

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**UMA CONTRIBUIÇÃO AO PROCESSO DE AQUISIÇÃO E SISTEMATIZAÇÃO DO
CONHECIMENTO MULTIESPECIALISTA E SUA MODELAGEM BASEADA NA
DINÂMICA DE SISTEMAS**

ANTONIO CARLOS ZAMBON

Orientador: Prof.Dr. NÉOCLES ALVES PEREIRA

Co-orientador: Prof.Dr. PAULO ROGÉRIO POLITANO

São Carlos – SP
Janeiro de 2006

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**UMA CONTRIBUIÇÃO AO PROCESSO DE AQUISIÇÃO E SISTEMATIZAÇÃO DO
CONHECIMENTO MULTIESPECIALISTA E SUA MODELAGEM BASEADA NA
DINÂMICA DE SISTEMAS**

ANTONIO CARLOS ZAMBON

Orientador: Prof.Dr. NÉOCLES ALVES PEREIRA

Co-orientador: Prof.Dr. PAULO ROGÉRIO POLITANO

Tese apresentada ao Departamento de Engenharia de Produção da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para obtenção do título Doutor em Engenharia de Produção.

**São Carlos - SP
Janeiro de 2006**

**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da
Biblioteca Comunitária/UFSCar**

Z24cp

Zambon, Antonio Carlos.

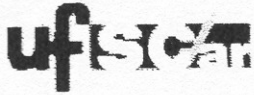
Uma contribuição ao processo de aquisição e sistematização do conhecimento multiespecialista e sua modelagem baseada na dinâmica de sistemas / Antonio Carlos Zambon. -- São Carlos : UFSCar, 2006.

181 p.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2006.

1. Processo decisório. 2. Dinâmica de sistemas. 3. Aquisição de conhecimento. 4. Gestão do conhecimento. I. Título.


CDD: 658.5036 (20^a)

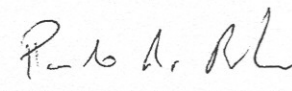


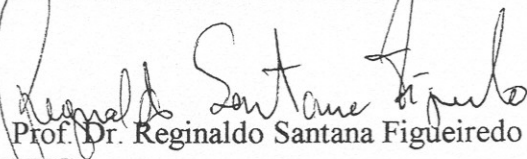
FOLHA DE APROVAÇÃO


Aluno(a): Antonio Carlos Zambon

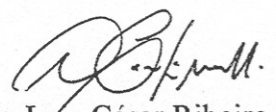
TESE DE DOUTORADO DEFENDIDA E APROVADA EM 25/01/2006 PELA
COMISSÃO JULGADORA:

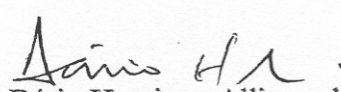

Prof. Dr. Néocles Alves Pereira
Orientador(a) PPGEP/UFSCar

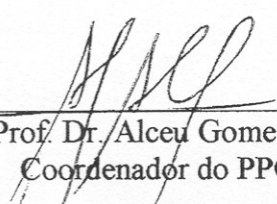

Prof. Dr. Paulo Rogério Politano
Co-orientador-DC/PPGEP/UFSCar


Prof. Dr. Reginaldo Santana Figueiredo
UFG


Prof. Dr. Renato Vairo Belhot
EESC/USP


Prof. Dr. Luiz César Ribeiro Carpinetti
EESC/USP


Prof. Dr. Dário Henrique Alliprandini
PPGEP/UFSCar


Prof. Dr. Alceu Gomes Alves Filho
Coordenador do PPGEP/UFSCar

À Deus
À Nathalia
Aos meus pais

AGRADECIMENTOS

O caminho trilhado neste aprendizado foi longo e por vezes duvidoso. Entretanto, em cada passo houve uma voz com palavras de conforto, uma mão a indicar o caminho, uma sombra para refazer o cansaço.

Muitas ações de pessoas que compartilharam de meu trabalho durante esses anos, foram, de fato, cruciais para que ele ganhasse força e saísse dos planos para a realidade:

Meus orientadores, Professores Néocles Alves Pereira e Paulo Rogério Politano, exigindo-me perseverança; amigos, como Regiane Barbi, Professor Cerino Avellar, Professor Pedro Oprime, que me deram a palavra certa no momento certo; minha filha Nathalia, com sua sabedoria e sua capacidade de estímulo; meus pais, pela presença e doação com que apaziguaram minhas incertezas.

A Deus, fonte de toda inspiração, aos alunos e colegas, todos leais e sinceros, que compartilharam comigo essa jornada, todos os meus agradecimentos.

RESUMO

O presente trabalho aborda a problemática das modernas organizações que, vistas como sistemas complexos demandam ações multiespecialistas para produção de soluções em um ambiente de conhecimento difuso e multidisciplinar.

Nesse contexto, propõe-se a representação do conhecimento especialista, necessário para a composição dos modelos de decisão, através da utilização de instrumentos fundamentados em análise multicritério e regras de extração e representação da estrutura mental dos agentes especialistas, baseado em semiótica.

Organiza-se, através desses conceitos, um processo de coordenação do conhecimento multiespecialista, com o mapeamento de modelos mentais e composição da representação dinâmica do problema no contexto complexo.

Pelo processo proposto, oferece-se uma contribuição à especificação clara e compreensível de modelos mentais, no âmbito de Dinâmica de Sistemas, visando facilitar seu estudo e utilização aplicada para melhoria contínua dos processos gerenciais das organizações e apoio à decisão em ambiente complexo.

A utilização dos modelos mentais obtidos pelo processo proposto no desenvolvimento de simulações, confere às mesmas, a clareza e a organização necessárias à sua compreensão e aceitação por parte dos agentes especialistas.

ABSTRACT

The present work approaches the problem of modern organizations, which are seen like complex systems that demand multi-specialist actions to produce solutions in an environment of diffuse and disciplinary knowledge.

This context proposes the representation of specialist knowledge necessary to a composition of standard decisions through fundamental instruments in multi-criterion analysis and extraction rules and representation of mental structure from specialized agents, based on semiotic.

Organize it from these concepts, the coordination of a process, from multi-specialist knowledge, with the mapping mental standards and composition of dynamic representation from problem in the complex context.

By the proposed process, offers an accuracy and understandable specification of mental standards, in the scope of System Dynamics, aiming to facilitate his study and appliance for incessant improvement of managerial processes from organizations and support for decision in complex environment.

The utilization of mental standards obtained by proposed process in the development simulations, checks out both, accuracy and organization, necessary to your understanding and approval from part of specialist agents.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|-----|
| FIGURA 1.1 – Plano de variáveis da pesquisa | 05 |
| FIGURA 1.2 – Gastos em investim. como parcela do PIB norte-americano, 1970-2000 | 14 |
| FIGURA 2.1 – Diagrama representativo de estrutura profunda | 33 |
| FIGURA 2.2 – Objeto dinâmico, objeto imediato e mediação | 37 |
| FIGURA 2.3 – Eixo diacrônico | 40 |
| FIGURA 2.8 – Eixo sincrônico | 41 |
| FIGURA 3.1 – Relação de causa-efeito das variáveis sistemas complexos organiz. | 60 |
| FIGURA 3.2 – Estrutura de loops positivo e negativo | 63 |
| FIGURA 3.3 – Mudança estratégica, modelos mentais e debate | 69 |
| FIGURA 3.4 – Mapeamento do conhecimento, estrutura cognitiva e micromundos | 72 |
| FIGURA 3.5 – Políticas de apoio à decisão | 74 |
| FIGURA 3.6 – Diagrama de <i>Dinâmica de Sistemas</i> - representação de nível de estoque | 76 |
| FIGURA 3.7 – Regras de modelagem de <i>Dinâmica de Sistemas</i> | 77 |
| FIGURA 4.1 – Eixos sincrônico/diacrônico e evolução da incerteza | 89 |
| FIGURA 4.2 – Fluxograma Situacional do Modelo Particionado – FSP | 91 |
| FIGURA 4.3 – Atribuição de pesos do FSP | 93 |
| FIGURA 4.4 – Matriz FSP com critérios, pesos e vínculos de causa-efeito agentes <i>A</i> e <i>B</i> | 95 |
| FIGURA 4.5 – Matriz FSC com critérios, pesos e vínculos de causa-efeito agentes <i>A</i> e <i>B</i> | 96 |
| FIGURA 4.6 – Comparação de autovetores e limites | 104 |
| FIGURA 4.7 – Diagrama de causa-efeito – loop de balanceamento | 106 |
| FIGURA 4.8 – Diagrama de causa-efeito ampliado | 107 |
| FIGURA 4.9 – Modelo conceitual de DS em software de simulação | 110 |
| FIGURA 4.10: Exemplo de interface em modelos de DS | 114 |
| FIGURA 4.11 – Teste de robustez em modelos simulados | 116 |
| FIGURA 4.12 – Processo de coordenação do conhecimento multiespecialista – PCCM | 120 |
| FIGURA 5.1 – Fluxograma situacional compartilhado (FSC) | 128 |
| FIGURA 5.2 – Avaliação de limites do modelo | 130 |
| FIGURA 5.3 – Diagrama de causa-efeito do modelo | 132 |
| FIGURA 5.4 – Parte da estrutura do modelo simulado | 135 |
| FIGURA 5.5 – Interface do sistema | 136 |
| FIGURA 5.6 – Parte do teste de robustez do modelo | 137 |
| FIGURA 5.7 – Resultado do teste de robustez da variável <i>Matéria Orgânica</i> | 138 |
| FIGURA 6.1 – Processo de modelagem utilizando DS | 153 |
| FIGURA 6.2 – Conhecimento especialista no modelo MCSD | 158 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|-----|
| TABELA 2.1 – Escalas de Julgamento | 54 |
| TABELA 4. 1 – Matriz de pesos e autovetores | 100 |
| TABELA 4.2 – Comparação de limites | 103 |
| TABELA 4.3 – Volumes de lixo produzido em 10 anos | 117 |
| TABELA 4.4 – Volumes de lixo produzido em 10 anos | 117 |
| TABELA 5.1 – Dados de qualidade 2003 – Ribeirão Pires | 140 |
| TABELA 5.2 – IQA - análises de 2003 – Ribeirão Pires | 142 |
| TABELA 5.3 – Índices de qualidade da água reais e simulados | 143 |
| TABELA 5.4 – Cálculo de ANOVA para as séries simulada e real | 143 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|--|-----|
| QUADRO 3.1 –ANOVA | 82 |
| QUADRO 3.2 – Representação de ANOVA | 83 |
| QUADRO 4.1 – Caracterização das variáveis do modelo de simulação | 109 |
| QUADRO 4.2 – Processo de coordenação do conhecimento especialista – PCCM | 118 |
| QUADRO 5.1 – Folha índice de variáveis | 125 |
| QUADRO 5.2 – Folha índice de variáveis – análise de variáveis | 127 |
| QUADRO 5.3 – Análise de pares e avaliação de autovetores das variáveis do modelo | 129 |
| QUADRO 5.4 – Folha Índice de Variáveis – FIV – Concluída | 131 |
| QUADRO 5.5 – Pesos atribuídos aos parâmetros de avaliação do IQA | 141 |
| QUADRO 6.1 – Comparação da estrutura lógica dos modelos MCSD e PCCM | 156 |
| QUADRO 6.2: Comparação entre a interface do modelo MCSD e PCCM | 160 |
| QUADRO 6.3: Testes de validação da hipótese no modelo MCSD | 162 |

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

| | | |
|-------|---|---|
| AHP | – | Analytic hierarchy process |
| ANOVA | – | Analysis of variance |
| FIV | – | Folha índice de variáveis |
| FSC | – | Fluxo situacional do modelo compartilhado |
| FSP | – | Fluxograma situacional do modelo particionado |
| HD | – | Hipótese dinâmica |
| IQA | – | Índice de qualidade da água |
| MCS D | – | Modelo convencional de simulação dinâmica |
| PCCM | – | Processo de coordenação do conhecimento multiespecialista |
| PIB | – | Produto interno bruto |

SUMÁRIO

| | | |
|-----|---|-----|
| 1 | INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1 | O Construto | 3 |
| 1.2 | Método | 6 |
| 1.3 | Motivação para a pesquisa | 11 |
| 1.4 | Organização do trabalho | 22 |
| 2 | CONHECIMENTO ESPECIALISTA E COMPLEXIDADE DAS ORGANIZAÇÕES | 26 |
| 2.1 | As modernas organizações industriais e sua complexidade | 26 |
| 2.2 | Conhecimento especialista e interpretação da realidade | 28 |
| 2.3 | Considerações sobre o capítulo | 56 |
| 3 | DINÂMICA DE SISTEMAS | 57 |
| 3.1 | Raciocínio sistêmico e retroalimentação da informação | 57 |
| 3.2 | Testes de validação | 78 |
| 3.3 | Considerações sobre o capítulo | 85 |
| 4 | PROCESSO DE COORDENAÇÃO DO CONHECIMENTO MULTI-ESPECIALISTA | 87 |
| 4.1 | Estabelecimento do objeto de análise | 87 |
| 4.2 | Estruturação dos modelos mentais particionados | 88 |
| 4.3 | Estruturação do modelo mental compartilhado | 97 |
| 4.4 | Estruturação do modelo simulado | 108 |
| 4.5 | Considerações sobre o capítulo | 118 |
| 5 | APLICAÇÃO DO PROCESSO PROPOSTO NA SIMULAÇÃO DE UM CORPO D'ÁGUA | 122 |
| 5.1 | Estabelecimento do objeto de análise | 123 |
| 5.2 | Estruturação dos modelos mentais particionados | 124 |
| 5.3 | Estruturação do modelo mental compartilhado | 126 |
| 5.4 | Estruturação do modelo simulado | 133 |
| 5.5 | Considerações sobre o capítulo | 144 |
| 6 | ANÁLISE DO PROCESSO DE COORDENAÇÃO DO CONHECIMENTO ESPECIALISTA | 145 |
| 6.1 | Visões particulares em um modelo compartilhado | 146 |
| 6.2 | O conhecimento multiespecialista e Dinâmica de Sistemas | 149 |
| 6.3 | Comparação entre os processos de modelagem | 152 |
| 6.4 | Considerações sobre o capítulo | 162 |
| 7 | CONSIDERAÇÕES FINAIS | 164 |
| 7.1 | Preocupações Iniciais | 165 |
| 7.2 | Avanços visualizados pela aplicação do método | 167 |
| 7.3 | Limitações do método | 170 |
| 7.4 | Conclusões sobre o experimento realizado | 172 |
| 7.5 | Contribuição aos processos de ensino e aprendizagem | 173 |
| 7.6 | Contribuições à Engenharia de Produção | 175 |
| 7.7 | Desdobramentos desta pesquisa em trabalhos futuros | 176 |

1 INTRODUÇÃO

A nova ótica administrativa prevê que as organizações devem integrar esforços individuais, na busca da capacitação para o enfrentamento de processos de mudança, ocasionados pelo macroambiente onde se encontram.

Segundo CAMPBELL & CAIRNS (1994), a predisposição de uma organização em adquirir, melhorar e transferir conhecimento, facilitando e utilizando elementos de aprendizagem de seus colaboradores, tornando dinâmicos os comportamentos e práticas individuais, de forma que absorvam o aprendizado constitui-se em um fator estratégico para que a empresa se mantenha competitiva.

SENGE (1998) afirma que as organizações possuem problemas de aprendizagem, e esses problemas são provenientes da forma como são projetadas e gerenciadas. Considerando que as pessoas que fazem parte do processo de gestão dessas organizações enfrentam problemas de interpretação sistêmica, resultante da complexidade das atividades internas, assim como das respostas demandadas pelo ambiente externo, é natural que esses problemas sejam repassados aos métodos de administração, atingindo as organizações.

Nesse contexto, grandes organizações que, a partir do emprego de recursos tecnológicos puderam relegar às máquinas e aos computadores as tarefas repetitivas e passivas de automatização, tornaram possível aos seus colaboradores tarefas mais nobres, como criação, planejamento e, particularmente inovação. Dessa forma, a educação que antes era tida como uma das etapas do desenvolvimento do indivíduo, passa a ter conotação permanente pois, com o

constante processo de inovação tecnológica, a obsolescência do conhecimento é uma realidade que deve ser combatida com a inserção de processos educacionais.

Se por um lado a ampla sistematização de processos tornou plenamente conhecidas e controladas as operações produtivas, estabelece-se a árdua tarefa de capacitar pessoas para a resolução de problemas não sistematizados.

Entretanto, a forma de tratar problemas herdada da Era Mecanicista, transformando o todo complexo em processos e partes para que o entendimento de cada uma das partes tornasse os indivíduos especialistas e os problemas fossem tratados de forma segmentada e não sistêmica, não tem muito sentido quando a grande maioria das tarefas é desenvolvida por máquinas, controladas por algoritmos.

No vasto espectro de conhecimento que a humanidade reuniu em sua história, existem respostas a muitas das perguntas originadas dos problemas comuns da sociedade, mas, pelo fato desse conhecimento se manter pulverizado em distintas bases, criam-se barreiras para a conversão do conhecimento tácito para o explícito.

Um dos grandes desafios para solução dos impasses criados para se obter essa conversão de forma integral e confiável, é a organização de processos capazes de coordenar os conhecimentos especialistas esparsos, de forma a conectá-los com a realidade complexa dos sistemas humanos, produzindo um modelo compartilhado de conhecimento. Mapear as competências posicionando-as coincidentemente com as demandas e tornando possível aos agentes contemplar a estrutura sistêmica da informação pela visualização de seus componentes e dos

relacionamentos, provocará a ampliação de resultados, aumentando a eficiência da atuação dos especialistas.

No presente trabalho, são apresentados meios de atendimento a esses desafios, a partir da oferta de instrumentos para gestão do conhecimento multiespecialista.

1.1 O Construto

O construto, objeto do presente trabalho desenvolveu-se a partir da estrutura lógica determinada nos tópicos seguintes.

1.1.1 Problema

Como estruturar o pensamento multidisciplinar de agentes especialistas, de forma a se obter um modelo mental compartilhado para emprego em modelagem e simulação dinâmica, utilizável em organizações complexas?

1.1.2 Hipótese

Se for possível identificar a estrutura profunda do pensamento de agentes especialistas (X), estabelecendo padrões de comparação entre estruturas similares de pensamento desses agentes (XI), então, será possível construir um modelo compartilhado de pensamento que sirva de base fidedigna à modelagem e simulação dinâmica (Y).

1.1.3 Variáveis de Pesquisa

Independente:

(*X*) – identificação da estrutura profunda de pensamento

(*XI*) – identificação do modelo compartilhado de pensamento

Dependente

(*Y*) – compreensão das estruturas de pensamento para avaliação de padrões de similaridade

Interveniente

(*W*) – organizações complexas

Nota: organizações complexas possuem demandas potenciais por trabalho em grupo de agentes especialistas, entretanto, organizações mais simples também podem possuir essa demanda em menor escala. No caso desta pesquisa, a ação desta variável *W* é de reforço.

Antecedente

(*Z*) – trabalho em grupo de especialistas.

Nota: a construção de um modelo mental compartilhado antevê a existência de trabalho em grupo de especialistas.

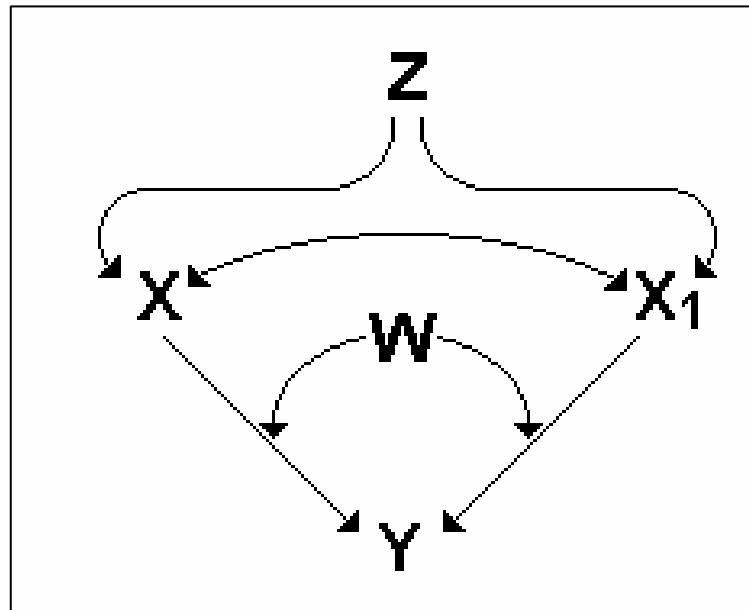


FIGURA 1.1 – Plano de variáveis da pesquisa

1.1.4 Objetivo

Objetiva-se com este trabalho, compor um processo de coordenação do conhecimento multiespecialista. Tal processo deverá conter recursos que permitam a aquisição de conhecimento de especialistas componentes de equipes de gestão das organizações empresariais. O processo contará ainda com recursos que possibilitarão organizar esse conhecimento particionado em um modelo mental compartilhado, que será destinado à modelagem e simulação em Dinâmica de Sistemas. O emprego final do modelo obtido, será a gestão estratégica de organizações complexas ou sistemas complexos.

Para testar sua operacionalidade, o processo foi submetido a uma avaliação através do seu emprego na modelagem de um sistema complexo natural, cujos dados foram disponibilizados por pesquisadores do CESET-UNICAMP.

Para avaliar o grau de representatividade ou fidedignidade do modelo simulado, relativo ao modelo mental compartilhado, o mesmo foi submetido a testes de validação e confiança, recomendados para simulações dinâmicas. A realização desses testes foi de fundamental importância para a comprovação da hipótese desta pesquisa.

1.2 Método

O roteiro seguido no transcorrer da pesquisa, as metodologias utilizadas, bem como o processo experimental envolvido, encontram-se declarados nos tópicos subsequentes.

1.2.1 Roteiro de desenvolvimento do trabalho

- Revisão bibliográfica sobre modelos mentais e semiótica e as características de utilização conjunta desses conceitos, visando à revelação do modelo mental de agentes especialistas.
- Revisão bibliográfica sobre análise multicritério e a utilização aplicada desse conceito, visando à comparação dos modelos mentais individuais dos agentes especialistas e a obtenção de padrões de similaridade entre eles, pelos quais obter-se-á o modelo compartilhado de pensamento
- Revisão bibliográfica sobre dinâmica de sistemas para utilização aplicada desse conceito na estruturação de modelos de simulação baseados no modelo compartilhado de pensamento obtido pela aplicação de análise multicritério, objetivando estudo de cenários e tomada de decisão

- Estruturação do processo de coordenação do conhecimento multiespecialista – PCCM, determinando os passos e os instrumentos específicos utilizados em cada passo, desde a revelação dos modelos mentais particionados dos agentes, até a obtenção de um modelo simulado para análise estratégica de cenários.
- Aplicação do processo de coordenação do conhecimento multiespecialista – PCCM, com o objetivo de testar os passos descritos na estrutura do PCCM quanto à aplicabilidade e eficiência.
- Apresentação dos resultados obtidos pela aplicação do PCCM, objetivando a discussão sobre as dificuldades em sua utilização e avaliação dos resultados obtidos quanto à fidedignidade e oportunidade.
- Apresentação das conclusões obtidas pelos testes realizados na aplicação do PCCM e discussão sobre sua adequacidade, além de possibilidades de expansão do trabalho.

1.2.2 Metodologias empregadas

Semiótica - é o estudo dos signos e a sua ação no processo informativo.

Semiose é o processo de utilização desses signos com o objetivo de obter uma explicação sobre um objeto ou seu significado. A Semiótica, será utilizada para explicar a estrutura simbólica que compõe o modelo mental de um agente, visando torná-lo visível e explicável a outros agentes participantes em um processo de gestão colaborativo. Essa ação

favorecerá a composição de modelos mentais compartilhados, mais abrangentes e representativos do modelo de ação do conjunto de agentes.

Análise multicritério - consiste na incorporação de todos os fatores considerados importantes para a tomada de decisão, sejam eles tangíveis (dinheiro, peso) ou intangíveis (qualidade ambiental, saúde, felicidade, realização pessoal), considerando também as divergências de opiniões entre os diversos decisores envolvidos, bem como os possíveis imprevistos que possam vir a ocorrer na vida real. Os processos decisórios englobam variáveis de naturezas distintas, bem como múltiplos objetivos, o que vem por explicar o termo Processos Multicritérios. A Análise Multicritério será utilizada para avaliação comparativa dos diversos modelos mentais dos diversos agentes do processo decisório. Com a análise dos critérios utilizados pelos agentes, será possível verificar a existência de padrões semelhantes, que podem maximizar resultados e padrões divergentes, que podem indicar conflitos. O modelo mental compartilhado deverá resultar do processo.

Dinâmica de sistemas - as idéias fundamentais de System Dynamics (SD), originalmente concebido como Industrial Dynamics, podem ser atribuídas a JAY W, FORRESTER (1961) por seu trabalho no *Massachusetts Institute of Technology*. A partir de sua experiência com servomecanismos, desenvolveu uma teoria de realimentação da informação e controle como meio de avaliar negócios e outros contextos

organizacionais e sociais. Por essas idéias essenciais, considera-se todo sistema como complexo, definindo seus componentes como elementos e fluxos, sendo que esses segundos constituem-se nos relacionamentos entre os primeiros. Todos os elementos conectam-se formam-se loops, tornando possível uma análise da realimentação tipo causa e efeito. Introduzindo valores, torna-se possível analisar as trocas de informações entre os elementos. Dinâmica de Sistemas será utilizado para estruturação do modelo mental compartilhado em um modelo simulado, objetivando a análise de cenários.

1.2.3 Processo experimental

O processo de coordenação do conhecimento multiespecialista, objeto desta pesquisa, foi empregado em um grupo de especialistas envolvidos na avaliação da qualidade da água de um rio, com o objetivo de testar sua capacidade de aquisição e organização do conhecimento.

Foram entrevistados os agentes componentes da equipe, e seus modelos mentais representados em gráficos, sendo posteriormente, organizados em um gráfico único, representativo de todos os modelos parciais.

Duas versões do experimento foram conduzidas conjuntamente, visando obter, a partir de um modelo simulado, a qualidade da água do mesmo trecho de rio. Uma versão, desenvolvida por este pesquisador, utilizou os critérios propostos neste trabalho, e a outra, desenvolvida no projeto *CNPq* –

PIBIC/UNICAMP, Modelagem e simulação do ecossistema do Ribeirão Pinhal - região de Limeira através de dinâmica de sistemas de *Sven Shäffers Delgado*, sob orientação do *Prof.Dr. André Franceschi de Angelis*. utilizou critérios empíricos, comumente utilizados em análise de requisitos para composição de modelos simulados.

O modelo obtido através dos critérios propostos por este trabalho, foi submetido a duas avaliações: *i)* de acuracidade, que visava verificar se o mesmo poderia ser empregado na estruturação de modelos mentais compartilhados, e *ii)* de comparação, que teve como objetivo avaliar quais seriam os ganhos operacionais obtidos por seu emprego.

O conhecimento multiespecialista utilizado foi obtido junto aos pesquisadores do CESET-UNICAMP, envolvidos no projeto *Diagnóstico Ambiental da Bacia do Ribeirão Pinhal*, de responsabilidade do *Prof. Joaquim Augusto Pereira Lazari*, e da *Profa. Ângela Maria Aparecida Albino*, do qual se originam os dados utilizados, bem como os modelos mentais, obtidos a partir de entrevistas (não participantes) com todos os pesquisadores. Os mesmos pesquisadores colaboraram com o processo de construção do modelo mental compartilhado. O aplicativo utilizado para modelagem e simulação foi o STELLA 8.0 ®, disponibilizado pelo *Grupo de Pesquisa em Sistemas de Apoio à Decisão – GP-SAD/CESET/UNICAMP*, sob a responsabilidade deste pesquisador.

1.3 Motivação para a pesquisa

A necessidade das organizações investirem no desenvolvimento técnico de seus colaboradores passou de projeto a realidade na década de 80, com a criação da Universidade Motorola, implantada em Chicago, nos Estados Unidos, chegando a 1200 Universidades em 1997 (MEISTER, 1998). No Brasil, a primeira Universidade Corporativa foi a Universidade Accor, criada em Campinas, SP em 2.000.

A resposta do governo para a renovação das bases de conhecimento das organizações foi incorporada pela Lei de Diretrizes e Bases da Educação – LDB, que passou a exigir a contemplação de especificidades regionais nos currículos mínimos dos cursos de graduação brasileiros, como visível resposta às necessidades de flexibilização dos currículos, face às necessidades dinâmicas dos mercados regionais.

As bases de conhecimento organizacional fundamentam-se na criação do conhecimento especialista pelas próprias organizações e constituem um ponto de fundamental importância para a inovação, pois são constituídas pelo aprendizado formal aliado ao aprendizado corporativo, tornando possível projetar na prática, o conhecimento teórico envolvendo transações mercantis (clientes/fornecedores), processos fabris, práticas adotadas, etc.

Dessa forma, verifica-se a afirmativa de SENGE (1998) sobre as organizações que aprendem e sua necessidade de interpretação do mercado com o qual praticam transações mercantis, no sentido de avaliação de suas reais potencialidades, objetivando o norteamento das ações organizacionais internas.

1.3.1 As bases do conhecimento compartilhado corporativo

Os sistemas complexos organizacionais, que incorporam os talentos e competências humanas essenciais, ao qual chamamos conhecimento especialista, além da capacidade produtiva e administrativa, funcionam com uma desorganização extremamente organizada, “*a ordem dentro da desordem*”, segundo SENGE (1996, p.30), verificada na aleatoriedade dos eventos administrativos e nas tentativas dos gestores de atribuir previsibilidade aos mesmos pela utilização de seus modelos mentais especializados (PLANTULLO, 2001, p.118):

“Vale citar os trabalhos do grande cientista Edward Lorenz, que procurou durante vários anos encontrar um modelo matemático em que fosse possível dar previsibilidade ao imprevisível e provar que os eventos impossíveis são totalmente previsíveis, altamente entrópicos e essencialmente organizados, de forma substancialmente hierárquica”.

É possível verificar essa aleatoriedade nos fundamentos da *Teoria Keynesiana*, que identifica na liberalidade de comércio e na supressão das barreiras, atitudes necessárias para o estabelecimento da ordem econômica. A inter-relação de diversas variáveis, torna o equilíbrio esperado da curva de oferta e de demanda, algo extremamente complexo, aleatório e incerto.

Considerando a imprevisibilidade desse equilíbrio de mercado, a aleatoriedade, conseqüentemente, se estende por toda a cadeia de valor, perpassando o sistema logístico, o produtivo e o financeiro.

Dessa forma, no estudo dos investimentos realizados pelos setores produtivos, o desenvolvimento de pesquisas tentando melhorar a previsibilidade das variações diferenciais ocorridas no conjunto das transações executadas pelas empresas, visando ao monitoramento da evolução do PIB, verifica-se que, apesar do quadro caótico evidenciado pelas variações dos investimentos, essa dinâmica se relaciona com períodos recessivos, evidenciados na FIGURA 1.2 pelas faixas na cor cinza, e conseqüentemente, as curvas obedecem ciclos de relativa previsibilidade, se associadas aos períodos recessivos.

Provavelmente as projeções de investimentos futuros se movem em conjunto com o crescimento do PIB. Na FIGURA 1.2, é possível verificar o gasto total em investimento como uma parcela do PIB norte-americano de 1970 a 2000. Nesse período, a parcela de investimento incorporada ao PIB variou de 11 a 18%. Essas oscilações nos investimentos ocorrem freqüentemente em períodos curtos. Durante os períodos de recessão, evidenciados pelas faixas cinza, os investimentos caem acentuadamente. O estudo das relações de causa-efeito entre essas variáveis, remete para a possibilidade de previsão de variáveis que possuem tais padrões de comportamento.

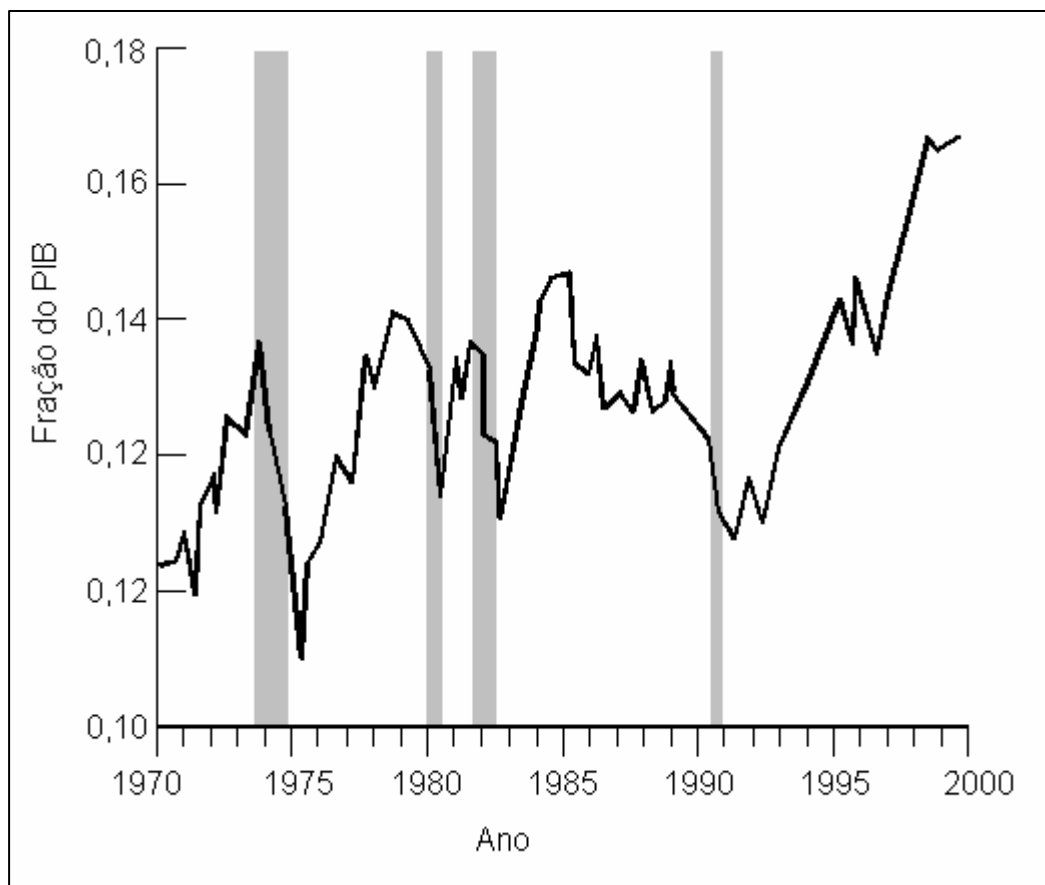


FIGURA 1.2: Gastos em investimentos como uma parcela do PIB norte-americano, 1970-2000

Fonte: O'SULLIVAN, SHEFFRIN & NISHIJIMA, 2004, p.398

Dessa forma, PLANTULLO (2001) sustenta que o conceito de caos pode ser utilizado para aumentar a certeza das previsões, bem como a compreensão de erros a que estão sujeitos os gerentes das grandes organizações, mesmo com o atual investimento na composição das bases de conhecimento corporativas.

Na verdade, o macroambiente no qual a organização está inserida é uma imensa incógnita, e, embora o homem tente durante toda a sua vida, prever fatos, eventualmente pode conseguir, porém, em situações pontuais, pela complexidade com que os sistemas corporativos estão organizados.

No entanto, cada um dos agentes contidos no processo corporativo seguirão fazendo previsões, pois a vida seria impossível se essa característica não fosse respeitada. Pode-se imaginar que, ao levantar da cama pela manhã o indivíduo não tenha nenhuma expectativa do que será seu dia? Geralmente, o homem não tem consciência desse constante estado de antecipação, particularmente, por imaginar que sua teoria do mundo é suficientemente correta e fortemente calcada em seu modelo mental particular (SMITH, 2003).

A razão pela qual o homem vive em constante necessidade de prever é em virtude de sua posição no mundo se modificar constantemente, da demasiada ambiguidade de interpretação e da grande variedade de alternativas existentes para cada evento.

A necessidade preditiva das organizações não deve ser pensada de forma diferente à do indivíduo. Sendo um coletivo de pensamentos, tal necessidade deve ser contemplada com uma capacidade ainda maior do que a soma das capacidades dos gestores. Assim, as organizações, embora invistam na formação do staff corporativo pela atribuição de conhecimento formal e prático, precisam ainda fomentar o relacionamento desse conhecimento particionado, para que se possa fazer frente às demandas complexas do mercado.

MORGAN (1996, p.341) sustenta a necessidade dos agentes utilizarem seus modelos mentais de forma compartilhada, e incita as organizações à criação de meios para ampliar a capacidade de predição:

A discussão elaborada encaminha para um ponto muito importante: existe uma relação estreita entre o modo pelo qual

se pensa e se age, estando muitos dos problemas organizacionais embutidos dentro da forma de pensar. Isto tem conseqüências bastante importantes. Em primeiro lugar, encoraja todos nós a reconhecer o papel desempenhado e a responsabilidade da nossa participação em delinear os problemas que temos que resolver.

Desde a década de 70, muitas organizações transnacionais investem em equipes desenvolvedoras de cenários com o objetivo de fortalecer sua base de conhecimento compartilhado corporativo, objetivando alcançar a vantagem competitiva pela melhoria na interpretação do macroambiente em que estão inseridos.

Tais equipes, têm se ocupado em observar as transações em nível de cadeia, assim como as variações macroeconômicas, de forma a prospectar tendências de mercado, revelando cenários futuros, dentro de uma ótica fortemente sistêmica.

A *Shell Group*, por exemplo, a partir de estudos realizados em 1971 conseguiu antever a crise de petróleo instaurada em 1973/74, a partir de estudos de suas equipes, utilizando essas definições como importante vantagem competitiva (DE GEUS, 1992). Os números obtidos pela *Shell* em seus estudos, não eram números exatos e puros, mas, eram suficientemente fortes para caracterizar as tendências de mercado dos próximos anos, ou seja, o cenário futuro.

Cenários, no âmbito da gestão corporativa, podem ser definidos como conjuntos de informações retiradas da realidade e reorganizadas a partir de critérios específicos, fundamentados nos modelos mentais dos agentes especialistas, no sentido de modelar a realidade de forma controlada, objetivando a interpretação de fenômenos e a possibilidade de antever tendências (BAR-YAM, 1997).

No caso da *Shell*, o estudo de cenários importou em aprendizado corporativo compartilhado, permitindo a mudança no modelo mental dos gestores, sob a forma de aprendizado. Cenários apontam a estrutura mental profunda de agentes especialistas e os remetem ao questionamento sobre suas próprias suposições, fazendo-os refletir sobre o que interpretam como realidade, e também, como é a dinâmica dessa realidade.

Os cenários deveriam conduzir os agentes para uma mudança, no sentido metacognitivo da reorganização de seus modelos mentais, coordenando o conjunto do conhecimento, construindo o conhecimento compartilhado corporativo.

1.3.2 Modelo de decisão em grupo

Sempre que um problema é determinado com mais de uma alternativa de solução, há a necessidade de se tomar uma decisão sobre qual a melhor alternativa. A tarefa mais básica de um agente isolado é optar por uma das alternativas possíveis, considerando seu modelo mental e a visão que dispõe do problema (EMERSON, 1996).

Segundo ZELNY (1994), citado por GOMES, GOMES & ALMEIDA (2002), a tomada de decisão consiste do esforço para tentar resolver problemas de objetivos conflitantes, cuja presença impede a existência da solução ótima e conduz à busca do “melhor compromisso”.

Nesse contexto de objetivos conflitantes, verifica-se a presença de uma estrutura complexa, desestruturada, com relacionamentos entre variáveis qualitativas, dinâmicas e abertas, e variáveis quantitativas, mais previsíveis.

Em um cenário de incerteza, a possibilidade de surgimento de conflitos, gerados pela ineficiência do processo de organização do modelo mental compartilhado, gera invariavelmente o distanciamento de idéias de um grupo decisor.

