

BENJAMIN LUIZ FRANKLIN

CULTURAS ARTIFICIAIS:
COMPUTAÇÃO EVOLUTIVA, METÁFORAS SOCIAIS
E SUA APLICAÇÃO EM ROBÓTICA

Trabalho final apresentado ao Instituto de Pesquisas
Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT, para
obtenção do título de Mestre Profissional em
Engenharia de Computação: Engenharia de
Software.

São Paulo
2001

BENJAMIN LUIZ FRANKLIN

CULTURAS ARTIFICIAIS:
COMPUTAÇÃO EVOLUTIVA, METÁFORAS SOCIAIS
E SUA APLICAÇÃO EM ROBÓTICA

Trabalho final apresentado ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT, para obtenção do título de Mestre Profissional em Engenharia de Computação: Engenharia de Software.

Orientador: Dr. Marcel Bergerman

São Paulo
2001

Ficha Catalográfica

Franklin, Benjamin Luiz

Culturas Artificiais: computação evolutiva, metáforas sociais e sua aplicação em robótica. São Paulo, 2001.

78p.

Trabalho final (Mestrado Profissional) – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. – Engenharia de Computação: Engenharia de Software.

Orientador: Dr. Marcel Bergerman

1. Culturas Artificiais 2. Sociedades Artificiais 3. Inteligência Artificial 4. Agentes Inteligentes I. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A.
II. Título

CDU 007.52:316.73(043.3)

À Renata Apgaua Britto, pelo olhar e pelo amor.

Agradecimentos

Esta dissertação representa um momento pessoal muito importante. Um momento em que várias possibilidades se embrenham de sentido e mudam a esfera de um desejo, da mera possibilidade dos sonhadores para a alegria de se compartilhar o sonho possível.

Mudar um sonho de lugar é sempre esforço de muitos amores. Quero agradecer àqueles que me ajudaram nesta mudança.

Gostaria de agradecer à minha família, por ter tornado isso possível. Ao meu pai, Benjamin Mendonça Franklin, e a minha mãe, Adélia Luiz Franklin, que foram generosos de uma forma que eu nunca conseguirei agradecer-lhes à altura.

Agradeço ao meu orientador, Marcel Bergerman, que me deu uma medida incrível de liberdade, simpatia e conhecimento e, como poucas pessoas, teve a habilidade de transformar minha inquietação em algo que tenha algum sentido.

À Renata Apgaua Britto, que esteve lá, atrás do palco, vivendo comigo na intimidade. Obrigado por seu amor.

Agradeço, por fim, aos meus amigos, não no sentido de equalizar nossas relações, mas de gerar novas dívidas de amor e amizade.

Sumário

LISTA DE FIGURAS	VII
LISTA DE TABELAS.....	VIII
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS.....	IX
RESUMO	X
ABSTRACT	XI
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....	1
1.1 RESUMO	1
1.2 LACUNAS DE INFORMAÇÃO	2
1.3 LACUNAS DE INFORMAÇÃO E COMPUTAÇÃO EVOLUTIVA	4
1.4 CULTURA E TECNOLOGIA DE INFORMAÇÃO.....	6
1.5 TECNOLOGIA CULTURAL	8
CAPÍTULO 2 - CULTURA COMO METÁFORA.....	10
2.1 RESUMO	10
2.2 CIBERNÉTICA COMO INTERFACE.....	11
2.3 CULTURA E COMPLEXIDADE	12
2.4 CULTURA ARTIFICIAL E FICÇÃO.....	15
CAPÍTULO 3 - MODELO DE UMA CULTURA ARTIFICIAL	20
3.1 RESUMO	20
3.2 CONCEITOS FUNDAMENTAIS	21
3.3 SOCIAL EMBEDDEDNESS	24
CAPÍTULO 4 - APLICAÇÕES PARA TECNOLOGIA CULTURAL	27
4.1 RESUMO	27
4.2 SIMULAÇÃO CULTURAL	28
4.3 COLETIVOS INTELIGENTES	29
CAPÍTULO 5 - BUSCA EM UM AMBIENTE NÃO ESTRUTURADO	30
5.1 RESUMO	30
5.2 DEFINIÇÕES DO AMBIENTE.....	31
5.3 PROTOCOLO DE UMA CULTURA ARTIFICIAL	33
5.4 MODO EXPLORATÓRIO	36
5.5 EXEMPLO	38
CAPÍTULO 6 - <i>CULTURAL ALGORITHMS SIMULATOR</i> – CAS.....	47
6.1 RESUMO	47
6.2 DESCRIÇÃO DO SIMULADOR	48
6.3 DINÂMICA DO BELIEFSpace	51
6.4 CONSOLIDAÇÃO DOS DADOS OBTIDOS.....	54
6.5 EXPERIMENTOS	57

CAPÍTULO 7 - CONCLUSÃO	62
ANEXOS	64
REFERÊNCIAS	65

Lista de Figuras

<i>Figura 1: Visão onisciente do pesquisador sobre BOARD.....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 2: Protocolo de Cultura Artificial.....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 3: Primeira iteração do agente número 1.....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 4: Segunda iteração do agente número 1.....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 5: Terceira iteração do agente número 1.....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 6: Quarta iteração do agente número 1.....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 7: Quinta iteração do agente número 1.....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 8: Sexta iteração do agente número 1.....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 9: Primeira iteração do agente número 2.....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 10: Segunda iteração do agente número 2.....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 11: Terceira iteração do agente número 2.....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 12: Quarta iteração do agente número 2.....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 13: Criação do novo BELIEFSPACE.....</i>	<i>45</i>
<i>Figura 14: Visão geral do CAS.....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 15: Dinâmica do BELIEFSPACE.....</i>	<i>51</i>
<i>Figura 16: Gráfico da relação entre os agentes de melhor desempenho melhor solução ("Steps").</i>	<i>56</i>
<i>Figura 17: Configuração final do BELIEFSPACE visualizada no modelo de planilha.....</i>	<i>56</i>
<i>Figura 18: Comparação de resultados obtidos com comunidades de 50 e 500 agentes.....</i>	<i>57</i>
<i>Figura 19: Comparação entre o desempenho das comunidades de 50 e de 500 agentes.....</i>	<i>59</i>
<i>Figura 20: Ilustração da experiência de adaptação.....</i>	<i>60</i>
<i>Figura 21: Adaptação das comunidades de 500 agentes sobre as soluções bloqueadas encontradas pelas comunidades de 50 agentes.....</i>	<i>61</i>

Lista de Tabelas

<i>Tabela 1: Pseudocódigo de Busca Individual.</i>	41
<i>Tabela 2: Pseudocódigo de Mudança Cultural.</i>	42
<i>Tabela 3: Relatório apresentado pelo CAS após a experiência*.</i>	55
<i>Tabela 4: Resultado dos experimentos de precisão.</i>	58

Lista de Abreviaturas, Siglas e Símbolos

AC	Artificial Culture - Cultura Artificial.
AI	Artificial Intelligence - Inteligência Artificial.
AS	Artificial Societies - Sociedades Artificiais.
CA	Cultural Algorithms - Algoritmos Culturais.
CAR	Cultural Algorithms Repository - Repositório de Algoritmos Culturais. ftp://ftp.cs.wayne.edu/pub/EC/
CAS	Cultural Algorithms Simulator - Simulador de Algoritmos Culturais.
GA	Genetic Algorithms - Algoritmos Genéticos.
GP	Genetic Programming - Programação Genética.
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo.
JASSS	The Journal of Artificial Societies and Social Simulation - Jornal de Sociedades Artificiais e Simulação Social. http://jasss.soc.surrey.ac.uk
USP	Universidade de São Paulo.

Resumo

Franklin, Benjamin Luiz. **Culturas Artificiais: Computação Evolutiva, Metáforas Sociais e sua Aplicação em Robótica**. Trabalho final apresentado ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT, para obtenção do título de Mestre Profissional em Engenharia de Computação: Engenharia de Software. São Paulo, 2001.

Sociedades artificiais têm sido utilizadas, entre outras aplicações, para inferir fenômenos sobre a dinâmica social que não podem ser testados no “mundo real”, disponibilizando, desta forma, cenários possíveis ao pesquisador, para que este possa “cultivar” comportamentos coletivos a partir de um ponto de vista individual – *bottom up* –, através de regras locais em comunidades de agentes. Nestes casos, o pesquisador espera encontrar comportamentos coletivos emergentes pela simulação de seu modelo, como se este fosse um laboratório para suas idéias e premissas.

No presente trabalho, pretendemos utilizar estas propriedades emergentes das sociedades artificiais na resolução de um problema da literatura de robótica: busca em um ambiente não estruturado. Nesta aplicação, buscamos uma comunidade de agentes que, baseada em regras locais simples e com pouca capacidade sensorial sobre o ambiente, possa produzir uma solução emergente adaptativa para este problema complexo.

Ainda sob este ponto de vista, abordaremos a questão através da utilização de tecnologia cultural, ou seja, utilizando metáforas de sistemas culturais que forneçam informações externas para os indivíduos, capazes de estruturar o chamado “mundo real” em categorias, viabilizando o processo de decisão dos agentes.

Para testar os conceitos mencionados e facilitar a observação de padrões coletivos emergentes em culturas artificiais, foi criado o *Cultural Algorithms Simulator – CAS* –, que pode ser encontrado em nosso repositório: <http://www.geocities.com/belfra2000>.

Palavras-chave: Culturas Artificiais; Sociedades Artificiais; Inteligência Artificial; Agentes Inteligentes.

Abstract

Franklin, Benjamin Luiz. **Artificial Cultures: Evolutionary Computing, Social Metaphores, and their application to robotics**. Master's Thesis in Software Engineering, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT. São Paulo, 2001

Artificial Societies have been applied, among others, to applications on social dynamics modelling, which cannot be tested in the real world. They allow researchers to build scenarios and cultivate collective behaviors from an individual - bottom-up - point of view, through the local rules of a community of agents. In these cases, the researcher intends to find emergent collective behaviors from the model simulation, as if it were a laboratory for his ideas and hypothesis.

In this work, it is our intention to apply these emergent properties of artificial societies to a classical robotics problem, namely, goal search in an unstructured environment. In this application we seek a community of agents, which based on simple local rules and with little sensorial capabilities, yields an emergent adaptive solution to this complex problem.

We tackle the problem from the point of view of Cultural Technology. We utilize metaphors of the social systems to furnish external information to the individuals, who are able to structure the real world aiding the agents' decision process.

To test the concepts mentioned and facilitate the observation of emergent collective patterns in artificial cultures, we created CAS, the Cultural Algorithms Simulator. CAS can be found in the site: <http://www.geocities.com/belfra2000>

Keywords: Artificial Cultures; Artificial Societies; Artificial Intelligence; Intelligent Agents.

Capítulo 1 - Introdução

1.1 *Resumo*

Neste capítulo, apresentaremos uma visão introdutória para o problema das lacunas de informação às quais os organismos vivos estão sujeitos, quando enfrentam problemas computacionais cotidianos no "mundo real".

Dentro desta questão, apresentaremos duas abordagens diferentes para explicar como os organismos lidam com este problema: a biológica e a cultural.

Mais adiante descreveremos brevemente como a Ciência da Computação apropriou-se de conceitos encontrados na Biologia para promover a Computação Evolutiva. Logo em seguida, apresentaremos o paradigma cultural como possível abordagem na Ciência da Computação, ao analisar a cultura como uma tecnologia capaz de lidar com as lacunas de informações encontradas no “mundo real”.

1.2 Lacunas de Informação

Grande parte dos problemas computacionais encontrados no "mundo real" não tem solução absoluta – uma solução ótima e final. Isto ocorre quando o domínio do problema é apenas parcialmente conhecido, quando não se tem informação suficiente para processar, ou quando não existe tempo hábil para sua resolução precisa. Alguns destes problemas têm sido chamados pelos engenheiros de *problemas mal postos*. Pinker apresenta o processo da visão como um possível exemplo para esta classe de problemas:

A óptica comum é o ramo da física que permite prever como um objeto com determinada forma material e iluminação projeta o mosaico de cores que denominamos imagem retiniana. O cérebro precisa resolver o problema oposto. O input é a imagem retiniana, e o output é uma especificação dos objetos que há no mundo e do que eles são feitos – ou seja, do que sabemos que estamos vendo. E aí está o xis do problema. A óptica invertida é o que os engenheiros chamam de um problema mal proposto (sic). Ele absolutamente não tem solução. Assim como é fácil multiplicar alguns números e enunciar o produto, mas é impossível tomar um produto e indicar os números que foram multiplicados para obtê-lo, a óptica é fácil, mas a óptica invertida é impossível. Entretanto, nosso cérebro a pratica toda vez que abrimos a geladeira e retiramos uma jarra (Pinker,1999, p.39).

Os organismos vivos têm enfrentado este e muitos outros problemas semelhantes durante milhões de anos, seja para encontrar alimento, para encontrar parceiros sexuais, para escapar de predadores, para evitar perigos, etc. Deste sucesso – ou fracasso – tem dependido a sobrevivência das espécies em seus determinados nichos ecológicos, conforme o modelo proposto por Charles Darwin sobre a seleção natural. Um dos motivos do relativo sucesso das espécies selecionadas seria a capacidade que seus organismos têm de agir dentro de padrões de comportamento preestabelecidos. Os organismos poderiam, desta forma, preencher lacunas informacionais encontradas em problemas complexos. Eles podem “supor” que determinadas variáveis irão se comportar conforme um padrão, ou fornecer informações que estão faltando. E que padrão poderia ser este? Como os organismos poderiam reduzir uma ação de inúmeros códigos de comportamentos para apenas algumas alternativas viáveis de ação?

Alguns pesquisadores, tais como Edward O. Wilson, oferecem um modelo biológico de criação de comportamentos inatos. Estes comportamentos seriam herdados geneticamente e seriam resultados da seleção natural. Serviriam como um “atalho” comportamental e cognitivo para otimizar ou adequar ações possíveis a uma determinada situação. Wilson chamou estes comportamentos inatos de *regras epigenéticas*:

A epigênese, originalmente um conceito biológico, significa o desenvolvimento de um organismo sob influência conjunta da hereditariedade e do ambiente. As regras epigenéticas [...] são operações inatas no sistema sensorial e cérebro. São regras práticas que permitem aos organismos encontrar soluções rápidas para problemas encontrados no ambiente. Elas predisõem os indivíduos a ver o mundo de certa forma inata e automaticamente fazer certas escolhas em vez de outras. Com regras epigenéticas, vemos um arco-íris em quatro cores básicas, e não como um contínuo de frequências de luz. Evitamos acasalar com irmãos, falamos com frases gramaticais coerentes, sorrimos para amigos e, quando sozinhos, tememos estranhos em encontros iniciais. Tipicamente impelidas pelas emoções, as regras epigenéticas em todas as categorias de comportamento dirigem o indivíduo para as reações relativamente rápidas e exatas mais passíveis de garantir a sobrevivência e a reprodução. Mas deixam em aberto a geração potencial de uma imensa série de variações e combinações culturais. Às vezes, especialmente em sociedades complexas, não mais contribuem para a saúde e o bem-estar. O comportamento que orientam pode dar errado e militar contra os melhores interesses do indivíduo e da sociedade (Wilson, 1999, p.184).

A idéia de se ter um banco de conhecimento prévio em sistemas artificiais, de modo a facilitar a resolução de problemas complexos criando “atalhos” de comportamento, não é propriamente nova e remete aos chamados sistemas especialistas e a conjuntos de regras heurísticas que formalizariam o conhecimento de um domínio. Neste caso, este conhecimento prévio é “injetado” no sistema pelos programadores e engenheiros do conhecimento¹.

¹ A Engenharia do Conhecimento é o processo de construção de bases de conhecimento e requer a participação de operadores humanos na definição da metodologia a ser empregada, assim como o conhecimento de um domínio particular. Normalmente um especialista em uma determinada função é entrevistado e monitorado para que seu

1.3 *Lacunas de Informação e Computação Evolutiva*

A abordagem que adotaremos neste trabalho, entretanto, diverge da idéia de encapsular um “conhecimento” pronto vindo de um especialista humano e formalizado logicamente. Nossa escolha aplica-se à solução de problemas em que o próprio domínio não é claramente formalizado, onde possam existir lacunas de informação e de conhecimento. As próprias noções de conhecimento e inteligência passam a ter um significado mais coletivo que individual, pois se referem a uma rede de relacionamentos entre agentes que formam um consenso e criam um domínio de conhecimento em comum.

Esta ambição cabe à Computação Evolutiva: a de criar sistemas que se adaptem a situações imprevistas por seus idealizadores de uma forma relativamente autônoma, criando soluções próprias. Para isso, o chamado “banco de conhecimento” nos sistemas especialistas é substituído por um conjunto de experiências resultantes das **várias gerações de agentes** em um sistema evolutivo. O “conhecimento” não seria caracterizado por regras heurísticas formalizadas, mas por comportamentos e configurações adaptativas resultantes de um processo de seleção, promoção e herança.

Vale ressaltar que utilizamos o termo Computação Evolutiva para designar várias correntes e abordagens da Inteligência Artificial, especialmente aqueles que têm como objetivo criar sistemas computacionais que possam “evoluir”: que "podem tornar-se proficientes em um ambiente desconhecido dado apenas algumas percepções e recompensas ocasionais" (Russell e Norving, 1995, p. 621) e são inicialmente inspirados na idéia de seleção natural, nos modelos publicados por Charles Darwin em *A Origem das Espécies*.

Nestes termos, a sociabilidade entre agentes seria uma vantagem, pois aumentaria a capacidade de processamento de informação como um todo. O conhecimento e a aprendizagem tornam-se um processo coletivo e não individual. Esta particular visão de aprendizagem identifica possibilidades de adaptação de um sistema mesmo em situações de conflito, competição ou colaboração entre os agentes². Não existe, neste paradigma, uma proposta unitária entre os agentes;

“conhecimento” seja formalizado logicamente e programado em uma base de dados (Russell e Norving, 1995, p.217).

