

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA E DE COMPUTAÇÃO

TESE DE DOUTORADO

Uma Abordagem Estratégica e Computacional para o Problema de Investimento em Novas Tecnologias de Manufatura

Autor: Gustavo Augusto Lima de Campos
Orientador: Raul Vinhas Ribeiro

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Akebo Yakamani – FEEC / UNICAMP
Prof. Dr. Carlos Magnus Carlson Filho – UNESP / S. J. R. Preto
Prof. Dr. Edilberto Pereira Teixeira – FEELT / UFU
Prof. Dr. João Bosco da Mota Alves – INE / UFSC
Prof. Dr. Paulo Augusto Ferreira Valente – FEEC / UNICAMP
Prof. Dr. Raul Vinhas Ribeiro – FEEC / UNICAMP

Tese apresentada à comissão de Pós-graduação da Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, como requisito para a obtenção do título de Doutor em Engenharia Elétrica.

Campinas, 14 de Março de 2003
SP – Brasil

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL
SEÇÃO CIRCULANTE

000304976

UNIDADE: <u>80</u>
Nº CHAMADA: <u>UNICAMP</u> <u>C157a</u>
V _____ EX _____
TOMBO BCI: <u>54620</u>
PROC.: <u>16-124103</u>
C <input type="checkbox"/> D <input checked="" type="checkbox"/>
PREÇO: <u>R\$ 11,00</u>
DATA: <u>15/07/03</u>
Nº CPD _____

CM00186557-7

BIB ID 294959

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

C157a

Campos, Gustavo Augusto Lima de

Uma abordagem estratégica e computacional para o problema de investimento em novas tecnologias de manufatura / Gustavo Augusto Lima de Campos. -- Campinas, SP: [s.n.], 2003.

Orientador: Raul Vinhas Ribeiro.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação.

1. Inovações tecnológicas. 2. Teoria dos conjuntos. 3. Conjuntos difusos. 4. Programação heurística. 5. Inteligência artificial. 6. Programação (Matemática). I. Ribeiro, Raul Vinhas. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação. III. Título.

Resumo

Este trabalho apresenta uma abordagem estratégica e computacional para o problema de investimento em novas tecnologias de manufatura. Esta abordagem serve para ajudar na decisão em que tecnologia investir e na justificação das despesas para os donos ou financiadores de uma companhia de manufatura. Ela consiste em um Sistema Orientado por Metas Nebulosas (SOMN) e um método de busca heurística programado em um computador, capaz de escolher entre novas tecnologias alternativas e de projetar configurações que satisfaçam os objetivos da companhia. As informações de entrada do SOMN são conjuntos nebulosos e representam as posições corrente e desejada de competitividade da companhia em um ambiente mercado-produto. As informações que o sistema mantém internamente em memória são relações nebulosas e representam os efeitos do investimento em novas tecnologias, descritos em termos de mudanças nas posições. As informações de saída são as escolhas ou os projetos gerados pelo sistema. Nos testes realizados, o SOMN foi capaz de lidar com a subjetividade predominante nas abordagens estratégicas para o problema de investimento, escolheu entre novas tecnologias e projetou configurações satisfatórias.

Abstract

This investigation describes a computer strategic approach to the new manufacturing investment problem. This approach serves to help in the decision about which technologies to invest and in the justification of expenditures to the owners, or to the financiers, of a company. It consists in a Fuzzy Goal-Seeking System (SOMN) and a heuristic search method in a computer, which is able to make a choice between alternative new manufacturing technologies and to design configurations satisfying the objectives of the company. The input informations to the SOMN are fuzzy sets and represent the actual and desired competitive position of a company in some market-product environment. The informations maintained internally by the system are fuzzy relations and represent the investment effects, described in terms of changes in the positions. The output informations are the choices and the designs generated by the system. In the tests that were carried out, the SOMN was able to deal with the subjectivities that prevail in the strategic approaches to the problem, choosing and to designing satisfactory configurations.

Índice

Lista de Figuras.....	vii
Lista de Tabelas.....	viii
Nomenclatura.....	x
Introdução.....	1
Parte I: Investimento em Novas Tecnologias de Manufatura.....	7
1. Abordagens.....	9
1.1. As Alternativas de investimento.....	9
1.2. Abordagens para o problema de investimento.....	16
2. O Problema.....	25
2.1. Fatores condicionantes da decisão sobre que tecnologia investir.....	25
2.2. Primeira definição.....	30
2.3. Segunda definição.....	37
Parte II: Sistema Orientado por Metas Nebulosas.....	43
3. Um Esboço.....	45
3.1. Programas Inteligentes.....	45

3.2. Os Sistemas Orientados por Metas e os Agentes Racionais.....	48
3.3. PAGE - percepções, ações, objetivos e ambiente.....	50
3.4. Busca Heurística.....	55
4. Primeira Formalização.....	61
4.1. Conceitos ambíguos e nebulosos.....	61
4.2. Conjuntos e relações nebulosas.....	63
4.3. Percepções (P) e ações (A).....	65
5. Segunda Formalização.....	71
5.1. Raciocínio Nebuloso.....	71
5.2. Interseção, inversa e composições de conjuntos nebulosos.....	73
5.3. Cálculo dos efeitos dos investimentos em AMTs.....	76
6. Terceira Formalização.....	85
6.1. Busca heurística nebulosa.....	85
6.2. Medidas de nebulosidade.....	88
6.3. Gerador-Avaliador de AMTs e posições de competitividade.....	90
6.4. Descrição procedimental do esquema de busca.....	95
Parte III: Testes.....	109
7. Escolha entre Alternativas de Investimento.....	111
7.1. Descrição do problema de escolha.....	111
7.2. Domínio de aplicação.....	113

7.3. Problemas e resultados.....	120
8. Projeto de Configurações para Investimento.....	135
8.1. Descrição do problema de projeto.....	135
8.2. Problemas e resultados.....	138
8.3. Avaliação informal do desempenho do esquema de busca.....	158
Conclusão.....	165
Referências Bibliográficas.....	171