Competências formadas e supostamente pertencentes à base de conhecimento organizacional continuarão sendo competências isoladas, eficientes na solução de problemas pontuais, mas ineficazes para solução de problemas disseminados pelo sistema complexo corporativo, se a organização não fomentar a composição de modelos compartilhados de ação.

O conjunto de poderes que os indivíduos agregam durante o desenvolvimento de sua base de conhecimento particular, podem refletir a incapacidade desses indivíduos em compartilhar aquilo que conhecem.

Também a incapacidade de interpretar sistemicamente a organização, e mesmo os pontos de vista e modelos de pensamento de outros componentes da equipe, pode importar no fracasso de planos de ação.

Neste cenário, onde a vantagem competitiva é progressivamente buscada por um número cada vez maior de organizações cada vez mais

complexas, é que se faz necessário o emprego de instrumentos que possibilitem a obtenção dos conhecimentos especialistas dos agentes participantes do processo de gestão, organizando-os em modelos compartilhados que sejam facilmente absorvíveis em modelos que imitem a dinâmica dos sistemas reais, objetivando a composição de cenários utilizáveis na composição de estratégias.

1.3.3 Justificativas da pesquisa

As organizações empresariais, carecem de métodos que apontem, de forma clara e objetiva, as linhas de ações que devem ser implementadas para a obtenção de melhores resultados econômicos. Tais resultados somente podem ser obtidos a partir de um contexto colaborativo interno, catalisador das ações estratégicas, que garantem o melhor posicionamento organizacional frente à inovação. O processo gerencial nesse ambiente complexo está submetido à avaliação parcial dos decisores, considerando que o mesmo é, invariavelmente, desestruturado e multidisciplinar. Dessa forma, ações individuais em um ambiente coletivo de decisão podem não ser representativas da vontade coletiva, e tendem a ser restritivas, em termos de obtenção de soluções globais. O desenvolvimento de um processo pelo qual seja possível obter métricas para análise da estrutura dos objetivos empresariais de forma global e eficiente, a partir de elementos preditivos, garante o aprendizado coletivo organizacional e a tomada de decisão estratégica conjunta, mais eficiente na percepção das necessidades dos mercados. Diagnósticos de gestão envolvem diversos níveis de imprecisão e incerteza, em relação ao comportamento econômico e sócio-ambiental. A evolução dos

negócios na Bolsa de Valores pode ser explicada de forma diferente a cada pregão, por motivos diferentes e com status distintos. Já na organização empresarial, um único sintoma pode ser indicativo de diversos problemas, desde financeiros até produtivos, e a presença de um desses problemas em uma única organização inviabiliza qualquer parecer sobre um segmento empresarial. No início do século XX, PEIRCE (1972) afirmou que tudo o que existe é contínuo, e esse contínuo governa o conhecimento, considerando ainda que tanto os conceitos vagos como a precisão poderiam ser características da linguística, e não propriamente da realidade. O processo proposto pretende ampliar a acuracidade da ação do grupo decisor frente à interpretação de problemas complexos, dotando-os de instrumentos que, atuando de forma conjunta, neutralizem desvios de observação, como a construção do modelo mental compartilhado e a oportunidade de antever as ações e seus resultados.

1.3.4 Contribuições da Pesquisa

A metodologia de Dinâmica de Sistemas propõe fundamentalmente a utilização de um modelo compartilhado de visão, a partir da construção de um diagrama de influências, que serve de base para a modelagem de um sistema simulado. As condições pelas quais esse diagrama de influências é construído, fundamentam-se em procedimentos empíricos (FORRESTER, 1972).

Em organizações complexas, vários modelos de pensamento especialistas são utilizados na gestão organizacional. Tais modelos reservam em si, a complexidade típica dos sistemas complexos. Assim, procedimentos

empíricos de estruturação de um modelo único, derivado de todos os modelos de conhecimento especialista não são eficientes para a estruturação de um modelo compartilhado, não assegurando sua fidedignidade.

O processo proposto define uma forma estruturada de concepção do modelo compartilhado e sua posterior representação no modelo simulado, de forma a garantir sua representatividade e confiabilidade junto aos agentes.

A constatação da confiabilidade do modelo, foi possível pela aplicação sistemática de vários testes de confiança e validação.

Para a determinação da estrutura de testes, foi realizada uma extensa revisão da literatura de Dinâmica de Sistemas, que possibilitou a escolha de dois padrões específicos de testes, para lógica interna e para lógica externa. Pela compilação desses testes em um conjunto organizado de procedimentos, contribui-se para o trabalho de modelagem em dinâmica de sistemas, com a organização dos procedimentos de avaliação de modelos, antes disperso em inúmeras obras.

Considerando ainda que a racionalização obtida pela aplicação do processo proposto reduz drasticamente o volume de variáveis, dinamizando o procedimento de modelagem, verifica-se também que houve uma contribuição importante, no sentido de redução do tempo de modelagem e de testes de validação, ocasionando assim, uma redução do tempo total de concepção, modelagem e testes.

1.4 Organização do trabalho

O capítulo 2 enfoca as organizações complexas (2.1. as modernas organizações industriais e sua complexidade), e discorre sobre as formas de abstração do mundo real dos agentes envolvidos nos processos de gestão dessas organizações. Tais abstrações compõem o modelo mental dos especialistas, que é estruturado a partir de características próprias do indivíduo, onde predominam elementos qualitativos. Em seguida, busca-se argumentar sobre as formas de estruturação dos modelos de pensamento especialistas, a partir de elementos de linguagem, como um conjunto de símbolos adequadamente relacionados (2.2 conhecimento especialista, subdividido em 2.2.1, Linguagem e processo comunicativo, 2.2.2. semiótica e 2.2.3 mapeamento cognitivo). Essa forma de estruturação torna possível comparar modelos distintos de pensamento (semiótica e mapeamento cognitivo) dos diversos agentes participantes do processo de gestão, com o objetivo de encontrar padrões de similaridade ou pontos de conflito nesses modelos (análise multicritério), tornando-os mais eficientes na condução de questões interdisciplinares existentes nas organizações complexas.

No Capítulo 3, apresenta-se a metodologia de Dinâmica de Sistemas, como instrumento para conversão do modelo mental compartilhado em um modelo de simulação, que servirá como instrumento preditivo, mais particularmente para análise de cenários. Aborda-se então, a base de compreensão da Dinâmica de Sistemas em seu tópico 3.1 (Raciocínio sistêmico e retroalimentação da informação), que contém suas linhas de pensamento, que determinam as formas pelas quais os modelos compartilhados de pensamento são sistematizados, representados e convertidos em simulação. No tópico 3.2 (Testes

de validação) discorre-se sobre as formas pelas quais os modelos concebidos são tornados aceitáveis (válidos).

No Capítulo 4, apresenta-se o processo de coordenação do conhecimento multiespecialista, estruturado a partir do emprego conjunto de elementos de semiótica, análise multicritério e dinâmica de sistemas apresentados nos capítulos anteriores.

O processo, denominado Processo de Coordenação do Conhecimento Multiespecialista – PCCM, encontra-se estruturado no QUADRO 4.2, através de suas quatro fases (macro) de desenvolvimento, vinculadas às ações específicas de cada fase. Também é possível verificar, em nível analítico, os procedimentos contidos em cada ação.

No tópico 4.2 (estruturação dos modelos mentais particionados) comenta-se sobre o mapeamento do conhecimento dos agentes envolvidos em um processo conjunto de tomada de decisão, migrando-se para o modelo compartilhado desses agentes no tópico 4.3.

O modelo mental compartilhado serve então de base para a composição do modelo simulado, que é comentado no tópico 4.4. Após a conclusão do modelo, o mesmo deve ser submetido a testes de validação, que terão como objetivo atestar sua fidedignidade (4.4.4).

No Capítulo 5, apresenta-se um modelo simulado de um sistema hídrico, com o objetivo de testar o processo de coordenação do conhecimento multiespecialista (PCCM), desenvolvido nos capítulos anteriores, quanto à oportunidade de utilização em um sistema natural complexo, submetido à avaliação de especialistas de diversas áreas, como Engenharia Ambiental,

Química e Saneamento, sob enfoques diferentes, às vezes conflituosos. O objeto de análise está descrito no tópico 5.1 (estabelecimento do objeto de análise). Os modelos mentais particionados foram declarados no tópico 5.2, enquanto que no tópico 5.3 determina-se o modelo mental compartilhado, originário da composição realizada através de recursos linguísticos dos modelos particionados. O tópico 5.4 comenta sobre a conversão do modelo mental compartilhado, obtido no tópico anterior, em um modelo simulado no software STELLA 8.1 ®, sendo submetido à validação estatística.

O Capítulo 6, busca-se comparar duas situações distintas de apoio à decisão em grupo: uma utilizando o processo de coordenação do conhecimento especialista, e outra, fundamentada em procedimentos correntes de modelagem de dinâmica de sistemas.

O tópico 6.1 comenta sobre a necessidade de representação dos modelos mentais e sua unificação em um único e compartilhado modelo. O tópico 6.2 esclarece sobre a dificuldade de se obter o modelo compartilhado pelo emprego do método tradicional de modelagem em Dinâmica de Sistemas. O tópico 6.3 compara os resultados obtidos pelo processo proposto e o método tradicional, ratificando a argumentação do tópico 6.2.

O Capítulo 7 recobra as considerações e motivações iniciais da pesquisa (7.1) e descreve os avanços obtidos pela aplicação do processo, assim como as suas limitações (7.2 e 7.3). Conclui-se sobre o experimento realizado para comprovação da aplicabilidade do processo proposto - PCCM (7.4) e descreve-se as contribuições obtidas, relativas às possibilidades de sua aplicação

em um ambiente de ensino e aprendizagem (7.5) e na engenharia de produção (7.6). Aponta-se, por fim, as possibilidades de desdobramento da pesquisa (7.7).

2 CONHECIMENTO ESPECIALISTA E COMPLEXIDADE DAS ORGANIZAÇÕES

As organizações, cada vez mais complexas e competitivas remetem seus gestores à necessidade do conhecimento integral sobre as ações organizacionais, e relações com o ambiente macroeconômico (PEREIRA, 1997). Essas relações, por vezes são travadas a partir de elementos qualitativos e desestruturados, que restringem a adoção de modelos matemáticos de avaliação (FLEISHER & BENSOUSSAN, 2003). O conhecimento multidisciplinar nas equipes gestoras será um fator de competitividade se a Organização cuidar para que haja uma estrutura adequada de comunicação entre os agentes. Entretanto, os agentes especialistas possuem estruturas de pensamento cuja estrutura não está organizada em procedimentos e normas, o que dificulta as ações interdisciplinares na obtenção de resultados mais eficientes.

2.1 As modernas organizações industriais e sua complexidade

A quebra de paradigmas provoca uma ação destruidora profunda no meio social. Critérios e filosofias arraigadas por séculos são questionadas, enquanto outros critérios são introduzidos no modo de comportamento dos indivíduos.

A moderna sociedade sofreu uma revolução quando foi exposta ao Mercantilismo, e novamente, quando incorporou a Revolução Industrial e a produção em massa. Em menos de 200 anos, o homem foi forçado a se adaptar a

inúmeras modificações sociais, com o acesso a bens de consumo antes inacessíveis.

A Era da Informação subverteu a ordem mundial, como um novo paradigma, reduziu o tempo de transferência da informação, provocando alterações profundas no contexto social em razão da dinâmica de aquisição de novo conhecimento. Necessidades que sequer eram imagináveis há uma década, foram criadas a partir dessa nova ordem.

BAR-YAM (2003), comenta sobre a complexidade das atividades corporativas atuais, que funcionam obedecendo características regionais, mas, que devem estar integradas em uma única e grande estrutura logística, considerando a amplitude da abrangência das atividades e as necessidades de monitoramento integrais. Existem escolhas que devem ser tomadas a todo momento, de ordem local, regional, nacional e internacional. Por se tratar de sistemas de interesse estratégico, a alta administração espera que tais informações sejam unificadas, o que demanda uma avaliação e reorganização das estruturas de transferência, em uma amplitude inimaginável.

A idéia sobre sistemas complexos, começou a se descortinar, inicialmente a partir dos estudos de (BERTALANFFY, 1977), durante a década de 70, a partir da Teoria dos Sistemas, onde passa-se a interpretar o mundo como um grande sistema, onde as partes não podem ser vistas e estudadas sem a compreensão e aceitação do todo em que figuram. Na interpretação lógica dos relacionamentos das partes desse todo é que se origina a concepção de organização complexa, conforme definido por MORIN (1991) “*ordem dentro da desordem*” ou a “*certeza da incerteza*”.

Quase todos artefatos fabricados pelas atuais organizações complexas, desde bens de capital, como navios e aviões até artefatos informativos, como softwares e processos, são definidos pela interação de muitos, às vezes milhares de participantes, trabalhando em elementos diferentes do processo.

Em um sistema complexo, cada agente ou grupo de agentes deveria dispensar especial atenção à sua área, abrangendo as características e necessidades dessas áreas. Tomando-se como válida essa necessidade, resta ainda determinar a quem caberia a coordenação das cadeias de atividades, que reorganizarão as áreas em uma estrutura única.

A complexidade dos sistemas corporativos não permite que os mesmos sejam completamente estruturados. Essa classe de sistemas apresenta problemas com características de dificuldade de resolução através de algoritmos conhecidos, particularmente devido às suas características multidisciplinares (SHIMIZU, 1976). As ações eficientes em um sistema complexo, demandam a intervenção de um grupo de agentes detentores de conhecimento especialista em diferentes áreas, cuja contribuição seria no sentido da construção conjunta de um único modelo interpretativo da organização, de forma compartilhada.

2.2 Conhecimento especialista e interpretação da realidade

As atividades de concepção, projeto, produção e venda dos bens de capital, de consumo e mesmo serviços, são desenvolvidas por muitos agentes, que atuam em elementos diferentes do processo, utilizando seu conhecimento especialista.

Em um sistema complexo, cada agente tenderá enfocar sua área, abrangendo as características e necessidades dessa área à luz de seu conhecimento especialista, principalmente porque a visão holística sobre o sistema complexo é impraticável.

O desafio do trabalho coordenado multiespecialista nas organizações complexas é que os espaços de ação são tipicamente enormes, e acessados simultaneamente pelos muitos especialistas, o que pode ser caro e demorado, considerando que interdependências podem conduzir a conflitos (quando as ações simultâneas em espaços iguais não são consistentes).

O enfoque central de pesquisa da utilização do conhecimento multiespecialista em sistemas complexos deve partir da compreensão da dinâmica de cadeias distribuídas, isto é, cadeias nas quais não há nenhum controlador centralizado, onde o comportamento global emerge somente como resultado de ações locais simultâneas. Essas cadeias são tradicionalmente modeladas como nós múltiplos e cada nó representa um estado da variável, com um determinado valor. Cada nó tenderá selecionar o valor que maximiza sua consistência com as influências dos outros nós. Assim, desde que todos os nós atualizem seu estado local baseado no contexto atual no momento t , tais escolhas podem não representar a melhor escolha no novo contexto do estado no tempo $t+1$, conduzindo a situações adversas (KLEIN, 2005).

Um agente especialista, responsável por uma decisão em um nó da cadeia, que dependa diretamente da interpretação de suas ações a partir da verbalização de ordens ou mesmo, de relatórios escritos, poderá ter sérias dificuldades com a incapacidade dos agentes de outros nós em não entender qual é

o real significado das ações, considerando a diversidade de especialização desses agentes.

Por outro lado, equipes da cadeia podem desenvolver ações próprias, contrárias às projetadas globalmente, se não interpretarem corretamente a forma, a intensidade e o tempo da ação previamente estipulado.

Considera-se que a linguagem nem sempre traz em sua estrutura aparente, informações dotadas da significância necessária à interpretação de “intensidade” da ação. Não necessariamente, portanto, a linguagem contém todos os elementos necessários à interpretação do modelo mental especialista.

2.2.1 Linguagem e processo comunicativo

A linguagem é a forma mais básica pela qual as abstrações criadas por um indivíduo (modelos mentais), são transformadas em informação, visando atingir um outro indivíduo.

Entretanto, pelo fato de representar uma abstração, a linguagem também guarda em si aspectos reveladores, componentes da chamada “estrutura aparente” e aspectos mais vinculados ao significado, determinado pelo seu autor, e nem sempre compreensível a outros indivíduos, denominado “estrutura profunda”.

Relatórios, procedimentos e normas, compõem a estrutura aparente do conhecimento especialista, entretanto, segundo SMITH (2003, p. 43), em diversas situações, tais peças não possuirão integral correspondência com a estrutura profunda, mais vinculada ao pensamento especialista:

“Colocando em termos técnicos, não existe uma correspondência recíproca entre estrutura aparente da linguagem e o significado. O significado está além dos meros sons ou sinais impressos da linguagem, e não pode ser derivado da estrutura aparente por qualquer processo mecânico simples”.

Essa afirmação explica a razão pela qual um algoritmo que reconheça integralmente a linguagem ainda é objeto de estudo e também reforça que existe apenas uma maneira pela qual a linguagem pode ser entendida, ou seja: trazendo até a linguagem um significado.

Considera-se que a linguagem nem sempre traz em sua estrutura aparente, informações dotadas da significância necessária à interpretação de “intensidade” da ação, por exemplo.

Um agente, visando se proteger dessa incapacidade de interpretação de uma exposição verbal e até mesmo, de uma exposição escrita, projeta em sua estrutura cognitiva, os detalhes de relacionamento das partes da informação obtida, com o objetivo de prever o o desfecho da narrativa de outro agente (COUTO, 2005).

Essa capacidade é facilmente observável na exposição oral, quando se tenta completar a frase do interlocutor antes dela ser proferida ou, na exposição escrita, quando, apesar de ser possível a lembrança da intenção do escritor, não é possível a memorização de todas as palavras do texto.

Essa capacidade de antever uma narrativa, é possível pela capacidade do indivíduo em decifrar a estrutura profunda do discurso. A estrutura profunda é holística e global, e não fragmenta eventos ou descrições de forma linear ou sequencial (SMITH, 2003).

Assim, a incerteza que pode ser gerada em um processo administrativo em que um agente coordenador deve se relacionar com inúmeros agentes executores será menor se for possível reduzir alternativas de compreensão incorretas na exposição oral ou escrita.

Segundo CHOMSKY (1957), citado por SMITH (2003), o elo existente entre a estrutura aparente e profunda, consiste de dois componentes: i) um léxico e ii) uma sintaxe. A sintaxe, corresponde a um conjunto de regras que, diferentemente das regras sintáticas utilizadas tradicionalmente, buscam determinar a dinâmica e o relacionamento de léxicos (palavras).

As sentenças não são vistas como arranjos de estruturas sintáticas, mas como extensões ou proposições relacionadas, naturalmente às intenções ou proposições. A FIGURA 2.1 demonstra, como exemplo, uma estrutura profunda de linguagem. Verifica-se que sua representação difere em muito de uma estrutura aparente, e revela a lógica do pensamento do indivíduo.

A estrutura profunda da linguagem, portanto, pode ser representada a partir de diagramas que identifiquem os vínculos causais entre vários substantivos e o verbo, não necessitando, para efeito de compreensão global, que todos os substantivos estejam representados. A redução é necessária para que se parta dos fatores realmente mais importantes relacionados ao problema.

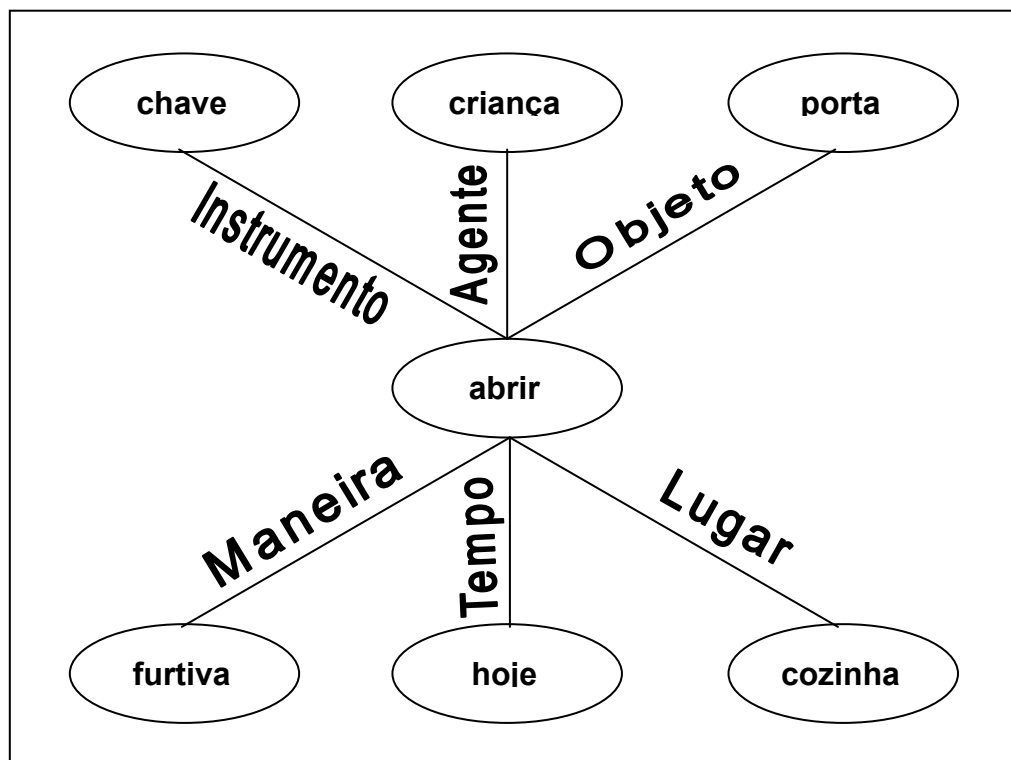


FIGURA 2.1: Diagrama representativo de estrutura profunda
 Fonte: SMITH, 2003, p.277

Dessa forma, uma correta articulação entre a idéia e sua representação, depende da adequada interpretação do interlocutor, ou seja, deverá ser realizada não apenas considerando a estrutura sintática do texto, mas também a semântica e a pragmática.

Semântica é o sentido lógico do símbolo que se utiliza na forma de expressão, enquanto que a sintaxe, desenvolve estudos sobre as relações entre as palavras de uma oração e as relações entre as orações de um período (CIPRO NETO, 2004). Na questão pragmática, a informação considera o âmbito do efeito que se deve causar, em razão da ocorrência, no campo da realidade, que se deseja informar.

Ícones, símbolos e relacionamentos buscam parametrizar elementos qualitativos, tornando-os compreensíveis universalmente, possibilitando revelar a estrutura profunda linguística e alcançar com mais segurança o nível pragmático.

Considerando que o conhecimento de um especialista, composto pela estrutura aparente (normas e procedimentos) e pela estrutura profunda do pensamento, deve compor com outros especialistas um modelo de ação conjunta, no sentido multidisciplinar no mesmo espaço de decisão, conclui-se que a revelação da estrutura profunda do pensamento auxiliaria a composição de modelos compartilhados ou multiespecialistas. Tais modelos, sobretudo, visariam a obtenção de maior sucesso no nível pragmático.

Para que a estrutura profunda dos modelos mentais dos agentes especialistas possa ser revelada, é necessário realizar um estudo dos signos componentes do modelo mental e das relações existentes entre eles. A esse estudo denomina-se semiótica.

2.2.2 Semiótica

Semiótica, é o estudo dos signos, e a sua ação no processo informativo. Signo é um objeto representativo ou uma abstração da realidade. Semiose é o processo de utilização desses signos com o objetivo de obter uma explicação sobre um objeto ou seu significado. A Semiótica, então, está contida no patamar de nível semântico do processo comunicativo, onde existe a necessidade de definição de símbolos que garantam a transmissão da informação,

além das regras de formatação, e a semióse se inicia no nível semântico e chega ao nível pragmático do processo comunicativo (LOPES, 2004).

A semiótica atua na padronização da representação de elementos qualitativos, considerando que deve se ocupar da adequada migração da informação do nível semântico para o pragmático. Espera-se que, derivado de um processo de organização semiótica, um modelo mental, composto de elementos qualitativos, seja expresso de forma a criar evidências não somente àquele que o concebeu, mas sim, a outros que o acessem.

Entretanto, para que seja possível a estruturação do modelo mental a partir da utilização de semiótica, faz-se necessário i) interpretar o processo de abstração da realidade por parte do agente especialista, ii) escolher os signos e símbolos adequados à representação do modelo e, iii) determinar as categorias dos símbolos e signos, organizando as relações de influências existentes. Assim existirão três procedimentos:

- Mediação
- Escolha
- Categorização

2.2.2.1.Procedimento de mediação

A interpretação por parte de um indivíduo isolado de um objeto resultará na manifestação pessoal daquele indivíduo sobre o objeto, que pode ser revelada coletivamente a partir de um processo semiótico. Entretanto, de forma prática, quando um indivíduo traduz um objeto em um símbolo interpretável, o faz para si mesmo, considerando peculiaridades de sua interpretação.

Um agente coordenador de uma equipe pode imaginar, a partir de suas experiências particulares, que a melhor forma de executar um determinado trabalho é a solução A . Essa forma estará invisível aos sentidos, considerando que se encontra no tempo futuro.

Se esse indivíduo pode imaginar que a solução A é possível de ser executada, e que resolve o problema, pode-se também imaginar que a solução A exista, e que, eventualmente, pode não existir. Também pode-se concluir que isso apenas ocorre porque as características de A são conhecidas.

Na verdade, as comparações possíveis, segundo o princípio antrópico (HAWKING, 2001), podem ser realizadas dentro de possibilidades finitas, ou seja, só será possível conceber a presença de um objeto e quantificá-lo por comparação a qualquer outro estado diferente de presença (no caso, ausência) utilizando-se uma significação conhecida.

O observador dita as condições de interpretação do objeto real, que por sua vez, determina os signos que serão utilizados para interpretação do objeto, criando um objeto imediato. Objeto imediato, nada mais é do que a abstração do objeto real, também definido como objeto dinâmico (KECHENG, 2000), de acordo com uma estrutura específica de interpretação utilizadas pelo observador, também denominada por PEIRCE (1972) como mediação (m). No exemplo da FIGURA 2.2, vê-se o objeto real (A) e o objeto imediato (B). A percepção do objeto A , neste caso pela visão, determina o início de m , que comparará B com a biblioteca disponível de signos (s) até encontrar s ou conjunto de s correspondente.

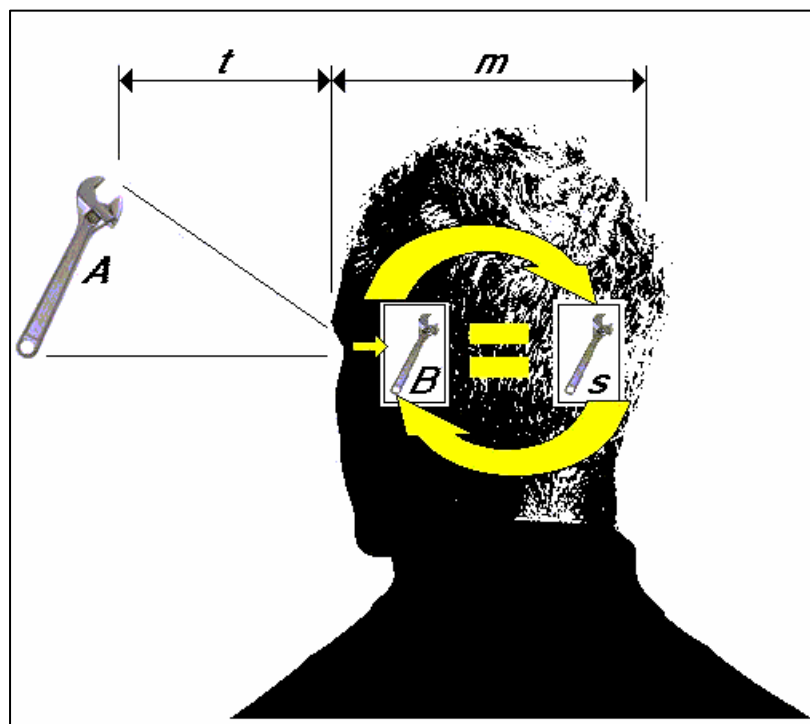


FIGURA 2.2 – Objeto dinâmico, objeto imediato e mediação

Assim, a escolha e organização da coleção de signos que representem o objeto imediato (**B**), ocorre endogenamente ao indivíduo, por comparação da leitura resultante da utilização de seus sentidos e a comparação da imagem formada pelo objeto com a biblioteca de signos existentes em sua memória. Esse processo é relacional, pois une através de vínculos os sentidos, a memória e o objeto (DEBRAY, 1993).

2.2.2.2. Procedimento de escolha de signos e símbolos.

Segundo SAUSURRE (1945), a língua é tida como o mais complexo e difundido sistema de expressão.

É também, um sistema particular de um determinado povo, e por isso, mantém características específicas de expressão que une letras para a composição de uma “imagem acústica”. Todavia, essa representatividade acústica ou gráfica de um objeto real, que dá as características de cada língua, é, segundo SAUSURRE (1945), arbitrária.

Determina-se, então, a diferença entre signo e símbolo. O símbolo nunca é completamente arbitrário, pois conserva um rudimento de ligação natural entre o objeto dinâmico e o mediado.

O signo não tem ligação natural com o objeto dinâmico, e é arbitrário porque é independente em relação à utilização por parte de quem fala ou se expressa (convenção). Assim, a dimensão semântica de um signo só existe na medida em que há regras semânticas que determinam a sua aplicabilidade a certas situações sob certas condições.

A diferenciação e classificação dos signos em índices, ícones, símbolos e outros, explica-se pelas diferentes espécies de regras semânticas.

Ícones e símbolos caracterizam aquilo que designam. Se o signo caracterizar o objeto denotado por mostrar nele mesmo as propriedades que um objeto tem, como acontece com fotos e mapas, então, o signo é um ícone.

Entretanto, a utilização do signo lingüístico é bastante eficiente como veículo da informação, considerando que pode representar o objeto dinâmico a partir de uma dimensão visual e também auditiva. Por poder ser

sonoro , contém propriedades dinâmicas, que reproduzem a dimensão tempo-espaco através de uma sucessiva representação de signos, dispostos, de forma temporal. A representação escrita reproduz o objeto imediato, destituído de características dinâmicas pela abstração mental, reproduzindo graficamente o contexto dinâmico do qual ele foi abstraído, procurando atribuir-lhe características de similaridade com o objeto dinâmico, já que na representação escrita, a linha espacial dos sinais gráficos tenta reproduzir a dinâmica do tempo (FIDALGO, 2005).

2.2.2.3. Procedimento de Categorização

Categorizar significa tratar alguns objetos ou eventos como iguais, ainda que diferentes de outros objetos ou evento. Todos os seres humanos categorizam, instintivamente, desde o nascimento. Nada existe de excepcional sobre esta propensão inata para categorização, uma vez que os organismos vivos não poderiam sobreviver, se, de fato, não tratassem alguns objetos ou eventos como iguais, ainda que diferentes de outros objetos ou eventos.

As categorias que podem ser observadas, que são parte das teorias particulares de cada ser humano sobre o mundo, são visualmente bastante arbitrárias; não sendo, geralmente, impostas ao indivíduo pelo próprio mundo. O mundo não força o indivíduo a categorizar animais em cães e gatos, já que o mesmo indivíduo poderia dividir animais não pela raça, mas pela cor verde dos olhos, em comparação com aqueles de cores de olhos diferentes de verde (SMITH, 2003).

Para o procedimento de categorização em elementos qualitativos, normalmente são utilizados argumentos de oposições binárias. São determinadas análise de pares de polos de tal forma a recriar a sensação do agente e desvendar quais são os critérios não quantitativos utilizados por ele, que estabelecem vínculos dinâmicos de reforço ou balanceamento de ações (OSIMO, 2005).

Assim quando se determinam pares, a preocupação é estabelecer comparação entre elementos que possuem “quantum” relativo, como por exemplo próximo-distante, cheio-vazio, para reproduzir a idéia de distância entre os elementos representativos da análise profunda. SAUSURRE (1972) estabelece uma comparação em dois eixos, com o objetivo de recriar as características temporais e de dominância contidas nos elementos componentes do pensamento. Os elementos são posicionados em uma matriz sincrônica/diacrônica de comparação.

Eixo Diacrônico (histórico ou de sucessividade): posicionam-se elementos com vínculo temporal, em relação ao objeto de análise. Elementos com forte relação com o objeto central da análise, são posicionados de forma longitudinal. À medida que tais critérios distam da extremidade direita do eixo, reduzem-se os vínculos de influência (em termos de tempo e intensidade) com o objeto central de análise (FIGURA 2.3).

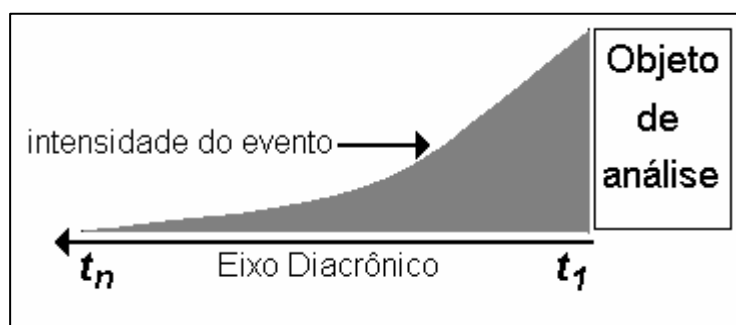


FIGURA 2.3 – Eixo diacrônico

Eixo Sincrônico (estrutural ou de simultaneidade): posicionam-se elementos com vínculo atemporal em relação ao objeto de análise. Busca-se neste eixo a relação entre as competências do agente considerando os critérios que concorrem para explicar ou solucionar o objeto central. Os critérios são posicionados em função das competências do agente em intervir diretamente, provocando uma solução. Em uma relação de domínio do agente sobre o elemento, este será posicionado na parte superior do eixo. Se o agente julga que deve eleger um elemento como importante para o conhecimento ou solução do objeto de análise, mas não possui domínio (ou competência) sobre esse critério, deve posicioná-lo na porção inferior do eixo sincrônico (FIGURA 2.4).

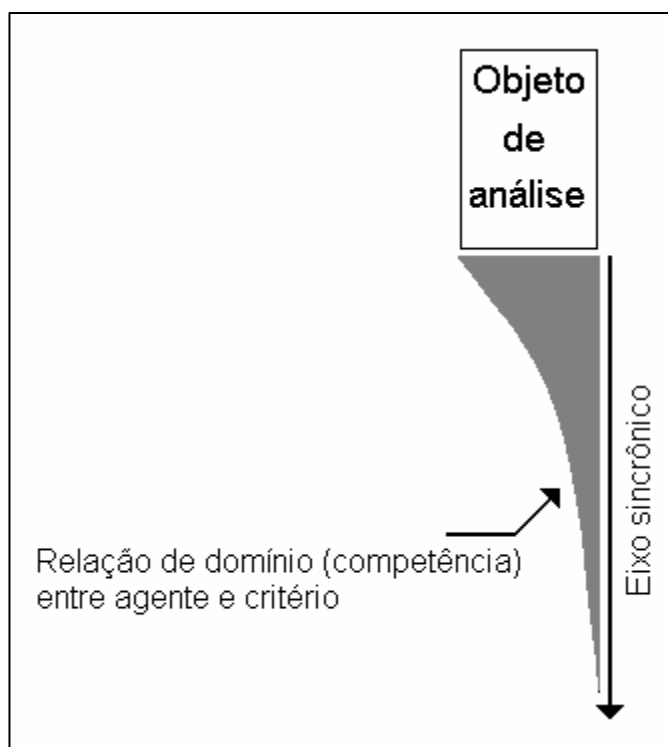


FIGURA 2.4 – Eixo sincrônico

Segundo LOPES (2004), nenhum elemento de representação linguística deve ser considerado como fato isolado. A sincronia se estabelece como relação entre coisas existentes, dentro de um contexto relacional e de trocas, e, sob o ponto de vista do diacronismo, deve-se utilizar esse conceito com o objetivo de explicar certos fatos que, se fossem examinados do ponto de vista puramente sincrônico, poderiam ser interpretados como anomalias dentro do sistema, considerando que as relações necessitam de vínculos históricos (temporais) para serem totalmente explicadas.

Dessa forma, após o agente ter abstraído uma estrutura complexa de informação, de ter escolhido os signos e símbolos necessários à sua representação e estruturado tais símbolos em categorias, passa-se a contar com um modelo representativo e estruturado de seu modelo mental particular. Pode-se afirmar, portanto, que a estrutura profunda do seu pensamento, rica em termos de elementos de comparação com outros modelos de outros agentes foi evidenciada.

Com a padronização da estrutura de relacionamento entre os elementos componentes da estrutura profunda do modelo mental, torna-se possível a comparação de padrões estruturais dos modelos mentais dos agentes especialistas atuantes na mesma organização complexa. A existência de similaridades indica concordância de ações e a falta de similaridade, pode indicar conflito. Sabendo da existência ou ausência de similaridades, a administração da cadeia de atividades em nível regional torna-se viável.

Entretanto, para se analisar os padrões de similaridade, faz-se necessária a adoção de uma estratégia de comparação. Cada agente deverá ter evidenciada a estrutura profunda do seu pensamento, ou seu modelo mental, o que

representa migrar do conhecimento tácito para o explícito (NONAKA & TAKEUSHI, 1997).

A **externalização** ou articulação dos sentimentos dos diversos agentes por meio de pesquisa semiótica, que evoca a necessidade de conversão do conhecimento tácito para o explícito), e a **combinação**, que determina a conversão do conhecimento explícito para o explícito), são meios propostos por NONAKA & TAKEUSHI (1997) que qualificam a capacidade de compartilhamento do conhecimento entre os agentes envolvidos em um processo de aprendizado organizacional.

Essas necessidades podem ser atendidas por critérios semióticos, que são empregados em uma técnica de documentação de estruturas mentais profundas, denominada mapeamento cognitivo.

2.2.3 Mapeamento cognitivo

O conhecimento tácito é complexo e de difícil verbalização, pois é composto de estruturas abstratas e profundas, inteligíveis apenas pelo seu proprietário. O processo comunicativo se vale da semiótica para tentar, a partir de símbolos, revelar parte do conhecimento de difícil verbalização. Argumentos de semiótica podem ser utilizados para criar condições que imitam a estrutura da memória humana, com objetos e vínculos, dispostos organizadamente em eixos que atribuem pesos e valores.

A memória humana, segundo SOUZA (1995), divide-se da seguinte forma:

- **Memória de longo prazo**, poderia ser do tipo **implícita** ou **explícita** e, esta última, subdividida em dois grupos: a **memória episódica** utilizada em fatos e eventos experimentados em contexto espacial e temporal específicos envolvendo informações autobiográficas e a **memória semântica**, utilizada para conhecimentos que independem do contexto, como o significado de palavras ou conceitos. A memória implícita é fruto da utilização repetitiva que gera automatização.
- **Memória operacional ou de trabalho**: é aquela utilizada temporariamente pelo indivíduo para estocagem de informações enquanto determinado evento necessita de tais informações para sua adequada realização e seria descartada após sua utilização nesse evento. SOUZA (1995) afirma que essas informações só são estocadas enquanto são necessárias à atividade a que se destinam.
- **Memória de referência**: guarda informações que independem do contexto. São informações que ficam inativas até serem acessadas por estímulos apropriados.

Segundo O'KEEFE (1978), o mapa cognitivo que refere-se ao conhecimento espacial/ambiental, relaciona-se com a percepção espacial absoluta unitária (global) e não-egocêntrica (esta é a percepção relativa, baseada na posição do próprio corpo em relação ao ambiente circundante).

Agentes especialistas referem-se à memória operacional e à memória de longo prazo para a determinação das estratégias necessárias ao tratamento de questões específicas de sua área de atuação. Essa referência, é

realizada através de procedimentos internos, profundos e próprios do indivíduo, por isso, não abrangem o conceito de memória visual (icônica), já que a memória icônica é de curtíssimo prazo como toda memória sensorial (O'KEFFE, 1978).