² Seguimos, neste trabalho, a definição de agentes oferecidas por Russell e Norving: "Um agente é tudo que pode

existe um movimento, ora harmônico, ora competitivo, ao mesmo tempo criativo e destrutivo, mas que, não obstante, gera movimento e “aprendizagem”. Wilson observou esta propriedade computacional coletiva observando colônias de insetos:

Um inseto social individual processa menos informação que um inseto individual, mas como parte de uma atividade total, o inseto contribui para uma computação mais complexa. [...] Somente 2% das espécies de insetos são sociais, mas eles representam mais da metade da biomassa dos insetos (Wilson, 1998, p. 197).

A Computação Evolutiva apropriou-se da idéia de Computação Coletiva, utilizando-se de metáforas vindas da Biologia – sejam os Algoritmos Genéticos, Redes Neurais Artificiais, Vida Artificial ou a Programação Genética, entre outras³.

perceber o ambiente através de sensores e agir sobre este ambiente por acionadores (effectors) [...] um agente de software tem codificado em bits suas percepções e suas ações" (1995, p. 31).

³ Sendo o tema *computação evolutiva* suficientemente vasto, remetemos o leitor interessado aos seguintes endereços: <http://www.alife.org/> e <http://www.geneticprogramming.com>.

1.4 Cultura e Tecnologia de Informação

Entretanto, ao olharmos inevitavelmente a questão da adaptabilidade humana, que extrapola suas condições genéticas, não podemos nos furtar a um olhar espantado sobre a peculiaridade desta espécie, que utiliza outras estratégias de adaptação – além da genética – e a tipos muito mais variados de sociabilidade – como comportamentos permeados por sistemas culturais. De acordo com o ponto de vista do antropólogo Clifford Geertz:

A cultura seria melhor vista como um conjunto de mecanismos de controle- planos, receitas, regras e instruções (o que os engenheiros de computação chamam de “programas”) para governar o comportamento. [...] o homem é precisamente o animal mais desesperadamente dependente de tais mecanismos de controle, extragenéticos, fora da pele, de tais programas culturais para ordenar seu comportamento (Geertz,1989, p.56).

A capacidade humana de criação da cultura inaugura uma outra possibilidade adaptativa, uma capacidade de virtualizar ações e criar categorias abstratas; de viver em um mundo onde fontes externas de algoritmos são oferecidas muito além das proezas genéticas – reconstruindo o gênero humano. Uma espécie que virtualizou⁴ sua capacidade coletiva de processamento de informações, mas que, neste movimento, criou um pacto de não retorno à natureza e dependência absoluta de suas próprias criações.

A cultura, neste ponto de vista, “armazenaria” categorias e organizaria o mundo de forma a criar um modelo de inferências sobre os mais variáveis objetos e situações, utilizando-se de um número limitado de “instrumentos mentais”. O cérebro humano, segundo Pinker, seria um instrumento de metáforas cognitivas – uma *mente metafórica* – que, por isso, poderia “supor” conhecimento prévio advindo de experiências anteriores e preencher as “lacunas” de conhecimento, que caracterizam os problemas no “mundo real” (Pinker,1999, p.326).

⁴ Utilizaremos, neste trabalho, o conceito de virtualização proposto por Pierre Lévy, onde virtualizar estaria associado a potencializar algo, ou seja: onde "uma entidade passa a encontrar sua consistência essencial em campo problemático." (1996, p. 18). Neste caso, como propõe Lévy, o virtual não seria um contraponto do "real", mas sim do "atual". Atualizar uma questão implicaria em uma reificação desta potencialidade do virtual. A relevância deste conceito consiste, para nosso trabalho, em uma diferenciação da virtualização, como forma de tratamento de informação em relação a forma de tratamento de informação biológica, utilizada pela natureza em sua dinâmica genética.

Desta forma, ao nos depararmos com um novo problema computacional, teríamos um acervo de inferências úteis sobre outro domínio considerado semelhante, além das regras epigenéticas propostas por Wilson. Chamaremos, ainda que inadequadamente, esta propriedade da cultura de criar esquemas generalizadores para múltiplos domínios de “senso comum” – esquemas interpretativos do mundo – como indicado nas palavras de George Miller:

A suprema realização intelectual do cérebro é o mundo real [Todos os] aspectos fundamentais do mundo real de nossa experiência são interpretações adaptativas do mundo “realmente real da física” (Miller apud Pinker, 1999, p.353).

No caso da citação acima, Miller ainda considera a existência de um mundo “realmente real” que pode ser descrito pela física. Neste trabalho, adotaremos uma abordagem associada a correntes, nas Ciências Humanas, que consideram toda representação do mundo real como uma ficção, ou seja, uma representação do mundo inserida em um discurso, formado por categorias culturais sempre relativas (Pinker, 1999, p.327).

1.5 Tecnologia Cultural

Da mesma forma que os modelos e conceitos encontrados na Biologia serviram de inspiração na resolução de problemas computacionais, novas metáforas estão sendo criadas, interligando outras áreas do conhecimento à Ciência da Computação. Pesquisadores têm definido linhas de pesquisa em um movimento de gradual afastamento dos modelos oferecidos pela Biologia. Algoritmos Culturais, por exemplo, são baseados na premissa de que se pode melhorar a taxa de aprendizado de um Algoritmo Evolutivo (como, por exemplo, um Algoritmo Genético - GA), adicionando-se mais um elemento de pressão evolutiva – o chamado BELIEFSPACE, um mecanismo de pressão cultural. Desta forma um sistema de dupla herança, tanto genética individual quanto cultural, poderia adaptar-se melhor e responder com mais eficiência a um grande número de problemas.

Tem sido freqüentemente sugerido que a evolução cultural habilita as sociedades a evoluir ou se adaptar ao seu ambiente em taxas que excedem as da evolução biológica baseada somente na herança genética (Reynolds, 1998, p: 1).

Outra linha de pesquisa denominada por Sociedades Artificiais consiste, segundo as idéias de Gilbert, na simulação de teorias ou modelos sociais expressos como um programa de computador. Estes programas têm sido usados para testes de teorias e validação de hipóteses que não podem ser testadas no “mundo real”. Segundo Gilbert, padrões simples de ações individuais repetidas podem levar a instituições sociais extremamente complexas. A interação entre indivíduos (agentes) geraria um sistema auto-organizado não-linear.

Gessler, por sua vez, sugere um novo domínio de conhecimento que procura aproximar os modelos encontrados em sistemas adaptativos complexos aos modelos encontrados no domínio da cultura. Tal empreendimento continuaria uma linha de pesquisa que passaria pela Inteligência Artificial, Vida Artificial, Sociedades Artificiais e fundamentaria o que o autor chama de Cultura Artificial. Segundo o autor:

[...] cultura artificial é uma população de agentes individuais, com seu próprio sentido, com sua própria cognição e atuação, interagindo em um ambiente social com outros agentes em um ambiente físico de artefatos e outros objetos (Gessler, 1999).

Tendo em vista estes conceitos, a idéia central do presente trabalho consiste, primeiramente, em considerar que a cultura tem propriedades computacionais particulares e, desta forma, devem ser tratadas apropriadamente – utilizando-se paradigmas criados nas Ciências Humanas e não na Biologia.

Em seguida, acreditamos que os problemas do “mundo real” podem sofrer uma abordagem cultural de resolução, e isso pode beneficiar processos de automação inteligente. A resolução de um problema complexo, neste ponto de vista, seria uma resposta adaptativa de uma cultura de agentes criados especialmente para um determinado domínio. Em outras palavras, não é nossa intenção, neste trabalho, simular uma situação cultural e obter resultados para possíveis novos cenários; outrossim, obter resultados a determinado problema a partir de uma Cultura Artificial. A cultura, sob este ângulo, é tratada como uma tecnologia de interpretação para problemas complexos.

Seguiremos, nos próximos capítulos, nossa investigação sobre a utilização de metáforas culturais como Tecnologia de Informação. Esta dissertação está estruturada em sete capítulos, incluindo esta introdução.

No segundo capítulo, detalharemos as implicações metodológicas da escolha de um paradigma cultural ao invés do biológico. No terceiro capítulo, discutiremos como outros pesquisadores têm modelado conceitualmente Sociedades Artificiais, além de consolidar idéias a serem utilizadas nesta dissertação. No capítulo quatro, sugerimos ocasiões em que a tecnologia cultural poderia ser empregada praticamente. No capítulo cinco, abordaremos um problema clássico na área de robótica, seguindo os conceitos de uma Cultura Artificial. No capítulo seis, apresentaremos o simulador de Algoritmos Culturais criado especialmente para esta dissertação, onde simularemos situações possíveis e realizaremos experimentos. Finalizando esta dissertação, descreveremos nossas conclusões e sugestões para futuros temas de pesquisa.

Capítulo 2 - Cultura como Metáfora

2.1 *Resumo*

Neste capítulo, discutiremos os caminhos da Computação Evolutiva que formularam as principais questões da Tecnologia Cultural, suas possibilidades, enquanto uma metáfora de sistemas de informação, além de nortear o debate através do olhar da Cibernética, que nos permite um ponto de diálogo entre diferentes ciências. Apresentaremos, então, nossa intenção de um modelo artificial de cultura que possa beneficiar aplicações em Computação Evolutiva.

2.2 Cibernética como Interface

Ao abandonarmos os princípios da Biologia, abandonamos o corpo teórico que tem fundamentado a Computação Evolutiva até o momento. Ao adotarmos paradigmas culturais, certamente deveremos encontrar outros modelos de inspiração.

Recentemente, pesquisadores - no campo das ciências sociais - começaram a explorar as possibilidades de expressar teorias como programas de computador. A grande vantagem é que se pode simular o processo social de interesse e, em certas circunstâncias, até realizar experimentos que de outra forma seriam impossíveis (Gilbert, 1999).

Este ponto de vista sistêmico primordial que une – sob um ponto de vista de sua raiz informacional – disciplinas diversas e aparentemente imiscíveis foi desenvolvido sob o nome genérico de Cibernética por autores como Norbert Wiener, Gordon Pask e W. Ashby, entre outros. Quando os cientistas da computação invocam uma metáfora dos “métodos” naturais para a resolução de problemas complexos, abordam a questão cibernética dos organismos vivos, ou seja, nas palavras de Gordon Pask: [...] "seu caráter interdisciplinar" (da Cibernética) "emerge quando considera a economia não como um economista, a biologia não como um biólogo, e a máquina não como um engenheiro. Em cada caso seu tema permanece o mesmo, isto é, como os sistemas se regulam, se reproduzem, evoluem e aprendem. Seu ponto alto é de como os sistemas se organizam" (apud Epstein, 1973, p. 9).

Gessler, por sua vez, aproxima esta abordagem da chamada *síntese pós-humana* (Gessler, 1999), uma tendência contemporânea que presume uma síntese entre o homem e suas máquinas onde as fronteiras não ficam muito evidentes; considerando os processos computacionais por si mesmos e independentes de seu suporte – sejam corpos humanos, máquinas ou processos culturais.

2.3 Cultura e Complexidade

Sendo as Ciências Sociais parte das Ciências Humanas e, desta forma, contendo vários modelos para explicar a questão cultural - e não apenas um pensamento predominante (como na Biologia com a seleção natural) -, devemos primeiramente encontrar um modelo adequado para representação do problema proposto, simplificá-lo em um modelo sistemático e transformá-lo em algo compreensível a um computador através de uma linguagem de programação. É importante lembrar, neste ponto do debate, que não pretendemos testar um modelo de como a sociedade funciona e simulá-lo no computador, queremos utilizar um modelo cultural para resolver um problema computacional. Nosso objetivo é utilizar a propriedade computacional da cultura para encontrar uma resposta adaptativa a um problema complexo e, por isso, deveremos construir um modelo artificial de cultura.

Gilbert tem aproximado a visão do processo social aos sistemas complexos não-lineares e, muitas vezes, caóticos. Esta abordagem favorece também uma aproximação metodológica da chamada teoria da complexidade, na qual grandes sistemas complexos seriam resultados de subsistemas não-lineares. Escreve:

Como tenho observado, a complexidade pode ser consequência da ação de regras muito simples em níveis individuais. A noção de emergência é uma das mais importantes vindas desta abordagem [...] Emergência ocorre quando a interação entre objetos em um nível leva a diferentes tipos de objetos em um outro nível. Mais precisamente, um fenômeno é emergente se requer novas categorias para descrevê-lo que não são requeridas para descrever o comportamento dos componentes anteriores. (Gilbert, 1999)

Seguindo estas idéias, Gilbert propõe o entendimento de instituições sociais como um comportamento emergente da ação complexa de indivíduos. Desta forma, uma interação de vários sistemas não-lineares (indivíduos) poderia formar comportamentos emergentes em um nível global (instituições sociais). Vários autores escreveram sobre o embate entre o indivíduo e a sociedade, e de como o primeiro influencia o segundo e vice-versa. Existe um leque bastante grande de alternativas que vão desde as perspectivas em que o indivíduo é uma construção total e completa de

sua sociedade – como a do sociólogo Emile Durkheim – até modelos onde a constituição genética governa o comportamento humano deixando pouco, ou quase nada, para a importância de fatores socioculturais. "Ambos os lados deste debate estavam confusos", afirma Gilbert, "pois eles não entendiam a idéia de emergência" (Gilbert, 1999).

Também Gessler, ao aproximar as abordagens criadas nas Sociedades Artificiais das questões culturais, propõe alguns fundamentos na elaboração de Culturas Artificiais. Estes fundamentos admitem não-linearidades e, portanto, o advento de propriedades emergentes típicas dos sistemas complexos. Estes elementos são:

- O Tempo - que poderá favorecer ao pesquisador ao fluir para o futuro, para o passado ou em diferentes escalas conforme o interesse do programador.
- O Espaço - que pode ser representado bidimensionalmente em forma de um reticulado.
- Os Agentes - atores que irão interagir e terão aspectos comportamentais (como eles agem no mundo), e aspectos cognitivos (como eles pensam). Algumas destas ações serão exteriores em forma de ação, outras serão interiores em formas cognitivas.
- Objetos - elementos com quem os agentes podem interagir e trocar informações.

Dentro destes conceitos poderemos, agora, elaborar uma representação do que poderia ser descrito como uma Cultura Artificial de agentes, ou seja, dentro da perspectiva geertziana de cultura, um mecanismo de controle do comportamento dos indivíduos. Adotaremos, por estes princípios, que existe uma tensão entre a vontade individual (não-linear) e os comportamentos incentivados pela cultura, e que, para todos os efeitos, a cultura orienta e pré-seleciona categorias de ações possíveis para os indivíduos.

Ao invocarmos as propriedades “controladoras” da cultura, a fim de modelar uma cultura artificial de agentes, referimo-nos a uma suposta capacidade da cultura em diminuir a entropia no espaço cognitivo dos agentes, em outras palavras, de facilitar o processo de decisão em nível individual, ao limitar os comportamentos possíveis. Assumindo isso, concordamos com as premissas de Norbert Wiener sobre um universo com uma forte carga de indeterminação, como descreve:

Esse reconhecimento de um elemento de determinismo incompleto, de quase irracionalidade, no mundo, é, de certo modo, análogo à admissão freudiana de um profundo componente irracional na conduta e no pensamento humano. (Wiener, 1954, p.13)

Este componente irracional, como descreve Wiener, deverá ser contrabalançado com elementos estruturantes (regras, tabus e instituições sociais), em um jogo de equilíbrio e desequilíbrio de entropias, onde elementos de desordem e caos vitalizariam um sistema estruturado e dinâmico. Por outro lado, sistemas culturais estruturantes das pulsões individuais possibilitariam a permanência e a reprodução do próprio sistema como um todo. Cabe, neste momento, também concordar com a visão de Willard Gibbs, descrita por Wiener sobre a entropia:

[...] A inovação de [Gibbs] foi a de considerar não um mundo, mas todos os mundos que sejam respostas possíveis a um grupo limitado de perguntas referentes ao nosso meio ambiente. Sua noção fundamental dizia respeito à extensão em que as respostas que possamos dar a perguntas acerca de um grupo de mundos são prováveis em meio a um grupo maior de mundos. Além disso, [Gibbs] formulou a teoria de que a probabilidade tendia naturalmente a aumentar conforme o universo envelhecesse. A medida de tal probabilidade se denomina entropia, e a tendência da entropia é a de aumentar. (Wiener, 1954, p.13)

Sistemas evolutivos, baseados na modelagem de multiagentes, parecem ter uma vocação natural para lidar com ambientes entrópicos, como os encontrados no “mundo real”, pois carregam desde seu início a incumbência de organizar informações em ambientes hostis de entropia crescente, de forma a manter a homeostase, como nas palavras de Wiener: "a vida é uma ilha, aqui e agora, em um mundo agonizante, [que deseja] resistir ao fluxo geral de corrupção e desintegração" (Wiener, 1954, p. 95).

2.4 Cultura Artificial e Ficção

Nossa tentativa em modelar uma Cultura Artificial na resolução de um problema computacional torna-se, nesta perspectiva, não um exercício de abstração de como uma cultura humana “real” possa funcionar e aplicá-la computacionalmente, mas uma invenção de uma cultura particular, criada somente para este domínio, uma ficção – mas não por isso uma ilusão –, uma vez que tentará, metaforicamente, trazer os conflitos entre pulsões individuais e controles coletivos para uma forma simples de algoritmo. Nele, a Tecnologia Cultural seria aplicada para reduzir a entropia dos múltiplos agentes e promover seleções para um determinado problema computacional, que emergiria das dinâmicas entrópicas dos agentes ao interagirem entre si e com seu ambiente. A Tecnologia Cultural, desta forma, teria um paralelo nas seguintes palavras de Wiener:

Todavia, enquanto o universo como um todo, se de fato existe um universo íntegro, tende a deteriorar-se, existem enclaves locais cuja direção parece ser o oposto à do universo em geral e nos quais há uma tendência limitada e temporária ao incremento da organização. A vida encontra seu habitat em alguns destes enclaves (Wiener, 1954, p.13).

