HUGO TSUGUNOBU YOSHIDA YOSHIKAZAKI

**PLANEJAMENTO E PROJETO DE BASES DE
MODELOS QUANTITATIVOS DE AUXÍLIO À
DECISÃO**

Tese apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de
São Paulo para obtenção do
Título de Doutor em Engenharia

São Paulo
1997

HUGO TSUGUNOBU YOSHIDA YOSHIKAZAKI

**PLANEJAMENTO E PROJETO DE BASES DE
MODELOS QUANTITATIVOS DE AUXÍLIO À
DECISÃO**

Tese apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de
São Paulo para obtenção do
Título de Doutor em Engenharia

Área de concentração:
Engenharia de Produção

Orientador:
Guilherme Ary Plonski

São Paulo
1997

Yoshizaki, Hugo Tsugunobu Yoshida

Planejamento e projeto de bases de modelos quantitativos de auxílio à decisão, São Paulo, 1997.
199p

Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Produção.

1. Pesquisa Operacional – Metodologia. 2. Sistemas de informação. I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Produção II.t

Agradecimentos

À minha mulher, Jane, cuja paciência, compreensão e apoio oferecidos ao longo de todos estes anos de trabalho na tese foram fundamentais para que eu conseguisse chegar ao final dessa jornada.

Ao orientador da tese e meu bom amigo, Guilherme Ary Plonski, pela dedicada orientação e incentivo, quero registrar meus sinceros agradecimentos.

Muitos outros amigos e colegas me auxiliaram através de discussões, opiniões e outras formas de estímulo. Não vou citá-los nominalmente, pois poderia fazer alguma injustiça esquecendo um ou outro nome. A todos eles, minha gratidão. Entretanto, três pessoas merecem ser aqui lembradas em especial, pelo particular interesse e disposição em discutir os temas da pesquisa, além de ter oferecido críticas valiosas que foram aqui incorporadas: são eles os professores Alberto Ricardo von Ellenrieder, Osvaldo Fadigas Fontes Torres e Charles Corbett.

Quero também expressar meus agradecimentos aos professores Afonso Carlos Correa Fleury e Israel Brunstein, que, como chefes de departamento, sempre garantiram o apoio do Departamento de Engenharia de Produção para manter o intercâmbio com outros pesquisadores, o que muito auxiliou o desenvolvimento da pesquisa.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	Escopo e objetivo da pesquisa.....	1
1.2	Visão geral da tese.....	1
2	JUSTIFICATIVA PARA O TEMA	4
2.1	Um novo ambiente para o uso de modelos quantitativos	4
2.2	Problemas e riscos associados ao uso de modelos quantitativos.....	16
2.3	Conclusões.....	9
3	UM MODELO INICIAL DO SISTEMA DE MODELAGEM MATEMÁTICA.....	11
3.1	O ciclo de análise.....	14
3.2	Definição do primeiro modelo do sistema.....	16
3.3	Comparação do sistema com o mundo real (literatura, experiência)	19
3.3.1	Cenário geral	19
3.3.2	Cenário da Atividade 1 - Projetar e planejar a base de modelos da organização.....	19
3.3.3	Cenário da Atividade 2 - Pesquisar novos modelos, ferramentas e aplicações	22
3.3.4	Cenário da Atividade 3 - Desenvolver modelos para processos escolhidos	22
3.3.5	Cenário da Atividade 4 - Implantar modelos nos processos	25
3.3.6	Cenário da Atividade 5 - Operar modelos	25
3.3.7	Cenário da Atividade 6 - Manter/atualizar modelos	26
3.3.8	Cenário das Atividades 7-9 - Controlar o Sistema de Projeto e Gestão de Modelos	26
3.3.9	Cenário das Atividades 10-13 - Controlar o Sistema de Modelagem Matemática	27
3.4	Conclusões.....	27
4	CONCEITOS IMPORTANTES PARA PLANEJAMENTO E PROJETO DA BASE DE MODELOS.....	28
4.1	O tratamento do problema sistêmico de sub-otimização.....	28
4.2	Estratégias para determinação de requisitos de informação: como escolher metodologias.....	35
4.3	Estágio tecnológico e aprendizado	41
4.4	Fatores contingenciais em tecnologias de decisão	45
4.5	A complementaridade dos enfoques hard e soft.....	50

4.6	Trabalhos prévios sobre base de modelos	61
4.7	Conclusão	62
5	SOBRE MODELAGEM E MODELOS INDIVIDUAIS	64
5.1	Uma (outra) crítica às metodologias tradicionais de modelagem	64
5.2	Algumas (outras) taxonomias para modelos matemáticos	72
5.2.1	Classificações anteriores	72
5.2.2	Escada de abstração, aprendizado e modelagem	75
5.3	Anatomia de um modelo	78
5.3.1	Algumas definições clássicas	78
5.3.2	Componentes de um modelo e interações entre modelos	86
5.3.3	Modelos para o projeto da base de modelos: o proto-modelo ou módulo de decisão	92
5.4	Requisitos para uma metodologia	98
6	A METODOLOGIA DE PROJETO	100
6.1	Definir limites do sistema	103
6.2	Definir um modelo do sistema de decisões	105
6.3	Revisar o sistema de decisões	109
6.4	Desenvolver trajetórias individuais para os módulos de decisão	113
6.5	Integrar os caminhos evolutivos em um plano diretor de modelagem	121
6.6	Definir plano da base de modelos	124
6.7	Fechando o ciclo e considerações práticas	126
6.8	Conclusões	127
7	CASO ILUSTRATIVO	131
7.1	Apresentação do caso	131
7.2	Aplicação da metodologia: primeira iteração	133
7.2.1	Definição do sistema 1	133
7.2.2	Descrever a malha de decisões 1	137
7.2.3	Definir novos módulos de decisão 1	145
7.2.4	Desenvolver trajetórias tecnológicas para os módulos de decisão 1	168
7.2.5	Integrar trajetórias tecnológicas 1	177
7.2.6	Definir plano diretor da base de modelos 1	179
7.3	Aplicação da metodologia: segunda iteração	179
7.4	Conclusão do capítulo	180
8	CONCLUSÕES E PROPOSTA DE CONTINUIDADE	181
8.1	Linhas que se abrem	184
8.2	Projeto seguinte	185
8.3	Final	186
	BIBLIOGRAFIA	188

APÊNDICE: ALGUMAS DEFINIÇÕES	197
A.1. Modelos	197
A.3. Sistemas de apoio à decisão.....	199
A.4. Grupos de interessados (stakeholders)	200
A.5. Tipos de complexidade	201
A.6. Tipos de problemas.....	201
A.7. Sistemas	202
A.8. Metodologia.....	203

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 A escada da abstração	9
Figura 2.2.- Índice do livro de Ackoff & Sasieni.....	1
Figura 3.1. Esquema simplificado da metodologia de Checkland	13
Figura 3.2. Ciclo do SSM aplicado à problemática da metateoria de modelagem.....	15
Figura 3.3. Modelo do Sistema de Modelagem Matemática em empresas	18
Figura 4.1. Osistema de produção e seusdois subsistemas: decisão e operação	30
Figura 4.2. Modelo topológico para um sistema de decisão	30
Figura 4.3. Hierarquia de planejamento	32
Figura 4.4. Tipos de interdependência: a) associada; b) seqüencial; c) recíproca.	34
Figura 4.5. Fatores contextuais para desenvolvimento e uso de modelos matemáticos.....	49
Figura 4.6. Fases e estilos de problemas e aprendizado	53
Figura 4.7. Enterprise Design Framework (EDF)	55
Figura 4.8 EDF como hierarquia e ciclo de aprendizagem	56
Figura 4.9. Extensão do <i>ssm</i> de Flood e Jackson.....	58
Figura 4.10. Posicionamento de metodologias na malha do <i>EDF</i>	59
Figura 5.1. Três paradigmas de modelagem conforme Little (1993)	67
Figura 5.2. Equação tradicional do modelagem	71
Figura 5.3. Risco de modelagem e fases de modelagem	72
Figura 5.4. Níveis semânticos e escala de abstração para definir um problema	78
Figura 5.5 Pirâmide de decisão/control de Rivett.....	82
Figura 5.6. Instabilidade causada pelo sistema de decisão.....	84
Figura 5.7. Malha de realimentação positiva do exemplo	84
Figura 5.8. Representação simplificada de um modelo de decisão	90
Figura 5.9. Interações inter-modelos e com o ambiente.....	91
Figura 5.10. Modelo de decisão (MD) e seu conteúdo: SYLPHID.....	93
Figura 5.11. Problemas nas iterações entre módulos	95
Figura 6.1. A espiral de projeto da base de modelos quânticos	101
Figura 6.2. Estratégias de expansão para construir a base de modelos	103
Figura 6.3. Descrição topológica revisada de um sistema logístico.....	107
Figura 7.1. Organograma da empresa.....	135
Figura 7.2. Primeira matriz topológica.....	138
Figura 7.3. Modelo topológico com os módulos de decisão analisados	145
Figura 7.5. Matrizes individuais para cada MD: a) NSE; b) SPED;.....	153
Figura 7.5. (Continuação) Matrizes individuais: c) LOC ; d) NSTRF ;.....	153
Figura 7.5. (Continuação) Matrizes individuais: e) FROTRF ; f) AF ;.....	155
Figura 7.5. (Continuação) Matrizes individuais: g) FROENT ; h) VEN ;	156
Figura 7.5. (Continuação) Matrizes individuais: i) PROMO ; j) MNTRF ;.....	157

Figura 7.5. (Continuação) Matrizes individuais: k) MOSAZ ; l) MNENT ;.....	158
Figura 7.5. (Continuação) Matrizes individuais: m) ZON ; n) CORT ;.....	159
Figura 7.5. (Continuação) Matrizes individuais: q) DESP ; r) TRB ;.....	161
Figura 7.5. (Continuação) Matrizes individuais: s) CORENT ; t) ROT ;	162
Figura 7.6. Nova matriz topológica: a) agregação; b) modelo final da etapa	166
Figura 7.7. Iterações entre diversas trajetórias tecnológicas	177
Figura 8.1. O processo de projeto da base de modelos	182

1 INTRODUÇÃO

1.1 Escopo e objetivo da pesquisa

Esta tese tem como escopo o emprego de modelos quantitativos de auxílio à decisão em organizações. Seu objetivo é propor uma metodologia para o planejamento e o projeto da base de modelos quantitativos de organizações, tratando três questões diferentes mas interligadas:

1. garantir a integridade sistêmica das decisões apoiadas pelos modelos, ou seja, evitar ou minimizar sub-otimizações;
2. identificar e potencializar oportunidades de modelagem na organização;
3. garantir a sua evolução, considerando uma dimensão temporal que se traduz em maior robustez na implantação de modelos e em apoio ao aprendizado organizacional.

Para os propósitos desta tese, a base de modelos de uma organização (ou parte dela) é definida como o conjunto de modelos matemáticos e respectivas interligações, que auxiliam os processos de decisão na organização.

1.2 Visão geral da tese

Para facilitar a leitura da tese, sua estrutura está comentada abaixo, capítulo a capítulo:

1. Introdução. O escopo e o objetivo da pesquisa realizada na tese são apresentados. Um guia de leitura também é posto ao final.

2. Justificativa para o tema. As razões que levaram à escolha do tema de pesquisa são expostas mediante uma avaliação geral do uso de modelos matemáticos em organizações. Alguns conceitos importantes usados na análise e também empregados posteriormente são definidos, como a escada de abstração e os quatro tipos de risco associados ao uso de modelos matemáticos.

3. Um modelo inicial do sistema de modelagem matemática. Usando o soft systems methodology de Checkland (1981), uma nova função organizacional é idealizada: o sistema de modelagem matemática. As suas diversas atividades e funções são explicadas e o projeto da base de modelos matemáticos então surge como um tema importante. Parte da análise bibliográfica é realizada nesta etapa, pois ela também serve como outra dimensão de justificativa para a escolha dos objetivos da pesquisa.

4. Conceitos importantes para planejamento e projeto da base de modelos. Uma série de conceitos importantes para desenvolver a metodologia de projeto da base de modelos são aqui colocados. Eles são, pela ordem de apresentação: o modelo topológico; as estratégias para escolha de metodologias de projeto de sistema de informação; o conceito de estágios tecnológicos e aprendizado; os fatores contingenciais em tecnologia de decisão; a complementaridade dos enfoques *hard* e *soft* dentro do aprendizado organizacional; e a pequena contribuição da área de sistemas de apoio à decisão para o tema. Cada um dos conceitos é explorado através da discussão de um trabalho anterior significativo. Neste capítulo encontra-se boa parte da revisão bibliográfica que contribuiu para a metodologia.

5. Sobre modelagem e modelos individuais. Uma crítica aos paradigmas atuais de modelagem é apresentada e as taxonomias de modelos existentes são revistas. Um paralelo entre níveis de aprendizagem e a escada de abstração é realizada, visando facilitar a identificação de problemas passíveis de modelagem. A seguir, dissecam-se a anatomia de um modelo matemático para permitir sua compreensão como um sistema em si. Isto permite isolar as diversas interações inter e intra-modelos possíveis e suas conseqüências na prática de auxílio à decisão, aprendizado e modelagem. A partir da compreensão desta dinâmica e de seus impactos, um *modelo de modelo*, chamado proto-modelo ou *módulo de decisão*, é definido. Ele vai servir como unidade básica para o projeto da base de modelos na metodologia proposta nesta tese. Finalmente, os requisitos para uma tal metodologia são definidos. O cenário está então pronto para detalhar a metodologia propriamente dita.

6. A metodologia de projeto. A metodologia aqui apresentada é composta por seis fases em um procedimento iterativo. As seis fases são: definir os limites do sistema de decisões; descrever o sistema de decisões como um modelo topológico e módulos de decisão; revisar o modelo do sistema de decisões; desenvolver caminhos tecnológicos para os diversos módulos de decisão; integrar os caminhos em um plano diretor de modelagem; integrar o plano com outras iniciativas organizacionais. Cada fase é detalhada, sendo que as justificativas para cada uma delas e para o emprego de um processo cíclico de aproximações sucessivas são apresentadas e avaliadas conforme os objetivos da pesquisa.

7. Caso ilustrativo. A seguir, um exemplo de aplicação da metodologia é desdobrado. Tal exemplo foi baseado em casos reais de intervenção em um sistema logístico (distribuição física) de uma empresa. Foi bastante detalhado para permitir uma apreciação da metodologia, servindo para ilustrar seus diversos passos e a natureza do trabalho necessário para seu desenvolvimento.

8. Conclusão e proposta de continuidade. O fechamento da tese é realizado através de uma visão panorâmica da mesma. Um quadro-resumo comparando a metodologia

proposta com a prática corrente é apresentado, permitindo situar a tese como contribuição à área de conhecimento. Uma série de linhas de pesquisa são também apresentadas para a continuidade do trabalho, principalmente com referência ao uso da metodologia em diversos tipos de organizações e contingências.

2 JUSTIFICATIVA PARA O TEMA

Neste capítulo estabelece-se as condições gerais que mostram a evolução de um novo ambiente para o emprego da modelagem matemática, com suas potencialidades, oportunidades e ameaças. Um panorama do estado da arte no uso de modelos matemáticos é colocado. E os novos e velhos problemas associados a esse uso são listados. O intuito é mostrar a atualidade e a importância do tema abordado nesta pesquisa.

2.1 Um novo ambiente para o uso de modelos quantitativos

O uso bem-sucedido de modelos matemáticos em empresas no mundo todo é fato incontestável: as páginas da *Interfaces*, para citar apenas um exemplo, mostram inúmeras aplicações que redundaram em grandes ganhos para diversas organizações. No Brasil, temos o caso de empresas como a Petrobrás, que usa uma série de modelos de programação linear para fazer o planejamento de compra de petróleo e da produção/transporte de derivados (FCAV, 1988); a Sadia ganhou o prêmio Franz Edelman de excelência na aplicação de Pesquisa Operacional (P.O.) pelo trabalho nos seus processos de produção de carne de frango (Taube-Netto, 1996); fábricas de papel usam modelos de programação inteira para o corte de bobinas e empresas alimentícias utilizam modelos de programação linear para balancear ração animal¹; usinas de açúcar em São Paulo utilizam programação linear para seu planejamento de safra (Gualda e Tondo, 1991); uma indústria de suco de laranja apoiou-se em simulação estocástica para dimensionar seu sistema logístico (Gualda, Yoshizaki e Tondo, 1991); um consórcio de usinas de açúcar e álcool baseou sua decisão de criar uma distribuidora de álcool nos resultados de um modelo de transporte (Yoshizaki, Muscat e Biazzi, 1996); e há muitos outros exemplos na literatura. Todas essas empresas obtiveram ganhos significativos com o auxílio de modelos matemáticos.

A modelagem matemática é particularmente desejável quando a situação ou o problema a serem avaliados são quantificáveis (objetivos, variáveis e relações conhecidas) e tem razoável complexidade estrutural. Nesse caso, o simples uso de julgamento, intuição e experiência pode não ser suficiente para tomada de decisão, havendo a necessidade do apoio de modelos formais (Operations Analysis Group, 1977). Ao tornar possível a

¹UNISOMA, catálogo, 1993.

avaliação de diversos cursos de ação, os modelos auxiliam inclusive a aprimorar a intuição dos decisores.

O uso profissional de modelos matemáticos em empresas tradicionalmente requer o emprego de computadores e *softwares* específicos. Isto exigia profissionais especializados para sua concepção, desenvolvimento e uso adequados. Nessa época (década de 60 e início da de 70), recursos computacionais em empresas costumavam ser centralizados e a análise de sistemas, tal como a conhecemos hoje, ainda estava em sua infância. Por exemplo, os primeiros "pacotes" de Pesquisa Operacional, como o MPS, posteriormente MPS-X, para programação linear, e o GPSS, para simulação discreta estocástica, ambos da IBM, e o DYNAMO, para simulação de processos contínuos, são contemporâneos de linguagens de segunda geração como o FORTRAN e o COBOL. Esses programas, ainda hoje considerados como padrões para comparação de outros *softwares* da área, são contra-exemplos de uso amigável, tornando imprescindível o especialista.

A especialização tornou esse profissional um recurso relativamente escasso e caro para as empresas. Em algumas delas, estes profissionais foram concentrados em grupos especializados de Pesquisa Operacional, à semelhança do que ocorria com os profissionais de processamento de dados, os quais giravam em torno do *mainframe* (computador central de grande porte) da empresa.

Grandes organizações, tais como Petrobrás, Vale do Rio Doce, Souza Cruz e o extinto BNH, podiam se dar o luxo de manter grupos de P.O. Grande número de organizações, entretanto, passaram ao largo dessa onda, por falta de conhecimento, de recursos humanos ou computacionais, mesmo quando, reconhecidamente, entidades do mesmo ramo já usavam modelagem matemática com sucesso ou até quando certos problemas típicos podiam ser encontrados em livros didáticos (como os casos de problemas de mistura de rações ou corte ótimo de barras ou chapas).

Diversos fatores estão fazendo com que as empresas tendam a uma maior utilização de modelos quantitativos. Pode-se agrupar esses fatores ambientais em duas classes principais; uma é de cunho eminentemente tecnológico, e outra está associada à evolução dos conceitos de administração de empresas neste final de século. Elas são:

1. Generalização da capacidade de modelagem matemática para empresas;
2. A onda da Qualidade, com seu foco em processos (sistemas) e resultados.

Vamos agora tratar cada uma dessas categorias e suas conseqüências separadamente.

A capacitação para seu uso está-se tornando mais generalizada, levando a maior descentralização e menor dependência de especialistas. Há aqui três itens a comentar:

- Ampla disponibilidade de recursos computacionais (*hardware*).
- Chegada de nova geração de ferramentas de modelagem matemática (*software*).
- Maior capacitação de usuários de modelos matemáticos.

O avanço na tecnologia de *hardware* e o seu barateamento são fatos incontestáveis. Hoje já é possível encontrar a solução de modelos matemáticos que exigiam enormes mainframes em microcomputadores e *workstations*, bastante acessíveis. Um microcomputador tipo notebook moderno pode resolver problemas de programação linear com milhares de variáveis e centenas de restrições em tempos razoáveis e usando programas disponíveis no mercado. Por exemplo, um problema de programação linear com 515 restrições e 1035 variáveis pode ser solucionado em 3,8 s usando um Macintosh Quadra (LINDO LINES, 1993, p.5). Modelos de simulação estocástica grandes e complexos são hoje corriqueiramente resolvidos em microcomputadores (Yoshizaki, 1990).

O profissional hoje pode então desenvolver e utilizar modelos matemáticos de P.O., Dinâmica Industrial, Estatística e Inteligência Artificial quase que independentemente de um Centro de Processamento de Dados e seus analistas de sistemas. Sua única ligação com estes seria a base de dados corporativos, de onde ele extrairia (pelo menos parte das) informações necessárias ao processamento do seu modelo; tal ligação hoje está muito facilitada pela existência de redes de comunicação corporativas ou de mídia padronizada como disquetes.

Há também toda uma nova geração de programas de modelagem e solução de problemas no mercado ou em pesquisa. Eles inovam na forma com que os modelos são desenvolvidos, codificados e analisados. Vale a pena aprofundar a discussão.

Modelos podem ser desenvolvidos com diferentes graus ou níveis de abstração: para Ackoff e Sasieni (1971), existem dois níveis (conteúdo e forma); para Geoffrion (1987), quatro (estruturas elementar, genérica, modular e modelo estruturado); para Müller-Merbach (1983), quatro (níveis verbal, de sistema, de conjunto de entidades, e funcional); e para Beer (1966, p.111-119), também quatro (situação gerencial; modelo conceitual por analogia; formulação rigorosa por homomorfismo; e modelo científico por isomorfismo). O importante é que há tal diferença: quanto maior o nível de

abstração, mais estruturado e "algébrico" torna-se o modelo. Ou seja, mais distante da realidade sentida pelo usuário ele se torna. Em compensação, é possível sua manipulação formal pelo uso da linguagem matemática, algorítmica ou computacional, com toda a vantagem da lógica e do uso de métodos rigorosos para avaliação de alternativas (que é necessária, pois senão é impossível auxiliar o decisor): Savage (1993, p. 1-2) comenta sobre a "cortina algébrica" que impede o uso de linguagem matemática por muitos executivos. Morris (1967) comenta justamente que a tradução de modelos em linguagem matemática é o passo do processo de modelagem que gera maior dificuldade nos iniciantes. É justamente pela maior abstração que seu uso torna-se mais difícil ou esotérico: nem todas as pessoas conseguem (ou desejam) manipular diretamente a linguagem matemática ou computacional.

Vamos ilustrar a problemática de diferentes níveis de abstração em modelagem com a imagem de uma escada (Figura 2.1), onde exemplifica-se um problema de localização tradicional. No nível 0 (térreo), temos a realidade organizacional tal como ela se apresenta, sistêmica, complexa, *a priori* indivisível. Um grande passo é "traduzir" sentimentos de desconforto, como custos elevados, nível de serviço inadequado, etc, ou seja, caracterizar um diagnóstico da situação, definí-la como um problema de localização. Esta primeira passagem nem sempre é tão trivial, pois pressupõe um certo grau de conhecimento do sistema físico e da possibilidade de solução do problema (com certeza, experiências anteriores ou o conhecimento de situações similares que foram aliviadas com o uso de modelos de localização influem nesta primeira tradução): isto algumas vezes obriga o decisor a recorrer a terceiros, como especialistas ou consultores. Voltaremos a esta discussão em um momento oportuno. O passo seguinte (segundo degrau) é transformar o problema delineado em uma representação que permita sua discussão e compartilhamento com outros interessados, pois uma representação puramente verbal não consegue traduzir de maneira eficiente o problema decidido. Assim, é comum partir-se para o uso de um modelo preponderantemente icônico, como gráficos, mapas, tabelas e diagramas, que dão uma noção espacial.

Até esse degrau, o uso de linguagem relativamente comum, apoiada por figuras, tabelas e diagramas, permite a compreensão do problema e até sua solução em casos triviais. Porém, para situações realísticas em empresas, um modelo matemático pode ser mais apropriado. Entretanto, passar para uma representação matemático-analítica representa uma etapa muito especial, pois para vencer este degrau é necessária uma preparação formal adequada. É aqui que se situa a "cortina algébrica" de Savage, citada anteriormente. O próximo degrau, entretanto, é ainda mais difícil de galgar, pois pressupõe a existência de uma solução para o modelo analítico, ou seja, a disponibilidade de um método de solução (um algoritmo ou heurística). É neste patamar que vivem muitos acadêmicos de métodos quantitativos, em um "estado puro" ou Olimpo suficientemente distante dos problemas do nível térreo. É aqui também que temos os *softwares* tradicionais, como o MPS-X, o LINDO, o GPSS, o DYNAMO. Nos níveis acima deste, as habilidades requeridas já se tornam ainda mais especializadas e dependentes de preparação formal, como a codificação dos algoritmos e programas, e finalmente, a linguagem de máquina (cuja tradução é feita automaticamente por compiladores e interpretadores). Certos indivíduos habitam por toda sua vida profissional apenas um ou alguns poucos patamares (contíguos) dessa escada, como certos especialistas (é o caso de programadores de computadores de linguagens tradicionais, imersos nas nuvens) ou mesmo determinados executivos (que inclusive fazem questão de intitular-se como "práticos", recusando-se a enxergar outros níveis de abstração e auto-condenados a rastejar eternamente pelo chão...).

Desenvolvido pelo autor

Figura 2.1 A escada da abstração

Observe que, a cada nível ou patamar, há necessidade de dominar uma nova linguagem. E que, a cada degrau galgado, há obrigatoriamente um processo *de perda da riqueza original* da situação, ou seja, há um processo crescente de abstração. Isto é inevitável por dois motivos: primeiro, pela própria característica de processos de comunicação e linguagem, onde devemos usar símbolos comuns para podermos ser compreendidos por outrem (a padronização de símbolos - uma linguagem - é um processo de empobrecimento, de redução a um denominador comum, tanto mais redutor quanto maior o nível de abstração usado); em segundo lugar, pela própria natureza do processo de modelagem, que necessita de simplificações além das de natureza semântica para sermos capazes de solucionar o modelo (por exemplo, linearização de custos, regime estacionário, desprezar termos cruzados, etc).

Além disso, o processo de volta, ou seja, descer a escada, não é isento de dificuldades. A transposição da solução apontada pelo modelo (obtida através de um método algorítmico ou heurístico) para a vida real nem sempre é evidente, devendo ser devidamente analisada e interpretada, tanto nos fatores quantitativos, através de análise

de sensibilidade, etc, quanto nos fatores qualitativos, que dependem da experiência e julgamento do decisor, do conhecimento dos modelos e de suas hipóteses simplificadoras. Isto reforçou a necessidade de profissionais especializados para tratar desta transposição e posterior aplicação do método mais adequado para solução.

É interessante notar que a obtenção de métodos matemáticos para a resolução de modelos também nem sempre é trivial: há, assim, uma interação muito grande entre a formulação analítica de problemas e os métodos disponíveis. Cada método torna-se, de certa forma, uma linguagem específica que restringe a formulação dos modelos. Um bom exemplo deste relacionamento entre método e modelagem pode ser visto nos próprios livros-texto de P.O., que tem seus capítulos classificados conforme o método de solução (Programação Linear, Programação Inteira, Programação Dinâmica, Teoria dos Jogos, Teoria de Filas, Simulação, etc). Isto novamente reforçou a dependência de profissionais especializados para sua modelagem e uso, no caso de situações mais complexas.

Com estas idéias na mente, pode-se agora discutir mais um pouco esta nova geração de ferramentas que quebra (parcialmente) esta dependência, permitindo "saltar" certos níveis. Por exemplo, no caso de Simulação Estocástica Discreta, o programa ARENA monta o código de simulação baseando-se em ícones (objetos) que são "pescados" pelo usuário para desenvolver o modelo. Tais ícones representam objetos reais, como máquinas, pessoas, contêineres, peças, etc, e objetos abstratos, como distribuições de probabilidade de tempos, chegadas, prioridades, etc. Ou seja, o usuário desenvolve o modelo baseado apenas no *conteúdo* (no sentido de Ackoff), e o programa se incumba de colocá-lo na *forma* adequada ao computador (forma = linguagem de simulação). A modelagem pode ser feita a nível de conteúdo apenas, ou seja, no degrau icônico (Figura 2.1), onde a maioria das pessoas (os não-especialistas) pode se sentir relativamente à vontade. O restante do processo é feito de maneira automática e transparente para o usuário.

Evidentemente há um trabalho anterior de inocular os ícones adequados ou pertinentes à empresa no programa, que é um trabalho mais especializado. Após essa preparação, porém, este tipo de programa permite a modelagem por pessoal muito pouco versado nas minúcias da Simulação Estocástica.

No caso da Programação Matemática, um projeto muito promissor é o LPFORM (Ma, 1993), que emprega conceitos de modelagem estruturada (Geoffrion, 1987). Ele representa um passo no mesmo sentido do ARENA, ou seja, torna possível modelar

problemas de programação linear usando o conceito de objetos em um ambiente gráfico. Por exemplo, pode-se estruturar problemas de transporte usando-se ícones de fábricas, depósitos e arcos (fluxos), cada um com uma determinada série de atributos. Apesar de ainda ser um projeto experimental, é possível antever um grande progresso nesta área.

Outra parte problemática é a análise dos resultados obtidos pela resolução dos modelos. No caso da programação linear, existe o ANALYSE (Greenberg, 1987), que incorpora técnicas de análise de sensibilidade e inteligência artificial, de modo que pode explicar (em inglês) porque certa variável entra na solução e outra não, ou porque o nível de atividade de certa variável é assim e não assado.

Tais programas apontam para um *breakthrough* em modelagem matemática.

Uma crítica que deve ser feita, entretanto, é que nenhum destes programas contém rotinas para geração automática de documentação ou para desenvolver o processo de validação dos modelos. Apesar do cunho não-trivial desta tarefa de automatização, sua importância para a boa prática é fundamental, pois poucos analistas ou usuários têm ânimo ou treinamento para executá-las *off-line*. Infelizmente, poucos fabricantes envidam esforço para desenvolver módulos pouco valorizados pelos clientes.

As modernas planilhas eletrônicas merecem um comentário à parte. Elas são um meio bastante conveniente para o desenvolvimento de modelos matemáticos. Hoje em dia, todas elas contam com recursos para análise gráfica e estatística, e mesmo diversos métodos matemáticos e financeiros pré-instalados. Modelos de programação matemática podem ser convenientemente desenvolvidos e usados em planilhas, sendo que muitas delas já vêm com rotinas de programação linear, inteira e não-linear no próprio "pacote". Além disso, programas complementares (*add-ins*) para planilhas eletrônicas já existem há muito tempo. Por exemplo, o VINO, usado na modelagem e resolução de problemas de programação linear, foi comercializado como complemento do VISICALC, uma das primeiras planilhas eletrônicas para microcomputadores tipo Apple II. Savage (1993; 1997, p. 42-5) defende o uso de modelos quantitativos para auxílio gerencial desenvolvido por usuários em planilhas, pois considera que estas permitem quebrar a "cortina algébrica" citada anteriormente. Porém, modelos mais complicados ou com grande quantidade de dados ainda exigem seu desenvolvimento em *softwares* especializados. Por exemplo, programas de manipulação algébrica, como o GAMS ou o AMPL, são necessários para desenvolver modelos de programação matemática mais complexos e realizar a interface com bibliotecas de métodos e algoritmos específicos (chamados de solvers, como o OSL, o CPLEX, etc). Pode-se

dizer que há então uma "divisão de mercado", com as planilhas ficando mais voltadas para projetos relativamente pequenos desenvolvidos por usuários finais e os *softwares* específicos para projetos maiores, multifuncionais e com participação de especialistas.

Savage (1993, p.2) faz um paralelo histórico para ilustrar o potencial desses aplicativos: criados em 1860, motores de combustão interna eram basicamente operados por engenheiros (especialistas) em instalações estacionárias industriais. Na virada do século, havia cerca de 20 mil deles em operação. Em dez anos, porém, sua associação às carruagens, resultando no automóvel, colocou esta invenção nas mãos de dezenas de milhares de motoristas. Foram necessários cinquenta anos para o motor de combustão interna transformar-se numa realidade corriqueira. Argumenta então que, se considerarmos os métodos quantitativos da P.O. como os "motores" e as planilhas eletrônicas como as carruagens, pode ser que os anos 90 sejam a década do "automóvel analítico".

Com relação à maior capacitação de profissionais de empresas, cursos de Estatística, P.O. e métodos quantitativos fazem parte do currículo de muitas escolas de Engenharia e de Administração de Empresas, e, em menor grau, de Computação. Há também maior disponibilidade de cursos de extensão universitária desta natureza. Entretanto, a formação de uma massa crítica de recursos humanos é com certeza um entrave importante para o uso de modelagem matemática.

Estes fatores potencializam uma tendência para *descentralização* e *dispersão* da capacidade de modelagem matemática nas empresas: não há mais uma dependência total de um *staff* central e altamente especializado; um profissional (*knowledge worker*) pode desenvolver seu próprio modelo matemático para apoio à decisão. Portanto, segue-se aqui uma tendência paralela à que ocorre com a Informática e a microcomputação.

A descentralização crescente dos grupos de P.O. vem sendo constatada em países como Inglaterra e Estados Unidos (Fildes e Ranyard, 1996; Ranyard et al, 1995a e 1995b; Chapman, 1992; Gray, 1993; Geoffrion, 1992; CONDOR, 1988) e é considerada uma tendência irreversível. Isto é perfeitamente compreensível em função do enxugamento dos *staffs* e do pessoal administrativo que as grandes empresas vem realizando nos últimos anos.

Evidentemente os especialistas não deixarão de existir; porém, sua competência será exigida apenas no caso do desenvolvimento de modelos mais complexos e que exigem uma abordagem de equipe para serem desenvolvidos.

O uso de especialistas mostrou também uma outra dificuldade: existe uma diferença de linguagem entre eles e os decisores-usuários (Tomlinson e Idama, 1986). Não se trata somente de pontos-de-vista ou culturas diferentes, eles de fato têm linguagens diferentes. Este problema tem paralelo com o levantamento de especificações de sistemas de informações, onde existem muitos métodos diferentes para obter-se requisitos coerentes e que realmente traduzam as necessidades do usuário (Yadav, 1983). Esta falha de comunicação evidentemente não ocorre em modelos desenvolvidos pelo próprio decisor/usuário.

Pode-se inclusive argumentar que esta montagem de um referencial comum é teoricamente impossível, pois ele depende do sistema enfocado, que vai ser diferente para o analista e para o decisor pois ambos tem objetivos e *Weltanschauungen* diferentes. Um exemplo deste tipo de problema pôde ser observado em um estudo realizado no planejamento logístico de uma empresa petrolífera (FCAV, 1988): os analistas de P.O. introduziram no modelo de planejamento de compra e distribuição de óleo cru (baseado em programação linear) uma série de características tecnicamente sofisticadas (que os deixou bastante orgulhosos) mas que os usuários nunca utilizaram.

Isto torna necessária a revisão do paradigma de desenvolvimento de modelos baseado na dicotomia analista-usuário: agora estes dois podem confundir-se com uma só pessoa. A realidade tornou-se mais rica e variada. Esses decisores-desenvolvedores necessitam de algum tipo de orientação formal dentro das organizações. Outro cuidado a tomar-se é o fato de que os especialistas tem perfil mais analítico, orientados para reflexão ("Preparar! Apontar! Fogo!"), enquanto que os usuários (executivos) geralmente são do tipo orientados para ação, ou seja, atiram primeiro e perguntam depois ("Preparar! Fogo! Apontar!"). Este voluntarismo traz riscos ainda maiores de mal-uso de modelos ou mesmo do uso de modelos claramente inadequados, empregados pelos decisores sem cuidados de validação e análise de sensibilidade. Vale aqui a metáfora da criança que acabou de ganhar um martelo e está sózinha numa loja de porcelanas. Pesquisas constataam, por exemplo, que cerca de vinte a quarenta por cento das planilhas usadas em empresas contém erros dos mais diversos (Cragg e King, 1993). Isto aponta para a necessidade de algum tipo de serviço formal de apoio e auditoria de modelos em organizações.

A consequência mais importante da evolução tecnológica é então uma "democratização" dos métodos quantitativos para os seus usuários, os tomadores de decisão. A proliferação destes chamados "*self starters*" (Lee et al, 1989) tem sérias

implicações para a administração de modelos, pois aumenta a chance de erros técnicos devidos à falta de preparação formal.

A onda da Qualidade, com seu foco em processos (sistemas) e resultados, vem criando uma necessidade potencial cada vez maior de ferramentas mais sofisticadas para otimização ou melhoria de processos. A onda mundial pela Qualidade, iniciada pelas empresas japonesas, mostrou a todos um novo enfoque na administração de negócios. O cunho sistêmico dessa metodologia, com nuances cibernéticas e de sistemas de aprendizagem (melhoria contínua - ciclo de Shewhart), está-se tornando linguagem comum de executivos e profissionais. Palavras como objetivos/metasp, processo, cliente/fornecedor, entradas e saídas, indicadores de desempenho, etc, transformaram-se em jargão de empresas. Outra moda mais recente, a chamada "reengenharia de processos" (*business reengineering, ou business process redesign, BPR*), também coloca explicitamente vocabulário e conceitos da teoria clássica de sistemas (Earl e Khan, 1994). Não interessando o nome dado, o fundamental para esta tese é que todas estas "novas" metodologias administrativas enfatizam a necessidade de gerenciar o sistema-empresa (ou seus subsistemas) para garantir resultados em consonância com seus objetivos. Isto tem duas conseqüências importantes: a primeira delas é a pressão por resultados; a segunda é a colocação explícita de objetivos para sistemas ou sub-sistemas da empresa (processos). Esta última tem importância capital.

a) A pressão por resultados. As pressões competitivas têm exigido desempenho cada vez melhor das empresas, o que tem levado as mesmas ao desenvolvimento de programas de Qualidade Total, reengenharia, gerência de processos, etc, que *exigem resultados*. Mesmo quando bem sucedidos (e muitas vezes não o são), os resultados que eles obtêm são limitados pela capacidade das equipes de melhoria em gerar e avaliar alternativas. Se as mesmas utilizarem ferramentas e métodos triviais (como acontece em muitos casos, que limitam-se às "sete ferramentas da qualidade" tradicionais), interações mais sutis entre variáveis podem não ser devidamente avaliadas. Desta maneira, pode-se dizer que existe um limite superior para ganhos de desempenho para métodos triviais. Ora, o uso de modelos matemáticos pode fazer as empresas transporem esses limites. A nova fronteira, por assim dizer, fica por conta de capacitar-se para o emprego de métodos quantitativos. Como ilustração, a JUSE (*Japan Union of Scientists and Engineers*) oferece cursos de P.O. nos seus programas de Qualidade desde 1962 (Shiba et alli, 1993, p.516).

b) Objetivos explícitos. Todos esses modernos métodos de gestão enfatizam a clara definição de objetivos para os diversos sistemas e sub-sistemas da empresa. O

desdobramento hierárquico dos objetivos organizacionais em objetivos setoriais e sub-setoriais coerentes, e o seu controle, no TQM, é conhecido por *hoshin kanri*, ou desdobramento de políticas. Isto dá uma diretriz inequívoca para o desenvolvimento de medidas de mérito e indicadores de desempenho, que permitem o controle dos trabalhos e a avaliação de alternativas de melhoria. A idéia de *empowerment* (descentralização de decisões) só é eficaz nesse contexto, pois isto permite a realimentação para o autocontrole. Nos Estados Unidos, um ditado corrente na área de TQM diz: *You get what you measure*.

Ora, o emprego de modelos matemáticos depende de se ter medidas de mérito claras para permitir a avaliação quantitativa de alternativas. Conforme Checkland e Scholes (1990) e Rosenhead (1989), os métodos quantitativos da P.O. e da análise de sistemas clássica (chamados de *hard systems thinking*) partem de problemas bem-estruturados que expressam um ponto-de-vista consensual, com objetivos definidos *a priori*. Eles colocam que, muitas vezes, essa própria definição é bastante problemática, e propõem diversas maneiras de resolver este ponto.

Assim, como os novos métodos de administração partem da definição clara de objetivos mensuráveis, estes aplainam uma dificuldade inicial para o desenvolvimento e uso de modelos matemáticos. Isto aumenta a "clientela" potencial para a modelagem matemática.

A questão do *empowerment* implica também que decisões passam a ser tomadas em níveis hierárquicos cada vez mais baixos (conforme o caso, a nível operacional), criando maior demanda potencial para apoio à decisão.

Evidentemente, mesmo organizações administradas de forma mais conservadora podem auferir grandes vantagens pelo uso de métodos quantitativos, desde que haja esta definição clara de objetivos e o seu consenso (obtido por quaisquer meios: discussão, envolvimento ou coerção). Há, entretanto, questões éticas envolvidas aqui: a modelagem matemática estaria servindo como um instrumento a mais de controle autocrático, onde os interesses de *stakeholders* menos influentes continuariam a ser relegados a segundo plano.

Afora a questão dos programas de melhoria organizacional, como o TQM e o BPR, a exigência do mercado pela adoção de sistemas de garantia de qualidade padronizados (como a ISO 9000 e a QS 9000) também tem exercido pressão positiva para maior introdução de modelos matemáticos em organizações. Além de métodos estatísticos

sofisticados (como controle estatístico de processos, delineamento de experimentos, etc), há casos inclusive do uso de programação matemática. Por exemplo, um certo fornecedor de molas para uma montadora de caminhões implantou um sistema de apoio à decisão baseado em programação inteira para minimizar a perda de material decorrente do corte das barras de aço que são sua matéria-prima (o clássico problema de corte unidimensional), pois a diminuição sistemática de perdas foi exigida pelo organismo certificador.

Finalizando, a onda da Qualidade cria um ambiente empresarial e profissional mais propício ao emprego da modelagem matemática.

2.2 Problemas e riscos associados ao uso de modelos quantitativos

Apesar dos exemplos de sucesso e das maiores facilidades para seu uso, a modelagem matemática ainda é uma atividade de risco. A probabilidade de sucesso na implantação de modelos é reconhecidamente baixa, sendo de apenas 35% para analistas experientes (O'Keefe, 1995). Quais são as razões para um desempenho tão lamentável de projetos geralmente desenvolvido por pessoas com capacidade intelectual acima da média? Para este trabalho, o autor identifica quatro fatores que afetam este risco, a saber:

- **Tipo I:** risco da natureza da modelagem matemática;
- **Tipo II:** risco sistêmico de sub-otimização;
- **Tipo III:** risco de desenvolvimento do modelo;
- **Tipo IV:** risco de implantação e uso dessas tecnologias de decisão.

Serão discutidos inicialmente os riscos de Tipo II a IV, pois têm natureza mais familiar à Engenharia de Produção. Para discussão do risco Tipo I, argumentos de origem mais eclética são necessários e, por isto, ela será feita no final do item.

Riscos de natureza sistêmica (Tipo II). É a tradicional questão dos sub-ótimos (o todo é maior que a soma das partes), gerados pelo emprego de pontos-de-vista locais: ao otimizar sub-sistemas, modelos matemáticos podem levar à sub-otimização do sistema organização. Conforme Ackoff (1974), sistemas são em princípio *indivisíveis*, e a redução em subsistemas é uma aproximação indesejável. *A priori*, enxergar-se uma organização como um sistema implica aceitar sua indivisibilidade.

Um caso tradicional do problema sistêmico conta o que ocorreu numa reunião de diretoria, onde cada diretor mostrou um estudo objetivo de P.O. para justificar uma parcela maior do orçamento para seu departamento (Chapman, 1992)...

Da mesma maneira que os outros riscos, a questão sistêmica dos sub-ótimos esteve sempre presente na aplicação de modelos matemáticos de auxílio à decisão (vide Churchman, Ackoff e Arnoff, 1957, ou Ackoff e Sasieni, 1971). Entretanto, conforme comentado no item anterior, o uso mais generalizado desses modelos em organizações, apoiando indivíduos, grupos ou funções isolados, pode elevar esse problema a uma outra ordem de grandeza. Isto torna imperativa a criação de metodologias de modelagem que possam explicitamente tratar esse problema.

A área de modelagem matemática tem frequentemente tratado os problemas de forma isolada. Pode-se usar como exemplos os livros didáticos de Pesquisa Operacional e Gerenciamento de Operações (*Operations Management*), que normalmente dividem a realidade organizacional em problemas padronizados e isolados, fora de um contexto holístico. No caso da Pesquisa Operacional, esta questão fica ainda mais grave nos livros mais recentes, onde a ênfase sai dos problemas e passa para os métodos de resolução em si (isto pode ser parcialmente justificado pela relação dialética entre formulação/modelagem e escolha do método), isto é, a taxonomia empregada é aquela que classifica por método (por exemplo, Programação Linear, Programação Inteira, Redes e Grafos, Teoria de Filas, Simulação, etc, como aparece nos índices dos livros; um bom exemplo é Hillier & Lieberman), não dando nem mesmo um contexto para referencial. É curioso notar que dois livros clássicos, Churchman, Ackoff & Arnoff (1957), e Ackoff & Sasieni (1968), classificam parcialmente seus capítulos por tipo de problemas (como, por exemplo, alocação e distribuição de recursos, estoques, manutenção, filas, sequenciamento e coordenação, rotas em redes, competição, etc), ou seja, por conteúdo, oferecendo propositalmente um contexto de aplicação dos métodos.

Como a literatura trata a questão de sub-ótimos em modelagem matemática? A dificuldade de obter-se super-modelos globais suficientemente compreensivos para a realidade organizacional é tremenda e alguns autores consideram tal tarefa impossível, além de desnecessária (Santoro, 1991; FCAV, 1988), substituindo o super-modelo por um conceito de meta-modelo formado por uma hierarquia de modelos. É o que ocorre nos modelos de Planejamento Hierárquico para manufatura (Hax e Candea, 1984, cap.6; Bitran e Tirupati, 1993). Entretanto, a amplitude dessa modelagem hierárquica ainda deixa muito a desejar, pois tem seu escopo restrito à manufatura, limitando-se ainda a sistemas de apenas dois estágios em série e dois níveis hierárquicos associados a diferentes horizontes de planejamento. Na literatura de administração de modelos e SAD, existem trabalhos que se preocupam em garantir a integração de diferentes modelos de decisão, mas sob um ponto-de-vista de interdependência datalógica de

variáveis dos diferentes problemas (Geoffrion, 1987; Kottemann e Dolk, 1992), e não da coerência de seus objetivos.

Fora da área de modelagem matemática, existem metodologias voltadas para a obtenção de processos de decisão adequadamente integrados e, portanto, menos sujeitos à sub-otimização. Não são voltados, entretanto, ao planejamento de bases de modelos. São os casos da Administração por Objetivos tradicional e do Planejamento *Hoshin (hoshin kanri)*: baseiam-se no desdobramento negociado, *top-down*, dos objetivos e indicadores, o que garantiria, em princípio, a coerência das decisões. Nessas duas metodologias há ênfase na obtenção de objetivos negociados e coerentes à medida que se desce a hierarquia da empresa, sendo que no planejamento *hoshin* há maior cuidado na definição de mecanismos de controle do mesmo (Shiba et alli, 1993, Cap. 14). Nota-se uma confusão entre hierarquia de níveis de decisão e a hierarquia organizacional, que não são necessariamente as mesmas. Já a Teoria Geral de Sistemas de Mesarovic e Takahara (1975) explora o mesmo problema através de um enfoque basicamente matemático e bastante abstrato. Um paralelo de todos esses enfoques *top-down* de planejamento poderia ser feito com métodos de controle como o desdobramento coerente de indicadores de desempenho, explorados em Bela Gold (1973) e Muscat e Almeida (1988). Entretanto, todas essas técnicas servem como métodos de planejamento *lato sensu*, e não como métodos de desenvolvimento de base de modelos matemáticos que evitem sub-ótimos. Entretanto, podem servir de base para a elaboração de propostas nesse sentido.

Um marco importante no desenvolvimento dos conceitos que alicerçam esta pesquisa foi o diagnóstico desenvolvido para a gestão do sistema logístico de uma grande empresa de energia e do qual o autor fez parte (FCAV, 1988). Esse trabalho baseou-se nos conceitos sistêmicos de modelagem topológica (von Ellenrieder, 1972) e planejamento hierárquico. Embora não tenha sido direcionado somente a aspectos de modelagem matemática, o trabalho propôs a construção de um sistema de decisão logístico coerente, hierárquico, integrado e devidamente apoiado por modelos e sistemas de informação corporativa. A conceituação está descrita em Yoshizaki et al. (1991). Apesar de não ter como objeto a construção de uma base de modelos, o trabalho acabou gerando uma hierarquia de objetivos, indicadores e modelos que na prática é um primeiro esboço do que poderia ser a mesma. Parte da proposição de metodologia detalhada no capítulo 6 tem inspiração nesse trabalho e, por isso, ele vai ser melhor analisado posteriormente.

Churchman (1973, p.9-10) faz um interessante comentário sobre a interação entre definição de objetivos (parte da definição do problema) e formulação de modelos: para alguém ser preciso com relação a seus objetivos, é necessário que esta pessoa *construa* um modelo. Ninguém pode ser exato sobre suas metas sem fazer algumas hipóteses. Quando alguém diz que tem um certo objetivo, implicitamente assume que há um caminho viável até ele. Deve assumir também que, caso outros objetivos apareçam, não irá dissipar suas energias nessas outras direções. Entretanto, caso se disperse por esses outros objetivos, poderá prever a intensidade de sua atração por eles. Logo, precisará entender seu próprio comportamento. Além disso, quanto mais tentar entender suas próprias metas, mais deverá entender das metas de outras pessoas com as quais se associa. Uma decorrência que podemos concluir é que, ao se fazer um desdobramento *top-down* de objetivos, os níveis hierarquicamente superiores necessitam ter algum modelo do funcionamento dos seus sub-sistemas, pois senão correm o risco de propor metas inviáveis. Ou então algum tipo de mecanismo de *feed-back* é necessário para alertar níveis superiores de inviabilidades. Assim, o uso aqui preconizado da modelagem matemática precisa conceber organizações como sistemas: objetivos como propriedades emergentes, hierarquia no entendimento (modelo) do funcionamento dos componentes, controle no *feed-back* necessário para verificação de viabilidade e a comunicação associada.

Risco de desenvolvimento do modelo (Tipo III). Dentro deste tipo de risco incorporaram-se os riscos tratados tradicionalmente nas metodologias de desenvolvimento de modelos de auxílio à decisão. O autor vai subdividir esse risco em outros três, a saber:

1. risco de definição do problema;
2. risco de formulação do modelo;
3. risco de método inadequado.

Cada um destes riscos está associado a um tipo de erro clássico. Respectivamente, temos os seguintes erros: a) resolver corretamente o problema errado; b) formular erradamente o problema certo; c) escolher o método errado para resolver o modelo certo.

Por exemplo, pode-se montar um modelo matemático que não pode ser resolvido analiticamente, porque não há um método de resolução apropriado ou com convergência numérica (como às vezes acontece em problemas de programação não-linear), ou mesmo sem possibilidade prática de determinar o ótimo (como acontece em determinados problemas combinatórios NP-completos). A literatura especializada se

preocupa justamente com ocorrências dessa natureza, isto é, o desenvolvimento de novos métodos matemáticos. Evidentemente, tais problemas ocorrem principalmente em aplicações inovadoras, mas, em menor grau, podem acontecer em qualquer problema de modelagem matemática.

A orientação oferecida pelos livros didáticos para o processo de modelagem é por vezes enganosa, pois não enfatiza as idas e vindas que compõem o aprendizado necessário para montar-se um modelo, nem o importante papel da analogia. Dá-se a impressão que o ato de modelagem é um processo linear, quando é na verdade iterativo, com ciclos irregulares. Morris (1967), Little (1970) e Powell (1995) exploram este tipo de processo: eles comentam que os cursos de modelagem matemática ensinam modelos e não como modelar. Eles também fornecem algumas heurísticas práticas, como ir do geral para o particular, começar com modelos simples para depois acrescentar detalhes e sofisticções, etc.

Conforme comentado, as disciplinas que utilizam modelos matemáticos (como P.O., Estatística, I.A.) costumam reconhecer os riscos acima mencionados de forma mais ou menos explícita em suas metodologias. Por exemplo, o método clássico da P.O., conforme colocado por Ackoff e Sasieni (1971), pode ser reconhecido no próprio índice de seu livro e está apresentado na Figura 2.2. Assim, cuidados com a formulação de problemas (Capítulo 2 na figura), a construção de modelos (Capítulos 3 e 4), os métodos de solução (Capítulos 5 a 14) e posterior controle para garantir sua utilidade e consistência (Capítulo 15) são passos dessa metodologia. O controle final é feito numa fase de testes, onde a estrutura interna do modelo/método é posta à prova num confronto com algum tipo de referência e o modelo pode então ser validado; caso o dual modelo/método não passe por esta fase, o processo pode ser reiterado (mesmo parcialmente), até a convergência. É interessante notar que alguns modelos do processo de modelagem colocam explicitamente que as fases de definição, formulação e obtenção de soluções são iterativas, uma influenciando a outra, ou seja, há interação entre os três tipos de risco.