Segundo SOUZA (1995), existem dois sistemas visuais que determinam o modo de representação icônica da estrutura cognitiva:

- **Sistema localizacional** – reserva elementos de localização de diversos objetos no ambiente espacial, ou seja, tal sistema fornece informações espaciais contextuais relativamente a cada objeto e ao seu conjunto. Percebe-se o ambiente como um todo e faz-se as relações espaciais entre seus diversos componentes, ou seja, o sistema localizacional proporciona um significado holístico do ambiente.
- **Sistema de reconhecimento** – este sistema fornece ao indivíduo o reconhecimento de objetos (objeto imediato). Através de uma série de características procede-se ao reconhecimento deste ou daquele objeto no ambiente, sem entretanto, estabelecer-se qualquer relação espacial entre eles, exceto uma informação primária relativa à distância entre objetos baseada em linhas de contorno e aspectos relevantes tais como orientação, principais linhas e arestas. Este sistema, juntamente com a característica holística do sistema localizacional, fornece informações precisas e analíticas sobre o contexto do objeto.

Verifica-se que os dois sistemas se complementam e devem estar presentes em um esquema geral de mapeamento cognitivo, ou seja, um esquema de mapeamento cognitivo deve possuir orientação espacial de cada indivíduo no seu espaço ambiental circundante.

O conceito de mapa cognitivo pressupõe a representação mental interna, enquanto elemento cognitivo, dos objetos do ambiente externo e de suas relações, ou seja, permite representar graficamente o processo no qual a mente humana adquire, codifica, armazena, relembra e decodifica informações advindas do ambiente espacial (ROSENHEAD, 1982).

Ressalta-se também que um mapa cognitivo não é necessariamente um mapa tipo cartográfico, mas uma estrutura hierárquica onde estão presentes diversos níveis de representação mental e que tal estrutura está fortemente vinculada aos processos de memória espacial e aos dois sub-sistemas visuais localizacional e de reconhecimento (EDEN, 1989).

De acordo com essa afirmação, um mapa cognitivo pode ser caracterizado como uma ferramenta cognitiva. O termo “mapa cognitivo” compreende um conjunto de ferramentas e símbolos, estreitamente relacionados, apropriados para uma representação esquemática gráfico-espacialmente do conhecimento.

A atividade de mapeamento cognitivo pressupõe a capacidade de intercomunicação, a reflexão pessoal e o desenvolvimento da metacognição.

O estudo de sistemas complexos organizacionais, que demandam a ação de vários agentes especialistas em atitudes interdisciplinares, cria quantias grandes de dados verbais, freqüentemente desestruturados, incompletos, redundantes, e idiossincráticos e que devem ser reduzidos, organizados, e codificados de um modo consistente e imparcial.

Há muitas técnicas diferentes existentes para codificar tais dados em diagramas ou mapas cognitivos, que funcionam basicamente com a

organização de conceitos (ou nodos) e as relações entre eles (vínculos), conforme afirmam DOYLE, RADZICKI & TREES (1998).

Assim, se for considerado que a memória operacional e de longo prazo dos agentes especialistas contém as características de ação desses especialistas em suas respectivas áreas, e que essas memórias precisam ser reveladas para que haja compartilhamento dos modelos mentais, conclui-se que a representação gráfica dessas memórias, em termos de mapas cognitivos é necessária à composição de um modelo mental compartilhado.

Para a representação gráfica adequada desses modelos, há a necessidade de reprodução das condições existentes no sistema localizacional e de reconhecimento da memória. Verifica-se então, que a matriz sincrônica/diacrônica de SAUSURRE (1972), permite a reprodução da intensidade do evento e da relação de domínio da informação do agente, consistentemente com as necessidades do sistema localizacional. Em adição, os nodos podem ser representados por expressões semânticas, que seriam suficientes para delimitar os objetos, de acordo com o requerido pelo sistema de reconhecimento.

Dessa forma, a matriz sincrônica/diacrônica permite a construção do mapa cognitivo do agente especialista, tornando possível revelar sua estrutura metacognitiva, que por sua vez, servirá de base para o modelo mental compartilhado desses agentes.

Compreende-se metacognição como a capacidade de pensar sobre os próprios pensamentos, ou, conforme determina SMITH (2003, p.39), “*cognição sobre a cognição*”.

Entretanto, para se analisar os padrões de similaridade ocorrentes entre as diversas estruturas metacognitivas dos inúmeros agentes envolvidos em um mesmo processo administrativo, faz-se necessária a adoção de uma estratégia de comparação. Cada agente terá evidenciado na estrutura profunda do seu pensamento, ou em seu modelo mental, os critérios que adota para determinadas situações, bem como os pesos que estabelece para tais critérios. Considerando a ação multiespecialista, ter-se-á a necessidade de adoção de estratégias multicritério para análise dos padrões de comportamento dos agentes, que reforçarão o sistema de reconhecimento da estrutura cognitiva desses agentes.

2.2.4 Análise multicritério

As diferentes formas existentes de avaliação de elementos qualitativos, remetem sempre ao processo arbitrário que cada agente decisor possui, originário de seu modelo mental, e que procura, por comparação, determinar pesos e graus hierárquicos a elementos subjetivos (ENSSLIN, 1995). A esse procedimento arbitrário denomina-se **critério** (BANA & COSTA, 1994). O arbitramento de critérios passa por um processo semiótico, pela escolha de signos representativos da realidade individual, e de categorização (estrutura profunda), de forma a compor o objeto imediato em análise.

Para cada situação, um agente especialista pode determinar inúmeras possibilidades de solução, e, considerando a ação multiespecialista, muitos agentes podem amplificar as possibilidades de intervenção em um sistema

complexo. Essa gama de possibilidades pode resultar em situações de conflito durante a determinação do conjunto de critérios ou limitantes que devem ser considerados para a obtenção do melhor resultado.

Assim, a própria intervenção multiespecialista reserva em si mesma uma complexidade nativa dos sistemas complexos.

Para que o conhecimento multiespecialista seja utilizável, é necessário encontrar padrões de similaridade, que garantem a interseção dos modelos particionados e, conseqüentemente, a supressão de redundâncias, que importam no prolongamento do tempo de execução.

Considerando ser possível a representação do modelo mental a partir de estruturas gráficas, passa a ser possível também a análise dos fragmentos componentes do modelo integral. Tais fragmentos, então, são submetidos a análises específicas, para que sejam verificadas as similaridades. A esses fragmentos, denominamos variáveis.

Variáveis são agrupamentos das medidas repetidas de um dado objeto de estudo, realizadas em diferentes unidades de observação. Por exemplo, estudando uma empresa, os agentes especialistas têm como objeto a empresa, e como variável o conhecimento especialista. O valor da variável vai variar com cada observação de cada especialista em relação à empresa, sendo sua medida as diferentes especialidades do conhecimento.

A complexidade encontrada nos sistemas organizacionais, indica a existência tanto de variáveis quantitativas, quanto de variáveis qualitativas. Sobre dados qualitativos, PEREIRA (1999, p.21) define:

“O dado qualitativo é a representação simbólica atribuída a manifestações de um evento qualitativo. É uma estratégia de classificação de um fenômeno aparentemente imponderável que, fixando premissas de natureza ontológica e semântica, instrumentaliza o reconhecimento do evento, a análise de seu comportamento e suas realizações com outros eventos”.

Tais premissas de natureza ontológica (real) e semântica também definidas como **atributos**, deverão ser alvos de estratégias de quantificação, que visam normatizar e conferir caráter objetivo à sua observação.

Inicialmente, pode-se verificar que algumas questões relativas a falhas de interpretação do processo decisório, se iniciam pela dificuldade de interpretar variáveis qualitativas, já que as mesmas estão sujeitas aos modelos mentais particulares de cada agente.

Determinação de métricas são fundamentais para o reconhecimento de variáveis e das relações entre elas, que qualificam o fenômeno ou objeto de estudo de forma universal, contornando o problema da parcialidade do modelo mental do agente.

A comparação de atributos componentes de um objeto e seu posicionamento em escalas ordinais ou cardinais, é um recurso utilizado pela pesquisa qualitativa (PEREIRA, 1999), que objetiva atribuir elementos de ponderação sobre esses atributos.

Dessa forma, a estratégia de mensuração do objeto, variáveis e atributos qualitativos visam dar forma a elementos componentes do modelo

mental do agente, tornando possível a comparação entre os modelos mentais de outros agentes especialistas, reduzindo a ocorrências de redundâncias ou conflitos.

Segundo GOMES, GOMES & ALMEIDA (2002), os problemas de decisão podem ser discretos, quando existem alternativas finitas e contínuos, quando as alternativas de solução são infinitas.

Os métodos para soluções contínuas são também denominados métodos de otimização multicritério, ou métodos iterativos, e compreendem basicamente métodos de programação matemática com mais de uma função-objetivo, segundo STEUER (1988), citado por GOMES, GOMES & ALMEIDA (2002).

O conjunto de variáveis determinados por um conjunto de decisores é finito, e, conseqüentemente, alinha-se à classe de métodos multicritério para conjuntos discretos (BAPTISTA, 2000).

Entre os métodos multicritério especialmente desenvolvidos para conjuntos discretos de alternativas, destaca-se o AHP- *Analytic Hierarchy Process* (SAATY, 1994)

2.2.4.1 O AHP (Analytic Hierarchy Process)

Consiste de uma técnica de análise multiatributo para conjuntos discretos desenvolvida por SAATY (1991) que busca reproduzir a maneira pela qual a mente humana conceitualiza e estrutura um problema complexo. O método natural de funcionamento da mente humana, visto anteriormente, quando se defronta com um grande número de elementos, controláveis ou não, que abrangem uma situação complexa, é agregá-los em grupos, segundo propriedades comuns,

de forma comparativa, para que seja possível identificar relações paritárias, para em seguida sintetizar todo o processo, chegando à conclusão (MORIN, 1991).

O propósito do método é a construção de um modelo hierárquico com até três níveis de análise: objetivo, critérios e alternativas.

Segundo SCHMIDT (1995), O AHP fundamenta-se pelos seguintes axiomas:

Axioma 1: Comparação recíproca - o agente deve ser capaz de fazer comparações e manifestar a força de suas preferências. A intensidade dessas preferências deve satisfazer a condição de reciprocidade: se A é n vezes mais preferível que B , logo, B é $1/n$ vezes mais preferível que A .

A não ocorrência deste axioma, evidencia que a pergunta usada para comparação de pares, não foi correta. Neste caso, a pergunta ou os níveis hierárquicos devem ser reavaliados.

Axioma 2: Homogeneidade - As preferências são representadas pelo princípio de uma escala limitada.

O não cumprimento deste axioma indica que os elementos que estão sendo comparados não são homogêneos e os grupos precisam ser reavaliados. Este axioma restringe o limite superior da escala que é 9. Se os elementos a serem comparados não pertencem a um grupo homogêneo, não existe comparabilidade

Axioma 3: Independência - Quando as preferências são declaradas, necessariamente os critérios deverão ser independentes das propriedades das alternativas.

Este axioma determina que os pesos de cada critério devem ser independentes das alternativas consideradas. Critérios dependentes de alternativas “viciariam” tais alternativas, preterindo qualquer outra.

Axioma 4: Expectativa - Para a proposta de tomar uma decisão, é necessário que a estrutura hierárquica esteja completa.

Se este axioma não for satisfeito, então o agente não está usando todos os critérios e/ou todas as alternativas avaliáveis ou necessárias, para encontrar suas expectativas racionais, e assim a decisão é incompleta.

Uma vez construído o modelo hierárquico, realizam-se comparações de pares (*parwise*) entre os pontos de vista, atribuindo-se valores numéricos às preferências determinadas pelos agentes, sintetizando-as em autovetores, mediante agregação dos juízos parciais de cada agente.

A quantificação dos julgamentos é feita utilizando-se uma escala de valores que varia de 1 à 9 (igual, fraco, forte, muito forte, absoluta e, valores intermediários) (TABELA 2.1), determinada por SAATY(1994).

TABELA 2.1 – Escalas de Julgamento

| Valor | Definição |
|----------|--|
| 1 | Elementos iguais |
| 3 ou 1/3 | Fraca importância de um elemento sobre outro |
| 5 ou 1/5 | Importância forte de um elemento sobre outro |
| 7 ou 1/7 | Importância muito forte de um elemento sobre outro |
| 9 ou 1/9 | Importância extrema de um elemento sobre outro |
| 2,4,6,8 | Valores intermediários entre dois julgamentos adjacentes |

Fonte: SMITH, 1995, p.41

Os resultados das comparações são apresentados da seguinte forma matricial:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ \frac{1}{a_{12}} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{1}{a_{1n}} & \frac{1}{a_{2n}} & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

Devendo ainda atender as seguintes condições:

$$a_{ij} = \alpha$$

$$a_{ji} = 1/\alpha$$

$$a_{ii} = 1$$

Onde:

α = comparação paritária entre os critérios

α = valor da intensidade da importância

A resolução da matriz A resulta no auto-vetor de prioridades, o qual expressa as importâncias relativas de cada critério, ou pesos. A forma mais recomendada de cálculo (SAATY, 1991) consiste em se elevar a matriz a potências arbitrariamente altas, dividindo-se a soma de cada linha pela soma dos elementos da matriz, ou seja, normalizando-se os resultados; isto resulta no auto-vetor de prioridades para ordenação e esta operação deve ser repetida até que a diferença entre o resultado normalizado da última operação seja bem próximo do resultado da operação precedente (ex.: diferenças pequenas após a terceira casa decimal).

De posse das importâncias relativas dos critérios, testa-se a integridade dos julgamentos, calculada por um índice de inconsistência.

Caso o índice de inconsistência seja maior que 0,10 (SAATY, 1991) o agente ou grupo de agentes é encorajado a rever seus julgamentos, buscando torná-los consistentes; esta consistência é atingida com um índice menor ou igual a 0,10.

Assim, estabelece-se um relacionamento entre as variáveis determinadas pelo juízo de valor de cada agente, tornando mais clara e menos subjetiva a avaliação a partir de seus modelos mentais, trazendo aos demais agentes, elementos passivos de análise e conseqüente aprendizado conjunto.

O aprendizado gerado pelos modelos mentais compartilhados, permite aos agentes a ponderação sobre variáveis pertencentes aos objetos imediatos de outros agentes, em comparação ao seu. O emprego de análise multicritério permite a avaliação dos pontos de vista individuais entre si e em

relação ao objetivo geral, tornando possível a construção de um modelo compartilhado de pensamento, a partir de elementos de Dinâmica de Sistemas (ZAMBON, 2003).

2.3 Considerações sobre o capítulo

Este capítulo abordou a complexidade dos sistemas organizacionais e a necessidade, para seu entendimento global, de um conhecimento multidisciplinar e vasto. Enfatiza-se a necessidade de formação de equipes multidisciplinares em virtude da amplitude do conhecimento necessário à gestão competitiva dessas organizações.

A revelação da estrutura profunda do pensamento pela utilização de métodos de lingüística, como semiótica, pode contribuir para que os agentes que atuam dentro de um mesmo espaço de análise, possam estar mais sintonizados entre si, a partir de um modelo mental compartilhado. Esse modelo, criado a partir dos modelos individuais relacionados entre si, apenas poderá ser organizado pela avaliação de estruturas similares, que são evidenciadas por uma análise multicritério.

Esse modelo multidisciplinar e interdisciplinar será a base para atividades preditivas, utilizando simulação, que poderão ser desenvolvidas em grupo, de forma relacionada, garantindo uma melhor avaliação dos sistemas complexos. No Capítulo subsequente, apresenta-se a metodologia de Dinâmica de Sistemas, que contribuirá com o método de simulação requerido nas atividades preditivas aludidas acima.

3 DINÂMICA DE SISTEMAS

As organizações encontram-se em um ambiente de elevada competição e operam sob uma complexa rede de transferência de informações.

Em virtude dessa complexidade, tentam construir uma base sólida de conhecimento organizacional, com características multidisciplinares, que são acessadas por grupos de especialistas. Esses grupos de especialistas, para atingirem o objetivo da organização, que também é complexo, devem ter seus modelos mentais organizados sob forma de um único modelo compartilhado de ações, que garante a interdisciplinaridade das ações. A partir de considerações de que a semiótica torna possível a revelação de representações mentais profundas, busca-se reorganizar esses modelos particionados em um modelo compartilhado, pela verificação de padrões de similaridades e, conseqüentemente, de intersecções, que passam a ser avaliadas a partir de uma ótica sistêmica.

3.1 Raciocínio sistêmico e retroalimentação da informação

Uma organização é um sistema complexo, com uma quantidade incontável de subsistemas interdependentes. Para que a correta interpretação desse sistema complexo seja possível, situando-o no macroambiente, é necessária a utilização do Raciocínio Sistêmico.

Segundo SENGE (1998, p.75): *"O raciocínio sistêmico é uma disciplina para ver o conjunto, uma estrutura para ver inter-relações em lugar de coisas, para ver padrões de mudança em lugar de 'instantâneos' estáticos"*.

Em um sistema de realimentação de informação, os dados sobre o

passado disponíveis no momento atual são as únicas informações que se utiliza para decidir qual será a próxima ação.

Para ampliar a possibilidade de acerto na decisão, é desejável que os agentes decisores tenham condições de se manifestarem sobre o problema, a partir da declaração de seus modelos mentais, de forma compartilhada, objetivando agregar dados no sentido de ampliar o conjunto de variáveis que representam o cenário de estudo.

Muitas variáveis declaradas por agentes podem ser de natureza semelhante. Outras, podem ser de natureza conflitante. A determinação dos pesos relativos de todas as variáveis auxiliam na construção de um conjunto capaz de revelar as influências mútuas, auxiliando na composição do raciocínio ou pensamento sistêmico. Posicionadas em um único plano, todas as variáveis idealizadas pelo conjunto de agentes, revelarão a influências e amplitude de ações e reações relativas ao objeto de análise.

As possibilidades de construção e análise de modelos dependem muito das ferramentas disponíveis para descrevê-los. A forma universalmente aceita para representação de modelos qualitativos em Dinâmica de Sistemas (FORRESTER, 1972) são os diagramas de círculos de causa-efeito (STARR, 1980).

3.1.1 Diagramas de causa-efeito

A modelagem qualitativa realizada em Dinâmica de Sistemas, compreende descrições verbais e de diagramas de causa-efeito (OSSIMITZ, 2005).

Emprega-se diagramas de causa-efeito visando descrever possíveis cenários de negócios, com o objetivo de mostrar a relação de influências existentes entre as variáveis componentes do sistema, fundamentadas no conhecimento especialista dos agentes, o que atribui confiança à interpretação global do processo administrativo, e conseqüente suporte à decisão coletiva. Apenas dessa forma, o modelo de dinâmica de sistemas poderá ser considerado como válido.

Dado que seja possível construir um modelo válido, será possível introduzir políticas de controle e alavancagem. A possibilidade de construção de um modelo fidedigno depende, além da concepção de um modelo compartilhado de pensamento dos agentes especialistas, também da metodologia empregada na construção desse modelo sob a forma de um modelo simulado (FLOOD e JACKSON, 1991).

Elementos que auxiliem na padronização de signos representativos dos objetos imediatos individuais, assim como nos critérios e pontos de vista de cada agente, são indispensáveis para uma correta representação do modelo mental compartilhado.

No modelo mental compartilhado são descritas as variáveis julgadas pelos agentes como importantes para o processo de tomada de decisão.

O diagrama de causa-efeito da FIGURA 3.1 pode ser entendido seguindo o *loop* no sentido horário. Procura-se demonstrar que o estado do sistema, deriva de escolhas feitas por seus agentes. O **D** no vínculo de **Escolha**, define que normalmente há uma demora significativa entre uma escolha e o seu efeito. A subscrição do **D**, faz simplesmente lembrar, que as demoras nas diferentes fases, podem ser diferentes. O próximo passo é que o **Estado** é conhecido aos controladores do sistema, ou seja, as condições e peculiaridades com que os fatos se desenvolvem costumeiramente. Porém, haverá uma demora para que se perceba e se aceite tais conseqüências, que por vezes, é diferente do que havia sido planejado pelos agentes decisores. Este conhecimento conduz então, a uma demora para escolha das novas ações.

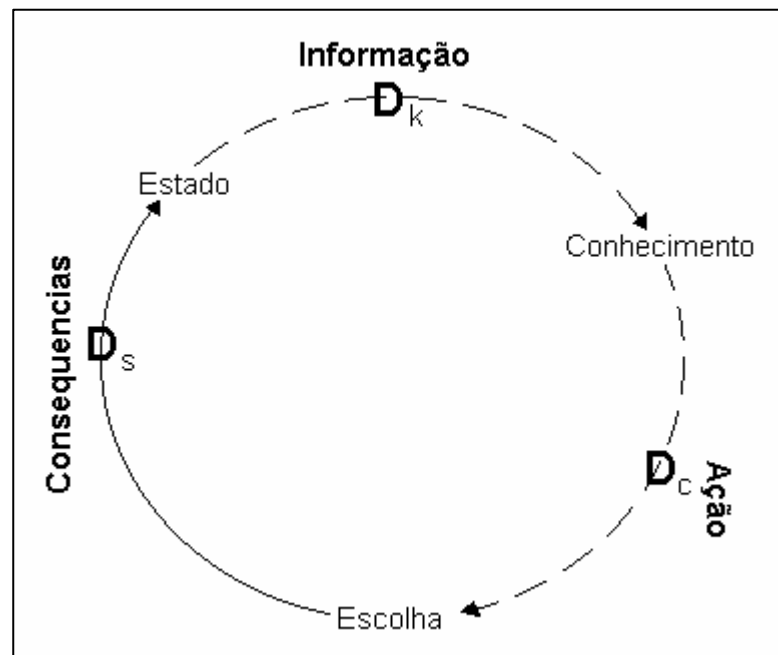


FIGURA 3.1 – Relação de causa-efeito das variáveis dos sistemas complexos organizacionais.

Fonte: COYLE, 1996, pg.4.

As palavras ao redor e na extremidade exterior, enfatizam o paradigma de informação/ação/conseqüência. A sucessão desses três componentes representa, conforme o tempo passa, a dinâmica do comportamento organizacional. Este estado mudará continuamente com o passar do tempo e o padrão de comportamento dependerá de quanto a informação é confiável e como são afinadas as interações entre um e outro e de que modo e com que particularidades as conseqüências surgem no sistema.

O segundo ponto sobre a FIGURA 3.1 é que o *loop* central é uma cadeia fechada de causa e efeito na qual é alimentada informação sobre o resultado de ações passadas para gerar ação adicional. Estes *loops* ou *feedbacks* constituem o elemento central da teoria do controle da engenharia e de dinâmica de sistemas.

As linhas pontilhadas para informação e ação na FIGURA 3.1 implicam que estas partes de um sistema são capazes de serem mudadas. Quando um modelo é analisado, *loops* podem ser excluídos ou incluídos, e é esta facilidade de representação de sistemas que faz da dinâmica de sistemas uma metodologia viável para representar modelos mentais, que também são dinâmicos.

Sistemas complexos podem ser representados por *loops* de realimentação. Porém, há dois tipos de *loops* de realimentação: *loops* de declínio, ou *loops* negativos, e *loops* de crescimento ou positivos.

3.1.1.1. Realimentação positiva e negativa

A diferença entre os *loops* positivo e negativo é fundamental para a interpretação do comportamento dinâmico. A forma tradicional de um *loop* negativo é mostrada na FIGURA 3.2.

A idéia essencial de realimentação negativa é que, quando há uma diferença entre o estado atual e o desejado do sistema, são geradas ações sob a influência das políticas do sistema, para tentar eliminar a diferença. O *loop* busca a meta havida entre a condição desejada e a atual e a qualidade do desempenho do sistema é avaliada como um todo considerando a passagem de tempo.

Nota-se que quase sempre há uma demora antes da ação que foi iniciada ser completada, e é a ação completada que afeta o estado atual do sistema.

As linhas contínuas do diagrama representam as partes de conseqüências do paradigma e linhas tracejadas representam realimentação de informação e a geração de ações.

A realimentação negativa deveria produzir uma reação de estabilidade contra choques externos, sendo que discrepâncias deveriam ser eliminadas suavemente dentro de um período de tempo. De fato, a menos que as políticas sejam adequadamente projetadas em relação às conseqüências no sistema, o *loop* pode não ter sucesso, gerando uma discrepância, que pode oscilar entre níveis muito altos e muito baixos. Em casos extremos, as oscilações podem se tornar progressivamente maiores.

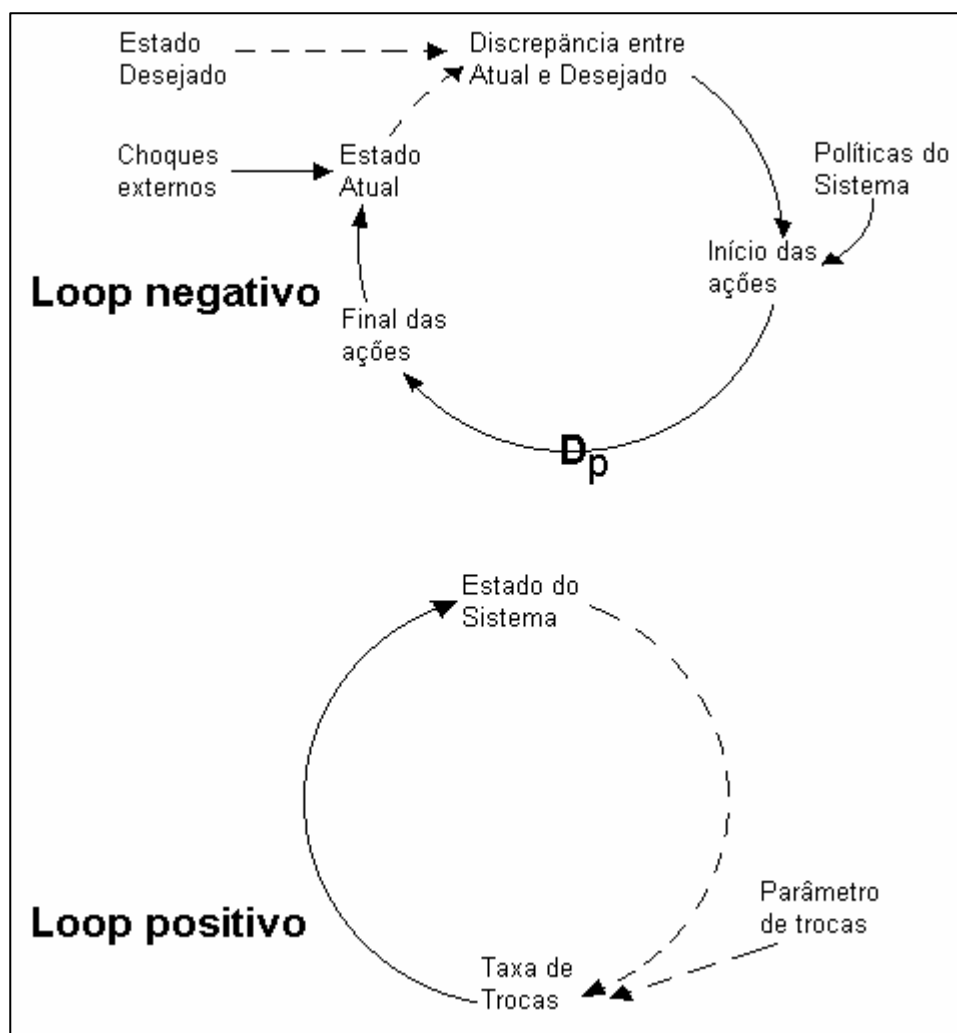


FIGURA 3.2 – Estrutura de loops positivo e negativo
 Fonte: COYLE, 1996, p.7.

Por outro lado, a realimentação positiva age como um mecanismo gerador de crescimento. O estado do sistema cresce continuamente, como um efeito de bola de neve, representado pela taxa de mudança. Este círculo é chamado de círculo virtuoso, ao invés do círculo vicioso que surge quando o equilíbrio fica negativo, reduzindo níveis de ações (FIGURA 3.2).

A realimentação positiva é bastante comum em sistemas administrativos, representando um termômetro de crescimento.

3.1.1.2.Limitações para utilização de diagramas de causa-efeito

É necessário, no entanto, que sejam tomados cuidados no emprego de diagramas de causa-efeito como instrumentos de análise, considerando que sua construção não é integralmente normatizada a partir dos conceitos gerais retro apresentados. Tais conceitos não são plenamente consistentes - em termos de mudanças de variáveis – pois as definições tradicionais de *links* positivos e negativos em diagramas de *feedbacks* não são aplicáveis a pelo menos um link na maioria dos diagramas possíveis de serem levantados para interpretação da dinâmica de qualquer sistema (RICHARDSON, 1986). Por exemplo, em um diagrama de feedback, envolvendo população e nascimentos por ano, o link de nascimentos para faltas de população tem por definição tradicional que, uma diminuição em nascimentos por ano não resultará em uma diminuição em população. Um exemplo possível de *feedback* negativo é representado por um copo d'água e seu conteúdo. O *link* da taxa de fluxo de água para o nível do copo derruba a definição tradicional, pois uma diminuição no fluxo de água não produzirá uma diminuição no nível da água contida no copo.

Esses exemplos deixam claro que as definições tradicionais de *links* positivos e negativos falham em uma considerável variedade de casos.

A razão desses links serem incompatíveis com as definições tradicionais é que cada um representa uma conexão que considera um nível físico, enquanto que tais definições só são aplicáveis a links de informação. Para conservar o fluxo, a variável do final da seta, representa a taxa de troca (derivada) da variável situada na ponteira da seta. Em alguns círculos causa-efeito,

mencionados, a variável no final da seta somente representa a parte positiva ou negativa da derivada, por exemplo, nascimentos por ano, mortes por ano, e assim por diante, mas a importância da observação permanece a mesma (ZAMBOM & ACCIOLY, 1998).

3.1.2 Modelos mentais

Durante o processo de educação e aculturação, ao indivíduo são repassadas informações úteis na vida em grupo, assim como valores imaginários que constituem o senso comum da sociedade. Na fase adulta, um novo volume de condicionamentos ideológicos e técnicos, que o próprio indivíduo se impõe, consolida a personalidade, o senso pessoal e o conhecimento especialista, que em conjunto, determinam limitantes para o pensamento individual, constituindo o conhecimento.

A visão de mundo resulta condicionada por esses limitantes. O cognitivismo intelectual, comparativo, por reflexos condicionados, organiza os pensamentos e, estes, os sentimentos. O intelecto, dessa forma, se limita ao saber "instrumental", útil nas relações pontuais, tais como o conhecimento especialista, científico e profissional (BALLONE, 2003).

Para que seja possível avaliar situações pontuais, o indivíduo fraciona a realidade, que é mais complexa, e, depois de fracionar o evento para interpretá-lo, o intelecto tenta recompor seu sentido global por meio de modelos

mentais. Todavia, ao decompor-se o processo de sentido integral, corre-se o risco de destruição de sua "organicidade".

Nossa maneira de interagir com o mundo está ligada à existência de modelos mentais, conforme afirma GLASERSFELD (1995), citado por OSSIMITZ (2004), assim, só podemos pensar de acordo com nossos quadros e visões do mundo que necessariamente são modelos do próprio mundo.

Define-se modelo como uma representação da realidade (MURAKAMI, 2003). Realidade, entretanto, é algo subjetivo e depende diretamente da capacidade de interpretação humana (BALLONE, 2003), que por sua vez, se referencia ao conhecimento construído pelo indivíduo.

Segundo JUNG (2000), conhecimento é crença verdadeira e justificada porque, ao menos, concede a impressão de que para conhecer algo é necessário que se acredite nele, que a crença deve ser verdadeira, e que a razão para a crença existir deve ser satisfatória à luz de algum critério - pois não seria válida a afirmativa sobre uma realidade, se a razão para acreditar fosse arbitrária ou aleatória. Assim, cada uma das três partes da definição parece expressar uma condição necessária para o conhecimento, determinando suficiência, se utilizadas em conjunto.

Nas organizações complexas, agentes especialistas que atuam conjuntamente em um mesmo espaço, podem apresentar propostas concorrentes, no sentido de solução de problemas comuns, sendo que apenas uma poderá ser implementada. Mesmo propostas conjuntas, que visam acrescentar mais condições de uma ação atingir o objetivo planejado, ou mesmo para estabelecer um enunciado melhor para uma definição posta, colocam em risco a afirmativa.

Partindo-se do pressuposto de que cada agente envolvido em um processo de avaliação conjunto constrói um significado particular para o objeto de análise, mesmo que exista um objetivo conjunto, os modelos mentais diferentes podem gerar muitas soluções “verdadeiras” e não apenas uma, como seria esperado.

Assim, acreditar que exista um agente detentor da verdade absoluta em um sistema complexo, corresponderia a dizer que sempre esses agentes acertariam suas decisões, não importando o quanto complexo fosse o sistema.

Os argumentos céticos sugerem que afirmativas devem ser incessantemente testadas para serem julgadas confiáveis e que propostas podem ser limitadas se fundamentadas na parcialidade, na limitação da sensorialidade e na distorção intuitiva do decisor, em uma estrutura de reflexão, também denominada de metacognição.

O modelo mental é a estrutura pela qual o agente especialista interpreta a organização complexa, através da aproximação que realiza do contexto avaliado e do nível de especialização de seu conhecimento. Tais interpretações e aproximações sofrem uma decomposição e estruturação linguística, que pode ocultar em sua estrutura, padrões importantes e não revelados do pensamento.

Modelos mentais precisam ser dotados de elementos que desenvolvam no grupo de agentes, a capacidade metacognitiva que necessitam para reavaliarem seus modelos mentais individuais, convergindo para um modelo mental compartilhado, mais próprio à avaliação de um cenário.

MORECROFT (1992) comenta que as organizações têm se ocupado em interpretar os modelos mentais de seus gerentes, o que tem feito emergir algumas questões básicas de discussão:

- i. Modelos que restringem menos as ações dos componentes do grupo são mais susceptíveis de aceitação e utilização pelo grupo;
- ii. Modelos compostos por ações que nivelam o pensamento dos componentes do grupo, são melhor aceitos pelo grupo;

Assim, verifica-se a necessidade de discussão e construção de modelos, pois é a partir das discussões sobre a construção que emergem os comportamentos individuais, compostos das percepções de “mundo” e as contradições em relação a essa realidade (ROSENHEAD,1989)

Modelos mentais são tidos como instrumentos de apoio ao processo cognitivo e estruturação de problemas em grupo e base para a construção de modelos simulados de dinâmica de sistemas (MORECROFT, 1992)

Em algumas circunstâncias, esses modelos podem ser representados por diagramas de causa-efeito, que têm a função de ativar o conhecimento da equipe, objetivando sua estruturação e aquisição. Em outras circunstâncias, eles são estruturas que auxiliam na organização e filtragem do amplo conhecimento que pode ser manifestado por alguns integrantes da equipe, promovendo o nivelamento de todos, a partir do aprendizado gerado pela leitura de resultados, gráficos e tabelas, obtidos por simulação.

A FIGURA 3.3 mostra, ao lado direito, o conhecimento – modelos mentais – da equipe de agentes especialistas. Dentro de cada retângulo, os pontos representam uma grande lista de fatos empresariais que uma pessoa experiente poderia possuir: dados de concorrentes, segmentos de mercado, produtos, tendências de demanda, canais de distribuição, etc.

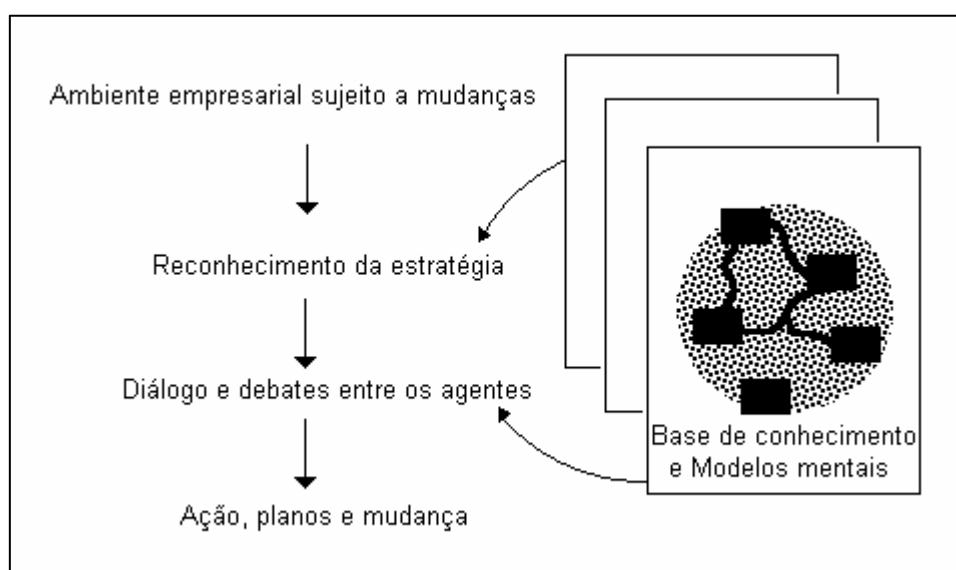


FIGURA 3.3 :Mudança estratégica, modelos mentais e debate
Fonte: MORECROFT, 1992, p.11

Os retângulos menores representam conceitos instruídos (educação formal ou experiência), como vantagem competitiva, ciclo de vida do produto, análise financeira de investimento, etc. Poderiam também representar percepções de fatores sociais e políticos como coalizões e procedimentos em negociações.

Verifica-se que esse conhecimento é, de fato, bastante extenso (FORRESTER, 1961) e moldado durante a carreira do agente.

Segundo JOHNSON (1987), uma representação matemática, uma estrutura legal, uma norma econômica ou um algoritmo de computador são representações mentais que servem para dizer como algo deve ser feito.

O modelo mental, segundo NORMAN (1976), é uma cadeia de fatos e conceitos que contém uma interpretação particular sobre um fenômeno, interpretado por um agente de forma individual.

MORECROFT (1992), aponta uma perspectiva de mudanças estratégicas, face à tradução do conhecimento corporativo em modelos mentais, que são pontuadas:

- i. Mudança estratégica é o resultado de um processo de diálogo e debate entre os agentes detentores do poder de decisão sobre a ação;
- ii. Modelos mentais compartilhados do grupo de gestão contêm a estrutura da mudança estratégica pelo debate e compreensão do tema, o que conduz aos planos de ação;
- iii. Os modelos mentais compartilhados são cadeias de fatos que, fundamentados em experiência, imitam a realidade da qual os agentes derivam opiniões sobre assuntos estratégicos, possíveis cursos de ação e resultados prováveis;
- iv. A qualidade dos planos de ação depende diretamente da suficiência e fidedignidade (no sentido de representar a realidade) dos modelos mentais compartilhados que é reflexo do comprometimento dos participantes;
- v. Uma das mais importantes funções das reuniões de equipe de gestão, é ativar o conhecimento dos participantes.

Teoricamente, determinar a necessidade de se incluir em um modelo variáveis como “negociação”, soa como válido em termos de modelagem qualitativa. Entretanto, a visão que se possui sobre modelagem é a falta de familiaridade na abordagem de variáveis não quantificáveis por processos matemáticos convencionais. Segundo MORECROFT (1992), a Dinâmica de Sistemas, inclui três elementos fundamentais para tratar tais questões:

- i. Mapeamento cognitivo
- ii. Estrutura cognitiva
- iii. Micromundos

A FIGURA 3.4 identifica a introdução desses elementos na representação no modelo.

Na região inferior direita da FIGURA 3.4, posiciona-se o MAPEAMENTO, que se conecta ao conhecimento dos agentes. MAPEAMENTO inclui formas diferentes de representar o que uma equipe sabe sobre a Organização. Mapeamentos simples podem ser realizados através de palavras-chave, com vínculos, conforme se propõe a partir da utilização de semiótica e análise multicritério.