Se esta ficção, esta fantasia, pode ou não ser feita, se ela é legítima ou pertinente, se ela é real o suficiente para servir de fundo para uma possível contribuição, não poderemos responder senão pela própria aceitação do risco; tendo como consolo a crítica da antropologia pós-moderna, que considera toda a interpretação do mundo apenas como construtos e discursos, ou em observações como a de Bronowski: [...] "a Matemática, que a maioria de nós vê como a mais fatal de todas as ciências, constitui a mais colossal metáfora imaginável, e deve ser julgada, estética e intelectualmente, em termos do êxito dessa metáfora" (apud Wiener, 1954, p.94).

Apesar do incentivo das palavras de Wiener: "se quisermos usar a palavra 'vida' para abranger todos os fenômenos que nadem rio acima, contra a corrente da entropia crescente, temos a liberdade de fazê-lo" (1954, p.33), não entraremos – nem temos a competência necessária para entrar – na discussão de se os sistemas culturais são sistemas vivos ou não. Estaremos satisfeitos em considerar os sistemas culturais como uma tecnologia capaz de diminuir a entropia de agentes individuais em relação a determinado domínio. Uma forma da coletividade humana – mas não

necessariamente exclusivo a ela – de lidar com um mundo destinado à entropia crescente, algo que seria insuportável para a condição humana, caso a cultura não lhe organizasse o mundo mental.

Esperamos encontrar algumas características positivas ao adotarmos modelos culturais ao invés dos modelos biológicos. Estas hipóteses são, na verdade, temas deste e de futuros trabalhos a serem realizados. Esperamos aqui destacar algumas das questões a serem observadas e sugerir algumas discussões sobre o tema, entre as quais poderíamos destacar as descritas a seguir.

2.4.1 Geração de mapas de experiências

Através da interação de múltiplos agentes sobre um determinado domínio, com uma perspectiva cultural, poderíamos gerar estruturas organizadoras para um ambiente que serviriam de suporte ao processo de decisão dos agentes. Estas seriam estruturas emergentes de um processo complexo não-linear, não obstante, serviriam para diminuir a entropia dos sistemas, facilitando o processo computacional como um todo. É importante salientar que estes mapas de experiências não seriam o equivalente a uma base de conhecimento, implementada pelo pesquisador; eles formariam a quinta-essência de um conhecimento pertencente à própria Cultura Artificial e não ao usuário. Isto implicaria em uma fascinante discussão sobre a natureza dos sistemas evolutivos e, mais precisamente, os sistemas culturais. Tendo, esse sistema, criado uma resolução a um problema complexo, teria uma espécie de "alma", entendida, neste caso, como uma série de características exclusivas e não reprodutíveis tecnicamente?

Como a engenharia de software poderia lidar com esse novo tipo de sistemas? Quais seriam as novas metodologias de testes, uma vez que os processos muitas vezes não poderão ser traçados devido a uma extensa não-linearidade? Estaríamos criando uma nova classe de erros computacionais? Lembrando a peculiar capacidade de causar desastres dos sistemas digitais⁵, quais seriam os erros e desastres causados por sistemas evolutivos? Quando a sociedade for dependente destes sistemas, assim como hoje somos dependentes da energia elétrica ou da rede de esgotos,

⁵ A sociedade tem se mostrado vulnerável a falhas provenientes de sistemas digitais, como argumentam Forester e Morrison (1990). Estes autores alegam que os erros provenientes de sistemas digitais têm características diferentes dos erros gerados por sistemas analógicos. Os autores apontam que uma das grandes vulnerabilidades dos sistemas digitais atuais consiste na impossibilidade de testá-los completamente, advertindo a Engenheiros de Software a aprimorar sua metodologia de testes. O leitor poderá encontrar mais informações no seguinte endereço: <http://www.univ.com.br/acmm/Public/comp-unr.htm>.

poderemos "puxar a tomada"? Hoje se pode desligar os sistemas, então eles voltam a um estado inicial. E quando isto interromper uma dinâmica que não poderá mais ser recuperada?

Infelizmente, este trabalho não será o local adequado para a investigação destas questões. Isto não vai, todavia, impedir o curso das coisas e nem retirar destas perguntas sua relevância, de modo que, cedo ou tarde, estaremos inclinados ou coagidos a refletir e agir.

2.4.2 Adaptabilidade

Uma vez gerado o mapa de experiências, essência dos resultados dos múltiplos agentes e sua configuração cultural, estas estruturas poderão ser compartilhadas em situações similares, em outros problemas, facilitando a evolução de algoritmos evolutivos. Aplicando-se restrições na amplitude evolutiva dos algoritmos, ampliaremos sua evolutibilidade, ou seja, sua capacidade de dar respostas consistentes a uma mudança repentina de cenário.

Reiterando a idéia de Tecnologia Cultural, devemos lembrar que a cultura oferece um suporte para o processamento de informações, não o processamento em si. A tecnologia cultural não irá, nestes termos, oferecer respostas aos agentes, contudo irá constranger a ação dos agentes em comportamentos e ações possíveis. A idéia de evolutibilidade aparece, aqui, mais como a possibilidade de dar respostas dentro de certos padrões de comportamentos empregados pelos sistemas culturais, do que uma capacidade de mutação no estilo genético como um “programador cego”, que "atira" para todos os lados, encarregando à seleção natural a escolha dos mais adaptados.

A partir destes pontos, acentua-se a diferença entre os paradigmas da Biologia e os das Ciências Humanas. No caso deste trabalho, não é necessário tentar conciliar estas idéias tentando evidenciar, por exemplo, que a cultura influi nas propriedades evolutivas genéticas das espécies, como as descritas no efeito *Baldwin*⁶, ou que as influências genéticas criam atalhos comportamentais, como no caso das regras epigenéticas, descritas por Wilson. No caso da Tecnologia Cultural, o mais importante seria progredir em uma modelagem do problema que

⁶ "Em 1896, James Mark Baldwin propôs que o aprendizado individual pode explicar um fenômeno evolucionário que aparentemente requer a forma de Lamarck de herança de características. A habilidade de um indivíduo aprender pode guiar o processo evolutivo. De fato, o aprendizado suaviza o cenário de seleção, facilitando a evolução. Baldwin propôs em seguida que a habilidade que inicialmente exigia aprendizado era eventualmente trocada pela evolução genética,

contribuísse para o entendimento da diferença entre os dois paradigmas. Devemos entender qual a natureza desta diferença e como poderíamos aplicar esta diferença para contemplar os diversos problemas computacionais abordáveis pela computação evolutiva.

2.4.3 Metáforas

Ao pesquisarmos as especificações e particularidades de uma Tecnologia Cultural, ao buscarmos um entendimento de sua diferença em relação aos paradigmas da Biologia, estaremos, de certa forma, aceitando uma desvantagem inicial: de que o modelo teórico alcançado na Biologia (como uma ciência natural) pode mais facilmente ser convertido em um algoritmo do que os modelos explicativos usados nas Ciências Sociais. Devemos ressaltar que não existe aqui a intenção de tentar estabelecer um modelo positivo da dinâmica cultural e social, como já foi tentado na infância destas ciências, nem a crença de que as Ciências Sociais alcançarão, um dia, um modelo capaz de criar previsibilidades e controles.

Isso não quer dizer que a idéia de uma metáfora do processo cultural não tenha esperanças. Ela tem. E talvez a maior delas seja a de ajudar a entender melhor o sistema cultural humano, através das extensas falhas nos modelos culturais artificiais. A cada tentativa pretensiosa de se forjar um modelo útil, mesmo que seja incorreto, estaremos colaborando com outras áreas do conhecimento. Seguindo as palavras de Edgar Morin: "O único pensamento que sobrevive é aquele que se mantém na temperatura de sua própria destruição" (apud Pessis-Pasternak, 1992, p.84).

O modelo, ou melhor dizendo, os possíveis modelos encontrados na criação de Sociedades Artificiais, serão, possivelmente, utilizados como ferramentas teóricas nas ciências sociais. Além disso, disponibilizarão um entendimento mais específico da dinâmica cultural e suas particularidades.

criando sistemas que não precisariam aprender. Desta forma, comportamentos aprendidos poderiam se tornar instintos em gerações, sem o uso das teorias de herança de Lamarck" National Research Council (2001).

2.4.4 Desempenho

Outra característica esperada deste tipo de abordagem é de que ela ofereça desempenhos superiores em relação às baseadas na Biologia, como nos demonstrou Robert Reynolds em seus experimentos com Algoritmos Culturais (1998).

Quanto a esta questão, cremos que a Tecnologia Cultural deverá, primeiramente, encontrar um modelo mais robusto e um aparato teórico mais sólido antes de ser comparada com outras abordagens, para garantir comparações relevantes e construtivas. Sendo assim, não haverá espaço neste trabalho para abordar comparações de desempenhos; focalizaremos somente nas possíveis aplicações práticas às quais esta tecnologia poderá ser aplicada.

Tentaremos também descrever algumas características e possíveis conseqüências desta escolha, entre vantagens e desvantagens deste modelo, esperando esmiuçar como aplicar estas novas formas de Tecnologia da Informação.

Capítulo 3 - Modelo de uma Cultura Artificial

3.1 *Resumo*

Neste capítulo, consolidaremos os conceitos abordados nos capítulos anteriores, tendo em vista a criação de um modelo de Cultura Artificial específico para este trabalho. Nosso esforço será no sentido de definir, neste modelo, as noções essenciais de indivíduo, cultura, e sua inter-relação.

Escolheremos, dentre paradigmas e definições, alguns conceitos primordiais que orientarão a construção de um esquema que possibilitará a experimentação destas idéias. Como será mostrado, privilegiaremos um modelo onde o conhecimento de um determinado domínio será uma resposta adaptativa emergente de uma Cultura Artificial de agentes.

Ainda neste caminho, seguiremos os ensinamentos de autores construtivistas em sua afirmação de que o processo de aprendizagem é algo criativo, e não uma adaptação passiva à realidade. Vincularemos, desta forma, a visão de mundo criada pelos agentes diretamente com seus construtos coletivos.

3.2 Conceitos Fundamentais

Começaremos, nesta seção, a detalhar o modelo usado neste trabalho para a construção do que seria uma comunidade de agentes que utilizariam Tecnologia Cultural para interagir com seu ambiente, entre si e com um objetivo dado. Tentaremos resumir os conceitos-chaves abordados até aqui, a fim de sentirmo-nos livres para utilizá-los novamente sem rodeios.

O primeiro conceito importante é o de que a cultura é um componente da inteligência, e não um subproduto desta, ou seja, a inteligência é um fenômeno coletivo e não simplesmente uma consequência cerebral/individual. A inteligência é um processo cultural que pode ser resumido nas palavras de Geertz: "Sem os homens certamente não haveria cultura, mas, de forma semelhante e muito significativa, sem cultura não haveria homens" (1989, p.61).

O segundo conceito consiste na própria definição de cultura adotada neste projeto, ou seja, de que a cultura fornece informações extragenéticas para os indivíduos. Desta forma, toda a percepção do que seria o chamado "mundo real" passaria, antes de tudo, por uma hierarquização simbólica fornecida pela cultura; em outras palavras, não poderia existir um "mundo realmente real" senão através de um construto ou um truque coletivo, que o indivíduo usaria de suporte no seu processamento de informações.

O terceiro conceito-chave é a de que existe um conflito entre os desejos individuais e os comportamentos impostos pela cultura, como descrito por Freud em "O mal-estar na civilização": o indivíduo não poderia realizar suas pulsões em troca dos benefícios e da inevitabilidade de uma vida em sociedade. Este princípio individual, denominado por Freud como princípio do prazer, poderia sugerir uma analogia com as idéias de Wiener, em que todo organismo vivo lutaria contra o crescimento da entropia.

Note o leitor que esta relação não foi formalizada pelos autores (Wiener e Freud) e, infelizmente, não está no escopo deste trabalho aprofundarmos-nos nestas questões. Não obstante, em nosso modelo, utilizaremos o conflito entre pulsões individuais e estruturas culturais como um jogo de entropias, como no modelo sugerido por Wiener, em que, se por um lado, o indivíduo – como um organismo vivo – tentaria manter sua entropia individual dentro de limites aceitáveis, por

outro, a cultura, como um sistema auto-regulador, também tentaria manter sua entropia controlada, através de mecanismos de realimentação e controle. O conflito estaria no fato de que as pulsões individuais gerariam entropia nos sistemas culturais e, por sua vez, os sistemas culturais, ao controlar as pulsões individuais, gerariam entropia nos indivíduos, em um jogo interativo de pressões e regulamentos.

Ambos sistemas, paradoxalmente, precisariam um do outro: o indivíduo necessitaria da estruturação cognitiva do mundo oferecida pela cultura, e a cultura, por sua vez, precisaria da revitalização criativa das pulsões individuais. Indivíduo e sociedade jogariam, desta forma, um jogo de ambivalências permanentes, não-lineares e imprevisíveis como um todo.

O quarto conceito importante é o de ficção, ou seja, para modelar uma cultura artificial, usamos uma metáfora do que consideramos, em nossa abordagem, como sendo questões essenciais na relação cultura-indivíduo. "O que nós conhecemos do mundo, nós aprendemos de modelos de nossa cabeça. Neste sentido o mundo que nós conhecemos é artificial, porque não é o mundo por si mesmo" (Gessler, 1995). Da mesma forma, na criação de um modelo para uma cultura artificial, nossa intenção será a de criar benefícios para os algoritmos evolutivos, tendo em vista um modelo de cultura apropriado, e não as formas de cultura humana.

Nos modelos advindos dos paradigmas da Biologia - uma ciência natural -, esses modelos parecem ser convergentes, como, por exemplo, nos modelos de seleção natural. Segundo Wilson, os modelos das ciências naturais seriam mais *consilientes*⁷ entre si. Por exemplo, a Física concordaria mais facilmente com a Química e a Matemática do que a Sociologia, a Antropologia e a Psicanálise concordariam entre si. Novamente lamentamos não podermos adentrar mais profundamente por estas questões. Limitar-nos-emos simplesmente, neste trabalho, à constatação das dificuldades conceituais enfrentadas por um pesquisador na área de Sociedades Artificiais, ou seja, de criar modelos e algoritmos baseados em Ciências Humanas.

O quinto conceito importante é a noção de emergência, ou seja, a criação de comportamentos, em um nível coletivo do sistema, que diferem das potencialidades

⁷ Wilson usa o termo *consiliência* para caracterizar o diálogo entre os paradigmas das ciências naturais. Este autor propõe que a única forma de unificação possível entre todas as ciências, inclusive as humanidades, é através dos

comportamentais de seus subsistemas. Em nosso modelo de Tecnologia Cultural, do conflito entre a contenção de entropias de um nível individual e do nível cultural, emergiriam propriedades não-lineares. Estas propriedades podem estar a serviço de um sistema adaptativo desde que passíveis de uma avaliação em uma função de ajuste.

Tendo em vista estes conceitos, construiremos uma Cultura Artificial de agentes. Nossa Cultura Artificial demanda a interação entre indivíduo e cultura, e como a coletividade constrói a “realidade” dos indivíduos. No caso deste projeto, enfatizamos a extrema importância da cultura na construção e organização do sistema cognitivo dos agentes. Os indivíduos, portanto, enxergarão seu ambiente através de olhos culturais. Estarão, por isso, absolutamente vinculados aos seus sistemas culturais.

3.3 Social Embeddedness

Bruce Edmonds utilizou uma abordagem construtivista na construção de modelos para agentes múltiplos. Esta abordagem pressupõe a criação da realidade como uma ação vinda de um agente e não uma adaptação passiva. Descreve:

O construtivismo é amplamente conhecido como a tese de que o conhecimento não pode ser uma reflexão passiva da realidade, mas deve ser uma construção ativa feita por um agente. Ainda que esta visão tenha suas raízes nas idéias de Kant, este termo foi usado pela primeira vez por Piaget [28] para denominar o processo pelo qual o indivíduo constrói sua visão de mundo. Extrapolando, temos o construtivismo radical de Ernst von Glasersfeld [18] cuja abordagem epistemológica parte do ponto que o único conhecimento que podemos ter é construído. Em cibernética isso foi empregado por Heinz Von Foerster [17], que mostrou que um organismo não pode distinguir entre percepções do mundo exterior e sinais gerados internamente a priori (por exemplo, alucinações), mas retém aquelas construções que ajudam a manter a coerência do organismo com o passar do tempo (uma vez que aqueles que não mantiverem não serão selecionados) (Edmonds, 1999, p.1).

Para Edmonds, a abordagem construtivista traz certas características na construção de um modelo, das quais podem ser destacadas:

- *Modelos que são construídos por um agente não refletem necessariamente a estrutura do ambiente do agente (como visto por um observador externo) - particularmente os modelos são meramente compatíveis com seu ambiente e a interação do agente com este ambiente.*
- *Modelos são desenvolvidos visando as necessidades e objetivos do agente, particularmente visando sua intenção de controlar suas próprias ações e as de seu ambiente.*
- *Modelos surgem mais como o resultado de uma interação ativa com o ambiente do que uma observação passiva e raciocínio – de fato, os modelos também precisam de*

interação com o ambiente para funcionar como mecanismos de seleção de comportamento (Edmonds, 1999, p.8).

Em nosso modelo, consideramos a “realidade” não só como um ato de criação por parte de um agente, mas como um construto cultural, ou seja, uma criação sustentada por uma organização cognitiva dada pela cultura. A cultura, nesta abordagem, serviria de “plataforma” para o reconhecimento do mundo a partir de um ponto de vista individual. Esta situação, em que o indivíduo está imerso em valores coletivos, foi descrita por Edmonds como *Social Embeddedness*, ou seja, uma situação em que o estado interno do agente depende da sua interação com a coletividade e não com apenas alguns outros agentes.