Capítulo	Título	Página
1.	Introdução/A Natureza da Pesquisa Operacional	1
2.	Formulação de Problemas	28
3.	Construção de Modelos	70
4.	Obtenção de Soluções a partir de Modelos	110
5.	Problemas de Alocação: Atribuição e Distribuição de Recursos	141
6.	O Problema Geral da Alocação Linear	171
7.	Problemas de Estoque	200
8.	Substituição, Manutenção e Problemas de Confiabilidade	235
9.	Programação Dinâmica	264
10.	Problemas de Filas	285
11.	Problemas de Sequenciamento e Coordenação (PERT e Caminho Crítico)	315
12.	Problemas de Determinação de Rotas em Redes	347
13.	Problemas de Competição	368
14.	Problemas de Busca de Informação	399
15.	Teste do Modelo e da Solução	435
16.	Implantação e Controle da Solução	467
17.	Epílogo: Fronteiras da Pesquisa Operacional	490

Figura 2.2.- Índice do livro de Ackoff & Sasieni

As metodologias tradicionais de modelagem matemática abordam os três riscos de forma conjunta por uma série de motivos: primeiro, tais metodologias foram desenvolvidas a partir do método científico experimental clássico (galileano), onde experimentos com o fenômeno científico em si foi substituído por experimentos abstratos com um *modelo* do fenômeno de interesse (Checkland, 1981, p. 72-3). No método científico as iterações entre formulação de hipóteses e seus testes ocorrem continuamente, impossibilitando a segregação destas fases, vindo daí a importância da validação dos modelos por testes e análise de sensibilidade. Em segundo lugar, há realmente uma tensão dialética entre cada um dos, vamos dizer, pares de problemas associados a cada par de riscos. Por exemplo, a formulação do modelo depende da definição do problema, que por sua vez é função do sistema escolhido (que é uma decisão arbitrária do modelador); ou, num segundo exemplo, o escopo do sistema pode permitir uma aproximação linear dos custos ou de certos fatores de desempenho, facilitando a modelagem. Além disso, a própria escolha de um método de resolução

condiciona a formulação: por exemplo, ao decidir-se pela programação linear, um modelador pode precisar rever sua formulação para se adequar ao método. Muitas vezes, entretanto, o próprio treinamento ou experiência anterior já tornam esse processo quase automático, desde a forma de enxergar o problema até a formulação. Carrier e Wallace (1993, p.37-8) dão um bom exemplo, onde a experiência anterior do modelador pode afetar sua escolha de método e formulação em um problema de localização de armazéns: um engenheiro industrial pode usar um modelo de programação inteira, um estatístico um modelo econométrico, e um especialista em I.A. desenvolve um sistema especialista.

A grande influência dos métodos de resolução no processo de modelagem não é gratuita; afinal, desenvolver métodos que funcionem (de um ponto de vista matemático ou computacional) não é uma tarefa simples, como toda a literatura acadêmica de P.O., Estatística e I.A. pode comprovar! A disponibilidade de ferramentas (algoritmos, métodos computacionais) condiciona bastante a modelagem. Conforme foi dito anteriormente, cada método acaba se tornando uma linguagem específica em si que pode ser usada para modelar problemas de natureza bastante diferente. Isto é possível porque tais métodos resolvem modelos matemáticos que estão em um nível isomórfico, ou seja, numa escala de abstração superior. E, portanto, dão uma aparência de métodos ou linguagens de uso universal, com certos especialistas abusando do seu emprego (a metáfora de Ackoff de chaves de fenda procurando parafusos, ou soluções em busca de problemas).

Assim, na prática, existe um processo de ajuste mútuo entre as diversas fases de desenvolvimento de um modelo, que é reconhecido pelas metodologias citadas.

Evidentemente, outros fatores pragmáticos, como prazos, disponibilidade de dados, *software* e outros recursos computacionais também afetam o processo de modelagem.

Riscos de implantação e uso de tecnologias de decisão (Tipo IV). A introdução de modelos matemáticos para auxílio à decisão em organizações significa a introdução de uma tecnologia de decisão. Apesar do uso do método científico para o desenvolvimento desse tipo de projetos, eles tem cunho basicamente tecnológico e não científico, ou seja, de aplicação prática e não de mero aumento do conhecimento humano (Keys, 1989). Dessa maneira, o ponto-de-vista de gestão tecnológica pode auxiliar a compreender alguns riscos de implantação e uso (Yoshizaki e Plonski, 1995).

Além disso, uma implantação bem-sucedida não significa necessariamente uma garantia de uso continuado: problemas como obsolescência prematura, falta de integração com sistemas de informação ou mesmo desinteresse podem acarretar no esquecimento do modelo. Fatores contingenciais afetam o índice de sucesso de modelos individuais no curto e no longo prazo.

Nesse sentido, é muito instrutivo o que Davenport (1994, p. 27) comenta sobre sistemas MRP: "...muitas empresas que tentaram inovar com estes sistemas (MRP e MRP II) nos últimos 20 ou 30 anos falharam. Acreditamos que isto ocorreu porque muitas pessoas viram estas tecnologias com soluções por si mesmas... Estas firmas não trataram o processo inteiro afetado por aqueles sistemas, e negligenciaram a mudança nos sub-processos associados (gestão de estoques, procedimentos rotineiros e assim por diante). Algumas delas simplesmente não tinham a disciplina e a sofisticação necessárias para empregar ferramentas tão rigorosas e complexas".

O mesmo epitáfio poderia ser empregado para alguns programas de roteirização automatizados vendidos no Brasil no final da última década. Tais programas serviam basicamente para gerar rotas de distribuição ou entrega de mercadorias. Em algumas firmas a implementação acabou em desastre, após pesados investimentos em *hardware*, *software*, treinamento e consultoria. Tais empresas, além dos próprios fornecedores dos programas, subestimaram fatores contingenciais importantes: a demanda muito maior por dados, a necessária integração com os sistemas comerciais e de faturamento, além da falta de experiência com tecnologias de informação e sistemas de apoio à decisão (SAD) das pessoas que iam tratar diuturnamente com as operações de distribuição das mercadorias. A demanda por dados foi particularmente influente, pois exigia um sistema de informações geográficas com uma sofisticação e precisão que essas empresas ainda estavam muito longe de possuir: elas tiveram de desenvolvê-los a partir do zero, digitalizando mapas para montar as redes de vias e posteriormente os mantendo atualizados (uma tarefa trabalhosa para regiões urbanas que crescem diariamente na sua periferia, onde a ausência de dados oficiais torna isto ainda mais difícil). Isto significou na prática um enorme esforço paralelo à implantação do sistema de roteirização. Com relação à integração entre sistemas, houve problemas desde a incompatibilidade entre registros (por exemplo, dados cadastrais), precisão e consistência de endereços e ciclo de operação dos sistemas, até a impressão de notas fiscais e romaneios e o próprio processamento em si (os sistemas comerciais e de faturamento eram processados centralmente, enquanto os roteiros de entrega localmente, o que expôs a fragilidade da tecnologia das redes empregadas na época). Esses dois casos (um do setor de alimentos industrializados, outro referente a uma cadeia de lojas de departamentos, com um

faturamento conjunto de US\$ 2,7 bilhões em 1994) criaram uma onda de ceticismo em muitos profissionais de logística. Pode-se contrastar isto com o exemplo de uma grande transportadora (a primeira da categoria a conseguir um certificado ISO 9000 no país), que iniciou o desenvolvimento (interno) e a implantação de seu sistema de roteirização em 1990 e trabalhou no seu aperfeiçoamento de maneira lenta e gradual de forma a, atualmente, encontrar-se preparada para colocar em operação sistemas sofisticados (desenvolvido por fornecedores) com uso de mapas digitalizados e roteirização em tempo real, com auxílio de navegação GPS.

Quatro aspectos da gestão de inovação tecnológica são importantes aqui (Yoshizaki e Plonski, 1995):

- a integração entre estratégias empresarial e tecnológica;
- a necessidade de administrar o processo de inovação;
- o conceito de ciclo de vida;
- o ajuste mútuo entre tecnologia e organização.

A integração entre estratégia tecnológica e a estratégia geral do negócio: quando o ambiente é tecnologicamente turbulento, a formulação da estratégia de negócios deve incluir uma série de variáveis tecnológicas (Ansoff e McDonnel, 1990, p. 191). Este conceito tem amplas conseqüências a nível da capacidade organizacional e, em particular, da capacidade da administração em geral. Alguns de seus requisitos são: conhecimento em gestão de tecnologia, cultura de inovação, organização flexível, administração de projetos e sistemas de informação tecnológica.

A necessidade de administrar o processo de inovação: a idéia fundamental é que o enfoque tradicional para administrar o processo de inovação, em especial as atividades de pesquisa e desenvolvimento (P&D), deve ser alterado. Uma formulação interessante, baseada em três eras de P&D, é proposta por Roussell et al (1992). A primeira era, típica de empresas até os anos 60, combinava cérebros, recursos, equipamentos e tempo e esperava pelos resultados. A segunda geração introduz algum grau de controle, usando basicamente ferramentas de administração de projetos. De acordo com a terceira (atual) geração, gerentes em geral e gerentes de P&D trabalham lado a lado e decidem conjuntamente o que, quando e por que investir no processo de inovação.

O conceito de ciclo de vida: considera-se que a inovação tecnológica não é um evento isolado ou mesmo um pequeno número de eventos discretos. Ela envolve muitas atividades e decisões que se desdobram lentamente, e que também envolve pequenas ações comportamentais por parte das unidades sociais em muitos níveis diferentes de

agregação (Tornatzky e Fleisher, 1991, p. 27). A noção de ciclo de vida, que foi aplicada anteriormente para descrever o comportamento usual de produtos, tornou-se uma ferramenta descritiva útil para a área de gestão tecnológica. Ela diferencia as fases de acordo com a perspectiva dos desenvolvedores (envolvendo fases como pesquisa básica, pesquisa aplicada, desenvolvimento, testes e avaliação, produção e disseminação) e dos usuários (problemas de conscientização, seleção-acoplamento, adoção-comprometimento, implementação e rotinização).

O ajuste mútuo entre tecnologia e organização: o estágio inicial de implantação de uma nova tecnologia de produção, ou seja, o período no qual a tecnologia é removida pela primeira vez de seu contexto de laboratório e introduzida no ambiente do usuário é especialmente crítica (Leonid-Barton, 1988, p. 251). A tecnologia nunca vai se ajustar perfeitamente ao ambiente do usuário. A literatura mostra que alterações simultâneas na tecnologia e no ambiente são mais benéficas do que manter uma constante e alterar apenas a outra. O sucesso na transferência de tecnologia repousa na boa vontade tanto de desenvolvedores como de usuários para mudarem conjuntamente.

Assim, similaridades e paralelos das atividades de modelagem matemática também existem com problemas enfrentados na implementação de novas tecnologias, como o projeto de engenharia auxiliado por computador - CAD (Plonski, 1987, p. 402-8), sistemas MRP (Davenport, 1994) e automação de escritório (Ho e Sculli, 1992). Nestes casos, não se pode concentrar exclusivamente nos aspectos puramente técnicos (como métodos numéricos, algoritmos, geração de código), mas deve-se também dar igual ênfase em aspectos de gestão tecnológica. Ou seja, introduzir um modelo matemático em um processo de decisão não pode ser encarado apenas como a introdução de uma nova rotina de informação: há uma série de questões de gestão tecnológica que transcendem o simples trabalho de modelagem e que precisam ser resolvidas. Assim, fatores como estágio da tecnologia de decisão, motivação e comprometimento do usuário, aspectos ergonômicos e psicológicos, rotatividade de usuários, treinamento, manutenção, sistemas de informação e bases de dados podem ter influência tão decisiva nas decisões de modelagem quanto fatores técnicos, como disponibilidade de métodos e algoritmos de solução. Porém, às vezes as dificuldades técnicas já são tão grandes que considerar outros fatores complica demais o problema e então adia-se a reflexão desses assuntos, agravando-se o risco de não-implantação ou uso. Uma discussão mais profunda pode ser encontrada em Yoshizaki e Plonski (1995) e está resumida no item 4.4.

Com relação aos riscos de gestão tecnológica, a área de SI tem utilizado enfoques contingenciais para o projeto e especificação de sistemas (Davis, 1982). Algum tipo de contingenciamento também poderia ser aplicado para a modelagem matemática.

Riscos da natureza do enfoque tradicional de modelagem matemática (Tipo I). Há uma contradição básica, nem sempre percebida, da P.O. tradicional, que tem paralelo com a própria Engenharia de Produção tradicional: elas baseiam-se na aplicação do método científico, de grande sucesso nas Ciências Naturais e na Engenharia tradicional, e que é especialmente adequado para o tratamento de problemas físicos. Os pressupostos desse método incluem a invariância das leis naturais, a existência de relações de causa e efeito determináveis e a neutralidade ou imparcialidade do cientista ou técnico. Como a P.O. tem como objeto sistemas técnicos e humanos, e como a componente humana muitas vezes contraria esses pressupostos, o método científico não consegue tratar adequadamente a realidade de decisão focalizada¹. Isto tem sérias implicações na utilidade do enfoque tradicional.

A questão da invariância das leis naturais, típica em disciplinas como a Física e a Química, fundamenta o método experimental, pois sem leis estáveis não é possível isolar relações de causa e efeito. Assim, o uso de métodos estatísticos é possível pela repetitibilidade dos eventos em análise (por exemplo, num contexto de laboratório ou experimentos controláveis). Blackett, comentando a respeito do nascimento da P.O. na Segunda Guerra, mostra sua surpresa diante do sucesso do método científico em problemas de operações militares, como guerra anti-submarina e bombardeio estratégico: isto não nos surpreende agora, pois elas tinham natureza repetitiva e estável, onde métodos estatísticos podem mostrar sua força. Porém, na realidade gerencial, muitos problemas e decisões são *ad hoc* (quando conseguem ser expressos claramente, é lógico). Mesmo problemas operacionais e repetitivos, como programação de máquinas, tripulações, mistura de rações, etc, podem não ter métodos e processos estáveis (sob controle estatístico), tornando a aplicação do método científico prejudicada. Além disso, processos em organizações estão imersos em um ambiente que normalmente varia no tempo; no longo prazo, todas as "leis empresariais" (tecnologia, mercados, concorrência, legislação, etc) acabam mudando. A questão de que o futuro é sempre uma repetição do passado não vale para sistemas humanos: é a questão da mudança de paradigmas sociais, tecnológicos e sociais (Barker, 1990). Rivett (1980, p.158) faz uma observação jocosa sobre o processo de construção de modelos e a hipótese de estabilidade na organização-objeto, ao dizer que assume-se a postura de que

¹ O.F.F. Torres, notas de aula, 1996.

podemos "parar o mundo, descer e construir o modelo". No mesmo texto, porém, ele nos dá o lembrete de que leis científicas são apenas hipóteses que ainda não foram negadas (como no caso das leis da Mecânica de Newton, ultrapassadas pela Relatividade Especial de Einstein).

A questão de não-permanência das "leis organizacionais" ocasiona problemas para o emprego de relações de causa e efeito: a simples possibilidade de variação nas leis impossibilita o uso generalizado de causa-efeito, ou seja, de modelagem. Além disso, a natureza circular das relações em empresas torna difícil dizer o que é causa e o que é efeito. A previsibilidade de resultados com base em informações prévias torna-se em princípio impossível.

Popper tem uma argumentação interessante para este problema (Checkland, 1981, p. 70), ao falar da impossibilidade das ciências sociais conseguirem prever resultados. Isto se deve ao fato de que seres humanos podem alterar os resultados previstos, principalmente se tiverem consciência do impacto dessas previsões. Por exemplo, ao saber que a construção de uma determinada estrada pode destruir a ecologia de um lugar (previsão), os moradores podem iniciar um movimento de resistência que culminaria na revisão de seu traçado (negação da previsão). Por isso, Popper argumenta que leis e relações de causa-efeito em história não são possíveis: como os acontecimentos em sistemas sociais são influenciados pelo crescimento do conhecimento humano, e como o crescimento futuro desse conhecimento é em princípio imprevisível (pois não podemos saber o ainda desconhecido), o futuro de sistemas sociais não pode ser previsto.

Finalmente, tem-se o pressuposto da neutralidade ou imparcialidade do cientista (no nosso caso, o analista): o resultado de um experimento é alheio à vontade do experimentador. Quando Galileu abandonou as suas esferas do alto da Torre de Pisa, o tempo que elas demoraram para cair não era influenciado por sua previsão. Porém, o analista é um dos *stakeholders* do projeto, e influencia decisivamente na sua condução e solução. Assim, ele não é neutro ou imparcial, e seu ponto de vista deve ser explicitamente colocado, de forma que possíveis influências ou vícios possam ser reconhecidos a tempo. No caso do *self starter*, a imparcialidade do modelador é impossível, pois ele próprio está no "olho do furacão".

Há assim a necessidade de verificarmos se os pressupostos poderão ser atendidos antes de aventurar-se na modelagem matemática. A questão de invariância das leis significa, em um contexto organizacional, a estabilidade de processos e objetivos. Não é à toa que, na Qualidade Total, um dos primeiros trabalhos é suprimir causas especiais e

tornar os processos estatisticamente estáveis, sob controle. Isto permitirá a descoberta das relações de causa-efeito existentes, ou seja, qual a estrutura subjacente que pode ser modelada (um modelo quantitativo expressa essas relações de forma inequívoca). Quanto à neutralidade do analista, caso seu *Weltanschauung* esteja devidamente conhecido, sua influência pode ser devidamente avaliada e considerada na modelagem.

Assim, a situação em análise precisa ser adequadamente contextualizada, ou seja, o problema precisa estar bem estruturado para permitir o uso adequado de modelagem matemática.

Houve, na Inglaterra, o desenvolvimento de um enfoque diferente para a P.O., chamada de abordagem *soft* (*soft* OR), que tenta dar uma resposta à questão de estruturação de problemas. Ela difere da P.O. tradicional, chamada de enfoque *hard* (Checkland e Scholes, 1990, p.306-308). A P.O. *soft* visa tratar situações *socialmente* complexas, incertas e conflituosas, onde o enfoque tradicional é insuficiente. Esses métodos *soft* são baseados num paradigma diferente de articular e acionar um processo sistêmico de aprendizado, caracterizado por uma menor demanda de dados, simplicidade, transparência, participação dos agentes, planejamento *bottom-up* e incerteza (Rosenhead, 1989, p.12-18). Sua tarefa fundamental é então auxiliar a estruturar situações problemáticas, tendo uma função esclarecedora e não normativa, como o enfoque tradicional. Ela segue um paralelo com a tradição sistêmica dos métodos propostos por Churchman (1971) e Ackoff (1974, 1978).

Esta revisão da P.O. tem um paralelo interessante na própria evolução do conceito de administração da qualidade, a qual saiu do controle de qualidade tradicional (onde aplica-se modelos estatísticos e método científico), passando pelo TQC e desembocando nos modelos modernos de gestão da qualidade total (JUSE, Deming, Juran). A administração da qualidade saiu então de um enfoque puramente *hard* para um paradigma participativo, sistêmico e mais *soft*, levando em conta explicitamente a dimensão humana e desenvolvendo ou empregando técnicas que transcendem os métodos puramente matemático-estatísticos. Muito do seu sucesso advém desta mescla de ferramentas potentes para a parte técnica e para a parte humana das organizações. A doutrina atual de Qualidade Total, entretanto, necessita de um ambiente politicamente favorável dentro de organizações para sua utilização bem-sucedida. Sucesso parcial, nesse caso, é a sua própria antítese. A P.O. tradicional, pelo contrário, pode ser usada localmente em parcelas isoladas da organização com sucesso, mas podendo gerar problemas de sub-otimização global.

A causa de vários insucessos na tentativa de aplicação de modelagem matemática a problemas administrativos foi então o uso de um enfoque limitado (método científico) em situações onde as características sociais (humanas) dominavam as técnicas. Isto é, o ambiente de decisão não era propício ao uso do método científico. Há necessidade de se conhecer melhor as contingências que possibilitam o uso de modelos matemáticos em organizações para minimizar este risco, ou seja, qual o contexto adequado e como obtê-lo, se possível. Conforme Churchman (1973) lembrava, é necessário antes de mais nada verificar se vai ser possível mudar alguma coisa antes de se engajar em um estudo de melhoria: é colocar antes de mais nada a questão de implementação!

2.3 Conclusões

A discussão anterior mostrou o potencial e os riscos associados ao uso da modelagem matemática em organizações. Para que esse potencial se concretize, há necessidade de uma metodologia que leve em conta, de maneira explícita, os quatro tipos de risco comentados: eles mostram o caráter não-trivial da aplicação de modelagem matemática em certos contextos e dão uma noção da maturidade organizacional necessária para seu emprego.

A falta de uma metodologia consistente para tratar esta problemática está associada ao sentimento de crise da P.O. tradicional (Saaty, 1988; von Ellenrieder, 1992). O desenvolvimento e aperfeiçoamento de métodos e algoritmos não teve a contrapartida do aperfeiçoamento de uma *metateoria* de aplicação da P.O.: uma resenha de um livro didático de P.O. observa que nada de fundamentalmente novo apareceu desde a publicação do livro de Churchman, Ackoff e Arnoff em 1957 (Kafandaris, 1995). Miser (1992) clama pelo desenvolvimento de uma epistemologia de uso, mesmo sabendo que pode ser uma tarefa impossível. De acordo Corbett e van Wassenhove (1993), houve uma hipertrofia em *management science* (dado um certo modelo abstrato, como desenvolver métodos e ferramentas analíticas novas e mais poderosas) e *management consulting* (como solucionar problemas com um conjunto já fixado de ferramentas) e um relativo esquecimento de *management engineering* (como solucionar problemas usando ferramentas de outras áreas ou desenvolvendo novas ferramentas), que resgataria a velha prática. Houve uma série de iniciativas interessantes, como a série editada por Miser e Quade (1985, 1988 e 1995), ou os livros de Reisman (1992) e Rivett (1980). Mas basicamente eles consolidam ou estruturam de forma mais didática a "boa prática" de modelagem matemática tradicional, baseada no paradigma de consultoria (ou seja, na dicotomia analista-usuário) sem apontar para nada fundamentalmente novo. É difícil enxergar o futuro olhando-se para trás...

Esta tese vai tratar basicamente dos riscos tipo I, II e IV; o risco tipo III, como comentado anteriormente, está mais explorado na literatura e nos métodos divulgados na comunidade.

Há, portanto, necessidade de se determinar: a) como identificar oportunidades legítimas de modelagem matemática em organizações, ou seja, que contingências possibilitam sua aplicação; b) como projetar um conjunto de modelos efetivamente coerentes e eficazes; c) como garantir o aprendizado organizacional nesse esquema; d) como melhorar as chances de sucesso do seu emprego; e e) como planejar e controlar o uso de modelos. Ou seja, precisa-se ter uma sistemática para o projeto e o gerenciamento do sistema de modelagem matemática na organização (ou numa parcela da mesma), a qual apoiaria uma nova função organizacional, o sistema de modelagem. Isto está explorado a seguir.

3 UM MODELO INICIAL DO SISTEMA DE MODELAGEM MATEMÁTICA

Conforme dito anteriormente, o novo ambiente tecnológico-empresarial potencializa um maior uso da modelagem matemática em organizações, tanto em aplicações individuais como em sistemas de informação grandes e complexos, tanto em trabalhos *ad hoc* como rotineiros. Isto levaria à necessidade de uma nova função organizacional que seria executada por um sistema de modelagem matemática.

Para a definição do que seria um sistema de modelagem matemática, optou-se por trabalhar com a metodologia de Checkland (1981), conhecida por *soft systems methodology* - SSM (Checkland, 1981, 1985; Checkland e Scholes, 1990; Wilson, 1991).

A idéia aqui é esboçar o ambiente onde o tema básico da tese - a metodologia para projeto e planejamento da base de modelos - deve estar inserido. Assim, o contexto da metodologia proposta fica explícito e, portanto, algumas de suas características desejáveis tornar-se-ão mais claras. Como a metodologia é parte do processo de planejamento, o restante do sistema de gestão (execução e controle) aparece esboçado aqui.

A escolha da metodologia do SSM (Checkland e Scholes, 1990) para esta tarefa se deve ao caráter sistêmico da mesma, no sentido de conter características cibernéticas necessárias ao sistema de gestão (o ciclo planejamento-controle); dela tratar explicitamente a existência de diferentes interlocutores e *Weltanschauungen* (inclusive dos modeladores); dela ter caráter iterativo, privilegiando um processo de aprendizagem e aprofundamento constantes; e dela permitir que, nesse processo de aprofundamento, a própria revisão bibliográfica (que define parte do quadro conceitual empregado) integre-se ao mesmo e auxilie a indicar lacunas e caminhos.

Resumidamente, a metodologia de Checkland segue o ciclo mostrado na figura 3.1 (Checkland, 1985). Suas características principais são:

1. A metodologia parte da descoberta de uma situação problemática até uma ação sobre a mesma: isto é realizado através da aplicação organizada e explícita do enfoque sistêmico à situação real.
2. Os sistemas de atividades humanas relevantes para explorar a situação são cuidadosamente delineados em 'definições básicas' (*root definitions*, ou, R.D.). Elas

explicitam algumas características dos sistemas relevantes, que são os elementos CATWOE definidos na Figura 3.1.

3. Cada R.D. clarifica sua *Weltanschauung*, ou seja, o ponto-de-vista a partir do qual o sistema (atividade humana) é descrito.
4. Os modelos conceituais dos sistemas nomeados nas R.D.'s são construídos. Eles são modelos de atividades teleológicas (com finalidades determinadas) consideradas *relevantes* para o debate e a discussão da situação problemática. Neste estágio os modelos não devem ser considerados como projetos de sistemas.
5. O debate sobre a situação é estruturada através da comparação dos modelos com as percepções do mundo real. O alvo do debate é encontrar algumas modificações possíveis que atendam simultaneamente dois critérios: que sejam sistemicamente desejáveis e culturalmente viáveis na situação particular analisada.
6. Definição de alterações desejáveis e viáveis para uma nova situação problemática (como implantar) e o processo cíclico recomeça.
7. A S.S.M. procura acomodar interesses conflitantes.
8. A S.S.M. é duplamente sistêmica. Ela é um processo (sistema) cíclico de aprendizado, que utiliza modelos de *sistemas* dentro do mesmo.

CATWOE:

C (customers)	Quem seria a vítima ou o beneficiário deste sistema?
A (actors)	Quem executaria as atividades deste sistema?
T (transformation process)	Quais entradas são transformadas em quais saídas pelo sistema?
W (Weltanschauung)	Que ponto-de-vista dá significado a este sistema?
O (owner)	Quem pode acabar com este sistema?
E (environmental constraints)	Quais restrições externas devem ser assumidas pelo sistema?

Traduzido de Checkland, 1985.

Figura 3.1. Esquema simplificado da metodologia de Checkland

A Tabela 3.1 sumariza as diferenças entre o enfoque tradicional ('hard' systems thinking, que inclui a P.O. tradicional) e as metodologias para estruturação de problemas ('soft' systems thinking, que inclui a S.S.M):

Tabela 3.1. Comparação entre enfoque tradicional e enfoque 'soft'

Enfoque tradicional ('hard')	Enfoque 'soft'
Orientado para atingimento de objetivos	Orientado para aprendizado
Assume que o mundo contém sistemas que devem ser "projetados"	Assume que o mundo é problemático mas que pode ser explorado pelo uso de modelos de sistemas
Assume que modelos dos sistemas são modelos do mundo real (ontologias)	Assume que modelos de sistemas são construções intelectuais (epistemologias)
Fala a linguagem de "problemas" e "soluções"	Fala a linguagem de "discussões" e "acomodações"
VANTAGENS	VANTAGENS
Permite utilizar-se técnicas poderosas	Está disponível tanto para os donos dos problemas como para os praticantes profissionais; mantém contato com o conteúdo humano da situação problemática
DESVANTAGENS	DESVANTAGENS
Pode necessitar praticantes profissionais	Não produz respostas definitivas
Pode perder contato com aspectos que vão além da lógica da situação problemática	Aceita que o processo de indagação nunca termina

Traduzido de Checkland, 1985.

3.1 O ciclo de análise

A situação problemática que deu partida ao ciclo foi descrita no capítulo 2 (o novo ambiente e os riscos associados ao emprego da modelagem matemática). Alguns aspectos, problemáticos ou não, devem ser explicitamente considerados:

- como identificar oportunidades de modelagem e projetar a base de modelos;
- integração das decisões e dos modelos matemáticos;
- o ciclo de vida dos modelos;
- integração com bases de dados da organização;
- ferramentas de *hardware e software*;
- dificuldade de modelagem;
- centralização de capacitação de modelagem matemática;
- descentralização da modelagem matemática;
- aprendizado organizacional.

Desenvolvido pelo autor

Figura 3.2. Ciclo do SSM aplicado à problemática da metateoria de modelagem

A partir desta situação, foi possível realizar um ciclo da metodologia de Checkland, conforme descrito na Figura 3.2. e detalhado no resto deste capítulo.

Conforme a metodologia, deve-se alternar o estudo entre o mundo real e o mundo sistêmico. Inicia-se no mundo real, onde está acontecendo a "situação problemática" (canto superior esquerdo). Vai-se para o mundo sistêmico, onde temos uma série de conceitos úteis (canto inferior esquerdo). Todos eles têm relevância para desenvolver-se o modelo de Sistema de Modelagem Matemática, que é o sistema relevante para tratar a situação problemática. O sistema está detalhado no item seguinte.

De volta ao mundo real, a comparação do sistema com a literatura mostrou que existem lacunas importantes na mesma, a saber:

- o projeto e planejamento pró-ativo da base de modelos matemáticos;
- manutenção e atualização de modelos (ciclo de vida);
- estudos do uso real de modelos matemáticos.

A identificação dessas lacunas definiu a escolha do tema da pesquisa.

Empresa com poucos m.m. eficazes	→	Empresa com mais m.m. eficazes
Empresa com processos-chave "burros"	→	Empresa com processos-chave "inteligentes"
Empresa com baixa capacitação em modelagem	→	Empresa com maior capacitação em modelagem
Capacitação em modelagem concentrada	→	Capacitação em modelagem disseminada, popularizada, dispersa
Modelagem sem padrões	→	Modelagem mais padronizada: manuais, formato, padronização.
Modelagem reativa	→	Modelagem pró-ativa
Planejamento da base de modelos inexistente	→	Planejamento da base de modelos forte
Contingências para uso de m.m. pouco claras	→	Contingências mais conhecidas
Manutenção de modelos precária	→	Manutenção de modelos planejada e eficaz
Geração de modelos com técnicas ultrapassadas (forma)	→	Geração de modelos com técnicas adequadas (conteúdo)
Integração de modelos no nível atual	→	Integração de modelos maior
Integração com banco de dados no nível atual	→	Integração com bancos de dados maior
Desempenho normal	→	Desempenho aperfeiçoado
Baixa integração com outros planos e programas da organização (informática, TQM, etc.)	→	Maior integração com outros planos e programas organizacionais

O CATWOE da metodologia de Checkland permite esclarecer um pouco mais a natureza do sistema:

C (*clients*): empresa como um todo; qualquer tipo de usuários de modelos.

A (*actors*): usuários e especialistas; equipes de modelagem (modelos complexos); gerentes/coordenadores da base de modelos; fornecedores de dados.

T (*transformation process*): empresa com processo-chave "burros" ⇒ empresa com processos cada vez mais "inteligentes", conforme critérios da definição.

W (*Weltanschauung*): o processo de modelagem, juntamente com novas ferramentas de modelagem, tecnologia de informação e metodologia adequada, pode incrementar

significativamente o desempenho de um empreendimento pela melhoria dos processos formais de decisão em si e pelo aprendizado resultante.

O (owners): "donos" dos processos/problemas.

E (environmental constraints): tecnologias atuais e futuras de modelagem; capacitação de pessoal, atual e futura; base de modelos (internos e externos) atual e futura.

Os diversos componentes/atividades do sistema idealizado estão mostrados na Figura 3.3.

O detalhamento e a análise das atividades do sistema dar-se-á através do uso de *cenários*, a seguir, conforme recomenda a metodologia (Checkland e Scholes, 1990).

Desenvolvido pelo autor

Figura 3.3. Modelo do Sistema de Modelagem Matemática em empresas

3.3 Comparação do sistema com o mundo real (literatura, experiência)

O confronto entre o sistema idealizado e o que se tem disponível na literatura foi feito através da comparação entre cenários de algumas atividades principais (aquelas no núcleo da Figura 4.3) e o que foi publicado na literatura. Isto permite descrever as diversas atividades do sistema junto com sua comparação com o mundo real.

Primeiro, vamos colocar um cenário geral para então detalhar os diversos cenários.

1. Os modelos são usados e têm impacto positivo na empresa/processo?
2. O uso de recursos pelo resultado obtido é mínimo?
3. A empresa está aprendendo? Está melhorando seu desempenho global? Está evoluindo com relação à sua tecnologia de decisão?

3.3.1 Cenário geral

Neste cenário global, teremos:

- ⇒ Descentralização/disseminação da competência de modelagem, pelos motivos já vistos;
- ⇒ Estagnação/desaparecimento de grupos centralizados (tradicionais) de P.O., I.A., etc.;
- ⇒ Apatia ou neutralidade da alta administração com relação à modelagem matemática;
- ⇒ Continuação do movimento pela Qualidade, com enfoques cada vez mais abrangentes;
- ⇒ Crescimento das pressões competitivas para empresas;
- ⇒ Especialistas em modelagem concentrando-se fora das empresas usuárias;
- ⇒ Maior disponibilidade de ferramentas de modelagem (incluindo novos canais, como a INTERNET).

3.3.2 Cenário da Atividade 1 - Projetar e planejar a base de modelos da organização

É um sistema para planejar a criação, desenvolvimento, implementação e operação de modelos matemáticos que vão compor a *base de modelos* da firma de modo pró-ativo, em um ambiente de desenvolvimento interno descentralizado, alocando eficientemente recursos computacionais e de modelagem, nos prazos e no orçamento, utilizando explicitamente o aprendizado organizacional na sua dinâmica e respeitando as diversas contingências associadas ao emprego da modelagem matemática, de modo a incrementar o seu desempenho.

Diz-se projetar, pois esta palavra conota a existência de especificações ou requisitos (Checkland e Scholes, 1990, p.53), no nosso caso, para a base de modelos .

Apesar da importância capital deste tema para as áreas que trabalham em auxílio à decisão, ele recebeu atenção apenas perfunctória na literatura. A pesquisa em revistas como *Operations Research*, *Management Science*, *Computer & Operations Research*, *Interfaces*, *Journal of the Operational Research Society*, *Decision Support Systems*, *Decision Science*, *Information Systems Research*, etc, e na bibliografia da área (livros didáticos de P.O., I.A. e sistemas de apoio à decisão ou sistemas de informações gerenciais) mostrou que quase nada existe sobre como identificar, priorizar, integrar e planejar a montagem da base de modelos de uma organização, ou sobre como isto é realizado na prática. Há certa abundância em pesquisas que visam criar métodos e principalmente ferramentas de *software* para apoiar o ciclo de vida de um modelo (Bharadwaj et al., 1992; Chung e O'Keefe, 1992), ou mesmo sua integração com outros modelos.

Este sistema deve ser capaz de dar respostas às questões lançadas no Capítulo 2, pois é parte importante da metateoria de P.O. citada (von Ellenrieder, 1992; Corbett e van Wassenhove, 1993). A literatura existente na área, entretanto, nem sequer coloca a questão da base de modelos.

Os únicos a citar explicitamente sistemas de gestão da base de modelos foram pesquisadores de SAD (Sage, 1991, 1994; Sprague, 1993; Watson e Sprague, 1993). Entretanto, seu interesse maior está nos aspectos de informatização e não nos processos de decisão em si. Na literatura de Sistemas de Apoio à Decisão, assume-se implicitamente que os usuários, que criarão ou solicitarão os modelos, escolhem o que deverá estar contido na base de modelos, ou seja, não há como garantir sua eficácia, a cobertura de processos e a integração de decisões. Isto não deixa de ser coerente com a

visão *ad hoc* de uso de modelos para apoio à decisão: não cumpre ao especialista dizer ao usuário/decisor que modelos empregar.

Esta postura basicamente reativa também permeia a própria área de P.O. A quem cabe a iniciativa de propor o desenvolvimento de um modelo de auxílio à decisão? Há pouca indicação de como proceder e quando alguma orientação é apresentada, geralmente é somente um exemplo. Assim, métodos formais para identificação de necessidades de modelagem matemática são virtualmente inexistentes.

A lacuna na literatura é bastante sugestiva e pode ser considerada como decorrência da já citada falta de uma epistemologia para o auxílio à decisão por modelos matemáticos. Ao se restringir apenas ao apoio à decisão, à manipulação de modelos e à determinação de métodos de solução, a área fica diante daquele dilema. Alguns pioneiros da P.O. criticam justamente a transposição direta de modelos prontos para a solução de problemas (Saaty, 1988) e defendem uma certa "volta às raízes" pelo uso de equipes multidisciplinares e foco na solução *ad hoc* de problemas. Entretanto, mesmo esta postura *ad hoc* não resolve o problema de como projetar a base de modelos, pois é basicamente reativa e voltada para solucionar problemas isolados.

Esse enfoque fragmentado, de apenas administrar modelos isolados, reforça dialeticamente a própria fragmentação das decisões nas organizações usuárias e exigem uma demanda muito maior na capacidade de modelagem e dos métodos de solução em termos de complexidade estrutural: há necessidade de incorporar-se explicitamente os tradeoffs que forçosamente existem e a complicar os modelos. Existem exceções nos modelos de planejamento hierárquico de produção (Hax e Candea, 1984; Bitran e Tirupati, 1993), na modelagem estruturada (Geoffrion, 1987) e na integração de modelos mistos (Dolk e Kottelman, 1992). Porém, nenhum deles estava preocupado com a problemática de base de modelos de uma organização, nem com as contingências que permitem montar esta base.

Esta discussão é central para a pesquisa e será melhor desenvolvida nos capítulos seguintes.

3.3.3 Cenário da Atividade 2 - Pesquisar novos modelos, ferramentas e aplicações

É um sistema para *obter informações* sobre:

- Ferramentas: adequabilidade, desempenho, disponibilidade, plataforma, etc;
- Modelos: estado da arte em modelagem/técnicas de solução/fonte interna e externa;
- Aplicações: uso em outras empresas/processos, com casos de sucesso e insucesso;
- Métodos: disponibilidade, criação e aplicação,

e *classificá-las* adequadamente, para permitir o planejamento e o projeto da base de modelos, o projeto individual, a implantação, a operação e a manutenção dos modelos, mediante a consulta por indivíduos ou equipes interessados.

Neste caso, também existe uma lacuna na literatura. Os textos mais freqüentes são aqueles que fazem comparações entre ferramentas (*benchmarks* de programas de programação linear, simulação, previsão, etc). As diversas sociedades profissionais, como SOBRAPO, INFORMS, etc, deveriam dar maior apoio neste caso (aspectos societais, Shiba et al 1993), criando, por exemplo, bancos de dados de casos reais ou mesmo templates. Por exemplo, a disponibilidade dos *International Abstracts on Operational Research/Annual Comprehensive Index* para pesquisa *on-line* no endereço eletrônico da INFORMS seria um grande passo, não fosse o método arcaico de classificação utilizado (por palavras-chaves técnicas, não havendo classificação por tipo de indústria, por exemplo). A nível geral, existem bibliotecas parciais de casos e métodos, com interesse basicamente acadêmico (compartilhamento de problemas padronizados para testes de novos algoritmos e heurísticas), cujo acesso também é possível via Internet. Uma iniciativa bastante interessante nesse sentido é a criação de mercados eletrônicos de modelos de decisão, como o projeto *Decision Net* desenvolvido em conjunto pela Naval Postgraduate School e a Carnegie Mellon University (Bhargava et al, 1996).

3.3.4 Cenário da Atividade 3 - Desenvolver modelos para processos escolhidos

É um sistema para conceber, desenvolver, testar e validar modelos individuais ou sistemas de modelos matemáticos, para otimizar o desempenho do processo/atividade conforme o plano diretor da base de modelos, de forma descentralizada ou por equipes *ad hoc*, com ou sem o auxílio de consultores (internos ou externos), usando ferramentas de fácil manipulação (quarta geração ou modelos mais simples), conforme o nível de sofisticação técnica da equipe, de forma eficiente, no prazo e no custo esperado.

Usa-se conceitos de administração de modelos tradicional, acrescido de preocupações de ergonomia, manutenção futura, implementação, periodicidade de decisão, plataforma, disponibilidade de dados, conceitos de engenharia de *software*, definição de requisitos e especificações de sistemas, etc. A escolha do paradigma de modelagem é condicionada dialeticamente pela disponibilidade de métodos e ferramentas (sistemas de modelagem - por exemplos, planilhas, GAMS, GPSS, ARENA, etc, além de *solvers* adequados). É conveniente desenvolvimento em grupo, estilo engenharia simultânea, por todos *stakeholders* do modelo. Beer (1966) recomenda o uso de equipes multidisciplinares. É fundamental que usuários tenham capacidade de modelagem a nível de conteúdo. Neste ponto existe abundância de textos na literatura, principalmente aqueles que descrevem o desenvolvimento de ferramentas de modelagem, que justamente se preocupam com riscos do Tipo III.

Gray e Lenstra (1988), editores de um número especial da *Operations Research* sobre SAD, comentam na introdução alguns fatos que ocorreram no processo de montagem da mesma:

"...A chamada de trabalhos foi feita e 46 submissões foram recebidas...Nós fomos também surpreendidos pela baixa qualidade da maioria dos *papers* recebidos...O que encontramos foi um típico mal-entendido entre comunidades (de P.O. e de SAD/informática) trabalhando no mesmo problema independentemente. A maioria dos textos submetidos por pessoal externo à área de P.O. não compreendia a base científica subjacente à P.O. Seus *papers* eram freqüentemente simples descrições e não tinham sólida base conceitual. De modo semelhante, a maioria dos trabalhos recebidos de profissionais de nosso meio não conseguia tratar com a questão de que decisão deveria ser apoiada ou como as soluções por eles oferecidas se relacionavam com a tomada de decisão. Por exemplo, antecipamos o recebimento de um grande fluxo de papers de primeira linha que tratariam sobre administração de modelos. A questão aqui é, resumidamente, decidir qual dos múltiplos modelos disponíveis para um particular problema de decisão deveria ser utilizado. Lamentamos informar que, apesar deste ser um problema central para a P.O. e o apoio à decisão, não recebemos o fluxo esperado.

"De certa forma, portanto, nossa chamada para uma edição especial foi mal-sucedida..."

Já em 1992 um número da *Annals of Operations Research* era dedicado especialmente à administração de modelos (Shetty, Bhargava e Krishnan, 1992). No prefácio, Bhargava e Krishnan (1992) comentam:

"...Para aumentar a *produtividade* em modelagem, os sistemas de gerenciamento de modelos devem suportar todo o ciclo de vida de modelagem, incluindo as fases de pré e

pós-solução...A pesquisa em administração de modelos atualmente é genericamente definida para incluir trabalhos que contribuam para o apoio computacional em qualquer fase do processo de modelagem, seja ela a construção do modelo, sua validação ou análise pós-solução.

"...Assim, onde está o campo de administração de modelos atualmente? Progressos significativos foram realizados, mas um grande número de problemas de pesquisa permanecem sem solução...(Estes) podem ser categorizados em quatro grandes áreas: (a) representação de modelos e da informação relacionada aos mesmos, além do tratamento racional de tais informações - o que chamamos de "problemas de linguagem"; (b) uma compreensão de como as pessoas que modelam executam as várias atividades do ciclo de vida de modelagem - os "problemas cognitivos"; (c) o projeto e a implementação de sistemas de modelagem matemática - os "problemas de sistemas"; e, (d) examinando o impacto operacional e a utilidade de sistemas de gerenciamento de modelos em situações reais de modelagem - os "problemas empíricos". Os trabalhos neste volume tratam dos três primeiros conjuntos de problemas; não há muito trabalho reportado na última categoria de questões."

Há também a questão da validação do modelo. Gass e Joel (1981) propõem uma avaliação formal de modelos e Gass (1993) detalha procedimentos para validação e avaliação de modelos individuais. Este é um problema particularmente sério à medida que se disponibilizam ferramentas potentes (como programação matemática, análise de decisão, simulação estocástica discreta) para usuários leigos e que não tem o treinamento e a formação necessárias para usá-las adequadamente. Gass (1991) fez algumas advertências a respeito desses usuários. Neste sentido, as diversas sociedades profissionais poderiam ter um papel mais ativo, como realizar avaliação de programas usando como critérios a geração automática de documentação, a existência de módulos de verificação e validação, assim com tutoriais e agentes de auxílio on line. Todos estes trabalhos, entretanto, consideram que o desenvolvimento do modelo foi realizado por uma equipe de P.O., com ou sem a participação do usuário. Apesar de não haver estudos conclusivos sobre a correlação entre participação do usuário e o sucesso da implantação e uso de sistemas de informação, o caso do decisor-desenvolvedor (*self starter*) assume aqui grande importância: problemas de confiança e de comunicação são eliminados, pois o decisor pensa então que tem completa compreensão da modelagem e das simplificações necessárias feitas no processo. Além disso, a interação dialética necessária para modelagem como uma linguagem formal reforça a questão do aprendizado. É uma situação problemática, pois justamente estes *self starters* não tem a formação adequada para avaliar se um modelo está adequado ou não.

Uma função importante dos profissionais de modelagem quantitativa seria o controle do mal-uso por estes "calouros".

Deve-se citar que as etapas 3 a 7 podem ser entendidas como o ciclo de vida de um modelo, enquanto as etapas 1 e 2 dizem respeito ao sistema de modelos como um todo. Assim, os comentários sobre a farta literatura existente sobre o desenvolvimento de modelos individuais valem em grande parte para as atividades de 3 a 6.

3.3.5 Cenário da Atividade 4 - Implantar modelos nos processos

É um sistema para implantar modelos desenvolvidos no sistema de operação (principalmente no caso de decisões rotineiras de modelos "embutidos" em sistemas de decisão) conforme plano de modelagem, com planejamento, execução e controle de documentação, treinamento, capacitação, esclarecimento de dúvidas etc, usando técnicas modernas (multimídia, treinamento auxiliado por computador, aulas participativas, etc), de forma eficiente, no prazo, dentro dos custos, e atendendo especificações de qualidade (mediante realização de testes e validação do modelo) e integração com a base de dados e de modelos da empresa.

Novamente, como se trata de modelos individuais, há também certa abundância de textos na literatura, pois normalmente a implantação é objeto das metodologias (paradigmas) de modelagem tradicionais, enfocando o risco Tipo III.

Os cenários das atividades 4 a 6 dizem mais respeito ao caso de modelos "embutidos" em processos e de uso rotineiro.

3.3.6 Cenário da Atividade 5 - Operar modelos

É um sistema para facilitar o uso de modelos matemáticos, no que tange a alteração de dados e parâmetros, acesso a base de dados da empresa, análise de resultados, robustez, análise de sensibilidade, etc, usando ferramentas adequadas (gráficos, sistemas especialistas, etc.), com uso eficiente de recursos computacionais, incrementando a sensibilidade do usuário com relação ao processo analisado.

Há diversos textos neste tópico, alguns deles muito interessantes. Via de regra, textos de administração tradicional de modelos (sobre ferramentas) são motivados por problemas no uso cotidiano de modelos, como entrada de dados, atualização de parâmetros e equações, etc. Assim, esses textos também abordam questões operacionais.

3.3.7 Cenário da Atividade 6 - Manter/atualizar modelos

É um sistema para manter os modelos matemáticos em condições adequadas para uso, no que tange a parâmetros, novos blocos, objetos, hipóteses, restrições ou relações, via de regra absorvendo alterações dentro do mesmo paradigma de modelagem, ou seja, revendo hipóteses e incorporando essas revisões ao modelo, até que seja necessário refazê-lo, de modo eficiente e dentro da vida útil prevista (em termos de obediência a hipóteses de modelagem).

Conforme comentado no item anterior, existem diversos textos que tratam sobre o assunto, mas sob um ponto de vista operacional (uso de ferramentas). Entretanto, poucos deles abordam isto sob um ponto-de-vista de gerenciamento desta manutenção, ou seja, pensando no ciclo de vida do modelo e da possibilidade de que possa ser necessário inclusive mudar-se o paradigma de modelagem.

3.3.8 Cenário das Atividades 7-9 - Controlar o Sistema de Projeto e Gestão de Modelos

É um sistema que deve monitorar e, se necessário, tomar ações de controle sobre as atividades de 1 a 6. Além disso, deve definir as medidas de desempenho do Sistema de Modelagem Matemática e dos modelos utilizados.

Como medida de eficácia, deve avaliar se os modelos estão sendo utilizados e se estão sendo úteis à organização. Por exemplo, pode-se montar históricos do emprego de *softwares* de modelagem e solução de modelos, e verificar se processos importantes e com decisões complexas estão tendo apoio de modelagem.

Como medida de eficiência, deve verificar se o uso de recursos (pessoal, *hardware*, *software*, etc) pelo resultado obtido é mínimo. Por exemplo, a alocação de *software* em máquinas de uma rede de computadores deve ser a de menor custo total.

Outra ação a ser lembrada seria uma função de auditoria de modelos, em termos de sua validade externa.

Existe pouca literatura sobre estes assuntos. Em Shetty, Bhargava e Krishnan (1992) há um artigo sobre a designação de recursos computacionais em redes de processamento distribuído. Há também métodos para análises benefício-custo de sistemas na literatura

de informática. Artigos sobre aplicações e casos específicos em revistas como a *Interfaces* costumam colocar os ganhos quantitativos conseguidos pelos modelos descritos. Com relação à atividade de controle administrativo de modelos, Dolk e Konsinsky (1982) fazem uma analogia com a função do administrador de dados.

3.3.9 Cenário das Atividades 10-13 - Controlar o Sistema de Modelagem Matemática

É um sistema que monitora as atividades de 1 a 9 e toma ações corretivas, se necessário. Define também medidas de efetividade do sistema como um todo, de maneira a apreciar as aspirações dos diversos *stakeholders* da organização. Uma medida fundamental da efetividade do sistema é o nível de aprendizado que está sendo conseguido. Ou seja, se sua tecnologia de decisão está evoluindo. Outra medida é a melhoria conseguida pelo uso de modelos no desempenho global da organização.

Embora existam artigos que mostrem o impacto estratégico do emprego de certos modelos, a questão do impacto global da base de modelos é pouco citada. A situação é pior no caso do uso de modelagem como sistema de aprendizado tecnológico.

3.4 Conclusões

Bem ou mal, as atividades 3 a 5 têm cobertura nos textos da área. Entretanto, as outras atividades tem presença quase que perfunctória (vide canto superior direito da Figura 3.2). Com certeza, o sistema de Planejamento e Projeto da Base de Modelos (Atividade 1) é a mais distante do cenário apresentado. Uma série de motivos poderia ser exposta, mas, do ponto de vista da definição do tema da tese, o que interessa é constatar esta ausência. Desta maneira, em vez de desenvolver todo o Sistema de Modelagem Matemática, restringir-se-á ao detalhamento e desenvolvimento de metodologia para a Atividade 1, conforme objetivo expresso no Capítulo 1.

4 CONCEITOS IMPORTANTES PARA PLANEJAMENTO E PROJETO DA BASE DE MODELOS

As discussões anteriores identificaram claramente a necessidade de uma metodologia para a implantação e a administração de modelos matemáticos. Neste capítulo diversos trabalhos importantes da literatura correlacionada serão comentados e criticados. Pretende-se com isto identificar conceitos relevantes que auxiliem na confecção da metodologia.

4.1 O tratamento do problema sistêmico de sub-otimização

Adotar uma abordagem sistêmica implica aceitar que propriedades emergentes estão associadas a hierarquias. Para evitar sub-ótimos, portanto, o emprego de um enfoque *top-down*, ou seja, de um processo de desagregação coerente, surge de maneira natural.

Como foi comentado anteriormente, métodos *top-down*, como a Teoria Geral de Sistemas de Mesarovic e Takahara (1975), a administração por objetivos e o planejamento *hoshin* (Shiba et al., 1993), sempre estiveram baseados em uma visão hierárquica de sistemas. Nestes métodos, a idéia fundamental é garantir a coerência dos objetivos e metas dos sub-sistemas de uma organização pelas desagregação paulatina (à medida que se "desce" na estrutura organizacional, no caso de organizações tradicionais) dos supra-objetivos para os objetivos dos sub-sistemas. Isto requer conhecimento preciso de interdependências entre funções (Thompson, 1967; March e Simon, 1958) e da existência ou não de trade-offs entre as mesmas.

Diversos autores já se preocuparam com a questão da coerência e desdobramento de objetivos em modelos matemáticos. O planejamento hierárquico de produção (Bitran e Tirupati, 1993), por exemplo, trata disto. Mas este método ainda encontra-se limitado a sistemas de dois estágios, o tratamento de retroalimentação não foi explorado adequadamente e a incerteza recebe atenção limitada. Seu escopo também é bastante limitado, pois restringe-se somente aos problemas de manufatura.