Lista de Figuras

1.1	Relação entre AMTs e metas estratégicas das companhias	12
1.2	Relação entre os níveis de integração e características do problema de investimento	13
1.3	Abordagens para justificar o investimento em novas tecnologias de manufatura	17
1.4	Casamento abordagens e níveis de integração	21
3.1	Parte da árvore empregada como ponte entre P e A .	57
5.1	Problema trivial	77
5.2	Problema geral	80
6.1	Tipos de dados	96
6.2	Descrição do procedimento somn	97
6.3	Descrição do procedimento projetar	100
6.4	Árvore de busca construída internamente pelo SOMN	104
6.5	Registro do processo de busca realizado pelo SOMN	106
7.1	Problema de Escolha entre AMTs Alternativas	112
8.1	Problema de projeto de configurações de AMTs	136
8.2	Avaliação das estratégias	159
8.3	Progresso da busca realizada pelo SOMN	162

Lista de Tabelas

1.1	AMTs e suas Aplicações	10
5.1	Tabela verdade da Implicação	71
7.1	Fontes de Competitividade e Variáveis Lingüísticas	114
7.2	Valores de níveis, suas representações e significados	114
7.3	AMTs disponíveis para investimento	115
7.4	Efeito das AMTs em termos de mudanças nos níveis das fontes	115
7.5	Efeito da AMT_I sobre os níveis na fonte X_I	118
7.6	Efeito da AMT_I nas dez fontes	119
7.7	Valores dos argumentos de entrada do SOMN para o Problema 1	121
7.8	Lista de tentativas no início do processo	122
7.9	AMT nebulosa Ideal	122
7.10	Registro da lista de tentativas <i>Ltentativas</i> ao final de um ciclo de ações	124
7.11	Registro do processo de busca realizado pelo SOMN para o Problema 1	125
7.12	Argumento de saída e outras variáveis no SOMN para o Problema 1	126
7.13	Valores dos argumentos de entrada e saída do SOMN para o Problema 2	128
7.14	Valores dos argumentos de entrada e saída do SOMN para o Problema 3	129
7.15	Valores dos argumentos de entrada e saída do SOMN para o Problema 4	130
7.16	Valores dos argumentos de entrada do SOMN para o Problema 5	131
7.17	Resultados do estudo de caso (EC) e argumentos de saída do SOMN	132
8.1	Valores dos argumentos de entrada do SOMN para o Problema 1	139
8.2	Registro do processo de busca realizado pelo SOMN em $K = 0$ para o Problema 1	139
8.3	Registro do processo de busca realizado pelo SOMN em $K = 1$ para o Problema 1	141
8.4	Registro do processo de busca realizado pelo SOMN em $K = 2$ para o Problema 1	141
8.5	Registro do processo de busca realizado pelo SOMN em $K = 3$ para o Problema 1	142

8.6	Algumas variáveis manipuladas pelo SOMN no Problema 1	143
8.7	Lista de níveis nebulosos correntes em PC^K , $K = 0, \dots, 3$	143
8.8	Valores dos argumentos de entrada do SOMN para o Problema 2	145
8.9	Registro do processo de busca do SOMN até sessenta gerações para o Problema 2	146
8.10	Retrocesso realizado pelo SOMN quando atingiu a profundidade máxima da árvore	147
8.11	Registro do processo de busca do SOMN depois de muitas gerações no Problema 2	149
8.12	Registro das configurações encontradas pelo SOMN até a parada no Problema 2	150
8.13	Valores dos argumentos de entrada do SOMN para o Problema 3	151
8.14	Registro do processo de busca do SOMN até sessenta gerações para o Problema 3	152
8.15	Registro das configurações encontradas pelo SOMN até a parada no Problema 3	153
8.16	Valores dos argumentos de entrada do SOMN para o Problema 4	154
8.17	Registro do processo de busca do SOMN até sessenta gerações para o Problema 4	155
8.18	Registro das configurações encontradas pelo SOMN até a parada no Problema 4	156
8.19	Valores dos argumentos de entrada do SOMN para o Problema 5	157
8.20	Registro das configurações encontradas pelo SOMN até a parada no Problema 5	158
8.21	Tempo de processamento e consumo de memória pelo SOMN	163

Nomenclatura

Letras Latinas

- A* nível de aspiração em uma fonte de competitividade
- C* nível corrente em uma fonte de competitividade
- D* avaliação lingüística associada a uma declaração condicional nebulosa
- D* avaliação lingüística associada a um conjunto de declarações condicionais nebulosas
- M* meta nebulosa
- R* nível realizado em uma fonte de competitividade
- u* elemento do universo de discurso
- U* universo de discurso
- X* fonte de competitividade

Letras Gregas

- α valor numérico de medida de similaridade entre conjuntos nebulosos
- β valor numérico de medida de distância entre conjuntos nebulosos
- μ valor numérico de importância associada a uma meta nebulosa

Superescritos

- k* qualquer profundidade na árvore de busca

Subscritos

- m* uma meta nebulosa qualquer
- d* uma declaração condicional nebulosa qualquer
- t* uma AMT nebulosa qualquer

Siglas

- AGVS** Sistema de Veículos Guiados Automaticamente
- AMTs** Tecnologias de Manufatura Avançada
- AR** Recuperação Automatizada
- AS** Armazenamento Automatizado
- ATP** Conjunto de Ações Nebulosas Tecnológicas Possíveis

CAD	Projeto Auxiliado por Computador
CAE	Engenharia Auxiliada por Computador
CAM	Manufatura Auxiliada por Computador
CIM	Manufatura Integrada por Computador
FAZ	Sistema de Montagem Flexível
FMS	Sistema de Manufatura Flexível
GT	Tecnologia de Grupo
JIT	“Just-in-Time”
MRP	Planejamento de Requisitos de Materiais
MRPII	Planejamento de Recursos da Manufatura
NC	Máquinas de Controle Numérico
PC	Posição Nebulosa Corrente de Competitividade
PD	Posição Nebulosa Desejada de Competitividade
PR	Posição Nebulosa Realizada de Competitividade
ROI	Retorno sobre o Investimento
SOMs	Sistemas Orientados por Metas
SOMN	Sistema Orientado por Metas Nebulosas
TQC	Controle da Qualidade Total