[...] é mais apropriado modelar os agentes como parte de um sistema completo de agentes, e suas interações, do que o oposto: modelá-los como simples agentes que interagem com um ambiente essencialmente unitário. Logo, dizer que um agente é socialmente vinculado é mais forte que dizer que é meramente socialmente situado. Eu caracterizei o vínculo social como um construto que depende dos objetivos do modelo, uma vez que estes objetivos afetarão o critério de apropriação dos modelos. Isso pode ser interpretado como uma interação de modelos de agentes contrastantes (Edmonds, 1999, p.5).

No caso da Tecnologia Cultural, podemos dizer que o estado interno dos agentes será construído por sua relação cultural. A percepção que o agente venha a ter do mundo exterior e de outros agentes estará vinculada ao seu aspecto coletivo. Apesar de nossa abordagem não ser puramente construtivista, encontramos nas expectativas de Edmonds suporte para a construção de nosso modelo. Edmonds ainda nos dá alguns exemplos de situações de *social embeddedness* ou *social situatedness*, que achamos elucidativo transcrever:

Primeiramente, o modelo econômico neoclássico de agentes interativos, onde cada um destes agentes individualmente tem um insignificante efeito em seu ambiente, o que significaria que o modelo do sistema, como um todo, poderia ser facilmente transformado em um de interação representativa de agentes com um ambiente econômico.

Aqui se poderia dizer que cada agente não é socialmente vinculado, pois existe pouca necessidade de modelar o sistema como um todo, objetivando ter sucesso em capturar o comportamento do agente.

Segundo, onde um agente que interage com uma comunidade via um processo de negociação com apenas alguns outros agentes. Aqui um modelo que considera apenas um agente, suas crenças e suas interações com esses poucos agentes, irá normalmente fornecer uma explicação satisfatória para tudo que ocorra. Ainda existirão, contudo, situações nas quais interações e causalidades com a comunidade, como um todo, se tornarão significativas e resultarão em surpreendentes conseqüências. Aqui se poderia atribuir com certeza um baixo grau de vínculo social.

Em terceiro, o comportamento de um cupim. É possível tentar explicar o comportamento de um cupim em termos de um grupo de regras internas em resposta ao seu ambiente, mas para esta explicação ter algum sentido é preciso que ela seja feita no contexto de toda a colônia. Um cupim não repara um buraco em um dos seus túneis, apenas a colônia de cupins [...] poder-se-ia dizer que as formigas eram situadas socialmente, mas não vinculadas socialmente, pois se pode modelar o sistema com um modelo essencialmente unitário do ambiente, com quem cada formiga interage separadamente.

Finalmente, modelando os movimentos de pessoas em uma festa, é possível que, para ter alguma credibilidade nos resultados, tenha-se que incluir representações explícitas de cada pessoa e sua relação com os demais presentes. Isto representaria um alto nível de vínculo social (Edmonds, 1999, p.7).

Tendo caracterizado o conceito de *Social Embeddedness*, encontramos-nos prontos para criar a nossa metáfora de Cultura Artificial, lembrando sempre que este modelo é apenas um entre tantos que podem ser criados. Isso não é necessariamente um problema, mas um convite a uma pesquisa pluridisciplinar capaz de enriquecer e contribuir com todos seus interlocutores. Nosso risco só pode ser considerado pela esperança de uma possível contribuição neste debate, servindo, talvez, mais como um gerador de perguntas do que de respostas. No próximo capítulo, colocaremos nosso modelo à prova, pois refletiremos sobre possíveis aplicações desta tecnologia em situações cotidianas.

Capítulo 4 - Aplicações para Tecnologia Cultural

4.1 *Resumo*

O advento da Internet tem levado à promessa de um ambiente padrão de comunicação para todos os dispositivos possíveis. É neste tipo de ambiente, de conectividade, que a aplicação da Tecnologia Cultural pode encontrar um dos terrenos mais férteis de aplicação prática. Neste capítulo, trataremos brevemente de possíveis aplicações práticas para esta tecnologia.

4.2 Simulação Cultural

Como foi explicado nos capítulos anteriores, a Tecnologia Cultural diferencia-se dos sistemas especialistas e seus bancos de conhecimento, pois a cultura não resolve um problema complementar; ela, de outra forma, contextualiza e organiza um modelo de inferências sobre um domínio; ela gera as perguntas viáveis, as ações plausíveis e os gabaritos comportamentais, mas não tira dos agentes a possibilidade criativa. Os agentes utilizam as estruturas da cultura, mas, inversamente, a cultura também se alimenta das possibilidades dos agentes – quer para reproduzir-se ou renovar-se. A intensiva conectividade, que se mostra como uma tendência tecnológica avassaladora, abre espaço também para novas formas de abordagem para sistemas “inteligentes” – onde a “inteligência” destes novos produtos passa a ser uma assertiva coletiva inter-relacionada e dinâmica, e não um algoritmo ensimesmado, sozinho, em uma caixa preta.

Tendo em vista estas características, apresentam-se como possíveis aplicações práticas, por exemplo, modelos de interação cultural em sistemas de múltiplos agentes. Estes modelos poderão ser aplicados em simulações de comportamentos coletivos, como empresas, populações e partidos políticos, entre outras. Poderiam simular culturas organizacionais e tornar os elementos culturais mais visíveis para os usuários, além de oferecer uma ferramenta para testes conceituais impraticáveis no mundo real, para as Ciências Sociais, Econômicas e Administrativas.

Através de uma modelagem de comportamentos culturais, entenderemos melhor o comportamento coletivo. Poderemos entender melhor, com esta metáfora, como os grupos humanos aprendem, como compartilham significados e ideologias e como competem e colaboram entre si.

4.3 Coletivos Inteligentes

Outra forma de aplicar os conceitos da Tecnologia Cultural é na construção de coletivos inteligentes, ou seja, grupos de agentes que atuam como uma inteligência coletiva⁸, onde não se espera mais uma única aplicação inteligente, mas um grupo de aplicações que promovem a "utilização otimizada e a criação de sinergia entre as competências" (Lévy, 1999, p.167) dos agentes.

Comunidades de dispositivos poderiam intercambiar experiências e categorias culturais, de forma a minimizar o tempo de treinamento de dispositivos "inteligentes" ou a contextualizar suas ações de uma forma mais produtiva e individualizada. Um automóvel poderia "aprender" sobre as regras de trânsito local, estando conectado a uma comunidade de automóveis no mesmo contexto, alertando o motorista para possíveis deslizos. Sistemas de vigilância poderiam aprender constantemente com as experiências de outros sistemas a identificar objetos diferentes sem a necessidade de treinamento local, ou tentar supor sobre imagens incompletas (problemas mal postos), utilizando categorias fornecidas por servidores culturais. Máquinas industriais poderiam autocalibrar-se, comparando seu desempenho com padrões culturais de comportamento produzidos por uma comunidade de máquinas afins.

Dentre estes vários exemplos destacamos um específico da área de robótica móvel. A partir deste exemplo, construiremos um modelo de resolução utilizando tecnologia cultural; logo em seguida, descreveremos um simulador criado para que possamos testar e validar nosso modelo.

Um dos problemas mais complexos e significativos na área de robótica móvel consiste em encontrar um alvo em localidade desconhecida enquanto o robô percorre um ambiente ocupado por obstáculos, cuja localização ou forma também são desconhecidas a priori. Exemplos reais incluem a localização de minas terrestres ou a localização de pessoas perdidas. No próximo capítulo, descreveremos esquematicamente este problema e criaremos um modelo de resolução através de um algoritmo evolutivo com metáforas culturais.

⁸A idéia de inteligência coletiva, enquanto uma concepção neodarwiniana, foi aqui emprestada de Pierre Lévy. Pode ser descrita como um fator resultante da cooperação competitiva, "a competição que se baseia essencialmente nas

Capítulo 5 - Busca em um Ambiente não Estruturado

5.1 *Resumo*

Neste capítulo, descreveremos um problema de busca em um ambiente não estruturado, definindo o domínio do problema a ser tratado por uma Cultura Artificial. Logo em seguida, descreveremos o modelo adotado de agente e suas instâncias de percepção do mundo, para que possamos relacionar os elementos individuais e coletivos. Por fim, descreveremos as instâncias de um Protocolo de Cultura Artificial para este trabalho.

5.2 Definições do Ambiente

Descreveremos, agora, em maiores detalhes, os elementos de uma Cultura Artificial (AC) para resolução de um problema de busca em árvore em um universo não estruturado, representado espacialmente por um reticulado bidimensional BOARD (Figura 1) com as seguintes características:

Dado um agente (Figura 1.2), em uma posição inicial, em busca de um Alvo em posição final desconhecida (Figura 1.4), o objetivo da AC é otimizar a trajetória (menor número de passos) entre o agente e o alvo, no menor tempo possível, contornando possíveis obstáculos (Figura 1.1) que são a priori desconhecidos.

O resultado desta otimização não será dado por um único agente, mas sim por um conjunto de gerações de agentes que trabalharão seguidamente (seqüencialmente) no mesmo problema. O conjunto destas gerações será chamado de "comunidade". Cada célula terá um custo de experiencição, ou seja, um custo de expansão na árvore, representado por um número inteiro maior que 1 (Figura 1.3). Os agentes, por terem sensores limitados, só podem avaliar as células vizinhas (no máximo 9 – incluindo a posição atual, a chamada *Moore Neighborhood* (Epstein, 1996, p.40)) e o conjunto destas células será denominado QUADRANTE.

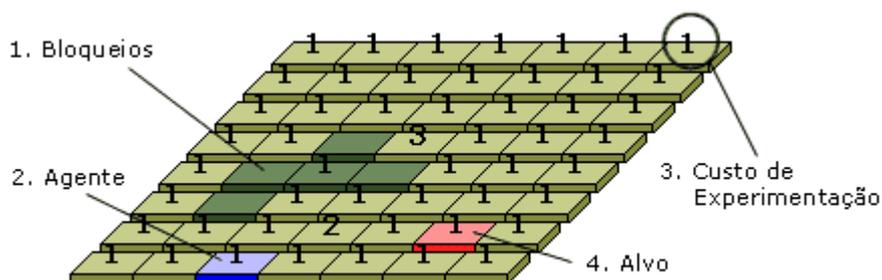


Figura 1: Visão onisciente do pesquisador sobre BOARD.

O problema de otimização em árvore foi escolhido, para este trabalho, por representar vários outros possíveis desafios na área de Inteligência Artificial. No caso da Figura 1, como podemos observar, sabemos exatamente as condições do problema a ser desvendado; porém, se imaginarmos o problema do ponto de vista do agente, esta otimização seria um problema complexo⁹, sendo que este não conhece o domínio além do seu quadrante, não tem idéia da localização do alvo – na verdade, não sabe nem se existe mesmo um alvo -, não pode estabelecer as extensões físicas do cenário e nem tem experiências heurísticas prévias que possam facilitar sua busca.

A otimização de uma busca em uma árvore de domínio desconhecido é um problema típico do mundo real, pois não se pode garantir que o melhor caminho foi encontrado. Existem apenas versões para uma solução final e nada garante que todo o universo do problema tenha sido devidamente explorado. Também poderíamos imaginar uma situação em que nós, os observadores, também não tenhamos a onisciência do domínio, lidando com um problema desconhecido em um ambiente desconhecido e mutável. A beleza, assim como o desafio, de se entender e modelar a Tecnologia Cultural está em considerar o domínio a ser investigado, antes de tudo, como uma construção cognitiva coletiva e não uma realidade absoluta externa aos agentes, ou mesmo passível de compreensão sem a utilização de consensos e "truques" comunitários.

⁹ Este exemplo foi escolhido pois dá ao pesquisador a oportunidade de qualificar a resposta encontrada pelo sistema. Vale ressaltar, no entanto, que um exemplo mais elegante e apropriado a uma Cultura Artificial seria aquele em que o pesquisador não tivesse acesso ao mundo "realmente real", ou seja, não tivesse acesso às informações contidas em BOARD, dependendo inteiramente do conhecimento gerado pelos agentes sobre o domínio. Infelizmente este exemplo ideal não nos ajudaria nesta fase inicial de conceituação e verificação. Pedimos a compreensão do leitor mais crítico e reiteramos nossa intenção de aplicar, em pesquisas futuras, Culturas Artificiais em situações práticas mais adequadas.

5.3 Protocolo de uma Cultura Artificial

Em nosso modelo não existe uma separação clara entre indivíduo e cultura. Existe, de outra forma, uma separação gradual em instâncias, ou níveis de abstração, entre o agente e o mundo “realmente real”, que seria um construto cognitivo coletivo. Neste modelo, como já comentamos nos capítulos anteriores, os agentes não têm como saber se existe um “mundo real” independente de um intermédio cultural. Sendo assim, as noções de indivíduo e cultura devem ser interpenetrantes e indissociáveis e, talvez por falta de uma palavra melhor, o termo Protocolo de Cultura Artificial (PCA) será usado, para designar a estreita proximidade entre indivíduo e cultura.

Partiremos de uma abstração do que seria um agente em seu estado mais atomizado possível, para depois, gradualmente, ir visualizando outras camadas de abstração do PCA, até chegarmos a uma camada onde o agente estaria absolutamente vinculado ao coletivo e à interpretação do “mundo real” (Figura 2).

Se o nosso modelo se baseia no conflito entre indivíduo e cultura, um dos "truques" de abordagem pode consistir em se criar tipos ideais tanto do conceito de *Indivíduo* quanto de *Cultura*. Freud, ao criar seu modelo do aparelho psíquico, utilizou-se deste processo e dividiu-o (falando aqui de uma forma absolutamente simplificada) em três abstrações: ID, EGO e SUPEREGO. Cada uma destas instâncias psíquicas teria propriedades e características peculiares e sua inter-relação caracterizaria a dinâmica do aparelho psíquico. Utilizaremos, em nosso modelo, esta idéia de indivíduo de Freud, na qual os indivíduos são constituídos em diferentes instâncias e que estas podem ser conflitantes entre si¹⁰.

¹⁰ Este modelo, chamado de “estrutural”, é sugerido por Freud após a publicação de *O ego e o id* em 1923, e privilegia o relacionamento entre os elementos do aparelho psíquico. Como nos explica Zimmerman: [...] “a palavra 'estrutura' significa um conjunto de elementos que separadamente tem funções específicas, porém que estão indissociados entre si, interagem permanentemente e influenciam-se reciprocamente” (1998, p.83). Marvin Minsky aborda idéia semelhante em seu livro *A sociedade da Mente* que discute a idéia das operações cognitivas como sendo um trabalho cooperativo de múltiplos agentes especializados (Minsky, 1989).



Figura 2: Protocolo de Cultura Artificial

5.3.1 AGENT

Notemos que esta instância do agente (Figura 2. Agent), não é propriamente “racional”, por assim dizer. É uma instância que não tem a possibilidade de um cálculo mais elaborado. Esta instância apenas reconhece o estado interno do agente e escolhe simplesmente a opção de maior “prazer”. Em nosso modelo este prazer se constitui em permanecer em um estado de menor entropia, sob um ponto de vista individual, sem considerar o objetivo global do sistema ou nenhuma estratégia. O agente pode conter sua entropia interna, em nosso modelo, escolhendo os nós da árvore com o menor custo de experiência (Figura 1.3).

Esta instância do agente não pode ser considerada nem *social embedded* nem *social situated*, ou seja, é totalmente individual e não responde às demandas vindas de seu contexto ou inter-relação com outros agentes. Corresponde a demandas íntimas que os agentes não poderiam negar jamais, como, no caso dos indivíduos “reais”, os instintos de sobrevivência, as pulsões sexuais e as destrutividades. É representação do agente enquanto um conjunto de pulsões não-lineares – uma metáfora do que Freud chamou de “princípio do prazer”. Um ator que deve

experienciar cada nó desconhecido da árvore seguindo um impulso de prazer, uma pulsão – como definida por Baggio:

Trata-se de algo da ordem de uma energia – uma imperiosidade impositiva - que é produzida pelo corpo. É aquilo que escapa da ordem consciente - processo secundário – e que, também escapole à captura do processo primário da ordem do inconsciente. Aquilo que existe impondo e fazendo efeito, além da ordem, é a pulsão. (Baggio, 1995, p. 44).

5.3.2 PARADIGM

Conforme a descrição de Gessler, trata-se da cognição dos agentes enquanto uma visão particular de uma interpretação cultural do mundo. Nesta instância, situa-se a capacidade cognitiva do agente, sua memória e capacidade de julgamento. O PARADIGM que melhor representar a solução do problema de busca, mesmo que temporariamente, será chamado de BESTPARADIGM.

5.3.3 BELIEFSPACE

Representação coletiva do mundo real, ou seja, o mundo real interpretado pela cultura, categorizado, onde os agentes encontram modelos de inferências e valores - informações extra-somáticas, nas palavras de Geertz, que servem como "gabaritos simbólicos de controle" (1989, p. 189) do comportamento dos agentes. A inteligência coletiva, ou inteligência social, ocorre nesta instância, em que, como descreve Dautenhahn, ocorre o choque entre interesses coletivos e individuais. Descreve:

Inteligência social é a capacidade de um indivíduo de desenvolver e administrar relacionamentos entre agentes individualizados e autobiográficos que, por meio de comunicação, constroem interações de estruturas sociais que ajudam a integrar e administrar o interesse individual básico (“egoísmo”) em relação ao interesse do sistema social em um nível mais elevado (Dautenhahn, 2000, p.5).

5.3.4 BOARD

Representação do mundo real: o domínio do problema que, em última análise, não pode ser apreendido inteiramente pelo agente. Contém os custos de experienciação aos quais os agentes serão submetidos ao escolherem um determinado nó a ser expandido na árvore de busca.