O mapeamento está incluído em um retângulo sombreado que combina-o com CONCEITOS E TEORIAS, que tem como objetivo caracterizar a necessidade da mediação entre a prática e a teoria.

Esse composto perfaz a ESTRUTURA COGNITIVA que deve capturar o conhecimento dos agentes, organizando-o e filtrando. Nesse processo,

algumas idéias podem não se ajustar às restrições da ESTRUTURA COGNITIVA, podendo ser descartadas.

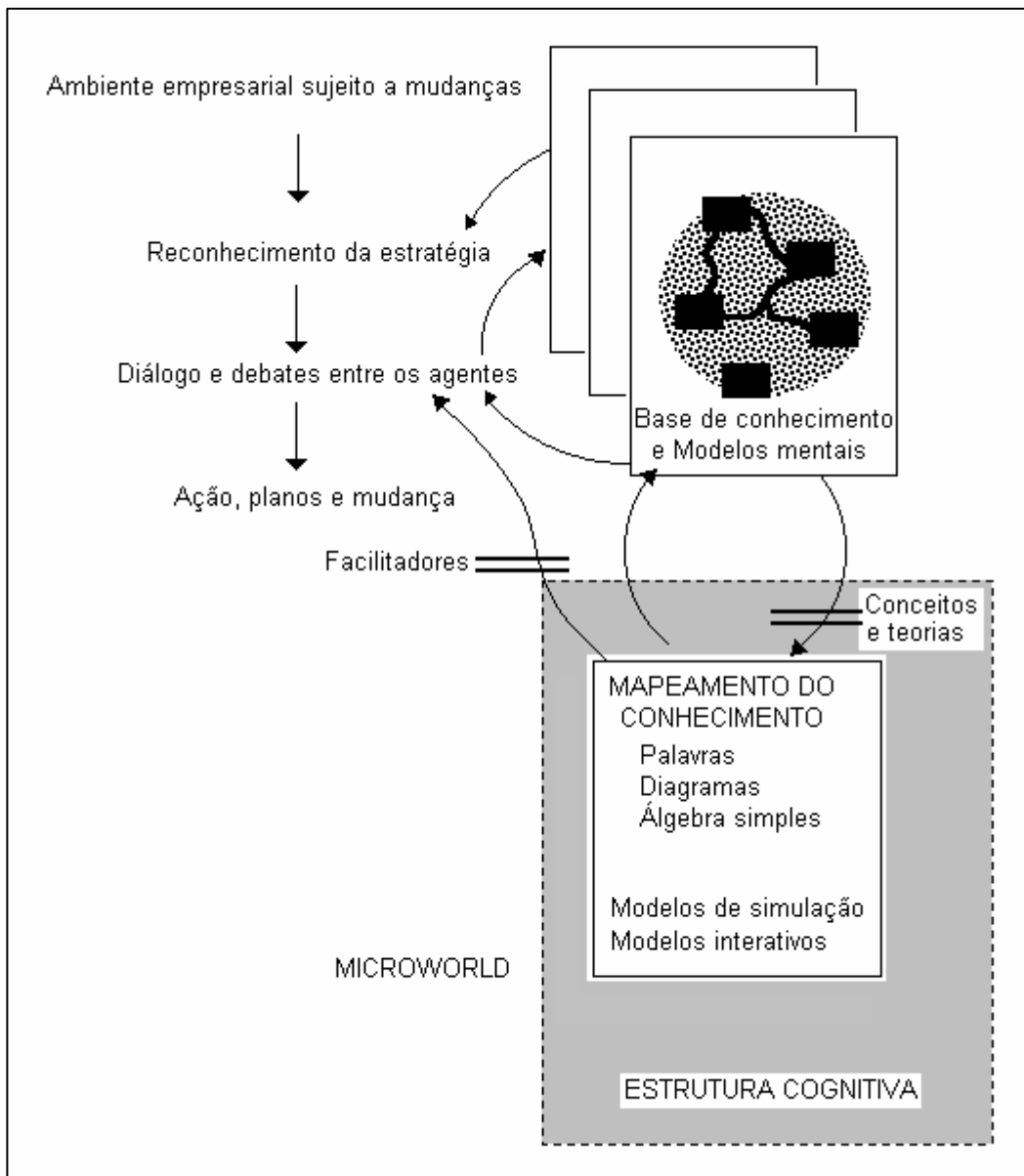


FIGURA 3.4: Mapeamento do conhecimento, estrutura cognitiva e micromundos

Fonte: MORECROFT, 1992, p. 14

A simulação realizada por meio de *softwares* aplicativos combina o MAPEAMENTO e a ESTRUTURA COGNITIVA. Utilizando-se regras para a

ligação de elementos e números, determinam-se as restrições, imitando a forma de organização desses elementos na base de conhecimento humana, dando origem a um MICROMUNDO.

O Micromundo nada mais é do que a reprodução do ambiente de conhecimento que contém todas as palavras e conexões do diagrama concebido, filtradas e organizadas.

A palavra Micromundo foi utilizada originalmente por PAPERT (1987) e deve representar o conjunto de palavras, diagramas, modelos simulados e suas inter-relações, que são capazes de exprimir o mundo sob a ótica do observador.

O Micromundo representado na FIGURA 3.4 serve aos testes dos conceitos e teorias propostos pela base de conhecimento especialista (modelos mentais) pois se forma pelas proposições desses modelos mentais. Revelados os modelos mentais para composição do Micromundo, este servirá de base para diálogos e debates a partir dos cenários que poderão ser formados pelo conhecimento nele contido.

3.1.3 Modelos mentais e decisão

Nesse contexto, o ambiente organizacional é visto como uma coleção de agentes decisores, dos quais devem ser extraídas decisões e ações conjuntas, logo, cada agente é representado por uma função de decisão, com *inputs* de informação e *outpus* (resultados), que representam informação ou ação. Um micromundo, que se refere à base de conhecimento especialista, revela como

os agentes interagem com as ações e o tempo e como mudanças nas políticas implementadas afetariam o desempenho da organização.

A ponderação dos agentes especialistas sobre contexto é submetida ainda no âmbito das ações, planos e mudanças (FIGURA 3.4), é submetida a filtros (MORECROFT,1992), que atuam na depuração da informação em cinco níveis, conforme é possível verificar na FIGURA 3.5.

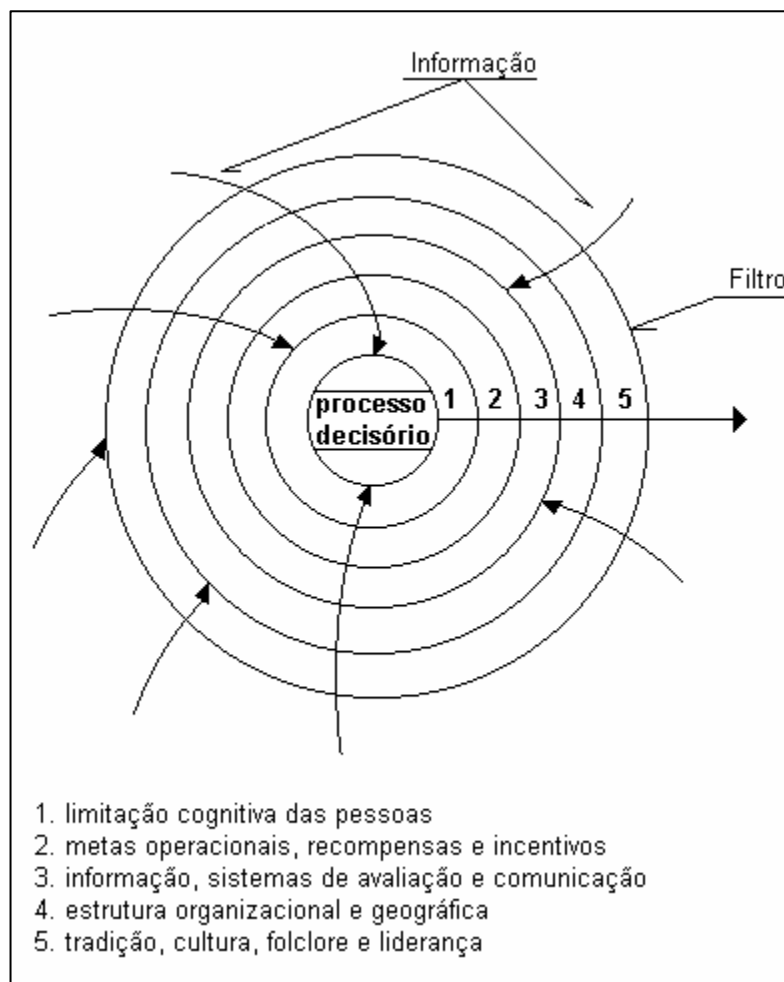


FIGURA 3.5: Políticas de apoio à decisão
 Fonte – MORECROFT, 1992, p. 18

A FIGURA 3.5 representa uma estrutura de filtros de informação do processo de tomada de decisão através de seis círculos concêntricos, enquanto que os vetores curvos representam a informação que flui para o processo decisório. O vetor reto representa a produção da decisão.

3.1.4 O modelo simulado

O processo de simulação se utiliza de um tipo de representação gráfica particular. Nos diagramas utilizados pelos *softwares* aplicativos de simulação de Dinâmica de Sistemas, os FLUXOS são também chamados de taxas. Esses FLUXOS conectam-se a elementos principais chamados de ESTOQUES ou Níveis. Um ESTOQUE consiste de uma quantidade que muda dinamicamente. O que caracteriza um Estoque é a propriedade de, no caso hipotético de uma parada no tempo, esse seria o único elemento que continuaria possuindo valor, dado que é um acumulador.

Um “T” é um FLUXO que contribui para a ocorrência da mudança. Um círculo simboliza um AUXILIAR, uma nuvem simboliza uma FONTE e um círculo seccionado simboliza uma constante. O diagrama contido na FIGURA 3.6 pode ser interpretado como sendo um nível de Estoque que é aumentado por um Fluxo de produção industrial e é diminuído pelas entregas realizadas aos clientes. Se o Estoque começa a diminuir, isso significa um aumento da demanda, que conseqüentemente deveria conduzir a um aumento do fluxo de manufatura. Isso permitiria ao nível de Estoque retornar ao desejado (constante).

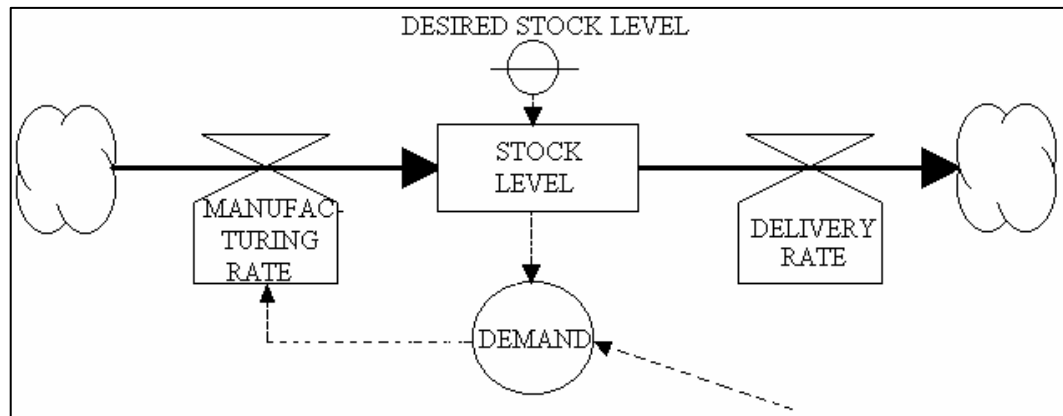


FIGURA 3.6 - Diagrama de *Dinâmica de Sistemas* - representação de um nível de estoque

Fonte: FLOOD e JACKSON, 1991, p.69.

A lógica desse sistema pode ser representada pelo diagrama da FIGURA 3.7, onde se considera que **F** é o Fluxo, a quantidade de algo no fluxo, que evolui em um período de tempo. **E** é o Estoque, a acumulação de Fluxos somadas a uma quantidade inicial. **A** é uma variável Auxiliar. Auxiliares são usados para distribuir Fluxos em partes manejáveis, converter Fluxos de uma determinada espécie em outra e fornecer informações para controle de Fluxos. As regras dessa lógica são as seguintes:

- Um Estoque em um *loop* só pode ser precedido por um Fluxo;
- Um Estoque pode ser seguido por um auxiliar ou um Fluxo;
- Um Auxiliar pode ser seguido por outro Auxiliar ou um Fluxo;
- A um Fluxo deve se seguir um Estoque;
- Um Estoque pode não afetar outro Estoque diretamente.

Na formalização da modelagem em Dinâmica de Sistemas, há uma regra simples, proveniente da teoria de realimentação de informação, para conexão dos símbolos na FIGURA 3.7, culminando em uma estrutura de políticas e ações. A seqüência da conexão é: nível – informação (ou influência) – política da função – ação – nível. Esta é uma clara representação de realimentação.

Quais possibilidades podem trazer uma estrutura de símbolos, conexões e regras para apoio à decisão em grupo? Ocorre que, uma vez que o mapa é criado e preenchido com os enfoques dos agentes, torna-se tangível para possibilitar uma discussão sobre a estrutura operacional. Além disso, esses mapas podem ser convertidos, a partir de elementos algébricos, em modelos de simulação. Podem ser utilizados para estudo de cenários por um grupo de agentes, objetivando o debate e as implicações de mudanças de políticas, vinculando o desempenho estratégico de uma organização empresarial à sua estrutura operacional.

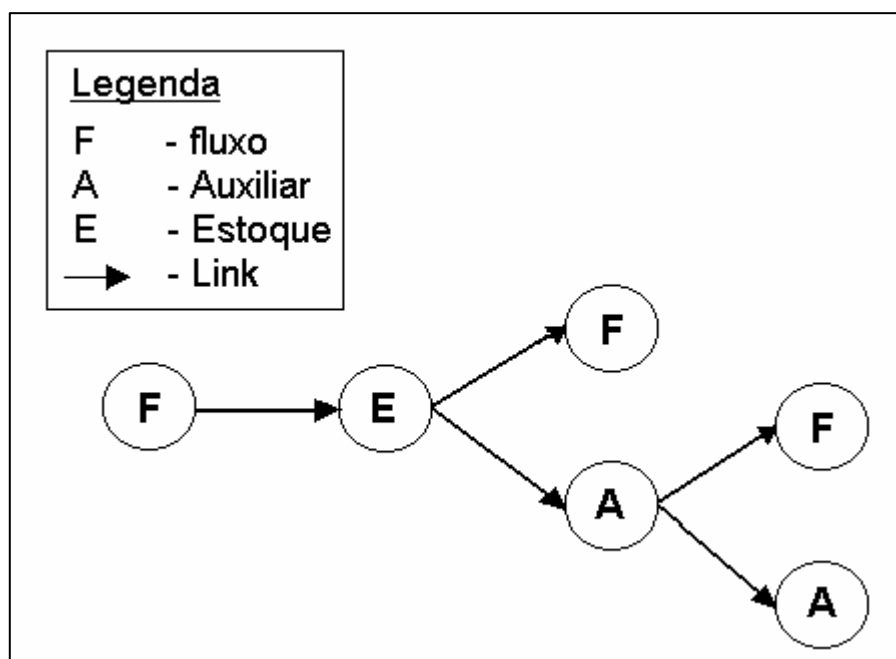


FIGURA 3.7 - Regras de modelagem de *Dinâmica de Sistemas*
 Fonte: FLOOD e JACKSON, 1991, p.70.

3.2 Testes de validação

Para que possa ser validado, um modelo simulado em Dinâmica de Sistemas, precisa ter sua Hipótese Dinâmica (HD) aceita.

RICHARDSON e PUGH (1981) definem o conceito de HD como “*Uma teoria que explicitamente articula como a estrutura e as políticas de decisão geram um determinado comportamento é chamada de dynamic hypothesis*”. Verifica-se que essa teoria objetiva demonstrar o comportamento dos modelos simulados como sendo “*uma consequência exógena de uma estrutura de feedback*” (STERMAN, 2000, p.86).

De acordo com BUNGE (1967), uma hipótese bem formulada deve ser i) logicamente confiável, ii) baseada em conhecimento prévio, e iii) empiricamente testável.

A partir da elaboração de um modelo simulado, têm-se uma HD que formalmente demonstra as relações causais entre a estrutura do modelo e seu comportamento.

Conclui-se, portanto, que a validação do modelo proposto, deve conter elementos avaliadores da HD.

Vale ressaltar a diferença entre o termo Validação e Confiança, descritos por FORRESTER e SENGE (1980, p.11):

"The notion of validity as equivalent to confidence conflicts with the view many seem to hold which equates validity with absolute truth. We believe confidence is the proper criterion because there can be no proof of the absolute correctness with a

model represents reality. There is no method for proving a model to be correct."

Dessa forma, não se pode afirmar que modelos desenvolvidos em Dinâmica de Sistemas sejam “válidos”, ou que estejam absolutamente corretos. Entretanto, é possível afirmar que tais modelos podem tornar-se cada vez mais confiáveis, à medida que são estruturados a partir de um modelo mental compartilhado obtido por meios fidedignos e, que a engenharia do modelo simulado seja submetida gradativamente a inúmeros testes, com o objetivo de avaliação de confiabilidade.

Existem incontáveis trabalhos esparsos que abordam a questão de validação e testes de confiabilidade em modelos de Dinâmica de Sistemas, sem, no entanto, existir um procedimento padrão, universalmente aceito.

Considerando essa dificuldade, foi desenvolvida uma extensa revisão de inúmeros autores, de reconhecida relevância, que culminou na extração de uma coleção dos procedimentos mais consistentes, sob os aspectos estatístico e lógico, que ao mesmo tempo atendessem às recomendações da metodologia de Dinâmica de Sistemas, e as características dos *softwares* aplicativos de simulação dinâmica.

3.2.1 Validação da lógica interna

Os testes de validação da lógica interna são divididos em dois segmentos: o teste de erro mecânico e o teste de robustez. Ambos têm o objetivo de avaliar o modelo em relação à sua arquitetura.

3.2.1.1 Teste de erro mecânico

Consiste em observar e corrigir erros primários, tais como a identificação de um estoque que detêm valores negativos, quando não deve fazê-lo, ou, alguma variável que cresce sem limite algum.

Para conseguir encontrar estas falhas mecânicas estruturais, isola-se e testa-se cada setor do modelo de simulação a partir dos produtos de suas variáveis, utilizando gráficos e tabelas, introduzidas com esse fim específico. Após o teste individual, realizam-se combinações entre setores, e, por fim, o teste de erro mecânico com todo o modelo. Erros mecânicos são verificados visualmente através de comparação de resultados das variáveis estoques, componentes de um setor. Os aplicativos de simulação dinâmica normalmente disponibilizam estatísticas sobre a dinâmica dos valores dessas variáveis, apontando mínimos e máximos obtidos, que podem ser comparados a fim de se identificar possíveis anomalias.

3.2.1.2 Teste de robustez

Consiste em testar o comportamento do modelo, considerando que o mesmo deve ser “robusto”, ou seja, não deve demonstrar comportamento fora do padrão requerido ao sistema quando submetido a condições de *stress* de suas

variáveis. Uma boa forma de estressar um modelo é sujeitá-lo a choques de valor significativos (OLIVA, 2003).

Os testes de robustez devem ser aplicados em todas as variáveis do tipo estoque. Primeiramente isolando cada setor e coletando os resultados dessas variáveis, comparando-os com os resultados requeridos, a partir de tabelas e gráficos. Depois, de forma integrada, com todos os setores presentes.

3.2.2 Validação da hipótese

A validação da Hipótese ou DH tem como objetivo atribuir consistência ao modelo, testando os resultados obtidos pela aplicação do modelo em comparação a resultados reais, extraídos do sistema real (RICHARDSON, 1981). No teste de hipóteses, utilizam-se duas hipóteses: a hipótese nula e a hipótese alternativa. A hipótese nula (H_0) é a hipótese sobre a qual se deve obter evidências para rejeição. A hipótese alternativa (H_1) é a hipótese sobre a qual se deve obter evidências para aceitação. A hipótese H_1 será aceita somente se existirem fortes evidências de que o valor da hipótese nula não é mais correto. Aceitar a hipótese alternativa representa uma posição mais forte que aceitar a hipótese nula, pois são necessárias evidências (BUSSAB, 1995).

O método de Análise de Variância ANOVA (*ANalysis Of Variance*), consiste de um procedimento estatístico de teste de hipóteses para comparação das médias de duas ou mais populações.

O objetivo da análise de variância é decidir se as amostras foram retiradas de populações que têm a mesma média. Se as médias amostrais são

diferentes entre si, existem duas possibilidades: em uma distribuição (F), uma possível fonte de variabilidade é consequência das populações serem realmente diferentes (S_b), a outra, reside no fato de existirem diferenças dentro de cada amostra (S_w). Nesse segundo caso, a dificuldade de conclusão sobre as diferenças é maior.

Considerando que pelas hipóteses da análise, as variâncias das populações são iguais, a hipótese nula afirma que as populações são idênticas, e a hipótese alternativa afirma que existe alguma diferença entre as médias, independente do número de populações que diferem. A distribuição F auxilia na decisão de aceitar ou rejeitar a hipótese nula. O objetivo é obter o valor F observado, dado pela relação:

$$F = \frac{S_b}{S_w}$$

Para o cálculo do método ANOVA, agrupam-se todos os resultados das amostras F no QUADRO 3.1.

QUADRO 3.1 –ANOVA

| | Amostra | Amostra 2 | ... | Amostra k |
|----------------------|----------------|------------------|------------|------------------|
| | $X_{1,1}$ | $X_{1,2}$ | ... | $X_{1,k}$ |
| | $X_{2,1}$ | $X_{2,2}$ | ... | $X_{2,k}$ |
| | ... | ... | ... | ... |
| | $X_{n1,1}$ | $X_{n1,2}$ | ... | $X_{nk,k}$ |
| Média | \bar{X}_1 | \bar{X}_2 | ... | \bar{X}_k |
| Desvio Padrão | S_1 | S_2 | ... | S_k |
| Tamanho | N_1 | N_2 | ... | n_k |

A variância S_w é a soma de todos os quadrados dos desvios das observações com relação às suas próprias médias:

$$S_w = \frac{\sum_{i=1}^{n_1} (X_{i,1} - \bar{X}_1)^2 + \dots + \sum_{i=1}^{n_k} (X_{i,k} - \bar{X}_k)^2}{n_1 + n_2 + \dots + n_k - k}$$

Onde:

- $X_{i,1}$ é a observação i da amostra 1, $X_{i,2}$ é a observação i da amostra 2 e assim sucessivamente até a amostra k ;
- $n_1 + n_2 + \dots + n_k$ é a soma das observações de todas as amostras;
- $n_1 + n_2 + \dots + n_k - k$ é número de graus de liberdade do denominador.

O numerador da expressão acima é a soma dos quadrados dos desvios de cada amostra com relação às suas próprias médias é denominado **SSE**, e o resultado de dividir **SSE** por $n_1 + n_2 + \dots + n_k - k$ passa a ser denominado **MSE**.

Denomina-se de grande média \bar{X} à média geral de todas as observações, obtendo-se:

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_{n_1 + \dots + n_k}}{n_1 + n_2 + \dots + n_k}$$

O valor do numerador da expressão F observado será:

$$S_b = \frac{n_1(\bar{X}_1 - \bar{\bar{X}})^2 + \dots + n_k(\bar{X}_k - \bar{\bar{X}})^2}{k-1}$$

Na expressão anterior, o numerador é a soma dos quadrados das observações com relação à grande média, que passa a ser denominado **SST**.

O resultado dessa expressão, é também designado como **MST**. Na continuação, a expressão demonstra a soma dos quadrados dos desvios (**SSE**) adicionada à soma dos quadrados das observações (**SST**):

$$SS = \sum_{i=1}^{n_1+\dots+n_k} (X_i - \bar{\bar{X}})^2 = SSE + SST$$

Pode-se também determinar que **SST = SS - SSE**. Essa propriedade mostra que a soma dos quadrados de todos os desvios com relação à grande média **SS** pode ser particionada em duas somas de quadrados de desvios **SSE**, igual à soma dos quadrados dos desvios das observações de cada amostra com relação às suas próprias médias, e **SST** igual à soma dos quadrados dos desvios da média de cada amostra com relação à grande média:

$$F = \frac{\frac{SST}{k-1}}{\frac{SSE}{n_i - k}} = \frac{MST}{MSE}$$

... onde uma distribuição F com $\nu_1 = k-1$ graus de liberdade do numerador e $\nu_2 = n_T - k = n_1 + \dots + n_k - k$ graus de liberdade (gl) do denominador.

Tais definições resultam no QUADRO 3.2, de representação de ANOVA.

QUADRO 3.2 – Representação de ANOVA

| Fonte | Gl | SS | MS | F |
|-------|---------|-------|-----------------------|-----------------|
| Sb | $k - 1$ | SST | $MST = SST / (k - 1)$ | $F = MST / MSE$ |
| Sw | $n - k$ | SSE | $MSE = SSE / (n - k)$ | |
| Total | $n - 1$ | SS | | |

Fonte: LAPPONI, 1997, p.339

O objetivo para o teste de validação de hipótese seria obter *outputs* (saídas) do sistema simulado, com padrões de comportamento estatisticamente iguais pela aplicação de ANOVA, para as séries observadas no sistema real, considerando $F_{observado} < F_{crítico}$.

3.3 Considerações sobre o capítulo

Este Capítulo descreveu a metodologia de Dinâmica de Sistemas como largamente reconhecida por suas características de representação de sistemas complexos organizacionais.

As idéias aqui representadas pretenderam tornar claro que a conversão da base de conhecimento organizacional, representada pelo modelo compartilhado dos agentes especialistas, em modelos simulados, proporcionam

incentivo à metacognição dos agentes, alinhando-se com o objetivo organizacional de melhoria contínua de seus processos de gestão.

A argumentação contida neste Capítulo também deixa claro que o objetivo organizacional de melhoria contínua apenas será alcançado se os modelos simulados forem fidedignamente representados, pois somente assim serão admitidos como válidos pelo grupo.

Assim, as metodologias apresentadas neste e no capítulo anterior, completam a estrutura requerida para a proposição de um processo de coordenação do conhecimento multiespecialista (PCCM), objeto do presente trabalho, e que se encontra representado no Capítulo seguinte.

4 PROCESSO DE COORDENAÇÃO DO CONHECIMENTO MULTIESPECIALISTA

Sistemas corporativos são sistemas complexos e o processo de decisão nesses sistemas, normalmente, é compartilhado por inúmeros agentes, envolvendo temas multidisciplinares, compostos de variáveis qualitativas e quantitativas (SHIMIZU, 1976). Por possuir uma estrutura complexa, de interpretação pessoal que às vezes é fragmentada, verifica-se a necessidade de utilização de recursos que permitam a revelação e comparação dos diversos pontos de vista dos gestores, para que se extraia um único modelo de pensamento. É necessário, portanto, especificar a estrutura do processo que permitiria o emprego conjunto de várias técnicas, organizadas para esse fim comum. Define-se, então um processo de coordenação do conhecimento multiespecialista.

4.1 Estabelecimento do objeto de análise

A aquisição de conhecimento é realizada junto aos agentes especialistas. Tais agentes são determinados pela administração superior das organizações, a partir de ponderação sobre suas qualificações e familiaridades com o cenário de análise. Considerando que eventualmente poderão ocorrer necessidades por conhecimento não relacionado com a base de conhecimento organizacional, especialistas podem ser contratados para suprir tal necessidade.

Pelo fato do processo proposto ser flexível, agentes podem ser agregados ou substituídos ao longo das atividades, pressupondo-se que a

colaboração de cada agente pode ser modificada pelo grupo remanescente, obedecendo critérios estabelecidos coletivamente.

Para a obtenção das informações preliminares, que delinearão o objeto real de análise sob o qual recairá a necessidade de abstração a partir dos modelos mentais dos agentes, ou seus critérios (BANA & COSTA, 1994), é recomendada a eleição de um facilitador ou moderador. O moderador pode ser um especialista em sistemas de informação, ou mesmo um dos integrantes da equipe decisora. Entretanto, é requerida uma postura não participante do moderador quanto à obtenção dos critérios de cada agente.

A coleta de informações individuais inicia-se pela aplicação dos princípios estudos lingüísticos sincrônicos e diacrônicos propostos por SAUSURRE (1972) e resume-se em reuniões que deverão ocorrer com cada agente e o moderador, que deverá informar sobre o objeto de análise, solicitando que o agente reúna os conhecimentos necessários para a abstração do modelo.

4.2 Estruturação dos modelos mentais particionados

No tipo de representação proposta, pretende-se revelar a estrutura profunda dos modelos mentais dos agentes especialistas e linhas de conduta relacionadas ao modelo requerido para análise do cenário de decisão. Assim, cada agente relacionará os critérios julgados válidos por seu modelo mental particular, relacionados ao objeto de análise, expressos por meio de termos compostos, palavras ou símbolos a partir de entrevistas individuais com os agentes, com postura não-participante do facilitador.

4.2.1 Composição do objeto imediato

Utilizando-se procedimentos de semiótica para análise, estabelece-se que o Eixo Diacrônico (X) considerará as influências que os critérios estabelecidos pelos decisores exercem sobre o objeto de análise, enquanto que o Eixo Sincrônico considerará o domínio que cada agente decisor tem, em razão de suas competências pessoais, sobre o objeto de análise.

Considerando os eixos em um plano, onde o ponto zero é o objeto de análise, verifica-se que a incerteza cresce à medida que ambos os eixos afastam-se do ponto zero (FIGURA 4.1).

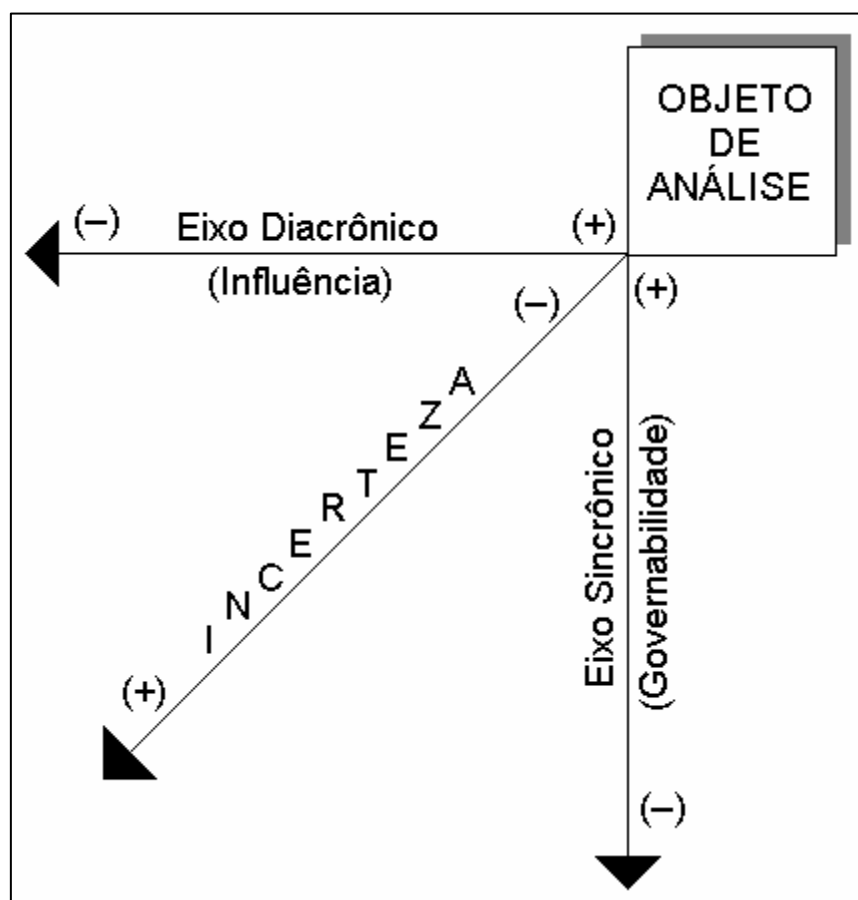


FIGURA 4.1 – Eixos sincrônico/diacrônico e evolução da incerteza

O conjunto de critérios que cada agente elege possui atributos qualitativos, portanto, faz-se necessário estabelecer uma escala comparativa (PEREIRA, 1999) para determinar que ponto de intersecção dos eixos de influência e governabilidade será ocupado por cada critério eleito. Assim, estabelece-se uma escala para cada eixo, que será dividido em três segmentos:

- Eixo de Influência – imediata, intermediária e de fundo;
- Eixo de Governabilidade – governabilidade, fronteira, não governabilidade.

Determinam-se duas escalas de julgamento para cada eixo, a partir de valores semânticos, que, posicionados em uma matriz, servirão à comparação dos critérios relacionados para aquele cenário. A partir desses argumentos, obtém-se o Fluxograma Situacional do Modelo Particionado - FSP (FIGURA 4.2).

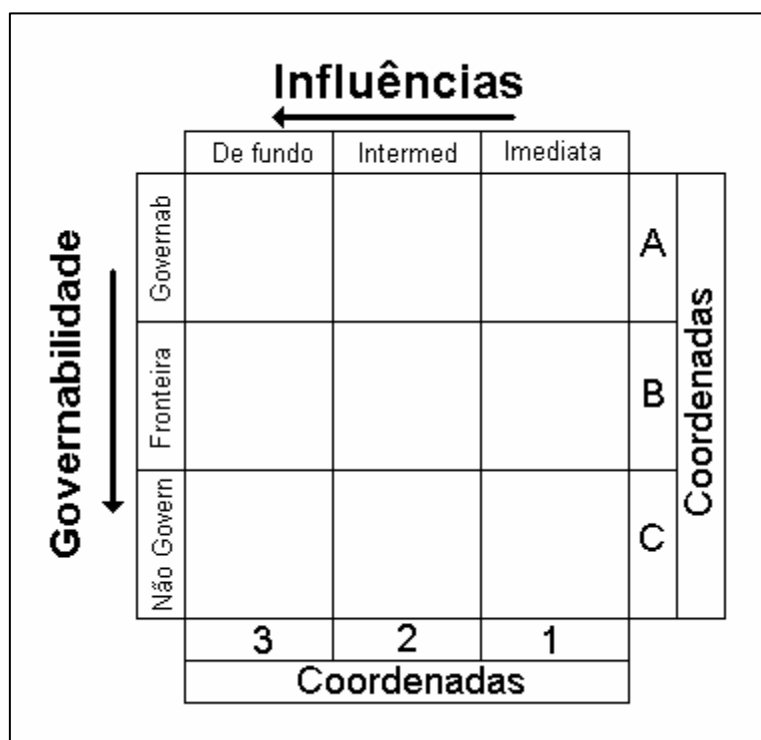


FIGURA 4.2 – Fluxograma Situacional do Modelo Particionado – FSP

4.2.2 Organização e representação do conhecimento profundo do especialista

Cada critério será identificado no FSP considerando sua posição relativa em termos de influências e governabilidade em relação ao objeto de análise, recebendo um valor relativo à coordenada que ocupa no fluxo. Por exemplo, um critério ocupando a coordenada *A1*, se comparado a outro critério que ocupa a coordenada *C3*, receberá, pela comparação, um valor relativo muito maior, considerando que a coordenada *A1*, em termos de governabilidade e influência, age muito mais fortemente, ou influencia muito mais fortemente e rapidamente o objeto de análise.

Essa escala de valor, obtida por comparação, se assemelha à escala de valor idealizada por SAATY (1994), para análise de pares (*parwise*), e proposta no método AHP. Todavia, o método AHP se ocupa exclusivamente de relacionar valores em uma única dimensão. O que se obtém pela comparação de pares utilizando a FSP, é uma comparação simultânea de duas dimensões de cada critério, de forma que a análise torna-se muito mais rica em detalhes, considerando ainda, que se origina de ponderações claras, calcadas em um método lingüístico clássico.

Para o propósito de avaliação comparativa, os valores semânticos dividirão cada critério em faixas relativas, sendo que cada critério receberá dois valores simultâneos: um de domínio e outro de influência.

Para que seja possível comparar os dois eixos em uma análise de pares, é necessário que os valores de cada coordenada sejam convertidos de valores semânticos a valores absolutos.

Para cumprir essa necessidade, utilizou-se o mesmo critério de ponderação proposto por SAATY (1994) para a tabela de julgamento:

- 1.....Elementos iguais
- 3 ou 1/3.....Fracamente importante de um elemento sobre outro
- 5 ou 1/5.....Importância forte de um elemento sobre outro
- 7 ou 1/7.....Importância muito forte de um elemento sobre outro
- 9 ou 1/9.....Importância extrema de um elemento sobre outro
- 2,4,6,8.....Valores intermediários entre dois julgamentos adjacentes

A matriz, nas posições $\{A1, A2, A3\}$, receberia os maiores pesos, considerando a relação dos elementos no eixo e a ação em relação ao objeto de análise na comparação $A1 > A2 > A3$:

$$- A1 = a_{ij} = 9$$

$$- A2 = a_{ij} = 7$$

$$- A3 = a_{ij} = 5$$

Da mesma forma, a área de fronteira do eixo de governabilidade, receberia os valores intermediários, considerando os pesos relativos do eixo de atributos. Assim, as posições $\{B1, B2, B3\}$, consideradas na comparação de pares a ordem $B1 > B2 > B3$, seriam expressas pelos seguintes pesos:

$$- B1 = a_{ij} = 8$$

$$- B2 = a_{ij} = 6$$

$$- B3 = a_{ij} = 4$$

Seguindo o mesmo critério, as posições $\{C1, C2, C3\}$, dada sua posição relativa no eixo e em relação ao objeto de análise como $C1 > C2 > C3$, receberiam os últimos valores:

- $C1 = a_{ij} = 3$
- $C2 = a_{ij} = 2$
- $C3 = a_{ij} = 1$

Assim, determinam-se valores absolutos para cada coordenada da matriz representada pelo fluxo FSP, tornando possível a análise de pares (FIGURA 4.3).

| | | Influências | | | | |
|-----------------|------------|-------------|----------|----------|-------------|-------------|
| | | De fundo | Intermed | Imediata | | |
| Governabilidade | Governab | 5 | 7 | 9 | A | Coordenadas |
| | Fronteira | 4 | 6 | 8 | B | |
| | Não Govern | 1 | 2 | 3 | C | |
| | | 3 | 2 | 1 | Coordenadas | |

FIGURA 4.3 – Atribuição de pesos do FSP

Cada agente conceberá um FSP, onde estarão considerados seus critérios particulares, os pesos relativos de cada critério, considerando a governabilidade e a influência.

Nas comparações possíveis entre atributos posicionados no FSP, têm-se as preferências determinadas pelos números absolutos posicionados em cada coordenada. Por exemplo, para o objeto “*Redução do volume de lixo em uma comunidade*”, o agente decisor “*A*” determina o critério “*Educação ambiental*”. Para o mesmo objeto, o agente decisor “*B*” determina os critérios “*Geração de lixo per capita*” e “*Lixo gerado*”.

Neste exemplo foram declaradas variáveis com nomenclaturas diferentes e sentidos diferentes, que exprimem os critérios particulares dos agentes *A* e *B*.

Considerando tais atributos relacionados e a escala de preferências manifestada pelos agentes, tem-se:

Agente A

- Educação ambiental = $A1 = a_{ij} = 9$

Agente B

- Lixo gerado = $B2 = a_{ij} = 6$
- Geração de Lixo *per capita* = $A2 = a_{ij} = 7$

Esses critérios criam uma cadeia de influências, nos moldes de um sistema aberto, com o objeto de análise e entre si. A representatividade do objeto direto, a partir da cadeia de influências, ou seja, de um diagrama de causa-efeito

(OSSIMITZ, 2005), e a padronização, tornam possível identificar a estrutura cognitiva dos agentes (MORECROFT, 1992), além de aumentar a fidedignidade da informação, tornando possível o debate e a composição do modelo mental compartilhado de todos os agentes envolvidos na análise.