Outros paralelos úteis de métodos *top-down* provém da área de Sistemas de Informação, como a análise estruturada (Yourdon, 1988) e matrizes estruturadas (Toyama e Endo, 1995), que são um desenvolvimento do *Business Systems Planning* da IBM (1981). A desagregação de sistemas realizada por estes métodos, entretanto, vai mais no sentido de facilitar a divisão de trabalho no projeto de sistemas de informação, com o

desenvolvimento em paralelo de módulos e sub-sistemas, tanto em termos de análise de sistemas *strictu senso*, como da codificação dos programas e rotinas.

Nenhum dos métodos acima mencionados tem como objetivo o projeto de uma base de modelos matemáticos, muito menos com as características desejadas de controle sobre os riscos tipo I, II e IV. Entretanto, houve um trabalho que enfocou o risco tipo II (sistêmico) de forma bastante interessante, introduzindo o conceito de modelo topológico. Como ele é muito importante para a metodologia proposta na tese, vamos discuti-lo pormenorizadamente.

Conforme comentado anteriormente, em 1988 o autor participou de um amplo diagnóstico no sistema de gerenciamento de operações logísticas de uma grande companhia petrolífera (FCAV, 1988). Usando conceitos de planejamento hierárquico da produção, foi desenvolvido um enfoque para guiar a construção de um processo de decisão logístico coerente, menos direcionado à modelagem matemática (embora a levasse em conta) e objetivando a concepção de uma hierarquia de decisões com conceitos de retroalimentação, ferramentas de apoio à decisão, sistemas de informação e integração de operações físicas. O conceito está detalhado em Yoshizaki et al. (1991). O trabalho foi inspirado no conceito de modelagem topológica ou rede de decisões proposto por von Ellenrieder (1972, p. 224). Vamos descrevê-lo com base nos textos citados.

Conforme originalmente idealizado, a finalidade principal do modelo topológico é permitir a análise de coerência das diversas funções de decisão logística, ou seja, é um meta-modelo dos modelos (matemáticos ou não) de decisão empregados. Foi usado como um formalismo de descrição do sub-sistema de decisão de um sistema de produção. Assume o sistema de produção como um sistema aberto que pode ser dividido em dois sub-sistemas básicos: o sub-sistema de operações (físico) e o sub-sistema de administração (Figura 4.1). As interações físicas ocorrem somente entre o sub-sistema de operação e o ambiente. As ações de controle sobre o sistema de operação ocorrem por intermédio de um sistema de informação que o liga ao sistema de administração, que toma as decisões. Tais decisões são tomadas com base em modelos formais e informais.

Para permitir a análise de coerência do sistema de decisões, os autores citados utilizaram-se de uma representação baseada numa matriz bidimensional (Figura 4.2). As linhas representam a integração necessária entre as decisões associadas às diversas funções do sistema de operações, configurando aquilo que podemos chamar de processo. As colunas representam a integração entre os níveis de decisão, com uma

ação de decomposição de cima para baixo, e uma ação de controle (*feed back*) de baixo para cima.

Adaptado de Yoshizaki et alli. 1991

Figura 4.1. Osistema de produção e seusdois subsistemas: decisão e operação

Descrição topológica

Operação/ Nível de decisão	Suprim.	Transporte	Estoque	Produção	Distribuição
Planejamento estratégico					
Planejamento intermediário					
Planejamento detalhado					
Controle					

Diagrama de integração no interior da tabela:

- Uma seta vertical vermelha apontando para cima, rotulada "Integração vertical", conecta o nível "Planejamento estratégico" ao "Planejamento intermediário".
- Uma seta horizontal vermelha apontando para a esquerda, rotulada "Integração de processo", conecta o nível "Planejamento intermediário" ao "Planejamento detalhado".
- Uma seta vertical vermelha apontando para baixo, rotulada "Integração de processo", conecta o nível "Planejamento detalhado" ao "Controle".

Adaptado de Yoshizaki et alli. 1991

Figura 4.2. Modelo topológico para um sistema de decisão

O modelo topológico foi concebido em função de duas questões básicas:

- No sistema físico, as operações são interdependentes, devido a, entre outras influências, relações de precedência (por exemplo, o suprimento de matéria-prima deve acontecer antes de seu processamento), ao uso de recursos limitados (por exemplo, uma limitação de capacidade alonga os prazos de produção para um certo lote), etc. Tais relações de precedência são restrições que não são definidas em uma operação isolada (uma coluna na Figura 4.5), mas sim fora dos seus limites e dentro do sistema de operações. Assim, operações interdependentes devem ser integradas e coordenadas;
- No sistema de gerenciamento, o processo de decisão age como uma série de aproximações sucessivas, começando com decisões de horizonte mais amplo até chegar a instruções detalhadas para a execução no sistema de operação. A desagregação das decisões de horizonte maior em decisões operacionais de curto ou curtíssimo prazo deve obedecer os objetivos de hierarquia superior, ou seja, devem ser compatíveis. Caso decisões inviáveis sejam transmitidas aos níveis inferiores (devido a limitações do modelo de sistema disponível ao nível superior), estes devem informar para que uma revisão seja feita. Além disso, para cada nível e para cada operação, o desempenho real e planejado devem ser comparados para permitir uma ação de controle. Assim, o sistema de gerenciamento é um sistema hierárquico de funções de decisão.

A *hierarquia de decisões* assume a impossibilidade prática de montar-se um modelo global que consiga ao mesmo tempo otimizar o desempenho do sistema global em um horizonte de tempo infinito oferecendo instruções suficientemente detalhadas para sua execução (até o nível de *expediting*, ou seja, operacional). A desagregação em modelos hierárquicos assume que:

- Quanto mais alto o nível de um modelo, mais longo será seu horizonte;
- Cada modelo de decisão deve ser operacional em si;
- Modelos em dois níveis consecutivos estão interligados.

A Figura 4.3 mostra uma hierarquia genérica de três níveis que foi usada para esclarecer as colocações anteriores. A discussão era inspirada nos trabalhos de Buffa e Miller (1979), Buffa e Taubert (1972), Hax e Candea (1984) e Bitran et alli (1982) de planejamento hierárquico.

No topo da hierarquia fica a decisão com horizonte de planejamento mais amplo. Horizontes cada vez mais curtos são usados à medida que se desce na hierarquia. Deve-se notar que os ciclos de planejamento (os períodos de revisão das decisões) vão encolhendo na mesma proporção.

Adaptado de Yoshizaki et alli. 1991

Figura 4.3. Hierarquia de planejamento

O nível de detalhamento de cada modelo também aumenta à medida que se desce na hierarquia. Nos níveis mais elevados os modelos tem natureza mais agregada, tentando considerar o sistema como um todo no horizonte mais prolongado. Nos níveis mais baixos os modelos têm o detalhamento necessário para garantir que cada decisão seja imediatamente implementada.

Destacava-se além disso três aspectos no relacionamento entre os modelos: a obediência à hierarquia, a coerência da hierarquia e a retroalimentação entre os níveis hierárquicos. Eles são também fundamentais para a metodologia proposta na tese.

O primeiro aspecto salienta que decisões tomadas em um dado nível tornam-se restrições para os níveis inferiores, isto é, devem ser obedecidas. Não há razão para uma decisão de um certo nível questionar as decisões de um nível superior. Neste caso, o processo de decisão pode não convergir e não deve ser considerado um processo hierárquico.

O segundo aspecto lida com a coerência da hierarquia. Trata-se da designação de objetivos e restrições aos diversos níveis de decisão de maneira que seja gerado um conjunto de decisões tão próximo quanto possível do ótimo teórico (obtido por um único super-modelo global). Assumia-se que objetivos de níveis diversos são diferentes um dos outros, o que não é de se estranhar pois suas variáveis têm natureza diferente. Nenhuma indicação de como proceder à esta desagregação aparecia no trabalho original (Yoshizaki et all., 1991).

O terceiro e último aspecto refere-se à retroalimentação de informação entre os níveis de decisão. Além de desvios entre executado e planejado que podem levar à revisão das decisões, pode acontecer que uma decisão inviável (do ponto de vista do sistema físico de operações, o que só pode ser verificado nos níveis inferiores, mais próximos da operação) tenha sido tomada nos níveis superiores. Isto é perfeitamente possível, pois seus modelos de decisão são baseados em uma agregação (modelo) necessariamente imperfeita. Nesse caso, a revisão deve ser feita nos modelos de decisão em sí, e não apenas no plano.

A *integração das operações* teve sua discussão baseada na necessária interdependência entre as diversas funções de um sistema de produção. Podem ser de natureza econômica (como o compartilhamento de um orçamento finito por diversos setores da organização), de natureza tecnológica (como o processo de produção, que tem um fluxo pré-definido fisicamente), e de natureza operacional (como o relacionamento entre operação e manutenção, pois só é necessário dar manutenção em equipamentos se os mesmos forem utilizados). No texto foi dado destaque à taxonomia de Thompson (1967) para os diversos tipos de interdependência possíveis: associada, sequencial e recíproca (Figura 4.4) e aos diversos mecanismos de coordenação possíveis para tratar essas interdependências. Um resumo da discussão aparece na Tabela 4.1.

Adaptado de Yoshizaki et alli. 1991

Figura 4.4. Tipos de interdependência: a) associada; b) seqüencial; c) recíproca.

Tabela 4.1. Tipos de interdependência e mecanismos de coordenação

Tipo de interdependência	Mecanismo de coordenação	Exemplos de interdependência
Associada	Padronização de procedimentos	Limitação de orçamento de investimento
Sequencial	Planejamento	Fluxo logístico e de produção
Recíproca	Ajuste mútuo	Operação e manutenção de aeronaves

Outro comentário interessante é que a colocação de estoques de materiais entre duas operações aumenta a independência entre as mesmas, pois eles agem como um "pulmão" que amortece variações aleatórias do processo (March e Simon, 1958, p.160).

O próprio texto colocou a possibilidade de usar-se o modelo topológico, que é uma hierarquia de modelos de decisão, como ponto de partida para montar uma hierarquia coerente de modelos de P.O., ou seja, uma base coerente de modelos. Entretanto, ele não chega a avançar no sentido de fornecer uma metodologia para a criação de uma base de modelos matemáticos nos moldes preconizados neste trabalho. Sua importância

para esta pesquisa, porém, reside em três fatores: primeiro, ele separa claramente o sistema físico de operações (estrutura) do sistema de decisão (superestrutura), onde a base de modelos vai se instalar; segundo, ele apresenta um formalismo de descrição do sistema de decisão absolutamente consistente com o intuito desta tese; terceiro, fornece uma moldura na qual fica bastante fácil contextualizar um modelo de decisão individual dentro do sistema total de decisão e verificar suas interrelações. Muscat (1993) posteriormente explorou o modelo topológico em um contexto de melhoria de sistemas de produção no geral.

Alguns dos conceitos mencionados acima precisam também ser expandidos. Em primeiro lugar, a idéia de aumentar a independência entre duas funções pela colocação de estoque suficiente entre elas pode ser ampliada: o aumento de outros recursos (compartilhados ou não) pode ter o mesmo efeito na prática. Por exemplo, em um sistema de serviços, onde não é possível haver estoque de produto, uma maneira de facilitar a coordenação de atividades é trabalhar com um nível maior de ociosidade das estações de trabalho, ou seja, capacidade em excesso, que então pode absorver flutuações aleatórias de demanda ou produção. Segundo, existem metodologias experimentadas na prática que permitem o desdobramento coerente e negociado de objetivos organizacionais até chegar-se a objetivos setoriais, que é o planejamento *hoshin*, já citado. Terceiro, detalhar como os conceitos de hierarquia e interdependência podem ser utilizados para auxiliar a modelagem. Finalmente, os autores não deixam claro o procedimento para desenvolver um modelo topológico: ele deve ser desenvolvido como um processo ideal para avaliar o sistema real de decisões ou deve-se partir do processo atual de decisões para então estruturá-lo? Isto precisará ser melhor esclarecido.

4.2 Estratégias para determinação de requisitos de informação: como escolher metodologias

Keys (1989) define a P.O. (e, por extensão, a modelagem matemática) como "uma tecnologia...preocupada com a criação de sistemas abstratos projetados que consistem de informação útil para o planejamento, organização, controle e outras atividades necessárias para a operação de uma organização." Se também tomarmos a definição clássica de Morse e Kimball (1963), formulada em 1944 ("A P.O. é um método científico de prover departamentos executivos com uma base quantitativa para decisões concernentes a operações sob seu controle"), podemos dizer que modelos quantitativos estão no núcleo de *sistemas de informação* voltados para as áreas executivas de uma organização. Desta maneira, a literatura de Informática tem muitos conceitos e

metodologias interessantes para esta pesquisa. Um deles tem particular relevância: a metodologia para definição de requisitos de informação de Davis (1982).

Davis (1982) desenvolveu uma metodologia contingencial para a escolha de métodos para determinação de necessidades de informação para o projeto de sistemas de informação computadorizados e, o que é muito interessante, também derivou uma série de requisitos para as metodologias em si. Vamos acompanhar sua exposição.

Conforme Davis (1982), existem dois níveis para se estabelecer requisitos de informação:

1. Os requisitos organizacionais, que definem uma estrutura global dos sistemas de informação e especificam uma carteira de aplicações e bancos de dados;
2. Os requisitos detalhados para uma aplicação.

Com relação aos requisitos organizacionais de informação, há a necessidade de um plano global ou plano diretor de sistemas formais de informação pois:

- O plano diretor define uma estrutura ou arquitetura global dos sistemas de informação;
- O plano estabelece uma carteira de aplicações que vai prover o atendimento completo das necessidades;
- Fronteiras claras e bem-definidas são estabelecidas para as aplicações individuais; as interfaces entre as mesmas são definidas, de forma que as aplicações individuais podem interagir como parte de um sistema maior;
- O plano especifica um desenvolvimento ordenado de aplicações baseado em prioridades organizacionais e a sequência lógica de desenvolvimento.

Assim, requisitos globais são desagregados em sub-sistemas (a *carteira de aplicações*) que podem ser programados para desenvolvimento. As fronteiras e as interfaces dos sistemas individuais são definidas nesse nível, mas *não há detalhamento dos requisitos individuais*.

Uma aplicação é um sub-sistema do sistema de informação organizacional. É a unidade de planejamento e administração para desenvolvimento, operação e manutenção. A unidade ou atividade organizacional é o sistema usuário ou sistema objeto do sistema de informação. Os objetivos e fronteiras da aplicação e seus requisitos de interface com outras aplicações são estabelecidos pelo plano diretor de sistemas. O processo de determinação de requisitos de informação ao nível da aplicação define e documenta seu conteúdo específico, além dos requisitos de projeto e implementação. Davis também

identifica dois tipos de requisitos a nível de aplicação: social e técnico. Os requisitos sociais especificam objetivos e hipóteses associadas à organização do trabalho, políticas organizacionais, etc. Os requisitos técnicos especificam as saídas, entradas, dados armazenados e processos.

Em seguida Davis fala das limitações dos seres humanos para especificação de requisitos de informação. Estas limitações são dos seguintes tipos: 1) os seres humanos como processadores de informação; 2) os vícios na seleção e uso de dados; e 3) o comportamento humano na resolução de problemas.

Seres humanos como processadores de informação. Pessoas utilizam três tipos de memória no processamento de informações: externa, de longo prazo e de curto prazo. Memória externa é composta por mídia externa, como anotações, fotografias, etc. Já o cérebro humano é capaz de manter memórias de longo e de curto prazo. Memória de longo prazo está associada ao aprendizado: tem capacidade virtualmente ilimitada e tempo de recuperação pequeno, mas o tempo de "gravação" é longo. Já a memória de curto prazo é aquela utilizada no processamento de informações, sendo muito rápida mas de capacidade bastante limitada. De acordo Miller (1968), ela tem a capacidade de 7 ± 2 dados simultâneos. Os dados referidos por Miller são blocos que podem variar de um único caractere a uma imagem visual. Isto limita seriamente a habilidade humana de definir especificações caso a metodologia utilizada empregar apenas memória de curto prazo, como acontece com entrevistas sem o auxílio de dispositivos externos. Nesse caso, a metodologia deve ser capaz de tirar e registrar sistematicamente pequenos blocos de dados.

Vícios na seleção e uso de dados. Existem evidências empíricas de que seres humanos escolhem e tratam informações de maneira viciada. A Tabela 4.2. mostra alguns comportamentos resultantes desse viés. Seu efeito final nos requisitos informacionais é um vício significativo para requisitos baseados em procedimentos correntes, informações já disponíveis, eventos recentes e inferências baseadas em amostra pequenas de eventos. Uma maneira significativa de compensação é prover uma estrutura para o processo de solução de problemas.

Tabela 4.2. Vícios na seleção e uso de dados

Comportamento enviesado	Explicação e efeito na determinação de requisitos de informação
Ancoragem e ajuste	Seres humanos tendem a realizar julgamentos pela fixação de um ponto de ancoragem e realizando ajustes a partir desse ponto. Os requisitos de informação de usuários tendem a ser resultado de um ajustamento a partir de uma âncora que é o sistema de informação atualmente disponível.
Materialidade	Decisores tendem a utilizar apenas a informação disponível na forma que é apresentada. Tendem a não procurar novos dados, nem a transformar ou manipular dados que lhes são apresentados. Para a determinação de requisitos de informação, isto significa que as especificações fornecidas pelos usuários serão enviesadas pela informação corrente e pela sua forma atual.
Curto Prazo	Seres humanos são mais influenciados por eventos recentes do que por eventos mais antigos. Na definição de requisitos, os usuários estarão viciados por eventos que ocorreram recentemente. Uma necessidade de informação experimentada recentemente terá maior peso do que uma necessidade ocorrida mais no passado.
Análise estatística intuitiva	Pessoas não são bons estatísticos intuitivos. Por exemplo, seres humanos não compreendem intuitivamente o efeito do tamanho da amostra sobre a variância e, portanto, tiram conclusões precipitadas a partir de amostras muito pequenas ou de um pequeno número de ocorrências. Esta é uma limitação importante porque muitos fenômenos organizacionais ocorrem com uma frequência muito baixa. Além disso, há uma tendência para igualar causalidade com correlação e identificar causas onde elas não existem. Estas limitações humanas de processar dados pouco frequentes e identificar causas pode resultar no mau julgamento de necessidades de informação.

Comportamento humano na resolução de problemas. Davis usa os conceitos de ambiente da tarefa e espaço do problema, ambos definidos em Newell e Simon (1972). O ambiente da tarefa é o problema tal qual ele existe; o espaço do problema é a maneira pela qual um particular decisor representa a tarefa à sua frente. Ele também comenta que a disponibilidade de uma estrutura para ponderar sobre um problema permite um procedimento mais eficiente de solução. As metodologias para determinação de requisitos de informação fornecem tais estruturas para explorar o espaço do problema. Ele aplica então o conceito de racionalidade limitada de Newell e Simon ao espaço do problema. Seres humanos têm capacidade limitada para o pensamento racional; deve-se geralmente construir simplificações para tratar problemas. A racionalidade é assim limitada pelo uso de um modelo simplificado que não corresponde exatamente à situação real. Um procedimento para a determinação de requisitos informacionais sofre os efeitos da racionalidade limitada. Há assim uma tendência a usar um modelo algo simplificado da organização e de suas necessidades de informação.

Metodologias surgem então como uma resposta para tratar, pelo menos parcialmente, essas limitações. Baseado nessa discussão, Davis deduz quais devem ser *os requisitos de uma metodologia* para determinação de requisitos de informação:

- Auxiliar o analista a restringir e estruturar o espaço do problema.
- Auxiliar na busca eficiente dentro do espaço do problema. Deveria ajudar a estabelecer requisitos que não podem ser obtidos por ancoragem e ajuste e também em superar limitações de memória de curto prazo.
- Auxiliar na superação de fatores de vício como curto prazo, materialidade e amostras não-significativas.
- Garantir que requisitos são completos e corretos (sic).

O texto então lista métodos existentes para definição de requisitos organizacionais ou de aplicações. Tais métodos são classificados conforme sua estratégia de operação: perguntar, derivar a partir de sistema de informação já existente, sintetizar a partir do sistema de operações e experimentação.

A finalidade do trabalho de Davis é mostrar uma metodologia contingencial que permite escolher, dentro os diversos métodos disponíveis, os mais adequados para desenvolver um projeto particular. Os critérios de contingenciamento são baseados numa medida global da incerteza no processo de definição de requisitos de informação. A medida da incerteza é resultado de uma avaliação qualitativa de três dimensões: a) existência e

disponibilidade de um conjunto de requisitos estáveis; b) habilidade dos usuários em especificar seus requisitos; c) habilidade do analista em entender e avaliar requisitos. Para determinar cada uma dessas dimensões de incerteza, ele utiliza quatro elementos que as afetam: o sistema onde as informações serão usadas; o sistema de informação ou a aplicação; os usuários; e os analistas. No caso de definição de requisitos de um sistema de informação a nível organizacional, as características a serem verificadas estão na Tabela 4.3.

Tabela 4.3. Características para requisitos de informação a nível organizacional

Elementos no processo	Características que afetam a incerteza na determinação de requisitos
Sistema de utilização	Estabilidade dos processos Estabilidade da administração e controle Maturidade no uso de sistemas de informação
Sistema de informação	Participação de aplicações gerenciais de maior nível no escopo total dos sistemas Complexidade e nível de integração da informação
Usuários	Experiência no uso de sistemas Experiência no planejamento de sistemas de informação
Analistas	Experiência no planejamento de sistemas de informação

Fonte: Davis (1982)

Davis usa implicitamente um modelo de evolução ou aprendizagem do conjunto processo-usuário-analista como um fator de contingenciamento. Como ele próprio diz: "Não é viável implementar um sistema de informação complexo em uma organização até que seus participantes tenham 'aprendido' em um sistema menos complicado. O aprendizado inclui a disciplina organizacional e procedural necessária com sistemas computadorizados." Não chega ao ponto de estruturar um modelo de aprendizado (fases tecnológicas) tão bem elaborado quanto o devido a Nolan (1979), mas a idéia de estágios parece clara.

Quais são as principais contribuições de Davis para esta pesquisa? Em primeiro lugar, tem-se a definição do problema de projeto de sistemas de informação em dois níveis: organizacional e aplicação individual. Isto permite uma analogia com as discussões que estão no capítulo seguinte com respeito às metodologias ou paradigmas de modelagem. Poderíamos dizer que elas têm seu escopo direcionado para o nível de aplicativo, ou problema individual. A questão organizacional ou sistêmica, que em modelagem pode ter conseqüências muito mais funestas do que em sistemas de informação somente (sub-

otimização), não é tratada por elas. Assim, a contribuição de uma metodologia a nível organizacional (projeto da base de modelos) supriria uma lacuna importante, e é uma maneira de validar o tema por um caminho independente. Em segundo lugar, estabeleceu-se os requisitos para uma metodologia de projeto de sistemas de informação (de qualquer nível) baseados no tratamento de vícios de análise. Conforme colocado no início do item, modelos matemáticos devem fornecer informações úteis para a gestão do sistema de operações e são parte de sistemas de informação (não importa se transacionais ou gerenciais). Assim, os requisitos das metodologias de informação podem inspirar o projeto da metodologia desejada. Finalmente, há a necessidade de contingenciamento para adequar os métodos que devem ser usados na metodologia. Naturalmente, os critérios de contingência propostos por ele não são adequados para o caso de base de modelos mas, mais uma vez, podem servir de inspiração para o desenvolvimento das contingências específicas. Com certeza, a idéia de estágios tecnológicos influencia nosso caso.

4.3 Estágio tecnológico e aprendizado

O aprendizado ocorre de maneira contínua no dia a dia das organizações. O conceito de curva de aprendizado, onde custos unitários de produção diminuem no tempo devido ao melhor domínio do processo, da aplicação da análise de valor, etc, é amplamente usado em Economia e Engenharia de Produção e faz parte das práticas empresariais correntes.

Há entretanto alguma dificuldade para se avaliar o grau de aprendizado organizacional devido à complexidade dos processos envolvidos. Além disso, existe certa evidência que, apesar do aprendizado ocorrer continuamente, as melhorias de desempenho (custo unitário, qualidade, etc) ocorrem em saltos discretos. Isto parece coerente com a visão de que existem pré-requisitos para se trabalhar com certas tecnologias ou conceitos, ou seja, há uma relação lógica de precedência, do mais simples para o mais complicado. Isto levou alguns autores a discretizar a curva de aprendizado numa sucessão de estágios ou fases tecnológicas para facilitar sua modelagem.

Um modelo de fases tecnológicas dá uma forte conotação de progresso previsível e, portanto, de orientação normativa. Assim, certos autores, que procuravam desenvolver técnicas de auxílio ao diagnóstico e à prescrição de estratégias de atuação, utilizam modelos de estágios (Nolan, 1979; Fleury, 1991).

Do ponto de vista deste trabalho, a finalidade principal do uso de estágios tecnológicos é criar um fator de contingência no planejamento da base de modelos. Como foi

rapidamente citado no ítem anterior, o grau de maturidade organizacional (e dos elementos da equipe, usuários e analistas) é um fator fundamental no uso do contingenciamento para a escolha de métodos de análise de sistemas de informação (Davis, 1982).

Vamos novamente nos inspirar nos conceitos desenvolvidos na área de Informática. Nolan (1979) tem um modelo de estágios tecnológicos bastante difundido e que foi desenvolvido empiricamente a partir da observação de um grande número de empresas. Conquanto tenha sido idealizado nos primórdios do uso intensivo de microcomputadores, esse modelo é bastante útil para expor didaticamente fases do uso de Informática.

Nolan identifica seis estágios no crescimento do uso de processamento de dados em organizações. Seu modelo está descrito na Tabela 4.4, a seguir. Sua intenção fundamental é discernir em que fase está uma organização para orientar a administração do crescimento de Informática, ou seja, é um modelo de *trajetória tecnológica*.

Tabela 4.4. Os seis estágios do crescimento de Informática de Nolan

<i>Processo de crescimento</i>	<i>Carteira de aplicações</i>	<i>Organização da Informática</i>	<i>Planej./controle de Informática</i>	<i>Envolvimento do usuário</i>
Estágio I Iniciação	Aplicações para reduzir custos funcionais	Especialização para aprendizado tecnológico	Negligente	Nenhum
Estágio II Contágio	Proliferação	Programadores orientados ao usuário	Mais negligente	Superficialmente entusiasmados
Estágio III Controle	Melhorar documentação Reestruturar aplicações existentes	Gerentes de médio escalão	Planejamento e controle formalizados	Arbitrariamente contabilizado

Estágio IV Integração	Migrar aplicações existentes para tecnologia de banco de dados	Equipes de utilitários e de contabilização de usuários	Sistemas de planejamento e controle ajustados	Aprendizado da administração de custos de Informática
Estágio V Adm. de Dados	Organizacional Integração das aplicações	Administração de dados	Compartilhamento de dados e sistemas	Efetivamente contabilizável
Estágio VI Maturidade	Integração de aplicações reflete os fluxos de informação	Administração de recursos de dados	Planejamento estratégico de recursos de dados	Aceitação de contabilização conjunta entre usuários e o processamento de dados

Transcrito de Nolan (1979)

A cada fase corresponde uma mudança na ênfase da administração de informática. Essas mudanças estão bastante associadas ao grau de controle sobre o orçamento alocado aos investimentos em Informática. Sob o ponto de vista tecnológico, há uma clara passagem de um foco em processamento de dados para um foco de administração de dados.

Para permitir identificar qual o estágio tecnológico, Nolan apresenta um conjunto multidimensional baseado em seis eixos principais: gastos em Informática, tecnologia, carteira de aplicações, organização do processamento de dados, planejamento e controle do mesmo, e envolvimento do usuário. Na dimensão de gastos, a métrica usada é uma composição entre a curva de orçamento anual de Informática e sua comparação com o crescimento de vendas. As outras dimensões tem natureza *soft*. Para a tecnologia, tem-se um aumento de sofisticação partindo de processamento em lotes, passando por *time sharing* e indo até processamento on-line e microcomputadores. Na carteira de aplicações, vai-se de uma concentração em aplicativos transacionais até um balanceamento entre aplicativos centralizados/descentralizados e bancos de dados. Na

organização, há inicialmente a centralização do processamento até chegar-se à implementação da idéia de administração de dados. No planejamento e controle, inicia-se no controle interno, com padrões e administração por projetos, chegando-se a um controle e contabilização externos. Com respeito ao usuário, vai-se de uma postura reativa até um trabalho participatório e conjunto.

Nolan salienta que, numa grande organização, diferentes partes podem estar em estágios diferentes. Sua pesquisa, porém, mostrou que, em 100% dos casos, cada divisão estava em um único estágio. Isto permitiu então ele derivar um modelo normativo de trajetória tecnológica.

Tal modelo serve para dois usos diferentes. Um deles é orientar a estratégia de Informática para uma organização, ou seja, como proceder para ir de um estágio para outro. O outro é poder fazer um diagnóstico da função de Informática e encontrar desbalanceamentos entre as diversas dimensões que compõem o estágio atual, permitindo uma adequação da composição e administração da mesma. Por exemplo, para analisar a dimensão de aplicativos, ele propõe a montagem de uma "carteira normativa de aplicações", ou seja, um conjunto de funções empresariais da unidade organizacional analisada que apresenta oportunidades economicamente viáveis para aplicar Informática. Ele classifica as aplicações em uma hierarquia de três classes: sistemas de planejamento estratégico, sistemas gerenciais e sistemas operacionais. O nível de investimento anual em Informática para cada uma das classes de aplicações permite definir o estágio tecnológico (Tabela 4.5), enquanto que a proporção gasta com cada função permite verificar se há algum descompasso entre o nível de gastos e a importância da função apoiada. Por exemplo, se o negócio primordial da empresa é manufatura mas metade do investimento vai para contabilidade, há necessidade de investigação mais profunda.

Tabela 4.5. Parcela de investimento anual por tipo de aplicação

<i>Tipo de sistema</i>	<i>Planejamento estratégico</i>	<i>Controle gerencial</i>	<i>Operacional</i>
Estágio I	0	0	100%
Estágio II	< 1%	15%	85%
Estágio III	< 1%	20%	80%
Estágio IV	5%	30%	65%
Estágio V	10%	35%	55%
Estágio VI	15%	40%	45%

Fonte: Nolan (1979)

Que idéias Nolan nos oferece no contexto desta tese? Primeiro, temos uma definição operacional de estágio tecnológico, baseada tanto em indicadores inequívocos (como orçamento) como em indicadores de natureza qualitativa. Segundo, dá um tratamento normativo para orientar a estratégia de Informática, ou seja, há um caminho bem definido para estruturar o aprendizado organizacional dessa função.

A área de modelagem matemática não conta com um modelo tão bem acabado. Entretanto, a transposição linear do modelo de Nolan pode não ser muito conveniente para nosso caso. Primeiro, porque o conjunto de dimensões e indicadores associados deve auxiliar o contingenciamento específico, que é bastante diferente. Segundo, o tratamento normativo conota uma certa rigidez. Não se trata aqui de dizer que o aprendizado não pode ser acelerado, mas que o modelo de fases (se cada fase depende da anterior) implica num caminho único para a organização. Porém, certo grau de flexibilidade pode ser interessante para o uso de um modelo de estágios a nível de funções de decisão individuais, onde naturalmente pode existir sinergia na curva de aprendizado de atores em funções interdependentes. Concluindo, o conceito de estágio tecnológico (ou seja, da existência de certos pré-requisitos) é fundamental. Mas sua aplicação deve ser feita cautelosamente para não tornar o planejamento da base de modelos muito rígida.

4.4 Fatores contingenciais em tecnologias de decisão

Conforme exposto anteriormente, o risco Tipo IV (implantação e uso de modelos matemáticos) pode ser entendido sob um ponto de vista de gestão de tecnologia. Nesse sentido, a conceituação desenvolvida por Yoshizaki e Plonski (1995) para contingenciamento de modelos matemáticos vai ser importante para auxiliar no desenvolvimento da metodologia de projeto da base de modelos.

A partir de conceitos de gestão de inovação tecnológica, os autores derivaram cinco fatores contingenciais (e não estritamente técnicos) que afetam o sucesso de um modelo matemático. Eles são: 1) frequência da decisão; 2) adequação do modelo ao estágio tecnológico; 3) integração com outros sistemas de decisão; 4) confiança do usuário; e 5) ergonomia do modelo. Os três primeiros fatores tratam o ambiente organizacional onde ele está inserido, enquanto os dois últimos focam o nível individual do usuário no paradigma de separação analista-usuário e, por isto, eles não serão tratados aqui.

A *freqüência da decisão* significa o seu ciclo de uso. Decisões podem ser *ad hoc* ou rotineiras. Uma decisão *ad hoc* tem natureza ocasional e o modelo desenvolvido para apoiá-la será usado em princípio apenas uma vez. É o caso de certas decisões como projeto de produto ou localização industrial. Uma decisão rotineira é feita periodicamente e costuma fazer parte de um processo organizacional qualquer. É o caso de rotinas como planejamento e programação da produção, reposição de estoques, previsão de vendas, roteirização, etc.

O conceito primordial por trás desse fator é a idéia de ciclo de vida do modelo. Modelos *ad hoc* serão usados apenas uma vez (ou em um único período de tempo relativamente concentrado) e, assim, seu ciclo de vida acaba no seu consumo. Modelos rotineiros tem um ciclo de vida completo, incluindo as fases de uso contínuo e manutenção. Assim, cuidados com sua manutenibilidade e a identificação de sua obsolescência são importantes. Desta maneira, a vida útil de um modelo rotineiro é uma variável de seu projeto.

A *adequação do modelo ao estágio tecnológico* está associada com a capacidade de uma organização (ou parte dela) assimilar um modelo matemático, ou seja, a sua maturidade tecnológica. O estágio tecnológico é definido pelos autores como um vetor de informações composto pelas seguintes ítems: cultura no uso de informática; experiência no uso de modelos para auxílio à decisão; disponibilidade de dados operacionais confiáveis; experiência do decisor com o problema focado; estabilidade de normas e procedimentos; e domínio tecnológico das operações.

A idéia fundamental aqui é o ajuste mútuo entre as tecnologias de decisão disponíveis e a organização usuária. Colocar-se um modelo ou SAD sofisticado demais, ou que tenha demanda por dados em quantidade e qualidade incompatíveis com a realidade organizacional é preparar o caminho para o insucesso, como colocado em diversos exemplos anteriores.

A *integração com outros sistemas de decisão* trata a interação entre os diversos modelos de decisão. Por isso, esta dimensão pode ser considerada composta por outras duas: a questão sistêmica (o risco Tipo II) e a questão de integração com os sistemas de informação, principalmente transacionais, da organização (ponto de vista datalógico).

Não iremos discutir aqui a questão sistêmica, já feita exhaustivamente. A integração com sistemas de informação é uma necessidade óbvia: modelos matemáticos precisam de dados e evidentemente seu projeto vai depender bastante da disponibilidade de dados na

organização e de características de coleta, entrada e saída, necessidade de atualização, etc.

Esses fatores todos estão interligados, isto é, existem interações entre eles. Assim, o texto citado apresenta uma série de matrizes 2x2 para facilitar o uso desses fatores no desenvolvimento de modelos matemáticos individuais (Figura 4.5). Para os efeitos desta tese, vamos nos concentrar em quatro interações significativas : 1) idade do modelo x frequência de uso; 2) integração com outros modelos x frequência de uso; 3) integração com sistemas de informação x frequência de uso; e 4) integração com outros modelos x estágio tecnológico.

No caso da interação entre idade do modelo e frequência de uso, temos como resultante a vida útil do modelo (Figura 4.5a). Se o modelo for novo e seu uso for ad hoc, não há risco de obsolescência. Se o uso for rotineiro, o risco também é mínimo, pois há apenas necessidade de manutenção rotineira, como atualização de dados e parâmetros. No caso de modelos mais velhos, se o uso for ad hoc ele tem grande chance de estar obsoleto e deve obrigatoriamente passar por uma revisão completa ou remodelagem. Se o uso for rotineiro, há também grande risco de obsolescência.

A interação entre integração formal com outras decisões e frequência de uso nos fornece uma parcela do *risco sistêmico* (figura 4.5b). Para modelos *ad hoc*, baixo nível de integração formal com outros processo de decisão não é um problema a priori, pois uma modelagem adequada deve expressar essa interdependência internamente. No caso de modelos rotineiros, baixa integração pode ser um sintoma de problemas, pois sub-ótimos podem estar sendo gerados. Nos modelos *ad hoc*, alto nível de integração formal pode representar alto nível de redundância e ser um fato gerador de ruído. Para modelos rotineiros, este é o caso ideal.

a)

		Idade do modelo	
		BAIXA	ALTA
Frequência da decisão	ROTINEIRO	Manutenção normal	Alto risco de obsolescência
	AD HOC	Baixo risco de obsolescência	Modelo obsoleto

b)

		Integração com outros modelos	
		BAIXA	ALTA
Frequência da decisão	ROTINEIRO	Risco sistêmico (subotimização)	Caso ideal
	AD HOC	OK	Exagero sistêmico

		Integração com sistema de informação	
		BAIXA	ALTA
Frequência da decisão	ROTINEIRO	Alto risco de sobrevivência	Caso ideal
	AD HOC	OK	Exagero no banco de dados

c)

d)

Adaptado de Yoshizaki et alli. 1991

Figura 4.5. Fatores contextuais para desenvolvimento e uso de modelos matemáticos

Já na Figura 4.5c, a frequência de uso interage com as dimensões de integração com outros modelos e estágio tecnológico, sendo estes dois últimos expressos como a integração formal com os sistemas de informação da organização. Modelos *ad hoc* que não encontram-se "fisicamente" interligados aos sistemas de informação da empresa não constituem problema, pois, por exemplo, dados podem ser coletados especificamente para o estudo. Para modelos rotineiros, entretanto, esta é uma situação insustentável, com enorme risco para sua implantação, uso e manutenção. Modelos *ad hoc* muito integrados podem significar, por exemplo, que a organização armazena dados históricos em mídia mais cara, mesmo quando não são necessários prontamente, desperdiçando recursos. Para modelos rotineiros, alta integração configura o caso ideal.

Finalmente, tem-se a interação entre as dimensões sistêmica e de estágio de tecnologia da decisão (Figura 4.5d). Quando uma organização tem pouca *expertise* nos seus processos gerenciais (por exemplo, uso rudimentar de Informática, inexistência de procedimentos padronizados, documentação pobre), ou seja, seu estágio tecnológico é relativamente primitivo, pouca integração formal é comum e não configura necessariamente um sintoma de problemas. Pode não existir pressão organizacional

para a integração. Por outro lado, se existe alta integração e os estágio tecnológico é baixo, o modelo pode auxiliar a instituição a se aperfeiçoar para melhorar sua capacidade gerencial. Se o estágio tecnológico é sofisticado, baixa integração pode significar problemas, havendo a necessidade de uma avaliação cuidadosa. Caso haja alta integração, esta configura a situação ideal de modelos bem integrados em uma organização de alto perfil gerencial.

O trabalho tem diversas contribuições importantes para esta tese: introduziu conceitos de gestão de inovação tecnológica que conseguem oferecer uma explicação muito convincente para uma série de problemas associados aos riscos Tipo IV e II; coloca claramente o ciclo de vida de um modelo como variável de projeto; e esboça um modelo normativo para orientar certos aspectos do processo de modelagem (como escolha de métodos, ferramentas de *software*, etc) com uma abordagem de evolução da capacitação tecnológica de gestão. Os autores colocam como uma possibilidade construir-se uma trajetória ou caminho tecnológico pela combinação das dimensões de integração e tecnológica no desenvolvimento de modelos: projetar uma trajetória evolutiva, de aprendizado organizacional, que parte de modelos mais simples até uma gestão com ferramentas sofisticadas. O domínio de um modelo menos sofisticado aumentaria a capacitação gerencial dos decisores e outros *stakeholders* (como operadores do sistema físico, analistas e pessoal de Informática, entre outros), o que geraria demandas mais requintadas no futuro. Uma evolução planejada permitiria uma transição controlada para modelos mais complicados (por exemplo, em termos de bancos de dados, algoritmos, etc) pela percepção da necessidade de integrá-los e coordená-los. Assim, usa a idéia de estágios tecnológicos, embora não deixe clara sua estrutura de fases (como no trabalho de Nolan), o que naturalmente dificulta seu uso. E, apesar da orientação normativa dada pelas matrizes, o trabalho não configura uma metodologia alternativa para modelagem, devendo em princípio ser usado em conjunto com os paradigmas de modelagem tradicionais.

4.5 A complementaridade dos enfoques hard e soft

Apesar do sectarismo que às vezes anima as discussões na área (Checkland, 1985, diz que a P.O. tradicional é um caso particular de sua Soft Systems Methodology, e nos congressos de P.O. é comum ouvir-se que os bons praticantes à moda antiga já resolviam a parte soft, ou seja, a estruturação do problema, muito antes disto tornar-se uma "disciplina" à parte desenvolvida por pessoas que não tem capacidade analítica...), como boa parte das dicotomias (Ackoff, 1989), esta é falsa: ambos enfoques são complementares. Chapman (1992) propõe seu emprego em paralelo e comenta que, ao

utilizar-se modelos quantitativos, espera-se "...que pelo menos 50% dos 'problemas' atacados devam evaporar-se antes que a formulação do modelo seja terminada, pois a situação será esclarecida pelo processo de construção do modelo de tal forma que a escolha é óbvia". Daellenbach (1992) comenta como a SSM pode servir como ponta-de-lança para a utilização de modelos matemáticos. A questão da complementaridade dos métodos já está sendo aceita como um consenso na área. Ormerod (1996) explica como ambos enfoques podem ser usados com bom proveito em organizações. Mitchell, ex-presidente da Operational Research Society inglesa, coloca claramente isto ao enfatizar a necessidade de ensinar-se métodos de estruturação de problemas nos cursos de P.O.² Bowen (1994) comenta que a P.O. é indivisível. Além disso, o próprio Checkland admitiu, em uma conferência para discutir o futuro de grupos de P.O. realizada em maio de 1996 e organizada pelo seu departamento em Lancaster, que a SSM não é suficiente para solucionar problemas organizacionais e deve ser usada intercaladamente com métodos hard³. Assim, o uso de ambas metodologias serve para uma melhor compreensão de situações, sejam elas problemáticas ou não. Servem portanto como meios para a meta de "conhecimento profundo" expressa por Deming (1981).

Sutton (1995) propõe um método de melhoria organizacional baseado em um modelo muito interessante de aprendizagem em organizações. Comenta: "...não importando se existe ou não um mundo objetivo, muitos problemas em administração (contrariamente aos problemas técnicos) surgem da tentativa de discutir (o mundo) com outras pessoas, de tentar alcançar algum acordo sobre ele e de tentar controlá-lo através de outrem. ...Todos estes processos empregam modelos mentais e lingüísticos...Se tais modelos são modelos de uma realidade objetiva ou construções intelectuais subjetivas importa menos do que o fato de que eles devem ser compartilhados e validados pelos interessados." Assumindo a postura pragmática de que qualquer aprendizado deve implicar em melhoria efetiva, ele justifica a alternância de enfoques hard e soft para realizar uma intervenção.

Ele parte de conceitos de estilos individuais de aprendizagem e níveis de aprendizado para extendê-los a problemas de projeto e aprendizado organizacional, que são definidos como processos cíclicos que ocorrem em níveis hierárquicos diferentes. Para cada fase do ciclo e da hierarquia, ele propõe uma série de metodologias hard e soft de

2 G. Mitchell, editor da OMEGA, apresentação no congresso da INFORMS em novembro de 1995, Boston, MA.

3 R. Ormerod, comunicação pessoal, Encontro Trienal da IFORS, julho de 1996, Vancouver, Canada.

intervenção que considera mais indicados. Assim, conforme seu modelo, ambos enfoques são fundamentais para garantir tanto a solução de problemas como o aprendizado organizacional.

Inspirando-se nos trabalhos de Kolb e Fry, que por sua vez partiram de conceitos de Piaget e Jung, Sutton inicialmente descreve os quatro estilos individuais de aprendizagem: perspectivas, estruturas, planos e ações (Tabela 4.6). Faz então uma analogia dos quatro estilos com o processo de solução de problemas. O estilo perspectiva corresponde à fase inicial de identificar o problema, onde o raciocínio divergente é importante para atacar a situação por ângulos diversos e criativos. O foco estruturas associa-se ao estágio de compreender o problema, ou seja, qual a lógica interna do mesmo. O estilo planos corresponde ao estágio de planejar a solução, ou seja, esclarecer e definir quais ações são necessárias. E, finalmente, o estilo ação está menos interessado nos porquês e o quês e sim na implementação da solução. Qualquer pessoa é capaz de operar nos quatro estilos, pois senão a aprendizagem seria impossível: é pela iteração constante e ordenada entre os quatro focos que o aprendizado acontece (Figura 4.6). Assim, a alternância de foco possibilita a aprendizagem. Comenta também que, malgrado sua flexibilidade, indivíduos geralmente têm preferência por operar em um dos estilos.

Tabela 4.6. Estilos individuais de aprendizado

Estilo ou foco	Descrição
<i>Perspectivas</i>	<p>Aberto a novas idéias e pontos de vista alternativos, confortável com incerteza, valoriza flexibilidade e orientado para parte humana.</p> <p>Adequado para situações novas ou estranhas que requerem a consideração de muitas diferentes alternativas e sensibilidades</p>
<i>Estruturas</i>	<p>Voltado a encontrar princípios implícitos e generalizações com rigor e objetividade.</p> <p>Adequado para situações onde deve-se procurar padrões ou estruturas subjacentes.</p>
<i>Planos</i>	<p>Procura selecionar e restringir, seguir procedimentos, tomar decisões; desconfortável com incertezas e desalinhamento ao ponto de descartar o que não está "nos livros".</p> <p>Adequado para situações bem delimitadas e rotineiras.</p>

Ação

Preocupado em agir em situações atuais e específicas em vez de ser objetivo, passivo ou tratar com generalidades; aprecia interagir com pessoas mas não de teorizar.

Adequado para "fazer a coisa acontecer".

Fonte: Sutton, 1995.

Adaptado de Sutton. 1995

Figura 4.6. Fases e estilos de problemas e aprendizado

Em seguida, Sutton coloca o conceito de níveis de aprendizado, baseado nos trabalhos de Argyris, Bateson e Gagné. A idéia é que existe mais de um tipo de aprendizado. Por exemplo, Argyris, que é da área de administração de empresas, diferencia dois níveis em contextos organizacionais: a aprendizagem simples e a solução de problemas. Este último tipo está associado ao conceito de eficiência (fazer mais e melhor), o primeiro à eficácia (o que fazer). Ele chama de aprendizado em duplo ciclo a esses dois níveis de refinamento de habilidades e conhecimentos. Já Bateson e Gagné, psicólogo e pedagogo respectivamente, identificam maior número de níveis, que podem ir a infinito. Considerando que aprendizado significa mudança de comportamento, eles distinguem diferentes categorias de mudança associadas a diferentes graus de aprendizado. A idéia básica deles é que, quanto maior o nível, maior a capacidade em combinar, reprimir ou concatenar conhecimentos e habilidades adquiridas em níveis inferiores. Os diferentes níveis estão na Tabela 4.7.

Tabela 4.7. Níveis de aprendizagem

<i>Nível</i>	<i>Bateson</i>	<i>Gagné</i>
N0	(Detecção)	Sinal

N1	Reflexo	Estímulo-Resposta
N2	Habilidade	Encadeamento
N3	Aprendizagem	Discriminação
N4	Aprender a aprender	Solução de problemas
...	Aprender a aprender a aprender	Aprendizagem conceitual
...	...	Aprendizagem de princípios

Transcrito de Sutton (1995)

Ele faz então um paralelo entre os ciclos, estilos e níveis do aprendizado individual com o que ocorre em um contexto organizacional. Por exemplo, reflexos em um indivíduo são respostas musculares automáticas para estímulos sensoriais; as respostas automáticas em organizações estão codificadas em seus processos, procedimentos, regras e rotinas. Em níveis lógicos superiores, pessoas mudam seu comportamento mudando seus desejos ou seus pontos de vista; uma organização muda seu comportamento alterando seus objetivos, missões ou cultura.

Sutton a seguir utiliza a abordagem sócio-técnica para diferenciar quatro níveis de processos em organizações na seguinte hierarquia: visão/missão; atividades principais; tarefas; e ferramentas e tecnologia. A cada um desses níveis associa-se uma problemática de projeto organizacional, respectivamente, estratégia, estrutura, trabalho e tecnologia.

O processo de projeto pode ser descrito como uma forma particular do processo de aprendizagem ou de solução de problemas. Assim, um modelo convencional de projeto, separado em quatro etapas de definição de especificações do cliente, análise das especificações dos clientes para especificações técnicas, projeto detalhado e implementação, pode ser mapeado univocamente com o modelo de quatro estilos de aprendizado. À fase de especificação corresponde o estilo perspectivas e, em seguida, tem-se os pares análise-estruturas, projeto-planos e implementação-ação.

Ele desdobra então cada nível de projeto organizacional em ciclos de projeto, onde a fase de implementação de cada nível significa o desenvolvimento de um ciclo completo no nível imediatamente inferior. Esse destaque à fase de implementação como interface entre os níveis serve para salientar a importância da mensuração de desempenho para efeito de controle ou retroalimentação. Por exemplo, a fase de implementação da estratégia corresponde ao projeto da estrutura, que deve obedecer às restrições definidas

pelas especificações definidas anteriormente. Porém, o projeto da estrutura pode dar informações de feed back importantes para o processo estratégico sobre a viabilidade e oportunidade das especificações. Além disso, na maior parte das vezes já existe uma estrutura em funcionamento, de forma que o escopo de qualquer (re)projeto pode ser bastante limitado. Assim, a estrutura induz restrições à estratégia tanto como a estratégia impõe restrições à estrutura. Uma representação desta lógica, por ele denominada de *Enterprise Design Framework* - EDF, aparece na Figura 4.7.

Adaptado de Sutton. 1995

Figura 4.7. Enterprise Design Framework (EDF)

Desta forma, o EDF pode ser encarado como um grande ciclo de aprendizagem, composto por diversos ciclos menores (um para cada nível), como aparece na Figura 4.8. Há aqui homomorfismo com o conceito de planejamento hierárquico contido no modelo topológico, que pode então ser utilizado explicitamente como um modelo de aprendizado organizacional.

Como cada fase do ciclo de projeto corresponde a um certo estilo de aprendizagem, e como ele constatou na sua prática profissional que departamentos e grupos dentro de organizações compartilham uma preferência de estilos que caracterizam o contexto e o foco de suas funções, o EDF auxilia na comunicação entre estes ao tornar clara a

existência e necessidade de outras fases e focos, tanto no mesmo nível como inter-níveis.

Adaptado de Sutton. 1995

Figura 4.8 EDF como hierarquia e ciclo de aprendizagem

Com relação a esse aspecto, Sutton comenta que muitos problemas que encontrou na administração de equipes heterogêneas (do tipo multidisciplinar ou inter-funcionais) podiam ser atribuídos aos conflitos de estilos institucionalmente reforçados. Ele argumenta que cada um dos quatro estilos podem ser associados a quatro *Weltanschauungen* mutuamente exclusivos (ou seja, logicamente irreconciliáveis), como expresso na Tabela 4.8. Porém, ao fazer esse relacionamento com os modelos de aprendizagem e solução de problemas, conclui que cada um desses *Weltanschauungen*

são focos válidos e necessários, pois a chave para a solução de problemas na vida real é reconhecer que cada *Weltanschauung* tem um escopo limitado e que o sucesso repousa em utilizá-los ciclicamente. Conclui que equipes eficazes tendem a ser compostas por indivíduos que abrangem todos os diferentes estilos e cujos membros são capazes de administrar a tensão que naturalmente surge quando *Weltanschauungen* mutuamente exclusivos devem obrigatoriamente coexistir.

Tabela 4.8. Os diversos *Weltanschauungen* e estilos de aprendizagem

Weltanschauung	Característica	Metáfora	Estilo associado
Formismo	Diferentes manifestações podem ter a mesma forma aparente.	Analogia	Perspectiva
Organicismo	O mundo é um complexo de interdependências que somente causa e efeito não conseguem explicar.	Sistema	Estrutura
Mecanicismo	O universo é uma máquina. Há uma realidade objetiva que é acessível a todos.	Máquina	Planos
Contextualismo	Cada evento é único. O observador é parte integral da situação	Evento	Ação

Fonte: Sutton, 1995.

Em seguida, Sutton comenta, dentro do ciclo de projeto-aprendizado, como suas diversas fases também ciclam com respeito aos atores participantes (Figura 4.9). A idéia principal é convergir, em cada estágio, de um ponto de vista pluralista para um ponto de vista unitário por uma etapa intermediária de contexto coercivo, ou seja, onde há pressão (proveniente ou não do grupo) para se obter o consenso. Pode-se considerar isto uma solução baseada no conceito de síntese dialética de Hegel (Checkland, 1981), ou seja, as diversas teses e antíteses que estão no mesmo nível (enfoque pluralista) são resolvidas como uma síntese em um nível superior (enfoque unitário).