5.4 Modo Exploratório

Os membros da comunidade começarão a procurar individualmente o alvo dentro da árvore de busca. O agente que encontrar a forma ótima terá o status de sua solução elevado à categoria de “modelo” da comunidade (BESTPARADIGM), uma *ideologia*, descrita por Geertz como *um diagrama de processos sociais e psicológicos*. A cultura procurará então orientar o comportamento das novas gerações de agentes em direção à solução premiada. A solução para o problema será, portanto, o conjunto de movimentos do indivíduo que encontrou otimamente a solução.

Cada indivíduo da comunidade será compelido por uma função que o leva a escolher opções com o menor valor de desprazer (inscrito na instância AGENT). Caso encontre várias opções com o mesmo valor, ele terá o “livre arbítrio” – representado por uma função aleatória – de escolher uma das possíveis opções. O princípio do prazer deve ser diferenciado da função de utilidade, utilizada em outros sistemas “inteligentes”, pois este não é racional. O princípio do prazer nada tem a ver com a estratégia global de resolução do problema em nível coletivo ou cultural, ao contrário, diz respeito ao organismo do agente como unidade autônoma. É a cultura, devemos lembrar, que controlará o comportamento emergente que deverá ser premiado e adotado como modelo, criando uma estratégia global de ação - uma ideologia - em relação ao domínio dado. Desta forma, o indivíduo terá uma ação particular, como define Geertz:

Quando vistas por um conjunto de mecanismos simbólicos para controle do comportamento, fontes de informação extra-somáticas, a cultura fornece o vínculo entre o que os homens são intrinsecamente capazes de se tornar e o que eles realmente se tornam, um por um (Geertz, 1989, p.64).

Os agentes escolhem os nós que têm o menor valor de desprazer indicado pelo *BELIEFSPACE*. Decidindo-se por uma opção, o agente interfere na própria configuração do *BELIEFSPACE*, incrementando-o da seguinte maneira:

$$BELIEFSPACE(X) = BELIEFSPACE (X) + BOARD (X)$$

onde X representa uma posição em BOARD.

É importante ressaltar que as funções que representam a interação sujeito-cultura são escolhidas, neste trabalho, visando uma adequação ao modelo adotado. Não podem, nem pretendem, estabelecer um modelo matemático de como os processos culturais se estabelecem no mundo “real”. O emprego da fórmula descrita acima, implementada tão simples quanto pudemos criar, é o de se inserir, no modelo, um sistema de interações múltiplas entre indivíduos e a cultura. Outras representações matemáticas desta interação podem ser temas de futuros trabalhos. O foco de nossas atenções não pode ser desviado da idéia principal, que é a de produzir uma Cultura Artificial compatível com o problema proposto; e não recriar, ou tentar reproduzir, a Tecnologia Cultural empregada pelo homem, em toda sua complexidade e diversidade. Isto posto, descreveremos agora um exemplo desta dinâmica.

5.5 Exemplo

Analisaremos um exemplo de como dois agentes de uma mesma comunidade em apenas duas gerações atuariam sobre o mesmo problema de busca em um ambiente não estruturado e como esta comunidade premiaria a melhor solução. No primeiro passo da primeira geração (Figura 3), o agente não encontra nenhuma referência anterior sobre os valores do BELIEFSpace, que estão, portanto, com os mesmos valores de BOARD e PARADIGM. O agente escolhe através do princípio do prazer entre as cinco primeiras possibilidades em seu QUADRANTE. São estas:

1	1	2
1	A	1

Neste caso inicial, o agente descartaria a opção com o valor 2 e escolheria aleatoriamente entre as opções com o valor 1.

Neste exemplo, aleatoriamente, o agente escolhe a célula à sua frente.

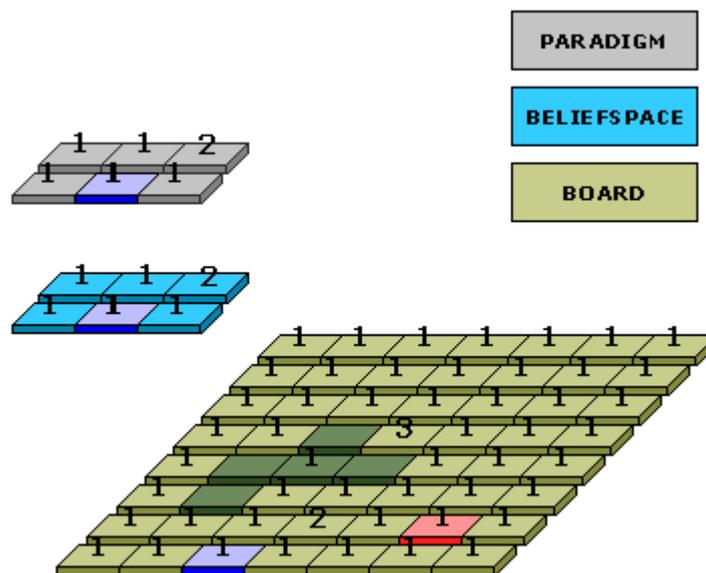


Figura 3: Primeira iteração do agente número 1.

No segundo passo desta mesma geração (Figura 4), o agente já alterou o BELIEFSpace e, segundo o princípio do prazer, já descarta a possibilidade de voltar para o nó anterior da árvore, pois alterou as configurações culturais e, neste processo, também alterou suas alternativas de realizar suas pulsões.

B	1	1
2	A	4
2	2	2

O agente, seguindo o princípio do prazer, escolherá aleatoriamente entre duas opções de valor 1, eliminando as opções culturalmente descartadas assim como os bloqueios. Note que a área destacada representa o antigo QUADRANTE, agora, com seus valores incrementados pela função cultural.

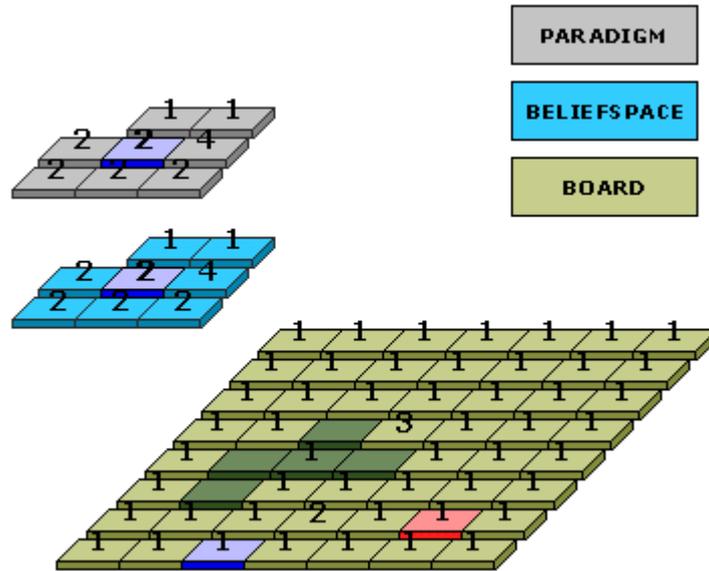


Figura 4: Segunda iteração do agente número 1.

O agente, então, expande os próximos nós e encontra outros setores incentivados pela comunidade (Figura 5).

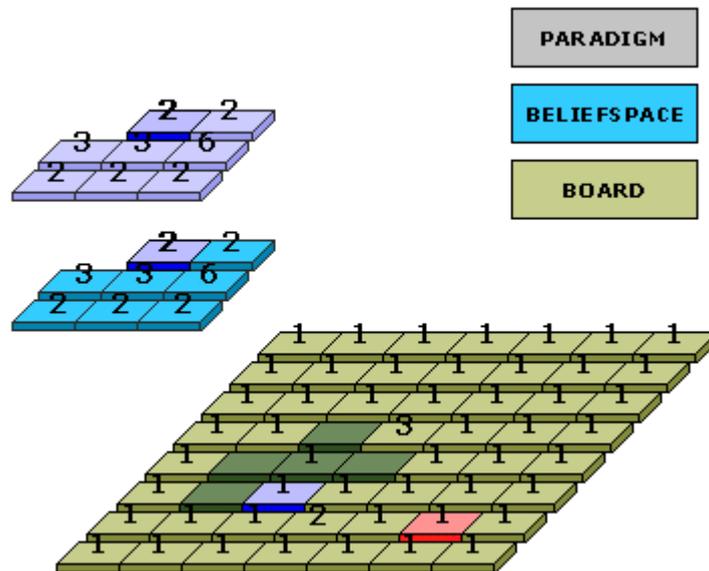


Figura 5: Terceira iteração do agente número 1.

O agente continua sua busca na árvore expandindo todos os nós filhos e repetindo o processo representado pelo pseudocódigo *Busca Individual* (Tabela 1).

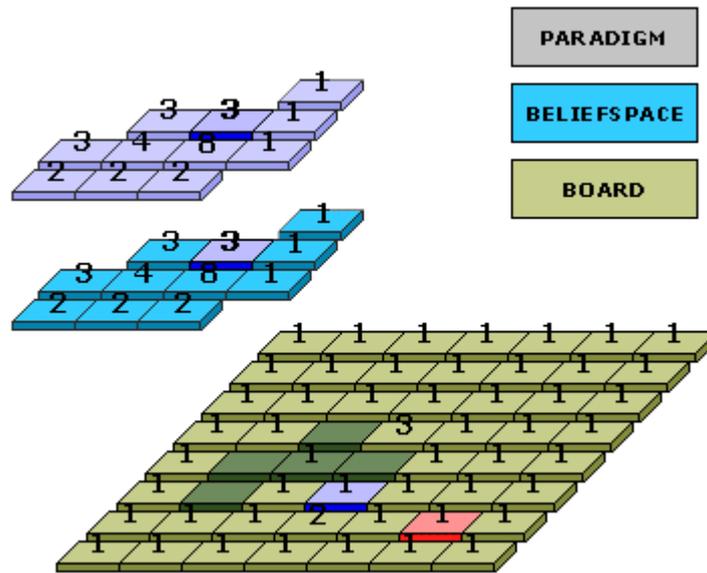


Figura 6: Quarta iteração do agente número 1.

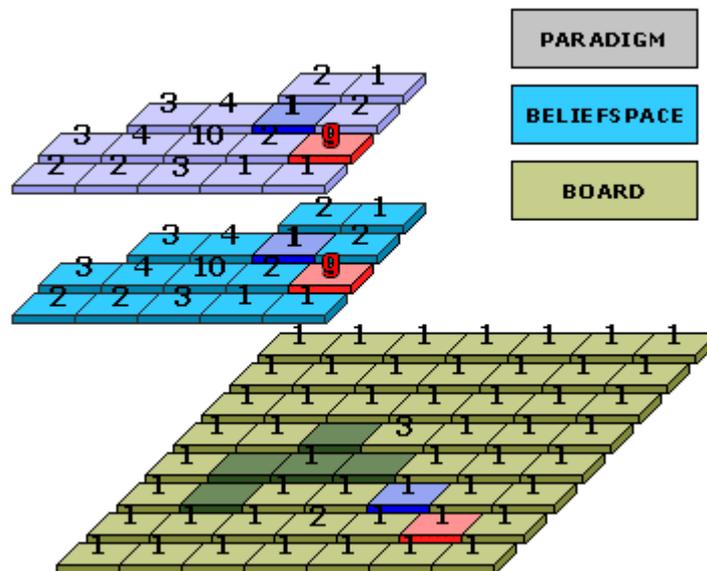


Figura 7: Quinta iteração do agente número 1.

Executado o código de exploração individual até encontrar o alvo (Figura 8), inicia-se uma verificação de sua métrica em relação a toda a comunidade de futuros agentes, de acordo com o pseudocódigo *Mudança Cultural* (Tabela 2).

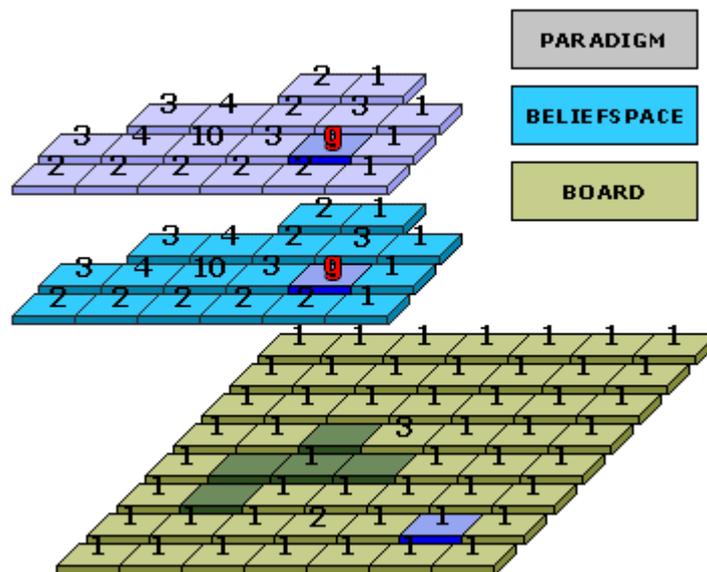


Figura 8: Sexta iteração do agente número 1.

Tabela 1: Pseudocódigo de Busca Individual.

Busca individual
<p>Enquanto (alvo não encontrado) ou (número de passos < número de passos em BESTPARADIGM)</p> <p>Agente incrementa os valores adjacentes do BELIEFSpace com a seguinte fórmula:</p> $\text{BELIEFSpace (quadrante)} = \text{BELIEFSpace (quadrante)} + \text{BOARD (quadrante)}$ <p>Agente transfere os dados do quadrante encontrado em BELIEFSpace para sua visão particular de mundo (PARADIGM).</p> <p>Agente escolhe entre as opções fornecidas pelo BELIEFSpace qual será sua próxima posição em BOARD.</p> <p>Agente muda de posição para posição escolhida em BOARD e incrementa número de passos.</p>

Tabela 2: Pseudocódigo de Mudança Cultural.

Mudança cultural
<p>Caso o número de passos dados em PARADIGM seja menor que em BESTPARADIGM então BESTPARADIGM = PARADIGM</p> <p>Os valores de BELIEFSPACE contidos em BESTPARADIGM são zerados, ou seja, a cultura diminui a quantidade de desprazer deste conjunto incentivando o comportamento gerado por BESTPARADIGM.</p> <p>Geração é incrementada.</p> <p>Inicia-se uma nova geração de agentes.</p>

Após o término do ciclo de vida do primeiro agente, passa a existir uma configuração inicial do BELIEFSPACE, que ainda coincide com a configuração de BESTPARADIGM e PARADIGM, mas não mais coincide com os valores de BOARD, em outras palavras, já existe uma interpretação cultural do “mundo real” independente. A próxima geração de agentes irá tomar decisões baseadas em interpretações culturais e não em valores encontrados no mundo “realmente real” de BOARD. Neste ponto, está implementada a principal camada de abstração entre o agente e o domínio do problema. Note a diferença entre os valores encontrados em BELIEFSPACE e BOARD na figura 8. A atuação de outros agentes irá criar uma tensão entre estes três elementos, gerando o processo evolutivo do algoritmo.

Acompanhando o primeiro movimento da segunda geração (Figura 9), notamos que este agente já encontrará restrições culturais em seu processo decisório. Lembremos que ambos agentes seguem a mesma regra heurística, ou seja, obedecem ao mesmo princípio do prazer; porém, nesta geração, a informação externa ao agente, sua cultura, já foi modificada, sua comunidade não o incentiva a seguir um caminho já explorado, de forma a limitar seu “livre arbítrio” a apenas três possibilidades.

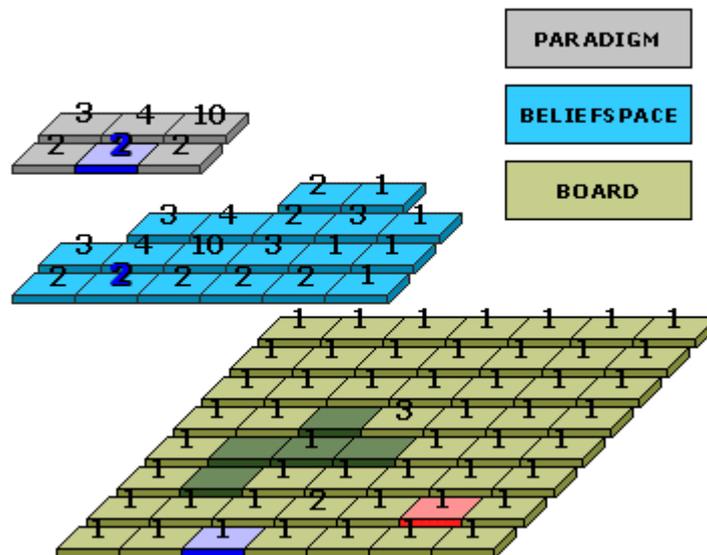


Figura 9: Primeira iteração do agente número 2.

3	4	10
2	A	2

Nesta segunda geração, o agente descartaria as opções com os valores 3, 4 e 10 e escolheria aleatoriamente entre as opções com o valor 2. Note que BELIEFSpace orienta, de forma diferente da primeira geração, o comportamento do agente.

Então, aleatoriamente, o agente escolhe a célula imediatamente à sua direita. Nesta iteração o agente revela as próximas células possíveis, amplia seu PARADIGM e altera os valores contidos em BELIEFSpace (Figura 10).

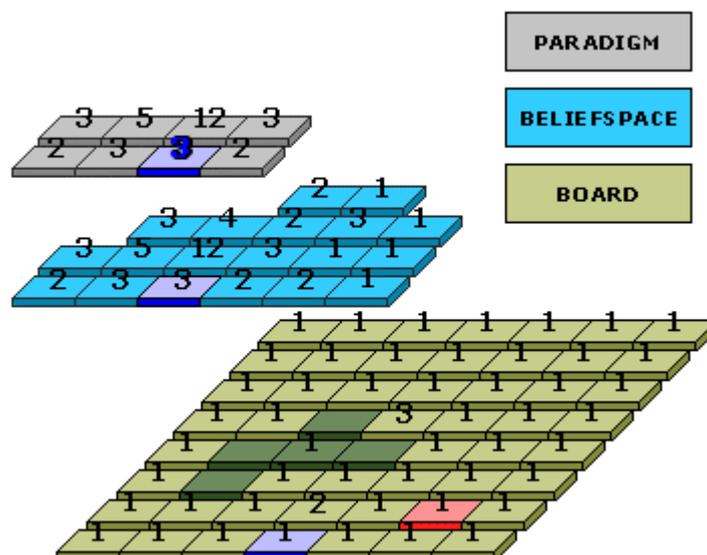


Figura 10: Segunda iteração do agente número 2.