Determinadas por cada agente decisor, as relações de causa-efeito são descritas no FSP, juntamente com os pesos relativos, provenientes das coordenadas que os critérios ocupam no fluxo (FIGURA 4.4)

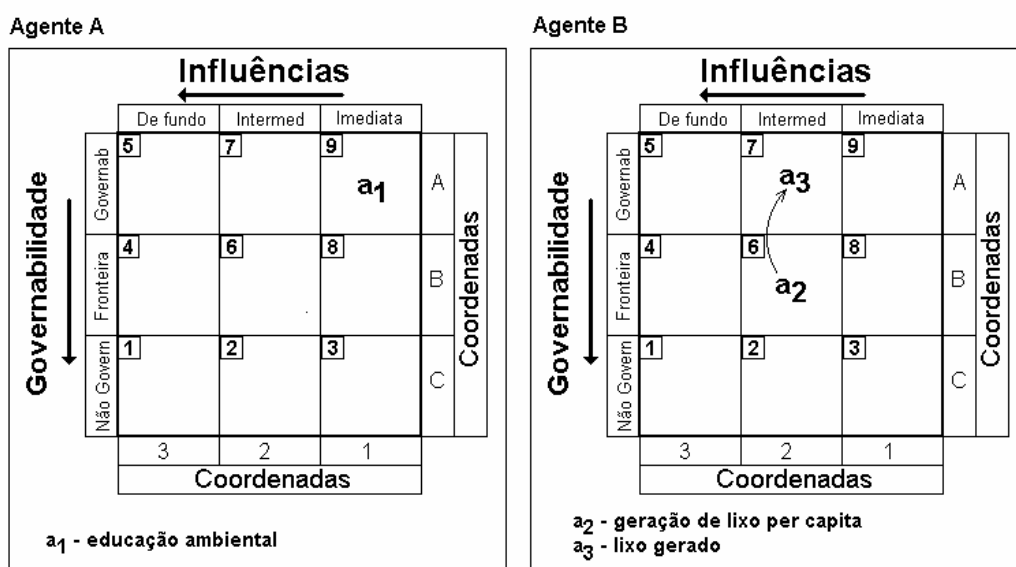


FIGURA 4.4 – Matriz FSP com critérios, pesos e vínculos de causa-efeito dos agentes *A* e *B*

Na FIGURA 4.4 é possível evidenciar o vínculo de causa-efeito contido na matriz FSP do agente *B*, além dos pesos dessas variáveis, obtidos das coordenadas eleitas pelos decisores:

$$a1=9 - a2=6 - a3=7$$

Vínculos de retroalimentação que compõe a informação, como o do exemplo, são muito interessantes em termos de modelagem em Dinâmica de Sistemas (OSSIMITZ, 2005), entretanto, não é uma condicionante para a análise. Neste exemplo, as variáveis eleitas pelos agentes não compõem, individualmente, círculos, entretanto, não existem limites, nem para a quantidade de círculos, nem para a quantidade de variáveis eleitas pelo agente durante sua análise.

Os FSP de cada agente serão transpostos para uma única matriz, denominada Fluxo Situacional do Modelo Compartilhado – FSC, onde serão transpostos os critérios de todos os agentes, obedecendo a mesma estrutura de eixos, coordenadas e pesos (FIGURA 4.5).



FIGURA 4.5 – Matriz FSC com todos os critérios, pesos e vínculos de causa-efeito dos agentes *A* e *B*

4.3 Estruturação do modelo mental compartilhado

Todos os critérios contidos nas FSP de cada agente, são posicionados no Fluxograma Situacional – Modelo Compartilhado FSC (FIGURA 4.5).

Inicialmente, o agrupamento de todos os critérios provenientes dos decisores isoladamente, em uma única matriz, torna possível a realização das seguintes análises:

- Verificar se ocorrem critérios passíveis de agrupamento, por semelhança sintática;
- Analisar possíveis vínculos de causa-efeito entre os modelos particionados.
- Avaliar a necessidade de inclusão ou retirada de variáveis, com o objetivo de harmonizar o modelo.

No caso específico do exemplo, por conter apenas três variáveis, não houve necessidade de agrupamento por semelhança das variáveis. Os vínculos de causa-efeito foram determinados pelo conjunto dos agentes.

4.3.1 Análise semântica de similaridades

Após todas os fluxos de todos os decisores serem reunidos em um único fluxo FSC, todos os critérios contarão com pesos distintos, já que cada critério ocupa um espaço distinto na matriz (FIGURA 4.5). Critérios posicionados no mesmo quadrante da matriz, receberão os mesmos valores, assim, cada entrada

de comparação da matriz a_{ij} deve ser considerada como uma estimativa da razão entre os elementos da linha de ordem i e os elementos da coluna de ordem j . Sendo w o peso, então $a_{ij} = w_i/w_j$, que exprime a importância relativa da linha de ordem i em relação aos elementos da coluna de ordem j (SCHMIDT, 1995):

$$A = \begin{bmatrix} a_{i1} & \Lambda & a_{in} \\ M & \Lambda & M \\ a_{n1} & \Lambda & a_{nn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w_1/w_1 & \Lambda & w_1/w_n \\ M & \Lambda & M \\ w_n/w_1 & \Lambda & w_n/w_n \end{bmatrix}$$

Multiplica-se A pelo vetor de pesos $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)^t$. O resultado dessa multiplicação é nw , que em teoria matricial representa o fato de que w é um autovetor de A , com autovalores de n .

SCHMIDT (1995) comenta que problemas de autovalor e autovetor, preferencialmente devem ser solucionados com apoio de informática, em virtude da complexidade dos cálculos. Considerando uma matriz quadrada de A , de ordem n , com $a_{ij} \in \mathcal{R}$, um autovalor, ou valor característico de A , seria qualquer constante $\lambda \in \mathcal{C}$, que satisfaça a equação $Aw = \lambda w$, denominada *equação característica*, onde w é um *vetor coluna* de ordem n , denominado *autovetor* (ou vetor característico) de A .

Da equação matricial $Aw = \lambda w$, resulta que $(A - \lambda I)X = 0$, que é um sistema de equações lineares quadrada. Para que este sistema tenha solução não-trivial, terá que ocorrer: $\det(A - \lambda I) = 0$, resultando após a aplicação da

determinante numa equação polinomial de grau n $p(\lambda)=0$, denominada equação característica (ou de polinômio característico) da matriz A . As raízes do polinômio característico são justamente os autovalores de A .

Segundo SAATY (1991), existem alguns métodos simplificados para obtenção dos autovetores. Um deles consiste em multiplicar os n elementos existentes em cada linha da matriz, extraindo-se a *raiz n-ésima*. Para o exemplo da FIGURA 4.5, tem-se os seguintes valores, obtidos pelo cruzamento de cada valor do eixo x por cada valor do eixo y :

| | |
|--|---|
| • Peso da variável “Educação Ambiental” (aw_1) | $(9\div 9) \times (9\div 6) \times (9\div 7) = 1,92857$ |
| • Peso da variável “Geração de lixo per capita” (aw_2) | $(7\div 9) \times (7\div 6) \times (7\div 7) = 0,90741$ |
| • Peso da variável “Lixo gerado” (aw_3) | $(6\div 9) \times (6\div 6) \times (6\div 7) = 0,57143$ |

Extraindo-se a raiz n-ésima, tem-se:

$$aw_1 = \sqrt[3]{1,92857} = 1,2447$$

$$aw_2 = \sqrt[3]{0,90741} = 0,96298$$

$$aw_3 = \sqrt[3]{0,57143} = 0,82981$$

Em seguida, normaliza-se a coluna dividindo cada número obtido pela soma de todos os números. A TABELA 4.1 apresenta o modelo desenvolvido a partir da FIGURA 4.5, onde $a1, a2, a3$ são as coordenadas dos eixos de influência (x) e governabilidade (y). As divisões representadas nas interseções de linha e coluna, são os pesos aij atribuídos. O numerador representa o peso

referente à coordenada de influência (x) e o denominador, a coordenada de governabilidade (y).

Os autovetores foram calculados a partir dessas divisões e normalizados.

TABELA 4. 1 – Matriz de pesos e autovetores

| | a1 | A2 | A3 | Autovetor | Normaliz. |
|-----------|-------------|-----------|-----------|------------------|------------------|
| a1 | 9/9 | 9/6 | 9/7 | 1,2447 | 0,41 |
| a2 | 7/9 | 7/6 | 7/7 | 0,8298 | 0,27 |
| a3 | 6/9 | 6/6 | 6/7 | 0,9681 | 0,32 |
| | Soma | | | 3,0426 | 1,00 |

O cálculo do autovetor objetiva determinar a estimativa de prioridades de cada critério em relação ao objetivo de análise.

Considerando os números obtidos pelo cálculo dos autovetores, é possível ordenar os critérios em termos de importância relativa.

4.3.2 Análise de pesos e variáveis

Os autovetores obtidos possuem representatividade relativa da posição da matriz, considerando que a matriz é composta de critérios de ordem qualitativa e não quantitativa. Sendo assim, faz-se necessário realizar um teste de consistência dos valores obtidos, no sentido de verificar como os diversos critérios se distribuem, dispersam ou variam ao redor da média (LAPPONI, 1997).

Ordenando-se os autovetores em uma escala decrescente, analisa-se a variação percentual desses autovetores, considerando $(\lambda w_n \div \lambda w_1) - 1$.

Autovetores cujas variações se apresentam muito distantes da média, necessitam de reavaliação, pois podem representar critérios muito díspares.

Por exemplo, critérios cuja análise de variação dos autovetores apontem pontos excessivamente acima ou abaixo da média podem indicar tendências de impossibilidade de negociação entre os decisores, posturas críticas inflexíveis ou falta de qualificação para algumas técnicas apontadas.

Portanto, os pontos muito distantes devem passar por uma reavaliação crítica, no sentido de tornar claro porque estão distantes, utilizando esse dado para melhorar a ação coletiva sobre o objeto de análise. Além do cálculo das variações percentuais, também é possível traçar os limites superior e inferior dos pontos, calculando-se o desvio padrão. O exemplo utiliza os dados demonstrados na TABELA 4.1, dos quais se obtêm a variância:

$$Var = \left\{ \lambda w_n - \left(\frac{\sum \lambda w_n}{\lambda w_n} \right) \right\}^2$$

E o desvio-padrão:

$$S_x = \sqrt{Var}$$

Adiciona-se ou subtrai-se o desvio-padrão da média aritmética dos vetores, para definir, respectivamente, o limite superior e inferior da amostra, identificando-se os autovetores λw , com uma média μ_x e um desvio padrão s_x , que se encontram dentro dos limites superior e inferior, que conseqüentemente, correspondem às restrições:

Limite Superior:

$$\lambda w \leq \mu_x + s_x$$

Limite Inferior

$$\lambda w \geq \mu_x - s_x.$$

| | |
|-----------------|------------|
| λw_1 | 1,2447 |
| λw_2 | 0,9681 |
| λw_3 | 0,8298 |
| Soma | 3,0427 |
| μ_x | 1,01423243 |
| S_x | 0,1725 |
| Limite Superior | 1,1867 |
| Limite Inferior | 0,8417 |

No exemplo da TABELA 4.1, verifica-se que nem todos autovetores encontram-se dentro dos limites estabelecidos (TABELA 4.2).

TABELA 4.2 – Comparação de limites

| Autovetor | | Limites | | Avaliação Autovetor |
|---------------|--------|----------|----------|---------------------|
| | | Superior | Inferior | |
| λw_1 | 1,2447 | 1,1867 | 0,8417 | Reavaliar |
| λw_2 | 0,9681 | | | OK |
| λw_3 | 0,8298 | | | OK |

No exemplo, aplicando-se os critérios de avaliação, verifica-se nos autovetores, a ordem $\lambda w_1 > \lambda w_2 > \lambda w_3$. Assim, para atingir o objetivo “*Redução do volume de lixo em uma comunidade*”, o critério julgado mais relevante é “*Educação ambiental*” (λw_1), seguido por “*Geração de lixo per capita*” (λw_2) e por último, “*Lixo gerado*” (λw_3). Verifica-se também que “*Educação ambiental*” (λw_1) está acima dos limites estabelecidos. O fato dessa variável estar fora dos limites, deve levar os agentes a uma reflexão sobre o motivo que determina essa dispersão. Essa reflexão conjunta dos agentes, deve auxiliar à melhoria do modelo. Essa melhoria não significa a exclusão da variável ou a mudança de seus pesos, mas sim, a conscientização para o motivo que a leva a estar fora desses limitantes.

Neste exemplo, a solução apresentada indica que o investimento na promoção de ações em educação ambiental é mais importante do que um estudo da geração de lixo pelos habitantes. Por outro lado, caracterizar a forma com que os habitantes geram o lixo, é mais relevante do que caracterizar o lixo gerado.

Ainda em relação à análise dos critérios, identifica-se que λ_1 de peso igual a 1,2447, encontra-se fora dos limites, devendo ser reavaliada (FIGURA 4.6).

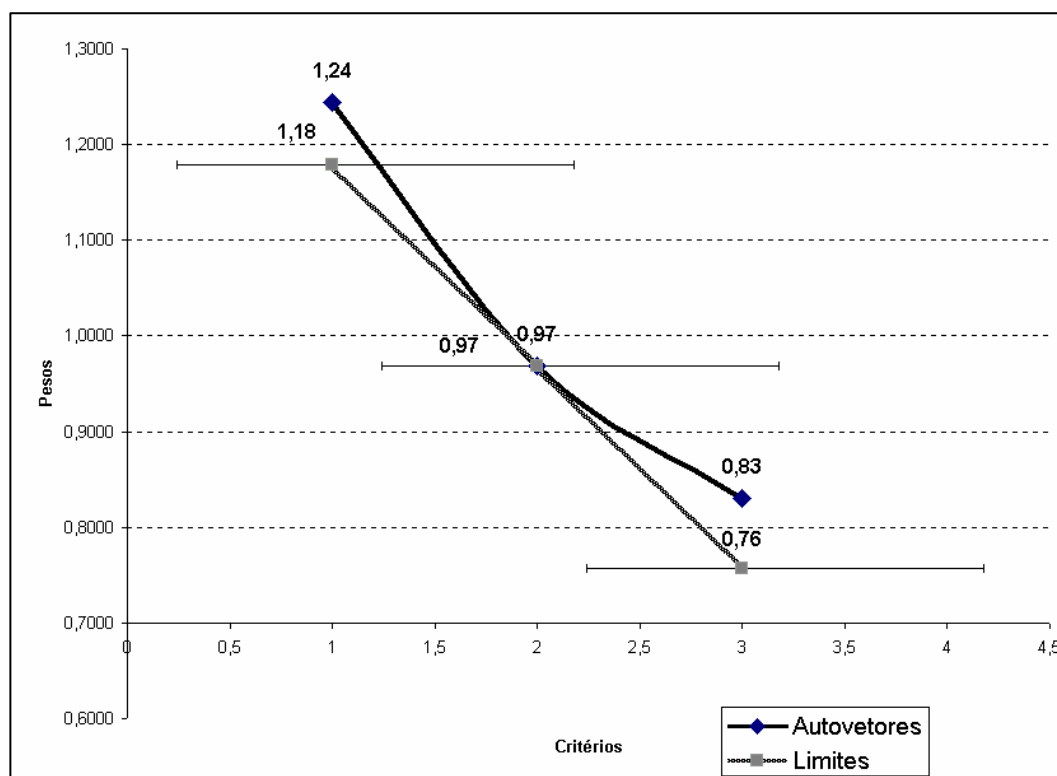


FIGURA 4.6 – Comparação de autovetores e limites

4.3.3 Redução de variáveis, estabelecimento de vínculos e validação pelos agentes

O exemplo anterior não pretende induzir a qualquer análise sobre geração de lixo e educação ambiental, mas sim, apenas servir como exemplo

ilustrativo sobre a necessidade da determinação de pesos para a análise de critérios e o estabelecimento de vínculos de causa-efeito entre esses critérios.

Elementos de causa-efeito identificados nos modelos mentais dos agentes decisores são de extrema importância para que seja possível a modelagem qualitativa em Dinâmica de Sistemas (FLOOD e JACKSON, 1991).

O levantamento das informações junto aos agentes individualmente e depois sua organização em um fluxo FSC, auxilia na compreensão de uma estrutura de causa-efeito contida nos modelos mentais, que faz, inclusive, com que esses modelos possam ser organizados em conjunto, originando o modelo compartilhado de pensamento. Os critérios então, passam a ser interpretados como VARIÁVEIS, considerando que serão analisados em conjunto, em uma perspectiva temporal.

No modelo proposto para o exemplo contido nos tópicos anteriores, é possível identificar o diagrama de causa-efeito da FIGURA 4.7.

O diagrama representa um *loop* de balanceamento ou negativo, de acordo com o demonstrado na FIGURA 3.2., presente no Capítulo 3, onde a variável “*Educação Ambiental*” influenciará negativamente a “*Geração de lixo per capita*”, que por sua vez influenciará negativamente o “*Lixo gerado*”, até o parâmetro desejado, quando o sistema se tornará estável.

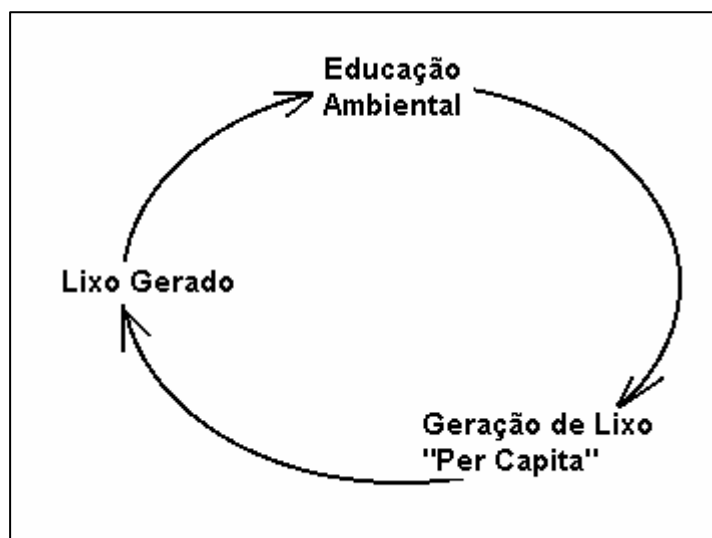


FIGURA 4.7 – Diagrama de causa-efeito – loop de balanceamento

Todo modelo é uma simplificação (SMITH, 2003), pois não conta com todas as variáveis possíveis para as circunstâncias que representa. A representação das variáveis que compõem o modelo mental compartilhado, quando organizadas na estrutura de causa-efeito, servem para identificar outras variáveis, também relevantes à análise, que podem ter sido omitidas durante os passos anteriores pela simples incapacidade de visualização dos agentes.

Outras variáveis podem ser adicionadas para dar mais sentido ao modelo, sem no entanto haver a necessidade de fechamento de novos círculos.

Entretanto, a modelagem incentiva a aprendizagem contínua na Organização (MORECROFT, 1992), e sendo assim, a possibilidade de sua ampliação futura o torna um modelo dinâmico, que evolui acompanhando o nível de aprendizagem na organização.

No exemplo em estudo, identificam-se outras variáveis que, segundo o grupo, seriam relevantes para complementação do estudo do objeto (FIGURA 4.8).

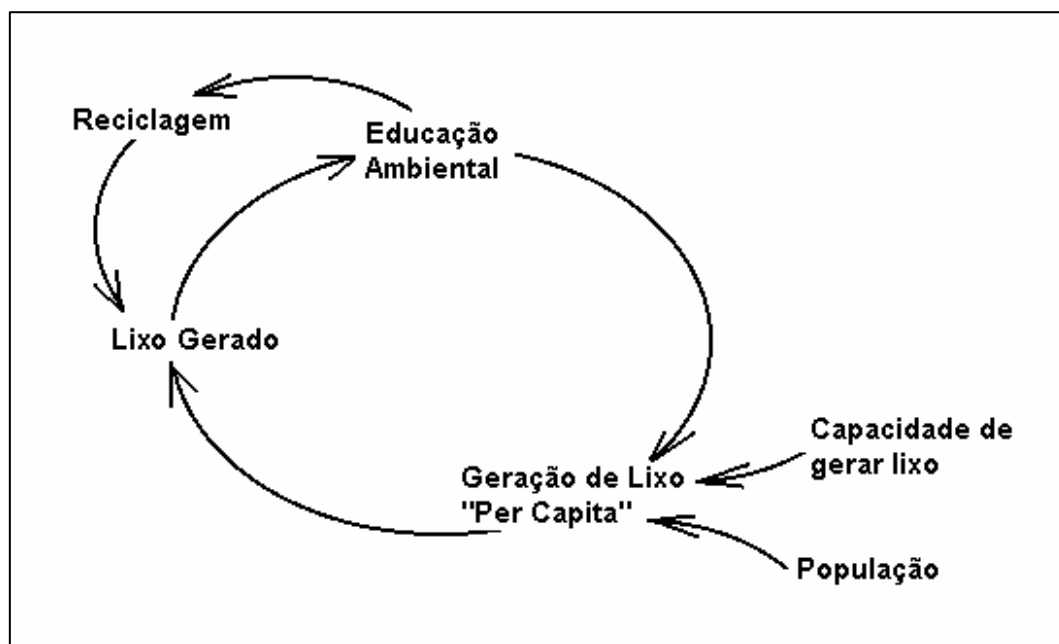


FIGURA 4.8: Diagrama de causa-efeito ampliado

As variáveis adicionadas “*População*” “*Capacidade de gerar lixo*” passam a influenciar a variável “*Lixo Gerado*” (FIGURA 4.8). O que o modelo pretende representar é que o volume de lixo gerado depende do da população e de sua capacidade em descartar parte do que consome.

Por outro lado, a adição da variável “*Reciclagem*” recebe influência de “*Educação Ambiental*” e influencia “*Lixo gerado*” fechando assim outro *loop*.

O modelo compartilhado demonstrado neste exemplo deverá ser amplamente discutido e aceito sem restrições pelo grupo de agentes especialistas,

sendo que o modelo compartilhado deve ser validado por esses agentes neste momento.

Reuniões de reavaliação deverão ser promovidas pelo mediador, que deve se preocupar em dirimir qualquer dúvida que persista sobre:

- Mudanças implementadas nas coordenadas de variáveis
- Redução de variáveis pela sobreposição
- Vínculos posteriormente incluídos ou excluídos.
- Após esses quesitos serem atendidos

Após a solução de eventuais pendências, o modelo mental compartilhado estará pronto para ser submetido à simulação, baseada em Dinâmica de Sistemas.

4.4 Estruturação do modelo simulado

Deriva-se do modelo organizado em fluxo de causa-efeito para o modelo de simulação, obedecendo regras de identificação das variáveis contidas no diagrama. Os Estoques devem ser identificados em primeiro lugar. Estoques são variáveis cujas quantidades variam dinamicamente (STERMAN, 2000). No modelo abordado no exemplo (FIGURA 4.8), a única variável que contém as características de estoque é a variável “*Lixo Gerado*” (a_3). A partir da declaração da variável Estoque, as outras variáveis antecedentes e consequentes podem ter declaradas sua natureza, considerando a engenharia dos modelos simulados declarada na FIGURA 3.7, do Capítulo 3. Dessa forma, partindo do pressuposto

de que a variável “*Lixo Gerado*” (a_3) é um estoque, a variável antecedente “*Geração de Lixo Per Capita*” (a_2) deve ser um Fluxo, assim como a consequente “*Educação Ambiental*” (a_1). As variáveis declaradas posteriormente “*Capacidade de gerar lixo*” e “*População*”, vinculam-se à variável “*Lixo Gerado*” (a_3). Sendo a variável a_3 um **Fluxo**, essas variáveis devem ser **Auxiliares**. Pelo mesmo motivo, a variável “*Reciclagem*”, também declarada posteriormente, também deve ser um **Auxiliar** (QUADRO 4.1)

QUADRO 4.1 – Caracterização das variáveis do modelo de simulação

| Variável | | Posição | | Tipo |
|----------|------------------------------|-------------|-------------|----------|
| Cod | Nome | Antecedente | Consequente | |
| a1 | Educação ambiental | a3 | a2 | Fluxo |
| a2 | Geração de lixo "Per capita" | a1 | a3 | Fluxo |
| a3 | Lixo gerado | a2 | a1 | Estoque |
| a4 | Capacidade de gerar lixo | - | a2 | Auxiliar |
| a5 | População | - | a2 | Auxiliar |
| a6 | Reciclagem | a1 | a3 | Auxiliar |

4.4.1 Escolha das variáveis tipo Estoque

Considerando as regras de construção de modelos simulados, sendo a_2 um *Estoque*, descarta-se a possibilidade de a_1 e a_3 também o serem, considerando os vínculos de causa-efeito entre as três variáveis. A variável a_1 apenas pode ser *Fluxo*, considerando que apenas uma variável tipo *Fluxo* poderia alimentar uma variável *Estoque* (a_2). A variável a_3 poderia ser uma variável *Fluxo* ou uma variável *Auxiliar*, pois apenas essas variáveis poderiam ser

alimentadas por uma variável *Estoque* (*a1*). Considerando a necessidade de vazão de *Estoque* (*a1*) para este modelo, opta-se por representar *a3* por uma variável *Fluxo*, única capaz de atender a esse requisito. A FIGURA 4.9 apresenta o mesmo fluxo de causa efeito da FIGURA 4.8, convertido em uma representação de um modelo para simulação.

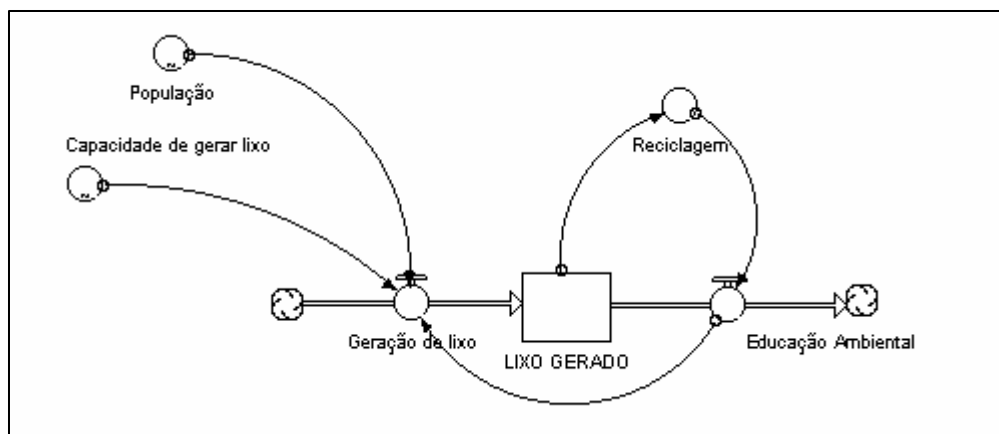


FIGURA 4.9 – Modelo conceitual de DS em software de simulação

Seguindo o exemplo dado, foram incluídas outras duas variáveis no modelo inicial (“*População*” e “*Capacidade de gerar lixo*”). Essas variáveis foram incluídas com o objetivo de se ampliar a informação sobre a variável *a3 - Lixo gerado*. Considerando essa característica, ambas serão variáveis tipo Auxiliar, pois serão responsáveis apenas por complementarem a informação do Fluxo.

4.4.2 Estabelecimento do nível de impacto das influências

Após a estruturação do modelo conceitual, o mesmo é submetido aos agentes, que determinam, pela lógica estrutural, os pesos de relações entre as variáveis. Os pesos são determinados pela experiência de cada agente, considerando a lógica e a estrutura de causa-efeito, no sentido de fazê-la reproduzir as tendências verificadas nos sistemas reais.

Para o caso em exemplo, os agentes determinaram as seguintes condições:

- i. O estoque inicial de lixo é zero;
- ii. A capacidade de gerar lixo de uma população pode ser determinada estatisticamente e é influenciada por características do grupo social (idade média, nível médio de cultura, nível médio de desenvolvimento social, acesso a tecnologias, etc.);
- iii. Recicla-se no máximo 40% do lixo acumulado;
- iv. Apenas 50% das pessoas submetidas a programas de reciclagem são sensibilizadas.

Considerando essas condições e a estrutura de causa-efeito, obtém-se o seguinte modelo matemático:

$$LIXO_GERADO(t) = LIXO_GERADO(t - dt) + (Geração_de_lixo - Educação_Ambiental) * dt$$

$$INIT LIXO_GERADO = 0$$

INFLOWS:

$$Geração_de_lixo = (Capacidade_de_gerar_lixo * População) - (Educação_Ambiental * 0.5)$$

OUTFLOWS:

Educação_Ambiental = Reciclagem

*Reciclagem = IF LIXO_GERADO>90300000 THEN LIXO_GERADO*0.4 ELSE 0*

Capacidade_de gerar_lixo = GRAPH(TIME())

*(0.00, 420), (1.20, 432), (2.40, 454), (3.60, 462), (4.80, 495), (6.00, 477), (7.20, 509),
(8.40, 527), (9.60, 551), (10.8, 584), (12.0, 613)*

População = GRAPH(TIME())

*(0.00, 50000), (1.20, 51135), (2.40, 52507), (3.60, 53025), (4.80, 54891), (6.00, 55913),
(7.20, 56649), (8.40, 58125), (9.60, 60221), (10.8, 61937), (12.0, 64104)*

Verifica-se que as variáveis “*Capacidade de gerar lixo*” e “*População*” receberam séries gráficas, provenientes de estudos estatísticos.

4.4.3 Estabelecimento do nível de impacto das influências e da interface

Os *outputs* são as variáveis que determinam ações mais fortes sobre o objeto central de análise, ou seja, as que possuem os maiores autovetores. Dessa forma, busca-se inicialmente estabelecer nessas variáveis, os mecanismos de interação dos agentes com o modelo, de forma a possibilitar testar em toda a profundidade possível, a ação dessas variáveis sobre o objeto de análise, visando avaliar quais dentre elas têm maior potencial de alavancagem de soluções.

No caso deste modelo, a variável com o maior autovetor é a variável “*Educação Ambiental*”. Para essa variável, foi incluído um objeto de controle (*Switch*), de forma a possibilitar avaliar a performance do sistema na hipótese de sua existência ou não. Foi incluída uma nova variável e uma condição para sua utilização:

Educacao = 0 ou 1

Educação_Ambiental = IF Educacao=1 THEN Reciclagem ELSE 0

Onde:

Educacao consiste de uma variável tipo Auxiliar.

Para todos os modelos em que se pretenda interação em grupo, é necessário estabelecer uma interface para que os agentes tenham condições de testar livremente a ação de determinadas variáveis ou, isolar algumas variáveis para analisar a performance do todo. No experimento realizado como exemplo para esta explanação, foi utilizado o aplicativo STELLA 8.1®, que possui características específicas de interface que atendem às necessidades aqui apresentadas. Particularmente para este exemplo, foi definido um elemento de controle tipo SWITCH, que tem objetivo de ligar e desligar a variável fluxo “*Educação Ambiental*”. Dessa forma, os agentes têm condições de avaliar qual o impacto da realização de programas de Educação Ambiental, no sentido de redução dos volumes de lixo.

A FIGURA 4.10 apresenta a interface do exemplo comentado. No canto superior esquerdo da figura, verifica-se o *Switch* na posição *1*, ou seja, acionando o funcionamento da variável “*Educação Ambiental*”. O gráfico apresentado à direita, possui as duas séries de *outputs*: com a variável “*Educação Ambiental*” em funcionamento (*série 1*) e isolada (*série 2*).

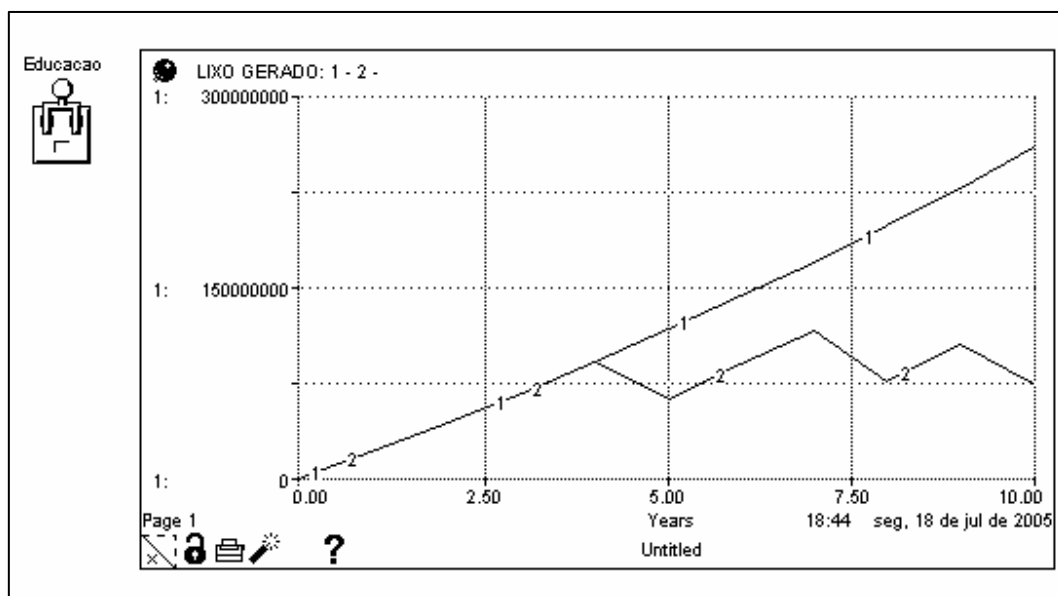


FIGURA 4.10:Exemplo de interface em modelos de DS

4.4.4 Testes de validação

Após a estruturação da parte lógico-conceitual e de níveis de impacto entre as variáveis ser estabelecido, o modelo deve ser submetido a uma estrutura de testes, que visam confirmar sua validade conceitual, e lógica, através de métodos de controle de informação e estatísticos.

4.4.4.1 Validação da lógica interna

Os testes de erros mecânicos devem ser realizados conforme determina a metodologia de Dinâmica de Sistemas, pela comparação de resultados das variáveis estoques de cada setor do modelo simulado. O software STELLA ® utilizado para o presente exemplo, possui dispositivos que disponibilizam

estatísticas sobre a dinâmica dos valores dessas variáveis, apontando mínimos e máximos obtidos que, por comparação, tornam possível identificar anomalias.

Para o teste de robustez, considera-se ainda o exemplo anteriormente utilizado, demonstrado na FIGURA 4.9. O gráfico que representa a variável LIXO_GERADO, sem a introdução da variável “*Educação Ambiental*”, teria uma variação positiva acentuada, com uma pequena tendência exponencial em 10 anos simulados, conforme é possível identificar na *série 1*, demonstrada na FIGURA 4.10.

Com a introdução da variável “*Educação Ambiental*”, obtém-se uma curva de desaceleração do crescimento do volume de lixo acumulado, demonstrada na *série 2*, da FIGURA 4.10.

Introduz-se uma variável tipo fluxo de saída no estoque LIXO_GERADO. Procura-se com essa variável, reduzir drástica e bruscamente o estoque LIXO_GERADO no terceiro ano simulado, em 75% de seu volume acumulado. Como a tendência de LIXO_GERADO é sempre crescer, busca-se verificar se com a redução brusca do volume de estoque acumulado, as curvas apresentarão tendências de baixa, o que denunciaria problemas de robustez do modelo. A variável introduzida para o teste de robustez possui uma função PULSE, que reduzirá o valor do estoque em 75% no ano 3:

PULSE(LIXO_GERADO*0.75, 3, 100)

Assim, obtém-se o FIGURA 4.11, que, nas duas séries de dados evidencia o mesmo padrão de crescimento anterior, confirmando a robustez do modelo.

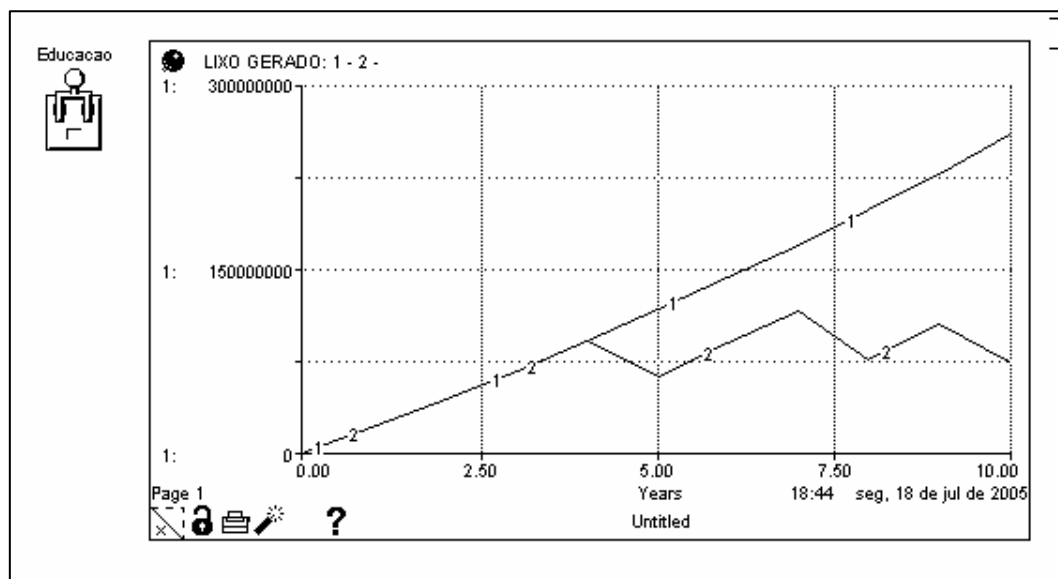


FIGURA 4.11: Teste de robustez em modelos simulados

Na FIGURA 4.11, verifica-se a performance do sistema após a introdução do teste, demonstrando a tendência de curva gráfica esperada do sistema, apesar da interferência brusca de valor.

4.4.4.2 Validação da hipótese

Para o exemplo considerado, se obteve duas amostras, consideradas na TABELA 4.3. Os dados contidos na coluna “Real” são valores aleatórios, eleitos apenas com o objetivo de ilustrar o exemplo.

TABELA 4.3 – Volumes de lixo produzido em 10 anos

| Ano | Toneladas de Lixo | |
|-----|-------------------|-------------|
| | Simulação | Real |
| 1 | 21.000.000 | 23.583.000 |
| 2 | 42.906.708 | 48.184.233 |
| 3 | 66.155.559 | 74.292.693 |
| 4 | 90.322.387 | 101.432.041 |
| 5 | 61.503.986 | 69.068.976 |
| 6 | 88.594.162 | 99.491.244 |
| 7 | 115.264.663 | 129.442.217 |
| 8 | 74.576.295 | 83.749.179 |
| 9 | 104.603.088 | 117.469.268 |
| 10 | 73.735.482 | 82.804.947 |

Para os dados acima, aplicando-se o procedimento ANOVA, obtém-se a TABELA 4.4.

TABELA 4.4 – Volumes de lixo produzido em 10 anos

| ANOVA | | | | | | |
|-------------------|-------------|----|-------------|-------------|----------|-----------|
| Fonte da variação | SQ | gl | MQ | F | valor-P | F crítico |
| Entre grupos | 4,12736E+14 | 1 | 4,12736E+14 | 0,461956538 | 0,505359 | 4,413863 |
| Dentro dos grupos | 1,60821E+16 | 18 | 8,93452E+14 | | | |
| Total | 1,64949E+16 | 19 | | | | |

Verifica-se que o valor do *F-crítico* (4,413863) é significativamente maior que *F-observado* (0,461956538), concluindo-se que a hipótese é aceita, ou seja, os dados obtidos na simulação são estatisticamente iguais aos reais.