Introdução

Este trabalho consiste em uma abordagem estratégica e computacional para o problema de investimento em novas tecnologias de manufatura. Este tipo de investimento pode ser visto como um problema de tomada de decisão. O resultado desta abordagem para o problema deve servir como uma ferramenta computacional para ajudar na tomada de decisão e justificação do investimento para os donos das companhias de manufatura, os acionistas e/ou financiadores. Se por um lado este resultado dá relevância à abordagem proposta, por outro, ela ganha em mérito quando constrói uma espécie de ponte entre a exatidão matemática das abordagens formais econômicas e analíticas, e o excesso de subjetividade das abordagens estratégicas.

No passado, as companhias abordavam o investimento como um problema de escolha entre tecnologias alternativas. O propósito do investimento era uma melhora na eficiência das operações de manufatura, objetivando uma redução no tempo de preparo do produto e, conseqüentemente, no custo final do mesmo. Os sistemas de manufatura eram formados, principalmente, por linhas de produção dedicadas e altamente automatizadas. As companhias organizadas em torno deste esquema de manufatura mais tradicional tinham uma relação estável com os consumidores e, muitas vezes, existiam há bastante tempo. Neste contexto, os decisores empregavam abordagens econômicas e, menos freqüentemente, abordagens analíticas para decidir e justificar o investimento.

Mas as abordagens econômicas para o investimento funcionaram até antes do advento da manufatura integrada por computador. Estes sistemas impulsionaram as inovações dos produtos e, conseqüentemente, a competitividade nos ambientes mercados-produtos das companhias. Nestes mercados competitivos, caracterizados por inovações freqüentes de produtos, p. ex., o

mercado de microcomputadores, a relação entre as companhias e os consumidores é extremamente instável e breve. O propósito do investimento é uma mudança no produto da companhia, objetivando uma posição de vantagem competitiva sustentável no mercado. Mesmo sabendo que, nestes casos, a ordem é investir o quanto antes, as abordagens mais formais e exatas a princípio não conseguem quantificar o objetivo primário e os benefícios do investimento.

Em alguns casos, a realização deste tipo de objetivo pode requisitar a justificação da construção de uma fábrica totalmente nova. Em outros, pode ser necessário adotar uma abordagem incremental para a mudança tecnológica. O investimento apropriado para uma companhia em questão vai depender muito das condições do ambiente mercado-produto, dos seus recursos interno e nacional, e de suas metas estratégicas. Neste novo contexto, o investimento deixou de ser visto pelas companhias como um problema de escolha de uma tecnologia isolada para redução de custos, e passou a ser visto como um problema de projeto de configurações para uma posição de vantagem competitiva sustentável.

Este novo paradigma fez com que as abordagens econômicas, que historicamente costumam ser exatas e formais, perdessem valor, dando-se uma maior ênfase às abordagens estratégicas. O forte destas últimas é que elas trabalham com informações lingüísticas obtidas a partir do ponto de vista das pessoas envolvidas com o investimento. Elas costumam lidar com a subjetividade intrínseca nas descrições do objetivo e dos benefícios estratégicos decorrentes do investimento. As inferências a respeito das configurações de novas tecnologias projetadas para investimento são realizadas levando-se em consideração o conhecimento especializado dos decisores.

Mas, apesar das abordagens estratégicas serem as mais recomendadas, a ausência de formalismo e o excesso de subjetividade nestas abordagens fazem com que elas assumam um papel muito aquém daquele que seria possível na sugestão de configurações apropriadas para investimento. Ainda existe uma lacuna entre o formalismo matemático intrínseco nas abordagens econômicas e analíticas, e a subjetividade predominante nas abordagens estratégicas. Esta lacuna impossibilita a concepção de abordagens estratégicas computacionais para o problema de projeto

de configurações. Uma abordagem deste tipo que leve em conta a lacuna acima citada pode ser muito útil aos decisores.

Diferentemente das abordagens estratégicas convencionais, em que o decisor desenvolve algumas cadeias de raciocínio e sugere uma decisão, uma abordagem computacional poderia encontrar um grande número de configurações apropriadas e, inclusive, algumas configurações que jamais seriam percebidas sem o auxílio do computador. O decisor poderia avaliar estas configurações, e escolher a mais apropriada às condições de sua companhia e que prometa uma posição de vantagem competitiva. Uma abordagem computacional para o problema minimizaria a lacuna existente entre a exatidão matemática e a subjetividade nas abordagens conhecidas, facilitando a decisão e a justificação do investimento.

Percebendo esta lacuna, o objetivo principal deste trabalho foi conceber uma abordagem capaz de preencher esta lacuna existente entre as abordagens exatas e formais, como é o caso das econômicas e analíticas, e as abordagens mais subjetivas, como é o caso das estratégicas, e que seja útil aos decisores. A tese que este trabalho buscou validar é a de que o Sistema Orientado por Metas Nebulosas (SOMN) consiste em uma abordagem apropriada para o problema de investimento. Este tipo de sistema considera o caráter estratégico do investimento, as descrições lingüísticas envolvendo as definições dos objetivos e dos benefícios estratégicos do investimento em novas tecnologias, e pode ser implementado em um microcomputador.

Conforme pode ser percebido nas descrições a respeito do investimento, o problema de projeto de configurações de novas tecnologias e a abordagem proposta para resolvê-lo, têm mérito suficiente para justificar esta tese de doutorado. Por um lado, a presença dos conceitos ambíguos e nebulosos, como é o caso daqueles presentes nas descrições do objetivo e dos benefícios do investimento dificultou a formalização do problema de projeto e, conseqüentemente, das informações processadas pelo SOMN. Além disto, dependendo do número de opções para a montagem de soluções, alguns problemas podem requisitar que muitas configurações sejam projetadas e avaliadas; estes aspectos dificultaram a concepção do esquema de raciocínio implícito no SOMN.