3	5	12	3
2	3	A	2

Note que agora existe uma diferenciação entre PARADIGM, BELIEFS SPACE e BOARD. Note que a área destacada representa o antigo QUADRANTE, agora, com seus valores incrementados pela função cultural.

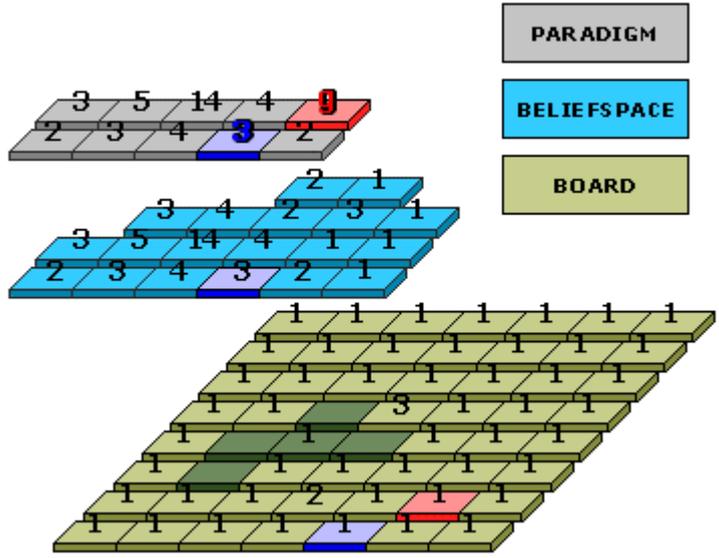


Figura 11: Terceira iteração do agente número 2.

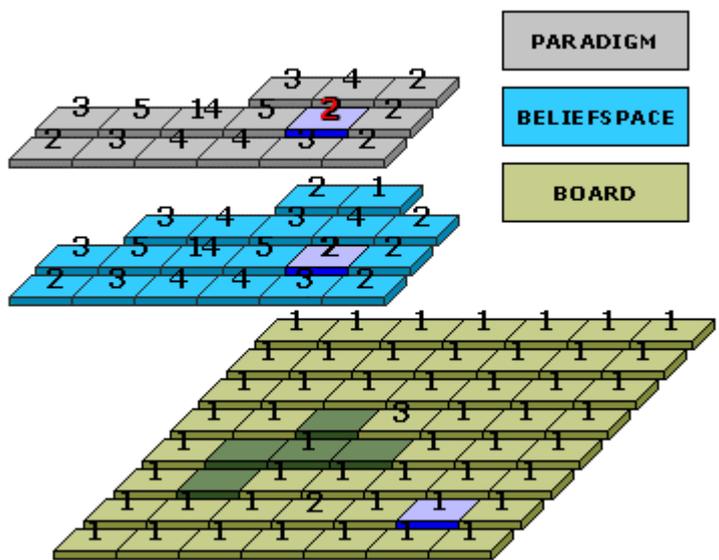


Figura 12: Quarta iteração do agente número 2.

O agente segue através da *Busca Individual* até o encontro do alvo (Figura 12), onde, novamente, o processo de *Mudança Cultural* será realizado, comparando o desempenho dos agentes. Neste caso, o segundo agente realizou seu objetivo de uma forma mais inteligente – com quatro passos, ou seja, com menos gasto de energia e mais prazer. Então sua forma de ver o mundo (BESTPARADIGM) servirá de modelo para outros agentes e a comunidade criará uma nova *ideologia* (NEW BELIEFSPACE), conforme descrito na Figura 13.

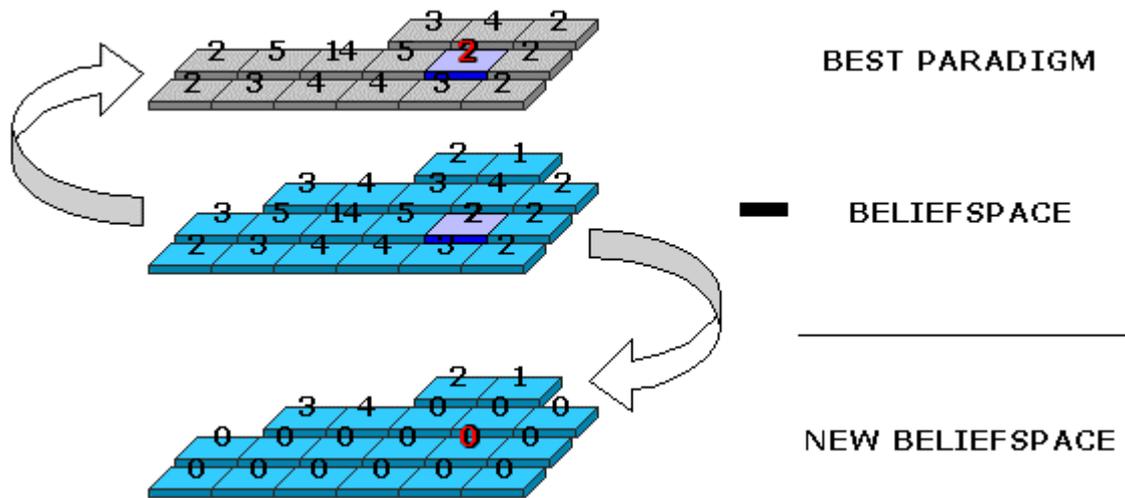


Figura 13: Criação do novo BELIEFSPACE.

Através deste mecanismo de auto-regulação, o sistema continua a procurar novas formas de otimizar os comportamentos dos novos agentes e criar novas configurações culturais. Uma vez terminado o processo, é possível não apenas delimitar bons caminhos, mas encontrar uma norma de procedimento – um gabarito de ações oferecido pela cultura – para qualquer ponto situado na área explorada da árvore.

Em uma eventual terceira geração de agentes, o comportamento deste tenderia a se aproximar ao do último agente, pois os mecanismos de controle cultural exerceriam coerções e incentivos de forma a realizar um comportamento mais próximo do modelo. É interessante ressaltar que, apesar da comunidade premiar uma visão de mundo ao invés de outra, é necessária a diversidade de comportamentos entre os agentes, para que novos parâmetros possam ser estabelecidos. Isto daria margem a uma simulação sobre o desempenho de sociedades conservadoras em relação às sociedades mais liberais, porém deixaremos este tópico para futuras pesquisas.

Finalizada a experiência da comunidade, foi construído o BELIEFSPACE – **um cenário estruturador de comportamentos para agentes em um ambiente não estruturado e complexo.** Este cenário pode ser comparado a um banco de conhecimento gerado pela própria experiência da comunidade, não tendo sido necessária, no entanto, a interferência de um programador humano. Esta característica pode ser empregada em situações nas quais um problema não tem seu domínio bem conhecido por especialistas humanos, em que um sistema artificial pudesse colaborar e orientar os usuários conforme sua experiência adquirida por simulação.

Capítulo 6 - *Cultural Algorithms Simulator* – CAS

6.1 *Resumo*

Neste capítulo, descreveremos o simulador de algoritmos culturais em suas funcionalidades e características. Explicaremos seu modo de operação e mostraremos ao usuário como entender a dinâmica do BELIEFSPACE, que será mostrada em tempo real enquanto a simulação é operada.

Logo em seguida, mostraremos ao usuário como extrair dados de suas experiências e consolidá-los em um modelo de planilha pré-configurado, que disponibilizará um ambiente para visualização gráfica dos resultados, além de proporcionar comparações entre os experimentos.

Estabelecidos estes instrumentos, descreveremos uma bateria de testes e seus resultados no que se refere à capacidade de otimização de processos e adaptação do algoritmo.

Esperamos fornecer, desta forma, um ambiente de aprendizado sobre as características dos sistemas evolutivos, particularmente, sobre os sistemas que utilizam Tecnologia Cultural.

6.2 Descrição do Simulador

Inicialmente, a intenção ao desenvolver o CAS era a de prover um ambiente de testes para os conceitos abordados nas sessões anteriores, para que novas questões pudessem ser elaboradas e o material coletado pudesse ser analisado. Depois da primeira versão, entretanto, analisando-se as primeiras experiências, outras impressões tomaram a nossa atenção. A sensação de estar lidando com uma classe de sistemas diferente das que estávamos acostumados.

Normalmente os sistemas têm algoritmos bem estabelecidos e procedimentos relativamente fixos – pelo menos é isso que se espera deles. Com algoritmos evolutivos, de outra forma, torna-se muito difícil entender os meandros e as particularidades de cada solução apresentada. Mesmo que a resposta do sistema seja precisa, sua solução é um conteúdo particular que não poderá ser repetido novamente.

Esta peculiar propriedade dos sistemas evolutivos – mais precisamente, no caso dos sistemas culturais – parece ter sido pouco explorada ou pouco discutida. A criação de sistemas com individualidade, com uma "alma"¹¹ – se preferirem, no sentido de exclusividade e não reprodutibilidade técnica –, poderia ocupar um lugar mais destacado em futuras pesquisas.

Desta forma, o desenvolvimento do CAS tem se tornado um desejo de compartilhar entendimento no tratamento de uma nova classe de sistemas peculiares, individualizados e capazes de uma criatividade imprevista, característica das coisas vivas.

Imaginemos a seguinte aplicação, citada anteriormente como uma possível aplicação prática de culturas artificiais: uma comunidade de agentes móveis encontra-se em um ambiente desconhecido, representado pelo reticulado bidimensional de 20x20 células (Figura 14.10), e deve encontrar um alvo em posição também desconhecida. Os agentes devem criar uma estratégia ótima para realizar seu objetivo sem que, para isso, deva existir um programador externo que conheça a melhor estratégia. A comunidade deve considerar a possibilidade de bloqueios no percurso e áreas

¹¹ É importante ressaltar que a palavra “alma”, neste contexto, não infere nenhuma possibilidade religiosa ou mística. Utilizamos esta palavra no intuito de aproximar a dinâmica dos sistemas evolutivos com o contexto das obras de arte analógicas. Os sistemas digitais sempre caracterizaram uma reprodutibilidade peculiar, possibilitando, entre outras coisas, sua replicação indiscriminada, ao contrário das obras de arte analógicas que primam por sua raridade. A computação evolutiva parece evocar as propriedades de não reprodutibilidade das artes analógicas.

onde a passagem possa gerar, aos agentes, mais desprazer do que outras, devendo os mesmos desviar ou evitar estas situações. Os sensores destes agentes são extremamente limitados, tendo alcance tão-somente das áreas ao redor de sua posição atual: seu quadrante.

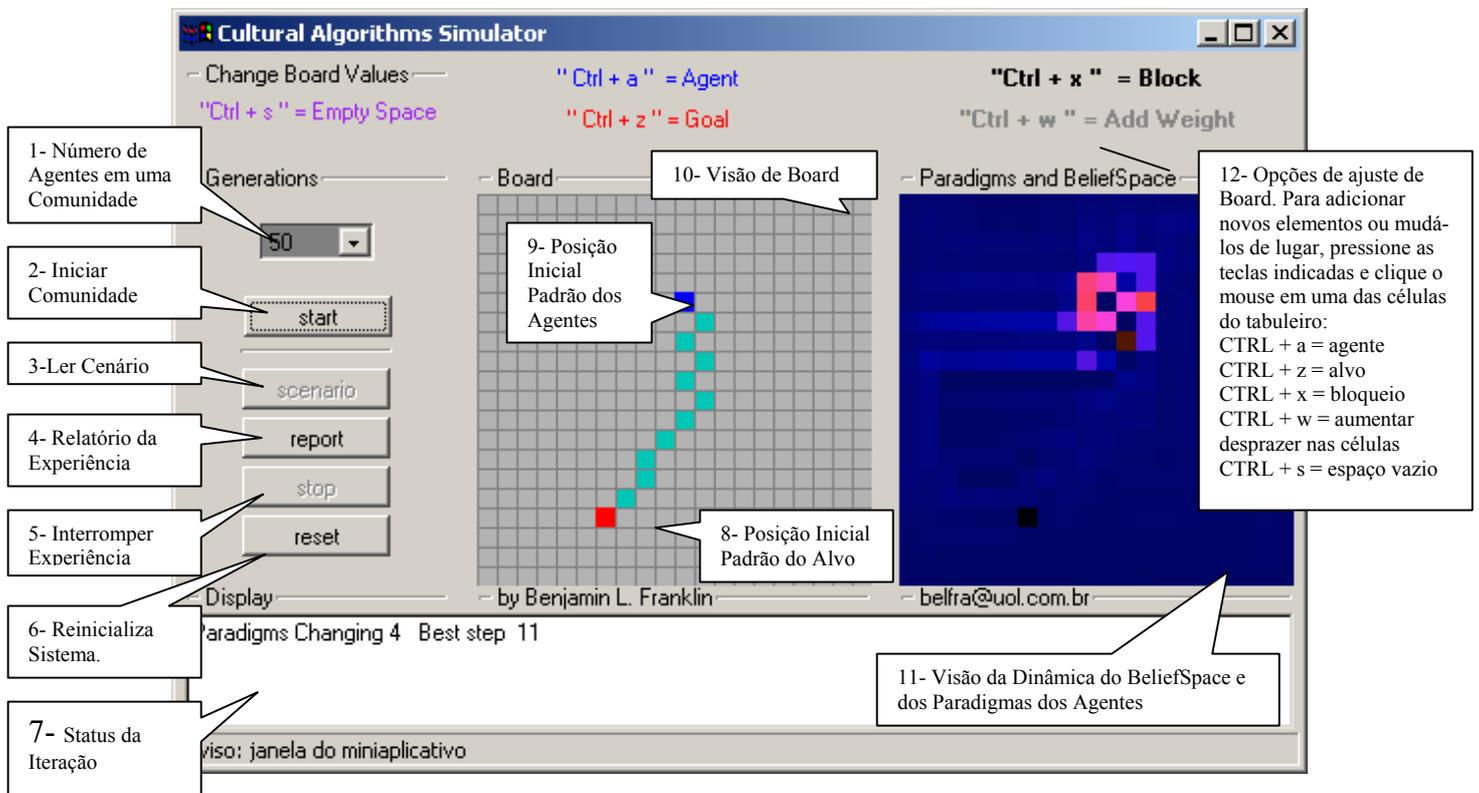


Figura 14: Visão geral do CAS.

Os agentes serão lançados um após o outro e deverão encontrar uma solução otimizada. Após esta solução encontrada, o ambiente poderá ser mudado e uma nova comunidade de agentes será inicializada. Esta nova comunidade deverá se adaptar à nova situação, de forma a “utilizar” o trabalho feito pela comunidade anterior, em uma solução adaptativa. Ao delimitarmos um alvo conhecido (apenas sob o ponto de vista do usuário), poderemos verificar o quão otimizado foram as respostas da comunidade em relação ao problema proposto.

Para facilitar a utilização do CAS, valores padrões serão lidos na sua inicialização. O sistema sugere uma posição inicial dos agentes (Figura 14.9), uma posição inicial para o alvo (Figura 14.8) e uma comunidade com 50 agentes (Figura 14.1).

Todas estas posições podem ser alteradas em Board (Figura 14.10), tanto as posições dos agentes e do alvo, quanto a inserção de pontos de bloqueio ou o incremento de desprazer em uma determinada célula do reticulado. Para isso, basta selecionar a combinação de teclas referentes a cada objeto (Figura 14.12), apontar para um local no tabuleiro e clicar o botão esquerdo do mouse. No estágio inicial, apenas o botão “cenario” (Figura 14.3) e o botão “start” (Figura 14.2) estão habilitados. O botão “cenario” insere no tabuleiro um cenário padrão para a criação de experiências como em ambientes de salas e escritórios. Uma vez este tenha sido acionado, também poderá ser modificado pelas opções de ajuste. O botão “start” inicia o algoritmo.

Para a implementar o CAS escolhemos a programação orientada a objeto - OOP -, por proporcionar um ambiente que favorece a criação de agentes e seus comportamentos. Esta abordagem tem sido usada em diversos ambientes de simulação tais como, por exemplo, o EVO e SWARM¹². Objetos podem representar uma taxonomia das entidades envolvidas no sistema, podem representar comportamentos e mudá-los, conforme a dinâmica do sistema se processa. Escolhemos a plataforma JAVA¹³ (JDK 1.1) para implementação do simulador, pois esta proporciona independência de plataforma e fácil distribuição pela Internet.

¹² Maiores informações podem ser encontradas em <http://www.swarm.org>.

¹³ A descrição completa desta linguagem pode ser encontrada em <http://java.sun.com>.

6.3 Dinâmica do BELIEFSPACE

Após o acionamento do botão “start”, dá-se início ao algoritmo de busca do sistema. Na caixa de texto "display" (Figura 14.7) é possível acompanhar os dados gerados por cada agente: o número de mudanças no paradigma dos agentes ("paradigmchange"); o menor número de passos dados até o momento ("best step"); o número de passos do agente atual ("steps"); o número da geração do agente atual ("gen"); o número máximo de desprazer encontrado em BELIEFSPACE ("max").

É possível também acompanhar a evolução cultural do sistema a partir das configurações geradas em "Paradigms and BeliefSpace" (Figura 14.11). A cada geração concluída de agentes esta área é atualizada, criando uma representação gráfica da dinâmica na mudança cultural, na qual as cores quentes representam as áreas do domínio com alto grau de desprazer (tabus, segundo os parâmetros culturais dos agentes), e, em contrapartida, as cores frias representam áreas inexploradas ou com alto grau de incentivo cultural. Desta forma podemos acompanhar a estruturação cultural dos agentes em relação ao problema dado. Para compreendermos os aspectos mais relevantes desta mudança, selecionaremos três momentos neste processo (Figura 15).