4.5 Considerações sobre o capítulo

Para apresentação do processo de coordenação do conhecimento multiespecialista (PCCM) neste Capítulo, o exemplo utilizado teve como objetivo ilustrar cada passo, tornando mais clara a compreensão da aplicação das ações e procedimentos previstos. Cada fase apropriou gradativamente os conhecimentos provenientes da linguística, modelos mentais e análise multicritério, comentados no Capítulo 2 e dinâmica de sistemas, comentada no Capítulo 3, de forma a consolidar um processo estruturado no QUADRO 4.2.

QUADRO 4.2 – Processo de coordenação do conhecimento especialista - PCCM

| Fase de desenvolvimento | Ações | Procedimentos |
|---|---|---|
| 1. Estabelecimento do objeto de análise | Coleta e avaliação de informações | <ul style="list-style-type: none"> • Determinação do problema |
| | Submissão do problema ao agente especialista | <ul style="list-style-type: none"> • Reuniões isoladas do mediador e agente |
| 2. Estruturação dos modelos mentais particionados | Composição do objeto imediato | <ul style="list-style-type: none"> • Construção do FSP |
| | Organização e representação do conhecimento profundo especialista | <ul style="list-style-type: none"> • Construção do FSP • Construção da FIV. |
| | Validação pelo agente | <ul style="list-style-type: none"> • Reuniões coletivas – mediador e agentes |
| Continua... | | <ul style="list-style-type: none"> • |

QUADRO 4.2 – Processo de coordenação do conhecimento especialista - PCCM

| Fase de desenvolvimento | Ações | Procedimentos |
|--|---|--|
| ...continuação | | • |
| 3. Estruturação do modelo mental compartilhado | Análise semântica de similaridades | <ul style="list-style-type: none"> • Construção do FSC • Análise de pares • Análise de limites • Reuniões coletivas mediador e agentes |
| | Análise de pesos de variáveis | <ul style="list-style-type: none"> • Reavaliação do FSC • Reavaliação das análises • Reuniões coletivas mediador e agentes |
| | Redução de variáveis e estabelecimento de vínculos causa-efeito entre modelos | <ul style="list-style-type: none"> • Reavaliação do FSC • Mediação • Reuniões coletivas |
| | Validação pelos agentes | <ul style="list-style-type: none"> • Consolidação do FSC • Reuniões coletivas mediador e agentes |
| 4. Estruturação do modelo simulado | Escolha das variáveis tipo Estoque | <ul style="list-style-type: none"> • Construção do modelo de simulação • Reuniões coletivas mediador e agentes |
| | Construção da estrutura lógica conceitual | <ul style="list-style-type: none"> • Construção do modelo de simulação |
| | Estabelecimento do nível de impacto das influências e da interface | <ul style="list-style-type: none"> • Construção do modelo de simulação |
| | Testes de validação estatística | <ul style="list-style-type: none"> • Validação da lógica interna • Validação da hipótese |

Legenda:

FSP – Fluxo situacional particionado

FSC – Fluxo situacional compartilhado

FIV – Folha índice de variáveis

Para auxiliar na interpretação do desenvolvimento de cada uma das fases do processo, a FIGURA 4.12 demonstra as trocas e interações ocorridas com

o ambiente organizacional, as várias fases de desenvolvimento do processo e a alimentação das bases de conhecimento organizacional.

Para efeito desta demonstração, interpreta-se que a dinâmica do ambiente organizacional inclui as ações endógenas, provenientes das estratégias e operações, assim como as percepções de mercado.

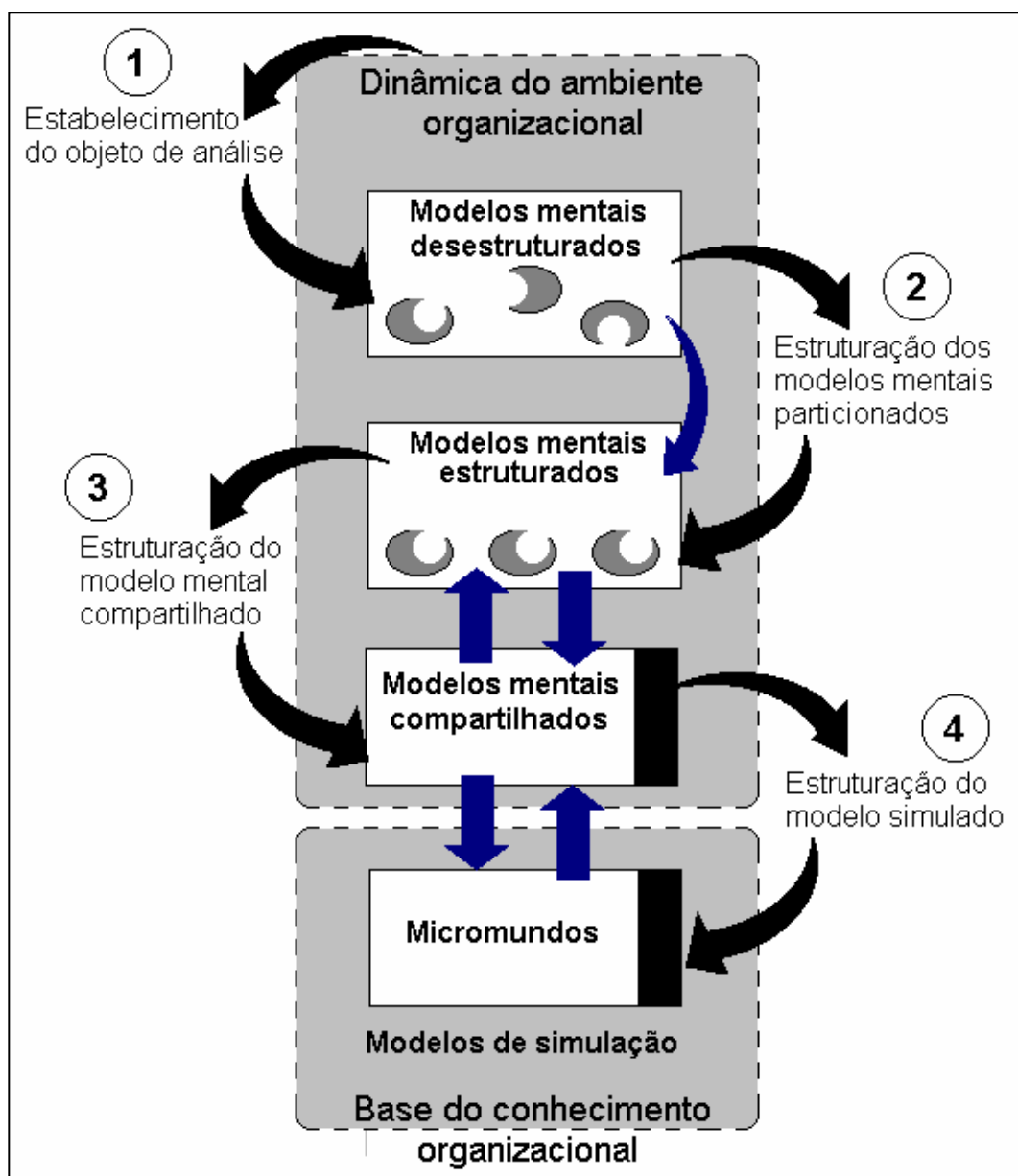


FIGURA 4.12 – Processo de coordenação do conhecimento multiespecialista - PCCM

A fim de testar a capacidade do processo, o próximo capítulo descreve uma aplicação prática do PCCM no estudo e avaliação de um sistema complexo natural e a comparação entre essa aplicação e outra, desenvolvida pelo método tradicional de modelagem e simulação de Dinâmica de Sistemas.

Procura-se assim, traçar um paralelo entre ambos os métodos, e obter elementos de análise para avaliar o PCCM quanto à oportunidade e acuracidade.

5 APLICAÇÃO DO PROCESSO PROPOSTO NA SIMULAÇÃO DE UM CORPO D'ÁGUA

Objetivando avaliar a possibilidade de emprego do processo proposto na estruturação de um sistema complexo, desenvolveu-se um modelo para estudo de recursos hídricos.

A escolha pelo sistema, assim como a opção pelo *software* STELLA 8.1 ®, deve-se ao trabalho desenvolvido pelo pesquisador junto ao *GPSAD (Grupo de Pesquisa em Sistemas de Apoio à Decisão)* do *CESET/UNICAMP*, no projeto *Utilização da simulação como instrumento de apoio à decisão na gestão de recursos hídricos*, encaminhado à *Agência Nacional das Águas – ANA*, em parceria com o *Consórcio de Bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá*, para o qual foi desenvolvido o modelo apresentado.

A facilidade de obtenção dos dados utilizados na simulação também contribuiu para a escolha do sistema. Os modelos mentais foram obtidos junto aos pesquisadores que atuaram no projeto *Diagnóstico Ambiental da Bacia do Ribeirão Pinhal*, de responsabilidade do *Prof. Joaquim Augusto Pereira Lazari*, e da *Profa. Ângela Maria Aparecida Albino*, ambos do CESET-UNICAMP. Os dados utilizados para validação também se originam do mesmo projeto.

O teste de comparação foi realizado a partir do modelo desenvolvido pelo aluno *Sven Shäffers Delgado*, sob orientação do *Prof.Dr. André Franceschi de Angelis* para o projeto *CNPq – PIBIC/UNICAMP*,

Modelagem e simulação do ecossistema do Ribeirão Pinhal - região de Limeira através de dinâmica de sistemas.

Estruturou-se um modelo simulado de um sistema hídrico, com o objetivo de testar o processo de coordenação do conhecimento multiespecialista (PCCM) desenvolvido nos capítulos anteriores quanto à oportunidade de utilização em um sistema natural complexo, submetido à avaliação de especialistas de diversas áreas, como Engenharia Ambiental, Química e Saneamento, sob enfoques diferentes, às vezes conflituosos.

Quanto à eficiência, o modelo foi submetido à validação conjunta dos agentes, assim como às validações estatísticas necessárias.

5.1 Estabelecimento do objeto de análise

A obtenção do conhecimento especialista foi realizada a partir de entrevistas com quatro docentes do curso de Tecnologia em Saneamento Ambiental do Centro Superior de Tecnologia da Universidade Estadual de Campinas – CESET-UNICAMP, em Limeira – SP no período de janeiro a março de 2005. As entrevistas iniciais estabeleceram o objetivo do trabalho como ***Determinar fatores que influenciam na qualidade da água de um rio, exposto a ações antrópicas.***

Estabeleceu-se, conforme solicitado pelos agentes, “qualidade da água” como sendo as características físico-químicas da água encontrada de forma original, em um segmento de corpo d’água, exposto a condições naturais.

O escopo de análise determinado pelos especialistas, utilizado no desenvolvimento do trabalho, estabeleceu que o mesmo seria limitado à reprodução de um caso de estudo de situações básicas, em nível acadêmico, servindo originalmente como instrumento de Educação Ambiental, devendo ser flexível para alterações futuras, visando sua utilização em análises técnicas mais acuradas. Para tanto, deve ser flexível para absorção de outras variáveis.

A partir de uma postura não-participativa, foram levantadas junto aos agentes quais seriam, sob seus critérios pessoais, as ações, ocorrências ou situações que influenciariam a perda da qualidade natural da água de um rio, considerando o escopo determinado.

5.2 Estruturação dos modelos mentais particionados

Após a determinação do Objeto Central de Análise, realizada conjuntamente pelos agentes decisores, iniciou-se a aquisição do conhecimento especialista, através do emprego de Fluxogramas Situacionais do Modelo Particionado - FSP.

5.2.1 Composição do objeto imediato

Inicialmente, para cada um dos quatro agentes entrevistados foi desenvolvido um FSP, com o objetivo de posicionar os critérios de cada agente segundo os eixos de influência e governabilidade. Aos agentes foi dado o conhecimento sobre a necessidade de posicionar corretamente cada critério nos eixos, considerando o objeto central da análise. Os agentes foram orientados para

expressar seus critérios a partir de palavras, termos compostos ou símbolos, sem se utilizar de frases, particularmente no período composto. Após os critérios terem sido posicionados nos quadrantes julgados corretos, foi solicitado aos agentes que indicassem possíveis relações de causa-efeito entre os critérios. Essas relações foram registradas em cada FSP por setas.

5.2.2 Organização e representação do conhecimento profundo do especialista

Após cada agente ser ouvido, todos os critérios foram tabulados em uma única Folha Índice de Variáveis (FIV) e ordenados alfabeticamente, tornando possível desenvolver uma pesquisa semântica de similaridades entre termos e entre coordenadas declaradas, visando descobrir padrões iguais com o objetivo de reduzir o número de variáveis por sobreposição (QUADRO 5.1).

QUADRO 5.1 – Folha índice de variáveis

| Agente | Situação Inicial | | |
|--------|-------------------------|-----|----------------|
| | Nome | Cód | Coord |
| 1 | Ausência de Mata ciliar | AM | 1 ^A |
| 1 | Agricultura | AG | 1 ^A |
| 1 | Contaminação | CO | 1 ^A |
| 1 | Presença de Animais | PA | 3C |
| 1 | Erosão | ER | 2 ^A |
| 2 | Retirada de Mata ciliar | RM | 2 ^A |
| 2 | Agricultura | AG | 2B |
| ... | ... | ... | ... |
| 2 | Agrotóxicos | AT | 2B |
| 2 | Substâncias Tóxicas | ST | 2 ^A |
| 2 | Esgoto Doméstico | ED | 1 ^A |
| 3 | Mata Ciliar | MC | 1 ^A |
| 3 | Atividades Agropastoris | AP | 2 ^A |
| 3 | Esgoto Doméstico | ED | 2 ^A |
| ... | ... | ... | ... |

5.3 Estruturação do modelo mental compartilhado

De posse dos FSP de cada agente e da FIV originária, é possível desenvolver um trabalho de avaliação de similaridades entre as variáveis. Após essa verificação, ordenam-se as variáveis pelos pesos atribuídos pelo posicionamento nas coordenadas do FSP. Em seguida, os agentes ponderarão sobre a dispersão das variáveis, reveladas pelo gráfico de limites e sobre a possibilidade de exclusão ou inclusão de novas variáveis ou relacionamentos.

5.3.1 Análise semântica de similaridades

A construção do fluxograma situacional compartilhado (FSC), obedece as mesmas regras de construção do FSP, em relação às coordenadas e concentra todas as variáveis organizadas na FIV.

Dessa forma, é possível ter uma visão geral de todas as variáveis e avaliar criticamente suas propriedades e relacionamentos. Avaliar o conjunto de variáveis torna possível aos agentes compreender parte do modelo mental dos outros participantes e ampliar a contribuição, alterando ou ampliando o que já foi feito, visando a harmonização do modelo, ou seja, a junção dos fluxos particionados. Dessa forma, vínculos podem ser adicionados ou retirados, assim como variáveis. O QUADRO 5.2, apresenta um fragmento da FIV ordenada por código e coordenadas. No seguimento “Conversão Admitida”, a FIV sofrerá alterações no sentido de reduzir variáveis de natureza igual. Essa similaridade foi julgada conjuntamente pelos agentes.

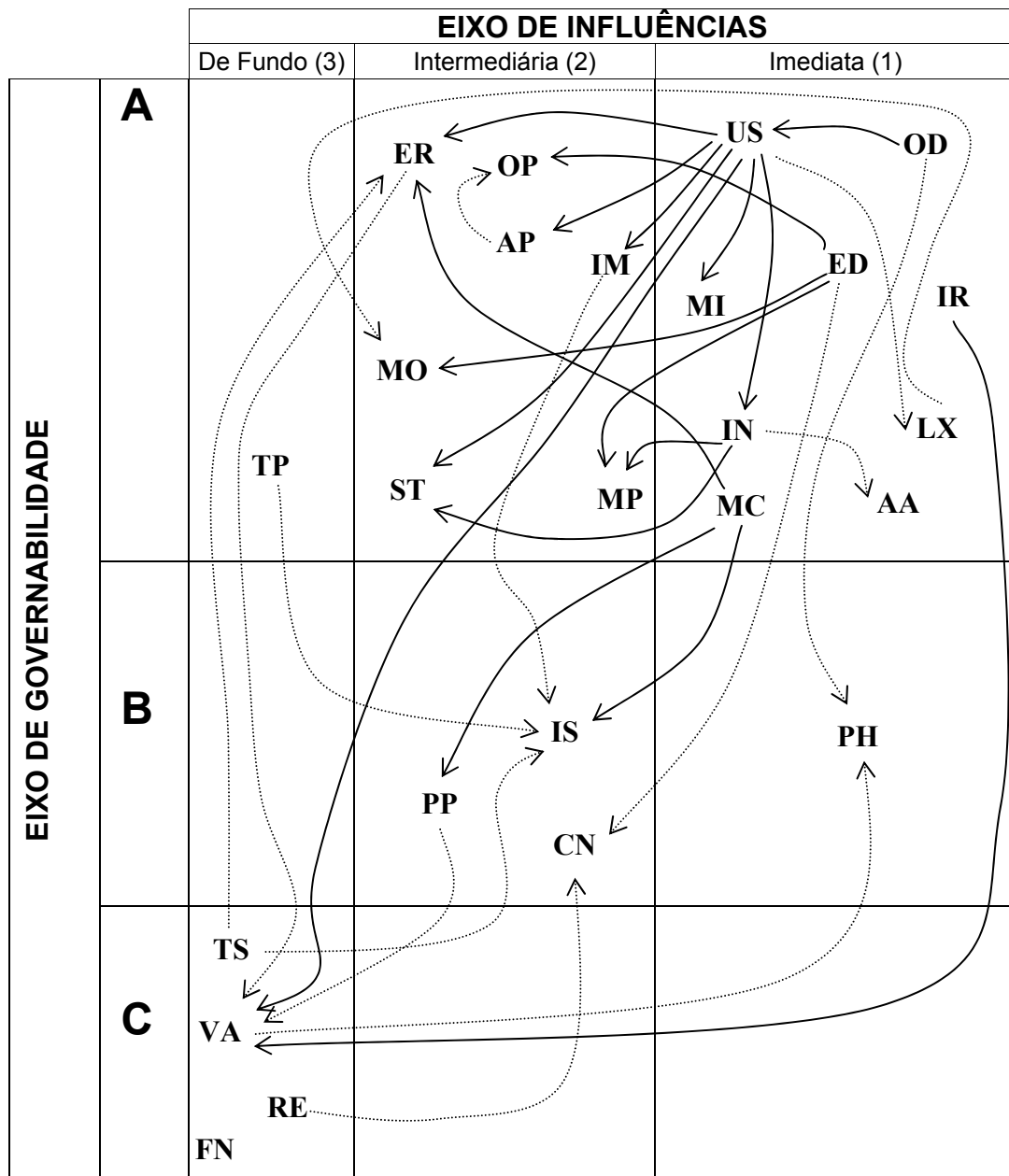
QUADRO 5.2 – Folha índice de variáveis – análise de variáveis

| Agente | Situação Inicial | | | Conversão Admitida | | |
|--------|-------------------------|-----|-------|-------------------------|-----|-------|
| | Nome | Cód | Coord | Nome | Cód | Coord |
| 3 | Mata Ciliar | MC | 1A | Mata Ciliar | MC | 1A |
| 2 | Retirada de Mata ciliar | RM | 2A | | | |
| 1 | Ausência de Mata ciliar | AM | 1A | | | |
| 2 | Agricultura | AG | 2B | Agricultura | AG | 2B |
| 1 | Agricultura | AG | 1A | | | |
| 2 | Indústria | IN | 1A | Indústria | IN | 1A |
| 1 | Indústria | IN | 1A | | | |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 2 | Agrotóxicos | AT | 2B | Substâncias Tóxicas | ST | 2A |
| 2 | Substâncias Tóxicas | ST | 2A | | | |
| 1 | Contaminação | CO | 1A | | | |
| 3 | Atividades Agropastoris | AP | 2A | Atividades Agropastoris | AP | 2A |
| 1 | Presença de Animais | PA | 3C | | | |
| 2 | Esgoto Doméstico | ED | 1A | Esgoto Doméstico | ED | 1A |
| 3 | Esgoto Doméstico | ED | 2A | | | |
| 3 | Erosão | ER | 2A | Erosão | ER | 2A |
| 1 | Erosão | ER | 2A | | | |

Depois de reavaliadas, as variáveis são posicionadas no FSC, onde receberão uma reavaliação por parte dos agentes.

A FIGURA 5.1 demonstra o FSC do modelo com todas as variáveis admitidas pelo conjunto de agentes. As setas com linhas cheias representam os vínculos originais, inseridos pelos agentes inicialmente. As setas com linhas intermitentes representam os vínculos adicionados posteriormente à redução, durante a reavaliação. Os vínculos intermitentes foram adicionados com a supervisão do conjunto de agentes, visando a integração e a complementação dos modelos mentais particionados. Não foram adicionadas variáveis, entretanto, os novos vínculos interligam dezenove das vinte e cinco variáveis integrantes do modelo (76%), o que significa que a integração entre os modelos mentais dos diversos agentes, após a redução e reavaliação das variáveis, foi significativa.

FIGURA 5.1 – Fluxograma situacional compartilhado (FSC)



5.3.2 Análise de pesos e variáveis

Depois de todas as variáveis terem sido posicionadas, e a FIV e o FSC terem sido redesenhados, o modelo é submetido ao cálculo e avaliação dos

autovetores, que tem como objetivo posicionar as variáveis em ordem de impacto sobre o objeto de análise (QUADRO 5.3).

QUADRO 5.3 – Análise de pares e avaliação de autovetores das variáveis do modelo

| Coord | Nome | Cod. | Análise | | |
|-------|-----------------------------|----------------|-----------|-----------|-------------------|
| | | | Autovetor | Normaliz. | Análise Autovetor |
| 1A | Efluente Doméstico | ED | 1,6467 | 0,055 | OK |
| 1A | Resíduos Sólidos | LX | 1,6467 | 0,055 | OK |
| 1A | Oxigenio Dissolvido | OD | 1,6467 | 0,055 | OK |
| 1A | Ph | PH | 1,6467 | 0,055 | OK |
| 1A | Impermeabilização do Solo | IM | 1,6467 | 0,055 | OK |
| 1A | Compostos Nitrogenados | CN | 1,6467 | 0,055 | OK |
| 1A | Erosão | ER | 1,6467 | 0,055 | OK |
| 1A | Metais Pesados | MP | 1,6467 | 0,055 | OK |
| 1A | Relevo | RE | 1,6467 | 0,055 | OK |
| 3A | Precipitação Pluviométrica | PP | 1,4638 | 0,048 | OK |
| 1B | Substâncias Toxicas | ST | 1,2808 | 0,042 | OK |
| 2A | Efluente Industrial | IN | 1,2808 | 0,042 | OK |
| 2A | Mata ciliar | MC | 1,2808 | 0,042 | OK |
| 2A | Uso e Ocupação do solo | US | 1,2808 | 0,042 | OK |
| 2A | Tx. Infiltração no solo | IS | 1,2808 | 0,042 | OK |
| 2A | Matéria Orgânica | MO | 1,2808 | 0,042 | OK |
| 2A | Organismos Patogênicos | OP | 1,2808 | 0,042 | OK |
| 2A | Acidente Ambiental | AA | 1,0978 | 0,036 | OK |
| 2B | Irrigação | IR | 1,0978 | 0,036 | OK |
| 2B | Atividades Agropastoris | AP | 1,0978 | 0,036 | OK |
| 3C | Atividade Mineradora | MI | 0,9149 | 0,030 | OK |
| 2B | Volume do Corpo d'Água | VA | 0,1830 | 0,006 | Reavaliar |
| 3C | Trafego de Veículos Pesados | TP | 0,1830 | 0,006 | Reavaliar |
| 3C | Fenômeno Natural | FN | 0,1830 | 0,006 | Reavaliar |
| 3C | Solo | TS | 0,1830 | 0,006 | Reavaliar |
| | | | 30,1904 | 1,000 | |
| | | Limites | | | |
| | | Superior | 1,79 | | |
| | | Média | 1,28 | | |
| | | Inferior | 0,77 | | |

É possível verificar no QUADRO 5.3, que as últimas quatro variáveis, encontram-se fora dos limites. O posicionamento dessas variáveis

abaixo do limite inferior, o que demonstra falta de homogeneidade no tratamento das questões relativas ao problema.

Diante de ocorrências como esta, é importante que o modelo seja reavaliado, sendo necessário encontrar explicações para o fato dessas variáveis estarem fora dos limites. Neste modelo, após análise, os agentes optaram por conservar o posicionamento sobre essas variáveis, considerando que, segundo seus critérios, de fato, o modelo destina-se a fins didáticos e, por conta da necessidade de simplificação, não foram introduzidas outras variáveis que provavelmente tornariam o modelo mais homogêneo. Entretanto, as variáveis não incluídas, não são, segundo os agentes, de relevância para o presente estudo de caso, exceto a variável *Fenômeno Natural (FN)*, que optou-se pela exclusão. No FIGURA 5.2 é possível evidenciar os limites e as variáveis.

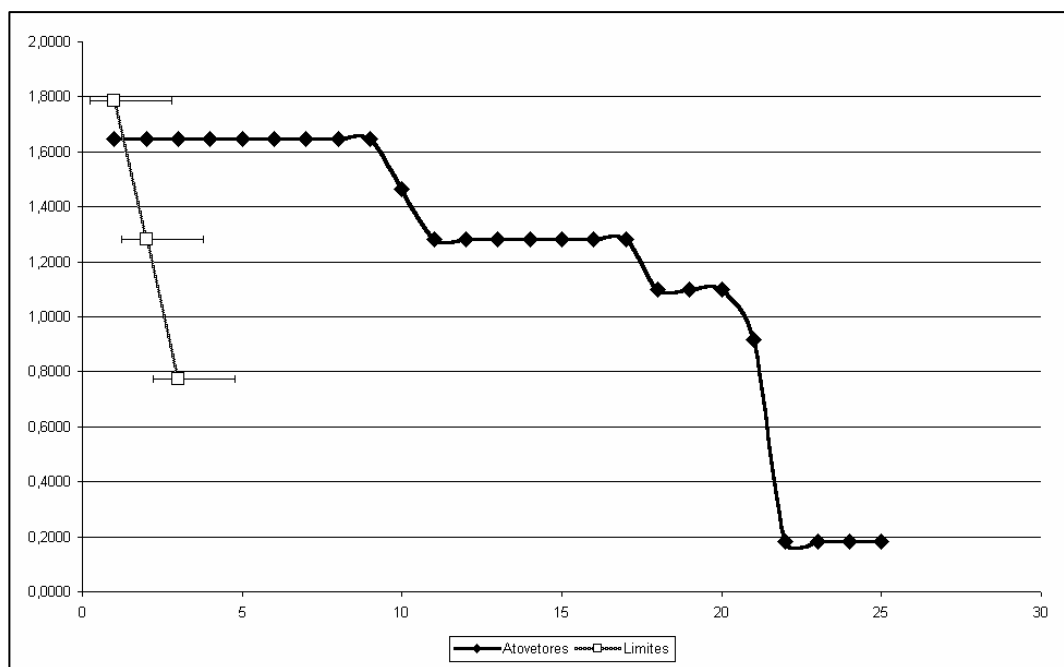


FIGURA 5.2 – Avaliação de limites do modelo

5.3.3 Redução de variáveis e estabelecimento de vínculos de causa-efeito

Após as variáveis terem sido avaliadas e, a partir do consenso geral, reduzidas, atualiza-se a FIV (QUADRO 5.4).

QUADRO 5.4 – Folha Índice de Variáveis – FIV - Concluída

| Decisor | Variável | | |
|----------|-----------------------------|------|----------------|
| | Ação | Cod. | Coordenada |
| Agente 2 | Acidente Ambiental | AA | 1 ^A |
| Agente 2 | Efluente Doméstico | ED | 1 ^A |
| Agente 1 | Efluente Industrial | IN | 1 ^A |
| Agente 3 | Irrigação | IR | 1 ^A |
| Agente 3 | Resíduos Sólidos | LX | 1 ^A |
| Agente 1 | Mata ciliar | MC | 1 ^A |
| Agente 2 | Atividade Mineradora | MI | 1 ^A |
| Agente 2 | Oxigênio Dissolvido | OD | 1 ^A |
| Agente 1 | Uso e Ocupação do solo | US | 1 ^A |
| Agente 3 | Ph | PH | 1B |
| Agente 3 | Atividades Agropastoris | AP | 2 ^A |
| Agente 3 | Erosão | ER | 2 ^A |
| Agente 2 | Impermeabilização do Solo | IM | 2 ^A |
| Agente 2 | Matéria Orgânica | MO | 2 ^A |
| Agente 4 | Metais Pesados | MP | 2 ^A |
| Agente 4 | Organismos Patogêncios | OP | 2 ^A |
| Agente 3 | Substâncias Tóxicas | ST | 2 ^A |
| Agente 2 | Compostos Nitrogenados | CN | 2B |
| Agente 1 | Tx. Infiltração no solo | IS | 2B |
| Agente 2 | Precipitação Pluviométrica | PP | 2B |
| Agente 1 | Trafego de Veículos Pesados | TP | 3 ^A |
| Agente 3 | Solo | TS | 3C |
| Agente 1 | Volume do Corpo d'Água | VA | 3C |
| Agente 1 | Relevo | RE | 3C |

A FIV tem como objetivo registrar todas as variáveis, o agente que lhe deu origem, seu código e sua coordenada de localização no fluxo. Assim, é possível localizar a variável através de seu código ou conferir sua localização mais rapidamente no fluxo situacional do modelo compartilhado (FSC).

Para melhorar a compreensão da estrutura das variáveis e também facilitar a atividade de modelagem da simulação, o modelo foi transposto para um diagrama de causa-efeito (FIGURA 5.3).

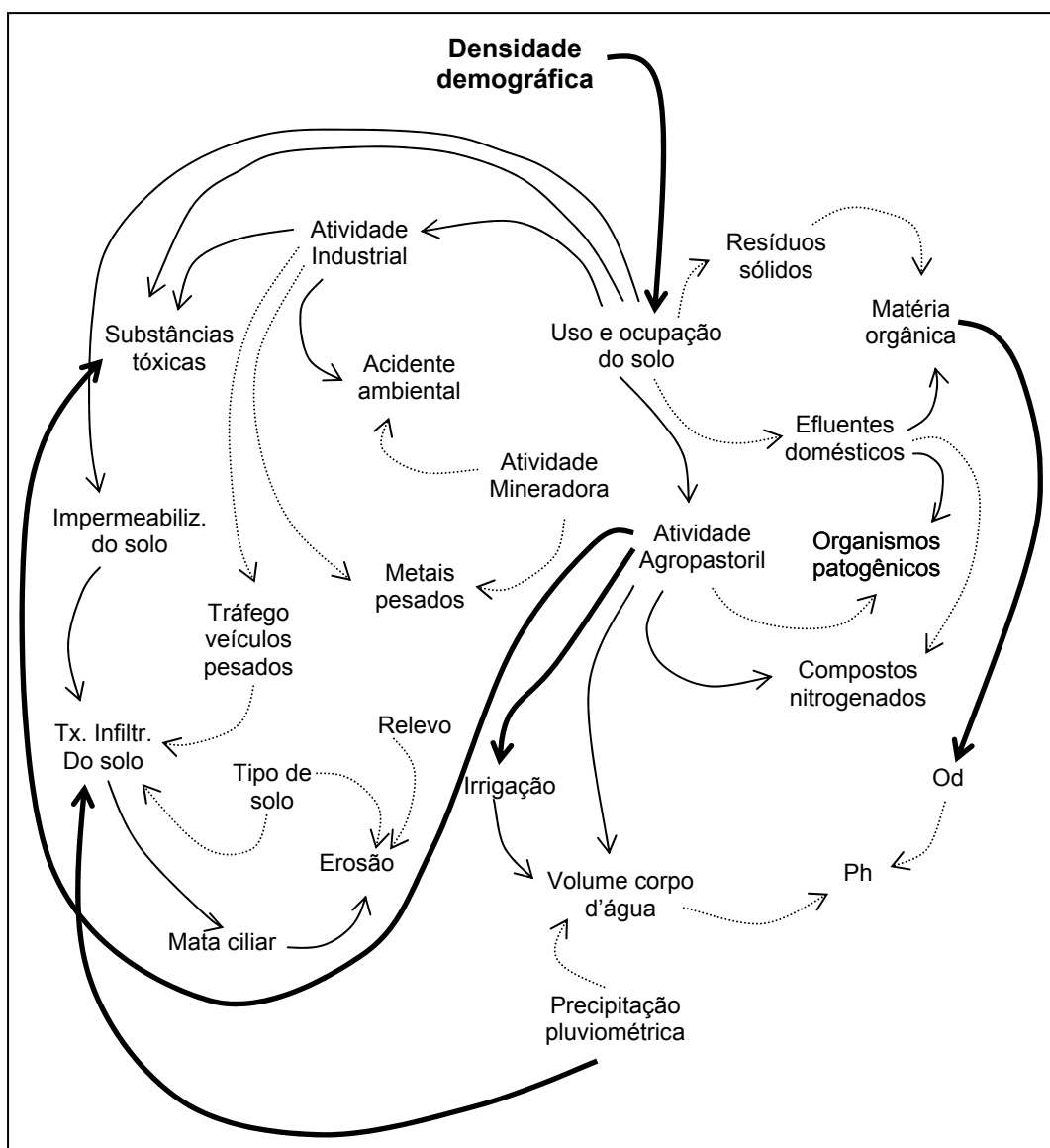


FIGURA 5.3: Diagrama de causa-efeito do modelo

Para a transposição das variáveis, respeitou-se a mesma estrutura de relacionamentos do fluxograma situacional (FIGURA 5.1). As linhas cheias

representam os vínculos propostos inicialmente. As linhas pontilhadas são os vínculos propostos durante a primeira reavaliação. As variáveis e os links em negrito, são os novos argumentos, determinados a partir desta reavaliação.

5.4 Estruturação do modelo simulado

Para a estruturação do modelo simulado a partir do diagrama de causa-efeito (FIGURA 5.3), determinam-se os componentes FLUXO. Todos os outros componentes derivarão desses primeiros, de forma a garantir o funcionamento lógico do modelo. A estruturação do modelo simulado é obtida em quatro passos:

- Construção da estrutura lógica e conceitual
- Estabelecimento dos impactos e influências
- Determinação da interface
- Validação

5.4.1 Construção da estrutura lógica e conceitual

Embora o processo admita alterações durante a modelagem do sistema simulado, para a composição do presente modelo, respeitou-se rigorosamente a estrutura de variáveis determinada nos passos anteriores, com o objetivo de verificar se o conjunto e os relacionamentos propostos seriam suficientes para satisfazer as necessidades de modelagem.

Algumas considerações iniciais foram feitas para determinar os pesos das variáveis nos relacionamentos:

i. A escala de proporcionalidade de poluição do meio hídrico, para efeito desta simulação será considerada como:

| | |
|----------------------------|------|
| – Esgoto doméstico | 30% |
| – Resíduo sólido doméstico | 10% |
| – Atividade fabril | 30% |
| – Atividade mineradora | 20% |
| – Atividade agropastoril | 10% |
| – Total | 100% |

ii. A população oscila em patamares, que vão de zero a um milhão de habitantes.

iii. A escala simplificada de pesos dos poluentes distribui-se desta maneira:

| | |
|--------------------------|-----|
| – Metais pesados | 0,3 |
| – Substâncias tóxicas | 0,3 |
| – Organismos patogênicos | 0,2 |
| – Compostos nitrogenados | 0,2 |

iv. Não há recuperação da mata ciliar degradada;

v. A tendência do uso e ocupação do solo é de crescimento constante, considerando que não há êxodo;

vi. Chuva possui valor constante, não estando submetida a sazonalidades;

A estrutura de relacionamentos determinada no diagrama de causa-efeito (FIGURA 5.3) serviu de base para o estabelecimento das variáveis tipo

ESTOQUE. As outras variáveis foram definidas a partir dessas primeiras, considerando as regras de construção de modelos simulados.

Como exemplo, a FIGURA 5.4 contém um fragmento do modelo de simulação, estruturado a partir da utilização do software STELLA 8.1.

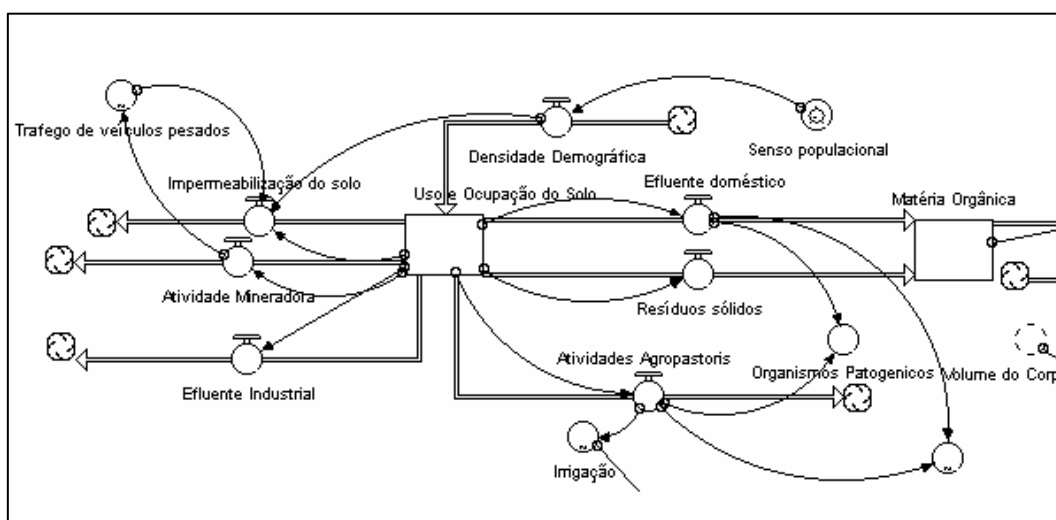


FIGURA 5.4: Parte da estrutura do modelo simulado

5.4.2 Determinação dos outputs de análise e da interface

Através da interface do modelo, pode-se interagir escolhendo o senso populacional, tipo de solo e relevo. Pode-se ainda determinar se a variável “Chuva” ou “Ações Predatórias” serão acionadas.

Na FIGURA 5.5, encontra-se o gráfico da variável “Qualidade da Água”, que fornece o *output* do sistema.

Foram determinadas ainda, as seguintes condições para simulação:

- *Lenght of Simulation*

From 1 to 12

$Dt = 1.00$

- *Integration Method = Euler's Method*
- *Sim Speed – 1 real secs = 1 unit time*
- *Run mode = Normal*
- *Interaction Mode = Flight Sim*
- *Unit of time = Months*

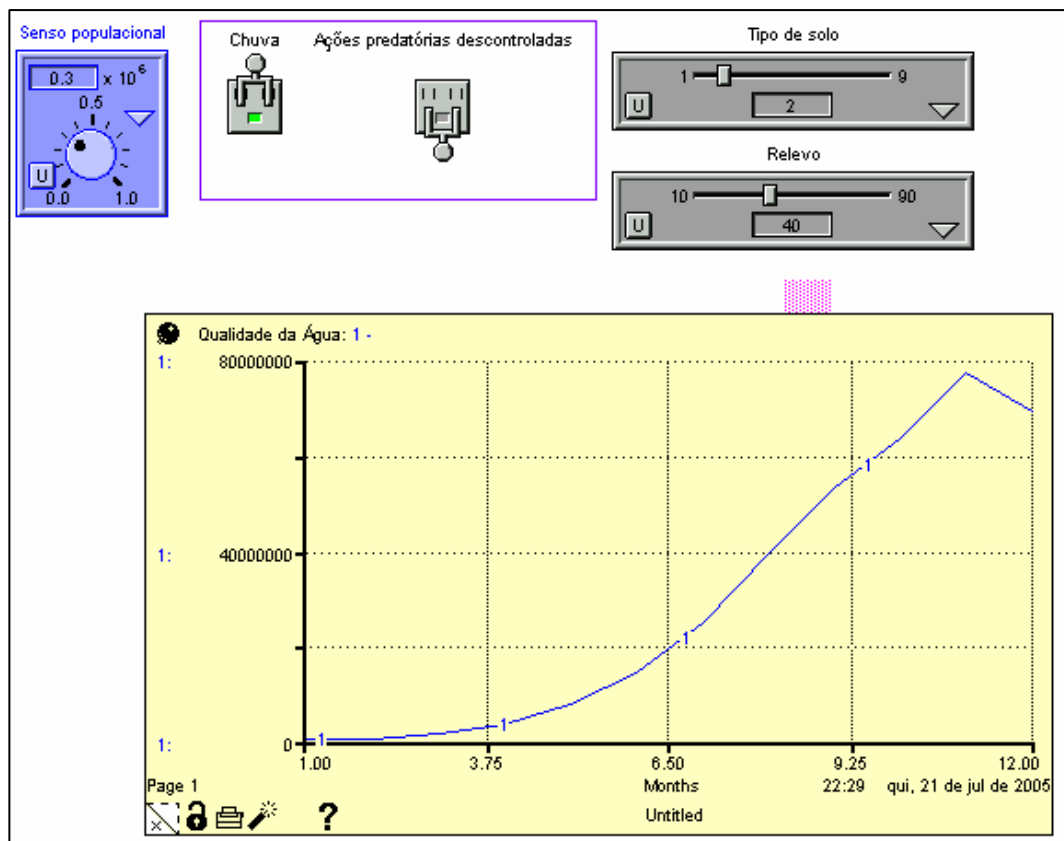


FIGURA 5.5: Interface do sistema

5.4.3 Testes de validação

O modelo foi submetido aos testes necessários de validação, e os erros e inconsistências, foram resolvidos durante o processo.