Por outro lado, o tipo de solução proposta para o problema e, mais especificamente, as principais idéias envolvidas na concretização do SOMN reforçam o mérito necessário para uma tese de doutorado. Neste contexto, a Teoria de Conjuntos Nebulosos foi utilizada extensivamente nas formalizações matemáticas das informações ambíguas e nebulosas processadas pelo sistema. As teorias a respeito dos sistemas resolvedores de problemas humanos em computador e, principalmente, sobre os sistemas orientados por metas, os agentes racionais e os métodos de busca heurística, foram utilizadas na implementação do esquema de projeto do SOMN.

Vale ressaltar que, se por um lado o problema de projeto e a abordagem proposta para resolvê-lo conferem mérito à tese proposta neste trabalho, o mesmo pode ser dito a respeito da relevância desta tese para todas as comunidades acadêmicas e profissionais interessadas no problema de investimento. Primeiro, a implementação da mudança de paradigma em relação ao problema de investimento e a maneira como ele foi resolvido, pode ajudar na concepção de abordagens semelhantes para os problemas enfrentados por suas companhias. Segundo, a maneira como o SOMN foi formalizado e implementado em computador conferem-lhe um certo caráter genérico, permitindo que o mesmo seja especializado para resolver problemas de projeto com características semelhantes ao de investimento.

Os resultados obtidos a partir da implementação do SOMN em computador demonstram bem a validade desta tese, seu mérito e sua relevância. Os testes realizados com o sistema envolveram problemas de escolha e de projeto de configurações de novas tecnologias. Apesar do sistema ter tomado decisões satisfatórias para os problemas formulados, para a orientação dos próximos passos da pesquisa iniciada na construção desta abordagem, ainda cabe a avaliação destas soluções por parte de um decisor especializado no assunto. De qualquer maneira, como resultado da demonstração da validade da tese, o SOMN está disponível e já pode ser utilizado como ferramenta de apoio à tomada de decisão em quais tecnologias investir.

Esta abordagem estratégica computacional para o problema de investimento em novas tecnologias de manufatura foi descrita em três partes. A primeira parte foi dividida em dois

capítulos. Ela apresenta as principais abordagens para o investimento e uma definição informal para o problema de projeto de configurações. A segunda parte foi dividida em quatro capítulos. Ela apresenta as formalizações necessárias à implementação do SOMN em computador. A terceira parte foi dividida em dois capítulos. Ela apresenta os testes realizados com o SOMN, quando o mesmo foi colocado para resolver diversos problemas de escolha e de projeto de configurações. A introdução de cada uma das partes apresenta uma descrição dos assuntos tratados nos seus respectivos capítulos.

Parte I

Investimento em Novas Tecnologias de Manufatura

Esta Parte I descreve o investimento em novas tecnologias de manufatura. Ela foi dividida em dois capítulos. O Capítulo 1 descreve algumas das abordagens usualmente empregadas na tomada de decisão sobre que tecnologia investir e na justificação do investimento para os financiadores. Em geral, muitas opções de investimento estão disponíveis, mas apenas algumas tecnologias são apropriadas às condições das companhias. Uma abordagem apropriada para o investimento deve ser capaz de indicar boas opções. O Capítulo 2 dá início a uma abordagem deste tipo. Ele considera os resultados do Capítulo 1, descreve vários fatores condicionantes da decisão sobre que tecnologias investir e duas definições para o problema de investimento. A abordagem iniciada neste capítulo foi formalizada e testada respectivamente nas Partes I e II deste trabalho.

Capítulo 1

Abordagens

Este Capítulo 1 apresenta um apanhado a respeito do investimento em tecnologias de manufatura. Ele foi elaborado a partir de uma parte da literatura encontrada sobre o assunto. O mesmo está dividido em duas seções principais. A Seção 1.1 apresenta as alternativas tecnológicas disponíveis para investimento. A Seção 1.2 apresenta informalmente algumas das principais abordagens propostas para o problema de investimento e a noção do que vem a ser uma abordagem apropriada.

1.1 As Alternativas de investimento

Mais especificamente, esta Seção 1.1 apresenta um apanhado a respeito das Tecnologias de Manufatura Avançada (AMTs), de suas características e relações com as metas das companhias, e dos benefícios prometidos por quatro diferentes níveis de integração entre tecnologias.

Tecnologias Avançadas de Manufatura (AMTs)

Para uma companhia de manufatura sobreviver em um ambiente mercado-produto competitivo, ela deve investir principalmente em novas tecnologias de manufatura e na formação de seus recursos humanos, tornando-os capazes de utilizar todo o potencial das novas tecnologias (GRANT, 1991). Há quase duas décadas, MEREDITH (1986) apontou as Tecnologias de Manufatura Avançada (AMTs) como as melhores opções para investimento. De lá para cá, elas

têm sido implantadas com vistas à manufatura integrada por computador (KOCHAN e COWAN, 1986).

As AMTs compreendem um grande “menu” de tecnologias. Em geral elas são agrupadas em tecnologias para a atividade de projeto em engenharia e “hardware” de manufatura, e técnicas de gerenciamento para previsão, controle de produção, controle de qualidade, e controle de inventário. A Tabela 1.1 apresenta um subconjunto das principais AMTs descritas em (KOCHAN e COWAN, 1986).

Tabela 1.1: AMTs e suas Aplicações.