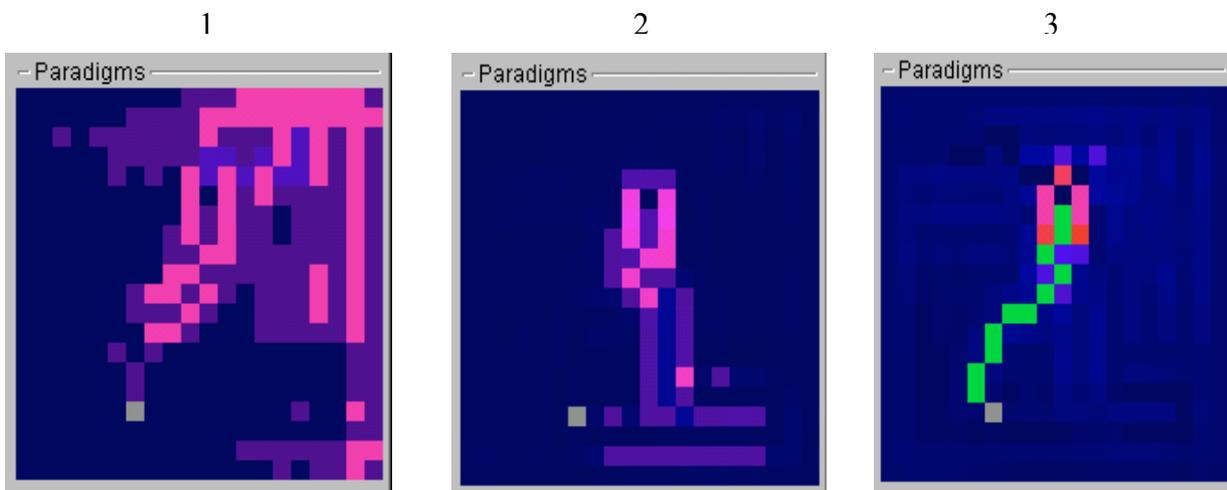


Figura 15: Dinâmica do BELIEFSPACE.

6.3.1 Fase Cardinal

No primeiro momento (Figura 15.1), notamos a presença de cores quentes espalhadas por uma grande área do quadro. Esta é uma configuração cultural bastante comum no início de uma comunidade, pois, ainda pouco experienciado, o domínio encontra-se pouco categorizado. A experiência dos agentes ainda não foi suficiente para gerar um padrão cultural bem estabelecido que possa nortear o comportamento dos agentes; entretanto, esta fase inicial de exploração mostra-se ilustrativa e decisiva, na medida em que revela claramente o processo de saturação da busca em certas áreas do mapa. As zonas de maior desprazer, representadas pelas cores quentes, irão orientar o comportamento dos novos agentes em direções incentivadas culturalmente – as zonas de maior prazer representadas pelas cores frias. Nesta fase, apenas as categorias mais antagônicas ficam evidentes, os tabus drásticos aos quais os agentes deverão obedecer.

6.3.2 Fase Estrutural

Em um segundo momento (Figura 15.2), após as primeiras gerações de agentes haverem convergido para um resultado relativamente estável, ou seja, uma configuração cultural que descarte as áreas do mapa que se apresentem extremamente fora das melhores métricas obtidas, então uma nova fase cultural tem início. Neste momento, notamos uma rápida convergência das áreas de desprazer para locais adjacentes à posição inicial dos agentes. As novas gerações de agentes, agora limitadas pelo melhor número de passos do melhor agente, não percorrem mais toda a extensão do mapa em busca de um alvo. Então seus comportamentos deixam de ser genéricos e passam a ser específicos, de sintonia fina, de ajuste em detalhes na árvore de busca. Normalmente, as "grandes decisões" tendem a ser feitas na primeira fase. Logo após a convergência da primeira fase, os agentes passam a ser menos "livres" e a cultura, por sua vez, mais estruturada. Áreas distantes da solução adequada, neste momento, deixam de ser exploradas e parecem com áreas de grande prazer, no entanto, isto só ocorre devido ao estreitamento do espaço de busca na árvore, delimitado pelo processo cultural.

Caso ocorra uma nova mudança, uma melhoria em relação a uma solução anterior, possivelmente não será tão drástica quanto na primeira fase, retomando o processo.

6.3.3 Fase de Saturação

A terceira fase destacada (Figura 15.3) corresponde a um momento de saturação do sistema, em que a interação entre os agentes e a cultura passa a ser menos "fecunda", onde um excesso de estruturação da cultura não permite aos agentes mudanças significativas em seu comportamento. Nesta fase, o sistema torna-se mais lento na resolução dos problemas e as mudanças paradigmáticas, mais raras. Na atual versão do CAS, não existe um mecanismo de detecção deste ponto de saturação; deixamos ao usuário a iniciativa de interromper o sistema (Figura 14.5), ou deixá-lo em funcionamento até o término de sua comunidade .

6.4 Consolidação dos Dados Obtidos

Finalizada uma operação de busca, é possível consolidar os resultados da experiência. O botão “report” (Figura 14.4) disponibiliza em “display” (Figura 14.7) um resultado resumido da experiência (Tabela 3), contendo os seguintes dados:

- "Community": o número de agentes na comunidade
- "Time": o tempo da experiência em milissegundos
- "Best N Steps": o melhor número de passos da comunidade
- "Best Agent": a geração do melhor agente
- "Paradigm Changes": o número de mudanças em BESTPARADIGM
- Tabela contendo o valor das células contidas em BELIEFSPACE
- Tabela contendo a relação entre as mudanças paradigmáticas entre o número do agente e o número de seus passos.

O usuário poderá então selecionar estas informações e copiá-las para área de transferência (*clipboard*), para, logo em seguida, colar as informações em uma planilha (MS-Excel) gerada a partir do modelo “castemp.xlt”. Neste modelo de planilha, o usuário encontrará uma maneira de consolidar os dados obtidos, de forma a poder gerar comparações entre as experiências. Estas planilhas disponibilizam gráficos sobre a evolução do sistema (Figura 16) e sobre a configuração final do BELIEFSPACE sistema (Figura 17). Exemplos destes arquivos podem ser encontrados em nosso repositório de dados (vide anexo).

O usuário, a partir daí, poderá escolher entre reinicializar o CAS, para uma experiência inteiramente nova, com todos os controles reinicializados, ou poderá mudar as condições de BOARD para uma experiência de adaptação sobre o teste anterior. Um tutorial está disponível em nosso repositório de dados (vide anexo).

Tabela 3: Relatório apresentado pelo CAS após a experiência*.

Community:	50
Time:	13020
Best N Steps:	11
Best Agent:	13
Paradigm Changes:	5

6	8	10	12	12	12	15	17	16	16	16	16	10	9	7	8	8	7	6	3
6	15	15	20	22	21	22	0	26	32	27	32	24	22	17	14	11	9	8	5
6	11	0	1	2	4	16	32	0	35	20	27	16	17	15	15	13	10	8	5
6	12	0	7	8	16	7	37	0	54	32	42	22	23	18	15	12	9	8	5
6	12	1	3	2	16	10	41	0	143	0	126	14	16	12	11	13	9	9	4
7	7	4	3	3	18	14	36	0	178	0	153	51	18	15	7	10	5	8	3
7	13	4	3	2	17	14	45	78	(1)	197	0	67	16	17	7	12	6	9	3
5	10	3	2	1	15	13	52	(1)	86	118	53	81	16	20	10	12	6	8	3
5	6	4	4	3	18	14	70	(1)	61	42	42	53	25	17	11	9	5	7	3
3	4	4	4	8	18	27	64	(1)	50	30	46	32	28	13	12	10	5	6	3
3	4	3	8	12	12	39	(1)	49	42	27	50	23	32	9	10	8	4	6	3
3	4	6	10	9	11	42	(1)	47	26	21	25	18	22	12	10	11	5	6	3
3	7	9	8	12	16	30	(1)	39	21	38	26	21	17	14	10	10	5	7	3
3	10	6	14	9	20	(1)	32	36	20	29	8	14	12	14	10	13	6	8	3
3	12	3	12	8	22	(1)	29	13	31	15	15	6	10	11	8	12	6	9	3
3	11	1	10	6	(1)	18	28	9	23	9	17	10	4	9	7	13	6	9	3
3	10	0	10	8	6	(2)	6	18	15	2	9	2	7	8	6	10	6	8	3
3	10	0	9	3	2	10	11	5	1	7	2	6	5	4	4	6	4	6	3
4	10	0	14	12	11	10	0	9	7	7	5	6	5	5	5	5	5	5	3
3	7	2	0	0	0	0	7	5	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2

Ag N	Steps
1	65
4	38
5	16
6	14
13	11

* As células com o valor (1) indicam a solução encontrada pela comunidade de agentes.

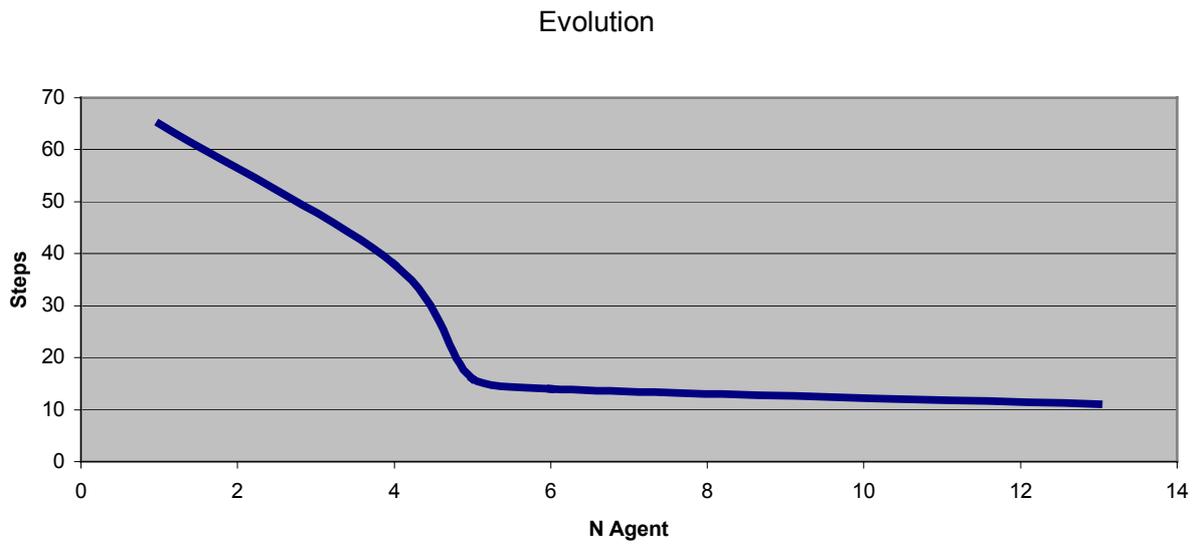


Figura 16: Gráfico da relação entre os agentes de melhor desempenho melhor solução ("Steps").

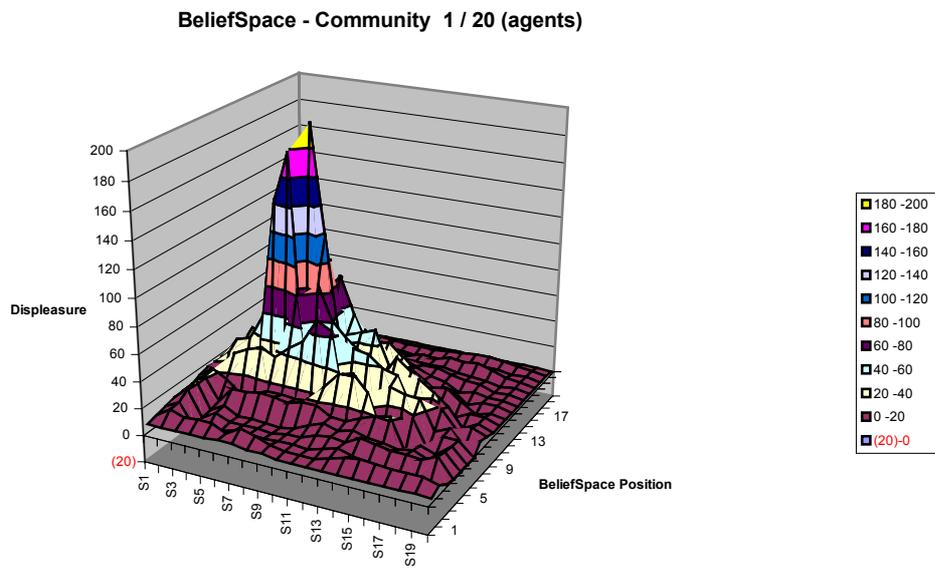


Figura 17: Configuração final do BELIEFSpace visualizada no modelo de planilha.

6.5 Experimentos

Estando o usuário apto a operar o CAS e a consolidar e tratar os dados obtidos, iniciaremos agora uma bateria de testes que servirá como base para conclusões sobre este trabalho. Focalizaremos nossa atenção sobre dois pontos principais das possibilidades da Cultura Artificial, quais sejam: sua capacidade de otimizar processos e de adaptar-se a mudanças sobre processos já realizados. Aplicaremos, para tanto, testes de precisão e adaptação.

6.5.1 Precisão

Sejam 20 comunidades de 50 agentes (Figura 18.a), com as posições iniciais fixas, conforme a figura 14, testadas separadamente. Seus resultados foram comparados com uma experiência similar com comunidades de 500 agentes (Figura 18.b). Desta forma pretendemos testar o possível aumento da precisão e performance do sistema, sabendo-se que a melhor performance do sistema seria 11 passos, ainda que efetuados de modos diversos. O conteúdo de todas as experiências, assim como o modelo para interpretação das experiências (uma planilha de dados) está disponível na Internet em nosso repositório, e seu resumo está descrito na Tabela 4.

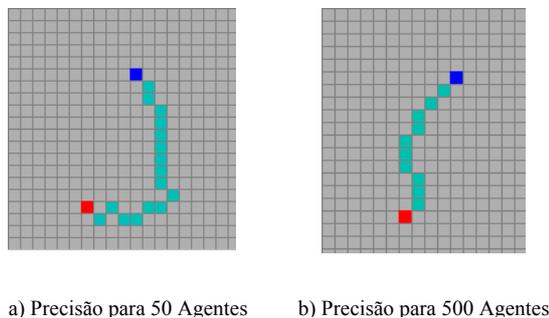


Figura 18: Comparação de resultados obtidos com comunidades de 50 e 500 agentes.

Tabela 4: Resultado dos experimentos de precisão.

50 Agents				
Community	BestSteps	BestAgent	ParadChanges	Time
1	11	13	5	13020
2	15	28	3	16420
3	19	22	3	15050
4	14	33	6	13950
5	11	9	2	12570
6	13	20	8	18400
7	11	43	2	14450
8	13	12	6	14990
9	12	41	5	16860
10	18	40	7	15600
11	17	6	2	16810
12	15	15	5	14170
13	17	31	6	15330
14	19	12	5	15430
15	14	44	3	15870
16	12	7	4	14940
17	15	15	3	13950
18	11	15	1	14940
19	15	14	5	16420
20	14	31	4	14170
Med	14,3	22,55	4,25	15167
Desvpad	2,637782	12,7092	1,860249	1393,629

500 Agents				
Community	BestSteps	BestAgent	ParadChanges	Time
1	18	348	5	148790
2	14	55	8	148850
3	11	22	7	134120
4	13	67	6	148680
5	11	28	4	138250
6	14	112	3	143024
7	14	109	7	147310
8	14	84	3	141710
9	13	18	6	182290
10	11	48	3	138030
11	11	30	2	136050
12	15	261	10	145500
13	11	390	5	135500
14	12	20	7	132590
15	11	71	8	141980
16	16	134	6	208770
17	12	116	4	137040
18	12	309	6	149180
19	15	89	9	147030
20	13	224	8	147910
Med	13,05	126,75	5,85	147630,2
DesvPad	1,959457	115,6755	2,207046	17801,93

6.5.2 Considerações

Uma das características do sistema é a diversidade dos padrões culturais estabelecidos por cada comunidade. Notamos que cada comunidade de agentes produz uma configuração particular para resolução do sistema; mesmo nas ocasiões em que a solução parece ser aparentemente a mesma, as configurações do BELIEFSPACE mostram grande diversidade na forma dos agentes enxergarem o mundo.

Os cenários estruturadores dos comportamentos dos agentes não podem ser reproduzidos, eles pertencem a um instante de tempo e, mesmo se gravarmos a experiência, não serão reproduzidos conforme um padrão. São preciosos enquanto diversidade, pois, ao encontrarem uma solução adequada a um problema computacional, apresentam um conjunto adaptativo único, em uma cadeia de relações complexas que não poderão ser recriadas de forma idêntica. Estas

configurações, sob este ponto de vista, podem ser relacionadas metaforicamente como um “conhecimento” comportamental da comunidade em relação ao domínio do problema, uma tradição que emergiu da experiência e que pertence à própria dinâmica do processo.

Ao repetirmos a experiência com comunidades de 500 agentes, notamos um aumento de precisão do sistema em relação à marca ótima (11 passos), assim como uma diminuição do desvio padrão, conforme descrito na Tabela 4. Notamos também o aumento da média do número mudanças de paradigmas, o que revela que, mesmo as gerações mais "desastradas" do sistema – aquelas que começaram a buscar em lados pouco interessantes da árvore –, puderam otimizar seus processos e se aproximar de um resultado mais interessante. A Figura 19 resume os resultados deste experimento.