5.4.4.1. Teste de erro mecânico

O modelo foi simulado no aplicativo *STELLA® 8.1*, que possui uma função (*RUN – RANGE SPECS*) pela qual é possível analisar as estatísticas das variações mínimas e máximas de cada variável e comparativamente entre elas.

As inconsistências observadas em algumas variáveis foram corrigidas.

5.4.4.2. Teste de robustez

O teste de robustez foi aplicado em todas as variáveis tipo estoque do modelo. Adotou-se o procedimento de inserção de uma variável tipo fluxo nos estoques *Mata Ciliar*, *Matéria Orgânica* e *Qualidade da água*.

Como exemplo, para o estoque *Matéria Orgânica*, foi introduzido um fluxo de saída, visando a redução drástica do volume dessa variável, que, em condições normais, apresenta apenas tendência de crescimento, considerando que no sistema não existe qualquer variável de tratamento de efluentes (FIGURA 5.6)

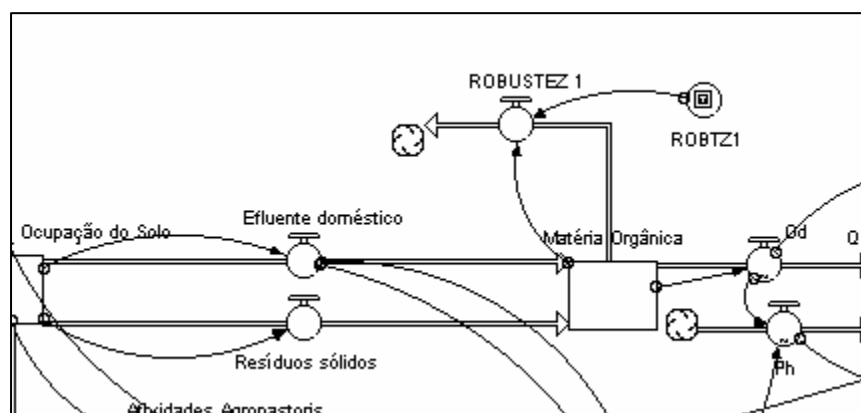


FIGURA 5.6 - Parte do teste de robustez do modelo

A variável **ROBUSTEZ_1**, é uma variável fluxo de saída que contém a seguinte função:

$$\mathbf{ROBUSTEZ_1 = IF(ROBTZ1=1)} \\ \mathbf{THEN(PULSE(Matéria_Orgânica*0.99,6,100)) ELSE(0)}$$

Onde **ROBTZ1=1** refere-se a um auxiliar posicionado junto ao gráfico comparativo, que tem como objetivo permitir que se possa acionar manualmente a variável **ROBUSTEZ_1** na segunda rodada da simulação.

A FIGURA 5.7 demonstra a *seqüência 1* de dados, que é anterior à aplicação do teste de robustez, e a *seqüência 2*, posterior ao teste de robustez

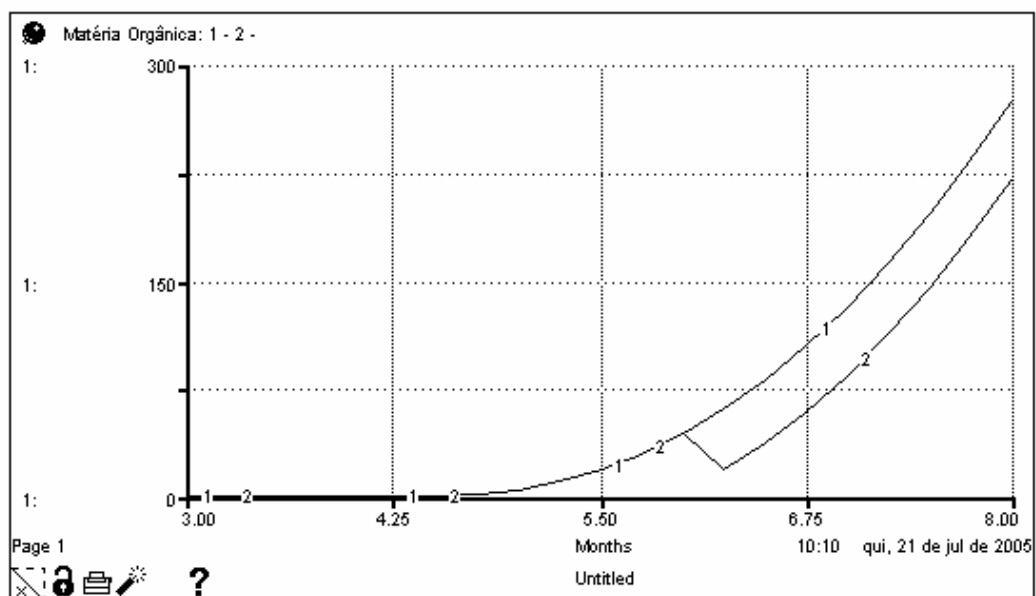


FIGURA 5.7: Resultado do teste de robustez da variável *Matéria Orgânica*

Como é possível verificar, o impacto produzido pela redução de 99% do volume da variável *Matéria_Orgânica* apenas no sexto mês da

simulação, não produziu alterações na tendência da curva apresentada na *sequência 1*. Em razão disso, é possível afirmar que, mesmo submetidas às condições de estresse, as variáveis estoque do modelo, apresentaram os resultados esperados, tendo sido validadas em relação à robustez.

5.4.4.3. Teste de hipótese

A validação do sistema consistiu avaliar a variância de duas médias de qualidade (a média simulada, e a média proposta).

Considerando os procedimentos estatísticos mais adequados, foi utilizada a função *ANOVA: fator único* para esse objetivo.

Os dados reais para validação do modelo são provenientes de arquivos de pesquisas disponibilizados pelos agentes participantes do processo de modelagem, e referem-se ao Ribeirão Pires, próximo à cidade de Limeira.

Esse rio, cujos dados se encontram na TABELA 5.1, foi escolhido pelo fato de possuir um percurso que compreende área urbana, industrial e rural, assemelhando-se ao padrão do modelo simulado.

Os dados coletados durante o ano de 2003, estão representados na TABELA 5.1, que possui as informações necessárias para o cálculo do índice de qualidade da água (IQA), necessário para comparação com os valores obtidos na simulação.

O IQA é calculado pelo produtório ponderado das qualidades de água correspondentes aos parâmetros determinados nas colunas da TABELA 5.1.

TABELA 5.1 – Dados de qualidade 2003 – Ribeirão Pires

| Meses | Ph | OD | DQO | Turbidez | Condutividade |
|--------|------|-------|-------|----------|---------------|
| jan/03 | 5,98 | 9,84 | 10,00 | | 93,10 |
| fev/03 | 5,79 | 6,18 | 22,00 | | 75,70 |
| mar/03 | 6,92 | 8,16 | 26,00 | 31,70 | 75,10 |
| abr/03 | 7,04 | 10,17 | 8,00 | 19,10 | 82,30 |
| mai/03 | 7,01 | 8,18 | 11,00 | 19,90 | 80,40 |
| jun/03 | 6,18 | 6,88 | 23,00 | 10,70 | 87,50 |
| jul/03 | 6,89 | 8,45 | 18,00 | 22,40 | 81,70 |
| ago/03 | 7,58 | 7,56 | 29,00 | 9,40 | 102,10 |
| set/03 | 7,39 | 9,40 | 40,00 | 25,90 | 115,40 |
| out/03 | 7,70 | 10,50 | 32,00 | 41,70 | 118,30 |
| nov/03 | 7,05 | 2,93 | 66,00 | 34,50 | 118,00 |
| dez/03 | 7,48 | 5,21 | 13,00 | 35,10 | 112,80 |

Legenda

Ph – Índice de Acidez/Alcalinidade

OD – Oxigênio Dissolvido

DQO – Demanda Química de Oxigênio

$$IQA = \prod_{i=1}^n q_i w_i$$

Sendo:

- IQA um fator que oscila entre 0 e 100,
- q_i a qualidade do i -ésimo parâmetro, um número entre 0 e 100, proveniente da curva média de variação da qualidade;
- w_i representa o peso correspondente ao i -ésimo parâmetro, que varia entre 0 e 1.

Observando a soma dos pesos:

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1$$

Os parâmetros de w_i foram arbitrados pelos especialistas da área de Tecnologia em Saneamento, sendo a relevância de cada quesito, determinada pelo fim ao qual se destina a água. No presente caso de estudo, foram determinados pesos iguais, conforme QUADRO 5.5.

QUADRO 5.5 – Pesos atribuídos aos parâmetros de avaliação do IQA

| Índice | Peso |
|---------------|-------------|
| Ph | 0,20 |
| OD | 0,20 |
| DQO | 0,20 |
| Turbidez | 0,20 |
| Condutividade | 0,20 |
| Total | 1,00 |

Verifica-se que nos meses de janeiro e fevereiro de 2003, não houve avaliação do quesito “turbidez”. Dessa forma, esses meses foram excluídos da análise, sendo observados apenas os meses de março a dezembro.

Considerando os valores medidos, elaborou-se o índice de qualidade da água a partir dos valores obtidos e representados na TABELA 5.2.

TABELA 5.2 – IQA - análises de 2003 – Ribeirão Pires

| Meses de coleta | Ph | OD | DQO | Turbidez | Condutividade | IQA |
|-----------------|------|------|------|----------|---------------|-------|
| jan/03 | 1,43 | 1,58 | 1,58 | - | 2,476 | - |
| fev/03 | 1,42 | 1,44 | 1,86 | - | 2,376 | - |
| mar/03 | 1,47 | 1,52 | 1,92 | 2,00 | 2,372 | 20,36 |
| abr/03 | 1,48 | 1,59 | 1,52 | 1,80 | 2,416 | 15,52 |
| mai/03 | 1,48 | 1,52 | 1,62 | 1,82 | 2,405 | 15,88 |
| jun/03 | 1,44 | 1,47 | 1,87 | 1,61 | 2,446 | 15,57 |
| jul/03 | 1,47 | 1,53 | 1,78 | 1,86 | 2,412 | 18,05 |
| ago/03 | 1,50 | 1,50 | 1,96 | 1,57 | 2,522 | 17,40 |
| set/03 | 1,49 | 1,57 | 2,09 | 1,92 | 2,585 | 24,20 |
| Out/03 | 1,50 | 1,60 | 2,00 | 2,11 | 2,598 | 26,37 |
| Nov/03 | 1,48 | 1,24 | 2,31 | 2,03 | 2,596 | 22,33 |
| Dez/03 | 1,50 | 1,39 | 1,67 | 2,04 | 2,573 | 18,22 |

O objetivo para o teste de validação de hipótese seria obter *outputs* do modelo simulado, com padrões de comportamento estatisticamente iguais.

Para aproximar o modelo simulado ao sistema real, foram considerados os seguintes *inputs* pela interface:

- População = 300.000
- Chuva = sim
- Tipo de solo = 2
- Relevo = 30
- Ações predatórias = não

O resultado obtido na simulação, em comparação ao cálculo dos valores reais está representado na TABELA 5.3.

TABELA 5.3 – Índices de qualidade da água reais e simulados

| Meses | IQA | Simulação |
|--------|-------|-----------|
| jan/03 | - | - |
| fev/03 | - | - |
| mar/03 | 20,36 | 0,12 |
| abr/03 | 15,52 | 1,01 |
| mai/03 | 15,88 | 4,35 |
| jun/03 | 15,57 | 12,10 |
| jul/03 | 18,05 | 26,21 |
| ago/03 | 17,40 | 49,38 |
| set/03 | 24,20 | 86,70 |
| Out/03 | 26,37 | 138,39 |
| Nov/03 | 22,33 | 187,08 |
| Dez/03 | 18,22 | 180,60 |

Pela aplicação da função ANOVA para avaliação do comportamento das variáveis, obteve-se a TABELA 5.4. As duas séries numéricas são comparadas não pelo seu significado quantitativo, que apresenta uma grande disparidade, mas sim, pelo seu significado qualitativo, ou seja, da tendência da curva obtida pela plotagem das respectivas séries.

TABELA 5.4 – Cálculo de ANOVA para as séries simulada e real

| <i>Fonte da variação</i> | <i>SQ</i> | <i>gl</i> | <i>MQ</i> | <i>F</i> | <i>valor-P</i> | <i>F crítico</i> |
|--------------------------|-------------|-----------|-------------|----------|----------------|------------------|
| Entre grupos | 12105,11841 | 1 | 12105,11841 | 4,3015 | 0,052701026 | 4,413863 |
| Dentro dos grupos | 50654,92296 | 18 | 2814,162386 | | | |
| Total | 62760,04137 | 19 | | | | |

Considerando $F < F$ crítico, então a hipótese é considerada válida. Como o verificado $F = 4,3015 < F$ crítico = 4,413863, então, o *output* do

sistema simulado é semelhante ao padrão proveniente do ambiente real, já que não houve variância significativa quanto às duas médias comparadas.

Dessa forma, verifica-se que o padrão de curva obtido na simulação é semelhante ao padrão real, o que dá evidências de que a série obtida, em termos qualitativos, representa a semelhança dos dados coletados diretamente no rio e pode ser utilizado para gerar os mesmos padrões de performance no sistema simulado.

5.5 Considerações sobre o capítulo

Com o experimento descrito neste Capítulo, foi possível testar que a aplicação do PCCM é válida quanto à oportunidade, considerando que ficou demonstrado que o mesmo atinge o objetivo de coordenação do conhecimento multiespecialista e é capaz de estruturá-lo em um modelo de simulação. A validação estatística do modelo simulado demonstra que o mesmo é confiável para o emprego na estruturação de sistemas complexos.

Foi possível também, obter evidências quanto à sua capacidade de mediação para composição dos modelos mentais de um grupo decisor em um modelo compartilhado de pensamento, base para o processo de modelagem de dinâmica de sistemas.

O Capítulo 6 enfoca a discussão sobre os resultados obtidos pela aplicação do PCCM. Para tanto, compara o mesmo modelo desenvolvido a partir do método tradicional de modelagem em Dinâmica de Sistemas.

6 ANÁLISE DO PROCESSO DE COORDENAÇÃO DO CONHECIMENTO ESPECIALISTA

Coordenar a obtenção do conhecimento em um grupo de especialistas, visando a composição de um modelo de apoio à decisão, é uma tarefa que está intimamente ligada ao universo de complexidade dos sistemas naturais.

A cada agente participante de um contexto decisório, deve estar claro onde, como e com que intensidade seus critérios de análise serão posicionados no plano de ação, de forma que se saiba o grau de contribuição dessas ações para o atingimento do objetivo fundamental de análise.

Assim, cada agente poderá observar o todo sob sua ótica especialista, interpretando a ótica dos demais, posicionando-se no sentido de oferecer ou receber suporte para a solução dos problemas afetos à sua área de atuação, que se interpõem ao objetivo organizacional.

Neste capítulo, busca-se comparar duas situações distintas de apoio à decisão em grupo: uma utilizando os elementos de coordenação apresentados no capítulos anteriores e outra, fundamentada em um procedimento usual de modelagem de dinâmica de sistemas.

6.1 Visões particulares em um modelo compartilhado

O ambiente complexo opera em um contexto sistêmico contingencial. A abordagem sistêmica permite um conhecimento amplo do funcionamento da organização, entretanto, a visão oferecida é relativamente

abstrata para considerações sobre problemas contingenciais, pois a dinâmica do ambiente em que as organizações estão situadas exige flexibilidade para adaptações constantes e, às vezes, imprevisíveis. A Teoria da Contingência enfatiza o ambiente, suas demandas sobre a dinâmica da organização e a rede de relações formada em decorrência das demandas surgidas e das respostas emitidas e procura esclarecer o que ocorre nas relações intra e inter-sistemas (ABSY, 1995).

A utilização de simulação proposta pela Dinâmica de Sistemas, consiste na oferta de instrumentos para avaliação estrutural de questões organizacionais, dentro das características propostas pela CSEE - Engenharia Evolutiva de Sistemas Complexos (BAR-YAM & KURAS, 2003).

A partir de simulação é possível entender e medir as relações da organização com o ambiente, e as probabilidades de ocorrência de alterações internas decorrentes dos insumos e da dinâmica ambiental, de forma contínua.

O processo proposto de coordenação do conhecimento multiespecialista (PCCM) culmina na construção de um modelo de simulação, visando atender às necessidades de avaliação das características dinâmicas e evolutivas dos sistemas organizacionais .

Entretanto, para que haja aceitação do modelo simulado como instrumento de avaliação em um processo de apoio à decisão em grupo, os agentes devem constatar em sua estrutura, as características de seu modelo mental particular.

Isso se deve ao fato de que esses agentes apenas entenderão o modelo se o mesmo incorporar características de seu modelo mental, que contém

as estruturas pelas quais o agente se relaciona com o mundo (WINQUIST; LARSON JR, 1998).

O fato do modelo de apoio à decisão incorporar todos os modelos mentais do grupo decisório, torna-o válido para o grupo, que consegue encontrar nesse modelo uma estrutura real compartilhada de pensamento e aprendizado, que garantirá a evolução, a partir de reavaliações constantes dos agentes envolvidos.

Tão importante quanto o agente encontrar sua estrutura mental dentro do modelo de apoio à decisão em grupo, é esse agente poder interpretar os modelos mentais dos outros agentes, que concorrerem para o atingimento do mesmo objetivo e que estabelecem os pontos de troca. Por exemplo, uma ação de um agente desencadeará círculos de influência nas ações de outros agentes. Se todos interpretarem adequadamente esses círculos de influência, então, será possível avaliar abrangência e profundidade de cada ação, racionalizando as atividades e os resultados (HO, 1999).

Por outro lado, a falta de interpretação das necessidades coletivas, pode levar o agente a uma atuação restrita a procedimentos previamente determinados, assim como regras.

Atuar sob uma estrutura de regras leva o agente a uma zona de conforto, considerando que sua atuação será restrita a ações previamente estabelecidas, sendo que situações não contempladas no manual de procedimentos, estarão fora do seu eixo de atuação.

Em algumas situações, pela necessidade de interagir com uma questão adversa, o agente pode, de forma intransigente, aplicar normas e procedimentos, fazendo com que os mesmos percam suas características de

“meios”, passando a funcionar como “fim” ou objetivos (HERRERA, HERRERA-VIEDMA, VERDEGAY, 1997).

A distância física e/ou operacional do agente decisor da demanda organizacional, gera demoras e distorções e a capacidade especialista comanda suas ações em relação ao que de fato ele interpreta como real, necessário e relevante. Essa postura não é incorreta, já que é natural.

Conhecimentos especialistas são, na sua essência, fragmentos do conhecimento geral. Mesmo que esses especialistas possuam visão sistêmica, as contingências do sistema organizacional serão interpretadas apenas sob o peso de seu conhecimento especialista. Um especialista não fará (e nem pode) uma avaliação crítica de uma contingência sob a ótica de outro especialista.

O modelo de estudo apresentado no capítulo anterior foi estruturado a partir do conhecimento especialista organizado por aspectos de lingüística e matemática, que serviram à estruturação dos modelos mentais particulares dos agentes envolvidos no processo de modelagem.

Todas as variáveis admitidas pelos agentes como componentes do modelo compartilhado, figuram na estrutura da simulação, que se completa a partir desses fragmentos de pensamento de cada agente, e ao mesmo tempo, reserva em seu teor características de i) familiaridade com o modelo mental do agente e, ii) elementos de aprendizagem sobre como os modelos mentais de cada agente se completa para gerar um único resultado.

6.2 O conhecimento multiespecialista e Dinâmica de Sistemas

Da forma como foi concebida por FORRESTER (1961), a Dinâmica de Sistemas deriva parte de seus procedimentos, da teoria do controle, e estabelece a intercalação de um agente corretivo C entre o fator F e o resultado desse fator E . Sem a intercalação de C , o resultado E poderá variar ao critério de F .

Uma reação controlada dependerá da existência de um agente corretivo, cuja atuação seguira as seguintes normas:

- a) medir a ação desenvolvida pelo fator;
- b) comparar o rumo, força ou grau dessa ação em relação a um limite de variação preestabelecido O ;
- c) estabelecer uma retroação ao fator, fazendo diminuir, aumentar ou deslocar seu rumo, força ou grau, de modo que a nova ação do fator, ou a continuidade da ação que venha a ser desenvolvida pelo fator se ajuste aos limites preestabelecidos.

Em síntese, o agente corretivo mede e compara os resultado decorrentes de um fator, e, em seguida, corrige a ação do fator para fazer variar seus resultados seguintes dentro de limites preestabelecidos.

As transferências entre $F - C - E$, exploradas pela Dinâmica de Sistemas à luz dos modelos mentais especialistas, têm a pretensão de assemelharem-se à estrutura idealizada por esse especialista, todavia, a coleta de informações para sua composição limita-se à composição de diagramas de influências, que registram as transferências $F - C - E$, sem no entanto relativizar

as inúmeras transferências, atribuindo pesos distintos para ações na mesma direção. Dessa forma, Dinâmica de Sistemas propõe dois fluxos básicos para interpretação de todos os sistemas complexos: um de realimentação negativa (balanceamento) e outro de realimentação positiva (reforço).

A intensidade relativa de cada variável apenas pode ser conhecida após a atribuição de pesos na composição do modelo simulado.

Têm-se, então, durante o processo de aquisição de conhecimento especialista, dois momentos distintos, onde se obtêm elementos componentes de uma mesma informação, já que os relacionamentos são propostos na Fase 2 e a simulação apenas é estruturada na Fase 4.

Mais do que simplesmente nomear e relacionar variáveis durante o processo de aquisição do conhecimento, do modelo mental do especialista devem ser extraídas as intensidades de relação entre as variáveis relevantes e de sua interação conjunta com o objetivo. Assim, o agente pode contribuir com um conjunto maior de informações de extrema relevância, que auxiliam a compreensão do todo complexo, como a relativização de cada variável entre elas e delas para o objetivo, considerando a dimensão tempo e controlabilidade.

Por outro lado, esse tipo de conduta alternativa, pode reduzir falhas de representação dos modelos mentais. Um especialista pode declarar uma variável que possua a mesma designação semântica que outro especialista, e mesmo assim, ela pode ser diferente, em termos de aplicação. Isso ocorre porque sua verbalização é superficial, no sentido de que não contribui para situar tal variável em relação ao universo de forças que ao mesmo tempo unem e separam ações que operam para o atingimento de resultados.

Dessa forma, podem ocorrer quatro alternativas para cada uma das variáveis declaradas por um conjunto de agentes especialistas:

- i) Variáveis declaradas com o mesmo nome por especialistas diferentes, podem agir com intensidades semelhantes sobre um mesmo objetivo;
- ii) Variáveis declaradas com nomes diferentes por especialistas diferentes, podem agir com intensidades divergentes sobre um mesmo objetivo
- iii) Variáveis declaradas com o mesmo nome por especialistas diferentes, podem agir com intensidades divergentes sobre um mesmo objetivo
- iv) Variáveis declaradas com nomes diferentes por especialistas diferentes, podem agir com a mesma intensidade sobre um mesmo objetivo

Nas situações *iii* e *iv*, o sistema não representará adequadamente a realidade imaginada pelo especialista, enquanto que pelas alternativas *i* e *ii*, o sistema estará sobrecarregado com mais de uma variável realizando a mesma função.

Verifica-se, então, que no processo tradicional determinado por Dinâmica de Sistemas, podem ocorrer os problemas relacionados acima, que poderiam culminar em duas situações não desejáveis:

- i. Aumento do número de variáveis do modelo simulado, pela redundância;

- ii. Ampliação dos tempos de depuração do modelo, objetivando encontrar variáveis de comportamento adverso ao projetado.

A comparação do Processo de Coordenação do Conhecimento Multiespecialista com o método tradicional de modelagem em Dinâmica de Sistemas desenvolvida no Capítulo 5, forneceu informações para avaliação das situações apontadas acima.

6.3 Comparação entre os processos de modelagem

Um outro modelo de simulação foi desenvolvido, utilizando o procedimento convencional de modelagem de Dinâmica de Sistemas com o objetivo de testar o processo de coordenação do conhecimento especialista – PCCM. Esse outro modelo simulado, foi desenvolvido a partir de entrevistas com os mesmos agentes, considerando o mesmo objetivo e validado utilizando-se das mesmas séries históricas de dados reais, extraídos dos mesmos sistemas reais. Entretanto, apresentou características distintas do modelo desenvolvido pela aplicação do PCCM, visíveis particularmente no volume de variáveis, na sua natureza e na complexidade da interação da interface.

6.3.1 Procedimento de modelagem utilizado no modelo comparativo

O procedimento convencional de modelagem em dinâmica de sistemas utilizado está representado no diagrama da FIGURA 6.1.

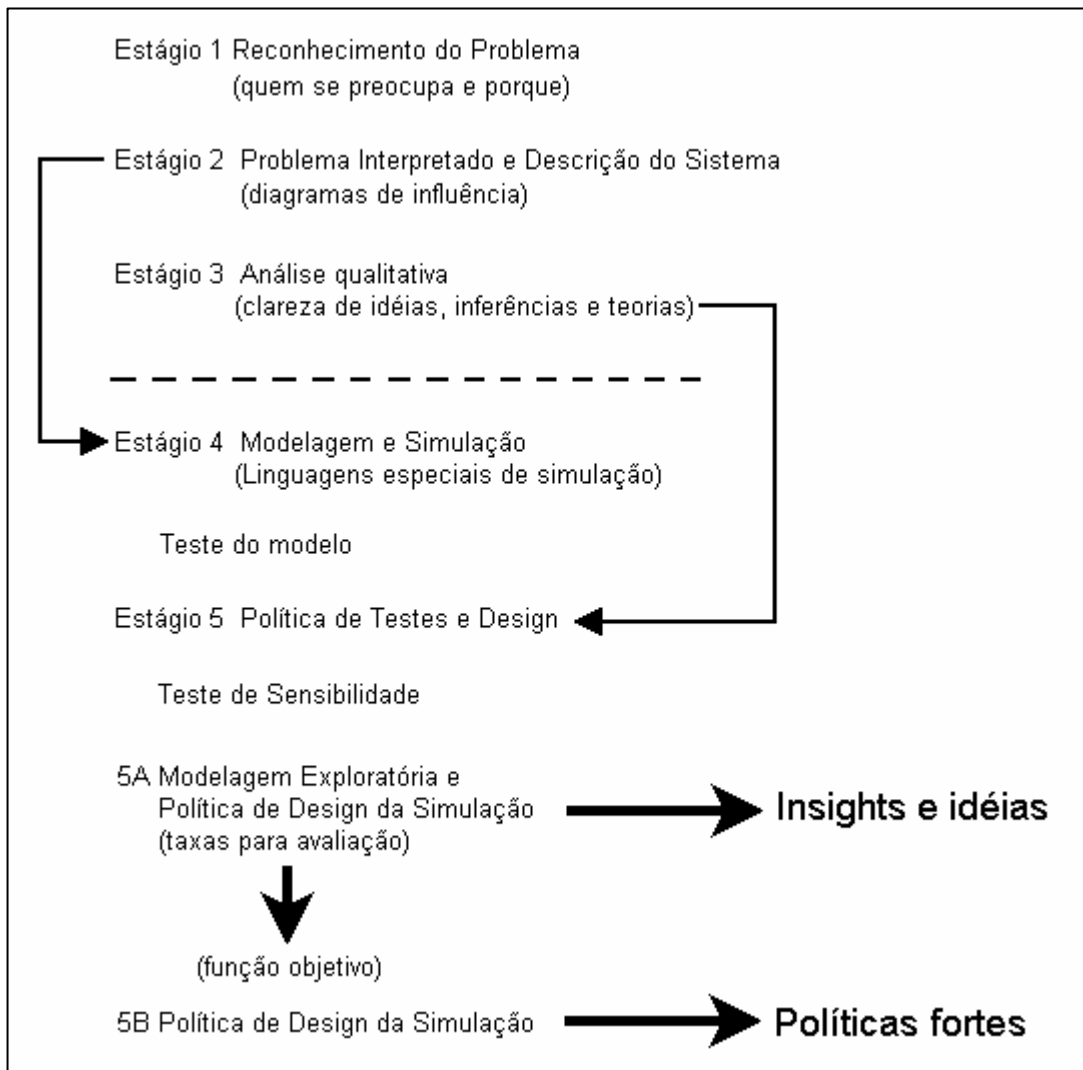


FIGURA 6.1 – Processo de modelagem utilizando DS
 Fonte: Coyle, 1996. p.11.

Verifica-se que as questões de modelagem iniciais recaem sobre um “problema” ou “reconhecimento de um problema” pelo grupo. Entretanto, um grupo de especialistas envolvidos no mesmo processo decisório, deve possuir um único objetivo, mas, deve considerar inúmeros problemas, já que o conhecimento multidisciplinar envolvido em um sistema complexo demanda muitas visões

diferentes, cada uma com suas peculiaridades de análise e seus problemas particulares.

O objetivo é abordado apenas como “função objetivo”, ou objetivo que se pretende alcançar após o emprego de estratégias descobertas durante a simulação, que produzam efeitos de melhoria no sistema inicial.

Observa-se que o modelo mental compartilhado, através da abordagem tradicional, surge através da estruturação do modelo simulado, em sua fase conceitual, ou seja, apenas com a declaração das variáveis e sua estrutura de vínculos. Entretanto, as pesquisas realizadas apontam que o modelo mental de cada agente é composto de uma estrutura profunda, muito importante para seu entendimento e rica em detalhes, que a tornam única, e conseqüentemente importante para o processo decisório. Essa estrutura profunda não é composta puramente de termos e vínculos, mas também de outros elementos que os situam em termos de tempo e governabilidade das interações do especialista, função de sua especialidade.

6.3.2 Análise comparativa de estruturas lógicas entre os modelos

Realizou-se uma análise comparativa simples entre os modelos, visando ilustrar as diferenças técnicas existentes entre os mesmos.

O modelo apresentado no capítulo anterior, foi denominado *Processo de Coordenação do Conhecimento Multiespecialista* (PCCM), e o modelo obtido pela aplicação de um procedimento convencional de modelagem, foi denominado *Modelo Convencional de Simulação Dinâmica* (MCSD).

O QUADRO 6.1 apresenta as comparações de tempo de desenvolvimento, variáveis e atividades dos dois modelos.

A estrutura dos modelos é bastante diferente. É marcante a redução do número de variáveis no PCCM em comparação ao MCSD. Há uma redução drástica do número de auxiliares também, o que indica uma estrutura muito mais fundamentada em estoques e fluxo, que pode denotar maior segurança na transferência da informação.

A diferença entre os processos é bastante significativa: oito meses para o MCSD e dois meses para o PCCM. Isso indica a capacidade do método PCCM em estruturar as variáveis determinadas pelos especialistas.

Quanto à comparação de atividades entre os dois processos, verifica-se que o processo de validação das informações no PCCM inicia no Estágio 2, logo após a apresentação do objeto de análise e é bem mais marcante e estruturado do que no MCSD.

Alguns conjuntos de variáveis observados no modelo MCSD, que reproduzem, por exemplo, o *impacto de pragas na lavoura* e o *uso de pesticidas*, envolvem conhecimento especialista não abrangido no levantamento. Entretanto, essas variáveis foram introduzidas pelos agentes para justificar determinadas necessidades e efeitos nas variáveis que convergem para o objetivo fundamental. A inserção de variáveis que apontam para áreas de saber fora do eixo de domínio dos agentes, envolvem a inclusão de inúmeras outras, que terão o objetivo de justificar, no contexto lógico, a inclusão daquelas primeiras.

QUADRO 6.1 – Comparação da estrutura lógica dos modelos MCSD e PCCM

| Características | | MCSD | PCCM |
|------------------------|-----------|--|---|
| Tempo de desenv. | | 08 meses | 02 meses |
| Período de desenvol | | Set/2004 a abr/2005 | Mai/2005 a jun/2005 |
| Qtd. De variáveis | | 12 estoques 20 fluxos 48 auxiliares 80 Total | 03 estoques 15 fluxos 13 auxiliares 31 Total |
| Qtd de setores | | 05 | 01 |
| Atividades | Estágio 1 | –Reconhecimento do problema | –Coleta e avaliação de informações –Submissão do problema ao agente especialista |
| | Estágio 2 | –Problema interpretado –Descrição do sistema –Diagrama de influências | –Composição do objeto imediato –Organização e representação do conhecimento profundo especialista –Validação pelos agentes |
| | Estágio 3 | –Análise qualitativa –Idéias iferências e teoria | –Análise semântica de similaridades –Análise de pesos de variáveis –Redução de variáveis e estabelecimento de vínculos causa-efeito entre modelos –Validação pelos agentes |
| | Estágio 4 | –Modelagem e simulação –Testes do modelo | –Escolha das variáveis tipo Estoque –Construção da estrutura lógica conceitual –Estabelecimento do nível de impacto das influências e da interface |
| | Estágio 5 | –Políticas de testes e design –Testes de sensibilidade –Modelagem exploratória e políticas de design | –Testes de validação estatística |

A partir de uma análise de similaridade semântica entre as variáveis, também é possível constatar ocorrências de termos similares dentro de

grupos distintos de análise, o que evidencia a necessidade de relacionamentos entre variáveis, ocorridas durante o processo de modelagem e não previstas pelo projeto inicial ou contidas nos modelos de pensamento dos agentes.

Como exemplo, observa-se a similaridade semântica dos nomes das variáveis abaixo, que pertencem a duas áreas distintas: *ocupação urbana* e *Atividade pastoril*:

$$a) \textit{estimativa_da_proporcao} = \textit{Ocupacao_Urbana}/2$$

$$b) \textit{estimativa_da_proporcao_2} = \textit{Pecuaria}/4$$

A similaridade semântica ocorrida entre diferentes variáveis, está presente em inúmeras situações. O termo “*fator de impacto*”, por exemplo, foi utilizado para designar 04 (quatro) variáveis distintas, de grupos distintos, enquanto que o termo “*taxa*” encontra-se presente em 6 (seis) variáveis de grupos distintos. O termo “*impacto*” aparece em 10 (dez) variáveis distintas, e todas elas apresentam uma mesma característica: são compostas por séries gráficas.

O modelo PCCM tem seu foco sobre o objeto fundamental de análise e a totalidade de variáveis vincula-se de forma quase direta ao objeto. O modelo MCSD possui variáveis que não se vinculam diretamente ao objeto de análise, como a variável “*eficácia dos fertilizantes*” que influencia a variável “*Expansão da lavoura*”. A variável “*taxa de mortalidade da pecuária*” é uma outra variável que não se vincula diretamente ao objeto de análise.

Embora a presença dessas variáveis seja plenamente justificável, pois exercem influências, mesmo que indiretas, no objeto de análise, os critérios de julgamento da presença das mesmas, ou até sua adequação, depende de

conhecimento especialista, que a rigor, não esteve presente no processo de levantamento inicial.

Considerando que o modelo MCSD deve avaliar critérios referentes à qualidade da água submetida a ação antrópica, e que ele se utiliza de alguns argumentos não fundamentados em conhecimento especialista, o mesmo torna-se questionável, embora tenha sido validado estatisticamente. Quanto à adequacidade ou aos pesos de análise dessas variáveis, apenas o julgamento especialista poderia determinar razoavelmente em relação ao grupo, seu efetivo posicionamento em relação à ação sobre o objeto central de análise.

A ausência do conhecimento especialista na modelagem dessas áreas, ou a restrição de utilização de conhecimento abaixo da linha crítica está ilustrada na FIGURA 6.2.

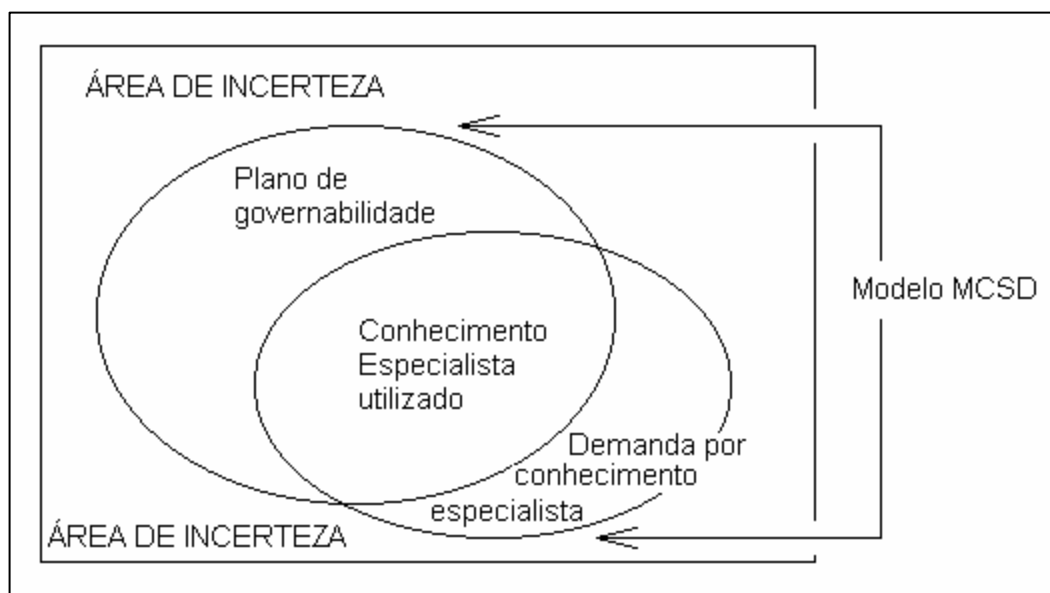


FIGURA 6.2: Conhecimento especialista no modelo MCSD

O modelo MCSD prospecta uma demanda por conhecimento especialista, mas não incorpora esse conhecimento. Essa demanda não atendida passa a ser um “problema dentro do problema”, ou seja, o enfoque do objeto central de análise se desloca para a necessidade de encontrar argumentação para justificar determinadas afirmações que estão à margem do conhecimento dos agentes. O risco da ocorrência desse tipo de abordagem quando não existe estruturação prévia do modelo compartilhado, é bastante grande, pois as reavaliações da lógica da simulação são realizadas durante o estágio de desenvolvimento. Assim, para que seja possível fechar a estrutura, o agente se utiliza de inferência, agregando-a ao seu conhecimento, alterando a proposta inicial, que seria de modelagem integral a partir do conhecimento especialista. A possibilidade de incorrer em erro aumenta à medida em que o modelo caminha para as áreas de incerteza (FIGURA 6.3).

