeman] . . . . . 51

Unidade BC \_\_\_\_\_  
Proc. \_\_\_\_\_  
Ass. \_\_\_\_\_  
Data 26.09.85  
Hora \_\_\_\_\_