		Contexto dos participantes		
		Unitário	Coercivo	Pluralista
Contexto operacional atual	requisitos	Apreciativo (formista, explorador, negociador)		
	análise	Verificando o que está errado		
	projeto	Complexo (organicista, pensador, modelador)		
	implementação	Considerando as opções		
	requisitos	Simples (mecanicista, convergente, planejador)		
	análise	Projetando a solução		
	projeto	Tempo real (contextualista, ativo, adaptativo)		
	implementação	Tentando fazer funcionar		

Adaptado de Sutton. 1995

Figura 4.9. Extensão do ssm de Flood e Jackson

Finalmente, há o uso do EDF para escolha de métodos de intervenção para as diversas fases do ciclo de projeto. Ele comenta sobre uma grande variedade de métodos *hard* e *soft*, como a P.O. tradicional, Engenharia de Sistemas, Tempos e Métodos e Controle Estatístico de Processo, até a SSM, a *Critical Systems Heuristics* de Ulrich (Flood e Jackson, 1991), o *Viable Systems Modelling* de Beer (Beer, 1984; Flood e Jackson, 1991) ou o enfoque sociotécnico, situando-os nos diversos estilos de aprendizado (Figura 4.10). Sua intenção é menos propor uma "receita" do que mostrar uma ilustração da flexibilidade necessária a uma metodologia, pois qualquer intervenção sistêmica exige que seus praticantes estejam não apenas dispostos a usar uma variedade de métodos, mas também de fazê-lo no meio da intervenção. Isto é corroborado por Ormerod (1996). Além disso, Sutton deixa de fora uma série importante de métodos *soft*, como a Dinâmica Industrial de Forrester, o *Strategic Choice* de Friend, o

Interactive Planning de Ackoff e o *Strategic Assumption Surfacing and Testing* (SAST) de Churchman (Rosenhead, 1989; Flood e Jackson, 1991).

É muito interessante o comentário que Sutton faz sobre a SSM de Checkland, centrando-a no enfoque formista, mas com uma abrangência que vai desde o contextualismo-ação até o estilo estruturas-organicista. Conforme o texto, isto advém da experiência do autor no uso da metodologia, que serve tanto para apreciar o caráter único da intervenção (contexto), como para reunir diferentes *stakeholders* em um ponto de vista combinado em um quadro rico da situação (estilo perspectivas-formismo), construindo então modelos conceituais que fazem parte de um estilo estruturas-organicista. Desta forma, a SSM abrange três estilos diferentes.

WS:	tempos e métodos
SPC:	controle estático do processo
OR:	Pesquisa operacional(<i>hard</i>)
VSM:	<i>Viable System Modeling</i>
STS:	projeto de sistemas sociotécnicos
CST:	<i>Critical Systems Theory</i>
CSH:	<i>Critical Systems Heuristics</i>
SSM:	<i>Soft Systems Methodology</i>
AS:	análise de sistemas (RAND)
SE:	engenharia de sistemas

Adaptado de Sutton. 1995

Figura 4.10. Posicionamento de metodologias na malha do EDF

Quais são as principais contribuições de Sutton para o problema de desenvolver uma metodologia para projeto e planejamento de uma base de modelos? O fundamental, sem sombra de dúvida, é fornecer uma conceituação coerente para justificar a complementaridade dos enfoques *hard* e *soft*, ou seja, que a intervenção bem sucedida depende de ambos. Em segundo lugar, há a alternância entre pontos de vista pluralistas para unitários no ciclo de projeto-aprendizado, que também significa a alternância de métodos *soft* e *hard* (nessa ordem). Estas duas conclusões traçam claramente uma linha para tratar o risco Tipo I ao esclarecer condições necessárias para a aplicação de métodos *hard* e, portanto, de modelos matemáticos. Em terceiro lugar, deixa clara a natureza cíclica e hierárquica do aprendizado organizacional. Isto tem implicações interessantes para o modelo topológico, que assim pode realçar uma dimensão de aprendizado então apenas subentendida no seu formato original. Por fim, há uma justificativa independente para o emprego da SSM no contexto de modelagem e, portanto, para a minimização do risco Tipo I, corroborando a proposição de Daellenbach (1992).

Quais críticas poderiam ser feitas? Ou melhor, o que o modelo de Sutton não consegue tratar no problema objeto desta tese? Como mostrado acima, seus conceitos vão auxiliar o tratamento do risco Tipo I. Entretanto, não há muito para tratar os riscos Tipo II e IV. Apesar do enfoque pluralista aliado a uma preocupação de intervenção com resultados, não há nada no EDF para operacionalizar a questão sistêmica de sub-ótimos. A perseguição de resultados significa uma preocupação com o ótimo e, portanto, da necessidade de se preocupar com *tradeoffs* existentes entre os diversos atores e processos. O EDF pode, desta forma, ser aplicado em um contexto estanque, pois, como o próprio autor coloca no texto, seu escopo organizacional pode ser tão limitado quanto se queira. Há também a visão exclusivamente sequencial do processo de aprendizagem-projeto-solução de problemas. Como foi discutido anteriormente, todas as fases devem interagir, não necessariamente em seqüência. Não se tenta uma intervenção se não

houver uma chance razoável de sucesso e, assim, qualquer fase de modelagem ou análise traz embutida um modelo das outras.

4.6 Trabalhos prévios sobre base de modelos

O termo "base de modelos" é pouco usado fora da área de SAD. Para o pessoal de SAD, uma base de modelos é formada pelos modelos já desenvolvidos e utilizados pelos usuários. É conveniente que esta base de modelos esteja armazenada de forma automatizada, de modo a facilitar recuperação, acesso e atualização (Sprague, 1993; Sage, 1991). Para executar estas funções, um SAD deve incorporar um sistema gerenciador da base de modelos (SGBM). Diz Sage (1991, p.14):

"O SGBM deveria prover flexibilidade...através de uma variedade de modelos pré-elaborados e que foram considerados úteis no passado, tais como modelos de programação linear ou de análise de decisão multiatributo, e dos procedimentos para utilizar tais modelos. Deveria também permitir o desenvolvimento de modelos construídos pelo usuário e de heurísticas construídas a partir de modelos existentes..."

A ênfase é portanto a re-utilização de modelos já desenvolvidos.

O SGBM tem por objetivos (Sprague e Watson, 1989; Sage, 1991, 1994):

1. Possibilitar a criação rápida e eficiente de novos modelos em aplicações específicas;
2. Apoiar a catalogação e a manutenção de uma vasta série de modelos que suportem os estágios de formulação, análise e interpretação na resolução de problemas
3. Prover acesso aos modelos e integração entre os mesmos e com o SGBD (banco de dados);
4. Centralizar o gerenciamento da base de modelos de modo análogo e compatível com o gerenciamento da base de dados;
5. Assegurar integridade, consistência, execução e segurança dos modelos.

Existem diversas propostas para tratar a manipulação dos modelos contidos nessa base, sendo normalmente feita uma analogia direta com sistemas gerenciadores de bancos de dados (Dolk, 1986; Sprague e Wilson, 1989; Sage, 1991). A lista acima poderia ter sido tirada de um livro de engenharia de software para banco de dados, substituindo-se "banco de dados" por "modelos". Assim, apenas questões de manipulação da *forma* são tratadas nesses textos. Ou seja, apenas a lógica de manuseio dos modelos é discutida na literatura. A definição do *conteúdo da base de modelos* não é sequer mencionada.

Como o pessoal da área de SAD considera que o uso dos seus sistemas se dará de forma *ad hoc* e flexível, pois tem conteúdo não-rotineiro, não fica incoerente deixar a definição do conteúdo da base de modelos para os usuários. Esta visão basicamente reativa pode naturalmente gerar problemas de redundância, sub-ótimos e incoerência. Além disso, a disponibilidade de métodos de solução (linguagens, algoritmos e *solvers*) no SGBM depende do projeto inicial do SAD e, posteriormente, de um crescimento também reativo. Podemos fazer aqui uma analogia com o princípio de Pareto: pode ser melhor se concentrar em alguns poucos métodos mais populares em vez de deixar à disposição uma série grande de métodos diferentes.

Assim, não há grande contribuição da literatura dessa área.

4.7 Conclusão

Neste capítulo comentou-se uma série de contribuições anteriores e que serão importantes para o desenvolvimento da metodologia de projeto da base de modelos de uma organização. Em resumo, elas são:

- o modelo topológico (Yoshizaki et al., 1991), como formalismo de descrição do sistema de decisões e ferramenta para análise de coerência da hierarquia de decisões e processos;
- os requisitos de uma metodologia (Davis, 1982) para o projeto de um plano diretor de sistemas de informação (restringir e estruturar o espaço do problema; auxiliar a busca eficiente dentro desse espaço; superar fatores de vício), que servem para minimizar as limitações dos seres humanos para especificar seus requisitos de informação;
- o aprendizado organizacional como um modelo de estágios tecnológicos mensuráveis (Nolan, 1979), levando ao conceito de trajetória tecnológica;
- os fatores contingenciais para uso de modelos matemáticos (Yoshizaki e Plonski, 1995), a saber, frequência da decisão, adequação do modelo ao estágio tecnológico, integração com outros sistemas de decisão;
- a complementaridade entre os enfoques *hard* e *soft* (Sutton, 1995), explicitado nos ciclos de aprendizagem organizacional e de solução de problemas.

Além disso, verificou-se que o problema de projeto da base de modelos sempre foi direcionado para um enfoque reativo e de manipulação de modelos, linguagens de programação e algoritmos prontos, pelo menos na área de SAD.

Os conceitos acima serão empregados nos capítulos subseqüentes, pois servirão como base para resolver alguns dos problemas colocados no capítulo 2, além de alguns outros, que estão discutidos no capítulo seguinte.

5 SOBRE MODELAGEM E MODELOS INDIVIDUAIS

Neste capítulo vai-se aprofundar a discussão sobre modelagem e modelos matemáticos. Primeiro, uma crítica às metodologias tradicionais é realizada para melhor situar a discussão desta tese. A seguir, dissecam-se o conceito de modelo matemático em seus elementos fundamentais para alicerçar a construção da metodologia no capítulo seguinte.

5.1 Uma (outra) crítica às metodologias tradicionais de modelagem

O uso de modelos matemáticos para auxílio à decisão foi estruturado pela disciplina conhecida como Pesquisa Operacional, que surgiu como área independente do conhecimento na Segunda Guerra Mundial. Houve, porém, desenvolvimentos anteriores, como os casos de modelos de estoque (culminando com regras práticas, como o método de ponto de reposição e modelos de lote econômico de compras) pelos laboratórios da Bell e de teoria de filas por Erlang (estudos de congestionamento de linhas telefônicas), ambos desenvolvidos no início do Século XX. Na área militar, temos os modelos de atrito em combate desenvolvidos por Lanchester durante a Primeira Guerra Mundial e utilizados até hoje. A ligação da P.O. com a Estatística vem desde o seu nascimento como disciplina independente: ao transpor o método científico para o ambiente de operações militares na Segunda Guerra, os cientistas ingleses e americanos realizavam seu trabalho baseados principalmente em análises estatísticas. Posteriormente, novos métodos matemáticos e de modelagem foram desenvolvidos. Mais recentemente, disciplinas como Inteligência Artificial e Sistemas de Apoio à Decisão também incorporaram o desenvolvimento de modelos matemáticos para auxílio à decisão.

Conforme dito anteriormente, o método da P.O. tradicional se inspira no método científico galileano, ou método experimental, de grande sucesso em ciências naturais, como a Física. Os sucessos obtidos e exemplificados no início do Capítulo 2 são um atestado para a eficácia deste tipo de intervenção em certos casos.

A literatura propõe diversas fórmulas para a construção de modelos matemáticos de auxílio à decisão. Após discorrer sobre o método científico e a diferença da construção de modelos em ciência e na administração, Little (1994, p. 170-4) mostra três exemplos de "receitas" de modelagem amplamente difundidas, as quais ele chama de "paradigmas de solução de problemas" e estão apresentadas na Figura 5.1. A primeira é proveniente

da área de análise de sistemas (tal como definida pela RAND Corporation), a segunda provém do clássico livro de Churchman, Ackoff e Arnoff (1957), e a última é devida a Glen Urban do MIT (1974). O modelo de Urban vai um pouco além do desenvolvimento do modelo e solução do problema propriamente dito, colocando alguns itens associados ao contexto da intervenção (por exemplo, qual foi a "porta de entrada" na organização?) e do próprio analista (quais são seus antecedentes?).

(Aqui vai a Figura 5.1., com os três paradigmas de resolução de problemas)

Continuando a discussão no mesmo texto, Little comenta que prescrições ou listas deste tipo significam muito para pessoas que tentaram, pelo menos parcialmente, realizar o processo de modelagem. Para aqueles que nunca tentaram, esses paradigmas parecem ser opacos e sem sentido. Na sua opinião, estudantes de graduação costumam receber tais receitas com desdém, se bem que após alguma experiência prática em um estágio, por exemplo, eles dão um pouco mais de valor a elas. Já pessoas realmente experientes tendem a achar as prescrições superficiais, pois muitos dos seus princípios mais importantes já foram há muito tempo internalizados e sutilezas de segunda ordem se tornaram mais evidentes.

Como quem se arrisca a desenvolver modelos matemáticos geralmente são pessoas inteligentes, o método muitas vezes é considerado por elas secundário: a capacidade intelectual pode (em parte) suprir a falta de método. Além disso, os paradigmas expressos acima são suficientemente vagos e gerais para permitir flexibilidade de escolha para analistas criativos, auto-confiantes e experientes. Porém, à medida que se engajam na modelagem matemática mais pessoas "leigas", os *self starters*, surge então uma demanda por melhor orientação. Afinal de contas, os *self starters* poderão vir a ser a maioria no futuro (se já não o são). O desafio maior não é fazer pessoas brilhantes terem ótimo desempenho, e sim fazer com que pessoas comuns o tenham.

O autor faz assim cinco críticas às metodologias de modelagem tradicionalmente ensinadas e que estão nos livros didáticos:

- Baseiam-se no paradigma "consultoria";
- São voltadas à resolução de um problema individual;
- Não enfatizam o aprendizado;
- Pressupõem a existência de um problema.;
- Têm seu escopo voltado principalmente para riscos do Tipo III.

<p>ANÁLISE DE SISTEMAS (estilo RAND Corporation)</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Definir problema <ul style="list-style-type: none"> Escopo Objetvos Medidas de eficiência Restrições Variáveis de controle 2. Desenvolver alternativas <ul style="list-style-type: none"> Identificar subproblemas Determinar modos alternativos de solucionar subproblemas Sintetizar soluções globais diferentes 3. Avaliar alternativas <ul style="list-style-type: none"> Formular modelos do sistema Calibrar modelo a partir dos dados Avaliar as alternativas Selecionar a melhor 4. Satisfeito? <ul style="list-style-type: none"> Não: reciclar Sim: parar
<p>FASES DA P.O. (Churchman. Ackoff e Arnoff. 1957)</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Formular o problema 2. Construir um modelo matemático para representar o sistema em estudo 3. Derivar uma solução do modelo 4. Testar o modelo e a solução derivada dele 5. Estabelecer controles sobre a solução 6. Colocar a solução para trabalhar: implementação

URBAN (M.I.T)
(Urban. 1974)

Adaptado de Little. 1993

Figura 5.1. Três paradigmas de modelagem conforme Little (1993)

Baseiam-se no paradigma "consultoria". As pessoas que desenvolveram os paradigmas expostos anteriormente pertencem à primeira geração da P.O. (década de 50). Conforme colocado no texto, entretanto, a natureza da modelagem matemática tornou-se muito mais rica nesse meio século. Afora a especialização e a concentração acadêmica na parte de desenvolvimento de métodos matemáticos, a antiga forma de intervenção organizacional para solução de problemas estruturados (equipes multidisciplinares de analistas externas à área objeto - consultores) diversificou-se bastante. Primeiro, houve um enxugamento muito grande dos staffs em geral, o que levou em muitas empresas à aparição da figura do *lone ranger* (Gray, 1993), ou seja, grupos de especialistas em modelagem formados por apenas uma ou duas pessoas, substituindo os agrupamentos de especialistas-consultores. Segundo, além dessa dispersão dos especialistas, surge como nova força a figura do não-especialista ou *self starter*, pelos motivos já explanados anteriormente. Terceiro, os programas de melhoria organizacional (não importa se de Qualidade Total, BRP ou qualquer outra sigla que o valha) baseiam-se no trabalho de grupos de melhoria, que podem usar modelagem matemática. Há uma diferença fundamental nos dois últimos casos com relação à forma de intervenção tradicional, baseada nos consultores: tanto os *self starters* quanto os

grupos de melhoria fazem intrinsecamente parte do problema que estão tentando resolver e, portanto, não é possível alegar um posicionamento imparcial, como no caso do método científico tradicional. Isto só será possível em casos muito específicos de problemas de natureza mais técnica (por exemplo, no controle de processos químicos). Nos dois primeiros casos, a atuação dos consultores é assumida como crítica, "imparcial" e externa ao problema, imitando a postura do cientista (afinal de contas, os primeiros profissionais de P.O. realmente o eram! Churchman (1973) costuma chamar os analistas de P.O. de cientistas da administração e a P.O. é chamada também de *Management Science*). Este *Weltanschauung* condicionou a elaboração dos paradigmas apresentados por Little, que são portanto orientados para uma intervenção "externa" do tipo consultoria (Little, 1994, p.171).

Evidentemente, mesmo dentro da ação tipo consultoria existe uma gama muito variada de intervenções (Corbett et al., 1995a). Porém, sua natureza dicotômica, separando a figura do analista da do usuário (separando o "cientista" do "objeto"), acaba dificultando a percepção de que qualquer intervenção sistêmica é artificial no sentido de que a definição de um problema é sempre uma escolha arbitrária condicionada por particulares *Weltanschauungen*. Ou seja, dá a impressão de que é possível existir uma modelo abstratamente "correto", externo da situação, ou seja, uma ontologia onde situação real e modelo se confundem (ou seja, o modelo do sistema é o sistema), legitimada por uma pretensa visão científica do problema.

Assim, o paradigma de separação entre analista e usuário (consultoria) precisa ser expandido, incorporando o fato de que o modelador (mesmo quando um consultor externo) tem um compromisso com a situação problemática em si. Isto deve ser traduzido na própria metodologia de intervenção através do reconhecimento explícito do *Weltanschauung* do modelador.

É interessante notar que o paradigma de Urban (Figura 4.1) leva parcialmente em conta a influência do *Weltanschauung* do modelador quando coloca a questão dos antecedentes do mesmo como a primeira etapa da intervenção.

São voltadas à resolução de um problema individual. Todos os paradigmas mostrados por Little têm como foco a solução de um único problema de cada vez (que pode acarretar na construção de um ou mais modelos matemáticos). Isto pode gerar problemas de sub-otimização, conforme discutido anteriormente. Tudo fica na dependência da equipe de analistas ter ou não uma visão sistêmica.

A visão segmentada foi reforçada pelo próprio paradigma de consultoria, com forte conotação de projetos ad hoc. Afinal de contas, consultorias são consideradas etapas passageiras na vida de uma organização.

Não enfatizam o aprendizado. Conforme Morris (1967), qualquer processo de modelagem segue a linha da tentativa e erro, de iterações e refinamentos sucessivos, ou seja, não é linear: é o chamado *contexto da descoberta*. Já a argumentação e a justificativa para um dado modelo é, por uma questão de conveniência, linear (relatórios, apresentações), inclusive por razões didáticas: é o *contexto da justificativa*. Mas esta convenção (a justificativa) acabou por contaminar o próprio enfoque de modelagem, com efeitos deletérios na ênfase de aprendizagem (Corbett et al, 1995b). Esses últimos discutem esse fato (observado nos textos da área), e apresentam diversos casos de aplicação de P.O. enfatizando a influência do contexto dos projetos em vez da modelagem propriamente dita. Entretanto, eles utilizam somente um paradigma analista-usuário, pois em todos os casos apresentados o modelador principal era um consultor externo (apesar de algumas vezes os usuários fornecerem vislumbres importantes para o próprio desenvolvimento de algoritmos). Em outro texto (Corbett et al, 1995a), eles tratam o aprendizado também apenas através do ponto-de-vista do consultor externo ou analista, ao desenvolver o conceito de "práticas profissionais" (*strands of practice*), ou seja, como a história (trajetória) do especialista condiciona sua atuação.

A interação problema-modelo que resulta em um aprendizado para o modelador (indivíduo ou equipe) pode ser um subproduto tão ou mais importante, a longo prazo, que o próprio modelo. Citando-se von Ellenrieder (1992):

"A 'cultura' do observador, ou seja, o conjunto de informações que o mesmo acumulou em sua experiência administrativa e científica, permite associar um modelo conceitual onde a percepção da realidade, mediante analogias com situações científicas (leis, teorias ou outros modelos que fazem parte do seu acervo cultural), levam a definir um modelo conceitual. O desenvolvimento deste modelo em termos formais é uma transformação homomórfica, onde parte da informação pode ser condensada em variáveis agrupadas, perdendo, desta maneira, 'parte de sua riqueza'.

"A construção de modelos é um processo de 'aprendizagem', onde o conhecimento adquirido na formalização tem uma grande influência no processo anterior de percepção da realidade."

Little (1970) também aborda a questão da aprendizagem; faz, inclusive, uma defesa do uso de modelos menos sofisticados porém mais adequados a sua compreensão e do

aprendizado cumulativo do usuário. Rivett (1980, p. 50-8) compartilha de posição semelhante.

A conotação *ad hoc* implícita no paradigma de consultoria reforça esse problema. Ou seja, a equipe de consultoria vem, resolve o problema e depois vai embora. O conhecimento acumulado no processo de modelagem pode ser ou não compartilhado com os usuários. Nesse sentido, o método da Qualidade Total, baseado no ciclo de Shewhart, é muito mais interessante, pois coloca de forma inequívoca que o ciclo nunca acaba, cada nova solução gerando obrigatoriamente um novo problema que utiliza a base de conhecimento acumulado para facilitar sua resolução.

O aprendizado deveria assim ser "embutido" nos paradigmas de modelagem de forma explícita. Isto é tanto mais válido para o caso de modelos desenvolvidos pelos próprios usuários, pois o conhecimento adquirido pode efetivamente melhorar o seu desempenho global, além dos limites estreitos do modelo ou da decisão analisada em si.

Há duas vertentes de aprendizado para o modelador: a) incrementar seu conhecimento do sistema total onde o problema analisado está imerso (quem são e como funcionam outros componentes no mesmo nível) e, b) incrementar o conhecimento do seu subsistema (processo). Os paradigmas de modelagem vistos não colocam a melhoria do conhecimento sistêmico como resultado importante, apenas o conhecimento do processo (via a criação da estrutura do modelo), e mesmo este de forma apenas oblíqua. A melhoria do conhecimento sistêmico poderia ser obtido por meio de um debate dialético, conforme proposto por Churchman (1971, p. 163-5), onde os outros subsistemas colocariam seus *Weltanschauungen*, e então uma síntese de nível superior poderia ser desenvolvida (junto com o modelo matemático associado).

Pressupõem a existência de um problema. Os paradigmas assumem que alguém já identificou um problema anteriormente e chamou os analistas-consultores para auxiliarem. Tal postura é bastante reativa, pois vai limitar a intervenção apenas a oportunidades já identificadas, não exigindo uma postura pró-ativa dos profissionais. Assim, o trabalho de identificação de problemas fica externo às metodologias. Novamente comparando com o ciclo de Shewhart usado na Qualidade Total, temos que nele a busca de novos problemas é parte integrante da metodologia. Além disso, nem todos os contextos permitem o uso de modelagem matemática. Caso certas pré-condições, como o consenso em torno de objetivos ou processos estáveis, não estejam obedecidas no sistema em estudo, um trabalho prévio de articular um processo de acomodação entre os diversos atores pode ser mais útil no longo prazo do que partir

diretamente para um enfoque *hard* de desenvolvimento de modelos matemático, com maior risco de insucesso.

Tem escopo voltado principalmente para tratar riscos do tipo III. Conforme comentado anteriormente, o risco tipo III é tradicionalmente tratado pelos paradigmas clássicos de modelagem (Capítulo 2, item 2.2): há reconhecidamente grande interação entre a definição de um problema, a formulação do modelo e a escolha ou desenvolvimento do método de resolução do mesmo. Isto está ilustrado na Figura 5.2.

A taxonomia de quatro fatores de risco descritos anteriormente foi criada com base nessa crítica aos paradigmas clássicos: os fatores formam uma série de fases que vão desde as pré-condições básicas para o uso da modelagem (Tipo I), passando pela questão sistêmica de sub-ótimos e integração (Tipo II), pelo desenvolvimento do modelo (Tipo III) e pela sua implantação e uso no contexto do estágio tecnológico (Tipo IV). Os quatro itens formam assim uma seqüência lógica para o emprego de modelagem matemática, não em um contexto restrito de resolução de um problema, mas em um contexto organizacional como um todo, como uma nova função da organização (Figura 5.3).

Assim, o esboço dos requisitos para uma metodologia mais abrangente que os paradigmas clássicos está na Figura 5.3 e segue o modelo de sistema de modelagem colocado no Capítulo 3 (Figura 3.3). A metodologia proposta nesta tese e detalhada no Capítulo 6 trata basicamente os riscos Tipo I, II e IV, complementando, mas não substituindo, o trabalho das metodologias clássicas.

Elaborado pelo autor

Figura 5.2. Equação tradicional do modelagem

Elaborado pelo autor

Figura 5.3. Risco de modelagem e fases de modelagem

5.2 Algumas (outras) taxonomias para modelos matemáticos

5.2.1 Classificações anteriores

Conforme Rivett (1980, p.42), o ser humano é o animal que classifica. Classificações devem ter finalidades pragmáticas e, assim, as categorias de classificação dependerão da finalidade que se deseja. Algumas vezes, entretanto, classificações são geradas com a esperança de que membros da mesma categoria (desde que possamos reconhecê-los como tal) possam exibir características comuns com relação a algum fenômeno particular que nos interessa e, quem sabe, dar alguma indicação a respeito de sua estrutura.

Muitas vezes a experiência individual ou de grupos acaba moldando taxonomias particulares (Hayakawa e Hayakawa, 1990, p.105-11). Como taxonomias obedecem a determinadas finalidades, o enquadramento de determinado fenômeno em uma classe ou outra condiciona nossa atitude e comportamento perante o mesmo. Do ponto de vista científico, sistemas de classificação devem produzir resultados previsíveis (repetíveis).

Isto pode ser notado nas diversas taxonomias usadas na literatura de modelagem. Além das classificações gerais de modelos e problemas vistas no Capítulo 1, outras duas taxonomias de modelagem são bastante divulgadas na área. A mais conhecida é sem dúvida a classificação por método de resolução de modelos, encontrada na maioria dos livros didáticos. Outra classificação interessante é devida a Ackoff e Rivett (Rivett 1980), aparecendo no livro de Ackoff e Sasieni (ver Figura 2.2). Ela distingue as

seguintes classes de problemas: alocação, estoques, substituição e reposição, filas, seqüência e coordenação, determinação de rotas, competição e busca de informação. Sua motivação parte de que a classificação de modelos por método de resolução equivale a "colocar o carro na frente dos bois", contrapondo a idéia de que é mais importante ter uma idéia clara do problema antes de escolher as "ferramentas" de resolução de modelos. Eles criticam o conceito de "caixa de ferramentas" ou "soluções em busca de problemas" e sua taxonomia reflete esse ponto de vista.

Esta tensão entre definição do problema, formulação do modelo e escolha do método de resolução já foi discutida antes e permeia a crítica elaborada por Ackoff e Sasieni e por Rivett. Porém, não faz sentido criticar a taxonomia em si, mas sim a finalidade anterior que a gerou. A finalidade precípua da classificação por método é basicamente a conveniência didática de apresentação. Ela serve assim para facilitar a escolha de algoritmos já testados, pois tratam os problemas a nível *isomórfico*. Já a finalidade da taxonomia de Ackoff e Rivett é encontrar problemas típicos que ocorrem com grande freqüência na prática da modelagem e que podem ser classificados a nível de *conteúdo* e não de *forma*, como na taxonomia por método. Eles inclusive facilitam sua abordagem mediante o uso de uma lista de verificação (*check list*) específica para cada tipo de problema (Rivett, 1980, p. 61-63). Podemos dizer, então, que as duas taxonomias se diferenciam pelo nível de abstração.

Nossa finalidade é tentar obter algum grau de controle sobre os riscos tipo I, II e IV. As taxonomias da tese devem refletir isto.

O'Keefe (1995) propõe uma taxonomia interessante para orientar esforços de modelagem e seu relacionamento com Informática: distingue entre P.O. orientada para análise, para apoio ao usuário-final ou *self starter* e para projeto de sistemas (processos ou de informação). O primeiro é o papel tradicional da PO, objetivando auxiliar indivíduos e grupos com modelos ad hoc, mais algum possível trabalho de facilitação baseado em métodos *soft* para entender "confusões". A modelagem por usuário final ou *self starter* (Lee et alli ,1989) apoia o trabalho de modelos desenvolvidos por indivíduos isolados, um fenômeno crescente devido às bases de dados *on-line*, proliferação de *workstations* e PC's, *software* de modelagem de nova geração e melhores habilidades analíticas dos usuários. Um dos principais papéis dos especialistas de PO nesse ambiente é controlar o mal-uso de modelos por estes recém-chegados; por outro lado, os riscos de implementação e má manutenção desses modelos é minimizado, e problemas de confiança e comunicação são virtualmente inexistentes. Finalmente, a PO orientada para projeto visa o projeto de SI apoiados por modelos ou "processos", no sentido dado

pela BPR (Hammer e Champy, 1993): projetos grandes, com equipes grandes e multifuncionais, com forte orientação para Informática. Ele então usa esta classificação para derivar papéis para profissionais de PO, e depois detalha a diferença entre orientação para análise e para projeto.

Tal como foi apresentada por O'Keefe, sua taxonomia é problemática para lidar com projeto de base de modelos; sua motivação é descobrir exemplos de reengenharia de processos moldados com PO e justificar a integração vertical entre P.O. e Informática.

Já a literatura de informática utiliza uma classificação hierárquica expressa na sequência sistema de decisão-processo de informações-dados transacionais, como em O'Keefe, 1995, e Beauregard et al., 1994. Nolan (1979) usa algo semelhante, ao diferenciar sistemas de informação estratégicos, gerenciais e operacionais.

No nosso caso, conforme visto no capítulo anterior, a classificação por *freqüência de uso* diferencia as necessidades de integração com os sistemas de informação. Para uso *ad hoc* isto é menos importante, pois, em princípio, o modelo será usado apenas uma vez. Evidentemente, conforme seu porte, modelos *ad hoc* podem se beneficiar tremendamente de uma ligação formal com os bancos de dados automatizados de uma empresa como, por exemplo, em problemas de localização de facilidades com milhares de variáveis e centenas de milhares de coeficientes. Mas para modelos de uso rotineiro, onde decisões são revisadas periodicamente, como PCP e roteirização, a falta de integração é uma falha mortal. Além disso, a demanda por dados deve ser cuidadosamente acomodada com a evolução da tecnologia de informática na organização.

Outra característica que diferencia modelos de uso *ad hoc* e de uso rotineiro é o seu ciclo de vida: modelos *ad hoc* tem um ciclo de vida menor e mais simples que modelos rotineiros, os quais necessitam de atualização constante das bases de dados e revisões periódicas. Além disso, para os modelos rotineiros, o fato de ter uma vida útil prolongada faz com que o processo de aprendizagem possa ser melhor administrado e integrado com outras dimensões administrativas (como planos de informática, qualidade, etc). Nos modelos *ad hoc*, esta dimensão é menos crítica.

Há possibilidade de modelos migrarem de uma categoria para outra. Por exemplo, um modelo de arranjo físico da IBM, que ganhou o prêmio Franz Edelman em 1987, começou como *ad hoc*, desenvolvido para o projeto da fábrica da IBM em San José, mas deu tão certo que acabou se transformando no modelo padrão da IBM para arranjo

físico de depósitos, ou seja, um emprego do tipo repetitivo. Assim, caso a forma seja bastante geral porque adota-se problemas de configuração padronizada (isomorfismo), modelos *ad hoc* podem ficar gerais, evidentemente com algumas adaptações para cuidar do conteúdo. É o que aconteceu, por exemplo, com um sistema desenvolvido para resolver problemas de minimização de perdas no corte de vergalhões para armadura de concreto. A firma de estruturas civis que o desenvolveu acabou vendendo a tecnologia não apenas para outras empresas do mesmo ramo, como também para uma empresa de autopeças! Esta precisava minimizar a perda resultante do corte de chapas compridas, usadas na fabricação de molas quarto de elipse para caminhões e ônibus, e acabou usando uma versão adaptada do programa. Ambos os problemas são isomórficos (corte unidimensional), o que permitiu essa adaptação sem problemas.

5.2.2 Escada de abstração, aprendizado e modelagem

Rivett (1980, p. 160) comenta que problemas de administração, tais como os consideramos, são na verdade abstrações que só existem nas mentes dos decisores ou de seus analistas. Por exemplo, uma empresa não tem um problema de estoques no sentido que seja possível visitá-la e encontrar o problema em uma forma concreta. Ele vai existir em nossas próprias mentes como expressão de um desbalanceamento observado entre ofertas e demandas. Podemos associar este comentário à imagem da escada de abstração (Figura 2.1), explorada no ítem 2.1. O reconhecimento e a identificação do problema caracteriza a subida no primeiro degrau, enquanto que o processo de modelagem matemática *strictu sensu* ocorre nas etapas posteriores.

Rivett considera assim que existe uma liberdade significativa, mesmo perigosa, na maneira que escolhemos os modelos que representam situações de tomada de decisão. Existem portanto infinitos primeiros degraus, e um passo pode colocar-nos em diferentes escadas (problemas). Aquilo que um indivíduo entende por um problema de controle de estoques pode ser percebido por outro ou como um problema de programação de lotes de produção, ou como um problema de má coordenação com o pessoal de vendas, ou como um problema na seleção de fornecedores. As possibilidades de variação são enormes. A definição do problema depende dos *Weltanschauungen* dos diversos interlocutores, do seu poder político, de sua capacidade de intervenção, de sua experiência anterior com esse tipo de situação (os *strands of practice* de Corbett et al., 1993), do conhecimento de métodos para sua solução, etc. A garantia da adequada identificação de um problema pode passar pelo caminho de uma validação precoce do

diagnóstico, feita por uma equipe que contenha os *Weltanschauungen* necessários, além de experiência, perfil, formação e dados adequados.

Do ponto de vista do processo de comunicação, o terceiro patamar da Figura 2.1.(representação icônica) é aquele onde a maioria dos atores pode comunicar-se sem grandes problemas, pois não há a barreira das linguagens formais especializadas. Não se deve esquecer que linguagens mais simples (ou seja, mais próximas da linguagem verbal) também podem ser empregadas em conjunto com as regras mais sofisticadas dos patamares mais elevados. O degrau 3, portanto, serve de referência para a determinação do nível de abstração a ser empregado na metodologia da base de modelos, caso partamos da premissa de participação dos diversos *stakeholders* no seu projeto. Por outro lado, em termos das etapas do processo de modelagem formal, o degrau 3 pode ser considerado uma fase obrigatória, pois é o estágio onde uma redução de segunda ordem (ou seja, as simplificações mais "pesadas" associadas a hipóteses, pressupostos, etc, de natureza matemática, necessárias para se ter um modelo analítica ou numericamente *solucionável*) ainda não começou.

Podemos também estabelecer um paralelo entre degraus de abstração e os níveis de habilidade ou aprendizado dos modelos de Bateson e Gagné, conforme a discussão de Sutton no item 4.5. Dois exemplos de níveis de abstração estão apresentados na Tabela 5.1, a seguir:

Tabela 5.1. Tipos de Questão/Decisão: evolução de habilidades

Nível	Exemplo 1:estoques	Exemplo 2: localização
I	Acabou o estoque do produto X.	Fecho ou não fecho o centro de distribuição na cidade X?
II	O que devo fazer para não acabar o estoque do produto X?	Quando devo fechar um centro de distribuição? Quando não faço nada? Quais critérios usar?
III	Como posso dimensionar o estoque considerando outros problemas de nível I e II, como custos e falta de espaço físico?	Como desenvolver um método para rever minha malha de distribuição? Que outras questões de nível I e II consigo responder conjuntamente?

Pode-se inferir da aplicação do conceito de níveis de aprendizado que a aquisição de habilidades de nível superior está diretamente ligada à capacidade de modelagem, que seria a capacidade de responder questões de nível superior (as quais muitas vezes são *agregações* coerentes de questões de nível I ou II). Logo, a escada de abstração, se

devidamente adaptada, pode auxiliar na identificação de oportunidades de modelagem, pois ela vai permitir uma discretização do salto entre o primeiro e o segundo patamar.

Assim, temos duas situações onde a vantagem de desenvolver modelos se manifesta:

1. quando será necessário repetir uma questão de nível I ou II periodicamente (decisões rotineiras);
2. quando a decisão é especialmente crítica ou complexa e o aprendizado pode ser um sub-produto importante.

Portanto, modelos, tanto os *ad hoc* mas principalmente aqueles de uso rotineiro ou periódico, são expressões de nível semântico mais elevado. É justamente esta característica de abstração que permite o homomorfismo e o isomorfismo empregados na modelagem matemática (Beer, 1966).

Além disso, os níveis de aprendizado ou de indagação podem servir como uma ferramenta para a identificação de decisões no processo de administração do sistema. O ponto de partida seria a determinação do conjunto de decisões de nível I e II. Por exemplo, pode-se listar decisões passadas, potenciais, futuras, ou mesmo não-decisões (isto é, quando a decisão foi não fazer nada), etc, todas com baixo nível de abstração, para então abstraí-las, remetendo-nos às questões de nível superior e, portanto, à modelagem formal. A figura 5.4 exemplifica este processo através da identificação de um problema de roteirização.

Outro paralelo interessante pode ser feito entre nível de abstração, expresso como agregação de detalhes em categorias mais gerais (de ordem superior), e a hierarquia de modelos expressa no modelo topológico. Evidentemente, decisões (e modelos) em níveis mais elevados do modelo topológico são necessariamente mais abstratos.

Uma outra observação é como o uso da escada da abstração pode facilitar ou atrapalhar processos de comunicação. Acontece que, para evitar reações negativas em termos de política organizacional ou diminuição da moral, etc, executivos às vezes lançam mão de metáforas ou abstrações de nível superior para tornar certas questões mais palatáveis. Por exemplo, se um diretor está cogitando em fechar determinada área de seu departamento, para evitar problemas com o pessoal ele pode colocar a questão em um nível mais abrangente, como "vamos fazer um estudo de reengenharia no setor". Pais costumam usar a mesma artimanha para discutir assuntos mais delicados na frente dos filhos pequenos, que ainda não tem condições de entender níveis mais abstratos. A

metodologia vai precisar de definições inequívocas, e a escada da abstração pode ajudar aqui.

5.3 Anatomia de um modelo

Neste ítem desenvolve-se um modelo de um modelo, ou seja, uma representação que permitirá o tratamento de modelos em geral. Tal meta-modelo é utilizado na metodologia proposta no Capítulo 6.

5.3.1 Algumas definições clássicas

Conforme Ackoff e Sasieni (1971), qualquer modelo matemático de auxílio à decisão, mesmo os mais complicados, possuem uma estrutura básica muito simples:

$$U = f (X_i, Y_j),$$

onde U é a utilidade ou o valor do desempenho do sistema, X_i as variáveis que podem ser controladas, Y_j as variáveis (ou constantes) que não podem ser controladas mas afetam U , e f o relacionamento entre U , X_i e Y_j . Como o modelo expressa um problema de decisão, f representa a *forma* ou estrutura do mesmo (Ackoff e Sasieni, 1971, p. 16).

Elaborado pelo autor

Figura 5.4. Níveis semânticos e escala de abstração para definir um problema

Além disso, o modelo pode conter restrições, ou seja, os valores das variáveis controladas só podem ser manipulados dentro de certos limites.

O conjunto formado pela equação básica acima e o conjunto de restrições constitui um modelo do sistema e do problema que se deseja resolver. É, portanto, ao mesmo tempo, um modelo *de sistema* e modelo *de decisão*.

Uma vez construído, o modelo pode ser usado para obter os valores das variáveis controladas que produzam o melhor desempenho do sistema para determinados valores das variáveis não-controladas, ou seja, obter uma solução do modelo. Esta solução pode ser obtida por diversos métodos diferentes que dependem da natureza do modelo e da experiência daqueles que estão tentando resolvê-lo. A solução obtida deve então ser traduzida para o problema real.

Para se construir o modelo de um problema, é necessário formulá-lo. Ainda seguindo Ackoff e Sasieni, deve-se determinar:

1. Quem toma a decisão;
2. Quais são os seus objetivos (a partir destas informações e de outros dados, estabelece-se uma medida de desempenho U , para avaliar as alternativas de ação);
3. Quais aspectos da situação estão sujeitos ao controle de quem toma a decisão (as variáveis controladas X_i) e dentro de que limites essas variáveis podem ser controladas (restrições);
4. Que outros aspectos do meio ambiente, envolvendo ou não seres humanos, podem afetar os resultados das escolhas disponíveis (as variáveis não-controladas Y_j).

Eles então colocam algumas maneiras de descobrir-se objetivos de uma organização. Para isso, classificam objetivos em dois tipos: retentivos e aquisitivos. Objetivos retentivos visam manter ou preservar recursos de valor (dinheiro, tempo, energia, equipamento, qualificações, etc) ou estados (conforto pessoal, segurança, estabilidade no emprego, etc.), estando geralmente associados às entradas do sistema. Já os objetivos aquisitivos visam obter recursos ou estados que a organização ou os tomadores de decisão não possuem, estando associados às saídas (produtos) do sistema. Recomendam que, para descobrir objetivos retentivos, pode-se apresentar soluções possíveis para o problema em análise. Caso os decisores descartem alguma solução, isto é um indício de que ela oculta restrições ou insumos importantes para a solução do problema. Além

disso, propõem o exame das medidas empregadas pela administração para avaliar o desempenho global da organização ou o desempenho individual das unidades em questão para identificar os objetivos associados. Ou então analisar quais foram os motivos que levaram a decisões anteriores.

Para identificar a estrutura do sistema, além das variáveis controladas e não-controladas, eles prescrevem o conhecimento detalhado do sistema-objeto. Uma maneira adequada de obtê-lo é através da construção de um fluxograma ou diagrama, que são modelos descritivos das operações da organização. Os indivíduos ou grupos que tomam as decisões e as informações de que dispõem também surgem desse exercício. A análise do sistema pode então ser executada da seguinte maneira:

1. Determinar quais necessidades e desejos externos à organização que ela procura satisfazer;
2. Determinar como estas necessidades ou desejos são comunicados à organização;
3. Determinar como a informação referente às necessidades são registradas e transmitidas.

Ackoff e Sasieni salientam que a análise do sistema e a construção do modelo interagem continuamente. Além disso, o diagrama serve para mostrar como o sistema opera de fato, e não como a administração pensa como ele opera.

Outra colocação interessante dos dois autores sobre objetivos é que, muitas vezes, as pessoas se contentam em atingir um determinado nível de desempenho, não exigindo a otimização do mesmo. No caso de haver de mais de um objetivo, pode-se otimizar um e satisfazer outro. Isto é comum, por exemplo, em problemas complexos como a localização industrial, onde podem ser usados modelos que minimizam um custo logístico total mas atendem um nível de serviço mínimo.

Vamos agora seguir a discussão de modelagem que está em Rivett (1980) e que tem muito em comum com a visão condensada acima, pois Ackoff e Rivett colaboraram longamente sobre o mesmo assunto. Após um breve histórico sobre o uso de modelos nas Ciências Naturais (principalmente Astronomia), Rivett dissecou em maior detalhe a anatomia de modelos matemáticos feita por Ackoff e Sasieni.

Rivett (1980, p.5-14) enfatiza que objetivos não podem ser tratados separadamente da formulação do modelo, pois a idéia de um modelo confunde-se com a idéia de uma função objetivo, ou seja, a expressão da utilidade do objetivo pretendido. Organizações geralmente tem pelo menos uma, possivelmente muitas, funções do tipo:

$$P = F(x_1, x_2, \dots, x_p; y_1, y_2, \dots, y_q),$$

onde P é uma medida de desempenho. Os diversos x_i são as variáveis controláveis ou de decisão, enquanto as y_j são as não-controláveis.

Uma maneira de unificar o modelo de modelos de Ackoff e Sasieni com o de Rivett seria considerar a utilidade U dos primeiros como um vetor p -dimensional. Uma "filhote" mais recente deste modelo tradicional é o centro de decisão usado na metodologia GRAI para projeto de sistemas integrados de manufatura (CIM- *computer aided manufacturing*), vide Tátray (1996).

Rivett faz uma interessante discussão sobre as variáveis controláveis. Adotando o paradigma organizacional da pirâmide clássica, ele comenta que há uma progressão de fatores controláveis à medida que move-se da base para o ápice (Figura 5.5). Ele parte do pressuposto que, num dado nível organizacional, os decisores desse nível reterão para si mesmos o conjunto de decisões formado pelos itens que eles consideram mais sensíveis, delegando para os decisores de níveis inferiores as parcelas menos sensíveis do seu trabalho. Esta delegação implica uma rápida degradação do controle quando se move para baixo na pirâmide, a partir do decisor original.

Ele comenta que uma decorrência desse pressuposto é que, à medida que se desce a pirâmide, as variáveis de decisão vão se tornando qualitativamente mais homogêneas e em menor número. Isto permite, nos níveis mais baixos, usar as mesmas unidades de medida. O inverso é verdadeiro: quando se vai na direção do topo, as variáveis de decisão vão se diversificando na sua natureza. Na prática, entretanto, esse crescimento da variedade é limitado pelos decisores, que costumam selecionar apenas algumas poucas variáveis consideradas importantes.

Conforme Rivett, a tarefa do decisor é prever ou estimar os y_j e então selecionar os x_i de tal forma que a utilidade é otimizada ou aceitável.

Comenta também que, geralmente, um primeiro enunciado do modelo tem forma qualitativa, como um diagrama ou fluxograma. A quantificação explícita é feita mais tarde.

Adaptado de Rivett (1980)

Figura 5.5 Pirâmide de decisão/control de Rivett

A seguir, Rivett faz uma análise dos diversos fatores de pressão sobre os decisores. Ele destaca uma série de interessados no desempenho da firma, a saber, a comunidade local, o país, os acionistas, os analistas financeiros (pois têm grande influência na opinião do mercado), os fornecedores, clientes e consumidores, os trabalhadores (profissionais e não-profissionais) e, finalmente, os rivais ou concorrentes. Todos eles vão influenciar os decisores e como estes fixam seus objetivos. Além disso, há a questão do decisor como indivíduo, pois este existe não apenas para servir à organização, mas também a si mesmo. A maioria dos executivos preocupa-se com sua carreira, e podem inclusive desenvolvê-la em outras organizações, pois habilidades administrativas são transferíveis. Objetivos individuais incluem desde preocupações básicas, como sobrevivência e segurança, até itens mais abstratos, como receita financeira e status. O grau de importância desses itens depende da ambição do indivíduo, e Rivett alerta para tomarmos cuidado com indivíduos que tentam torcer os objetivos organizacionais ou projetos de melhoria para satisfazer a si mesmos.

Ele então faz uma distinção entre objetivos, metas e critérios. Objetivos têm cunho organizacional e de longo prazo, podendo inclusive ser inatingíveis, como um ideal, mas devem ter uma medida de mérito associada. Metas são estados mensuráveis que deseja-se que a organização alcance em um período específico de tempo, sendo derivadas dos objetivos. Os critérios de desempenho são aquelas medidas usadas para

verificar o progresso na direção das metas. Rivett comenta que, muitas vezes, objetivos, metas e critérios são derivados e definidos por partes da organização sem referenciar-se entre si, gerando um tipo de "esquizofrenia ou neurose" organizacional. Além disso, é possível que haja conflitos entre eles. Mesmo quando não há conflito *a priori* na designação de responsabilidades entre partes da organização, a própria lógica da situação pode levar a instabilidades no processo de decisão. Para ilustrar este ponto, ele usa um exemplo devido a Ackoff. Suponhamos que o departamento de marketing está formulando uma estimativa de vendas como função do preço cobrado, conforme a curva ilustrada na Figura 5.6.

Se o critério de avaliação do marketing for o volume total de vendas, eles vão desejar comprar um lote suficiente para atender as vendas sem correr o risco de faltas. Assim, o pessoal de marketing tem uma curva de preço-quantidade mais otimista que o pessoal de compras. Agora, caso o pessoal de compras seja julgado pelo excesso de estoques, haverá uma situação instável. Se marketing definir o preço de venda $P1$, ele vai prever as vendas $Q1$. O pessoal de compras sabe que marketing é otimista, e assim vai pegar $P1$ e aplicar na sua curva, estimando uma quantidade menor $Q2$. Por sua vez, ao reparar que a quantidade comprada foi menor, marketing vai ajustar o preço para $P2$. E aí compras vai pedir $Q3$ e assim por diante, até o preço ser infinito e o lote zero (teoricamente, é claro). Este é um exemplo de retroalimentação em um ciclo positivo, ou seja, gerador de uma dinâmica instável (Figura 5.7). O autor viveu um exemplo de como uma loja de departamentos resolvia este dilema pela alocação de ambas as decisões para os compradores, que então podiam balancear ambas as variáveis de decisão dentro de sua restrição de obedecer o orçamento de vendas (que também era sua decisão, apesar de negociada com instâncias superiores). É uma típica solução Hegeliana de síntese em nível superior (conceitualmente falando, não sob o ponto de vista de hierarquia organizacional).

Adaptado de Rivett (1980)

Figura 5.6. Instabilidade causada pelo sistema de decisão

Adaptado de Rivett (1980)

Figura 5.7. Malha de realimentação positiva do exemplo

Rivett também alerta para a derivação isolada de critérios de desempenho para partes da organização, pois nem sempre sua agregação faz sentido quando aplicado à totalidade. Assim, a simples desagregação *top down* pode não garantir a coerência necessária. Gold (1973) e Muscat e Almeida (1988) dão um tratamento muito mais rigoroso ao assunto, ao tratar do desdobramento de indicadores de desempenho.

Outro comentário que ele faz diz respeito à separação entre variáveis controláveis e não-controláveis, que em muitos casos é bastante difícil e até impossível. Ela depende do ponto de vista empregado e também da nossa confiança em que elas sejam controláveis. Pode ser que seja conveniente modelar decisões tomadas em níveis inferiores como tão incontrolláveis como as forças da natureza. Isto é mais comum do que parece: em uma simulação de manufatura, por exemplo, pode-se considerar os tempos de preparação como uma variável aleatória que segue determinada distribuição, apesar deste tempo estar em princípio sob controle da supervisão. É mais simples considerá-la como uma variável não-controlável e usar a estatística para estimar seu valor.

Com relação às variáveis não-controláveis, deve-se ser capaz de estimá-las ou prever seus valores. Rivett (1980, p. 126-7) coloca duas questões importantes: a precisão e o horizonte de previsão. Como a única certeza sobre previsões é que elas sempre estarão erradas, o importante é saber quão erradas elas podem ser. Assim, qualquer modelo deve ser testado para saber sua sensibilidade a erros de previsão ou estimação de parâmetros. Esses testes podem seguir dois padrões, e de preferência ambos devem ser adotados: avaliar a influência dos erros na variação da solução obtida, ou seja, qual a robustez da solução, ou, dada uma solução, qual é o desvio do valor ótimo ocasionado pelos erros. Sobre o horizonte de previsão, além do corolário óbvio de que, quanto mais robusto o modelo, maior o horizonte permissível, tem-se a influência dos tempos de resposta às decisões efetuadas e do custo de reversibilidade das mesmas. Quanto maior o tempo de resposta ou implantação da decisão, maior deve ser seu horizonte. Da mesma forma, quanto maior o custo para reverter uma decisão, maior o horizonte visado. Rivett faz uma analogia com um navio que precisa de dez milhas para parar ou mudar significativamente de curso: é prudente que seu piloto consiga ver pelo menos dez milhas avante.

Com relação aos objetivos organizacionais, Rivett (1980, p. 148-56) fez uma pesquisa com companhias inglesas e constatou três objetivos básicos que apareciam repetidamente: sobrevivência, crescimento e maximização do bem-estar da

administração. Assim, qualquer esforço de modelagem deve considerar se esses objetivos precisam estar explicitamente tratados ou não. Uma ausência particularmente notada na lista acima foi a maximização de lucros.

Outro alerta que ele faz diz respeito à hipótese de que pessoas tem um conjunto de objetivos coerentes e que permanecem constantes no tempo. Isto, porém, é uma quimera, pois grupos de pessoas com lógica perfeitamente coerente podem quebrar a hipótese de transitividade da teoria da utilidade. E a constância de objetivos também é uma característica impossível para indivíduos, pois estes são sujeitos a uma contínua reavaliação, afora o problema da mudança de humores que afeta a todos nós.

O processo de definição de metas é considerado circular, pois elas devem ser viáveis. Para saber se elas são viáveis, um modelo do sistema em avaliação deve ser aplicado. Assim, modelos e metas podem ser iterados até sua convergência: restrições são revistas, parâmetros são reavaliados, estruturas novas são incorporadas.