AMTs	
Projeto	Projeto Auxiliado por Computador (CAD) Engenharia Auxiliada por Computador (CAE)
Manufatura	Robôs Visão por Máquina Linhas de Transferências Manufatura Auxiliada por Computador (CAM) Sistema de Manufatura Flexível (FMS) Sistema de Montagem Flexível (FAS) Armazenamento Automatizado (AS) Recuperação Automatizada (AR) Manufatura Celular Sistema de Veículos Guiados Automaticamente (AGVS)
Gerenciais	Planejamento de Requisitos de Materiais (MRP) “Just-in-Time” (JIT) Controle da Qualidade Total (TQC) Grupos de Trabalhos Autônomos Planejamento de Recursos da Manufatura (MRPII) Tecnologia de Grupo (GT)

KOCHAN e COWAN (1986) apresentam uma descrição detalhada destas tecnologias. Na prática, as AMTs aparecem em vários lugares nas companhias. Algumas são complementares entre si e outras podem ser alternativas. Um planejamento apropriado para a implementação destas tecnologias e técnicas pode conduzir à integração de funções normalmente separadas na organização. Uma configuração destas AMTs, integradas via computador, representa o conceito de Manufatura Integrada por Computador (CIM), ou seja, uma estratégia que usa computadores para integrar AMTs e pessoas, e que promete manter a companhia em uma posição de competitividade sustentável em seu ambiente produto-mercado (MEREDITH e HILL, 1987).

Relação AMTs-Metas

KOCHAN e COWAN (1986) apontaram algumas das vantagens decorrentes da implementação destas AMTs. Por exemplo, considerando algumas importantes metas estratégicas das companhias, eles descrevem os seguintes benefícios proporcionados pela tecnologia CAM:

- produtos satisfazem as demandas de mercado
- “designs” satisfazem as especificações desejadas
- tempo de engenharia e de ciclo de produção mínimo
- mínima quantidade de defeitos
- utilização de fatores ótimos de produção
- mínimo tempo entre as operações de manufatura
- mínimo tempo de “set-up”
- menor número de operações de manufatura para produtos finalizados
- mínimo gerenciamento e impacto organizacional com a aquisição

KING e RAMAMURTHY (1992) consideraram o ponto de vista das pessoas envolvidas com o investimento e captaram uma relação entre AMTs e metas das companhias. Eles perguntaram a diversos gerentes se ‘suas companhias conseguiram realizar objetivos com o investimento nestas AMTs?’. A Figura 1.2 esboça uma parte desta relação, empregando descrições lingüísticas dos benefícios proporcionados por um subconjunto de AMTs em um subconjunto de metas estratégicas das companhias.

. "lead-times" menores (1, 4, 5, 8, 10, 11, 12, 15)	1. base de dados para tecnologias de grupo 2. previsão 3. linguagens para simulações 4. CAPP
. melhora na qualidade (7, 14, 24, 25)	5. sistemas especialistas/IA 6. programação matemática 7. análise estatística 8. análise estrutural 9. linguagens de consulta 10. modelagem de sólidos
. redução de inventário (3, 6, 19, 20, 21)	11. base de dados gráficas 12. projeto 13. simulação gráfica interativa 14. ligações para controle numérico, robôs e equipamentos de teste
. maior flexibilidade (3, 9, 13, 22)	15. base de dados para desenhos 16. documentação da produção e recuperação 17. publicações técnicas 18. base de dados para produção
. automação de pequenos lotes de produção (5, 14, 22, 23, 24, 25).	19. planejamento dos requisitos de materiais 20. planejamento de recursos da manufatura 21. planejamento dos requisitos de distribuição 22. controle de chão de fábrica 23. controle de manuseio/distribuição 24. controle de processos estatísticos 25. controle adaptativo
. diminuição nas despesas gerais (16, 17, 23, 26, 27)	26. gerenciamento de energia 27. gerenciamento da manutenção

Figura 1.1: Relação entre AMTs e metas estratégicas das companhias.

No lado esquerdo da figura, o subconjunto de metas estratégicas foi descrito em termos de fontes de competitividade para as companhias e de níveis aspirados nestas fontes. No lado direito, o conjunto de tecnologias foi descrito em termos de algumas das principais AMTs encontradas atualmente no mercado. Além destes, outros benefícios potenciais decorrem da flexibilidade inerente às tecnologias que, inclusive, mantém o valor da tecnologia ao longo do tempo.

Por sua vez, a manufatura integrada por computador (CIM), ou seja, uma configuração bem integrada destas AMTs, consiste em uma abordagem para a organização da fábrica que recomenda a integração e coordenação de projeto, manufatura e gerência, utilizando sistemas computadorizados para garantir um fluxo de informação seguro, maior eficiência, melhora na qualidade, desenvolvimento de produtos mais rápido e um aumento da flexibilidade na satisfação das necessidades dos consumidores (KOCHAN e COWAN, 1986).

Níveis de Integração entre AMTs

MEREDITH e HILL (1987) discriminam quatro níveis de integração entre AMTs: máquinas isoladas, células, ilhas ligadas e integração total. A Figura 1.3 sintetiza o ponto de vista destes pesquisadores a respeito dos diferentes benefícios, escopo de efeitos, impactos organizacionais, e riscos para as companhias, proporcionados por estes quatro níveis de integração das AMTs.