No modelo PCCM, o plano de não governabilidade é controlado e os agentes optaram claramente por incluí-lo. Não existem situações que tenham sido arbitradas unilateralmente ou fortuitamente apenas para completar uma estrutura lógica. A não-governabilidade, neste caso, é controlada. O modelo representa apenas o conhecimento especialista utilizado para compô-lo, logo, pode apresentar carências de outros conhecimentos, que podem ser agregados à medida que sua utilidade for sendo manifestada, ou que os critérios de análise global demandarem.

6.3.3 Interface do modelo

Tanto o modelo MCSD quanto o modelo PCCM possuem na interface , apenas um output, que é a curva da qualidade da água, que representa o objetivo de análise determinado previamente. Em relação aos *inputs*, que são determinados por um conjunto de variáveis distintas, considerando que cada modelo convergiu para uma estrutura diferente, existem diferenças.

O QUADRO 6.2 relaciona as variáveis de *input* de ambos os modelos. Nota-se que existem alguns elementos do modelo MCSD indiretamente vinculados ao contexto do objetivo fundamental de análise, tais como agricultura e pecuária. Os elementos relativos ao modelo PCCM, possuem apenas elementos diretamente ligados à qualidade da água (vegetação, chuva, ações predatórias, tipo de solo e relevo e a ocupação humana).

QUADRO 6.2: Comparação entre a interface do modelo MCSD e PCCM

| Modelo | Variável | Ação |
|--------|----------------------------------|---|
| MCSD | Agricultura | Determina o nível de exploração agrícola do modelo |
| | Pecuária | Determina o nível de exploração pastoril do modelo |
| | Percentual de vegetal | Determina o nível de cobertura vegetal |
| | Taxa-de_imigração | Determina nível de pessoas que chegam a um centro urbano |
| | Taxa de vegetação | Determina o nível de crescimento da vegetação natural. |
| MCCE | Chuva | Binário. Há ou não chuva |
| | Ações predatórias descontroladas | Binário: Há ou não ações predatórias descontroladas |
| | Tipo de solo | Determina a porosidade do solo em vista ao escoamento superficial |
| | Relevo | Determina inclinação do terreno |
| | Senso populacional | Determina o volume de habitantes urbanos. |

Verifica-se na interface, novamente no modelo MCSD a presença de elementos não relacionados diretamente com o objetivo ou com o modelo mental dos agentes envolvidos no processo, o que ratifica a questão da abordagem empírica para o desenvolvimento do modelo.

6.3.4 Validação do modelo comparativo

Visando avaliar a similaridade estatística entre os modelos MCSD e PCCM, os testes de validação foram realizados obedecendo as mesmas características, considerando testes de erro mecânico, de robustez e de hipótese, pela aplicação de ANOVA.

Em ambos os modelos, o teste de robustez foi aplicado com sucesso em todas as variáveis do tipo estoque. O teste de hipótese foi aplicado através do método ANOVA – fator único, da forma como definido no capítulo anterior para o modelo PCCM e duas vezes para o modelo MCSD, no sentido de validar os dados para um rio com ações *a)* antrópicas agropastoril e de ocupação urbana, e, para *b)* ações antrópicas apenas de ocupação agropastoril, em comparação ao IQA (índice de qualidade da água) calculado com os mesmos índices do modelo PCCM (QUADRO 6.3).

QUADRO 6.3: Testes de validação da hipótese no modelo MCSD

| <i>Ocupação</i> | <i>Fonte da variação</i> | <i>SQ</i> | <i>gl</i> | <i>MQ</i> | <i>F</i> | <i>valor-P</i> | <i>F crítico</i> |
|-----------------|--------------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------------|------------------|
| 1 | Entre grupos | 677,649 | 1 | 677,649 | 3,095 | 0,109 | 4,964 |
| | Dentro dos grupos | 2189,038 | 10 | 218,903 | | | |
| | Total | 2866,688 | 11 | | | | |
| 2 | Entre grupos | 5,303 | 1 | 5,303 | 0,051 | 0,8244 | 4,964 |
| | Dentro dos grupos | 1022,159 | 10 | 102,215 | | | |
| | Total | 1027,462 | 11 | | | | |

Observa-se que em ambas as circunstâncias, o valor de F é menor do que F -*crítico*, evidenciando que as duas versões do modelo MCSD são aceitas.

Assim, verifica-se que ambos os modelos, MCSD e PCCM, foram validados estatisticamente quanto à hipótese, sendo similares quanto à capacidade de simular um sistema natural.

6.4 Considerações sobre o capítulo

Com a utilização do PCCM, obteve-se a racionalização do processo de aquisição de conhecimento, que se processava de forma empírica no MCSD. Além disso, verificou-se que o modelo mental, quando organizado sem a utilização de métodos lingüísticos específicos e orientado por elementos de controle, pode não representar o modelo mental real. Essas distorções podem culminar na falta de representatividade e na sobrecarga do modelo, considerando eventuais necessidades de inclusão de variáveis para corrigir comportamentos adversos do sistema

Os processos MCSD e PCCM, em termos estatísticos, representam o modelo real, conforme é possível verificar pela validação estatística. Entretanto, o modelo PCCM representa mais adequadamente o modelo mental dos agentes envolvidos no processo, considerando ser composto, em sua totalidade, por variáveis relacionadas ao modelo mental dos agentes, conforme se verifica no Fluxo Situacional – Modelo Compartilhado.

As variáveis situadas em um intervalo de não-governabilidade do modelo MCSD, não foram controladas e surgiram, em sua maioria, para resolver problemas de lógica de vínculos entre as variáveis. As variáveis do eixo de não-governabilidade do modelo PCCM, foram ponderadas pelo grupo decisor durante a análise de pares e avaliação de limites do modelo, de forma que todas estão alinhadas aos modelos mentais dos agentes, e figuram no modelo exclusivamente pela sua relevância.

Assim, verifica-se que o modelo PCCM é mais representativo dos modelos mentais dos agentes decisores do que o modelo MCSD.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Uma das preocupações humanas tem sido a de eliminar total ou parcialmente os fatores adversos, naturais, ou criado pelo próprio homem, que se interpõem ou afetam de alguma maneira o atingimento de um objetivo.

O homem conseguiu dominar uma quantidade incalculável de fatores adversos utilizando a técnica de fazer variar suas conseqüências dentro de limites aceitáveis para os seus propósitos.

Essas técnicas dominadas pelo homem, não permitem o controle integral de suas atividades, considerando que muitos fatores são naturalmente incontroláveis e outros, não foram sequer considerados no contexto de sua análise.

Um fator primordial para que exista o controle, é de que exista o conhecimento sobre o objeto a ser controlado. O conhecimento especialista originou-se da divisão do conhecimento complexo integral humano, que necessitou ser dividido para poder atender às demandas de crescimento e aperfeiçoamento das tecnologias.

Com a ampliação da complexidade de tais demandas, o conhecimento integral também ganhou a mesma intensidade de complexidade, forçando a ocorrência de mais subdivisões, ao ponto, de elevar o conhecimento humano a níveis impossíveis de serem assimilados por uma única pessoa.

Entretanto, problemas complexos ocorrem cotidianamente, e devem ser solucionados.

A solução de problemas complexos, poderá não demandar o conhecimento de uma única pessoa, mas sim, de um grupo de especialistas em cada fragmento do conhecimento julgado necessário à solução do problema.

Dessa forma, em razão da complexidade, a união desses fragmentos pode se tornar também uma tarefa complexa.

A lingüística, conjunto de instrumentos utilizados pelo ser humano para se comunicar, traz em sua estrutura regras e condições, visando sistematizar o processo comunicativo. Entretanto, a estrutura complexa do pensamento humano subverte essa ordem comunicativa e estabelece situações adversas das planejadas ou especificadas.

7.1 Preocupações Iniciais

A indagação fundamental desta pesquisa foi a forma de se estruturar o pensamento multidisciplinar de agentes especialistas, visando a obtenção de um modelo compartilhado para emprego em modelagem e simulação dinâmica, utilizável em organizações complexas.

Nesta pesquisa, buscou-se ampliar os potenciais analíticos com o emprego de várias metodologias, como Dinâmica de Sistemas, Semiótica e Análise Multicritério, compondo-se uma nova estrutura, que visa reduzir o hiato existente no processo de modelagem de sistemas complexos, fundamentalmente nos procedimentos que vinculam a aquisição do conhecimento especialista e a modelagem das variáveis qualitativas resultantes de sua argumentação; a transposição dessas variáveis para a lógica de um modelo simulado, sucedido de sua validação interna e externa, o que resulta em modelos simulados realmente representativos dos modelos mentais compartilhados.

Dessa forma, a pesquisa realizada, foi descrita em sete capítulos, considerando no Capítulo 1 a qualificação da problemática da estruturação dos modelos mentais particionados e a necessidade dessa estruturação, objetivando a melhoria do processo de gestão do conhecimento. Nos Capítulos 2 e 3, foram relacionadas metodologias capazes de auxiliar na estruturação e integração dos modelos mentais, considerando seu emprego no processo de gestão de organizações empresariais complexas. O Capítulo 4 apresentou uma proposta de organização de elementos provenientes das metodologias abordadas nos capítulos anteriores, visando à obtenção de um processo de coordenação do conhecimento multiespecialista, utilizável na gestão do conhecimento.

O Capítulo 5 apresentou uma aplicação prática do processo estruturado no capítulo anterior, a obtenção do modelo mental compartilhado e sua utilização na modelagem de uma simulação em dinâmica de sistemas. Comentou também sobre os procedimentos de aplicação e relacionou esses procedimentos com a obtenção do modelo mental compartilhado necessário ao tratamento do problema apresentado no experimento. O Capítulo 6 comparou os resultados obtidos pela aplicação do processo proposto com os resultados obtidos pela aplicação de um método convencional de modelagem em dinâmica de sistemas. Comentou também sobre as limitações dos métodos usuais de modelagem em dinâmica de sistemas em relação ao processo proposto.

7.2 Avanços visualizados pela aplicação do método

Controlar os processos de gestão de tal forma a canalizá-los para a obtenção dos melhores resultados sempre foi o objetivo de todos os agentes envolvidos na administração das organizações. Entretanto, o aperfeiçoamento desses processos exigiu do homem a fragmentação do conhecimento para possibilitar o controle.

A dinâmica de sistemas se destaca, por ser um método amplamente utilizado para a recomposição do conhecimento complexo, provando ser eficiente em termos de visão sistêmica, que inclui a demonstração das partes do conhecimento e da dinâmica de trocas de informação entre essas partes.

Desde que a complexidade de um sistema organizacional pode ser evidenciada através do emprego de dinâmica de sistemas, poder-se-ia inferir que o controle sobre suas variáveis seria plenamente possível, já que toda a estrutura de trocas passa a ser visível. Assim, o controle poderia ser exercido diretamente sobre a variável causadora do problema ou indiretamente, sobre uma variável subjacente ou conjunto de variáveis.

Entretanto, sistemas organizacionais interagem com a complexidade econômica e social exteriores à empresa, e essa interação provoca distúrbios que reduzem a controlabilidade, ao mesmo tempo em que ampliam a subjetividade das decisões que eventualmente sejam tomadas para ampliar o controle.

Um agente que interaja com essa subjetividade, utilizará seu modelo mental para obter uma solução de controle, mas, terá que vencer os riscos de interpretação incorreta dos referenciais externos, para extrair, utilizando

dinâmica de sistemas, uma solução adequada para o controle das atividades (DOYLE & FORD, 1998).

O experimento realizado neste trabalho, demonstrou a dificuldade de conversão do conhecimento tácito para o explícito quando são envolvidos vários agentes especialistas, com dificuldades naturais de interpretação do contexto complexo. Procurou também, demonstrar que muitos componentes dos modelos mentais desses agentes não são espontaneamente interpretados, o que demanda muito esforço e tempo para tornar um modelo de dinâmica de sistemas aceitável pelo grupo de agentes.

A utilização isolada de dinâmica de sistemas no processo de avaliação dos sistemas complexos empresariais em conjunto com a complexidade dos sistemas econômico e social, garante a externalização dos modelos mentais dos agentes, sem no entanto determinar meios de socialização desses modelos mentais (NONAKA & TAKEUSHI, 1997).

O PCCM descrito e testado neste trabalho, busca conciliar os modos de conversão de conhecimento contidos na socialização dos modelos mentais dos agentes ao mesmo tempo que propõe uma forma de externalização por meio dos fluxogramas situacionais, da pesquisa semiótica e das discussões conjuntas entre os agentes.

É possível, com a aplicação do processo, incorporar os quatro modos de conversão do conhecimento propostos por NONAKA & TAKEUCHI (1997):

Externalização (tácito para o explícito): articulação dos sentimentos dos diversos agentes por meio de pesquisa semiótica;

Combinação (explícito para o explícito): sistematização da pesquisa semiótica em fluxogramas situacionais;

Socialização (tácito para o tácito): avaliação, através dos fluxogramas situacionais e da pesquisa semiótica, das similaridades entre variáveis de diversos agentes;

Internalização (explícito para o tácito): integração dos modelos mentais dos agentes por meio da eleição de novos vínculos entre os modelos mentais particionados, compartilhando o conhecimento entre os mesmos.

O PCCM proporciona ainda, a obtenção de algumas condições que, segundo NONAKA & TAKEUCHI (1997), promovem a espiral do conhecimento, como, por exemplo, a **redundância**, evidenciada pela pesquisa semiótica, que revela padrões de semelhança na argumentação dos agentes, e a **variedade de requisitos**, através da combinação de informações de forma rápida e flexível pela junção de vários modelos mentais em um fluxograma situacional compartilhado, que permite a cada agente especialista, saber como seu modelo mental recebe influência de outros agentes dentro do plano decisório.

7.3 Limitações do método

As organizações complexas são comandadas por agentes de notória competência na condução das atividades coletivas.

O que determina essa notoriedade é a forma com que cada agente utiliza seu modelo mental em termos de extensão e profundidade na solução de questões que se interpõem ao sucesso da organização.

Dessa forma, faz parte do modelo mental desses agentes, a necessidade da preservação dessa competência em todas as direções possíveis, ao mesmo tempo em que busca limitar o progresso dos modelos mentais de outros agentes em seu plano de domínio. Esse sentimento está intrinsecamente relacionado ao critério de produtividade adotado pelas empresas capitalistas para determinar os incentivos financeiros e psico-sociais do colaborador.

Se por um lado a organização empresarial busca fomentar o relacionamento dos modelos mentais de seus agentes especialistas, por outro lado, as ameaças existentes em um processo de competição interno, gerado pelas próprias políticas de recursos humanos, tenderá a refrear o processo de expansão do aprendizado organizacional.

Aliado a esse fato, existe o questionamento sobre até que ponto um agente que tenha notório conhecimento em determinada área consentirá em incorporar novo conhecimento apresentado por outro especialista de outra área, sem que isso evidencie, perante o grupo, um ponto fraco em sua própria performance.

O experimento realizado neste trabalho, foi desenvolvido em um ambiente onde as variáveis de competição interna não estavam presentes. Todavia, verificou-se em diversas oportunidades, a dificuldade dos agentes envolvidos em concordar que parte de seu modelo mental apresentaria um melhor resultado, se vinculado à área de especialidade de outro agente.

Isso se deve ao fato de que o argumento de “especialidade” por si só já é um restritor, que impede o avanço do novo conhecimento, principalmente se esse novo conhecimento for apresentado por outro agente.

O modelo mental compartilhado. É um instrumento de grande relevância, pois cria uma circunscrição de saber que transcende o agente especialista e passa a ser algo próprio da organização, não mais do indivíduo.

Também o medo pela perda de individualidade, manifestada pela incapacidade do agente em retroceder em seus pontos de vista, gera os chamados “feudos corporativos” e restringe a aplicação do PCCM.

Assim, algumas condições acessórias para a ampliação dos resultados obtidos pela aplicação do PCCM, devem ser observadas.

A adequação do plano de cargos e salários do *staff* corporativo é muito importante para o sucesso do empreendimento. Nessa adequação, devem estar explícitos os critérios de concessão de incentivos ao colaborador, assim como os critérios de avaliação do grupo e não mais do indivíduo. Todas as modalidades de avaliação individual tenderão à ampliação da concorrência entre os indivíduos, atuando como restritor à estruturação do modelo mental compartilhado.

Quanto à capacidade de cada agente em internalizar o processo de aprendizado contínuo e reavaliação de seus critérios especialistas, a abordagem deverá recair sobre o fomento à pesquisa e à formação contínua da identidade desse agente, de tal forma a incluí-lo em um contexto dinâmico de educação corporativa compartilhada e contínua, nos moldes propostos por NONAKA & TAKEUCHI (1997), para a produção de uma espiral de conhecimento.

Dessa forma, as organizações que pretenderem extrair melhores resultados da aplicação do PCCM, deverão direcionar seus esforços em duas frentes: i) aquisição do conhecimento multiespecialista e; ii) criação de um modelo compartilhado institucional, que internalize todo o processo educacional e formativo.

7.4 Conclusões sobre o experimento realizado

O Capítulo 6 indicou, pela comparação entre os métodos tradicional e o PCCM, uma forte capacidade de racionalização do processo empírico de aquisição de conhecimento por parte deste segundo.

Essa racionalização de tempo de desenvolvimento, bem como de volume e estrutura de variáveis, torna-o atrativo para as modernas organizações, onde o tempo disponível para o desenvolvimento de estratégias é pequeno, função da necessidade de manter respostas dinâmicas às demandas do mercado.

Quanto à melhoria da engenharia do modelo simulado, o PCCM mostrou-se capaz tratar adequadamente redundâncias desnecessárias em variáveis componentes do sistema, bem como suprimir a ocorrência de variáveis pouco confiáveis, provenientes de áreas do conhecimento não dominadas pelo grupo de agentes.

Quanto ao questionamento inicial sobre como estruturar o pensamento multidisciplinar de agentes especialistas, de forma a se obter um modelo compartilhado para emprego em modelagem e simulação dinâmica,

utilizável em organizações complexas, conclui-se que o PCCM adequa-se para a composição de modelos mentais compartilhados em organizações complexas.

7.5 Contribuição aos processos de ensino e aprendizagem

O desenvolvimento de senso crítico dos alunos é um dos objetivos fundamentais dos cursos de graduação.

No meio acadêmico, os métodos de ensino estruturados sob critérios problematizadores e que pretendem favorecer a construção do conhecimento dos alunos sobre modelos abstratos e complexos, tais como das áreas econômica e social, podem não ser eficientes, já que nessas áreas, a criação de imagens concretas é de difícil realização (DOYLE & FORD, 1998).

A representação de modelos mentais através de fluxogramas situacionais, conforme apresentado neste trabalho, contribuem para a produção do objeto imediato, utilizado para a iniciação do aluno no tema. O mapeamento dos sentimentos de grupos de alunos através desse recurso, poderá revelar as mais inusitadas interpretações sobre o mesmo tema, que poderão contribuir para i) o reposicionamento desses conceitos, sob uma ótica geralmente aceita ou mais adequada, e ii) revelar novas formas de interpretações que venham a incrementar o processo de ensino e aprendizado.

A capacitação dos alunos em externalizar seus modelos de pensamento por um mapeamento que represente seu modelo mental, através dos sentimentos e seus vínculos lógicos em relação ao tempo e ao seu domínio, além do que já foi comentado, facilitará a obtenção do texto formal, que poderá ser

estruturado a partir das coordenadas cartesianas do diagrama situacional para determinar o fluxo da narrativa, o tempo dos verbos utilizados e os períodos da oração.

Dessa forma, o processo PCCM oferece argumentos para que o aluno vença as dificuldades de descrever seu modelo de pensamento, que tradicionalmente é realizado por escrita formal.

Também os métodos de avaliação formais utilizados pelo meio acadêmico, estão sujeitos a críticas das mais variadas correntes de educadores.

Estabelecer a estabilidade dos modelos mentais dos alunos, sua interação com estruturas cognitivas menos duradouras, as limitações de acesso desses alunos aos seus próprios modelos mentais, a natureza dos sentimentos e os vínculos que fazem a interligação desses sentimentos, pode auxiliar o docente na interpretação da dinâmica das mudanças ocorridas ao longo do processo de ensino, possibilitando relacionar as mudanças com o desenvolvimento espontâneo e natural de experiência e perícia ao invés de medir apenas a eficiência do emprego de regras heurísticas (DOYLE & FORD, 1998).

O PCCM favorece descrever modelos mentais dos alunos, as interações ocorrentes nos grupos de trabalho e as transformações ocorrentes durante o processo de aprendizado, mediante a mudança de vínculos ou adições de variáveis no fluxograma situacional.

Essa característica constitui um instrumento de avaliação do processo de aprendizado que permite tanto ao professor quanto ao aluno, visualizar os progressos ocorridos na construção do conhecimento com

transparência, no sentido de tornar visíveis o desenvolvimento dos alunos em relação ao conhecimento apresentado pelo professor.

7.6 Contribuições à Engenharia de Produção

Em virtude de conferir à organização capacidade de avaliação de problemas complexos utilizando a capacidade conjunta de seus agentes especialistas, o PCCM se aplica a todas as instâncias corporativas que exijam controle da informação e a produção do saber sistêmico. Particularmente, o Planejamento Estratégico corporativo poderá servir-se das qualidades do processo, considerando que o mesmo está sujeito às externalidades incidentes nas avaliações microeconômicas. Os orçamentos de longo prazo poderão contar, além das avaliações históricas tradicionais, também com informações advindas da capacidade de predição proveniente da estruturação do saber coletivo.

Ações para avaliação de ciclos de vida de produtos em função da dinâmica dos mercados, serão melhor interpretadas se submetidas a um conjunto de avaliadores especialistas em ações mercadológicas, em tendências tecnológicas e capacidades operacionais. As habilidades conjuntas desses agentes, poderão trazer o diferencial competitivo necessário nessas circunstâncias complexas, e em outras, caracterizadas pela existência de sistemas complexos e decisão em grupo.

7.7 Desdobramentos desta pesquisa em trabalhos futuros

As organizações demandam soluções que satisfaçam suas necessidades estratégicas em tempos reduzidos.

O processo proposto por este trabalho, reduz significativamente o trabalho de modelagem e simulação em Dinâmica de Sistemas, entretanto, demanda um conjunto razoável de atividades que podem ser transformadas em um algoritmo para processamento em computadores eletrônicos.

Em adição, existem padrões de estruturas mentais que induzem equipes ao conflito, em função da baixa interpretatividade de certos objetos. Tais situações ainda pouco exploradas pela lingüística e pela psicologia poderiam ser organizadas de forma a ampliar a capacidade cognitiva de agentes decisores.

Dessa forma, trabalhos futuros realizados no sentido de automatização do processo aqui apresentado, bem como de ampliação das pesquisas em lingüística e psicologia das organizações, seriam de considerável relevância para ampliação da acurácia do modelo.

Referências Bibliográficas

ABSY, Miriam Laila (Coord), et al. **Avaliação de impacto ambiental: agentes sociais, procedimentos e ferramentas**. Brasília : IBAMA, 1995. 136p.

BALLONE, G. J. **Representação da Realidade**. In. PsiqWeb. Internet. Disponível em <http://www.psiqweb.med.br/cursos/repres.html>. Consultado em 24/02/2004.

BANA E COSTA, C. A. et al. Concepção de um sistema multicritério de definição de prioridades de intervenção/conservação do património habitacional da C.M.Lisboa **Actas do 2 ENCORE - Encontro sobre Conservação e Reabilitação de Edifícios**. v. II, Lisboa, LNEC, 1994.

BAPTISTA, M. A. P. **Um modelo multicritério para avaliar o sistema de qualidade de um ambiente de produção**. Florianópolis, 2000. 322p. Dissertação de mestrado, PPG-EP, UFSC.

BAR-YAM, Y; KURAS, M. L. **Complex Systems and Evolutionary Engineering**. USAF/AOC WS LSI Program Manager, 2003, 13p.(AOC WS LSI Concept Paper).

BAR-YAM, Yaneer. **Dynamics of Complex Systems: Studies in Nonlinearity**. Oxford: Westview Press. 1997, 839p.

BERTALANFFY, L. **Teoria Geral dos Sistemas**. 2a. ed. Petrópolis, Vozes, 1977, 360p.

BUNGE, M. **Scientific Research**. New York: Springer-Verlag, 1967.

CAMPBELL, T.; CAIRNS, H. Developing and measuring the Learning Organization: from buzz words to behaviors. In: **Industrial and commercial training**, vol. 26, n 7, 1994. pp 10-15.

CIPRO NETO, Pasquale; INFANTE, Ulisses. **Gramática da língua portuguesa**. São Paulo: Scipione, 2004, 568p.

COUTO, HILDO HONÓRIO DO, **Contato interlinguístico: da interação à gramática**. URL: <http://www.unb.br/il/let/criol/contato.htm>. Consultado em 14/01/2005.

COYLE, R. G. **System Dynamics Modelling**. London: Chapman & Hall, 1996. 413p.

DE GEUS, A. Modeling to predict or to learn? **European Journal for Operations Research**, nr.59, p. 1-5, 1992

DEBRAY, R. **Curso de Midiologia Geral**. Petrópolis, RJ: Vozes, 1993.

DOYLE, J. K.; FORD, D. N. Mental models concepts for system dynamics research. **System Dynamics Review**. Vol. 14, nr. 1, Spring, 1998, pp. 3-29.

DOYLE, James K.; RADZICKI, Michael J.; TREES, W. Scott. Measuring Change in Mental Models of Dynamic Systems: An Exploratory Study. **System Dynamics Review**. Report No. 14 May 26, 1998.

EDEN, C. Using Cognitive Mapping for Strategic Options Development. In J. Rosenhead, ed. *Rational Analysis for a Problematic World*, Chichester, UK, 21-42, 1989.

EMERSON, C.C. **Construção de um modelo multicritério de apoio ao processo decisório**. UFSC. Florianópolis, 1996. Dissertação (mestrado).

ENSSLIN, S. R. (1995). **A estruturação no processo decisório de problemas multicritérios complexos**. Florianópolis: PPGE/UFSC. Dissertação (Mestrado).

FIDALGO, Antonio.; GRADIM, Anabela. **Manual de semiótica**. UBI-Portugal. Disponível em www.bocc.ubi.pt/pag/fidalgo-antonio-manual-semiotica-2005.pdf. Consultado em 04/07/2005.

FLEISHER, C.S.; BENSOUSSAN, B.E. **Strategic and competitive analysis: methods and techniques for analyzing business competition**. New Jersey: Prentice Hall, 2003, 457p.

FLOOD, R.L., JACKSON, M.C. **Creative problem solving: total system intervention**. Chichester: John Wiley & Sons, 1991. 250 p.

FORRESTER, J. W. **Dinamica Industrial**. Buenos Aires: El Ateneo. 1972. 449p.

FORRESTER, J. W., SENGE, P.M. **Tests for bulding confidence in system dynamics models**. TIMS Studies in the Management Sciences 14, 209-228. 1980.

GOMES, Luiz Flavio A. M.; GOMES, Carlos F. S.; ALMEIDA, Adiel T. **Tomada de decisão gerencial: enfoque multicritério**. São Paulo: Atlas, 2002, 264p.

HAWKING, Stephen. **O universo numa casca de noz**. São Paulo: ARX, 3. ed. 2001, 215p.

HERRERA, F.; HERRERA-VIEDMA, E., VERDEGAY, J.L. **A rational consensus model in group decision making using linguistic assessments**. Fuzzy Sets and Systems, n. 88, p. 31-49, 1997.

HO, Tânia M. S. (Dissertação de mestrado) **Ferramentas de Suporte à Facilitação em Processos de Decisão em Grupo**. Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa: UTL, 1999, 163p.

JOHNSON, Laird, P. N. **Mental models**. Cambridge: Cambridge university press, 1987.

JUNG, C.G. **Os arquétipos e o inconsciente coletivo**. Petrópolis: Vozes, 2000. 447p.

KECHENG, LIU. **Semiotics in information systems engineering**. New York: Cambridge Press, 2000. 328p.

KLEIN, Mark et al. **The Dynamics of Collaborative Design: Insights from Complex Systems and Negotiation Research**. Concurrent Engineering: Research And Applications, Sage Publications. vol. 11, n. 3, p.201-209, september 2003.

LAPPONI, J.C. **Estatística usando Excel**. São Paulo: Campus, 1997. 986p.

LOPES, Edward. **Fundamentos de lingüística contemporânea**. São Paulo: Cultrix, 2004, 346p.

MEISTER, Jeanne C. **Corporate Universities**. New York: Mcgraw-Hill, 1998.

MORECROFT, John D. W. Executive knowledge, models and learning. **European Journal of operational research**. 59: 9-26, 1992.

MORGAN, Gareth. **Imagens da organização**. São Paulo: Atlas, 1996, p.341.

MORIN, EDGAR. **Introdução ao pensamento complexo**. Lisboa: Instituto Piaget, 1991.

MURAKAMI, M. **Decisão estratégica em TI: estudo de caso**. FEA-USP. São Paulo, 2003. Dissertação (Mestrado).

NONAKA, I. , TAKEUCHI, H.. **Criação de conhecimento na empresa**. Rio de Janeiro: Campus, 1997, 320p.

NORMAN, D. A. **Memory and attention**. New York: Viley, 2^a ed., 1976.

O'KEEFE, J.; NADEL, L. The hippocampus as a cognitive map. Oxford: **Clarence Press**, 1978.

O'SULLIVAN, A.; SHEFFRIN, S.; NISHIJIMA, M. **Introdução à economia: princípios e ferramentas**. São Paulo: Pearson, 2004, p.398

OLIVA, R. **Model Calibration as a testing for system dynamics models**. European Journal of Operational Research 151 (2003), 552-568.

OSIMO, Bruno. Publicado em **LOGOS GROUP**.
www.logos.it/pls/dictionary/linguistic_resources.cap_2_35?lang=bp. Consultado: 20/06/2005.

OSSIMITZ, G. **Systems Thinking: An Operational Perspective of the Universe**. URL: <http://www.uni-klu.ac.at/users/gossimit/sdyn/systhkn.htm>
Consultado em 18/11/2004.

OSSIMITZ, G. **The Development of Systems Thinking Skills Using System Dynamics Modeling Tools**. URL: http://www.uni-klu.ac.at/users/gossimit/sdyn/gdm_eng.htm Consultado em 05/06/2005.

PAPERT, SEYMOUR. Computer criticism vs. **Technocentric Educational Researcher**, vol. 16, no.1. January/February, 1987.

PEIRCE, Charles S. **Semiótica e filosofia**. São Paulo: Cultrix, 1972.

PEREIRA, Julio C. R. **Análise de dados qualitativos: estratégias metodológicas para as ciências da saúde, humanas e sociais**. São Paulo: EDUSP, 1999, 156p.

PEREIRA, M. J. L. B.; FONSECA, J. G. M. (1997). **Faces da Decisão: As Mudanças de Paradigmas e o Poder da Decisão**. São Paulo: Makron Books, 1997. 312p.

PLANTULLO, Vicente L. **Teoria geral da administração: de Taylor às redes neurais**. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2001, 172p.

RICHARDSON, G. P. Problems With Causal-loop Diagrams. **System Dynamics Review**. v. 2, n. 2, p. 158-170. 1986.

RICHARDSON, G.P., PUGH, A.L. **Introduction to System Dynamics Modeling with Dynamo**. Massachusetts: The M.I.T. Press, 1981.

ROSENHEAD, J. **Rational Analysis for a Problematic World**. Chichester: Wiley, 1989, 398p.

SAATY, T. L. **Fundamentals of decision making and priority theory with the analitic hierarchy process**. Pittsburg: RWS, 1994, v.6.

SAUSURRE, Ferdinand de. **Curso de linguística superior**. Buenos Aires: Losada, 1^a. ed, 1945. 287p.

SCHMIDT, Angela M. A. **Processo de apoio à tomada de decisão: Abordagens: AHP e MACBETH**. DEPS – UFSC. Florianópolis, dezembro de 1995. Dissertação (mestrado).

SENGE, P.M. **A quinta disciplina: arte e prática da organização que aprende**. São Paulo: Best Seller, 1998. 441p.

SHIMIZU, TAMIO. **Contribuição ao estudo dos problemas complexos e mal-estruturados**. Escola Politécnica-USP. São Paulo, 1976. Tese (livre docência).

SMITH, Frank. **Compreendendo a leitura: uma análise psicolinguística da leitura e do aprender a ler.** Porto Alegre: ARTMED, 2003, 423p.

SOUZA, Carlos Leite de. Cognição ambiental e as relações: mapas cognitivos, ambiente construído & APO. Instituto de Psicologia/UNB. **Textos do LPA**, vol. 4, nr. 8, 1995.

STARR, P. J. Modelling Issues and Decisions in System Dynamics. **TIMS Studies in the Management Sciences**, Vol. 14, pp.45-59, 1980.

STERMAN, J.D. **Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World.** Boston: Irwin McGraw-Hill, 2000.

WINQUIST, J. R.; LARSON JR, James R. Information Pooling. When It Impacts Group Decision Making. **Journal of Personality and Social Psychology**. vol. 74. n. 2, p.371-377, 1998.

ZAMBOM, A.C., ACCIOLY, R.C. Sistemas de informação e sistemas dinâmicos. **Produção & Sociedade**, João Pessoa, n.1, p. 16 – 29, 1998.

ZAMBON, A. C. Apoio multicritério à decisão na estruturação de modelos mentais compartilhados. Anais do XXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. **Anais...**, Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto, 2003.

APÊNDICE

**Estrutura matemática do modelo de
simulação de um corpo d'água.**

$$\text{Mata_Ciliar}(t) = \text{Mata_Ciliar}(t - dt) + (- \text{Erosão}) * dt$$

$$\text{INIT Mata_Ciliar} = 100$$

OUTFLOWS:

$$\text{Erosão} =$$

$$(\text{Tipo_de_solo} + (\text{Tipo_de_solo} * \text{Taxa_de_Infiltração_do_solo})) * (\text{Relevo} / 10)$$

$$\text{Matéria_Orgânica}(t) = \text{Matéria_Orgânica}(t - dt) + (\text{Efluente_doméstico} + \text{Resíduos_sólidos} - \text{Od}) * dt$$

$$\text{INIT Matéria_Orgânica} = 0$$

INFLOWS:

$$\text{Efluente_doméstico} = (\text{Uso_e_Ocupação_do_Solo} / 10000) * 0.3$$

$$\text{Resíduos_sólidos} = (\text{Uso_e_Ocupação_do_Solo} / 10000) * 0.1$$

OUTFLOWS:

$$\text{Od} = \text{GRAPH}(\text{Matéria_Orgânica} * 0.1)$$

$$(0.00, 97.5), (10.0, 83.0), (20.0, 68.0), (30.0, 65.0), (40.0, 54.0), (50.0, 46.0),$$

$$(60.0, 36.0), (70.0, 25.0), (80.0, 22.0), (90.0, 14.0), (100, 2.00)$$

$$\text{Uso_e_Ocupação_do_Solo}(t) = \text{Uso_e_Ocupação_do_Solo}(t - dt) +$$

$$(\text{Densidade_Demográfica} - \text{Atividades_Agropastoris} - \text{Efluente_Industrial} -$$

$$\text{Impermeabilização_do_solo} - \text{Atividade_Mineradora} - \text{Efluente_doméstico} -$$

$$\text{Resíduos_sólidos}) * dt$$

$$\text{INIT Uso_e_Ocupação_do_Solo} = \text{Densidade_Demográfica}$$

INFLOWS:

Densidade_Demográfica = Senso_populacional

OUTFLOWS:

Atividades_Agropastoris = (Uso_e_Ocupação_do_Solo/1000)*0.01

Efluente_Industrial = (Uso_e_Ocupação_do_Solo/10000)*0.3

Impermeabilização_do_solo = IF(Densidade_Demográfica <=150000)

THEN(Uso_e_Ocupação_do_Solo/100000)

ELSE(IF(Densidade_Demográfica<=600000)

THEN((Uso_e_Ocupação_do_Solo/100000)+Trafego_de_veículos_pesados)

ELSE((Densidade_Demográfica/100000)+Trafego_de_veículos_pesados*2))

Atividade_Mineradora = (Uso_e_Ocupação_do_Solo/10000)*0.2

Efluente_doméstico = (Uso_e_Ocupação_do_Solo/10000)*0.3

Resíduos_sólidos = (Uso_e_Ocupação_do_Solo/10000)*0.1

UNATTACHED:

Ph = GRAPH((Od+Volume_do_Corpo_d'água)*0.1)

(0.00, 99.0), (8.33, 91.0), (16.7, 78.5), (25.0, 75.0), (33.3, 64.0), (41.7, 57.5),

(50.0, 49.0), (58.3, 43.0), (66.7, 31.0), (75.0, 23.5), (83.3, 17.0), (91.7, 4.50),

(100.0, 0.00)

UNATTACHED:

Precipitação_Pluviométrica = IF(Chuva=1) THEN(Mata_Ciliar*0.6) ELSE(0)

Qualidade_da_Água =

(Od*Ph*Organismos_Patogenicos*Substâncias_tóxicas*Compostos_Nitrogenados*Metais_Pesados)+Acidente_ambiental

Volume_do_Corpo_d'água =
 (Precipitação_Pluviométrica*((Mata_Ciliar*0.05)*(Erosão/10)))-Irrigação
 Acidente_ambiental = IF(Ações_predatórias_descontroladas=1)
 THEN((Atividade_Mineradora+Efluente_Industrial)*10) ELSE(0)
 Ações_predatórias_descontroladas = 100
 Chuva = 2
 Organismos_Patogenicos =
 (Atividades_Agropastoris*0.2)+(Efluente_doméstico*0.8)
 Relevo = 90
 Senso_populacional = 0
 Substâncias_tóxicas =
 ((Atividades_Agropastoris*0.4)+(Efluente_Industrial*0.4)+(Atividade_Mineradora*0.2)*Precipitação_Pluviométrica)*0.01
 Taxa_de_Infiltração_do_solo =
 (Trafego_de_veículos_pesados*(Precipitação_Pluviométrica*0.4))/1000
 Tipo_de_solo = 10
 Compostos_Nitrogenados =
 GRAPH((Atividades_Agropastoris*0.8)+(Efluente_doméstico*0.2))
 (0.00, 4.00), (8.33, 3.00), (16.7, 4.00), (25.0, 5.00), (33.3, 6.50), (41.7, 8.50),
 (50.0, 13.5), (58.3, 17.5), (66.7, 27.0), (75.0, 37.5), (83.3, 71.5), (91.7, 100),
 (100.0, 100)
 Irrigação = GRAPH(Atividades_Agropastoris*0.08)

(0.00, 0.4), (0.833, 1.20), (1.67, 2.00), (2.50, 3.00), (3.33, 3.45), (4.17, 4.10),
(5.00, 4.85), (5.83, 5.45), (6.67, 6.45), (7.50, 7.00), (8.33, 8.00), (9.17, 8.65),
(10.0, 10.0)

Metais_Pesados = GRAPH((Atividade_Mineradora+Efluente_Industrial)*0.2)

(0.00, 1.50), (10.0, 3.00), (20.0, 4.00), (30.0, 5.50), (40.0, 8.00), (50.0, 12.5),
(60.0, 20.0), (70.0, 28.0), (80.0, 39.0), (90.0, 58.0), (100, 95.0)

Trafego_de_veiculos_pesados = GRAPH(Atividade_Mineradora*0.4)

(0.00, 2.50), (3.45, 3.50), (6.90, 5.00), (10.3, 5.50), (13.8, 6.50), (17.2, 8.50),
(20.7, 10.0), (24.1, 11.5), (27.6, 13.5), (31.0, 14.0), (34.5, 15.5), (37.9, 19.5),
(41.4, 29.0), (44.8, 39.5), (48.3, 42.5), (51.7, 44.5), (55.2, 46.5), (58.6, 51.5),
(62.1, 48.0), (65.5, 52.0), (69.0, 61.0), (72.4, 67.0), (75.9, 77.0), (79.3, 86.0),
(82.8, 93.0), (86.2, 100), (89.7, 99.5), (93.1, 99.0), (96.6, 100), (100, 100)