Finalmente, Rivett (1980, p.165) enuncia uma tentativa de lei que chama de lei da condição de contorno:

"A solução ótima de um problema de decisão será tal que pelo menos algumas das restrições impostas ao decisor estão operando. Portanto, uma solução melhor é possível se tais restrições forem relaxadas. Em casos especiais pode ser que a reformulação das restrições implique que a pior solução possível sob as novas condições seja melhor que a melhor solução possível sob as anteriores. Pode ser mais sensato permitir que a administração encontre sua própria solução "ótima" sob restrições bem formuladas do que forçá-los a um ótimo desagradável sob as velhas restrições."

Tanto Ackoff e Sasieni quanto Rivett desenvolvem seus argumentos conforme o paradigma de consultor, ou como eles preferem chamar, cientistas da administração (*management scientists*).

5.3.2 Componentes de um modelo e interações entre modelos

Como visto anteriormente, qualquer modelo matemático de auxílio à decisão pode ser representado como:

$$I = f (D_i, Y_j),$$

onde I é o índice ou indicador de utilidade ou o valor do desempenho do sistema, D_i as variáveis de decisão ou variáveis que podem ser controladas, Y_j as variáveis (ou

constantes) que não podem ser controladas mas afetam I , e f o relacionamento entre U , D_i e Y_j . O conjunto de restrições limita os valores que as variáveis de decisão podem assumir. Vamos dizer então que as restrições podem ser representadas por:

$$D_i \in L, \forall i,$$

onde L é o conjunto onde D_i pode variar.

A medida de utilidade I deve ser um índice mensurável (função objetivo) e, via de regra, n -dimensional, pois deve expressar um consenso entre os diferentes *Weltanschauungen* dos diversos *stakeholders* da decisão em perspectiva. Está (ou deveria estar) atrelada aos objetivos ou metas daquele componente do sistema em particular. O objetivo ou meta pode ser do tipo otimizante, quando então deve-se vasculhar o espaço de soluções em busca da melhor alternativa, ou do tipo *satisficing*, ou seja, basta atender um certo nível de desempenho. Nesse caso, pode-se transformar esse valor desejado da utilidade em uma restrição para as variáveis de decisão, ou seja, pode-se *transformar objetivos em restrições*. Isto não é tão incomum. Por exemplo, em Logística é corriqueiro assumir nível de serviço como um desempenho a ser atendido dentro de um padrão mínimo (geralmente definido pelo ambiente competitivo) e não como algo a ser otimizado em conjunto com o custo operacional. Outra característica interessante é que a medida da utilidade pode variar de natureza dentro da mesma função conforme o seu nível na hierarquia de decisões. Isto é decorrência tanto da desagregação das variáveis de decisão como da diminuição do horizonte de planejamento quando se vai num sentido top down. Por exemplo, pode ser interessante em um dado horizonte de planejamento maximizar o lucro bruto, ou seja, a diferença entre receita e custo. Em um nível inferior, pode ser que a compra de matéria-prima (que tem preços de aquisição diferentes) não seja uma variável de decisão, e aí o objetivo passa a ser minimizar custos operacionais. Em um nível mais inferior, a complexidade de um modelo otimizante pode ser excessiva e aí pode-se assumir como meta a minimização de desvios de quantidades programadas por unidade de tempo, ou seja, o objetivo é viabilizar as decisões de nível superior. Evidentemente, pode acontecer da natureza da utilidade não mudar no sentido descendente, sendo ela apenas desagregada ou desdobrada.

Já as variáveis de decisão D_i são aquelas que pode-se decidir que valor vão adotar, de maneira a atender os objetivos daquele modelo. Uma decisão pode ser então definida como a fixação de um conjunto de valores D_i' para o problema de decisão. Assim, a definição do que pode ser considerado uma variável de decisão está intimamente ligada a questões de política e poder organizacional, com suas conotações de coerção, persuasão e negociação. Além disso, elas devem atuar sobre o processo que nos

interessa, alterando o desempenho do mesmo conforme seu valor definido. Assim, sua definição também depende do modelo (intuitivo ou formal) que o conjunto de decisores tem do fenômeno (questão cognitiva). O desenvolvimento do processo de modelagem permitirá saber quais delas são relevantes e quais não são, para a finalidade que se apresenta (a navalha de Occam).

A definição do que é uma variável de decisão também depende do horizonte de planejamento e do período de revisão da decisão. No longo prazo, em princípio, tudo pode ser variável; no curto prazo, nossos graus de liberdade se restringem bastante. Além disso, outro fator que auxilia a identificar uma variável e seu nível de decisão é a sua *reversibilidade*. A reversibilidade de uma decisão está associada, evidentemente, ao tempo que ela demora para ser implementada e ao custo de revisão da mesma. Por exemplo, podemos "trocar" variáveis de decisão por restrições, conforme o horizonte de planejamento/período de revisão: em um horizonte curto, a capacidade de máquinas é uma restrição; no horizonte mais longo, ela é uma variável.

Além disso, conforme o grau de interdependência com outras funções, pode ser conveniente ter ação sobre variáveis que são em princípio controladas por essas outras funções. Isto pode significar a conveniência de mudar mecanismos de coordenação e, portanto, os modelos de decisão correntes. Surge assim, novamente, uma interface entre aspectos operacionais e de política organizacional.

Associada a esta questão de interdependência, uma vez definida a decisão, ou seja, o conjunto de valores Di' , esta vai configurar uma restrição para funções de decisão inferiores e mesmo para outras funções no mesmo nível. Nesse último caso, pode ser que ela signifique uma variável não-controlável ou um parâmetro para outra. Por exemplo, o preço de venda de um produto é definido pela função de marketing, devendo ser usada como uma constante pelo pessoal de distribuição física. Além disso, muitas vezes, variáveis de decisão em níveis inferiores são considerados em modelos de níveis superiores como parâmetros ou constantes. Por exemplo, o tempo de set up de uma máquina é uma variável (parcialmente) controlável a nível de *expediting*, mas pode ser assumida como uma distribuição de probabilidades (parâmetro ou variável não-controlável) em um modelo de análise de capacidade (simulação) de nível superior.

As variáveis não-controláveis Y_j estão associadas a imposições externas que podem variar (como demandas, carga prevista, etc.) ou são constantes e parâmetros do sistema. Para determiná-las temos então problemas de estimação e previsão. Pode ser que sejam

variáveis de decisão em outros componentes do sistema de decisão, em qualquer nível da hierarquia, como discutido acima.

A estrutura f do modelo exprime as relações de causa e efeito, ou seja, como as variáveis e utilidade se relacionam. Um dos trabalhos mais difíceis em modelagem é justamente encontrar essa estrutura, mas sem ela não existe o modelo. É extremamente sensível a risco do Tipo I.

Finalmente, temos o conjunto de limitantes ou restrições (L). Restrições podem ser impostas pelo ambiente (como legislação, normas, tecnologia, fornecedores, mercados, etc), por uma decisão de nível superior (hierarquia) ou de mesmo nível (regime de competência), ou por questões estruturais (tecnologia do sistema de operação, como fluxos, disponibilidades, capacidades, etc., ou seja, as interdependências físicas). Podem também significar obediência a um padrão mínimo ou máximo de desempenho (fixação da utilidade), como já discutido. Reparar que restrições estruturais significam uma imposição *bottom up*. Assim, restrições dependem do nível, da decisão superior e do horizonte de planejamento-período de revisão.

Outros fatores importantes na definição de um modelo são seu horizonte de planejamento, período de revisão (se não for *ad hoc*) e unidade de tempo empregada, que situa a decisão associada dentro do modelo topológico. Devem ser explicitamente consideradas pois afetam grandemente a construção do modelo.

Podemos assim montar um modelo de um modelo, formado por 8 componentes ou características básicas: horizonte de planejamento H , período de revisão P , *stakeholders* e seus objetivos/metast S , utilidade I , variáveis de decisão D , variáveis não-controláveis Y , estrutura f e restrições ou limitantes L . Como visto anteriormente, modelos matemáticos de decisão também são modelos do sistema objeto. Para tal, devem também ter as características de um sistema, ou seja, são sistemas por si mesmos, formando "pequenas ontologias". Não devemos esquecer que eles são representações do sistema objeto, e não o sistema em si.

Uma representação esquemática de um modelo está na Figura 5.8.

H = horizonte de planejamento

P = período de revisão

O/M = objetivos/metapressos expressos por S

S = grupo de interessados (*stakeholders*)

I = índice de desempenho ou utilidade

f = estrutura do modelo

D = variáveis de decisão

Y = variáveis não-controladas

L = restrições ou limitantes

Elaborado pelo autor

Figura 5.8. Representação simplificada de um modelo de decisão

Como qualquer sistema aberto, um modelo matemático é formado por componentes que interagem entre si e com o ambiente. As interações internas (intra-modelo) estão representadas na Tabela 5.2, a seguir; as interações com outros modelos (inter-modelos) e o meio ambiente (dados, sistema de operações) estão esquematizadas na Figura 5.9. Tais interações foram discutidas logo acima na análise de cada componente do modelo.

Tabela 5.2. Interações dentro do mesmo modelo (intra-modelos)

Componente/fator	Interação	Componente	Observação
<i>I</i>	$\Leftrightarrow$	L	troca entre f.o. e restrição
<i>D</i>	$\Rightarrow$	I	a natureza da v.d. afeta a f.o.
conjunto de decisores S	$\Rightarrow$	D	poder político afeta escolha das v.d.
cognição de S	$\Rightarrow$	D, f	fatores potenciais/relevantes
<i>H/P</i>	$\Rightarrow$	D	possibilidade de alterar; reversibilidade da decisão
<i>f</i>	$\Rightarrow$	L	tecnologia de processo, etc
ambiente	$\Rightarrow$	Y, L	imposições externas

1. Desdobramento de objetivos (coerência)
2. Restrições em um nível pode ser V.D. em outro ($> H = > > G.L.$)
3. Decisões em um nível são restrições em outros
4. Decisões em um nível são parâmetros ou restrições em outros
5. Decisões em um nível inferior podem ser estrutura ou restrição
6. Coerência de objetivos (horizontal)

Elaborado pelo autor

Figura 5.9. Interações inter-modelos e com o ambiente

A Tabela 5.2 e as figuras 5.8 e 5.9 resumem um modelo operacional de um modelo de decisão e suas interações, ou seja, representam uma *concepção de um componente ou subsistema* do sistema de decisão de uma organização.

Uma vez estabelecido o modelo de um modelo, podemos agora proceder à discussão de como usá-lo no projeto da base de modelos.

5.3.3 Modelos para o projeto da base de modelos: o proto-modelo ou módulo de decisão

Até que nível de detalhe para cada modelo individual devemos chegar no projeto da base de modelos? A ênfase, como foi dita, está na minimização de sub-ótimos, no ciclo de aprendizado e na melhoria do processo de decisão, e não no desenvolvimento de modelos individuais. Desta maneira, devemos avançar no projeto da base de modelos apenas o suficiente para identificar boas oportunidades de modelagem (boas nas ênfases citadas), ou seja, até a identificação de problemas e sua estruturação prévia. Conforme o modelo da escada de abstração, isso significa que trabalharemos até o terceiro degrau, ou seja, monta-se um modelo basicamente textual e icônico (diagramático), que: a) permita a comunicação e a participação de não-especialistas, b) contenha suficiente detalhe para sua discussão (níveis de abstração) e integração com outros modelos e decisões e, c) ainda não tenha sido reduzido pela incorporação de hipóteses matemáticas necessárias para a resolução (que acontece no salto para o quarto degrau e que pressupõe o conhecimento técnico, que pode ser de um especialista ou de um *self starter*).

Tal proposição é coerente com o nível organizacional de Davis (1982), isto é, o nível de plano diretor de informática, ao invés do nível individual (aplicações), como visto anteriormente. Deve-se então detalhar os módulos individuais a nível de sua *especificação* para formar uma carteira de aplicativos, ou seja, modelos.

Para atingir tais objetivos, será usada uma simplificação no modelo de modelo apresentado no sub-ítem anterior (Figura 5.8), que consiste na "eliminação" da sua estrutura *f*, ou seja, ela será substituída por uma estrutura intuitiva pertencente ao próprios decisores e outros *stakeholders* que participarão do projeto.

Com isso, obteremos um *proto-modelo* ou *módulo de decisão* que será composto pelo conjunto de *stakeholders* e suas metas/objetivos *S*, as variáveis não-controláveis *Y*, o conjunto de limitantes ou restrições *L*, o período de revisão *P*, o horizonte de planejamento *H*, o indicador de utilidade ou desempenho *I* e as variáveis de decisão *D*, que nos dão a abreviatura *SYLPHID*, pequeno silfo (Figura 5.10).

O módulo de decisão pode efetuar todas as interações inter-modelos e com o ambiente que um modelo acabado pode fazer. Evidentemente, como ele não passou por uma segunda redução para torná-lo suficientemente operacional e formalizado (no sentido de poder-se empregar um algoritmo ou método matemático para sua solução), uma série de características e interações irrelevantes ou auto-correlacionadas vão permanecer no mesmo, o que não constitui um problema. Caso se deseje diminuir o número de interações analisadas, dependeremos do conhecimento da equipe de projeto (e dos decisores participantes) para discernir quais são potencialmente significativos para seu emprego na base de modelos.

Elaborado pelo autor

Figura 5.10. Modelo de decisão (MD) e seu conteúdo: SYLPHID

A determinação dos módulos de decisão e seu posicionamento em uma matriz topológica vão permitir-nos analisar suas interações e, portanto, diagnosticar possíveis problemas de sub-otimização, incoerências ou integração no sistema de decisões. Além disso, a análise pode oferecer possíveis soluções para discrepâncias identificadas. Diversas ações são possíveis, como agregar ou desdobrar módulos de decisão, realinhar horizontes de planejamento, períodos de revisão ou níveis de agregação de variáveis, etc. Alguns exemplos de problemas, diagnósticos e soluções pertinentes estão desenvolvidos a seguir. Eles foram colocados como ilustrações, não havendo a pretensão de elaborar uma lista exaustiva.

Como um primeiro exemplo, dois módulos de decisão podem ter uma interdependência recíproca que fica clara quando se verifica que suas variáveis de decisão geram restrições ou parâmetros uns para os outros em um processo de retroalimentação positiva e rápida, pois têm períodos de revisão da decisão muito pequenos. É o caso do exemplo de Ackoff e Sasieni do processo divergente devido a um loop positivo entre preço unitário e lote de compra, decididos respectivamente pelos setores de marketing e suprimentos. Ele pode ser resolvido pela introdução de um ou mais novos fatores que tornem a malha negativa e tenda a estabilizar seu comportamento. Para isso, a criação de uma síntese pela agregação das duas decisões em um único módulo (para que os tradeoffs fiquem circunscritos nesse subsistema) pode ser uma solução (ver Figura 5.11.a).

Tipo de Interação	Ação Possível
<p>a) <i>loop</i> positivo (interdependência recíproca):</p>	Agregar MDj e MDk
<p>b) gerar restrições ativas para outro MD</p>	Agregar MDj e MDk
<p>c) variância induzida por má agregação</p> <p>$P_j H_j < P_k H_k$</p>	Realinhar H _j e P _j
<p>d) conflito de objetivos</p> <p>seqüência até I_k é $\ominus$</p>	Agregar MDj e MDk
<p>e) interações com decisores no ambiente</p> <p>influência muito forte</p>	Agregar decisor externo ao sistema (ou vice-versa!)

Figura 5.11. Problemas nas interações entre módulos

Figura 5.11. Problemas nas iterações entre módulos

Assim, a análise das interações permite a descoberta de *tradeoffs* entre diversos módulos de decisão (que são decorrência de *tradeoffs* entre as suas respectivas decisões). Percebe-se, desta maneira, outros três tipos de interação que expressam a existência de *tradeoffs* entre decisões e, portanto, a necessidade de melhor tratá-las: a) gerar restrições ativas para outro módulo de decisão; b) induzir variância (ruído) excessiva para estimação dos parâmetros (Y) do outro módulo, que então não consegue tratar a decisão a contento no seu período de revisão; e c) objetivos dos dois módulos têm algum tipo de conflito (este último item pode não ser descoberto com o simples esclarecimento da relação inter-modelos, mas sim quando ambos tentam agir sobre a *mesma variável de decisão*).

Gerar restrições ativas para outros módulos de decisão não é necessariamente algo ruim. É o que acontece entre dois módulos de hierarquia diferente na mesma função (coluna no modelo topológico): o de maior nível vai gerar decisões que são restrições para o de menor nível. Entretanto, pode acontecer que ele afete negativamente módulos de outras funções no mesmo horizonte de planejamento. Por exemplo, a definição de capacidade de produção é uma variável de decisão da função de manufatura que pode afetar negativamente a função de vendas, que pode estar numa boa fase (mercado comprador). Evidentemente, pode acontecer de outras funções tomarem decisões inviáveis por desconhecem ou avaliarem erradamente as restrições geradas pela função analisada. O diagnóstico desta classe de problemas é feita pela verificação das interações entre módulos (seta 4 na Figura 5.9). A solução pode passar pela eliminação da restrição (como proposto por Rivett, 1980, p.165), na negociação entre os stakeholders dos módulos envolvidos ou pela agregação dos módulos em um novo módulo de decisão (Figura 5.11.b).

Com relação à geração de variância, pode ocorrer que ciclos de revisão entre dois módulos (geralmente de funções diferentes) sejam muito diferentes, ocasionando problemas para um deles. Por exemplo, um orçamento mensal (previsão) de vendas pode ser revisado semanalmente, mas o cronograma de produção tem menos flexibilidade pois depende da propagação de uma decisão ao longo de uma cadeia de suprimento que pode ter um lead time superior ao período de revisão de vendas. Assim, a função de manufatura pode não ter a agilidade necessária para atender oscilações geradas pelo modelo de planejamento de vendas (e não pelo mercado); uma solução tradicional é elevar os níveis de estoques de produtos acabados. Nesse caso específico, temos também um problema associado ao nível de agregação das variáveis: o pessoal de vendas calcula o valor do orçamento como preço x quantidade para um determinado conjunto de itens ($R = \sum p_i q_i$, i = item específico), sendo que a estimativa dos q_i é então

passada para os módulos de produção. Porém, à medida que se aproxima a data de avaliação do cumprimento da meta de vendas (R, já fixada), caso haja necessidade de incrementar a venda de outros itens, ou seja, mudar os valores dos q_i , a função de vendas pode fazê-lo sem grandes problemas pois é cobrada pela *medida agregada*. Assim, quando a revisão é feita, o módulo de produção pode ter problemas para atender esta mudança de planos. O diagnóstico desta outra categoria de problemas também pode ser feito pela análise das interações entre os módulos (seta 4 na Figura 5.9). Possíveis tratamentos para o problema estão na Figura 5.11.c.

Podemos ter *conflitos entre os módulos de decisão*. Isto vai acontecer se ambos tiverem pelo menos uma variável comum que tem influência oposta nos seus objetivos, de forma que uma ação que melhora o desempenho de uma função prejudica o desempenho da outra. Há dois casos possíveis: 1) a variável é controlável para um e não-controlável para o outro; ou, 2) a variável é controlável por ambos. O primeiro caso é mais comum entre módulos de funções diferentes. Por exemplo, a função de marketing, se avaliada por volume de vendas, considera estoques altos importantes, evitando possíveis faltas, mas a função de finanças não, pois prejudica o retorno sobre o investimento. A solução pode novamente ser uma agregação (síntese de maior nível) dos objetivos em um objetivo que abranja ambos os índices em um índice global. Para o diagnóstico, portanto, além de recorrer à identificação das interações (seta 4 na Figura 5.9), há necessidade de saber o "sinal" das influências das variáveis para verificar a existência desse tradeoff. Já o segundo caso é pode acontecer quando os módulos pertencem à mesma função (corte vertical do modelo topológico) mas tem decisores diferentes. Por exemplo, o desdobramento descuidado dos objetivos e metas de hierarquias superiores pode induzir este problema (seta 1 da Figura 5.9). Alguns anos atrás, o autor testemunhou esse fato em uma loja de departamentos, onde os vendedores de cada seção eram avaliados e comissionados pela receita auferida (venda bruta), enquanto que os chefes de seção (seus superiores hierárquicos) recebiam uma comissão baseada na margem bruta (preço de venda, decidido centralizadamente, menos custo de compra vezes a quantidade). Aparentemente, ambos os indicadores (venda e margem) são coerentes (isto é, variam no mesmo sentido). Entretanto, para incentivar um maior volume de clientes na loja, muitos itens (os mais populares) tinham margens negativas (na época da inflação elevada, esse prejuízo era compensado pelo *float* gerado, pois as vendas eram à vista e o pagamento dos fornecedores à prazo). Assim, vendedores podiam gerar grande volume de vendas e receber grandes comissões, ao mesmo tempo que seus supervisores não recebiam nada! Evidentemente, isto gerava grande número de atritos, pois os supervisores privilegiavam itens de maior margem nas áreas nobres (de maior circulação) da loja, enquanto que seus vendedores (que efetuavam a reposição

nas prateleiras) faziam o contrário. Possíveis soluções estão apresentadas na Figura 5.11.d.

Finalmente, não devemos esquecer que o *ambiente externo* ao sistema focalizado pode afetar os módulos de decisão internos através das suas variáveis não-controláveis ou restrições (Tabela 5.2. e Figura 5.9). Pode acontecer desta influência ser tão importante que possa levar à iniciativa de tentar englobar os *stakeholders* externos a ela associados no sistema de decisão, isto é, *ampliar* o sistema de decisão (por qualquer meio, persuasão, intimidação, negociação, compra, etc.). Isto só será possível se essas influências externas forem *humanas* e não naturais (Figura 5.11.d).

5.4 Requisitos para uma metodologia

A partir das discussões anteriores pode-se montar um conjunto de requisitos para uma metodologia de projeto da base de modelos. A idéia, inspirada em Davis (1982), é que podem ser definidos dois níveis para se fazer isto: um nível organizacional (sistêmico), agregado, que define uma estrutura global do sistema de decisão, e um nível de modelos individuais, onde estes são detalhados e desenvolvidos. Para o desenvolvimento dos modelos individuais, os paradigmas tradicionais poderiam ser empregados. Mas, a nível organizacional, o produto da aplicação da metodologia a ser proposta deve ser um plano diretor de modelos, que:

- define uma estrutura ou arquitetura global de modelos de decisão;
- define uma carteira de modelos que apoiam as diversas decisões;
- estabelece fronteiras claras e bem definidas entre os diversos modelos individuais, que vão interagir como componentes dentro do sistema maior (propriedades emergentes);
- especifica o desenvolvimento ordenado de modelos baseado em prioridades organizacionais e a seqüência lógica de desenvolvimento;
- considera o uso de ciclos de aprendizagem na sua implantação e revisão.

Novamente inspirando-se em Davis (1982), podemos também listar os requisitos para a metodologia. Ela deve:

- auxiliar a restringir e estruturar o espaço do problema (sistema de decisão);
- auxiliar na busca eficiente dentro do espaço do problema;
- ajudar a estabelecer necessidades de modelagem que não podem ser deduzidas por ancoragem e ajuste, além de superar limitações de memória de curto prazo;

- auxiliar na superação de vícios como curto prazo, materialidade e amostras não-significativas.

Além disso, temos que considerar o tratamento dos riscos tipo I, II e IV (discutidos no item 2.2). Deve-se:

- considerar as limitações da natureza da modelagem matemática (os pressupostos);
- minimizar a sub-otimização decorrente de se ter modelos isolados, inclusive auxiliando a encontrar e verificar *tradeoffs* escondidos ou desconhecidos (verticais e horizontais);
- considerar a implantação e o uso de modelos como processos de inovação na tecnologia de decisão.

Este último item pode ser subdividido nos fatores contextuais de ciclo de vida, frequência de decisão, estágio tecnológico, integração com outros sistemas de informação e de decisão.

A metodologia deve ser suficientemente flexível para permitir o uso de métodos, ferramentas e escalas diferentes, adequados às diversas situações.

6 A METODOLOGIA DE PROJETO

Recordando, a metodologia para o planejamento e o projeto da base de modelos quantitativos de organizações objetiva tratar três questões diferentes mas interligadas:

1. garantir a integridade sistêmica das decisões apoiadas pelos modelos, ou seja, evitar ou minimizar sub-otimizações;
2. identificar e potencializar oportunidades de modelagem na organização;
3. considerar uma dimensão de tempo (evolução da tecnologia de decisão) que se traduz em maior robustez de implantação (minimização de risco de implantação) e apoio ao aprendizado organizacional

Para tanto, após definir o sistema objeto, a metodologia passa pelas seguintes etapas:

1. decompor o sistema de decisão em suas unidades componentes (módulos de decisão), isto é, montar um modelo topológico;
2. revisar a coerência inter-módulos e, se necessário, agregá-los ou decompô-los em novos módulos de decisão, de forma coerente (minimizar sub-ótimos);
3. desenvolver uma trajetória tecnológica para cada novo módulo de decisão (que será um *cluster* de decisões), onde modelos matemáticos podem ser inseridos;
4. reintegrar os módulos de decisão em um novo modelo topológico (plano diretor de modelos) e voltar a 2., até convergir.

A necessidade das iterações advém de uma contradição básica: sistemas em princípio são entidades indivisíveis (pois senão não podem ser considerados como sistemas ou um todo), mas para trabalhar ou intervir em sistemas complicados é necessário dividi-los em partes, perdendo-se a característica sistêmica (visão do todo). O método então alterna ciclicamente esforços *top-down* com trabalhos *bottom-up*; nestes últimos, verifica-se a coerência das ações individuais necessárias ao reagregar-se o todo.

Uma representação da metodologia proposta para projeto e planejamento da base de modelos quantitativos está na Figura 6.1 abaixo:

Cada ciclo da espiral ou da metodologia passa por 6 fases, que estão detalhadas mais à frente:

1. Definir limites do sistema a ser aperfeiçoado
2. Definir um modelo do sistema de decisões
3. Revisar o modelo do sistema de decisões
4. Desenvolver caminhos evolutivos para os módulos individuais

Figura 6.1. A espiral de projeto da base de modelos quânticos

5. Integrar os diversos caminhos evolutivos em um plano diretor
6. Definir o plano diretor de modelagem e voltar a 1.

O uso da espiral para representar o processo de definição do planejamento de modelagem torna explícito que está-se trabalhando em um *contexto de descoberta* e não de *justificativa* (Morris, 1967), isto é, escolhas erradas poderão ser revistas posteriormente. Assim, a metodologia contém a possibilidade de erros, valendo-se então da experiência acumulada para rever a escolha feita e fazer nova iteração, seguir novo caminho. A ansiedade gerada pela possibilidade de falha torna-se melhor administrável por este processo de revisões sucessivas.

O caráter iterativo do desenvolvimento do projeto, enfatizado pela figura da espiral, tem como critério de parada a diferença medida na etapa j (raio j da espiral) entre a iteração atual i e a anterior ($i-1$): caso ela seja menor que um certo "valor-limite", ou seja, os sistemas de decisão em i e ($i-1$) virtualmente coincidem, pode-se parar o processo e o plano/projeto está pronto. Basicamente, nessa parada o sistema no ciclo i deverá ter o mesmo escopo (fronteiras), os mesmos componentes, módulos de decisão, objetivos/metastas e conjunto de *stakeholders* da iteração anterior. O sistema final pode ter abrangência tanto maior como menor que o sistema inicial do estágio zero: o

fundamental é que não seja necessário reiterar o processo. Não há, em princípio, um critério claro para definir qual "resíduo" sistêmico é compatível com a aproximação desejada: o bom-senso da equipe deve nortear essa decisão. Pode-se também decidir iterar até a convergência completa, o que poderá aumentar o número de iterações.

Além disso, o processo iterativo, com a análise da coerência inter-módulos de decisão em cada ciclo, permite utilizar uma estratégia de ancoragem, ou seja, partir do sistema de decisão atual, mesmo que este esteja incoerente, desintegrado e incompleto, sem prejudicar a qualidade do produto final. Não há assim necessidade de partir da hipótese de um processo de decisão já adequado: o sistema original serve como um protótipo. Novamente se inspirando em Davis (1982), existe aqui o uso híbrido de uma técnica de síntese com outra baseada em prototipificação, com as vantagens de ambas. A metodologia serve concomitantemente como ferramenta de diagnóstico e de prognóstico.

Seu caráter iterativo também possibilita usar-se uma estratégia de expansão para a construção da base de modelos (Figura 6.2). Pode-se começar com um sistema de decisão e operações mais restrito e, à medida que vai-se aprofundando o conhecimento do processo, dos *tradeoffs*, dos interessados (*stakeholders*) e das restrições impostas pelo ambiente assumido na etapa ($i-1$), pode-se então ir reavaliando condições políticas (possibilidade de obter-se uma posição unitária ou consensual, básica para o uso de modelos quantitativos, e da disponibilidade de recursos para o projeto) para ampliação do sistema-objeto na etapa i . O processo é convergente porque em alguma iteração a disponibilidade de recursos (que é finita) se esgota, ou seja, não é possível fazer o sistema-objeto crescer indefinidamente. Isto decorre do poder limitado dos "projetistas" da base de modelos.

Um corolário desta discussão é que, ao usar esta metodologia, o sistema pode crescer até o limite político do "grupo de projetistas".

A metodologia tem caráter geral, podendo ser aplicada em sistemas de decisão de qualquer escala ou natureza. Pode-se trabalhar com ela a nível de funções ou de processos isolados, mas, nesses casos, muito do seu poder será desperdiçado. Ela age como uma extensão dos paradigmas tradicionais de desenvolvimento de modelos, que devem ser empregados para os diversos modelos individuais na parte executiva do plano diretor de modelagem. Naturalmente, algumas adaptações podem ser feitas nos paradigmas tradicionais para permitir uma melhor seleção e implantação de modelos através de critérios técnicos e contextuais (Yoshizaki e Plonski, 1995).

Elaborado pelo autor

Figura 6.2. Estratégias de expansão para construir a base de modelos

Vamos agora tratar cada etapa com uma discussão mais aprofundada.

6.1 Definir limites do sistema

O primeiro e fundamental passo é definir precisamente o sistema de decisão no qual a base de modelos vai estar embutida. Checkland e Scholes (1990) comentam que a viabilidade político-cultural é um fator que afeta fortemente a escolha das fronteiras de um sistema. A identificação dos *stakeholders* e seus *Weltanschauungen* torna-se fundamental, principalmente a identificação de quem teria poder de veto (o *owner* do CATWOE, ou dono do sistema) sobre o desenvolvimento do plano de modelagem. Assim, a delimitação do sistema de decisão está associada à definição dos participantes ativos (decisores) do projeto: a união de suas áreas de responsabilidade definem o sistema a ser focado.

Naturalmente, pode acontecer que a capacidade de intervenção política (basicamente a capacidade de dispor dos recursos do sistema de operação e de decisão, que é função do conjunto de decisores comprometidos) não seja suficiente para atuar sobre todo o sistema de operação; nesse caso, devemos atuar apenas sobre aquilo que for de nossa alçada. Como já foi dito alhures, a política (mesmo a política organizacional) é a arte do

possível. Além do mais, o dono do sistema pode limitar o escopo do projeto de forma arbitrária. Esse primeiro passo crucial é então a definição do sistema pela composição do conjunto de *stakeholders* mais importantes.

Conforme Beer (1966, p. 242-43), a definição de um sistema é um ato de reconhecimento mental: "Um sistema não é algo dado pela natureza, mas algo definido pela inteligência...Parece haver três estágios para se reconhecer um sistema...Devemos reconhecer relações particulares que estão em realce: isto transforma uma mera coleção em algo que pode ser chamado de montagem. Em segundo lugar, detectamos um padrão no conjunto de relações em questão: isto transforma a montagem em uma montagem sistematicamente arranjada. Terceiro, percebemos um propósito servido por este arranjo: e temos *um* sistema...Selecionamos, de um número infinito de relações entre coisas, um conjunto que, devido a coerência, padrão e propósito, permite uma interpretação de algo que, de outra maneira, seria uma cavalgada sem sentido de eventos arbitrários."

Com a determinação dos donos do processo ou sistema e dos demais *stakeholders* podemos isolar o sistema de operações controlado pelos mesmos. A identificação do sistema físico de operações vai permitir por sua vez encontrar o restante da superestrutura formada pelas diversas funções de decisão que devem compor o sistema de decisão que o controla e, portanto, verificar se alguma função, decisor ou outro *stakeholder* importante foi esquecido.

O sistema assim definido pode ser pequeno (uma única função de decisão), grande (como todo um processo em uma empresa), ou muito grande (um esforço que englobe toda a organização, ou mesmo toda uma cadeia de empresas, como sistemas de gestão de cadeia de suprimentos), dependendo do rol de decisores que inicialmente está tomando parte do processo de projeto da base de modelos. Entretanto, caso o escopo inicial tenha sido muito estreito, a própria metodologia tem condições de indicar para onde orientar o crescimento do sistema de decisão enfocado. Por esta razão o ciclo iterativo nos obriga a revisitar a etapa de definição do sistema pelo menos uma vez.

Quais componentes devem fazer parte do sistema? Quais relações? Quem são os *stakeholders*? A finalidade deste exercício é preparar um plano diretor para montagem de uma base de modelos quantitativos que possam auxiliar à *gestão do sistema em foco*, ou seja, tem caráter pragmático. Um problema que pode surgir é definir-se um sistema muito abrangente ou muito restrito, o que aumentaria, em princípio, o número de iterações necessárias. Assim, a definição inicial (ponto zero) deve ser feita de maneira

especialmente cuidadosa. Mas, além das indicações fornecidas por cânones como Churchman (1971), que técnicas, conceitos ou instrumentos utilizar?

A "lei da variedade requirida" (Beer, 1966) pode auxiliar nesta tarefa. O sistema de decisão atua como um sistema de controle para o sistema a ser administrado e deve ser capaz de gerar tanta variedade como o ambiente e o sistema físico para poder controlar a situação. Podemos dizer que deve haver um balanceamento entre a complexidade da situação e a capacidade de gerar complexidade no sistema de controle.

Assim, o sistema de decisão do sistema deve ter suficiente variedade para lidar com a complexidade da situação. Por exemplo, a quantidade de diferentes *Weltanschauungen* devida a diferentes *stakeholders* é um fator que incrementa a complexidade. Mas se for política e culturalmente possível comprometer esses *stakeholders* no sistema de decisão, sua capacidade de tratar a variedade vai incrementar na mesma proporção. Na prática isto significa aumentar o sistema. Um fator que impede o crescimento *ad infinitum* do sistema é a própria disponibilidade de recursos, que, como já foi dito, acaba impondo limites práticos para tal.

Deve, portanto, haver um balanceamento entre a complexidade total percebida do sistema (que é a combinação da complexidade estrutural e social) e a capacidade do sub-sistema de decisão tratar esta complexidade. Esta última depende então da variedade interna de *stakeholders*, metas e objetivos, *Weltanschauungen*, questões políticas, disponibilidade e variedade de recursos, capacidade técnica, experiência e contexto social.

A escolha da técnica a ser usada nesta fase vai depender bastante das condições iniciais do projeto. No caso da decisão de fronteiras ser prerrogativa do executivo ou grupo de executivos responsáveis pelo projeto, técnicas como entrevistas e posterior consolidação podem ser empregadas, desde que os mesmos tenham considerável conhecimento do sistema de operações e de decisão. Caso o clima organizacional permita, técnicas participativas como *brainstorming*, grupo nominal, etc, podem ser utilizadas. No caso do grau de complexidade cultural e técnica ser elevada, incluindo pequena experiência do grupo executivo, uma técnica *soft* como o SSM pode ser empregada.

6.2 Definir um modelo do sistema de decisões

Agora o sistema e o processo de decisão devem ser formalmente descritos para permitir sua análise. Muitos tipos de formalismos padronizados de descrição (ou adaptações dos mesmos) poderiam ser empregados aqui: fluxogramas, DFD's (Yourdon, 1989), IDEF0, etc. Entretanto, existem muitas dimensões relevantes para serem tratadas, implicando numa topologia complexa que os formalismos citados não conseguiriam tratar de forma adequada.

Para realizar a descrição do sistema de decisão será usada uma adaptação no modelo topológico (item 4.2), onde vai-se acrescentar colunas à esquerda e à direita das funções internas para representar o meio ambiente externo (entradas e saídas). Esta adaptação foi inspirada pela matriz GRAI (Tátray, 1996), aparentada do modelo topológico, que utiliza uma representação estática de entradas e saídas de informação. Cada célula do modelo topológico vai conter um certo número de módulos de decisão (vide item 5.3). Certos módulos podem inclusive estender-se por mais de uma função. Um exemplo geral da matriz para um sistema logístico está na figura 6.3 abaixo.

As colunas associadas aos fatores exógenos servem para identificar e localizar *stakeholders* externos que permitam "melhorar" ou "viabilizar" a operação do sistema. Por exemplo, um *stakeholder* externo para o sistema de distribuição física pode ser a função financeira, que estabelece limites de investimento para a instalação de novas centrais de distribuição. Caso sua interação com módulos de decisão internos seja muito forte, talvez seja conveniente colocar os decisores financeiros dentro do sistema de decisão. Esta operação de revisão do sistema é objeto da fase seguinte, onde se definem os novos módulos de decisão.

Essa adaptação na matriz topológica original permite, destarte, agregar ou expulsar *stakeholders* e módulos de decisão no sistema original, dando a capacidade de buscar ou descartar novos decisores. Deve-se notar que isto só é possível quando esses elementos exógenos são *humanos* ou *artificiais* (como um programa de computador), ou seja, é possível influenciá-los de alguma maneira; elementos naturais não fazem parte deste rol.

Elaborado pelo autor

Figura 6.3. Descrição topológica revisada de um sistema logístico

As células acondicionam seus respectivos módulos de decisão, que podem ser caracterizados pela abreviatura SYLPHID vista no capítulo anterior. Uma célula é definida pela intersecção entre um nível de decisão e uma função (geralmente derivada do sistema físico).

A definição dos níveis de decisão só poderá acontecer após a enumeração dos diversos horizontes de planejamento e períodos de revisão para cada módulo de decisão (SYLPHID's). Decisões do tipo *ad hoc* tem período de revisão eventual, sendo que a definição de um ciclo mínimo pode ser parte do projeto do seu módulo na fase 5 da metodologia. Os três níveis da figura 6.3. servem somente como um lembrete para iniciar a listagem das decisões e dos seus módulos. Desta forma, a matriz topológica final pode ter um número qualquer de níveis, dependendo da quantidade de diferentes horizontes e períodos de revisão.

Para o caso de sistemas de operação e de decisão geograficamente dispersos, uma dimensão espacial pode ser agregada à matriz topológica. Além disso, pode existir também uma dimensão de produtos, como no caso de empresas divididas em unidades de negócios.

A seguir, as diversas interações entre os módulos de decisão devem ser identificadas e mapeadas no modelo topológico (vide Figura 5.9), usando-se formalismos adequados, como setas ou flechas. Isto facilitará a análise de coerência na fase seguinte.

O reconhecimento das interdependências e *trade-offs* através da determinação das interações entre módulos de decisão (e, portanto, do conjunto de decisores) atua como uma ferramenta de aprendizado organizacional, minimizando também riscos de equivocação (Dart e Lengel, 1986).

Além dos módulos de decisão, seus diversos modelos matemáticos (se existirem) e os sistemas de informação podem ser listados à parte da matriz, pois tais dados serão usados em uma fase posterior (fase 5, definir trajetória tecnológica). É conveniente que esses modelos estejam classificados conforme sua frequência de uso (*ad hoc* ou rotineiro), e sua execução (manual, semi-automatizada ou automática, como no caso de modelos embutidos no processo, por exemplo, os algoritmos de cálculo de necessidades em sistemas MRP).

A determinação dos módulos de decisão pode ser feita através da identificação das decisões tomadas pelo conjunto de decisores que participa do projeto (ou do sistema de operações objeto da análise). A definição do conjunto de decisões pode ser feito através de diversos métodos, como entrevistas (estruturadas ou não), *brainstorming*, etc. Nesse caso, a escada de abstração (sub-ítem 5.2.2) é uma ferramenta útil, como visto nos exemplos que permitiam um diagnóstico de nível III (problemas de estoque e de localização) a partir de questões elementares (Tabela 5.1). Assim, a elaboração de uma lista de questões de nível semântico I e II pode servir de base para a definição dos módulos de decisão, uma vez que estes são pelo menos uma abstração de nível III.

Essa lista deve conter as decisões fundamentais do sistema para que o trabalho tenha efetiva importância. Assim, outros métodos podem também ser úteis nesta etapa. Por exemplo, o método de fatores críticos de sucesso (Rockart, 1979) ajudaria a identificar essas questões fundamentais sintetizadas a partir de objetivos organizacionais. Ou certas técnicas baseadas em ancoragem poderiam ser empregadas, como o método do incidente crítico (Hayes, 1992), que iniciaria seu trabalho nos níveis semânticos I e II, relacionando exemplos de decisões passadas. A idéia fundamental aqui é enriquecer o espaço de decisões amostradas.

A finalidade dos modelos de decisão (projeto de sistema físico, projeto de processos e análise isolada) também pode auxiliar na definição dos módulos de decisão ao servirem como um lembrete ou gatilho aplicado nas diversas células da matriz topológica.

Os indicadores de desempenho utilizados para as diversas unidades organizacionais e processos também devem ser enumerados no SYLPHID: um componente importante da análise de coerência ocorre neste ponto, pois o comportamento de decisores e outros stakeholders são influenciados por estas medidas. A coerência entre objetivos, indicadores e medidas dos diferentes níveis e processos, assim como sua aderência aos pontos-de-vista dos *stakeholders*, serão verificados na fase seguinte.

Uma vez que as células da matriz já estejam preenchidas com os seus módulos de decisão, o trabalho de avaliação e diagnóstico do sistema de decisão pode começar, como está detalhado abaixo.

O conjunto de módulos de decisão correntes e a base de modelos associada vai imitar os atuais processos de decisão e suas inter-relações. Assim, se a organização tiver processos de decisão fragmentados e sub-otimizantes, ela vai refletir este fato. A revisão da matriz topológica pode, portanto, aprimorar o processo de decisão vigente.

6.3 Revisar o sistema de decisões

É esta a fase que trata o problema de sub-otimização. Para isso, vai-se analisar e, caso seja necessário, agrupar, decompor ou revisar os módulos de decisão conforme três dimensões básicas: a) a nível inter-funcional (horizontal) da matriz topológica; b) a nível de hierarquia (vertical); e, c) a nível da sua dinâmica (tempo). O produto desta etapa é um novo conjunto de módulos de decisão, isto é, uma nova matriz topológica, que será objeto das etapas seguintes.

Este rearranjo dos módulos de decisão parte das interações inter-módulos mapeadas na fase anterior. As interações servirão de base para orientar a análise.

No caso da dimensão horizontal ou de processo, temos as questões dos *tradeoffs* entre decisões e das interdependências (discutidas no item 5.3), ou seja, tratar as interações entre os módulos de decisão de diferentes funções (colunas do modelo topológico). Caso não seja adequado utilizar *buffers* para diminuir a interdependência entre decisões (que significam um excesso de recursos alocados, pois podem tomar a forma de

capacidade ociosa, estoques, etc.), ou caso os *tradeoffs* sejam significativos, torna-se imperioso *agrupar os módulos de decisão enfocados em um só*. Na prática, isto significa aumentar a capacidade de coordenação entre essas funções e partir para uma solução que é uma síntese de ambas. Por exemplo, no projeto de produto, a pressão por tempo de ciclo (fator fundamental em certos mercados, como informática ou automóveis) pode impor o uso de engenharia simultânea; para decisões de estoques, a não-existência dos *buffers* (como acontece no *just-in-time*) pode exigir um enfoque integrado entre manufatura, compras, finanças, marketing e transporte. Ou, caso os *tradeoffs* entre módulos de decisão sejam conhecidos e previamente negociados, a decisão final pode ser delegada para um módulo isolado se ele tiver um modelo de decisão que contemple todos estes *tradeoffs*. Por exemplo, pode-se ter uma escolha de modal de transporte feita isoladamente pelo setor de tráfego da organização, se este tiver um modelo de custos totais que leve em consideração os custos generalizados de todos *stakeholders*, "embutindo" o processo de negociação inter-funcional envolvido. A conveniência de agregar-se ou não dois ou mais módulos de decisão vai depender de até onde entende-se que essas interdependências afetam o desempenho do sistema (geração de sub-ótimos). Evidentemente os modelos matemáticos resultantes serão mais complicados.

Essa identificação dos *tradeoffs* pode ser difícil: diferentes dimensões de desempenho (medidas de mérito) ligadas aos diferentes *stakeholders* vão interferir. Elas podem assumir as mais variadas formas, tais como custo total, tempo de ciclo, distância, qualidade ou nível de serviço, etc, e seu conhecimento vai minimizar problemas de equivocação (Dart e Lengel, 1986). A escolha de quais *tradeoffs* serão considerados deve ser objeto de negociação prévia e estar também associada aos fatores críticos de sucesso da organização para garantir uma ligação com os seus objetivos globais.

Com relação à dimensão vertical, é necessário verificar dois tipos de coerência entre os módulos analisados: a coerência entre objetivos e metas e entre nível de agregação e suas variáveis de decisão (também discutidos no ítem 5.3). Primeiro, decisões de nível inferior (isto é, com horizonte de planejamento e período de revisão menores) precisam respeitar decisões de nível superior. Caso isto não esteja ocorrendo, uma revisão do módulo inferior deve ser feita. Segundo, os objetivos do nível inferior devem ser compatíveis com os objetivos dos módulos superiores. Senão, devem ser revistos.

Além das interações inter-módulos, aqui também é fundamental uma análise da coerência interna de cada módulo individual com relação aos objetivos, indicadores de desempenho e *Weltanschauungen* dos *stakeholders*. Incoerências entre os mesmos são

sintomas tanto de situações potencialmente explosivas como de decisões inócuas. O exemplo dos mineiros oferecido por Checkland (1981) é bastante ilustrativo.

Em terceiro lugar, podem existir níveis de agregação incompatíveis com o nível de decisão. Isto pode significar uma lacuna entre níveis diferentes, com um módulo de nível inferior sendo "esticado" para atender precariamente um nível superior. É o caso de certos sistemas MRP, onde o planejamento de capacidade é feito com programas de produção detalhados a nível de ítem individual para horizontes de um ano e meio! Nesse último exemplo, o módulo de decisão se esparrama por mais de um nível. Pode-se então propor um módulo específico com agregação mais adequada para o nível, além daquele situado mais perto da operação.

Desta forma, a análise da dimensão vertical pode tanto criar novos módulos pela decomposição de módulos antigos ou pela identificação de lacunas, quanto agregar módulos redundantes, ou mesmo indicar a revisão do próprio módulo.

Uma dificuldade com a decomposição de objetivos e metas é que ela nem sempre pode ser cem por cento coerente para todas as funções e *Weltanschauungen* em todos os níveis (Muscat e Almeida, 1988). Isto se deve à existência de *tradeoffs* entre funções diferentes. Assim, temos um problema de interação entre as duas dimensões. A ação deve trabalhar esses objetivos conflitantes para encontrar objetivos robustos para os subsistemas, isto é, coerentes com a maior parcela dos supra-objetivos. Ou então, pode-se partir para a agregação pura e simples dos módulos de decisão até o nível onde os *tradeoffs* possam ser balanceados.

Finalmente, temos a dimensão temporal expressa nos ciclos de revisão e horizontes de planejamento dos módulos. Aqui há a necessidade de verificação nas dimensões horizontal e vertical. Por exemplo, módulos de ciclo curto fornecendo parâmetros importantes para módulos de ciclo mais longo podem gerar problemas, como no caso exemplificado de previsões de vendas versus programação de produção (ítem 5.3.3). Além disso, o tipo de influência entre módulos (amplificação ou amortecimento) pode gerar problemas de super-controle ou ressonância induzida pelo sistema de decisão, como no exemplo de Ackoff e Sasieni de preço de vendas e lote de suprimento (ítem 5.3.2.; Rivett, 1980). A solução para ambos os exemplos acima pode encontrar diversas formas; uma delas é a agregação dos módulos; outra, a imposição de limites pré-negociados. Fica a critério da equipe de projeto desenvolver este ponto.

Os agrupamentos, decomposições e revisões obtidas podem estar em discordância com a presente estrutura organizacional e podem dar indicações importantes para rever a mesma ou mesmo para implantar mecanismos de coordenação horizontal. Questões de viabilidade política são aqui de menor importância, pois poderão ser tratados na fase 5 (trajetória tecnológica). Assim, agrupamentos potencialmente "explosivos" podem ser gerados aqui, devendo ser revistos posteriormente.

Que técnicas e métodos podem auxiliar nessa tarefa de agrupamento ou decomposição? Existem muitos métodos adequados. Destes, a análise estatística de agrupamentos (*cluster analysis*) e a tecnologia de grupo são popularmente empregadas na Engenharia de Produção. Essas técnicas necessitam de critérios de agrupamento, os quais podem ser inspirados nos diversos tipos de interação inter-módulos (discutidos no item 5.3.3). Além destes, a área de Informática tem as matrizes estruturadas (Toyama e Endo, 1995), que é uma evolução do BSP (IBM, 1981), e a área de teoria de filas tem os métodos de agregação-decomposição (Courtois, 1977). Este último, em particular, tem o agrupamento baseado na frequência de relações entre nós individuais e traz uma discussão muito interessante para tratar os efeitos dinâmicos de equilíbrio de curto e longo prazos.

O uso destes conceitos para a agregação de decisões implica na consolidação dos módulos individuais de decisão (os que afetam os níveis operacionais) de maneira que interdependências e *tradeoffs* mais significativos ocorram principalmente dentro dos novos grupos. Portanto, as interdependências formam a base dos critérios de agrupamento nos métodos citados anteriormente, ou então podem ser usadas como simples heurísticas para a análise de agrupamento.

Para a análise da coerência na decomposição dos objetivos, metas e indicadores dos módulos, métodos como o *hoshin kanri* (Shiba et al, 1993) ou a desagregação de indicadores de Bela Gold (1973) podem ser empregados. Para analisar a coerência entre objetivos, metas, indicadores e *Weltanschauungen* para um dado módulo isolado, métodos *soft* como o SSM (Checkland e Scholes, 1990) são adequados.

Para uma avaliação dos efeitos dinâmicos entre os módulos de decisão, diagramas de causa e efeito podem ser usados para identificar *loops* positivos (que são potencialmente perigosos). Caso se deseje maior poder analítico, um modelo simples do sistema de decisão pode ser montado com o auxílio da Dinâmica Industrial de Forrester (Forrester, 1961).

Assim, o resultado final desta etapa será uma nova matriz topológica, com novos módulos de decisão, que terão evidentemente novos conjuntos de decisores e outros *stakeholders*.

6.4 Desenvolver trajetórias individuais para os módulos de decisão

Nesta fase da metodologia o foco principal está nos riscos tipos I e IV, isto é, vai-se considerar: a) as limitações da natureza da modelagem matemática e, b) a implantação e o uso de modelos conforme a gestão de inovações tecnológicas.

É fundamental saber se é possível (ou conveniente) reduzir o processo de decisão a um problema onde a modelagem matemática é aplicável. Ou seja, se há condições que justifiquem sofisticar o processo de decisão no módulo.

Assim, para cada módulo de decisão deverá agora ser definida uma *trajetória para sua tecnologia de decisão*, que vai obrigatoriamente enfocar o uso de modelagem matemática. Tal assertiva baseia-se na discussão realizada anteriormente sobre a inevitabilidade do enfoque *hard*, realizada no Capítulo 4 e bastante baseada em Sutton (1995).

O desenvolvimento de cada trajetória individual pode ser feito da seguinte maneira:

1. Verificar se há condições apropriadas para o desenvolvimento e implantação de modelos matemáticos no módulo de decisão;
2. Caso não haja, realizar um trabalho de estruturação do problema de decisão do módulo pela aplicação de um método *soft* apropriado;
3. Caso haja, detalhar o estágio tecnológico do módulo de decisão e desenvolver a trajetória de tecnologia de decisão para o módulo.

Pré-condições para o emprego da modelagem matemática. Uma vez que os novos módulos de decisão estão definidos após o rearranjo da etapa anterior, os novos grupos de usuários e demais *stakeholders* podem ser claramente identificados para cada módulo.

Isto facilita o uso de um enfoque contingencial do tipo preconizado por Flood e Jackson (1991) e Sutton (1995), e então será possível verificar se o agrupamento de decisões está pronto para receber uma modelagem quantitativa formal ou não. Para isso, deve-se

verificar se os diversos pressupostos para o seu emprego estão sendo atendidos. Basicamente, eles são a estabilidade das "leis", a possibilidade de identificar relações de causa e efeito e, finalmente, a imparcialidade do observador, conforme discutido no Capítulo 2.

O atendimento a esses pressupostos significa a existência de objetivos e metas claros e bem determinados, do conhecimento de fatores ou variáveis intervenientes, da estabilidade dos processos e procedimentos (incluindo a tecnologia), e da existência de um consenso de opiniões (visão unitária). Ou seja, há necessidade de uma definição clara e inequívoca do que constitui o problema de decisão (o segundo degrau da escada da abstração) e do contexto do mesmo.