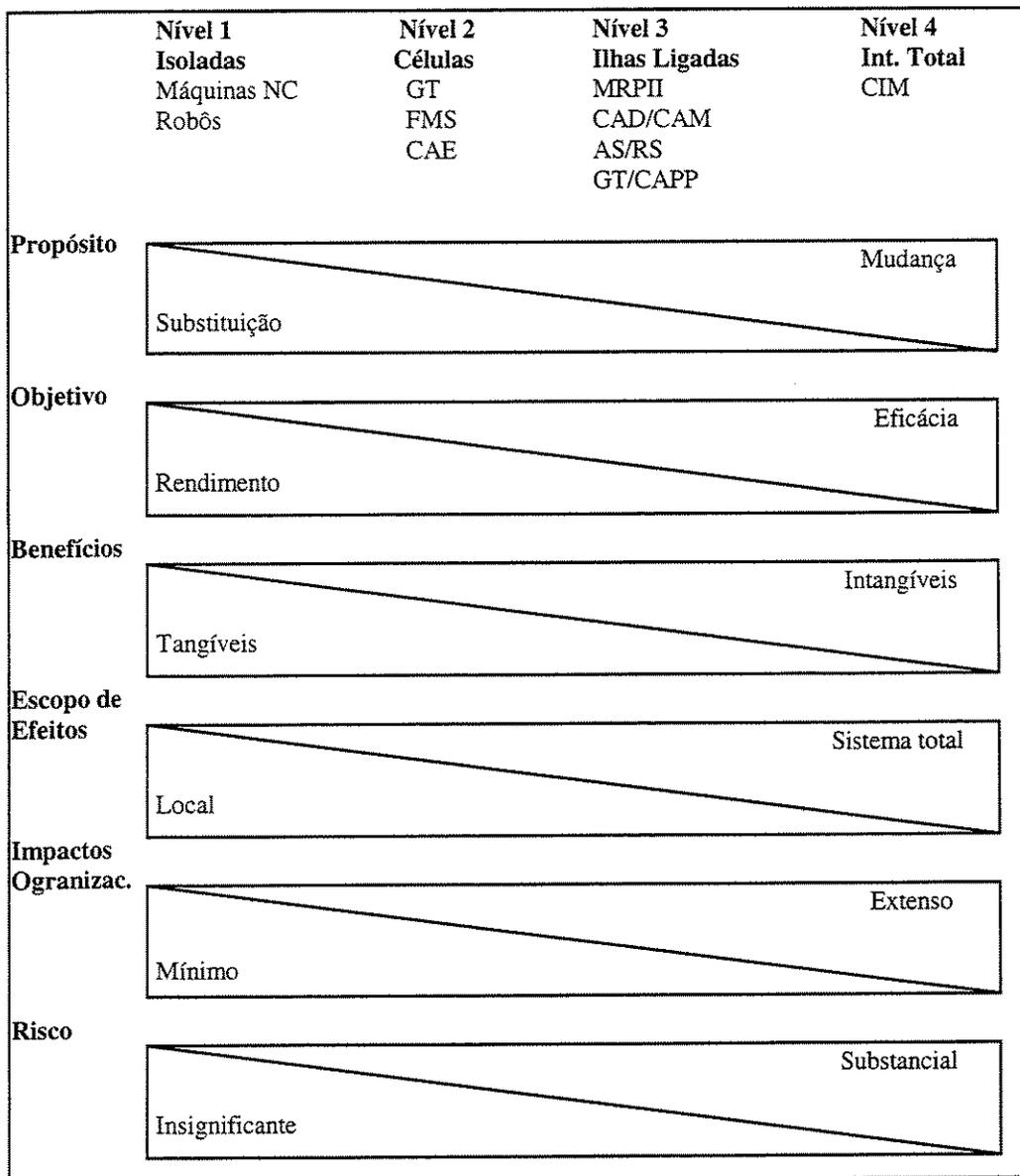


Figura 1.2: Relação entre os níveis de integração e características do problema de investimento.

O Nível 1 representa o “hardware” que se encontra isolado na companhia. Estas máquinas são, em geral, controladas por seus próprios computadores, ou possivelmente por controladores programáveis. Elas estão em todas as partes e compreendem a forma mais comum de automação. São as máquinas controladas numericamente, robôs e outros equipamentos. O único propósito dos investimentos em sistemas do primeiro nível é a substituição de uma máquina existente ou, talvez, um grupo de máquinas e trabalhadores.

Investimentos neste nível prometem uma melhora no rendimento local: maior velocidade nas operações e economias devido a uma diminuição no número de inspeções, menor nível de inventário, aumento na segurança, diminuição do número de repetições do mesmo trabalho e do número de falhas. O risco é mínimo e usualmente não afeta a estrutura organizacional da companhia. Os efeitos são tipicamente confinados ao novo equipamento e aos sistemas de interfaceamento.

O Nível 2 representa os sistemas compostos por tecnologias Nível 1, em uma configuração celular para a realização de várias tarefas comuns a uma família de peças. Alguns exemplos de sistemas no Nível 2: tecnologia de grupo (GT), onde várias células são empregadas para a produção de famílias de peças; e FMSs que pode compreender uma meia dúzia de máquinas de controle numérico (NC) com manuseio automático de materiais.

Os sistemas no segundo nível prometem facilitar mudanças requisitadas na composição dos produtos, adicionar capacidades e diminuir “lead-time”. De alguma maneira, a estratégia de produção é alterada. O objetivo do investimento neste nível é tornar o sistema mais eficaz: alcançar uma maior qualidade, novos produtos, e resposta aos requisitos do consumidor. Os impactos organizacionais são moderados, apesar da necessidade de interfaceamento poder afetar uma grande área da organização.

O risco é maior que aquele apresentado por sistemas do Nível 1. Podem existir problemas de compatibilidade e uma maior coordenação vai ser requisitada para o bom funcionamento destes

sistemas. Os benefícios mais importantes dos sistemas no Nível 2 já estão na classe dos intangíveis, não simples de serem quantificados: maior flexibilidade, satisfação das necessidades dos consumidores, menor nível de trabalhos em andamento, fluxo de trabalho mais suave, e melhora na qualidade.

O Nível 3 representa os sistemas compostos de algumas células conectadas, tipicamente por redes computadorizadas, formando ilhas acopladas. Por exemplo, na ilha CAD/CAM, a tecnologia CAD produz a forma, o tamanho, a função e, tipicamente, esboços do produto, e a tecnologia CAM proporciona a fabricação automática. Mudanças para este nível devem afetar várias funções e departamentos da companhia, muitas vezes requisitando que sejam feitas mudanças na própria estrutura organizacional da companhia.

A flexibilidade de produção das ilhas ligadas oferece várias vantagens competitivas. Por exemplo, a habilidade de gerar mais facilmente e rapidamente novos produtos e de se entrar em novos mercados. A complexidade e integração extensiva dos sistemas no Nível 3 adicionam mais riscos às suas implementações, podendo causar falhas na rede de produção e, conseqüentemente, comprometer a eficácia prevista.