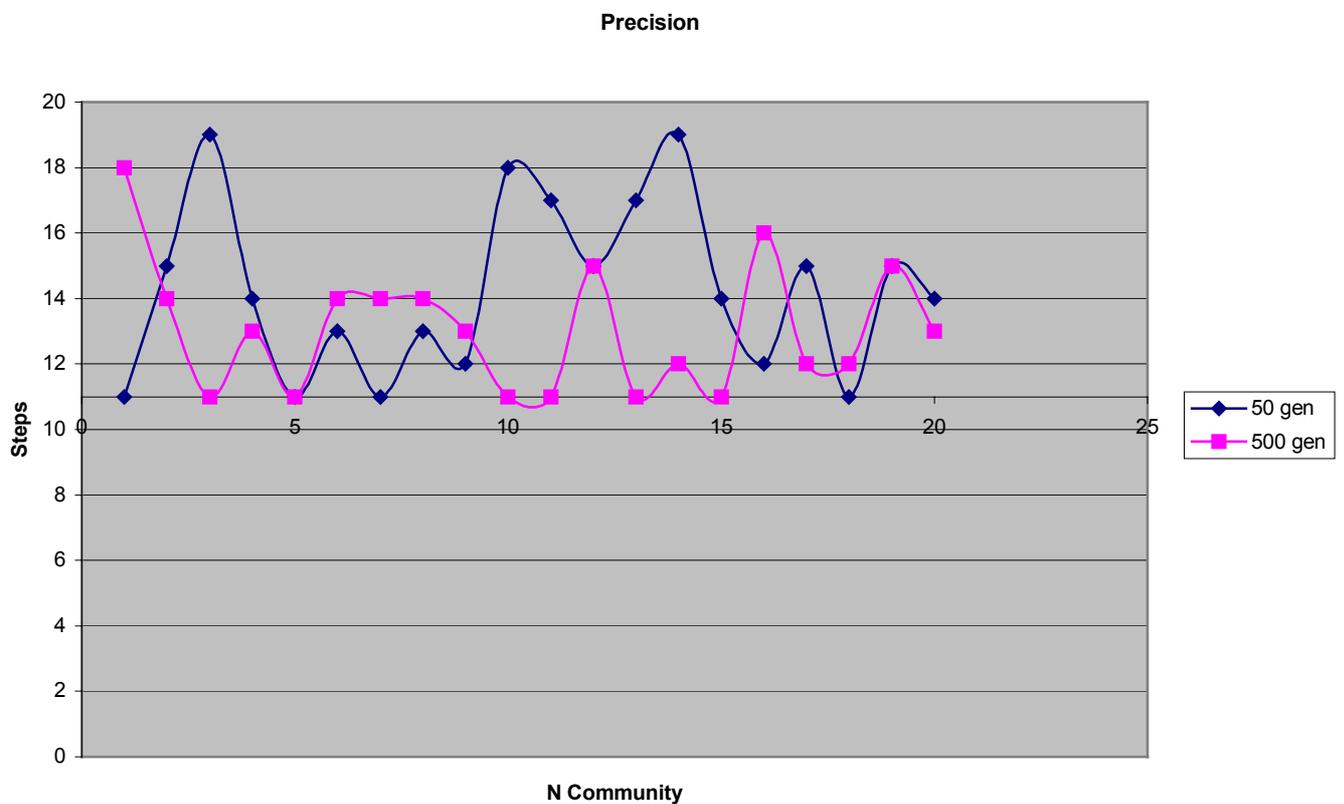


Figura 19: Comparação entre o desempenho das comunidades de 50 e de 500 agentes.

6.5.3 Adaptação

A segunda experiência consiste em testar a adaptabilidade do sistema, ou seja, dada uma solução de uma comunidade de 50 agentes (Figura 20.a), nas mesmas condições da experiência 1, impediremos esta solução com 3 bloqueios adjacentes ao alvo (uma pequena interferência no sistema), conforme mostrado na Figura 20.b, e iniciaremos uma nova comunidade de 500 agentes. A nova comunidade encontrará as configurações culturais do BELIEFSPACE anterior e deverá, não obstante, responder a um novo tipo de problema.

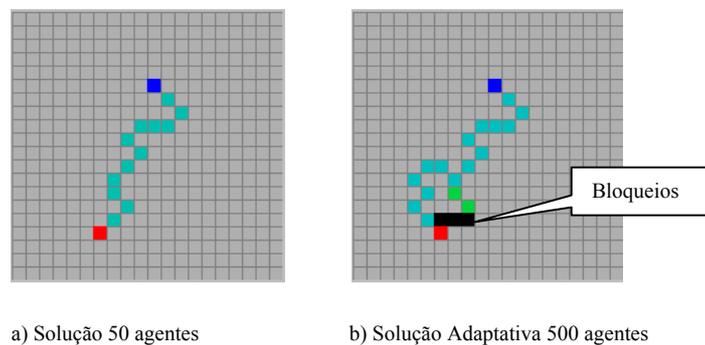


Figura 20: Ilustração da experiência de adaptação.

Uma das dificuldades de se atribuir uma métrica para esta experiência é o fato de cada solução ser diferente uma da outra. Desta forma, preferimos criar uma variável (Inter) que representa a porcentagem de células usadas na geração de 500 agentes que pertenceram à solução anterior. Esta variável pode indicar uma estratégia global comum.

De um modo geral, esta experiência pôde evidenciar que a comunidade de 500 agentes começou a utilizar soluções oferecidas pela comunidade de 50 – quando as soluções da comunidade de 500 agentes fossem próximas de serem ótimas (11 passos) e fossem melhores que a solução dada pela comunidade de 50 agentes (Figura 21). É importante ressaltar que a mesma solução ótima pode ser dada de várias formas, mas que o sistema, na maior parte das vezes, utilizou partes da solução anterior para resolver o novo problema (representado por um aumento da variável Inter), ao invés de propor uma solução inteiramente nova. Este procedimento evidencia a conservação de uma estratégia de ação, em nível global, como gabaritos de comportamento para regular a ação dos

agentes. Este é um resultado que pode ser comparado metaforicamente com a visão comum de cultura, conforme discussão apresentada nos capítulos anteriores deste trabalho.

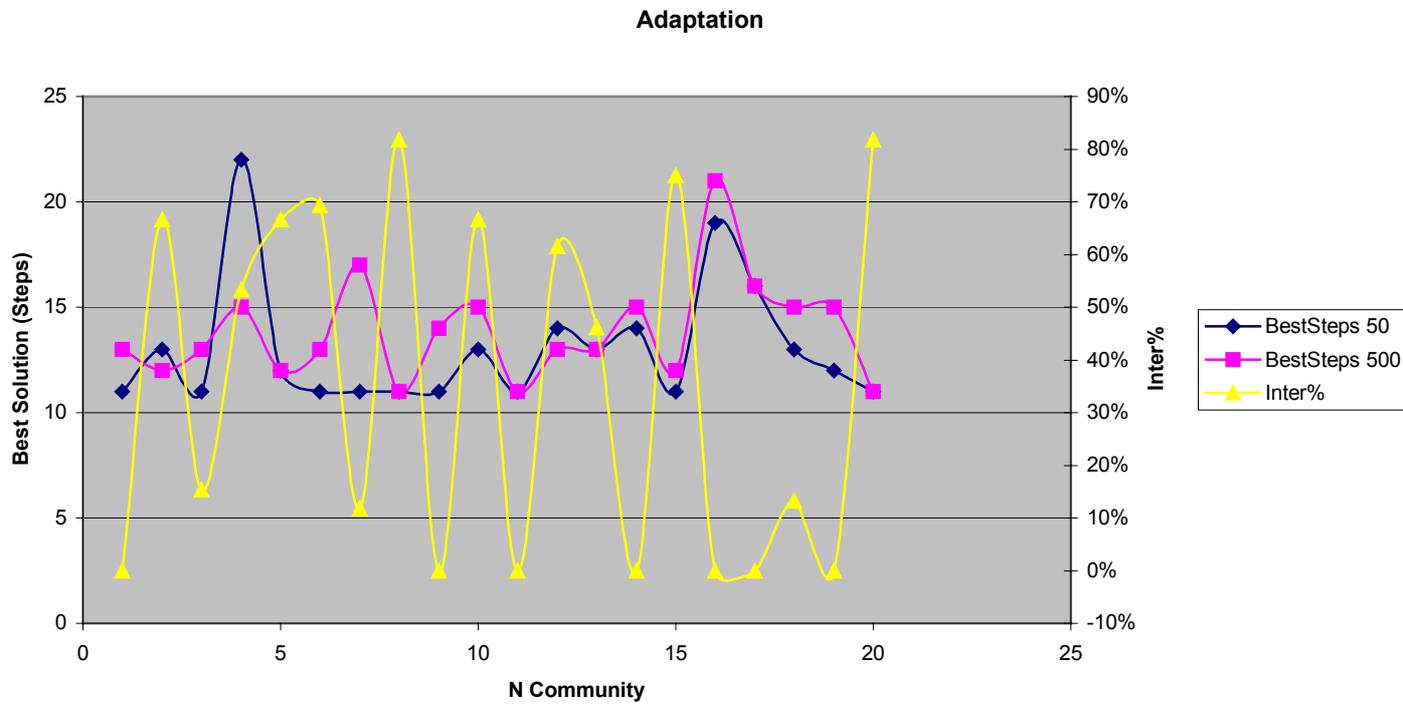


Figura 21: Adaptação das comunidades de 500 agentes sobre as soluções bloqueadas encontradas pelas comunidades de 50 agentes.

Capítulo 7 - Conclusão

Culturas Artificiais oferecem uma alternativa na resolução de problemas de busca em árvore em ambientes não estruturados, comuns no mundo real. Este tipo de abordagem também pode promover a compreensão dos fenômenos culturais, enquanto uma tecnologia de resolução de problemas complexos utilizados pela espécie humana.

Este paradigma promove também um direcionamento no ramo da Inteligência Artificial, ao entender a inteligência como um fenômeno coletivo e relacional, e não individual. Remete a construções coletivas do conhecimento. Promove um olhar diferenciado na construção de sistemas de múltiplos agentes e Sociedades Artificiais.

Esta tecnologia nos remete, não obstante, a refletir sobre a possibilidade de geração de um conhecimento empírico próprio advindo de uma comunidade de agentes, sob um determinado domínio. Em que medida este “conhecimento” pode ser cognoscível entre as comunidades de agentes e os pesquisadores ainda é tema para futuras pesquisas. Talvez a resposta seja semelhante à difícil tarefa de compreensão e comunicação entre culturas diferentes, tarefa esta que tem ocupado quase todo o tempo dos antropólogos.

A especificidade de cada Cultura Artificial parece-nos, ainda, um grande contraponto em relação aos sistemas digitais tradicionais, que são caracterizados por uma grande reprodutibilidade técnica e, por isso, não carregam consigo o conceito de originalidade ou cópia. Ao contrário, a tecnologia cultural implica em uma singular individualidade de cada sistema, que não é reprodutível digitalmente em sua aplicação e, por isso, segue com propriedades completamente diferentes dos atuais padrões da indústria.

A criação de uma Engenharia de Software capaz de encontrar a maneira industrial de lidar com este tipo de sistemas parece, pelo momento, estar ainda distante no horizonte, da mesma forma que ainda nos encontramos pobres, em métodos, para a significação das artes.

Mesmo assim, não iremos nos furtar a uma sugestão, para pesquisas em um futuro próximo, de uma possível aplicação prática neste ramo. Uma forma de aplicar - e estender - concretamente os conceitos aqui abordados é sua utilização em mineração de bases de dados, onde

uma sociedade de agentes artificiais poderia propagar-se pela estrutura de dados, fazendo emergir uma Cultura Artificial. Esta Cultura Artificial articular-se-ia como conhecimento (regras e funções) sobre as bases de dados. Para modelarmos minimamente a situação, imaginemos o potencial conhecimento contido em uma base de dados como sendo BOARD, o mundo “realmente real”, à qual os agentes não têm acesso. Nesta situação, nem os agentes, nem nós, os pesquisadores.

Os agentes começariam a vasculhar paralelamente a base de dados, onde cada nó de sua árvore de busca seria uma operação simbólica entre os dados, campos de uma tabela, valores dos registros e operadores matemáticos. Ao explorar a árvores, os agentes criariam, aleatoriamente, expressões e regras sobre a base de dados. Criada uma expressão, o agente poderia testá-la na base de dados, verificando sua pertinência. Esta pertinência seria o custo de experiência do respectivo nó da árvore, e, desta forma, com a atuação de vários agentes, a sociedade artificial poderia selecionar os melhores paradigmas – as melhores regras – e verificar sua consistência na base de dados.

Caso encontremos sucesso em uma aplicação deste tipo, encontraremos também uma excelente ferramenta de mineração de banco de dados, que poderia tornar-se um produto capaz de auxiliar os profissionais de Tecnologia da Informação a extrair conhecimento de bases de dados corporativas.

Evidentemente, sendo apenas uma sugestão para uma pesquisa futura, não nos cabe aqui entrar em maiores detalhes. Gostaríamos, simplesmente, de tocar nas possibilidades deste tipo de tecnologia, além de aguçar nossa sensibilidade e o nosso desejo, sobre tudo aquilo que pode ser encontrado no devir.

Anexos

O material gerado pela realização desta dissertação está contido em formato digital e pode ser encontrado no seguinte endereço eletrônico: <http://www.geocities.com/belfra2000>

Este material consiste (até a defesa desta dissertação) em:

A própria dissertação em formato PDF.

Dois artigos publicados durante a elaboração da dissertação (em formato PDF):

Franklin, B.; Bergerman, M. Algoritmos Culturais: Conceituação e Aplicação em Robótica. IV Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente, São Paulo, SP, Brasil, Setembro 1999 (em Português).

Franklin, B.; Bergerman, M. Cultural Algorithms: Concepts and Experiments. Congress on Evolutionary Computation, San Diego, CA, USA, July 2000 (em Inglês).

Todas os testes da dissertação,

50block500.xls
50block500aux.xls
conclusion50free.xls
teste20com500free.xls
teste20com50free.xls

O modelo de consolidação de dados,

castemp.xlt

Um tutorial multimídia (compatível com windows 9.x, ME, NT, 2000, XP),

castutorial.exe

As fontes do Simulador de Algoritmos Culturais CAS, assim como seus binários (escritos e compilados em Java 1.1).

Todas as figuras utilizadas na dissertação.

Endereços para contato e informações adicionais.

Referências

- BAGGIO, M. O Psiquismo Humano. São Paulo: Editora Escuta (Plethos), 1995.
- DAUTENHAHN, K. Reverse Engineering of Societies - a biological perspective, in the Proceedings of the AISB'00 Symposium on Starting from Society - the Application of Social Analogies to Computational Systems, Birmingham, UK: AISB, 15-20. (ISBN 1 902956 13 8), 2000.
- DESMOND, A. e MOORE, J. Darwin – a vida de um evolucionista atormentado. São Paulo: Geração Editorial, 1995.
- EDMONDS, B. Capturing Social Embeddedness: a constructivist approach. *Adaptive Behavior*, 7:323-348, 1999.
- EPSTEIN, J. M. e AXTELL, R. Growing artificial societies: social science from the bottom up. MIT Press, Cambridge, MA, 1996.
- EPSTEIN, I. Cibernética e comunicação. São Paulo: EDUSP, 1973.
- FORESTER, T e MORRISON, P. A Insegurança do Computador e a Vulnerabilidade Social, Tradução de Revista FUTURES, jun-90, pp. 462-474, Revista de Administração de Empresas, São Paulo, 1990.
- FREUD, S. O mal-estar na civilização. Rio de Janeiro: Editora Imago, 1997.
- GEERTZ, C. A interpretação das culturas. Rio de Janeiro: Editora Guanabara, 1989.
- GESSLER, N. Artificial Culture – Experiments in Synthetic Anthropology. 1999, disponível em <http://www.sscnet.ucla.edu/anthro/gessler/index.html> [24.10.01]
- _____. Ethnography of Artificial Culture: Specifications, Prospects, and Constraints. 1995. Disponível em <http://www.sscnet.ucla.edu/anthro/gessler/97compma.htm> [24.10.01]
- GILBERT, N. Computer simulation of social process. Londres: UCL Press, 1995.
- _____. Simulation: an emergent perspective. Paris: LaFORIA, 1995.
- GOLDBERG, D.E. Genetic Algorithms. USA: Addison-Wesley Longman Inc., 1998.
- LÉVY, P. O que é o virtual. São Paulo: Editora 34, 1996.
- _____. A inteligência coletiva. São Paulo: Editora 34, 1998.

- _____. A conexão planetária. São Paulo: Edições Loyola, 2001.
- MINSKY, M. A Sociedade da Mente. Rio de Janeiro: Francisco Alves, 1989.
- National Research Council. The Baldwin Effect: A Bibliography. 2001, Disponível em <http://extractor.iit.nrc.ca/baldwin> [24.10.01]
- PENROSE, R. A Mente Nova do Rei, São Paulo: Editora Campus, 1991.
- PESSIS-PASTERNAK, G. Do Caos à Inteligência Artificial. São Paulo: Editora UNESP, 1992.
- PINKER, S. Como a mente funciona. São Paulo: Companhia das Letras, 1999.
- REYNOLDS, R.G. An introduction to cultural algorithms. Cultural Algorithms Repository, 1998. Disponível em <http://www.cs.wayne.edu/~jcc/car.html>. [24.10.01]
- REYNOLDS, R.G., ZANNONI, E e POSNER, R.M. Learning to understand software using cultural algorithms. Cultural Algorithms Repository, 1998. Disponível em <http://www.cs.wayne.edu/~jcc/car.html>. [24.10.01]
- RUSSELL, S. e NORVING, P. Artificial intelligence: a modern approach. New Jersey: Prentice-Hall, 1995.
- WIENER, N. Cibernética e sociedade. São Paulo: Editora Cultrix, 1973.
- WILSON, E. Consiliência. São Paulo: Ed. Campus, 1999.
- ZIMERMAN, D. Fundamentos Psicanalíticos: teoria, técnica e clínica – uma abordagem didática. Porto Alegre: Artmed, 1999.