Assim, o primeiro requisito é ter uma compreensão adequada dos *Weltanschauungen* dos diversos *stakeholders* e da sua compatibilidade com os objetivos, metas e indicadores utilizados. Caso haja coerência entre os mesmos, uma visão unitária pode ser conseguida em um contexto formista, explorador e negociador, como colocado por Sutton (vide Tabela 4.8 e Figura 4.9) e a definição do problema, ou seja, do módulo de decisão, pode ser feita sem grandes percalços. Entretanto, se não existir essa visão unitária, partir-se diretamente para o desenvolvimento de modelos matemáticos pode ser arriscado. O ideal será então desenvolver uma estratégia de esclarecimento da situação pelo emprego de algum método *soft*.

Além disso, os *stakeholders* do módulo de decisão enfocado devem ter bom conhecimento da dinâmica e da estrutura do sistema de operações sobre o qual atuam, pois senão eles não poderão contribuir efetivamente. Isto coloca uma questão cognitiva que deve ser considerada no projeto da trajetória tecnológica.

Como segundo requisito, temos o problema de estabilidade dos processos. Caso procedimentos, normas, tecnologias, etc, estejam em transição, gerando um ambiente de decisão turbulento, o desenvolvimento de modelos matemáticos fica prejudicado e é melhor deixar tal trabalho para um período posterior. Mesmo algumas decisões tecnológicas mais simples (como quais informações manter na base de dados) ficam prejudicadas. Nesse caso, o uso de alguns modelos *ad hoc* para análise da situação podem ser de auxílio para reprojeter o processo.

Desta maneira, problemas na definição de um módulo de decisão (na etapa 2) podem ser um sintoma de que o mesmo ainda não está pronto para receber um modelo matemático.

Por outro lado, pode-se aproveitar a sinergia gerada pelo desenvolvimento paralelo de outros processos de melhoria. Por exemplo, o TQM e *hoshin kanri* podem agir, em certas condições, como substitutos dos métodos *soft* para a geração de objetivos, metas e problemas comuns ao grupo de *stakeholders*. Esta preocupação de integração com outras iniciativas de melhoria organizacional fica explícita na fase 6 da metodologia.

Assim, caso os pressupostos não estejam sendo obedecidos em grau adequado, a trajetória tecnológica terá como primeiro passo a estruturação do problema de decisão enfocado.

Estruturação do problema de decisão. Caso seja necessário passar por esta etapa, a equipe de projeto tem à disposição uma série de métodos *soft* para realizar este trabalho. Novamente, Sutton (1995) e Flood e Jackson (1991) podem auxiliar na escolha. Devido ao "largo espectro" da SSM de Checkland, ela pode muito bem ser empregada aqui. Rosenhead (1989) e Bowen⁴ também indicam o SODA de Friend (1989). O fundamental é gerar um conjunto inequívoco e consensual de objetivos, metas e indicadores, devidamente negociado e assumido pelos diversos *stakeholders*, conforme discutido acima. Entretanto, devido a questões de política organizacional, pode acontecer que uma integração de diversos stakeholders em um único módulo de decisão (que pode se estender por várias funções, isto é, por diversas colunas do modelo topológico) seja no momento impossível. Nesse caso, pode-se usar o argumento de Checkland de empregar o SSM para obter acomodação ao invés de consenso (veja o exemplo do Muro de Berlin, Checkland e Scholes, 1990, p. 30): a acomodação leva a novos (e desconectados) módulos de decisão! Entretanto, a perspectiva de decisão conjunta pode ser mantida na trajetória tecnológica. Ou seja, a trajetória contempla (ou tem como meta) a reunião dos *stakeholders* no futuro, mas agora assume a impossibilidade de juntá-los. Uma maneira de solucionar tais problemas, proposta pelo TQM, é de utilizar uma perspectiva do cliente: ambos significam expandir o subsistema aberto para outro maior. O resultado final seria uma nova matriz topológica para o plano de modelagem.

Naturalmente, o uso de modelos pode alterar a balança corrente de poder e esta percepção potencial pode torpedear qualquer implantação. Mais um motivo para obter-se um consenso entre os diversos *stakeholders*.

4 K. Bowen, correspondência pessoal, novembro de 1996.

Pode ser também que o módulo de decisão seja pouco importante e, portanto, ele pode ser deixado de lado no projeto de sua trajetória individual, pois seu desempenho atual é satisfatório.

Trajетória da tecnologia de decisão do módulo. Constatada a existência de condições objetivas para o desenvolvimento proveitoso de modelos matemáticos, deve-se agora estabelecer qual será a evolução do módulo de decisão. Deve-se salientar que o objetivo desta fase é estabelecer uma especificação básica dos modelos (derivados do módulo de decisão, que são proto-modelos, ítem 5.3.3) e outros componentes da tecnologia de decisão ao longo de um determinado horizonte de planejamento (definido de maneira arbitrária).

O projeto da trajetória tecnológica tem uma grande preocupação com a viabilidade de implantação e uso (risco tipo IV), abordando dimensões tecnológicas, culturais e de mudança (inovação). A capacidade de uma organização absorver uma determinada base de modelos é função do estágio tecnológico da sua função de administração. Assim, assume-se uma hipótese baseada nos comentários de Davis (1982) e Davenport (1994), que organizações não conseguem "pular" etapas, devendo adquirir a "necessária disciplina e sofisticação".

Entretanto, alguns especialistas em modelos quantitativos (sejam eles de P.O., I.A., etc) têm uma propensão para utilizar os métodos mais avançados na modelagem de um problema de decisão (o que não é uma surpresa). Mesmo usuários (incluindo *self-starters*) podem ficar encantados com a aura de sofisticação associada ao "estado da arte" (modismos se enquadram bem neste ponto) e podem partir para a solução mais "avançada" possível. Foi o caso de certas consultas feitas por empresas interessadas em utilizar teoria do caos ou redes neurais, pois estas desconhecem métodos já comprovados (mas algo "fora de moda", como programação matemática ou análise estatística) para o tipo de problemas apresentados... Por outro lado, muitas vezes os usuários têm um argumento mais convincente: eles não desejam instalar soluções consideradas intermediárias e perder o investimento realizado nelas após um ciclo de vida relativamente curto. Este tipo de sentimento pode ser considerado bastante comum: tende-se a ter como meta imediata o sistema mais puro ou "ideal" possível, como expresso no conceito IDEALS de Nadler (Reisman, 1992, p. 73-4).

Infelizmente esta aspiração pode levar ao desastre. Mesmo que os diversos *stakeholders* estejam em harmonia, os *tradeoffs* sejam conhecidos e estejam devidamente balanceados, o modelo escolhido tenha uma solução analítica exata e os algoritmos

sejam numericamente estáveis, a implementação e o uso futuro do modelo quantitativo pode estar em risco. Falta de dados, pouca integração com sistemas de informação, etc, ou seja, as dimensões expressas pelo estágio tecnológico da administração (conforme visto no item 4.4 sobre fatores contingenciais, como o caso de modelos de roteirização, MRP, CAD/CAM, etc.), podem por tudo a perder.

Muitas vezes também existe um desejo de "imitar" um concorrente ou outra empresa que tenha processos semelhantes: se eles usam algum tipo de ferramenta matemática de apoio, o decisor pode temer estar perdendo alguma vantagem competitiva e decide de forma voluntariosa sua implementação.

O estágio tecnológico é produto da história individual da organização. Conforme discutido anteriormente, para cada módulo de decisão ele pode ser definido como um vetor de informações, composto por cultura no uso de tecnologias de informação, experiência prévia no uso de modelos quantitativos, experiência gerencial do usuário com a problemática enfocada, estabilidade de normas e procedimentos, disponibilidade de dados confiáveis e domínio tecnológico das operações. Isto coloca uma dimensão contingencial (histórica e, portanto, individual) na metodologia. A Tabela 6.1 detalha os diversos elementos do estágio tecnológico para um dado módulo de decisão.

Tabela 6.1. Elementos do estágio tecnológico: exemplos

Elementos	Exemplos
Cultura no uso de informática	<ul style="list-style-type: none"> • Proporção de aplicativos sofisticados (SAD) em uso • Estágio de uso ou nível de informatização (conforme Nolan) • Proporção de usuários de micro-computadores, bancos de dados e redes corporativas • Disponibilidade de documentação adequada • Tempo de uso de aplicativos a nível operacional e gerencial
Conhecimento e experiência no uso de modelos matemáticos	<ul style="list-style-type: none"> • Modelos atualmente em uso • Nível de capacitação (treinamento e uso anterior) • Experiência anterior (tipos de modelos e tempo de uso) • Disponibilidade de documentação adequada

Conhecimento e experiência dos decisores e analistas com o problema	<ul style="list-style-type: none"> • Capacitação formal na área ou função • Experiência anterior da equipe na área em foco
Estabilidade de normas, procedimentos e tecnologia	<ul style="list-style-type: none"> • Existência de normas, padrões e procedimentos formais • Coerência entre procedimentos nas diversas áreas organizacionais (incluindo dimensão geográfica) • Tempo decorrido desde a última revisão de procedimentos ou implantação de nova tecnologia • Tempo até a próxima revisão de procedimentos ou implantação de nova tecnologia • Uso de padrões industriais (ISO, QS9000, etc)
Disponibilidade de dados confiáveis	<ul style="list-style-type: none"> • Disponibilidade de dados brutos • Confiabilidade dos dados disponíveis • Acessibilidade dos dados (mídia disponível, redes, etc.)
Domínio tecnológico das operações (verificar critérios do Malcom)	<ul style="list-style-type: none"> • Sistemas transacionais de informação correndo sem problemas • Uso efetivo de indicadores econômicos e físicos de desempenho na gestão do sistema de operações • Pessoal qualificado e treinado nos diversos níveis e funções

Assim, a idéia de construir um caminho suave para incrementar a sofisticação das ferramentas de apoio à decisão (num sentido global, tanto tecnológico como conceitual), ou seja, a trajetória tecnológica, toma forma. O adjetivo suave foi empregado em lugar de gradual por uma questão de contingenciamento: uma organização tecnologicamente mais "robusta" pode tomar um caminho mais íngreme ou mais irregular, pois tem relativamente maior controle sobre as variáveis tecnológicas; o risco desse caminho mais curto e mais difícil é comparativamente menor. Ou, como propõe Ho (1994), pode-se balancear as melhorias tecnológicas com as operacionais ou informacionais.

O sistema de apoio à decisão ideal, o mais sofisticado, com melhor desempenho teórico, pode então ser utilizado como um objetivo de maior prazo. Fases intermediárias podem

ser estabelecidas em função das demandas por integração com outros sistemas de decisão e informação (principalmente transacionais), da velocidade de aprendizado, da capacidade de investimento, etc.

Essas fases intermediárias não precisam ficar isentas de modelos de auxílio à decisão, povoadas apenas por preparativos para a implantação do sistema "ideal". Modelos mais simples mas que sejam em princípio compatíveis com os métodos mais sofisticados do futuro podem ser implantados e terem sua vida útil pré-determinada. Sua função é servir de trampolim para fases tecnológicas mais sofisticadas e fornecer experiência valiosa para os *stakeholders* associados. A idéia aqui é ter fases intermediárias "robustas", isto é, compatíveis com o maior número possível de configurações futuras, mantendo aberto o caminho para grande quantidade de alternativas de modelagem e embutindo flexibilidade na escolha da modelagem. É este o conceito de *robustness analysis*, conforme proposto por Rosenhead (1989, p. 193-218).

Para o desenvolvimento de cada modelo da trajetória evolutiva deve-se considerar os fatores contextuais de modelagem comentados no item 4.4. Para recordar, eles são a frequência de decisão, adequação ao estágio tecnológico, integração com outros modelos e sistemas de informação e fatores ergonômicos e de confiança do usuário. A questão de ciclo de vida é importante, principalmente para modelos de uso rotineiro, com suas implicações sobre as necessidades de integração formal, por exemplo, para a atualização dos parâmetros do modelo.

Na prática, tal preocupação com o ciclo de vida e a manutenção dos modelos reforça a idéia anterior de montar-se modelos tecnicamente menos sofisticados ou complicados, mas mais adequados à realidade organizacional (Salata e Yoshizaki, 1993), como preparação de algo mais sofisticado. Isto ocorreria como consequência do aprendizado, pois os usuários ficariam mais exigentes com relação aos bancos de dados disponíveis e aos modelos empregados.

O uso do conceitos de dependência de atividades (conforme a fase inicial de planejamento dos métodos de redes PERT/CPM) pode também auxiliar na construção da trajetória tecnológica.

O escopo organizacional do módulo de decisão, determinado pelo conjunto de *stakeholders*, se usado em conjunto com a prioridade determinada conforme a discussão abaixo, auxilia a definir a equipe de desenvolvimento. Se a amplitude da decisão for suficientemente pequena, então o desenvolvimento por um usuário isolado (que não

seria mais um *self-stater*, pois faria parte de um esforço coordenado) pode ser mais conveniente. Alguns modelos feitos por usuários finais podem ser de natureza *ad hoc* (por exemplo, o tipo de problema "não-estruturado" no jargão de sistemas de apoio à decisão, Sage, 1991), mesmo dentro de processos rotineiros. O "garimpo de dados" (*data mining*) pode ser incluído nesta categoria; tal técnica é bastante aparentada com os primeiros dias da P.O., que baseava seu trabalho no estudo estatístico de operações para identificar padrões (um exemplo interessante, que trata da recomendação de táticas evasivas para embarcações grandes ou pequenas quando confrontadas por bombardeiros e deduzidas de dados estatísticos, está em Morse e Kimball, 1963). Equipes pequenas também podem se restringir a um par analista-usuário, sendo o analista um *lone ranger* (Gray, 1993), isto é, um generalista em modelagem matemática, um tipo de "clínico geral". Modelos para projeto de sistemas físicos ou de processo, entretanto, devem ser desenvolvidos por equipes multifuncionais e multidisciplinares devido ao próprio porte e impacto que esse tipo de empreendimento tem.

Uma vez que os grupos de desenvolvimento do modelo estão definidos, seu perfil deve ser avaliado com relação ao seu "balanço interno" para tarefas criativas. Como o processo de agregação da fase 3 não leva em conta os perfis individuais dos *stakeholders*, uma equipe desbalanceada pode surgir (Sutton, 1995), isto é, com perfis psicológicos que não se complementam. Além disso, há a questão da capacitação técnica, que agora será necessária. Medidas corretivas podem ser necessárias, como reforço da equipe, consultoria ou treinamento. O mesmo acontece no caso do desenvolvimento de modelos por *self starters* ou *lone rangers*. Alguns critério relevantes são: educação formal, treinamento, experiência prévia e perfil psicológico (Tomlinson e Idama, 1986).

A cada fase ou estágio tecnológico corresponde algum tipo de modelo de apoio à decisão e a parafernália de *hardware* e *software* exigida. Uma avaliação preliminar dos custos e benefícios, quantitativos e qualitativos, deve ser efetuada aqui, para justificar o desenvolvimento da trajetória tecnológica. Técnicas tradicionais de análise benefício-custo podem ser utilizadas aqui. Entretanto, pode ser que trajetórias individuais não consigam justificar sozinhas certos investimentos em Informática; por exemplo, um estudo *ad hoc* de simulação para o projeto do arranjo físico de um pátio de descarga não justificaria a aquisição de um certo *software* de modelagem (como o ARENA ou o SIMSCRIPT); entretanto, diversos outros projetos e trajetórias poderiam solicitar o mesmo tipo de tecnologia e, assim, sua compra seria justificada. Esta integração e verificação de possíveis sinergias práticas é objeto da fase seguinte da metodologia.

A escolha do paradigma de modelagem (programação matemática, simulação estocástica, teoria de filas, modelos de estoques, etc.) pode ser indicada na trajetória tecnológica apenas quando tal escolha for inequívoca, pois senão corre-se o risco de tolher a criatividade da equipe que vai executar o projeto. Afinal de contas, tal escolha não é trivial, conforme comentado anteriormente (item 5.1). O módulo de decisão (SYLPHID) já fornece informações iniciais em quantidade para permitir o início de qualquer trabalho de modelagem. Evidentemente, o administrador da base de modelos da organização pode optar pela padronização de paradigmas, mas trata-se de questão controversa que não cabe ser aqui resolvida. Entretanto, alguma informação que possibilite a discussão sobre a análise benefício-custo deve ser gerada.

A construção da trajetória individual dependerá, de certa forma, dos humores da equipe de projeto e de seu entendimento de que condições específicas podem ser consideradas como pre-requisitos, além da eventual pressa na implantação dos modelos. Optou-se por não desenvolver e aplicar um modelo de estágios tecnológicos bem definidos, como o proposto por Nolan, pois teria como desvantagens tolher os graus de liberdade da equipe e ainda não há evidência empírica suficiente.

6.5 Integrar os caminhos evolutivos em um plano diretor de modelagem

Assim que o caminho tecnológico para cada módulo de decisão estiver definido, eles devem ser integrados num plano para o sistema como um todo. Isto vai ocorrer por um processo de ajustes sucessivos, pois os *stakeholders* e desenvolvedores dos diversos módulos poderão ter diferentes naturezas e estágios. Assim, ajustes entre os planos poderão ser feitos, acelerando ou atrasando algumas trajetórias tecnológicas. Por exemplo, novos agrupamentos de módulos de decisão podem ser montados ou projetados, à medida que novos *tradeoffs* e interações são negociados.

Por que esta integração de planos é necessária? Devido às sinergias e interdependências que podem ser exploradas nestas diferentes trajetórias, em termos de recursos de hardware, software e pessoal. Para identificá-las, pode-se utilizar os conceitos de interdependências de Thompson (1967) e as etapas de suas trajetórias tecnológicas.

No caso de interdependências do tipo sequencial ou recíproca, o acoplamento entre duas trajetórias tecnológicas pode ser obrigatório. Por exemplo, um modelo de controle de estoques pode depender da revisão dos modelos de previsão de demanda que estão em outros módulos de decisão. Assim, pelo menos o casamento de seus cronogramas é

necessário. Além disso, na análise benefício-custo o custo dos modelos de previsão será rateado por outros módulos, melhorando as chances de aprovação de seu desenvolvimento. No caso recíproco, um modelo para planejamento de manutenção preventiva pode depender do desenvolvimento de um modelo de planejamento de produção, e vice-versa. Isto exigiria um desenvolvimento conjunto ou, conforme o grau de interdependência, o seu agrupamento em um único módulo de decisão.

Pode ser que exista apenas uma dependência paralela. Ela pode ser expressa, por exemplo, em requisitos comuns para a base de dados. Afinal, modelos em módulos diferentes podem ter exigências mais ou menos severas de dados, sendo necessário ajustá-los ao plano diretor de informática da organização. Exemplificando, um procedimento automatizado para roteirização pode ser extremamente demandante com relação ao sistema de informação geográfica (GIS) e ao sistema de faturamento. Uma vez que a organização não se encontra preparada para tratar tal demanda de dados, a equipe que projetou o caminho tecnológico para esse módulo o fez bastante suave, lento e gradual em função dessas dificuldades e do investimento necessário (benefício-custo). Mas se, em outro agrupamento, um sistema de automação comercial será implementado brevemente, isto deixaria as informações de pedidos disponíveis quase em tempo real e com grande precisão. Isto abreviaria o caminho evolutivo para o módulo de roteirização, uma vez que o investimento na melhoria do sistema de faturamento não será uma demanda gerada apenas por esse sistema (que é um tipo de interdependência paralela, pois somente ao nível dos dados, ou melhor, no nível de investimento em base de dados, houve alguma sinergia).

Assim, quando é realizada uma iteração (ciclo), também é feita uma decisão de escolher quais decisões serão agrupadas conjuntamente. Portanto, em função da sinergia entre suas trajetórias tecnológicas, pode acontecer de um novo conjunto de módulos de decisão, via agregação ou decomposição, ser feito agora.

Além disso, a proficiência em modelagem quantitativa não é dos atributos mais facilmente encontrados em organizações. Assim, dado que indivíduos com essa habilidade são recursos escassos, devem ser alocadas prioridades para o desenvolvimento dos modelos matemáticos que vão auxiliar os diversos módulos de decisão e que vão orientar a estruturação do plano de modelagem.

A definição de prioridades fornece critérios para alocar recursos às diversas equipes, tanto de pessoal como de *hardware*, *software* ou outros. Permite também estabelecer prazos e dinâmicas desejadas que vão orientar seu desenvolvimento e implantação.

Nem todo módulo de decisão pode necessitar de recursos computacionais: por exemplo, se seu problema básico é ainda conseguir consenso ou acomodação dos objetivos, tal ação soft não vai acarretar em carga para o desenvolvimento de modelos quantitativos. Em compensação, vai exigir maior cuidado na montagem das equipes de projeto e na escolha de facilitadores.

Cada módulo de decisão significa em princípio um projeto de evolução de ferramentas de decisão e aprendizado organizacional, com custos e riscos diferenciados. O uso de análise de decisão pode auxiliar a alocação de recursos e a identificação de projetos com maior chance de retorno, ou seja, tratar a questão de custos e benefícios. Deve-se ressaltar, entretanto, que mesmo quando nenhum modelo formal é implantado, o seu desenvolvimento pode dar resultados excelentes pelo aprendizado proporcionado (Chapman, 1992).

Quais critérios de importância para a classificação de prioridades podem ser usados? Além da razão benefício-custo quantificada tradicional, cada intervenção particular terá aspectos qualitativos específicos e únicos. Alguns desses critérios qualitativos, entretanto, podem ser considerados como de classe geral. Por exemplo, módulos fortemente associados aos objetivos e metas organizacionais terão maior influência no desempenho e assim terão destaque na implantação da base de modelos. Um módulo de decisão que tem uma tecnologia de decisão obsoleta pode também sinalizar maior prioridade, pois comparações com concorrentes podem mostrar uma defasagem tecnológica. No caso de aplicações pioneiras, módulos com maior probabilidade de sucesso podem ter maior prioridade para garantir um efeito-demonstração.

Considerações políticas também fazem parte dos cuidados que devem ser tomados nesta fase, mesmo que seja apenas pelo cuidado na divisão de recursos.

Um fato que deve ser lembrado é a lei dos rendimentos decrescentes: à medida que se avança na trajetória tecnológica, a razão benefício-custo pode diminuir, fazendo com que a percepção de vantagens nessas etapas mais evoluídas seja mais problemática. Isto pode fazer os donos do processo relatarem em seguir avante após a implantação de ferramentas (com melhor taxa de retorno) nas fases iniciais. Por isto mesmo, há a necessidade de revisão periódica do plano diretor de modelos, pois, se os *stakeholders* estão satisfeitos com o novo *status quo*, novo plano diretor deve ser desenvolvido. A única decisão irreversível, portanto, é dar o passo para alcançar o primeiro estágio: todo

o resto é sujeito à revisão após a primeira experiência (que é um conceito básico de planejamento).

Que técnicas podem ser utilizadas para definição de prioridades? O método de fatores críticos de sucesso de Rockart (Rockart, 1979) é bastante apropriado para ligar o desenvolvimento da base de modelos com as necessidades estratégicas da organização, expressando uma visão de cliente para a modelagem matemática e permitindo uma definição de prioridades acoplada às necessidades organizacionais. Todavia, qualquer técnica que permita um tratamento racional da geração de prioridades pode ser usada aqui. Além disso, o cálculo do benefício-custo pode ser particularmente importante para chegar-se a alguma decisão, principalmente no caso de organizações relativamente adiantadas no emprego de modelos matemáticos (que vão exigir justificativas muito boas para novos investimentos). A existência de risco também traz à lembrança métodos como a análise de decisões probabilísticas.

Para conseguir o compromisso dos decisores e outros *stakeholders* no desenvolvimento do plano, o uso de técnicas participativas pode ser importante. Por exemplo, a definição de prioridades (incluindo fatores qualitativos e quantitativos) pode se dar através de seminários conjuntos, que devem ter preferencialmente um facilitador experiente.

Ao final desta etapa, um plano diretor de modelagem então toma forma, com a integração e revisão das trajetórias tecnológicas. Como essa integração e revisão podem ter impacto no modelo topológico, o plano diretor pode inclusive definir diferentes matrizes topológicas para cada estágio de desenvolvimento. Mas, conforme dito anteriormente, apenas o primeiro estágio deverá ser realmente decidido, pois todos os estágios futuros serão objeto de revisão posterior.

6.6 Definir plano da base de modelos

Além da integração dos planos individuais em um plano global de modelagem, este deve ser integrado às outras iniciativas de melhoria organizacional em curso. Seria bastante utópico, devido à popularidade atual dos métodos quantitativos para a administração em geral, que qualquer programa ambicioso de modelagem matemática pudesse ser executado no nível de processo ou da organização como um todo. Portanto, pode ser bastante vantajoso acoplar os esforços de modelagem matemática aos demais programas de melhoria empresarial. Esta metodologia, devido à sua natureza sistêmica, foi desenvolvida com essa possibilidade de integração a outros programas de melhoria,

como o TQM ou o BPR, em mente. E pode também ser parte de, ou feita em conjunto com planos diretores de Informática.

Vale a pena estender a discussão sobre a integração com o TQM. Ele é uma metodologia poderosa, mas que depende de uma cultura unitária e um ambiente participativo para ser implementado. Também tem riscos de implantação e há muitos casos de insucesso na literatura justamente em função dessas contingências.

Evidentemente, o uso contínuo do ciclo de Shewhart (a melhoria contínua) no TQM pode levar a um ciclo virtuoso onde ferramentas mais potentes e sofisticadas (como modelos matemáticos de P.O., I.A. e Estatística) podem ser identificadas como componentes necessárias para garantir a melhoria contínua ou mesmo um *breakthrough*. Esta hipótese é corroborada pela utilização de métodos analíticos relativamente sofisticados em organizações adiantadas neste processo, como modelos estatísticos de delineamento de experimentos, controle estatístico de processo, etc (que são exigências de alguns padrões industriais como a QS 9000). Assim, a base de modelos cresceria paulatinamente em quantidade e qualidade. O planejamento hoshin se incumbiria de garantir a coerência das decisões e, por conseguinte, dos seus modelos. Assim, tal processo *bottom up* poderia, em princípio, desenvolver uma base de modelos adequada e gerada num aprendizado contínuo (em analogia a um anti-planejamento, Churchman, 1971), conforme foi exigido da metodologia apresentada aqui. Isto demonstra a total compatibilidade da metodologia com programas de TQM; faltam apenas a característica pro-ativa de planejamento da base de modelos, e a "epistemologia da prática" para o uso de modelagem matemática, que não fazem parte do repertório do TQM mas que estão incorporados na metodologia da tese. Há também a questão de como interligar os caminhos tecnológicos dos diversos módulos de decisão (que poderiam ser as próprias equipes de melhoria), que também não é explícita no TQM mas é tratada aqui.

Além disso, a metodologia pode tratar o desenvolvimento de modelos em situações aonde o TQM não conseguiria intervir com boa chance de sucesso, como no caso de contextos unitários tradicionais.

Pode acontecer que nesta fase se constate a vantagem de se ampliar ou reduzir o sistema de decisões que é objeto do plano diretor devido às sinergias mencionadas. Neste caso, pode ser necessária pelo menos mais uma iteração completa da metodologia para obter-se a convergência do plano de modelagem.

Nada impede que as trajetórias tecnológicas e sua integração no plano diretor de modelagem já considerem estes efeitos sinérgicos com outras iniciativas de melhoria; a idéia de colocar esta fase é ter-se uma etapa onde tal cuidado ocorresse compulsoriamente.

6.7 Fechando o ciclo e considerações práticas

Após o primeiro ciclo ou iteração da metodologia, voltamos ao ponto de partida, isto é, à primeira fase "Definição do sistema", para iniciarmos o segundo ciclo. Conforme explicado no início deste capítulo, o processo iterativo deve prosseguir até o momento em que, numa dada fase j do i -ésimo ciclo, haja a coincidência com a proposição da mesma fase do ciclo anterior. Agora fica mais claro o critério de parada ou de convergência, pois todas as fases permitem esta comparação ao gerarem modelos do sistema e ambiente de decisões (como uma matriz topológica ou uma fronteira de sistema).

A decisão de parada vai depender de um consenso na equipe do projeto sobre a diferença constatada entre os "produtos" de cada ciclo. Por isto mesmo, é importante manter o mesmo grupo do início ao fim do processo de geração do plano diretor de modelagem, para garantir que a definição dos critérios de parada seja feita de forma consistente e todos os *tradeoffs* considerados.

Assim, o tempo total para elaborar o plano deve ser curto, não devendo exceder o total de algumas semanas (incluindo levantamentos e análises que podem ser realizados fora do ambiente de reuniões). Isto facilita a manutenção da mesma equipe, diminuindo efeitos perniciosos de rotatividade de pessoal e de memória de curto prazo, além de ajudar na "venda interna" do projeto. Isto também vai facilitar a revisão do plano, que pode ter uma periodicidade pré-fixada (por exemplo, anual), ou disparada por eventos previamente combinados (como a introdução de novos produtos, mudanças organizacionais e tecnológicas, entrada de novos concorrentes, etc.).

A dinâmica do processo pode seguir um sem-número de linhas, desde trabalhos tradicionais de "gabinete" (como originalmente feito no método de fatores críticos de sucesso, Rockart 1979) até trabalhos em equipe no estilo do TQM (Shiba et al., 1993). A escolha dos métodos de trabalho, entretanto, fica a cargo dos executores do projeto, pois dependerá muito de contingências específicas de cada caso. Por exemplo, organizações autocráticas podem preferir o uso de equipes ad hoc de analistas

(consultores internos ou externos), enquanto outras podem preferir o uso de equipes internas multifuncionais, misturando decisores e analistas-especialistas.

A equipe de projeto deve engajar preferencialmente representantes de todos os *stakeholders* importantes (inclusive o pessoal de Informática e de modelagem). Como existe aqui uma preocupação específica com aprendizado e equivocação, recomenda-se o uso de métodos participativos com equipes multifuncionais ao invés de analistas isolados, fugindo do paradigma consultoria criticado no capítulo 5. Adicionalmente, os decisores e outros *stakeholders* (como informadores e verificadores) devem ter bom domínio sobre seu negócio, isto é, devem ter conhecimento e experiência profundos de suas atividades, senão a definição das interações entre módulos de decisão e sua análise interna ficarão prejudicadas. Entretanto, mesmo quando esse pré-requisito de conhecimento da equipe não puder ser plenamente atendido, a metodologia ainda pode ser realizada com grande proveito. Isto decorre justamente do esclarecimento e resolução de *tradeoffs* e interações, que podem resultar em um subproduto muito interessante para este tipo de participantes.

6.8 Conclusões

A metodologia proposta acima pode ser considerada como proveniente da linhagem *soft* da P.O. e de uma série de metodologias correlatas da área de sistemas de informação. Nesse sentido, apesar de empregar o modelo topológico como um modelo do sistema de decisão, sua finalidade é basicamente qualitativa: seu produto é o plano diretor de modelagem.

A validação de uma metodologia é uma questão delicada, pois apenas seu uso em condições reais poderia dizer se esta atende aos requisitos solicitados e se trata convenientemente dos diversos riscos de modelagem. Entretanto, isto faria com que o processo de desenvolvimento da tese fosse extremamente alongado para garantir alguma significância estatística, além das considerações práticas de custos e prazos (por exemplo, o programa de *action research* do SSM de Checkland espalhou-se por duas décadas, Checkland e Scholes, 1990). Assim, optou-se mais simplesmente por verificar se: a) a metodologia em princípio atende aos objetivos estabelecidos no início deste capítulo e, b) se satisfaz os requisitos enumerados no final do capítulo 5.

Objetivos do estudo. Foram estabelecidos três objetivos:

1. garantir a integridade sistêmica das decisões apoiadas pelos modelos, ou seja, evitar ou minimizar sub-otimizações;

2. identificar e potencializar oportunidades de modelagem na organização;
3. considerar uma dimensão de tempo (evolução da tecnologia de decisão) que se traduz em maior robustez de implantação (minimização de risco de implantação) e apoio ao aprendizado organizacional

O primeiro objetivo é preocupação fundamental da metodologia e permeia todas as fases da mesma. Rearranjos, agrupamentos, desdobramentos e revisões dos módulos de decisão têm este propósito. A idéia é chegar a um modelo topológico ou sistema de decisão "ideal" que permita um "ótimo global" (se isto é possível). A noção de hierarquia, controle e propriedades emergentes norteia toda esta discussão.

A questão de colocar "inteligência formal" nos módulos via a modelagem matemática é o escopo básico da metodologia. Parte-se do pressuposto que TODO módulo de decisão pode usar ferramenta analítico⁵. A idéia é verificar a viabilidade imediata e futura de utilizá-los. Pode inclusive acontecer de um determinado módulo atender todas as pré-condições para uso de modelos, mas não se propor sua implantação porque a decisão é relativamente trivial e não há necessidade de sofisticá-la. Isto é, a relação benefício-custo não se mostra adequada.

Assim, o segundo objetivo está associado às fases finais da metodologia, ou seja, o desenvolvimento das trajetórias tecnológicas, sua integração em um plano diretor e o aproveitamento de possíveis sinergias com outros programas de melhoria (fases 4 a 6). Essas mesmas fases também contemplam o terceiro objetivo, de considerar aspectos dinâmicos e de aprendizado (evolução do sistema de decisão, incluindo uma conotação de progresso). Isto é reforçado pela recomendação de se desenvolver todo o processo de planejamento rapidamente e com revisões freqüentes.

Podemos então concluir que os objetivos propostos são atendidos pela metodologia.

Requisitos de uma metodologia. Conforme a discussão do item 5.4, temos que o plano diretor de modelos deve:

- definir uma estrutura ou arquitetura global de modelos de decisão - atendido pelo modelo topológico;
- definir uma carteira de modelos que apoiam as diversas decisões - é o produto da fase de trajetórias tecnológicas;

5 A. Geoffrion, comunicação pessoal, junho de 1995.

- estabelecer fronteiras claras e bem definidas entre os diversos modelos individuais, que vão interagir como componentes dentro do sistema maior (propriedades emergentes) - novamente o modelo topológico;
- especificar o desenvolvimento ordenado de modelos baseado em prioridades organizacionais e a sequência lógica de desenvolvimento - garantido pelo uso de fatores críticos de sucesso, pela atenção com os pressupostos de modelagem, o conceito de trajetória tecnológica e a análise benefício-custo;
- considerar o uso de ciclos de aprendizagem na sua implantação e revisão - embutido na própria espiral metodológica, na sequência das fases e nas trajetórias tecnológicas.

Assim, esse conjunto de especificações foi atendido. Temos agora os requisitos metodológicos, a saber:

- auxiliar a restringir e estruturar o espaço do problema (sistema de decisão) - atendido pelo modelo topológico e pela espiral de projeto;
- auxiliar na busca eficiente dentro do espaço do problema - idem acima;
- ajudar a estabelecer necessidades de modelagem que não podem ser deduzidas por ancoragem e ajuste, além de superar limitações de memória de curto prazo - garantido pelo uso de formalismos como o modelo topológico, o módulo de decisão e facilitado se a formação da equipe de projeto incluir pessoal com o devido conhecimento;
- auxiliar na superação de vícios como curto prazo, materialidade e amostras não-significativas - idem acima.

Além disso, temos que considerar o tratamento dos riscos tipo I, II e IV (discutidos no item 2.2). Deve-se:

- considerar as limitações da natureza da modelagem matemática (os pressupostos) - atendido na fase 4, trajetória tecnológica, ao assumir-se a complementaridade dos enfoques *hard* e *soft*;
- minimizar a sub-otimização decorrente de se ter modelos isolados, inclusive auxiliando a encontrar e verificar *tradeoffs* escondidos ou desconhecidos (verticais e horizontais) - garantido pela análise dos módulos de decisão dentro do modelo topológico;
- considerar a implantação e o uso de modelos como processos de inovação na tecnologia de decisão - atendido pelo conceito de gestão do processo de inovação e trajetória tecnológica.

Reforçando comentários anteriores, assume-se que a metodologia proposta terá melhores resultados de aprendizagem e redução de equivocação e sub-ótimos se for

possível montar-se equipes que contenham *stakeholders* importantes, fugindo assim do paradigma consultoria, além de possibilitar o uso de *self starters* ou modelos desenvolvidos pelos próprios usuários no desenvolvimento das trajetórias tecnológicas.

Desta maneira, finalmente, pode-se considerar que a metodologia atende aos objetivos e requisitos dela solicitados. Isto poderá ser melhor avaliado com uma ilustração de seu uso, como descrito a seguir.

7 CASO ILUSTRATIVO

O objetivo deste exemplo é ilustrar o processo de aplicação da metodologia descrita no capítulo anterior, tendo como base experiências correlacionadas de desenvolvimento e uso de modelos em organizações reais. Não tem a pretensão de tomar o papel de uma demonstração ou aplicação mais rigorosa para testar sua coerência interna ou validade; a idéia é fazê-lo em pesquisas posteriores, pois senão poderíamos entrar em discussões centradas na escolha de métodos ou técnicas particulares de intervenção (que são sempre ditadas por contingências particulares) e perder o foco da proposta de metodologia aqui realizada. O exemplo assim descreve a criação de um plano diretor de modelagem em uma escala facilmente compreensível.

Esta ilustração foi construída com informações colhidas a partir de uma série de intervenções orientadas pelo autor da tese ao longo de dois anos (1990 e 1991) na área de distribuição física de produtos para uma tradicional indústria de panificados sediada em São Paulo. Esses trabalhos acabaram gerando dois trabalhos de formatura no Departamento de Engenharia de Produção da Escola Politécnica da USP (Salata, 1990; Amaral, 1991), além de um artigo na revista Produção (Salata e Yoshizaki, 1993). Além disso, o autor da tese também orientou outro trabalho de formatura que desenvolveu parte do plano diretor de informática para a mesma empresa em 1994 (Cabral, 1994).

Apesar da metodologia aqui proposta ainda estar no futuro naquela época, muitas das questões que influenciaram seu desenvolvimento já eram motivo de intensa reflexão. Por exemplo, o modelo de roteirização desenvolvido (Salata e Yoshizaki, 1993) foi o primeiro caso onde algumas das variáveis contextuais (frequência de decisão, integração com sistemas de informação e estágio tecnológico da administração) e o conceito de trajetória tecnológica, citados no capítulo 4, foram explicitamente considerados na seleção do método (algoritmo) empregado. Além disso, o modelo de localização do segundo trabalho (Amaral, 1991) foi fortemente influenciado pela questão de roteirização, pois o mau desempenho da frota de veículos para entrega final só teria solução eficaz nesse contexto.

7.1 Apresentação do caso

A empresa enfocada era, na época, a líder de mercado no segmento de panificados (basicamente pães e bolos industrializados) no Estado de São Paulo e parte do Rio de Janeiro, com um faturamento anual de US\$ 50 milhões. O principal produto distribuído (cerca de 60% do faturamento) caracteriza-se pela sua extrema fragilidade e

perecibilidade (vida útil de uma semana, contada a partir da data de produção). O composto dos diversos produtos também tem baixa densidade volumétrica (os veículos de entrega ou de transferência eram preenchidos por volume antes de ter seu peso máximo alcançado) e de valor (\$/m cúbico). Na época, começavam a despontar no mercado empresas concorrentes, fato considerado perturbador, pois até então a liderança de mercado era mantida sem esforço. Este foi um dos motivos para que, em 1989, houvesse uma mudança radical na operação do canal de distribuição da empresa.

Até aquela data o canal de vendas e o canal de distribuição física eram sobrepostos: usava-se um esquema chamado de pronta entrega (também usado por todos os concorrentes). Nesse esquema o motorista do veículo de entregas era também o vendedor, saindo do depósito (que podia ser o depósito da própria fábrica ou de uma das cinco filiais que atendiam o interior de SP e RJ) com um composto de carga definido pelo mesmo e percorrendo um roteiro fixado anteriormente pela área comercial. Assim, cada motorista-vendedor era responsável por uma zona de vendas fixa, sendo comissionado para isto. Devido a uma série de motivos que não serão aqui esmiuçados, a empresa optou por trabalhar em um esquema que ela chamou de pré-venda, que desvinculava o canal de transações (vendas) do canal de distribuição física (entregas). Passaram a existir duas funções especializadas: vendedores e motoristas. Os vendedores percorriam roteiros fixos (dentro de regiões geográficas pré-estabelecidas e fixas) e tomavam os pedidos que eram entregues (em princípio) em até 48 horas. Os motoristas então organizavam o carregamento dos veículos conforme as notas fiscais geradas durante a noite anterior à viagem e baseadas nos pedidos dos vendedores. Por uma questão de tradição, as mesmas zonas de vendas/entregas da pronta entrega foram mantidas no novo esquema, tanto para os vendedores como para os entregadores. Além disso, foi formada uma nova estrutura organizacional, separando-se vendas da entrega. Assim, um posto de gerente de distribuição física foi criado, que seria então responsável por todo o sistema físico de distribuição, incluindo depósitos nas filiais e o transporte de transferência entre as fábricas e os depósitos. É nesse ponto da história que se inicia nossa intervenção.

Foi contratado no mercado um profissional para o posto de gerente de distribuição. Ele era engenheiro de formação e tinha razoável experiência na área. Um fato muito positivo foi sua crença no uso de ferramentas mais sofisticadas de administração, em particular a Pesquisa Operacional. Ele agiu como um dos principais incentivadores para o desenvolvimento dos modelos e atuou na posição hoje já clássica de "campeão interno" do projeto. Havia, portanto, um ambiente propício para o tipo de proposta aqui colocada. Entretanto, havia também uma série de óbices associados ao primitivo estágio

da tecnologia de decisão na empresa, o que nos obrigou a repensar o método clássico de intervenção. Por exemplo, os alunos-analistas que desenvolveram os modelos queriam partir logo para o seu desenvolvimento e codificação, tendo sido necessário refreá-los. Da mesma forma, o gerente queria soluções sofisticadas, mas quem as utilizaria no dia a dia seriam pessoas como os supervisores e motoristas, que não tinham a menor experiência, ou mesmo idéia, do que aquilo se tratava. A pressa e o otimismo do gerente e dos analistas (os alunos) não tinham contrapartida na realidade organizacional, o que permitia antever problemas caso uma revisão de atitude não fosse considerada.

7.2 Aplicação da metodologia: primeira iteração.

O escopo do estudo estava dado pelo "contratante" ou dono do sistema, o gerente de distribuição. Assim, o projeto de base de modelos em princípio se restringiria ao sistema de decisões do sistema de operações de distribuição física. Vamos agora então partir para iterar as seis fases de cada ciclo da metodologia.

7.2.1 Definição do sistema 1

A distribuição física era considerada um fator crítico de sucesso pela direção da empresa, que colocava como objetivo dessa função "garantir a colocação dos produtos nos pontos de vendas dentro da pontualidade, nas quantidades efetivamente vendidas e na qualidade física necessária para sua comercialização" (Salata, 1990, p. 28). É interessante notar a pouca preocupação com custos e a forma vaga com que o nível de serviço era definido. Em contrapartida, o novo gerente de distribuição era bastante sensível a custos e eficiência.

Para identificar o conjunto de *stakeholders* associados, podemos olhar o organograma da empresa e da área de distribuição (vide Figura 7.1).

Conforme colocado, o principal interessado era o gerente de distribuição. O sistema de operações sob sua responsabilidade compreende a transferência de produtos das fábricas para os depósitos nas filiais (cinco, em Campinas, São Vicente, Marília, Ribeirão Preto e São José dos Campos), o transbordo de mercadorias e a entrega final aos clientes. Os componentes físicos sob sua égide eram os depósitos nas filiais, as garagens, os contenedores de entrega (cestas plásticas que acondicionam o produto e servem também como estante de exposição), a frota de veículos (que era de propriedade da empresa), etc. O projeto dos processos e sistemas de informações associados eram também de sua

alçada. Os demais *stakeholders*, classificados conforme as categorias expressas no item 1.2.5, estão listados na tabela 7.1 a seguir.

a) A empresa

b) Distribuição Física

c) Gerência de Vendas

Adaptado de Amaral (1991)

Figura 7.1. Organograma da empresa

Tabela 7.1. Stakeholders e seus Weltanschauungen

<i>Categoria</i>	<i>Stakeholder</i>	<i>Weltanschauungen</i>
decisores	gerente de distribuição supervisores/encarregados motoristas	eficiência e nível de serviço. viabilidade no curto prazo; disponibilidade. menor tempo de viagem; segurança.
executores	motoristas pessoal do depósito pessoal transacional	horas extras; atendimento de prazos. tempo de execução de tarefas. tempo de execução de tarefas.
informadores	vendedores contas a pagar/faturamento cadastro de clientes garagem	prazos; falta de produtos. tempo de execução das tarefas. tempo de execução das tarefas. disponibilidade; faltas de pessoal.
verificadores	todos executores	vide acima.
analistas/projetistas	gerente de distribuição alunos-analistas	sofisticação nos sistemas de decisão. desenvolver modelos.

vítimas	Executores	vide acima.
beneficiários	clientes proprietários gerente de distribuição supervisores de tráfego analistas pessoal de vendas pessoal de informática	prazos; disponibilidade. crescimento ou manutenção de vendas. valorização da carreira; aprendizado. facilidade de controle. trabalho de formatura; aprendizado. nível de serviço; controle. utilização; maior prestígio interno.
dono do processo	diretoria executiva gerente de distribuição	desempenho da empresa. vide acima.
parceiros	gerente de vendas gerente de informática	melhor nível de serviço. maior visibilidade; prestígio.

Observando-se a lista de *stakeholders*, além dos componentes físicos e processos diretamente sob responsabilidade do interessado principal (o gerente de distribuição), pode-se também identificar algumas interfaces importantes que podem ser consideradas como parte do sistema de distribuição. Por exemplo, o processamento de pedidos de clientes é feito parte pela área de vendas, parte pela área de distribuição e parte pela área de faturamento. Assim, devemos expandir o sistema de operações para englobar estas novas parcelas.

Deve-se reparar que os *stakeholders* principais (decisores, informadores, executores, verificadores, donos do processo e parceiros) já contém variedade suficiente para tratar (em princípio) dos problemas de distribuição (princípio da variedade requerida de Beer).

Para facilitar a discussão, os diversos *stakeholders* serão referidos por mnemônicos associados. Para cada área, temos:

- VND - Vendas
- MKT - Marketing
- DIS - Distribuição
- PRO - Produção
- FAT - Faturamento
- INF - Informática
- FIL - Filial

- DEP - Depósito
- GRG - Garagem
- TRA - Tráfego

Usaremos também as seguintes siglas:

- G - gerente
- S - supervisor
- E - encarregado
- A - analista/projetista
- M - motorista
- V - vendedor
- C - ajudante/chapa

Assim, por exemplo, GDIST significa gerente de distribuição, EDEP, encarregado do depósito, e assim por diante.

7.2.2 Descrever a malha de decisões 1

Um primeiro passo usado para descrever o sistema de decisões para distribuição física está na Figura 7.2 abaixo. É uma matriz simplificada, que ainda não detalha os módulos de decisão, que foram substituídos simplesmente por "decisões típicas". As colunas foram inspiradas no processo físico controlado pelo sistema de decisão e há apenas três níveis de decisão, pois assim cada um deles engloba uma certa faixa de horizontes de planejamento e períodos de revisão possíveis. Essas simplificações foram feitas pois esta primeira matriz serve como um "gatilho" para gerar um primeiro rol de decisões que podem ser posteriormente detalhadas no modelo topológico.

Nível de Decisão e Escopo	Entrada Externa	Transporte de transferência	Depósito	Transporte de ponta	Saída externa
Estratégico HP > 3 anos PR eventual Todas regiões	Linha de produtos; Nível de serviço na entrega; Projeto do sistema de processamento de pedidos	Seleção de modal; Nível de serviço; Dimensionamento da frota de transferência.	Localização dos depósitos; Política de estoques; Arranjo físico.	Seleção de modal; Acondicionamento; Dimensionamento da frota de entrega.	Nil
Tático HP > 6 meses PR eventual Regional	Prioridades de corte; Orçamento de vendas; Promoções ; Critérios de crédito.	Manutenção preventiva.	Contratação de m-o sazonal	Manutenção preventiva; Zonas de entregas	Nil
Operacional HP > 1 dia PR diário Mercado local	Cortes na entrega; Liberação de pedidos.	Despacho diário	Transbordo de mercadorias	Roteirização das entregas (GSP, RIO e interior)	Retorno de vencidos

Figura 7.2. Primeira matriz topológica

É interessante notar a grande quantidade de decisões externas (segunda coluna) que geram entradas importantes para o sistema de distribuição física. Em flagrante contraste com esta situação, temos que as decisões externas na saída do sistema (última coluna) se reduzem apenas ao controle e disposição dos itens devolvidos pelos varejistas, ou seja, os produtos já com suas datas de validade vencidas. Esse material é devolvido à fábrica que então dispõe do mesmo.

A partir desse modelo inicial, é possível enumerar e descrever resumidamente as diversas decisões, conforme listado na Tabela 7.2. Cada uma das tabelas mostra as decisões de uma determinada coluna da matriz da Figura 7.2. Somente a coluna de saídas externas não gerou uma tabela per si, pois só há a decisão do retorno dos vencidos e ela foi excluída da análise (conforme discutido logo abaixo). As colunas de cada uma das Tabelas 7.2 representam, pela ordem: a decisão conforme a matriz topológica; um mnemônico para nomear a decisão; o horizonte de planejamento e o período de revisão da decisão; o escopo geográfico da decisão; uma descrição sumária da decisão; o conjunto de principais *stakeholders*; e se tal decisão é suficientemente integrada ou associada às outras ou se é suficientemente estável no horizonte previsível. Esta última coluna é importante, pois uma avaliação preliminar permite verificar quais decisões merecem ser mantidas na matriz topológica e, portanto, ser posteriormente analisadas para gerar uma trajetória de evolução tecnológica. Assim, algumas decisões

foram eliminadas pois não influenciam o projeto da base de modelos. Foi o que aconteceu com a decisão de retorno de vencidos: ela tem pouca importância nas condições vigentes na época (mercado comprador e pouco retorno) e também não demanda maior integração com as outras (por enquanto). Por outro lado, as decisões LPROD, SELTRF, SELENT e CESTA permanecerão inalteradas indefinidamente e, assim, não participam ativamente do modelo topológico. Já a decisão CREDI não tem vínculos com as outras decisões do sistema de distribuição física; e a decisão PEST, finalmente, está bastante vinculada à LPROD: a perecibilidade dos produtos força a não-manutenção de estoques de produtos acabados no sistema e o uso de esquemas de transbordo direto nas filiais.

Observando-se as diversas Tabelas 7.2 pode-se notar também que, nos níveis mais elevados da hierarquia de decisões (HP = 5 e 3 anos), todos os ciclos de revisão são eventuais, o que demonstra uma administração basicamente *ad hoc*, mesmo para certas decisões importantes e que mereceriam uma revisão periódica (como nível de serviço de entrega, reposição e dimensionamento de frota), ou algumas decisões a nível tático (como a definição de zonas de entrega). Havia uma postura reativa que conota um estágio tecnológico relativamente primitivo para a gestão da distribuição física naquela época.

Com o conjunto de decisões já reduzido, fica mais fácil explicitar os diversos módulos de decisão - MD's, segundo a regra SYLPHID, conforme mostra a Tabela 7.3. Assim, temos os stakeholders (alguns deles detalhados a nível de cargo) com seus objetivos e metas (S), as variáveis exógenas ao MD (Y), os limites ou restrições (L), o período de revisão e o horizonte de planejamento (PH), os indicadores de desempenho utilizados (I) e as variáveis de decisão (D). Agora podemos identificar quantos níveis hierárquicos realmente existem para montar o modelo topológico do sistema de decisões. Fazendo um agrupamento baseado no horizonte de planejamento, encontramos quatro níveis: estratégico, longo prazo, tático e operativo, associados a, respectivamente, cinco, três e um ano, e um dia. A distinção entre cinco e três anos nos níveis estratégico e longo prazo foi apenas orientativa, servindo para estratificar os diversos módulos de decisão, ou seja, identificando quais decisões de maior prazo teriam horizontes mais ou menos extensos.

Outro fator que permite concluir o relativo atraso tecnológico de decisão é o uso de indicadores informais em boa parte dos MD's ou mesmo de sua ausência completa. As áreas operativas de transporte (transferência e entrega final), entretanto, estavam mais adiantadas nesse processo, pois o gerente de distribuição já havia implantado um

sistema de indicadores parciais de produtividade dos veículos e rotas no início do projeto (Salata e Yoshizaki, 1993).