O Nível 4 representa os sistemas compostos por todos os subsistemas do Nível 3 mais os equipamentos de transporte, os departamentos funcionais, e as gerências, totalmente integradas. A integração total acopla todas as funções de manufatura e todas as suas interfaces por meio de amplas redes de informação, providenciando os meios para a manufatura interagir com a área de previsão, compra, venda, financeira, contábil e outras.

A integração dos sistemas no Nível 4 transforma a nova estratégia de produção numa verdadeira arma competitiva no ambiente produto-mercado da companhia. Sistemas neste nível prometem: economia de tempo no desenvolvimento de produtos, economia de tempo nos ciclos de produção, redução no consumo de matéria-prima, diminuição nos níveis de inventário de mercadorias finalizadas, diminuição nos níveis de inventário de trabalhos em andamentos, menos

sobras e reprocessamentos, maior qualidade, aumento de flexibilidade na satisfação das necessidades do consumidor e aumento de produtividade.

Entretanto, esta integração demanda uma mudança nas funções de gerenciamento e na maneira com que os negócios são realizados, incluindo as compras, finanças e “marketing”. O Nível 4 oferece um risco bem maior que os outros níveis. Mesmo em plantas que funcionam em perfeita harmonia, novos trabalhadores realizarão novas tarefas com novos equipamentos, que, por sua vez, realizarão novas operações. Assim, a implantação com sucesso destes sistemas requisita que mudanças extensas sejam realizadas na estrutura organizacional da companhia.

Vale ressaltar, uma quantidade considerável de dinheiro é necessária para a implementação de uma fábrica que há bem pouco tempo era considerada como “fábrica do futuro”. Depois que o investimento é realizado, as mudanças decorrentes são quase irreversíveis, não sendo possível à companhia retornar ao estado anterior ao investimento. Mas, mesmo com o alto risco, a palavra de ordem tem sido: investir!

Além do mais, como ocorre com o Nível 3, à medida que o nível de integração aumenta, os benefícios oferecidos tendem à classe dos “intangíveis”. Nestes casos, eles são descritos de maneira muito mais qualitativa que quantitativa. Estas descrições são realizadas de maneira subjetiva, empregando os termos lingüísticos das pessoas envolvidas. Isto implica em novas dificuldades na hora de se decidir e justificar o investimento nos níveis mais alto de integração. Assim, uma abordagem apropriada para o problema de investimento deve levar em consideração todos estes aspectos.

1.2 Abordagens para o problema de investimento

Esta Seção 1.2 comenta a respeito de algumas das abordagens que, historicamente, têm sido utilizadas frente ao problema de investimento em novas tecnologias de manufatura, apresenta o esboço de uma relação existente entre os tipos de abordagens, os propósitos do investimento e o

nível de integração pretendido para as tecnologias, e, finalmente, especula a respeito do que vem a ser uma abordagem apropriada para o problema de investimento em novas tecnologias.

Classificação e Exemplos

MEREDITH (1986) descreveu vários tipos de abordagens normalmente empregadas para a justificação dos investimentos para os proprietários, acionistas e financiadores. Elas foram divididas em três categorias: econômicas, analíticas e estratégicas. A Figura 1.4 apresenta algumas técnicas que permeiam estas abordagens.

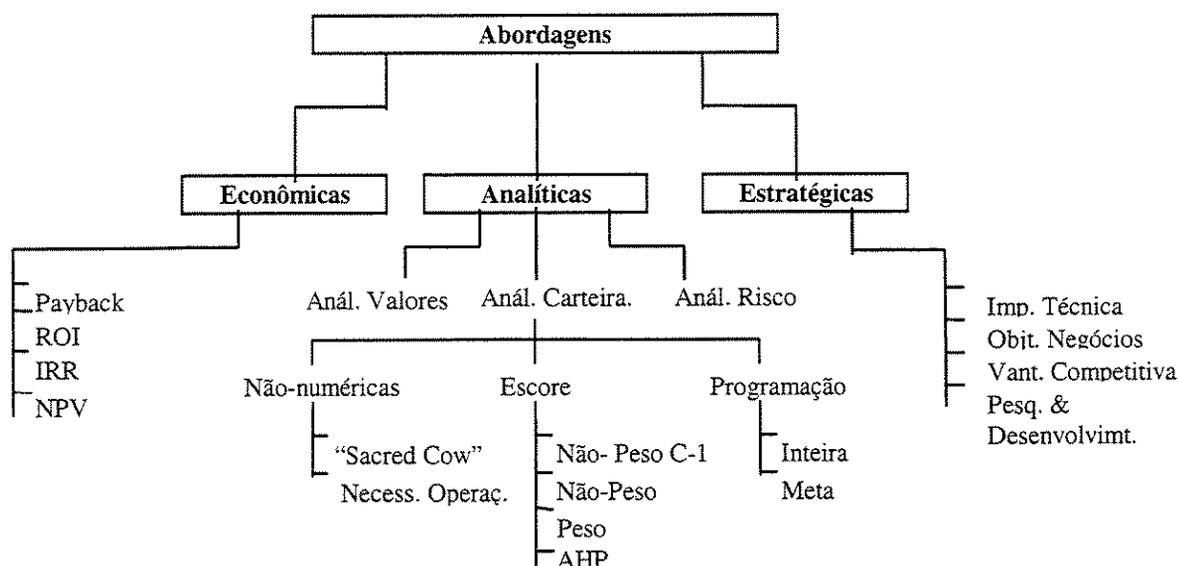


Figura 1.3: Abordagens para justificar o investimento em novas tecnologias de manufatura.

Existe uma variedade de técnicas que podem ser empregadas pelas companhias na justificativa econômica de equipamentos. Segundo MEREDITH (1986), os métodos “payback” e ROI (retorno sobre investimento) têm sido utilizados mais frequentemente. A utilização destas abordagens econômicas tradicionais apresenta algumas vantagens do ponto de vista de simplicidade, clareza e facilidade na coleção de dados.