Tabela 7.2.a. Decisões enumeradas para matriz topológica final da Fase 2 - Entrada Externa

Decisão	Minimônico	HP/PR	Escopo	Descrição sumária	Stakeholders	Mantém na MIT?
Linha de Produtos	LPROD	5 anos; eventual	Todas regiões e mercados	Definição da linha de produtos (tipos, embalagens, etc.)	MKT; PRO, VND, DIS	N: atual linha mantida indefinidamente
Nível de serviço na entrega	NSE	5 anos; eventual	Todas regiões e mercados	Prazo de entrega (dia seguinte) e disponibilidade (prioridade de atendimento)	Diretoria, VND, PRO, DIS, MKT	S
Projeto do sistema de proc. de pedidos	SPED	5 anos; eventual	Todas regiões e mercados	Determinar sistema de processamento de pedidos	Diretoria, VND, DIS, PRO, INF	S: objeto do projeto da base de modelos
Orçamento de vendas	VEN	1 ano; mensal	Filial e zona	Planejamento de vendas com definição de metas	VND, PRO, MKT	S
Promoções	PROMO	1 ano; mensal	Todas regiões, regional e local	Calendário de promoções; ajustes à concorrência	VND, PRO, DIS	S
Crítérios de crédito	CRED	1 anos; mensal	Regional	Liberação de crédito (grandes clientes), resto à vista	FAT, C/P, VND	N
Cortes na entrega	CORT	1 dia; diário	Local	Cortes na entrega devido a faltas momentâneas	VND, DIS, PRO	S: depende de classe do cliente
Liberação de pedidos	LIB	1 dia; diário	Local	Dispara o processo de entrega final; faturamento (NIFs)	VND, DIS, FIL	S: amarrado com roteiro diário

Tabela 7.2.b Decisões enumeradas para matriz topológica final da Fase2 – Transporte de transferência

Decisão	Mantém	HEPER	Grupo	Descrição sumária	Substituir	Mantém na MIT?
Seleção de nível	SELNRF	3 anos; eventual	Todas filiais	Busca tecnológica individual decisão de reestruturar	DIS, TRA, VND, MKT	Não se exige alterar
Nível de serviço de transferência	NSNRF	3 anos; eventual	Todas filiais	Associada a possibilidade de produtos, rotas e estoques	DIS, TRA, FIL, VND	S além área de abrangeção das filiais
Diminuição do nível de transferência	FRNRF	3 anos; eventual	Todas filiais	Demanda de veículos e veículos; critérios de reposição	DIS, TRA	S
Mantém preventiva	MNTRF	1 ano; anual	Regional	Programa de manutenção	TRA, DIS	S
Mantém corretiva	CCNRF	1 semana; diário	Local	Paradas corretivas e pequenas preventivas (laços, óleo)	TRA, DIS	S
Despacho diário	DISP	1 dia; diário	Local	Abastecimento das filiais para transporte	FIL, TRA, DIS, DEP	S

Tabela 72.e Decisões enumeradas parametriz topológica final da Base2 - Depósito

Decisão	Membrado	PER	Grupo	Descrição sumária	Sinônimos	Mantém na MT?
Localização dos depósitos	LOC	5 anos especial	Todos registros e mercado	Quantidade, tamanho e localização dos depósitos	Distância, VND DS, MKT, FIN	S
Política de estoques	BEST	5 anos especial	Todos registros e mercado	Semestrais de produtos acabados (<i>gross selling</i>)	Distância, MKT, DS	N depend basicamente da linha de produtos
Anexo físico	AF	3 anos especial	Filiais e filiais	Projeto individual de cada filial (parte de estrutura)	DS, FIL, DEP	S
Contratação de mão sazonal	MCSAZ	1 ano normal	Filiais	Contratações temporárias (mão não especializada)	DS, FIL, DEP	S
Transtorno	TRE	1 dia, diário	Local	Quantidade de carga, ordem e cargueiro	DS, DEP	S

Tabela 7.2.d. Decisões enumeradas para matriz topológica final da Fase 2 – Entrega final

Decisão	Mantenimento	HR/PR	Escopo	Descrição sumária	Stakeholders	Mantém na MT?
Seleção de modal	SELENT	3 anos; eventual	Todas filiais	Escolha tecnológica inclui decisão de terceirizar	DIS, TRA, VND, MKT, FIL	Nº não se cogita alterar
Acondicionamento	CESTA	3 anos; eventual	Todas filiais	Escolha de unidade de movimentação e exposição	MKT, DIS	Nº não se cogita alterar
Dimensionamento da frota de entregas	FROENT	3 anos; eventual	Todas filiais	Demanda de viagens e veículos; critérios de reposição	DIS, TRA, FIL	S
Manutenção preventiva	MNENT	1 ano; mensal	Filial	Cronograma de manutenção	TRA, DIS, DEP	S
Zonas de entregas	ZON	1 ano; eventual	Filial	Ajustes devido a inclusão e exclusão de clientes	TRA, DEP, DIS	S
Manutenção corretiva	CORENT	1 semana; diário	Local	Paradas corretivas e pequenas preventivas (lavagens, óleo)	TRA, DEP, DIS	S
Rotinização de entregas	ROT	1 dia; diário	Local	Entrega parcela aos clientes	TRA, DIS, DEP, FIL, VND	S

Nível de Decisão e Escopo	Entrada Externa	Transporte de transferência	Depósito	Transporte de ponta	Saída externa
Estratégico HP = 5 anos PR eventual	NSE SPED		LOC		
Longo prazo HP = 3 anos PR eventual		NSTRF FROTRF	AF	FROENT	
Tático HP = 1 ano PR = 1 mês	VEN PROMO	MNTRF	MOSAZ	MNENT ZON	
Operacional HP = 1-7 dias PR diário	CORT LIB	CORTRF DESP	TRB	CORENT ROT	

Figura 7.3. Modelo topológico com os módulos de decisão analisados

O detalhamento dos módulos de decisão pelo SYLPHID permite também outras análises, principalmente das interações entre as diversas decisões, conforme discutido no item 5.3.. Para isto, é melhor utilizar o modelo topológico atualizado, já com os módulos de decisão da tabela 7.3 identificados por sua abreviatura (Figura 7.3).

Assim, agora estamos prontos para partir para a Fase 3, onde a matriz topológica será revisada e reconfigurada, de maneira a minimizarmos os problemas de subotimização decorrentes da (inevitável) fragmentação das decisões.

7.2.3 Definir novos módulos de decisão 1

Agora a construção de um modelo topológico aperfeiçoado (tão próximo do modelo "ideal" quanto se queira) é possível pela crítica do modelo topológico atual. Para isso, vamos partir da Tabela 7.3 e da Figura 7.3, construindo uma carta de/para que explicita as diversas interações (Figura 7.4). Nessa carta, um L significa que o MDi (linha i) gera um limitante ou restrição para o MDj (coluna j); um Y, que o mesmo gera uma variável exógena ou parâmetro importante (influencia sentida já no curto prazo); e, por fim, um y significa uma variável exógena ou parâmetro pouco ponderável (afeta somente no longo prazo).

Tabela 7.3.a. SYLPHID para Entrada Externa

HP/PR	Módulo de decisão	Stakeholders	Objetivos/ Metas	Variáveis exigidas	Limites ou restrições	Indicadores	Variáveis de decisão
5 anos; eventual	NSE	Diretoria, VND, PRO, DIS, MKT	Atendimento em 24h Estratificar clientes	NS dos concorrentes Previsão de vendas Perenidade dos produtos Necessidades dos clientes	Malha logística atual e prevista Capacidade de investimento	Nível de reclamações (informal)	Prazo de entrega Disponibilidade (critérios de prioridade para clientes)
5 anos; eventual	SPED	Diretoria, GVND, GDIS, GPRO, GINF	Diminuir prazos Aumentar capacidade	Benchmark de concorrentes NSE	Tecnologias disponíveis Capacidade de investimento	N/E	Processos Tecnologia (Informática e telecomunicações)
1 ano; mensal	VEN	GVND, SVEN, GFIL, GPRO, GMKT	Aumentar vendas Ampliar mercados	Potencial dos mercados Previsão de vendas NSE	Capacidade de produção Área de abrangência da malha logística	% atendimento do orçamento de vendas	Orçamento de vendas
1 ano; mensal	PROMO	GVND, SVEN, GFIL, GPRO, GDIS	Apoio ao Marketing	Plano de Marketing Ação da concorrência	Orçamento de promoções Flexibilidade do sistema	% atendimento do orçamento de vendas	Calendário de promoções; ajustes à concorrência
1 dia; diário	CORT	SVND, SFIL, STRA, SPRO	Atender NSE	Pedidos em carteira Programa de produção	Disponibilidade do item NSE	N/E	Cortes na entrega devido a faltas momentâneas
1 dia; diário	LIB	VVND, VFIL, EDED	Atender pedidos Emitir NF's e romaneios	Critérios de crédito Pedidos em carteira Cortes	Disponibilidade Zonas de entregas	Atendimento do prazo interno (informal)	Pedido liberado NF's

Tabela 7.3.b. SYLPHID para Transporte de transferência

HP/PR	MD	Stakeholders	Objetivos/ Metas	Variáveis exigidas	Limites ou restrições	Indicadores	Variáveis de decisão
3 anos; eventual	NSTRF	GEDIS, STRA, GFIL, GVND	Garantir NSE das filiais	Distâncias e tempos Percebibilidade dos itens	NSE	atrasos (informal)	NS da transferência (prazos)
3 anos; eventual	FROTRF	GEDIS, STRA	Garantir NSTRF Eficiência	Previsão de vendas por filial MSTRF	Capacidade de investimento	% utilização da frota	Quantidade de veículos e tripulações
1 ano; mensal	MNTRF	STRA, GEDIS	Garantir disponibilidade	Previsão de vendas por filial Sazonalidades		% disponibilidade	Calendário de manutenção Programa de paradas
1 semana; diário	CORTRF	STRA, EDEP, GEDIS	Garantir disponibilidade	Quebras Flutuações de curto prazo		Tempo parado na oficina (informal)	Agendamento de paradas
1 dia; diário	DESP	EDEP, MIRA, STRA	Abastecer filiais	Previsão de vendas para dia seguinte CORT	Frota e tripulações disponíveis Disponibilidade na fábrica	atrasos (informal)	Agendamento de transferências

Tabela 7.3.c. SYLPHID para Depósito

HP/PR	MD	Stakeholders	Objetivos/ Metas	Variáveis exógenas	Limites ou restrições	Indicadores	Variáveis de decisão
5 anos; eventual	LOC	Diretoria, GVND, GDIS, GMKT, FIN	Garantir NSE Minimizar custos totais	NSE Previsão de vendas Locais potenciais	Capacidade de investimento	Prazo de entrega a partir de depósito Ocupação de veículos Custo/entrega	Quantidade, localização e tamanho de depósitos e fábricas Área de influência de cada facilidade
3 anos; eventual	AF	GDIS, SDEP, GFIL	Minimizar esforço de transbordo	Depósitos previstos Tecnologia disponível	Instalação física em questão	N/E	Arranjo físico do depósito ou almoxarifado Equipamento de manuseio
1 ano; mensal	MCSAZ	GDIS, GFIL, EDEP	Garantir NSE	Calendário de promoções Previsão de vendas		Custo de HE (informal)	Programa de contratações temporárias
1 dia; diário	TRB	EPRO, EDEP	Realizar transbordo	Material transferido Quantidades a embarcar por zona	Capacidade de transbordo	% liberação dos veículos no horário de saída	Arrumação da carga

Tabela 7.3.d. SYLPHID para Entrega final

HP/PR	MD	Stakeholders	Objectives/ Metas	Variáveis exógenas	Limites ou restrições	Indicadores	Variáveis de decisão
3 anos; eventual	FROENT	GDIS, STRA, GVND, GFIL	Garantir NSE Minimizar custos totais	NSE Malha de depósitos Previsão de vendas	Tecnologia escolhida Área de influência dos depósitos	% utilização da frota tempo por zona de entrega	Quantidade e tipo dos veículos de entrega
1 ano; mensal	MNENT	STRA, GDIS, EDEP	Garantir disponibilidade	Previsão de vendas por filial Sazonalidades		% disponibilidade de da frota	Calendário de manutenção Programa de paradas
1 ano; eventual	ZON	STRA, GDIS, EDEP, GVND, GFIL	Garantir NSE Balançar esforço de entrega	Previsão de vendas NSE	Área de influência do depósito	% ocupação do veículo	Zona de entrega (fixa)
1 semana; diário	CORENT	STRA, EDEP, GDIS	Garantir disponibilidade	Quebras Flutuações diárias		Tempo parado na oficina (MTTR)	Agendamento de paradas
1 dia; diário	ROT	STRA, GDIS, EDEP, GFIL, SVND	Minimizar esforço de entrega	Pedidos aceitos Zonas de entrega	Frota em cada depósito Material transferido	% ocupação do veículo Tempo médio por roteiro	Sequência de visitas por roteiro (zona)

Var Dz	N SE	S PED	LOC	NS TRF	ERO TRF	AF	ERO ENT	VEN	PRO MO	MN TRF	MO SAZ	MN ENT	ZON	OO RT	LIB	CCR TRF	DE SP	TRB	CCR ENT	ROT
NSE		Y	Y	L			Y	Y			Y		Y	L				Y		L
SPED	Y		Y	Y										Y	L		L	L		Y
LOC	L	Y	Y	Y	Y	Y	L	L					L							
NSTRF			Y		Y					Y						L	L			
EROTRF			Y							Y						Y	L			
AF																		L		
ERCENT			Y					Y	L			Y	Y						Y	L
VEN									Y		Y			Y			Y			
PROMO								Y			Y			Y	Y					
MANTRF					Y							Y				Y	Y			
MOGAZ																		Y		
MANENT							Y			Y									Y	Y
ZON	L		Y				Y	Y							L					L
CORT	Y														L		Y	L		Y
LIB																		Y		Y
CORTRE					Y					Y							Y			
DESP				Y	Y											Y		Y		
TRB						Y														Y
CCRENT							Y					Y								Y
ROT	Y	Y	Y				Y					Y	Y						Y	

Figura 7.4. Carta de para derelacionamiento entre módulos de decisão

A idéia básica foi simplificar a análise das interações para evitar a enumeração pura e simples de todas as influências, supérflua como ilustração, para nos concentrarmos na dinâmica da metodologia.

Por outro lado, análises de coerência entre objetivos, indicadores e stakeholders não serão aqui realizadas, pois a não-existência de indicadores formais para a maior parte dos MD's torna tal discussão pouco profícua e não melhora o poder ilustrativo do exemplo. No desenvolvimento das trajetórias individuais, todavia, a proposição do desenvolvimento de indicadores formais vai ser imperativa para melhorar o controle formal do sistema.

Usando as informações da carta de-para, foi possível confeccionar matrizes individuais para cada MD, as quais permitem observar ou a coerência entre hierarquia ou a necessidade de rever a estrutura topológica (interrelações) de cada subsistema (vide Figuras 7.5.a a 7.5.t). O código de cores e símbolos auxilia neste caso. O MD sob foco aparece em verde; MD's que geram restrições (L) para ele são vermelhos; MD's que geram variáveis exógenas ou parâmetros são de cor laranja, para interações fortes (Y), ou de cor azul, para interações fracas (y). Setas para outros MD's significam a influência do MD analisado em outros MD's, seguindo o mesmo código de cores.

O diagnóstico fica assim facilitado. Por exemplo, MD's de cores fortes (vermelho ou laranja) que estejam situados abaixo do MD verde (analisado) apontam problemas potenciais (item 5.3.3): como seu ciclo de revisão é menor, há um risco do sistema como um todo não conseguir reagir a contento, pois MD's hierarquicamente inferiores geram restrições ou parâmetros importantes para um MD superior (superior no sentido deste ter maior horizonte e, portanto, maior capacidade de avaliar o impacto das decisões).

A tabela 7.4 mostra uma avaliação resumida de cada MD em função da análise das matrizes individuais, além de uma proposta de ação corretiva. Para a orientar a análise, as discussões feitas no item 5.3.3 e a Figura 5.11 serviram como referência do diagnóstico e da ação. Por exemplo, caso um MD vermelho ou laranja receba uma seta dessas mesmas cores, isto significa forte interdependência recíproca (Figura 5.11.a), apontando para uma potencial agregação de ambos os módulos.

a)

b)

Elaborado pelo autor

c)

d)

Elaborado pelo autor

Figura 7.5. (Continuação) Matrizes individuais: c) LOC ; d) NSTRF ;

e)

f)

Elaborado pelo autor

Figura 7.5. (Continuação) Matrizes individuais: e) FROTRF ; f) AF ;

g)

h)

Elaborado pelo autor

Figura 7.5. (Continuação) Matrizes individuais: g) FROENT ; h) VEN ;

Nível de Decisão e Escopo	Entrada Externa	Transporte de transferência	Depósito	Transporte de ponta	Saída externa
Estratégico HP = 5 anos PR eventual					
Longo prazo HP = 3 anos PR eventual				FROENT	
Tático HP = 1 ano PR = 1 mês	VEN ↑ PROMO		MOSAZ		
Operacional HP = 1-7 dia PR diário	CORT LIB				

i)

Nível de Decisão e Escopo	Entrada Externa	Transporte de transferência	Depósito	Transporte de ponta	Saída externa
Estratégico HP = 5 anos PR eventual					
Longo prazo HP = 3 anos PR eventual		NSTRF FROTRF			
Tático HP = 1 ano PR = 1 mês		MNTRF		MNENT	
Operacional HP = 1-7 dia PR diário		CORTRF DESP			

j)

Elaborado pelo autor

Figura 7.5. (Continuação) Matrizes individuais: i) PROMO ; j) MNTRF ;

Nível de Decisão e Escopo	Entrada Externa	Transporte de transferência	Depósito	Transporte de ponta	Saída externa
Estratégico HP = 5 anos PR eventual	NSE				
Longo prazo HP = 3 anos PR eventual					
Tático HP = 1 ano PR = 1 mês	VEN PROMO		MOSAZ		
Operacional HP = 1-7 dia PR diário			TRB		

k)

Nível de Decisão e Escopo	Entrada Externa	Transporte de transferência	Depósito	Transporte de ponta	Saída externa
Estratégico HP = 5 anos PR eventual					
Longo prazo HP = 3 anos PR eventual				FROENT	
Tático HP = 1 ano PR = 1 mês		MNTRF		MNENT	
Operacional HP = 1-7 dia PR diário				CORENT ROT	

l)

Elaborado pelo autor

Figura 7.5. (Continuação) Matrizes individuais: k) MOSAZ ; l) MNENT ;

m)

n)

Elaborado pelo autor

Figura 7.5. (Continuação) Matrizes individuais: m) ZON ; n) CORT ;

Nível de Decisão e Escopo	Entrada Externa	Transporte de transferência	Depósito	Transporte de ponta	Saída externa
Estratégico HP = 5 anos PR eventual	SPED				
Longo prazo HP = 3 anos PR eventual					
Tático HP = 1 ano PR = 1 mês	PROMO			ZON	
Operacional HP = 1-7 dias PR diário	CORT LIB		TRB	ROT	

o)

Nível de Decisão e Escopo	Entrada Externa	Transporte de transferência	Depósito	Transporte de ponta	Saída externa
Estratégico HP = 5 anos PR eventual					
Longo prazo HP = 3 anos PR eventual		NSTRF FROTRF			
Tático HP = 1 ano PR = 1 mês		MNTRF			
Operacional HP = 1-7 dias PR diário		CORTRF DESP			

p)

Elaborado pelo autor

Figura 7.5. (Continuação) Matrizes individuais: o) LIB ; p) CORTRF ;

q)

r)

Elaborado pelo autor

Figura 7.5. (Continuação) Matrizes individuais: q) DESP ; r) TRB ;

Nível de Decisão e Escopo	Entrada Externa	Transporte de transferência	Depósito	Transporte de ponta	Saída externa
Estratégico HP = 5 anos PR eventual					
Longo prazo HP = 3 anos PR eventual				FROENT	
Tático HP = 1 ano PR = 1 mês				MNENT	
Operacional HP = 1-7 dias PR diário				CORENT ↓ ROT	

s)

Nível de Decisão e Escopo	Entrada Externa	Transporte de transferência	Depósito	Transporte de ponta	Saída externa
Estratégico HP = 5 anos PR eventual	NSE SPED		LOC		
Longo prazo HP = 3 anos PR eventual				FROENT	
Tático HP = 1 ano PR = 1 mês				MNENT ZON	
Operacional HP = 1-7 dias PR diário	CORT LIB		TRB	CORENT ROT	

t)

Elaborado pelo autor

Figura 7.5. (Continuação) Matrizes individuais: s) CORENT ; t) ROT ;**Tabela 7.4. Avaliação resumida dos módulos de decisão**

MD	Diagnóstico	Ação recomendada
NSE	ZON é restrição ativa em nível inferior: NSE desejado não é obedecido em alguns casos. Afeta todo sistema físico e de decisão.	Incorporar ao sistema de distribuição física. Rever razões que levam ZON a limitar NSE.
SPED	Afeta fortemente MD's de nível operativo.	Participar do seu projeto.
LOC	Gera restrições importantes para todo sistema de distribuição física, pois define abrangência de mercados possível. É considerado como da alçada de GDIS.	Integrar decisores externos de VEN e NSE na decisão (estender conjunto de decisores).
NSTR F	Deriva de LOC e NSE, dado LPROD. Característica de projeto de LOC.	Integrar seus decisores em LOC.
FROT RF	Ajustes de médio e curto prazo são feitos com MNTRF e CORTRF. Hierarquia e níveis bem ajustados.	-
AF	Decisão de natureza ad hoc.	-
FROE NT	Limitado por LOC. Derivada de ZON, que está abaixo na hierarquia. De resto, hierarquia e níveis OK	Rever relacionamento com ZON e LOC
VEN	Informação pouco usada pelo sistema	Integrar melhor, mas continua externo
PRO MO	Afeta sistema (MOSAZ), podendo causar interrupções Grande fator de variância (5.11.c)	Decisores de MOSAZ devem influir diretamente no módulo de decisão, que pode continuar externo

MNT RF	Ganhos de escala com MNENT Hierarquia e níveis OK	Integrar com MNENT quando veículos de transferência e entrega compartilham mesma garagem
MOS AZ	Afetado por flutuação de vendas (aleatória, sazonal e induzida)	Melhor integração com PROMO e VEN
MNE NT	Ganhos de escala com MNTRF Hierarquia e níveis OK	Integrar com MNTRF quando veículos de transferência e entrega compartilham mesma garagem
ZON	Fortemente influenciado por ROT (nível inferior) Atualmente associado a VEN pois zonas são as mesmas	Desvincular zonas de entrega das zonas de vendas Integrar com ROT, deixando definição de zonas como procedimento transacional (zonas variáveis ao invés de fixas)
CORT	Afeta utilidade recebida pelo cliente e fornece input básico para disparar processo de distribuição. Associado a falta de previsão de vendas e inflexibilidade do PCP.	Aperfeiçoar previsão de vendas do GFIL e incorporar a DESP; agregá-lo ao STRA como decisor. Aperfeiçoar previsão de vendas do GVEN e manter externo na matriz.
LIB	Início do processo de entrega final	-
CORT RF	Depende da carga de transferência Hierarquia e níveis OK	Na prática já está integrado ao processo de despanho (DESP)
DESP	Hierarquia e níveis OK Depende de modelo de previsão de vendas	Agregar CORT às atribuições do GFIL nas filiais.
TRB	Hierarquia e níveis OK	-
CORE NT	Depende do uso da frota de distribuição Hierarquia e níveis OK	Caso se trabalhe com zonas de tamanho variável, integrar com ROT

ROT	Limitado por FROENT e ZON	Caso se trabalhe com zonas de tamanho variável, integrar com ZON.
-----	---------------------------	---

Assim, a partir da avaliação acima, pode-se chegar a um novo modelo topológico, que agrega, decompõe ou reposiciona os módulos de decisão. A representação desse modelo topológico está na Figura 7.6, a seguir, onde os módulos de decisão afetados aparecem com a cor laranja.

Os módulos de decisão revisados estão descritos na Tabela 7.5, conforme os resultados da Tabela 7.4 e do novo modelo topológico. Notar que houve uma ação de separar a decisão de corte (CORT) entre matriz (CORTMAT) e filiais, sendo que agora o próprio GFIL (que pertence à GVND) toma essa decisão no ato de solicitar as quantidades que serão transferidas ao seu depósito de transbordo. Ou seja, o corte nas filiais agora está agregado ao módulo DESP. Nesta ação está implícita a melhoria nas ferramentas de apoio à decisão para o GFIL (negociado com GVND). Além disso, tomou-se a decisão de desvincular as zonas de distribuição na matriz e nas filiais das zonas de venda e agregar os módulos ZON e ROT. Isto permitirá um melhor aproveitamento da frota de entrega, mas em compensação exigirá um maior esforço de revisão nos processos e procedimentos, conforme será explorado no item seguinte

Outra alteração importante foi dar maior amplitude ao conjunto de decisores de LOC. Isto decorreu do fato de que, após a discussão de interdependências, ficou claro que a decisão de localização é fundamental para garantir o nível de serviço logístico a um custo razoável e que o simples prolongamento de rotas era uma maneira ineficiente de se resolver a questão. Além disso, tem-se a alteração do seu período de revisão, que passa de eventual para anual, ou seja, a malha logística deve ser reavaliada periodicamente.

É importante notar que essa nova matriz topológica compreende uma proposição inicial onde questões de viabilidade político-cultural e de trajetória tecnológica ainda não foram determinadas. Ela configura assim um modelo "ideal" do corrente sistema de decisão e ainda estará sujeita a revisões nas fases seguintes do ciclo.

a)

b)

Elaborado pelo autor

Figura 7.6. Nova matriz topológica: a) agregação; b) modelo final da etapa

Tabela 7.5. SYL PHD para novos módulos de decisão

HP/R	Módulo de decisão	Stakeholders	Objetivos/ Metas	Variáveis endógenas	Limites ou restrições	Indicadores	Variáveis de decisão
5 anos; anual	LOC	Diretoria, GVND, GDIS, GMKT, FIN	Garantir NSE Minimizar custos totais	NSE Previsão de vendas Locais potenciais	Capacidade de investimento	Prazo de entrega a partir do depósito Ocupação de veículos Custo/entrega	Quantidade, localização e tamanho de depósitos e fábricas Área de influência de cada facilidade
1 dia; diário	CORTMAT	SVND, STRA, SPRO	Atender NSE na matriz	Pedidos em carteira (matriz e filiais) Programa de produção	Disponibilidade do item NSE	N/E	Cortes na entrega da matriz devidas a faltas momentâneas
2 dias; diário	DESP	GFIL, STRA	Abastecer filiais	Previsão de vendas para dia seguinte	Frota e tripulações disponíveis Disponibilidade na fábrica	Atrasos (informal)	Agendamento de transferências Corte nas filiais
1 dia; diário	ROT	STRA, GDIS, STRA, EDEP, GFIL, SVND	Minimizar esforço de entrega	Pedidos aceitos	Frota em cada depósito Material transferido	% ocupação do veículo Tempo médio por roteiro	Zonas de entrega do dia Sequência de visitas por roteiro (zona)

7.2.4 Desenvolver trajetórias tecnológicas para os módulos de decisão 1

Antes de prosseguir com o caso, vai-se adiantar parte da fase 5 (plano diretor) no que tange ao estabelecimento de prioridades de desenvolvimento. A razão básica desta atitude é restringir o detalhamento de trajetórias tecnológicas (algo relativamente complexo) para apenas alguns módulos de decisão que são ao mesmo tempo importantes para o sistema e significativos como ilustração, abreviando a narrativa.

Assim, a partir da nova matriz topológica e dos novos módulos de decisão, as prioridades para melhoria na tecnologia de decisão dos mesmos foram derivadas. Para determinar tais prioridades, diversos métodos podem ser empregados. Usando-se informações de produtividade parcial da operação de distribuição (Salata, 1990; Amaral, 1991) e um levantamento de fatores críticos de sucesso (Cabral, 1994) feito em conjunto com os principais stakeholders (diretores, GDIS, GVND, GMKT e GINF), foi possível construir a Tabela 7.6, onde os módulos de decisão foram listados por ordem decrescente de prioridade. Naturalmente, os módulos de decisão externos ao sistema agora foram aliçados do processo (VEN, PROMO, CORTMAT e LIB).

Tabela 7.6. Prioridades para desenvolvimento e melhoria dos módulos de decisão

Posição	Módulo de decisão	Desenvolver trajetória ou não?	Justificativa
1	ROT	Sim	Fator crítico de sucesso; processo complexo.
2	LOC	Sim	Fator crítico de sucesso; processo muito complexo.
3	FROENT	Sim	Método atual inexistente e reativo
4	FROTRF	Sim	Método atual rudimentar e reativo
5	NSE	Sim	Fator crítico de sucesso; método atual inexistente; não existe consenso.
6	SPED	Sim	Fator crítico de sucesso; processo fundamental mas ainda primitivo.
7	DESP	Não	Importante mas descartado pois é redundante como ilustração

8	MNTRF	Não	Razoavelmente importante mas descartado pois é redundante como ilustração
9	MNENT	Não	Razoavelmente importante mas descartado pois é redundante como ilustração
10	CORTR F	Não	Pouco importante
11	COREN T	Não	Pouco importante
12	TRB	Não	Pouco importante e trivial
13	AF	Não	Ad hoc e normalmente terceirizado
14	MOSAZ	Não	Pouco importante e trivial
15	NSTRF	Não	Pouco importante e subproduto de LOC

Conforme a tabela, alguns módulos internos ao sistema de decisão não terão suas trajetórias tecnológicas projetadas aqui. Isto acontece porque são itens menos complexos cujos modelos de decisão atuais podem ser considerados adequados no horizonte do projeto. Ou então esses módulos não agregam maior poder ilustrativo ao exemplo e podem ser eliminados do mesmo, pois esta simplificação não afeta a exploração dos temas de gestão de inovação tecnológica, nem as dimensões de integração entre os mesmos.

Portanto, definiremos trajetórias tecnológicas apenas para os seis módulos de decisão definidos acima. Porém, antes de estabelecer o estágio tecnológico de cada módulo, vai-se colocar um panorama geral para os mesmos.

No início do projeto, nunca nenhum modelo matemático havia sido utilizado na gestão de distribuição física da firma, apesar de que todo módulo de decisão poderia ter apoio de modelos. Havia assim grande potencial para melhorar todos os processos de decisão. Mas, ao mesmo tempo, *todos* os decisores e operadores do sistema de distribuição física não tinham experiência no uso de ferramentas informatizadas, nem o necessário treinamento formal e disciplina.

O suporte de sistemas transacionais de processamento de pedidos era precário, pois eram antigos (baseados em minicomputador e codificados em COBOL), tendo sofrido diversas manutenções (era feita a comparação com uma "colcha de retalhos"), sem

documentação adequada, com processamento em lotes e baixa confiabilidade na base de dados de clientes (principalmente informações simples, tais como endereço correto, CEP, número, etc). O tempo médio de espera para o desenvolvimento de um novo sistema de informações pela equipe (interna) de Informática era de dois anos e meio.

Além disso, a mudança iniciada no ano anterior (venda porta-a-porta versus pré-venda) ainda não havia sido totalmente assimilada, principalmente pela distribuição física.

Vale a pena também recordar que o controle era feito muitas vezes através de indicadores informais, fruto, entre outras coisas, da fragilidade do planejamento na empresa, com muitas decisões importantes sendo tratadas de forma reativa (período de revisão eventual) e *ad hoc*. Havia portanto a necessidade de desenvolvimento de um sistema formal de indicadores em paralelo com o aperfeiçoamento dos diversos módulos de decisão.

É contra este pano de fundo que as trajetórias tecnológicas dos módulos escolhidos serão desenvolvidas a seguir.

a) Módulo ROT. A decisão de roteirização, como pode ser vista na matriz topológica, é a decisão de nível mais baixo (transacional) e mais a jusante no fluxo de decisões. Ao mesmo tempo, é uma decisão diária, rotineira: define a composição da carga e o roteiro para cada veículo e região. Isto colocava uma demanda clara na integração com os sistemas de faturamento e de processamento de pedidos. Mas estes sistemas transacionais, naquela época, eram já bastante antigos, com cadastros de clientes em estrutura hierárquica tradicional (acesso demorado e pouco eficiente). O pessoal de entregas (supervisores, encarregados e motoristas) nunca teve qualquer experiência anterior com apoio automatizado à decisão. Havia, entretanto, consenso entre os diversos *stakeholders* sobre qual *Weltanschauung* deveria ser usado: garantir a eficiência das operações e o atendimento ao nível de serviço desejado pela empresa.

O desejo inicial tanto do GDIS quanto dos analistas era de proceder à implantação de um método bastante avançado (para a época) de roteirização, baseado em sistemas de informação geográfica e programas sofisticados. Porém, o estágio tecnológico primitivo aliado a outros fatores contingenciais (ver ítem 4.4) impuseram uma lógica de desenvolvimento gradual para a trajetória tecnológica, sem o desejo de "queimar etapas".

A seleção do método de roteirização, portanto, foi fortemente influenciada por estes fatores: nível de decisão transacional, rotineiro; alta integração com sistemas de informação pouco flexíveis; e baixo nível tecnológico. A tática adotada foi o desenvolvimento inicial de um modelo simples e robusto, baseado no algoritmo *sweep* (Ballou, 1985). Os requisitos de dados (principalmente a base geográfica) e de programação foram assim muito menores do que o exigido pelos métodos mais sofisticados. Havia também outras vantagens: ele é muito fácil de explicar para leigos e tanto os dados adicionais como o treinamento obtidos com o uso do algoritmo são compatíveis com qualquer método mais avançado a ser empregado no futuro. Essa característica de embutir flexibilidade na escolha do método foi influenciada pelo conceito de *robustness analysis* proposto por Rosenhead (1989, p. 193-238). Assim, o risco de perder-se o trabalho desenvolvido na implantação do primeiro modelo é minimizado. Usando novamente as palavras de Davenport (1994, p. 27), o pessoal de distribuição iria adquirir "...a disciplina e a sofisticação necessárias para empregar ferramentas ...rigorosas e complexas".

Considerou-se assim que a primeira etapa da trajetória tecnológico de ROT teria uma elevada relação benefício-custo. Entre outros fatores, o baixo risco de implantação afetava positivamente o valor esperado do retorno do projeto. Entretanto, o benefício-custo de etapas posteriores era mais nebuloso e não foi calculado. A impressão geral, porém, foi que tais ganhos seguiriam a lei dos rendimentos decrescentes. Deve-se também comentar que o desenvolvimento dos modelos mais sofisticados associados aos estágios tecnológicos mais avançados não precisavam ser iniciados imediatamente após o término do primeiro modelo: um período de uso estável dessa ferramenta devia ser permitido para que os efeitos de aprendizado e os ganhos associados se concretizassem, uma vez que é um modelo de uso periódico (repetitivo).

No caso real, o primeiro modelo foi desenvolvido (incluindo os programas de computador, com processamento em lote) e testado em menos de dois meses, mostrando uma grande melhoria de produtividade dos veículos (Salata, 1990) e posteriormente auxiliando a implantação de zonas de entrega de tamanho variável na área de influência da fábrica-matriz, que é a região da Grande São Paulo (Salata e Yoshizaki, 1993). Mais tarde, uma versão aperfeiçoada foi implantada, baseada no mesmo algoritmo mas utilizando como chave de classificação o CEP dos Correios.

A implantação de zonas variáveis em conjunto com um sistema de apoio à decisão de roteirização nas filiais, entretanto, só teria bom efeito caso a rede logística fosse revisada, de modo a melhor balancear as diversas áreas de influência individuais dos

depósitos. Por isso mesmo, o módulo de localização de depósitos LOC teve a mesma prioridade de desenvolvimento do ROT.

b) Módulo LOC. A decisão de localização de pontos de transbordo (filiais) na verdade se justifica pelo diferencial de custos conseguido no *tradeoff* entre transporte de transferência (realizado com veículos maiores e carga cheia) e o transporte de ponta ou entrega (realizado com veículos menores e carga parcelada). Além disso, há a vantagem de melhorar o nível de serviço ao permitir maior número de visitas semanais pela maior proximidade do cliente (varejista). É um problema de decisão bastante complexo devido ao número de variáveis envolvidas (em gênero e número). Concisamente, define o número, local e dimensão (área de influência) dos diversos depósitos que compõem a rede de distribuição física. Em princípio, o nível de serviço das entregas pode ser usado como restrição ou como variável de decisão do problema, o que mostra o alto grau de interdependência com NSE. Em função de NSE, o nível de serviço necessário da transferência de mercadorias aos depósitos NSTRF pode ser derivado da decisão de localização. Por sua vez, o dimensionamento da frota operacional (isto é, sem margem para quebras ou paradas previstas para manutenção) para transferência e entregas (FROTRF e FROENT) é diretamente derivada de todas as decisões acima. Assim, o uso de modelos matemáticos é bastante recomendável aqui.

De forma diferente que no módulo ROT, considerou-se que a razão benefício-custo não seria o fator mais importante para decidir seu desenvolvimento e sim a necessidade (percebida como tal) urgente de revisar a estrutura logística, pois havia a impressão de perda de mercado em certas regiões do interior do Rio e São Paulo atendidas a partir das filiais. Como é um modelo *ad hoc* e especializado, típico do paradigma consultoria, sua trajetória tecnológica seria basicamente a repetição anual do estudo (naturalmente com novos modelos e instâncias).

Devido à interdependência com NSE, um acordo prévio sobre o nível de serviço desejado teve de ser realizado. Assim, em primeiro lugar, os diversos stakeholders reuniram-se para definir o parâmetro, o que foi um acontecimento sem precedentes na empresa. A partir desse início, um estudo *ad hoc* de localização foi desenvolvido, tendo sido montado, no caso real, um modelo de programação linear mista (Amaral, 1991). A importância de ter-se tal tipo de apoio à decisão foi devidamente reconhecido pelo GDIS e pela diretoria, tendo sido a revisão periódica da malha logística (e não apenas eventualmente, como, por exemplo, quando havia crescimento de vendas que saturava um depósito com o correspondente decréscimo do nível de serviço pelo aumento dos

roteiros de entregas) incorporada ao sistema de decisão (período de revisão pelo menos anual).

c) Módulos FROTRF e FROENT. A melhoria dos processos de decisão ROT e LOC exigiam uma reformulação dos procedimentos de compra de veículos novos e das decisões de manutenção da frota de veículos: com a nova rede de depósitos e zonas de tamanho variável, seria necessário montar um processo aperfeiçoado de dimensionamento da frota, que poderia diminuir sem afetar o nível de serviço. Como tais modelos são relativamente mais simples de implementar, foi tomada a decisão de desenvolvê-los logo após a implantação do módulo ROT e em paralelo ao estudo de localização. Como etapa inicial de sua trajetória tecnológica, o trabalho de desenvolvimento e implantação de um sistema automatizado de dados de manutenção veicular podia ser proposto, pois então os dados necessários aos modelos de dimensionamento de frota estariam disponíveis na época em que os mesmos seriam utilizados. Novamente, considerou-se que a razão benefício-custo destas etapas seria grande e a decisão de seu desenvolvimento foi facilitada.

d) Módulo NSE. Como foi dito acima, um acordo prévio sobre o nível de serviço desejado foi conseguido para permitir o início do projeto de localização. Entretanto, não existia um processo formal de definição, avaliação e controle do nível de serviço de entrega. Tal procedimento era de difícil implantação devido à grande variedade de *stakeholders* envolvidos nessa questão, sendo então o nível de serviço decorrência da intervenção dos diversos atores. Assim, NSE era basicamente reativo. A implantação de um método formal e quantitativo, logo de início, iria esbarrar nessa dificuldade de múltiplos pontos de vista e pouco conhecimento da influência das decisões de cada um dos *stakeholders* sobre NSE. Isto configura uma situação mais apropriada para um trabalho de intervenção *soft*, antes que qualquer modelo matemático fosse desenvolvido. Desta forma, a proposta de fase 1 da trajetória tecnológica se resume ao desenvolvimento de um trabalho inicial *soft* para explicitar as necessidades, interações e *Weltanschauungen* que interferem sobre NSE, para posteriormente desenvolver o módulo de decisão de maneira mais precisa. Apesar da impossibilidade prática de se calcular com precisão o benefício-custo desta ação, suas vantagens foram suficientemente evidentes para motivar os *stakeholders* a continuar com o processo. Após esta fase *soft*, entretanto, a decisão de prosseguir com seu desenvolvimento deveria ser reavaliada com bases mais quantitativas.

e) Módulo SPED. O desenvolvimento de um sistema de pedidos (transacional) aperfeiçoado era uma necessidade percebida por todos os *stakeholders*. Do ponto de

vista da distribuição física, seus pontos fundamentais eram as questões da agilidade (evitar atrasos na saída de veículos de transferência ou de entrega), da confiabilidade das notas fiscais (faturamento) e dos dados cadastrais (endereços, etc). Assim, a revisão e alinhamento dos diversos procedimentos inter-áreas e a análise de possíveis ganhos no tempo de ciclo eram importantes. Do ponto de vista da modelagem matemática, entretanto, o interesse era relativamente pequeno, entre outras razões, por ser algo *ad hoc*. As questões de benefício-custo também eram pouco relevantes para a decisão de desenvolver o sistema, pois tal decisão já havia sido tomada como um investimento corporativo. Apenas a disponibilidade de pessoal-chave da distribuição pesaria nessa avaliação, mas o sistema de pedidos era tão importante que considerou-se a participação no projeto "obrigatória".

Assim, temos aqui as diversas trajetórias tecnológicas definidas. Quatro delas desembocam na implantação em curto prazo de modelos matemáticos (ROT, LOC, FROTRF e FROENT), uma em uma trajetória inicialmente soft (NSE) e a última como um desenvolvimento de sistema transacional aperfeiçoado (SPED). A Tabela 7.7 resume a discussão acima. Há assim uma representação variada de trajetórias tecnológicas para ilustrar a metodologia. Vamos agora proceder à integração das mesmas para explorar possíveis sinergias.

Tabela 7.7. Trajetórias tecnológicas para os MD's escolhidos

Módulo de decisão	Estado atual	Estado 1	Pré-requisitos	Prazos/ Equipe	Benefício-Custo	Estágio k (meta de longo prazo)	Prazos/ Equipe	Benefício-Custo
ROT	<ul style="list-style-type: none"> Processo manual (MIRA) e não-padronizado Sem experiência prévia com SAD Sistema de pedidos obsoleto (<i>Qacc/h</i>) Cadastro de clientes incompleto Fila grande na GIN^F Nova área/gerente 	<ul style="list-style-type: none"> Algoritmo simples (heurística) Requisitos de inf geográficas simplificados Melhorar confiabilidade de cadastros Novo sistema de pedidos 	<ul style="list-style-type: none"> Adebar com zoneamento fixo Sistema de indicadores de produtividade da frota de entrega 	3 meses: 1 analista de modelagem, 1 programador	Muito grande, com retorno econômico imediato	<ul style="list-style-type: none"> Sistema de rotário <i>on-line</i> com apoio gráfico (<i>software</i> de terceiros) Sistema de informações geográficas sofisticado 	Um ano: equipe mista empresa de <i>software</i> e pessoal interno, com participação de DIST, VND, FIL e INF	Médio, com retorno a médio prazo
LOC	<ul style="list-style-type: none"> Escolha <i>ad hoc</i> e intuitiva Desconhece influência quantitativa das diversas variáveis no desempenho 	<ul style="list-style-type: none"> Modelo otimizando formal e <i>ad hoc</i> User <i>software</i> geral de otimização Comparar coleta de dados e levantamentos de campo nas filiais 	<ul style="list-style-type: none"> Padronizar procedimentos nos depósitos Testar modelo ROT (que dará parâmetros para LOC) 	4 meses: 1 analista de modelagem	Médio ou baixo retorno financeiro Melhoria e padronização de NSE Apoio ao crescimento de vendas	<ul style="list-style-type: none"> Sistema de localização de revisão anual Considerar NSE como variável de decisão e não como parâmetro Estratificação de NSE Usar <i>software</i> de mercado (especializado) 	3 meses: um ou dois analistas <i>ad hoc</i>	Médio retorno Garantir a estabilidade de atendimento ao mercado com custos logísticos controlados

ERCIER- ERCENT	<ul style="list-style-type: none"> • Diminuição de fda intuitivo e relativo • Fda relativamente antiga 	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo de "toca ou martela" básico • Usar planilha eletrônica padrão 	<ul style="list-style-type: none"> • Clarificar sistema de custos e indicadores de manutenção veicular • Capacitar GEIS e SIRA em planilhas 	1 mês: SIRA como apoio de analista de modelagem e GEIS	Grande	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo padronizado e simples de decisão de compra ou manutenção • Modelo de dimensionamento de fda baseado em fda baseada em NSE e NSIRF • Dados obtidos <i>on line</i> dos sistemas de custo e indicadores de produtividade 	3 meses: um analista de modelagem e um programador	Médio-grande, pois maior parte dos ganhos provém de atividades no primeiro estágio
NSE	<ul style="list-style-type: none"> • Definido de maneira vaga e ambígua • Interação com outras decisões pouco clara 	<ul style="list-style-type: none"> • Utilizar técnicas <i>soft</i> para esclarecer o problema de definir NSE 	<ul style="list-style-type: none"> • Capacidade de reunir os diversos <i>stakeholders</i> 	1 mês: diretorias e gerências associadas, coordenador externo	Indefinido	<ul style="list-style-type: none"> • Pesquisa com diários para definir NSE • Sistema formal de medida e avaliação de NSE 	6 meses: equipe mista da GINF com participação das outras áreas afetadas	Indefinido Fundamental para revisar estratégia competitiva
SPED	<ul style="list-style-type: none"> • Processos semi-automatizados e processamento em lote 	<ul style="list-style-type: none"> • Iniciar trabalho de convencimento de outros <i>stakeholders</i> para incluir DIST 	<ul style="list-style-type: none"> • Nenhum 	1 mês: GEIST	Muito grande	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema aperfeiçoado <i>on line</i> na matriz e filiais (teleprocessamento) 	N/A	Muito grande

7.2.5 Integrar trajetórias tecnológicas 1

Como foi dito anteriormente, há uma ligação entre os módulos de decisão acima que vai se refletir na interação entre suas diversas trajetórias tecnológicas, impondo um planejamento integrado do seu desenvolvimento. Além disso, há a questão das prioridades do *stakeholder* principal do sistema (o GDIS) e da disponibilidade efetiva de pessoal para executar os diversos projetos de aperfeiçoamento. Este último aspecto limita o desenvolvimento dos modelos, pois existiam apenas dois analistas (os alunos) com a formação necessária disponíveis e não havia a intenção de contratar pessoas externas, apesar da decisão de formar *self starters* para desenvolver os modelos de reposição de frota. Há também a questão de disponibilidade de *hardware* e *software*. Tais aspectos estão refletidos na Figura 7.7, que oferece uma idéia de seqüência de estágios tecnológicos concatenados em um tipo de rede de precedência, inspirada nas redes PERT/CPM.

Essa rede representa uma série de "atividades" colocadas em ordem cronológica conforme a lógica das interações exploradas anteriormente. Por exemplo, o primeiro estágio da trajetória de LOC deve ser precedido pela definição inicial de NSE (NSE1). Com relação às sinergias, temos SPED2 e NSE1 se reforçando mutuamente, pois ambos necessitam dos critérios de controle para o futuro sistema de indicadores de NSE. Desta maneira, parte de NSE2 (o sistema de indicadores) deve estar incorporado em SPED2.

Figura 7.7. Iterações entre diversas trajetórias tecnológicas

Outro fator de interação interessante foi entre ROT1 e SPED2: como um sistema aperfeiçoado de informações de pedidos, clientes e base geográfica era algo decidido e com maturação demorada, o fato de se ter um sistema de roteirização relativamente simples não era problemático. Pelo contrário, o próprio desenvolvimento do estágio 1 de ROT auxiliaria na (futura) implantação de SPED, pois o pessoal operacional então estaria melhor preparado para aceitar algo mais formal e rigoroso. Tal relação não foi explicitada na rede da Figura 7.7 porque a rede representa as ligações cronológicas.

Não houve necessidade de aprofundar a análise benefício-custo nesta fase da metodologia, pois ela já foi realizada para cada estágio tecnológico e a decisão de iniciar os trabalhos não necessitava de maiores justificativas. Em outros casos, entretanto, pode ser importante reavaliar tal questão pela possível interação entre módulos e investimentos necessários e justificar as ações para administradores mais exigentes.

É digno de nota reparar que, não importando o estágio tecnológico (corte vertical na Figura 7.7) planejado para evolução, não há alteração na matriz topológica. Isto vai permitir abreviar as iterações necessárias.

Finalmente, a Tabela 7.8 estabelece a seqüência do início dos projetos (derivada das interdependências da Figura 7.7), quais ações devem ser iniciadas imediatamente e a equipe designada. As primeiras etapas das trajetórias tecnológicas foram destacadas, pois apenas elas precisam ser decididas de imediato: como qualquer plano, decisões futuras podem ser posteriormente revisadas.

Tabela 7.8. Programa inicial das trajetórias tecnológicas

Módulo de decisão	Início da modelagem	Ação imediata	Responsável
ROT	Imediato	<ul style="list-style-type: none"> • Iniciar desenvolvimento 	Analista I e apoio da INF
NSE	Imediato	<ul style="list-style-type: none"> • Avaliar técnicas <i>soft</i> para uso nesse tipo de problema 	Força tarefa com a participação de GDIS

LOC	Após resultado de testes do modelo ROT (que dará parâmetros para LOC)	<ul style="list-style-type: none"> • Padronizar procedimentos nas filiais 	Analista II
FROTR F- FROE NT	Após implantação de primeira versão de ROT	<ul style="list-style-type: none"> • Aquisição de microcomputadores e <i>software</i> • Treinamento de STRA e GDIS no uso de planilhas eletrônicas 	STRA e GDIS, com apoio de analista I
SPED	Em andamento	<ul style="list-style-type: none"> • Iniciar trabalho de convencimento de outros <i>stakeholders</i> 	Força tarefa com a participação de GDIS

7.2.6 Definir plano diretor da base de modelos 1.

Nesta última etapa da primeira iteração do ciclo deve-se examinar a sinergia com outras iniciativas de melhoria organizacional. Na época, já havia sido iniciado um trabalho de implantação de métodos baseados no TQM e, por isso, havia alta integração com a trajetória do módulo NSE, inclusive pela necessidade de melhor conhecimento das necessidades dos clientes da empresa. Por outro lado, havia também sido decidido pela diretoria iniciar uma melhoria geral no suporte de Informática para toda a empresa, sendo que o projeto de um plano diretor de informática estava sendo iniciado. Desta maneira, não seria difícil convencer o restante da organização das ações referentes ao desenvolvimento de NSE e SPED. No caso real (Cabral, 1994), o desenvolvimento de SPED foi tratado como prioridade dentro da empresa, por insistência da Diretoria Comercial e do próprio pessoal de Informática. Isto incluía a definição de critérios de desempenho e da correspondente rede de indicadores de nível de serviço e desempenho da distribuição. Além disso, a aquisição de microcomputadores e software básico (planilhas eletrônicas e processadores de texto) já havia sido decidida no plano de Informática, melhorando a razão benefício-custo dos módulos de FROTRF e FROENT.

7.3 Aplicação da metodologia: segunda iteração

Como o sistema físico e de operações permanece inalterado ao final da primeira fase, assim como o conjunto de *stakeholders* e o modelo topológico do final da Fase 3, não há necessidade de nova iteração. O plano diretor de modelagem matemática definido ao final da primeira iteração pode então ser aplicado ao problema.

Deve-se salientar que a metodologia tem melhor efeito se seus ciclos forem desenvolvidos rapidamente. Isto também facilita a maneira de tratar a determinação do benefício-custo dos modelos e respectivas trajetórias tecnológicas, pois apenas a primeira etapa delas precisa ter maior detalhamento. Desta forma, o plano diretor realmente se torna mais um instrumento de evolução da tecnologia de decisão na organização do que um fim em si mesmo.

7.4 Conclusão do capítulo

A aplicação da metodologia aqui ilustrada permite perceber melhor como se desenvolve o processo de projetar e planejar uma base de modelos matemáticos, processo este que levasse em conta os riscos tipo I, II e IV, ou seja, os problemas de: a) o módulo de decisão estar "maduro" para a implantação de ferramentas formais quantitativas; b) a sub-otimização do sistema; e c) a implantação de modelos como um processo de gerenciamento de inovações tecnológicas. A seqüência das fases e sua natureza iterativa facilitaram o trabalho de análise e recomposição do sistema de decisão, tendo sido tomado o cuidado de não focalizar técnicas individuais específicas para cada fase e sim a lógica de sua progressão. Um plano diretor pode ser desenvolvido que justamente trata todas essas questões.

8 CONCLUSÕES E PROPOSTA DE CONTINUIDADE

Conforme estabelecido no início do Capítulo 1, o objetivo desta tese é "...propor uma metodologia para o planejamento e o projeto da base de modelos quantitativos de organizações, tratando três questões diferentes mas interligadas:

1. garantir a integridade sistêmica das decisões apoiadas pelos modelos, ou seja, evitar ou minimizar sub-otimizações;
2. identificar e potencializar oportunidades de modelagem na organização;
3. garantir a sua evolução, considerando uma dimensão temporal que se traduz em maior robustez na implantação de modelos e em apoio ao aprendizado organizacional."

As razões que levaram a propor estes objetivos estão descritas ao longo do Capítulo 2, 4 e 5 e podem ser resumidas em:

- há um novo ambiente para a modelagem matemática, devido à disponibilidade de *hardware* e *software* de modelagem de nova geração e à popularização de programas de melhoria empresarial como a Qualidade Total nas organizações, que potencializam a descentralização do desenvolvimento e uso de modelos;
- para melhor atender esse potencial, deve-se tratar os problemas de sub-otimização, modelagem reativa e aprendizado simultaneamente;
- há melhor compreensão das limitações do uso de modelos quantitativos e da disponibilidade de metodologias complementares (métodos *soft*);
- a compreensão do uso de modelos como processos de inovação tecnológica auxilia a enquadrar certos riscos de uso e implantação dos mesmos.

Para tratar essas questões, concebeu-se a modelagem matemática como uma nova função organizacional, desenvolvida como um sistema de modelagem no Capítulo 3. Um assunto vital dentro do sistema de modelagem e ainda inexplorado é a definição do conteúdo da base de modelos. Daí surgiu o contexto que comportava a necessidade de uma metodologia para o projeto de base de modelos.

Tal metodologia foi desenvolvida no Capítulo 6, sendo que conceitos importantes utilizados na sua construção estão detalhados nos Capítulos 4 e 5. Eles são, a saber: o modelo topológico de um sistema de decisão; a complementaridade dos enfoques *hard* e *soft*; a escada da abstração; o proto-modelo ou módulo de decisão (SYLPHID); a integração de decisões; o projeto para a evolução do sistema de decisão mediante uma trajetória tecnológica; e o ciclo iterativo.

Um processo iterativo em dois níveis:

Elaborado pelo autor

Figura 8.1. O processo de projeto da base de modelos

A metodologia compõe-se de seis etapas cíclicas, a saber: 1) definir o sistema de decisão; 2) descrever o sistema em um modelo topológico e respectivos módulos de decisão; 3) revisar o sistema para minimizar sub-ótimos; 4) desenvolver trajetórias tecnológicas para os módulos de decisão; 5) integrar estas trajetórias em um plano diretor onde cada etapa tem uma matriz topológica e, portanto, sistema de decisão, coerentes; e 6) integrar o plano diretor de modelagem com outras iniciativas de melhoria organizacional. O critério de parada é a convergência para um sistema ou modelo topológico: caso se chegue à mesma configuração de uma mesma etapa no ciclo anterior, pode-se parar as iterações.

Pode-se resumir a metodologia como um processo iterativo em dois níveis: a análise do sistema, quando este é subdividido em parcelas, e a posterior síntese do mesmo, quando então as parcelas são reunidas de forma a se garantir a coerência (ou seja, as propriedades emergentes) do sistema. A Figura 8.1 ilustra o processo da metodologia.

A discussão ao final do Capítulo 6 conclui que a metodologia proposta atende aos objetivos do presente trabalho e também aos requisitos de uma metodologia para projeto de sistemas de informação. E a ilustração apresentada no Capítulo 7 permite uma

melhor compreensão do que seria o uso dessa metodologia em um sistema de operações e qual seria o seu produto, isto é, o plano diretor de modelagem. Assim, no exemplo, as oportunidades de modelagem foram integradas em um plano coerente, com equipes de desenvolvimento pré-definidas e uma sequência lógica e estruturada.

Esta postura pró-ativa para buscar e integrar as oportunidades de modelagem, pensando em um sistema de modelos para o sistema de decisão, configura um paradigma diferente do tradicional enfoque de construir modelos individuais ou isolados, destinados solucionar um problema. Um confronto entre o enfoque proposto e o paradigma tradicional (este discutido no Capítulo 5) está expresso na Tabela 8.1. a seguir.

Tabela 8.1. Comparação entre metodologias tradicional e proposta

	Paradigma tradicional	Metodologia proposta
FOCO	Solução de problema individual já identificado	Identificação de oportunidades de modelagem
ESCOPO	Modelo individual	Sistema de modelos integrados a priori
ÊNFASES	"Solução" "Estático" "Melhor método" "Científico" "Execução"	"Integração" "Dinâmico, evolutivo" "Aprendizado, fases" "Contingencial" "Planejamento"
RISCO	Tratar risco Tipo III	Tratar riscos Tipo I, II e IV
ENFOQUE	Reativo (base de modelos é decorrência)	Pró-ativo (modelos são decorrência de plano diretor)
TRABALHO	Consultoria	Inclui equipes internas e <i>self starters</i>

Pode-se então compreender melhor a complementaridade dos dois enfoques: a metodologia da tese não substitui o paradigma tradicional; na verdade, ela o expande e contextualiza.

Isto não significa que a prática da modelagem matemática tem necessariamente negligenciado as questões aqui tratadas, como integração e aprendizado organizacional: o problema é que o paradigma tradicional deixa isto totalmente por conta do praticante, que nem sempre teve formação adequada para esses aspectos ou então acaba aprendendo intuitivamente por tentativa e erro. A metodologia proposta deixa esses aspectos explícitos e com um tratamento estruturado.

8.1 Linhas que se abrem

O que há para o futuro? Muitas questões ainda restam para ser tratadas: a tese abre um novo leque de linhas para pesquisa. Algumas delas são:

- 1. tratamento de escala:** como se comportará a metodologia quando for aplicada em sistemas muito complexos? Por exemplo, como tratar dimensões geográficas (muitas unidades diferentes) ou de produtos (como quando uma organização é dividida em unidades de negócios) diferentes? Nesse caso, pode ser conveniente ter algum tipo de auxílio automatizado, principalmente para a análise de coerência e interação inter-módulos.
- 2. explorar outros tipos de processos:** a maior parte da experiência em modelagem do autor foi em processos logísticos e por isto eles foram privilegiados na tese; porém, a metodologia tem caráter geral e, por isso, seria interessante aplicá-la em outros processos, como o financeiro ou o de projeto de produtos. Além disso, a sua aplicação em indústrias de serviços e organizações governamentais seria também atrativa.
- 3. esquemas inter-organizacionais:** ainda na vertente logística, o projeto de bases de modelos para apoiar a coordenação em estruturas como cadeias de suprimento seria uma aplicação muito interessante, pois as nuances *soft* e de otimização em algo muito menos estruturado que uma organização tradicional é bastante complexa; há também a questão de como tratar o apoio de modelagem matemática em organizações virtuais e adhocracias.
- 4. dinâmica de sistemas:** a análise de coerência inter-módulos pode ser auxiliada pelo uso de diagramas causais e da dinâmica de sistemas de Forrester; tal tipo de análise pode ser bastante útil na identificação de problemas potenciais no sistema de decisão, como malhas de realimentação positivas, além de possíveis soluções.
- 5. uso fora do contexto de base de modelos matemáticos:** a metodologia pode ser adaptada como ferramenta auxiliar para intervenções mais amplas e de caráter organizacional, como revisões de processos ou projeto organizacional; seria o caso de utilizá-la em sistemas CIM (*computer integrated manufacturing*), vide Bernus et all. (1996), e de modelagem de empresas (*enterprise modeling*), esta última sendo uma área de estudos que tem chamado bastante a atenção nos últimos tempos (Dolk e Ackroyd, 1995).
- 6. administração da base de modelos:** além do projeto da base de modelos, seria necessário prosseguir na direção de montar ferramentas e métodos úteis para as outras funções do sistema de modelagem matemática, mormente a administração da base de modelos (Dolk e Konsynski, 1985); isto significa cuidar do restante do seu ciclo de

vida, ou seja, ir além do seu projeto, tratando também questões mais mundanas de gerenciamento dos recursos e prospecção tecnológica. Isto significa atuar no restante do sistema de modelagem exposto no Capítulo 3 e será muito importante para continuidade das pesquisas.

8.2 Projeto seguinte

A principal questão que resta, entretanto, é o comportamento da metodologia em situações reais. Dois aspectos primordiais são a sua validação na prática organizacional e o desenvolvimento de sua capacidade em ser aplicada (com boa chance de sucesso) por pessoas não diretamente ligadas à sua criação. Ambos aspectos estão interligados: após algumas intervenções, a metodologia deve estar suficientemente madura para ser *padronizada* e estruturada para outros profissionais utilizarem.

Essa necessidade de continuar a pesquisa através da intervenção em organizações reais se deve ao caráter inédito da metodologia. Nesse sentido, a pesquisa acadêmica vai se mesclar com a ação (*action research*). Por exemplo, Checkland aplicou sua SSM por mais de dez anos, aperfeiçoando-a todo esse tempo (Checkland e Scholes, 1990).

Para tanto, o ideal seria montar-se uma série de experimentos, conforme as seguintes taxonomias:

- diferentes estágios no uso de modelos matemáticos de auxílio à decisão;
- diferentes escalas (porte do projeto e porte da empresa);
- diferentes indústrias (manufatura, serviços, governo);
- diferentes estruturas organizacionais (tradicional, por processos, adhocracia);
- diferentes estágios tecnológicos (implantação de programas de melhoria, informática, etc.).

A idéia básica é, além de maturar a metodologia, verificar se é necessário criar algum tipo de contingenciamento para a intervenção. Na base desse raciocínio está o pressuposto de que, por exemplo, tanto os métodos aplicáveis (a "caixa de ferramentas") como a base tecnológica (experiências anteriores, literatura, modelos, *softwares* e métodos matemáticos disponíveis) são diferentes para cada categoria de organização. Identificar quais são os critérios de contingenciamento permitiria então criar estratégias diferenciadas para o projeto da base de modelos, que fossem mais robustas e de menor risco.

Para tanto, critérios de avaliação (métricas ou indicadores) do sucesso de implantação ou do projeto da base de modelos devem ser desenvolvidos. Mais do que o benefício-custo econômico mensurável, fatores qualitativos devem ser considerados. Por exemplo, podemos ter a diminuição da equivocação, a taxa de sucesso na implantação de modelos matemáticos nos MD's, etc.

O desenvolvimento desse projeto global é um desafio para muitos anos. Entre outras dificuldades, deve-se conseguir organizações dispostas a participar da pesquisa, o que poderá limitar a exploração das diversas taxonomias de intervenção listadas acima, pois a possibilidade de controle é limitada.

Uma característica que vai facilitar a obtenção de voluntários para a aplicação da metodologia é fato dela ser desenvolvida rapidamente.

A padronização da metodologia para possibilitar um uso mais generalizado pode passar pela construção de um *software* específico. Ferramentas como o modelo topológico, os módulos de decisão, a análise de coerência dos MD's, etc., são itens que poderiam ser codificados. Além disso, a criação de um banco de dados de soluções de modelagem para indústrias e problemas específicos seria importante para servir de referência.

8.3 Final

O uso de modelos matemáticos aqui concebido envolve um processo sistêmico, iterativo de aprendizagem, que incorpora o conceito de *sistema apreciativo*. Este, na acepção de Vickers, "é um mecanismo cultural que (avalia e) mantém relacionamentos desejados e revê aqueles indesejados" (Checkland, 1985, p.762). Desta maneira, "planejar e projetar a base de modelos matemáticos" não é um problema que terá uma solução apenas pela lógica fria da eficiência e do benefício-custo: a organização deve avaliar sua vontade de manter e, portanto, administrar sua base de modelos e aprender no processo. Ou seja, ela deverá decidir se quer ou não manter um relacionamento com a modelagem matemática, relacionamento este que vai durar enquanto for interessante e obter a satisfação de trabalhar de modo mais sofisticado e completo, de fugir da mediocridade. O objetivo é melhorar pelo aprendizado, num ciclo que nunca termina. Como lembra Rivett (1980, p. 145), ao citar Robert Louis Stevenson:

"Fazemos uma estranha imagem da nossa jornada aos nossos sonhos, marchando sem cessar, privando-nos de tempo para repousar (pioneiros infatigáveis e aventureiros). É verdade que nós nunca atingiremos a meta - é ainda mais provável que não haja tal

lugar. Breve, breve, parece, você deve conseguir chegar ao topo da montanha, mas, um pouco mais distante, contra o sol poente, surgem os telhados do El Dorado. Pouco você desconfia que, para sua benção, viajar esperançosamente é melhor do que chegar e que o verdadeiro sucesso é trabalhar."

Além disso (ou por causa disso), pretende-se manter uma perspectiva histórica sobre o tema. Por histórica, entenda-se não apenas a história (evolução) da tecnologia (P.O., informática, administração de empresas), como também da *sua história* na própria organização. Conforme Checkland e Scholes (1990, p.28), "...a situação mesma, sendo parte da vida humana, será o produto de uma história particular, história a qual terá mais de uma versão. Será sempre essencial aprender e refletir sobre essa história, se desejarmos aprender a partir do relativo fracasso da P.O. (*management science*), uma vez que esta tenta permanecer a-histórica. Ao fazê-lo, ela limita-se a tratar somente com a lógica das situações. Não somos indiferentes a esta lógica, mas preocupamo-nos em ir além dela, de modo a permitir tomar medidas no pleno contexto de idiossincrasias da situação, que sempre revela características únicas". A base de modelos é parte fundamental dessa história de tecnologia de decisão na empresa e, desta maneira, estará sempre mudando, conforme os seus processos, ambiente e pessoal mudam. A idéia é fazer deste um processo *consciente*.

Assim, diferentemente da P.O. tradicional, não há aqui a necessidade de haver "problemas" a serem resolvidos; a organização pode até estar indo muito bem. O que está em jogo é querer disponibilizar ou desenvolver modelos para melhoria do desempenho geral, da aprendizagem e da satisfação.

Um último comentário. Um plano sempre é uma aposta em algum futuro previsto. Não se deve aqui considerar que um plano de modelagem estabelecido deve ser seguido como os mandamentos de um livro sagrado: é apenas um instrumento que deve preservar a capacidade de uma resposta racional e flexível a circunstâncias que vão sempre mudar e, portanto, deve ser revisto quando necessário. A metodologia é uma resposta ao incrementalismo desconexo que tem caracterizado esforços de modelagem. Essa filosofia incremental parece oferecer uma facilidade de adaptação que a rigidez dos planos não tem: entretanto, esta é a mesma flexibilidade de permanecer à deriva, flutuando ao sabor das correntes no oceano da circunstância (Rosenhead, 1989, p. 196). Não há lugar para o propósito, além de permanecer à tona. A metodologia pondera a flexibilidade com ações pautadas em futuros plausíveis (e não previstos). *In medio stat virtus*.

BIBLIOGRAFIA

- ACKOFF, R.L. *Redesigning the future*. New York: John Wiley & Sons, 1974.
- ACKOFF, R.L. *The art of problem solving*. New York: John Wiley & Sons, 1978.
- ACKOFF, R.L. Dangerous dichotomies. *Systems Practice*, V.2, n.2, p.155-7, 1989.
- ACKOFF, R.L.; J. GHARAJEDAGHI. Reflections on systems and their models. *Systems Research*, V.13, n.1, pp. 13-23, 1996.
- ACKOFF, R.L.; SASIENI, M.W. *Pesquisa operacional*. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos Editora, 1971.
- AMARAL, L.P. *Modelo logístico de apoio à decisão da localização de centros de distribuição de uma indústria de produtos perecíveis*. São Paulo: Departamento de Engenharia de Produção da Escola Politécnica da USP. Trabalho de Formatura, 1991.
- ANSOFF, I; MCDONNEL, E. *Implanting strategic management*. Hemel Hempstead, UK: Prentice-Hall, 1990.
- BARKER, J. *A questão dos paradigmas* (filme-vídeo). São Paulo: SIAMAR, 1990. 1 cassete VHS, 39 minutos.
- BEAUREGARD, R.; BEAUDOLIN, M.; AIT-KADI, D.; MONGEAU, J.P. A systemic approach to consider complexity in sawmill modeling. *Wood and Fiber Science*, V. 26. n.3, p. 421-37, 1994.
- BEER, S. *Decision and control*. London, John Wiley & Sons, 1966.
- BEER, S. The Viable System Model: its provenance, development, methodology and pathology. *Journal of the Operational Research Society*, V.35, n. 1, p. 7-25, 1984.
- BERNUS, P.; NEMES, L.; WILLIAMS, T.J. *Architectures for enterprise integration*. Londres: Chapman & Hall, 1996.
- BHARADWAJ, A.; CHOUBINEH, J.; LO, A.; SHETTY, B. Model management systems: a survey. In: SHETTY, B.; BHARGAVA, H.K.; KRISHNAN, R. Eds. *Model management in Operations Research*. Basel, J.C. Baltzer AG, p.17-67, 1992. (Annals of Operations Research, v.38)
- BHARGAVA, H.K.; KRISHNAN, R. Foreword. In: SHETTY, B.; BHARGAVA, H.K.; KRISHNAN, R. Eds. *Model management in Operations Research*. Basel, J.C. Baltzer AG, 1992. (Annals of Operations Research, v.38)
- BHARGAVA, H.K.; KRISHNAN, R.; MÜLLER, R. *Decision support on demand: emerging electronic markets for decision technologies*. Monterey, CA: Naval Postgraduate School, working paper, 1996.
- BITRAN, G.R.; HAAS, E.A.; CANDEA, A.C. Hierarchical production planning: a two stage system. *Operations Research*, V.30, n.2., março-abril, 1982.

- BITRAN, G.R.; TIRUPATI, D. Hierarchical production planning. In: GRAVES, S.C.; RINNOOY KAN, A.H.G.; ZIPKIN, P.H. Eds. *Logistics of production and inventory*. Amsterdam: New-Holland, 1993.
- BLANNING, R.W. Model management systems. In: SPRAGUE, R.H., Jr.; WATSON, H.J. Eds. 2.ed. *Decision support systems*. Englewood Cliffs, Prentice-Hall, 1989.
- BOWEN, K. *The indivisibility of O.R.* /Apresentação convidada para a 8th Young OR Conference, York, UK, 1994/
- BUFFA, E.S.; MILLER, J.G. Production-inventory systems: planning and control. Homewood, IL: Richard D, Irwin Inc., 1979.
- BUFFA, E.S.; TAUBERT, W.H. *Production-inventory systems: planning and control*. Homewood, IL: Richard D, Irwin Inc., 1972.
- CABRAL, M.M.P. *Aplicação de uma metodologia de melhoria nos processos de Informática de uma empresa alimentícia*. São Paulo: Departamento de Engenharia de Produção da Escola Politécnica da USP. Trabalho de Formatura, 1994.
- CARRIER, H.D.; WALLACE, W.A. *An epistemological view of decision aid technology with emphasis on expert systems*. In: WALLACE, W.A. (ed.). *Ethics in modeling*. Oxford: Pergamon Press, 1994.
- CHAPMAN, C.B. My two cents worth on how OR should develop. *Journal of the Operational Research Society*, V. 43, n.7, p. 647-64, 1992.
- CHECKLAND, P. *Systems thinking, systems practice*. Chichester, John Wiley & Sons, 1981.
- CHECKLAND, P. From optimizing to learning: a development of systems thinking for the 1990s. *Journal of the Operational Research Society*, v.36, n.9, p.757-767, 1985.
- CHECKLAND, P.; SCHOLLES, J. *Soft systems methodology in action*. Chichester, John Wiley & Sons, 1990.
- CHUNG, Q.B.; O'KEEFE, R.M. A formal analysis of the model management literature. In: SHETTY, B.; BHARGAVA, H.K.; KRISHNAN, R. Eds. *Model management in Operations Research*. Basel, J.C. Baltzer AG, p.137-76, 1992. (Annals of Operations Research, v.38).
- CHURCHMAN, C.W. Introdução à Teoria dos Sistemas. Petrópolis: Editora Vozes, 1971. 2a. edição.
- CHURCHMAN, C.W. Reliability of models in the Social Sciences. *Interfaces*, V.4, n.1, p. 1-12, 1973
- CHURCHMAN, C.W.; ACKOFF, R.L.; ARNOFF, L. *Introduction to Operations Research*. New York: John Wiley & Sons, 1957.
- CONDOR (COMMITTEE ON THE NEXT DECADE OF OPERATIONS RESEARCH). Operations Research: the next decade. *Operations Research*, V.36, p.619-37, 1988.

- CORBETT, C.J.; OVERMEER, W.J.A.M.; VAN WASSENHOVE. Strands of practice in OR (the practitioner's dilemma). *European Journal of Operational Research*, v.87, p. 484-99, 1995.
- CORBETT, C.J.; OVERMEER, W.J.A.M.; VAN WASSENHOVE, L.N.. What the cases don't tell us. *INSEAD Working Paper 95/76/TM*, 1995.
- CORBETT, C.J.; VAN WASSENHOVE, L.N. The natural drift: what happened to Operations Research? *Operations Research*, v.41, n.4, p. 625-40, 1993.
- COURTOIS, P.J. *Decomposability: queueing and computer systems applications*. New York: Academic Press, 1977.
- CRAIG, P.B.; KING, M. Spreadsheet modelling abuse: an opportunity for OR? *Journal of the Operational Research Society*, V.44, n.8, p. 743-52, 1993.
- DAELLENBACH, H.G. *Soft systems methodology: does it have anything to offer to OR/MS?* /Apresentado na 34th. ORSA/TIMS Joint National Meeting, San Francisco, nov.1992/
- DART, R.L.; LENGEL, R.H. Organizational information requirements, media richness and structural design. *Management Science*, V.32, n. 5, p. 554-71, 1986.
- DAVENPORT, T.H. *Reengenharia de processos*. Rio de Janeiro: Editora Campus, 1994.
- DAVIS, G.B. Strategies for information requirements determination. *IBM Systems Journal*, V.21, n. 1, p.4-30, 1982.
- DOLK, D.R. Data as models: an approach to implementing model management. *Decision support systems*, v.2, p.73-80,1986.
- DOLK, D.R.; ACKROYD, M. Enterprise modeling and object technology. In: *Proceedingd of the Third International Conference of the International Society for Decision Support Systems*. Hong Kong, p. 235-46, 1995.
- DOLK, D.R.; KONSYNSKI, B.R. Model management in organizations. *Information & Management*, V.9., p. 35-47, 1985.
- FCAV (FUNDAÇÃO CARLOS ALBERTO VANZOLINI). *Projeto SIMOR: relatório final*. São Paulo: FCAV, 1988.
- FILDES, R; RANYARD, J. *Sucess and survival of OR groups*. Working paper, Department of Management Science, Lancaster University, 1996
- FLEURY, A.C.C. Política industrial e capacitação tecnológica. São Paulo, SP: Departamento de Engenharia de Produção, Escola Politécnica da USP, 1991.
- FORRESTER, J.W. *Industrial dynamics*. Cambridge, MA: MIT Press, 1961.
- EARL, M.; KHAN, B. How new is business process redesign? *European management journal*, v.12, n.1, p.20-30, 1994.
- FLOOD, R.L.; JACKSON, M.C. *Creative problem solving: Total systems intervention*. Chichester, John Wiley & Sons, 1991.

- GASS, S.I. OR in the real world: how things go wrong. *Computers & Operations Research*, v.18, p.629-32, 1991.
- GASS, S.I. Model accreditation: a rationale and process for determining a numerical rating. *European Journal of Operational Research*, V.66, p. 250-8, 1993.
- GASS, S.I.; JOEL, L.S. Concepts of model confidence. *Computer & Operations Research*, V.8, p. 341-6, 1981.
- GEOFFRION, A.M. An introduction to structured modeling. *Management Science*, v.33, n.5, p.547-88, 1987.
- GEOFFRION, A.M. Forces, trends and opportunities in MS/OR. *Operations Research*, v.40, n.3, p.423-45, 1992.
- GOLD, B. Technology, productivity and economic analysis. *Omega*, v.1, n.1, p.5-24, 1973.
- GRAY, P. Editorial: Looking forward, looking back. *OR/MS Today*, v. 20, n.3, p.6, 1993.
- GRAY, P.; LENSTRA, J.K. Special focus and decision support systems (dss): introduction. *Operations Research*, v.36, n.6, p.823-5, 1988.
- GREENBERG, H.J. A natural language discourse model to explain linear programming models and solutions. *Decision support systems*, v.3, p.333-42, 1987.
- GUALDA, N.D.F.; TONDO, C.M. *A large L.P. model for sugar cane crop planning*. /Apresentado na TIMS XXX-SOBRAPO XXIII Joint International Meeting, Rio de Janeiro, jul.1991/
- GUALDA, N.D.F.; YOSHIZAKI, H.T.Y.; TONDO, C.M. *Simulation methods for fleet and yard compatibility in agro-industry*. /Apresentado na TIMS XXX-SOBRAPO XXIII Joint International Meeting, Rio de Janeiro, jul.1991/
- HAMMER, M.; CHAMPY, J. *Reengenharia: revolucionando a empresa*. Rio de Janeiro: Editora Campus, 1994.
- HAX, A.C.; CANDEA, D. *Production and inventory management*. Englewood Cliffs, Prentice-Hall, 1984.
- HAYAKAWA, S.I.; HAYAKAWA, A.R. *Language in thought and action*. San Diego CA: Harcourt Brace & Company, 1990. 5a. edição.
- HAYES, B.E. *Measuring customer satisfaction*. Milwaukee MI: ASQC Press, 1992.
- HO, J. *Prosperity in the Information Age*. Wilmette, IL: Infotomics, 1994.
- HO, J.K.K.; SCULLI, D. O.R. and the design of decision support systems. *Proceedings of the 2nd. Conference of the O.R. Society of Hong Kong*, p.54-63, 1992.
- IBM - INTERNATIONAL BUSINESS MACHINES. *Business Systems Planning: Information Systems Planning Guide*. White Plains, NY: IBM Corporation, 1981.
- KAFANDARIS, S. Book selection: Management Science: the art of decision making. *Journal of the Operational Research Society*, v.46, n.9., p. 1153-4, 1995.

- KEEN, P.G.W.; SCOTT MORTON, M.S. *Decision support systems: an organizational perspective*. Reading, Addison-Wesley, 1978.
- KEYS, P. Operations Research as technology: some issues and implications. *Journal of the Operational Research Society*, V. 40., p.753-9, 1989.
- KING, B. *Hoshin planning: the developmental approach*. Boston, GOAL/QPC, 1989.
- KOTTEMANN, J.E.; DOLK, D.R. Model integration and modeling languages: a process perspective. *Information systems research*, v.3, n.1, p.1-16, 1992.
- LARSON, R.C.; ODoni, A.R. *Urban Operations Research*. Englewood Cliffs, Prentice-Hall, 1981.
- LEE, S.M.; CHO, Y.K.; OLSON, D.L. The decentralization of Management Science and the birth of self-starters. *Journal of the Operational Research Society*, v.40, n.4., p. 323-331, 1989.
- LEONID-BARTON, L. Implementation as mutual adaptation of technology and organization. *Harvard Business Review*, V.17, p. 251-67, 1988.
- LINDO LINES. Chicago, Lindo Systems, sum.1993.
- LITTLE, J.D.C. Models and managers: the concept of a decision calculus. *Management Science*, v.16, n.8, p. B-466-485, 1970.
- LITTLE, J.D.C. On model building. In: WALLACE, W.A. (ed.). *Ethics in modeling*. Oxford: Pergamon Press, 1994.
- MA, P.C.; MURPHY, F.H.; STOHR, E.A. *An implementation of LPFORM*. Newark, University of Delaware, mar.1994. (working paper, College of Business & Economics, Dept. of Business Administration)
- MARCH, J.G.; SIMON, H.A. *Organizations*. New York: John Wiley & Sons, 1958.
- MESAROVIC, M.D.; TAKAHARA, Y. *General systems theory: mathematical foundations*. Academic Press, 1975.
- MILLER, G.A. The magical number seven, plus or minus two: some limits on our capacity for processing information. In: MILLER, G.A. *The psychology of communication: seven essays*. Harmondsworth, UK: Penguin Books, 1968.
- MISER, H.J. Craft in Operations Research. *Operations Research*, V.40, n.4, p. 633-9, 1992.
- MISER, H.J.; QUADE E.S. *Handbook of systems analysis: overview of uses, procedures, applications and practice*. New York, NY: North-Holland, 1985.
- MISER, H.J.; QUADE E.S. *Handbook of systems analysis: craft issues and procedural choices*. New York, NY: North-Holland, 1988.
- MISER, H.J.; QUADE E.S. *Handbook of systems analysis: cases and examples*. New York, NY: North-Holland, 1995.
- MORRIS, W.T. On the art of modeling. *Management Science*, V. 13, n.12, p. B-707-17, 1967.

- MORSE, P.M.; KIMBALL, G.F. *Methods of Operations Research*. Cambridge, MA: the MIT Press, 1963.
- MÜLLER-MERBACH, H. Model design based on the systems approach. *Journal of the Operational Research Society*, v.34, n.8, p.739-51, 1983.
- MUSCAT, A.R.N. *Sistema MIDO*. São Paulo, 1993, 150p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- MUSCAT, A.R.N.; ALMEIDA, H.S. Produtividade e análise custo-benefício: utilização de mudanças tecnológicas no estudo do impacto. *Engenharia de Produção*, n.1, janeiro, p. 23-38, 1988.
- NEWELL, G.F. 2.ed. *Applications of queueing theory*. London, Chapman and Hall, 1982.
- NOLAN, R.L. Managing the crises in data processing. *Harvard Business Review*, março-abril, p. 115-26, 1979.
- O'KEEFE, R.M. MS/OR enabled systems. *Operations Research*, V.43, n.2, mar.-abr. 1995.
- OPERATIONS ANALYSIS STUDY GROUP. *Naval Operations Analysis*. 2.ed. Annapolis, Naval Institute Press, 1977.
- ORMEROD, R. Mixing methods in practice: *a transformation-competence perspective*. Warwick Business School Research Paper n. 235, The University of Warwick, 1996.
- PLONSKI, G.A. Do CAD à Engemática. *Anais do XXX Congresso Nacional de Informática*. São Paulo: SUCESU, 1987.
- POWELL, S.G. The teacher's forum: six key modeling heuristics. *Interfaces*, V.25, n.4, p.114-25, 1995.
- RANYARD, J.C.; FILDES, R.; CRYMBLE, W.R. *Report of the investigation into the success & survival of OR groups*. Department of Management Science, Lancaster University, 1995a.
- RANYARD, J.C.; FILDES, R.; CRYMBLE, W.R. *Death of an OR group*. Working paper, Department of Management Science, Lancaster University, 1995b.
- REISMAN, A. *Management Science knowledge: its creation, generalization and consolidation*. Westport. CN: Quorum Books, 1992.
- RIVETT, P. *Model building for decision analysis*. Chichester, UK: John Wiley & Sons, 1980.
- ROCKART, J.F. Chief executives define their own data needs. *Harvard Business Review*, Março-Abril, p. 81-92, 1979.
- ROCKART, J.F.; BULLEN, C.V. *The rise of managerial computing*. Homewood, Dow Jones-Irwin, 1986.
- ROSENHEAD, J., ed. *Rational analysis for a problematic world*. Chichester, John Wiley & Sons, 1989.

- ROSENHEAD, J.; WONG, H.Y. *Varieties of robustness analysis*. London: Department of Operational Research, London School of Economics, working paper, 1996.
- ROUSSEL, P.A.; SAAD, K.N.; BOHLIN, N. *Pesquisa & desenvolvimento: como integrar P&D ao plano estratégico e operacional das empresas como fator de produtividade e competitividade*. São Paulo, Makron Books, 1992.
- SAATY, T.L. *Mathematical methods of Operations Research*. New York: Dover Publications, 1988.
- SAGE, A.P. *Decision support systems engineering*. New York, John Wiley & Sons, 1991.
- SAGE, A.P. Associates systems for decision support. *Information and Decision Technologies*, V.19, p.165-84, 1994.
- SAGE, A.P. Object oriented methodologies in decision and information technologies. *Information and Decision Technologies*, V. 19, n.1, p. 31-53, 1993.
- SALATA, F.R., Jr. *Modelo logístico de apoio à distribuição física em uma indústria de produtos alimentícios*. São Paulo: Departamento de Engenharia de Produção da Escola Politécnica da USP. Trabalho de Formatura, 1990.
- SALATA, F.R., Jr.; YOSHIZAKI, H.T.Y. Modelo de apoio à decisão de roteamento na distribuição física de produtos perecíveis. *Produção*, v.3, n.1, p.45-51, maio 1993.
- SANTORO, M.C. *Planejamento, Programação e Controle da Produção*. São Paulo: Departamento de Engenharia de Produção, Escola Politécnica da USP. Apostila, 1991.
- SAVAGE, S.L. *FAST QM: fundamental analytic spreadsheet tools for quantitative management*. New York, McGraw-Hill, 1993.
- SAVAGE, S.L. Weighting the PROS and CONS of Decision Technologies in Spreadsheets. *OR/MS Today*, V. 24, n.1, p. 42-5, fevereiro 1997.
- SHETTY, B.; BHARGAVA, H.K.; KRISHNAN, R. Eds. *Model management in Operations Research*. Basel, J.C. Baltzer AG, 1992. (Annals of Operations Research, v.38)
- SHIBA, S.; GRAHAM, A.; WALDEN, D. *A new American TQM*. Portland, OR, Productivity Press, 1993.
- SPRAGUE, R.H., Jr. A framework for the development of decision support systems. In: SPRAGUE, R.H., Jr.; WATSON, H.J. Eds. 2.ed. *Decision support systems*. Englewood Cliffs, Prentice-Hall, 1989.
- SPRAGUE, R.H., Jr.; WATSON, H.J. Eds. 2.ed. *Decision support systems*. Englewood Cliffs, Prentice-Hall, 1989.
- STAR, S.L.; RUHLER, K. Steps towards an ecology of infrastructure: design and access for large information spaces. *Information Systems Research*, V.7, n.1, p. 111-34, mar. 1996.

- SUTTON, D.C. The Enterprise Design Framework meets the System for Systems Methodologies. *Systems Practice*, V.8, n.4, p. 409-39, 1995.
- SZCZERBICKI, E. Developing management decision aids: MIS-DSS-ES progression. *System Analysis, Modeling and Simulation*, V.8, n.7, p. 523-37, 1991.
- TÁTRAY, P. BPR or CIM: a question of perspective. *Proceedings of the 4th. International Conference and Exhibition on Information Systems, Logistics Integration, Concurrent Engineering and Electronic Commerce*. Paris: ILCE/GIC, p. 57-67, outubro, 1996.
- TAUBE-NETTO, M. Integrated planning for poultry production at Sadia. *Interfaces*, V.26, n.1, jan.-fev. 1996.
- THOMAS, C.J. Verification revisited. In: HUGHES, W.P. Ed. 2.ed. *Military modeling*. MORS, 1989.
- THOMPSON, J.D. *Organizations in action*. New York: McGraw-Hill, 1967.
- TOMLINSON, R.; IDAMA, A. The personality of O.R. workers - are they different? *Journal of the Operational Research Society*, v.37, p.1039-45, 1986.
- TORNATZKY, L.G.; FLEISHER, M. *The process of technological innovation*. Lexington: Lexington Books, 1991.
- TOYAMA, T.; ENDOH, K. Tables-driven-tables-processing for decision support systems beyond spread-sheet. *Proceedings of the 3rd. International Conference of the International Society for Decision Support Systems*. Hong Kong: ISDSS, V.1, p.381-94, 1995.
- URBAN, G.L. Building models for decision makers. *Interfaces*, V.4, n.3, maio, p.1-11, 1974.
- von ELLENRIEDER, A.R. *Pesquisa Operacional*. São Paulo: Editora Almeida Neves, 1972.
- von ELLENRIEDER, A.R. *Conceptos y experiencias en la construccion de modelos en la Investigacion de Operaciones*. CLAIO, 1992.
- WATSON, H.J.; SPRAGUE, R.H. The components of an architecture for DSS. In: SPRAGUE, R.H.; WATSON, H.J. Eds. *Decision support systems*. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 3a. edição, 1993.
- WILSON, B. 2.ed. *Systems: concepts, methodologies and applications*. Chichester, John Wiley & Sons, 1991.
- YADAV, S.B. Determining an organization's information requirements: a state of the art survey. *Databases*, p.3-20, Spr.1983.
- YOSHIZAKI, H.T.Y. *Aplicação de redes de filas para modelagem de sistemas de transporte*. São Paulo, 1990, 110p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

YOSHIZAKI, H.T.Y.; FLEURY, A.C.C.; MUSCAT, A.R.N.; SANTORO, M.C. *A systemic model for logistics integration*. /Rio de Janeiro: XXX TIMS/XXIII SOBRAPO, 1991./

YOSHIZAKI, H.T.Y.; MUSCAT, A.R.N.; BIAZZI, J. Decentralizing ethanol distribution in Southeastern Brazil. *Interfaces*, V.26, n. 6, nov.-dez., 1996.

YOSHIZAKI, H.T.Y.; PLONSKI, G.A. A contextual approach for designing and using O.R. quantitative models. *International Transactions in Operational Research*, V. 2, n.4, out. 1995.

YOURDON, E. *Administrando o ciclo de vida do sistema*. Rio de Janeiro: Editora Campus, 1989.

APÊNDICE: ALGUMAS DEFINIÇÕES

Algumas definições e respectivos comentários relevantes para a tese estão apresentadas a seguir.

A.1. Modelos

Podem ser entendidos como:

"...representações simplificadas da realidade com finalidade específica. Sua validade é sempre relativa: se o modelo está adequado a representar o aspecto desejado da realidade, é um modelo válido. Podem ser implícitos (mentalizados) ou explícitos, quando então sua comunicação é possível. Podem ser classificados em físicos (concretos) ou abstratos (simbólicos). Os modelos físicos podem ser icônicos (como gabaritos usados em projeto de arranjo físico) ou analógicos (como o uso de um mapa, mesa e pesos conectados por fios para resolver problemas de localização). Os modelos abstratos usam símbolos: isto torna necessário o emprego de uma chave para seu entendimento. É o caso de línguas faladas, escrita fonética e ideográfica e modelos matemáticos (algébricos). Para estes últimos, é interessante notar que uma mesma equação (modelo) pode representar diferentes realidades".⁶

A.2. Modelos matemáticos

Os *modelos quantitativos empregados para auxiliar processos formais de decisão em empresas* podem ter sido desenvolvidos conforme os métodos da Pesquisa Operacional (P.O.), Inteligência Artificial (sistemas especialistas, redes neurais, etc), Dinâmica Industrial (Forrester, 1961), Estatística, etc.⁷

⁶TORRES, O.F.F. (*Identificação e Modelagem de Sistemas*, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo). Notas de aula, 1987.

⁷Outros tipos de modelos matemáticos, tais como modelos analíticos de Engenharia, Arquitetura, CAD/CAM, Física, Química, etc, podem fazer parte de sistemas de apoio à decisão (por exemplo, como subrotinas para cálculos específicos de desempenho em simulação), mas não são objeto primordial desta análise, pois têm usualmente *outra finalidade*.

Entende-se por decisão a escolha consciente entre diversas alternativas de ação. Para cumprir sua finalidade, tais modelos devem servir então para avaliar ou prever o impacto das alternativas de solução para um dado problema.

Para montagem desse tipo de modelos de auxílio à decisão pode ser mais conveniente utilizar-se modelos matemáticos, pois podem ser manipulados de modo mais fácil do que modelos icônicos ou analógicos. Há também a vantagem da Matemática ser uma linguagem precisa e que permite manipulação rigorosa e não-ambígua dos modelos.

Como representações simplificadas da realidade, para manter sua utilidade devem conter os elementos considerados indispensáveis para garantir sua aderência à situação analisada (a "navalha de Occam"⁸). Como modelos não têm validade intrínseca, sua construção dá-se de maneira iterativa, com *feed-backs* da realidade (Ackoff e Sasieni, 1971; Morris, 1967).

Do ponto-de-vista do uso dos modelos, estes são abstrações de problemas da organização. Cada problema é, por definição, único. O problema de seqüenciação de lotes de produção que se tem hoje, por exemplo, vai ser diferente daquele que ocorrerá amanhã: novos pedidos, produtos, matérias-primas e processos entrarão em foco. Conforme Ackoff e Sasieni (1971), não existem então dois problemas iguais no seu conteúdo. Entretanto, eles podem ser iguais na *forma*. Dando-se a palavra a eles (Ackoff e Sasieni, 1971, p.16):

"Todo problema apresenta forma e conteúdo, como a moeda tem cara e coroa; podemos estudá-los e discutí-los separadamente, mas não podemos 'tê-los' separadamente. *Forma* significa a maneira segundo qual as propriedades do problema (variáveis e parâmetros) se *relacionam*. *Conteúdo* significa a natureza (significado) de tais propriedades...

"Podemos separar a forma de um problema do seu conteúdo por um processo denominado abstração. A linguagem na qual expressamos a forma assim abstraída do conteúdo é a linguagem da matemática. Portanto, um modelo matemático de decisão é uma representação da forma de um problema...

"A abstração da forma exige o conhecimento do conteúdo do problema..."

Pode-se dizer que, conforme o treinamento do modelador, existe mais de um patamar de abstração em modelagem que ele pode trabalhar. Assim, o conteúdo do problema pode ser considerado dependente do nível de abstração utilizado.

⁸*Non sunt multiplicanda entia præter necessitatem* - o princípio da navalha de Occam

Modelos de situações diferentes mas análogas podem ter a mesma forma, no caso, modelo matemático. Conforme Beer (1966, p. 111-9), a analogia pode ser instrumento importante para a modelagem: o conhecimento de um fenômeno análogo e já modelado auxilia no processo de redução da situação em vista (que ele chama de criação de *homomorfismo*) até um modelo matemático (chamado *científico*), que teria a mesma formulação daquele associado ao problema análogo (os modelos da situação analisada e da análoga seriam então *isomorfos*). Por exemplo, processos de fila cíclica com saturação, como ocorrem em picos de trânsito urbano, podem ser modelados por analogia ao fluxo de um fluido incompressível em circuito fechado (Newell, 1982, p.25-49); ambos utilizam-se de sistemas de equações diferenciais (*isomorfos*). Beer considera o uso de analogias, homomorfismo e isomorfismo na modelagem tão importante que recomenda o uso de equipes multidisciplinares como padrão para estudos de P.O.: a experiência prévia em diferentes tipos de fenômenos e seus modelos facilitaria a modelagem de problemas gerenciais.

Doravante referir-se-á aos modelos quantitativos para auxiliar decisões simplesmente por modelos quantitativos ou matemáticos.

Cumprir destacar que os citados modelos servem para auxiliar a decisão em processos de qualquer nível hierárquico na organização. Assim, o usuário do modelo pode ser desde um operador de linha de frente até um alto executivo. Pode ser inclusive um usuário não-humano (por exemplo, um robô que utiliza algoritmos de rede para definir cordões de solda em placas de circuitos).

A.3. Sistemas de apoio à decisão

Conforme a literatura da área (Sage, 1991, p.1; Sprague, 1993; Keen e Scott-Morton, 1978), pode-se definir como sistema de apoio à decisão (SAD) um sistema automatizado de informações que apóia a tomada de decisões tecnológicas e gerenciais pelo auxílio à organização do conhecimento em questões ditas mal-estruturadas. Para os especialistas da área de SAD, uma questão é considerada mal-estruturada quando seus *elementos e as relações entre eles não são conhecidas com precisão*. Seus componentes principais são um sistema gerenciador da base de dados, um sistema gerenciador da base de modelos e um sistema de geração e gerenciamento de diálogos (interface). O processo de decisão auxiliado pelo SAD envolve a formulação de alternativas, a análise de seus impactos e a interpretação e seleção das opções adequadas para implantação (portanto, medidas de mérito e objetivos devem estar já definidos). As possibilidades de

experimentação com modelos e de consultas não previamente formalizadas em bancos de dados tornam os SAD uma ferramenta flexível de auxílio gerencial.

Deve-se reparar que os SAD dão suporte para decisores em problemas já identificados, onde as variáveis relevantes e suas inter-relações não são bem conhecidas. Para o projeto dos SAD, três passos são obrigatórios: formulação do problema de projeto; análise de configurações alternativas; e interpretação e seleção (Sage, 1991). Como no primeiro passo é necessário identificar as necessidades e *objetivos* do grupo de clientes, assume-se que exista concordância quanto ao conjunto de objetivos (mas pode haver conflito entre os objetivos de cada decisor) do problema de decisão que será objeto do SAD. Nos SAD originais, que serviam apenas para um usuário (decisor), isto não configura um problema.

Nessa literatura, a *forma* de um modelo (conceito de Ackoff e Arnoff) é chamada simplesmente de *modelo*, enquanto que cada *conteúdo* particular é chamado de *instância* do modelo.

A.4. Grupos de interessados (stakeholders)

Os indivíduos ou grupos com algum interesse no processo de decisão (auxiliado ou não por modelos matemáticos) ou nos resultados do mesmo formam os grupos de interessados (*stakeholders*) no sistema objeto. Eles podem ter papéis ativos ou passivos, conforme colocado abaixo:

- decisor: quem toma a decisão (indivíduo ou grupo), baseada nas informações fornecidas pelos modelos;
- informador: quem fornece dados ou outros subsídios ao processo de decisão (inclusive aos modelos);
- executor: quem executa as decisões tomadas;
- verificador: quem avalia a viabilidade das decisões tomadas; via de regra, é o próprio executor ou alguém hierarquicamente abaixo no processo de decisão, ou seja, alguém mais próximo ao sistema de operações e com condições de verificar detalhes omitidos em instâncias superiores;
- especialista ou analista: o profissional especializado em modelagem matemática, com maior bagagem técnica;
- modelador: quem desenvolve o modelo formal; pode ou não ser o próprio decisor;
- vítimas: quem sofre passivamente os resultados da decisão; geralmente tem menor poder político, mas pode ser foco de resistência passiva; muitos sistemas de decisão não conseguem ser implantados devido a essa resistência passiva;

- beneficiários: quem se beneficia do uso do modelo;
- dono do processo: quem detém poder sobre os recursos do sistema;
- parceiros: decisores associados que têm tradeoffs reconhecidamente interligados.

Esta classificação obedece os papéis que cada grupo ou indivíduo desempenham no sistema de decisão. Entretanto, são apenas uma parcela da visão de mundo (*Weltanschauung*) de cada indivíduo, que podem representar *mais de um papel*. Na prática, pode ser conveniente agrupar os indivíduos conforme a similaridade de seus objetivos e *Weltanschauungen*.

A.5. Tipos de complexidade

Da mesma maneira que existe mais de uma definição de problema mal-estruturado (conforme a área de Sistemas de Apoio à Decisão ou conforme a área de *soft systems*), autores de áreas diferentes tem compreensões diferentes com relação ao significado da complexidade de sistemas. A grosso modo, o autor identifica duas classes do fenômeno: estrutural e social.

Complexidade estrutural: diz respeito ao sistema objetivo; diz-se que um sistema é mais ou menos complexo conforme a quantidade de variáveis, componentes, funções e interrelações identificadas;

Complexidade social: diz respeito aos diversos *stakeholders* do sistema em estudo; um sistema é mais ou menos complexo conforme a diversidade de visões de mundo (*Weltanschauungen*) simultâneos, da compatibilidade entre os mesmos (interesses comuns) e da possibilidade de consenso ou convivência.

Esta diferenciação entre tipos de complexidade vai ser importante mais à frente, pois é um dos fatores de contingenciamento para a decisão de se empregar modelos matemáticos.

A.6. Tipos de problemas

Nesta tese foi utilizada uma variação da taxonomia de problemas usada por Checkland (1981, p. 154-5) para a *Soft Systems Methodology*. Checkland classifica os problemas em dois tipos: os problemas ditos *estruturados* e os *não-estruturados*. Os problemas estruturados são bem-definidos em termos de um conjunto claro de objetivos, são claramente discerníveis no contexto organizacional e podem ser explicitamente enunciados numa linguagem, implicando que uma teoria para sua solução está

disponível. Um exemplo seria: "como podemos abastecer os depósitos a partir das fábricas ao mínimo custo?" Problemas não-estruturados se manifestam em um sentimento de desconforto com a situação mas não podem ser enunciados explicitamente sem que isso não pareça simplificar demasiadamente a situação. Um exemplo seria: "o que fazer com o ensino básico?"

De certa maneira, esta dicotomia expressa dois extremos da definição de problema. Em algumas situações particulares, entretanto, pode-se passar de um problema não-estruturado a um problema estruturado; isto poderia ocorrer, por exemplo, quando fosse possível obter (de alguma maneira) um consenso entre os diversos atores principais. Em organizações empresariais a questão de melhoria de desempenho requer a migração de problemas não-estruturados para problemas estruturados (apesar de nem sempre isto ser trivial); em outros tipos de organizações mais fluídas (como clubes, sindicatos, parlamentos, universidades), esta passagem nem sempre é politicamente possível ou mesmo conveniente: a busca de acomodação pode prevalecer.

Repare-se que um *problema mal-estruturado* conforme a área de Sistemas de Apoio à Decisão diz respeito à falta de conhecimento quanto à estrutura subjacente ao fenômeno em questão (ou seja, o modelo empregado é ainda rudimentar, basicamente intuitivo), e não com relação à clareza de objetivos ou definição da problemática abordada: sob o ponto de vista da SSM, eles são problemas estruturados.

A.7. Sistemas

Resumidamente, pode-se definir um sistema como um todo que tem uma ou mais funções e é composto por duas ou mais partes ou componentes essenciais (Ackoff e Gharajedaghi, 1996). Fundamentalmente, tem-se que cada uma das partes pode afetar o comportamento ou as propriedades do todo; nenhum dos componentes tem efeito independente no todo; o efeito de um componente essencial no todo depende do que os outros componentes estão fazendo; e cada subconjunto formado por partes essenciais pode afetar o comportamento ou as propriedades do todo mas nenhum deles pode fazê-lo independente dos outros. Assim, pode-se definir um sistema como um "todo funcional que não pode ser dividido em partes independentes".

Sistemas têm *propriedades emergentes* (Checkland, 1981, p. 75-82), ou seja, são propriedades que só podem pertencer ao "todo" mencionado e não a nenhuma parte isolada: são decorrentes da organização dos componentes e da interação entre os mesmos e com o ambiente. Como cada parte pode ser considerada um sistema em si

com suas próprias propriedades emergentes , e assim por diante, tanto indo para níveis cada vez mais detalhados (sub-componentes, sub-subcomponentes, etc) ou cada vez mais agregados (sistema, sistema de sistemas, etc), ao conceito de sistema está ligado o conceito de *hierarquia*. Logo, propriedades emergentes estão associadas a um determinado nível de organização de partes, ou seja, determinado nível na hierarquia de organização das partes. Para a manutenção das propriedades emergentes, ou seja, de sua identidade como tal, sistemas abertos precisam estabelecer comunicação entre suas partes para manter controle de suas atividades e manter suas trocas com o ambiente dentro de certos limites, organizando então ciclos (processos) de retroalimentação ou feedback. O conceito de controle é indissociável de uma estrutura hierárquica de sistemas pois significa a imposição de algum tipo de restrição de um nível hierárquico superior ao nível inferior, condicionando sua ação (do nível inferior), para que suas propriedades emergentes estejam dentro de limites condizentes com uma operação coordenada com as outras partes (Checkland, 1981, p. 85-92). Por exemplo, uma empresa condiciona (dentro de certos limites) o "ambiente" de cada parcela componente para ela agir em conformidade com o todo. Em geral, o controle hierárquico requer três condições para funcionar a contento. A primeira condição é que a imposição de uma restrição deve forçar novas relações funcionais para os níveis inferiores: isto necessita de alguma "descrição alternativa" do nível inferior que ignora alguns detalhes de sua dinâmica. Segunda, a imposição da restrição deve ser ótima no sentido de não ser tão estreita a ponto de levar à rigidez nem tão frouxa que as funções necessárias não sejam geradas pelo nível inferior. Finalmente, a restrição deve agir na dinâmica detalhada do nível inferior. Qualquer mecanismo de controle, por conseguinte, pressupõe a troca de informação, ou seja, um processo de *comunicação*, além do processamento da informação para o controle.

Esses dois pares de idéias (emergência e hierarquia, controle e comunicação) são considerados por Checkland (1981, p. 250) os mais relevantes para um trabalho sistêmico em organizações humanas.

Cumprir citar que uma característica de níveis de organização mais complexos (sistemas) é sua capacidade de *evoluir*, ou seja, criar, incorporar, desdobrar ou atrofiar funções como resposta a alterações ambientais.

A.8. Metodologia

Uma metodologia fica a meio caminho entre uma filosofia e um método ou técnica (Checkland, 1981, p. 161-2). Entenda-se filosofia em um dos seus sentidos latos, isto é,

um guia genérico para ação; no outro extremo desta dicotomia há uma técnica, que é um programa específico e preciso de ação que gera resultados padronizados. A metodologia fica no meio termo. Enquanto uma técnica responde "como" e a filosofia "o que", a metodologia deve conter elementos de resposta às duas questões. Não pode ser tão vaga a ponto de não fornecer orientação, devendo ser precisa mas não tão rígida a ponto de excluir visões complementares. Metodologias devem ser suficientemente flexíveis para aceitar variações e adaptações na sua utilização e, portanto, as hipóteses nelas implícitas devem ser suficientemente claras para permitir essa manipulação criativa. Tal flexibilidade é demandada pela imprevisibilidade das situações para sua aplicação, ou seja, não é possível prever todas situações possíveis para seu uso. Caso sua aplicação tenha escopo limitado, esta restrição deve ser claramente exposta na metodologia.

Conforme Davis (1982, p.11), um método é um procedimento ordenado ou sistemático; uma metodologia é um conjunto de métodos ou técnicas.