Em geral, abordagens econômicas providenciam um valor numérico como medida de avaliação. Este valor expressa, por exemplo, a redução de custos no local onde a tecnologia está

para ser implantada. Mas, estas abordagens não levam em consideração os benefícios estratégicos, da maneira como eles deveriam ser considerados no caso do investimento em AMTs.

As técnicas analíticas são novamente bastante quantitativas. Entretanto, elas são mais complexas que as abordagens econômicas. Por exemplo, a Programação Inteira é mais complexa que a técnica ROI. Em termos de ganho, as técnicas analíticas tendem a lidar com mais informações e, freqüentemente, considerar a subjetividade presente na definição do problema de investimento. Algumas destas técnicas, também, podem produzir mais de um valor numérico como medida de avaliação.

Elas permitem a consideração de julgamentos subjetivos e de vários fatores condicionando a tomada de decisão, aproximando a abordagem da realidade conforme descrita pelos gerentes e especialistas. Por outro lado, pode ser necessário manipular uma grande quantidade de dados. Isto torna a avaliação consideravelmente mais complexa, consumindo mais tempo, apesar da utilização de computadores poder minimizar esta dificuldade. Todavia, a complexidade destas técnicas muitas vezes restringe suas utilizações.

As abordagens estratégicas, diferentemente das outras duas categorias, são mais qualitativas que quantitativas. Esta é a maior vantagem deste tipo de abordagem, ou seja, o fato delas levarem em consideração os benefícios estratégicos e qualitativos oferecidos pelas AMTs, e as próprias metas estratégicas da companhia. Assim, são mais adequadas para abordar o investimento na manufatura integrada por computador.

A maior desvantagem deste tipo de abordagem consiste na omissão de impactos econômicos e táticos envolvidos na avaliação, tendendo a focalizar apenas os impactos estratégicos da tecnologia que está sendo avaliada. Muitas vezes elas são utilizadas em conjunto com abordagens econômicas e analíticas. MEREDITH (1986) destacou quatro tipos de abordagens estratégicas mais utilizadas: Importância Técnica, Objetivos de Negócios, Vantagem Competitiva e Pesquisa & Desenvolvimento.

Do ponto de vista da Importância Técnica, um projeto pode ser justificado considerando-o como pré-requisito para a implementação dos planos da companhia. Neste caso, esta abordagem justifica o investimento mostrando que um acontecimento desejado não pode ser realizado a menos que um projeto em questão seja implementado. O retorno do projeto pode ser negligenciado, mas o projeto é obrigatório. Muitas vezes, os gerentes costumam agrupar o projeto em questão com outros, em um único “pacote”, que requisite sua presença para aprovação.

Na abordagem que leva em consideração os Objetivos de Negócios, se um projeto em questão contribui diretamente para os objetivos da companhia então o investimento é justificado; considerações financeiras podem ser irrelevantes. Por exemplo, o objetivo de negócio primário da companhia pode ser o destaque como líder tecnológico. Neste caso, basta demonstrar que um projeto particular é prioritário para a realização do objetivo. Em geral, durante uma avaliação deste tipo são empregados indicadores chaves ou medidas subjetivas de realização dos objetivos.

Empregando Vantagem Competitiva, o investimento é justificado se um projeto em questão implica em uma vantagem competitiva significativa sobre outras companhias concorrentes. Tal vantagem pode não fazer parte dos objetivos de negócios da companhia, mas pode torna-se bastante importante para ser simplesmente negligenciada. Os benefícios decorrentes de uma aquisição podem intensificar ainda mais a posição de vantagem competitiva da companhia em um mercado particular.

Considerando Pesquisa & Desenvolvimento, busca-se uma proposta suficientemente estratégica. Admitem-se os riscos do investimento na proposta. Algumas falhas podem ocorrer, mas, mesmo assim, admite-se que um dos projetos envolvidos na proposta eventualmente dará um retorno à companhia que inibirá as possíveis falhas. Claramente, somente projetos que fazem parte da linha principal de negócios da companhia devem ter este tratamento.

As abordagens estratégicas lidam melhor com as descrições em linguagem natural dos benefícios proporcionados pelas AMTs e dos objetivos deste tipo de investimento. Em

compensação, elas praticamente abrem mão dos aspectos quantitativos presentes nas abordagens econômicas e analíticas. Estas restrições muitas vezes não são levadas em consideração e, conseqüentemente, as abordagens são empregadas incorretamente. MEREDITH e HILL (1987) ressaltam que o principal problema ainda é a falta de adequação das abordagens aos propósitos da aquisição e aos níveis de integração pretendidos para as tecnologias.

Relação propósitos-níveis de integração-abordagens

Historicamente, as abordagens financeiras têm sido utilizadas para justificar investimentos em tecnologias isoladas (MEREDITH, 1986). Em geral, o propósito da aquisição é a troca de equipamentos antigos para uma melhora no rendimento de algumas partes da companhia. Nestes casos, as abordagens econômicas e analíticas têm sido bem utilizadas e são totalmente apropriadas devido à maioria dos atributos envolvidos na avaliação serem quantitativos, por exemplo: o preço de um equipamento e o número de peças que o equipamento produz por unidade de tempo.

Com a percepção dos benefícios decorrentes da integração de diferentes áreas funcionais da companhia, ocorreu uma mudança neste padrão histórico de pensamento. Em vez de rendimento, o propósito da aquisição passou a ser uma mudança no produto da companhia, que lhe proporcione mudanças em seu ambiente produto-mercado, benéficas em termos de posições de competitividade. Nestes casos, a utilização de abordagens estratégicas é mais apropriada, principalmente, pelo fato destas abordagens manipularem atributos qualitativos, intrínsecos do investimento no Nível 4.

Assim, este padrão de comportamento descreve uma relação de adequação entre abordagens e propósitos do investimento. Além do mais, considerando esta relação e aquela existente entre os diferentes propósitos e os diferentes níveis de integração pretendidos, conforme Figura 1.3, é possível inferir uma relação de adequação entre as abordagens e os níveis de integração (MEREDITH, 1986). A Figura 1.5 sintetiza este casamento.

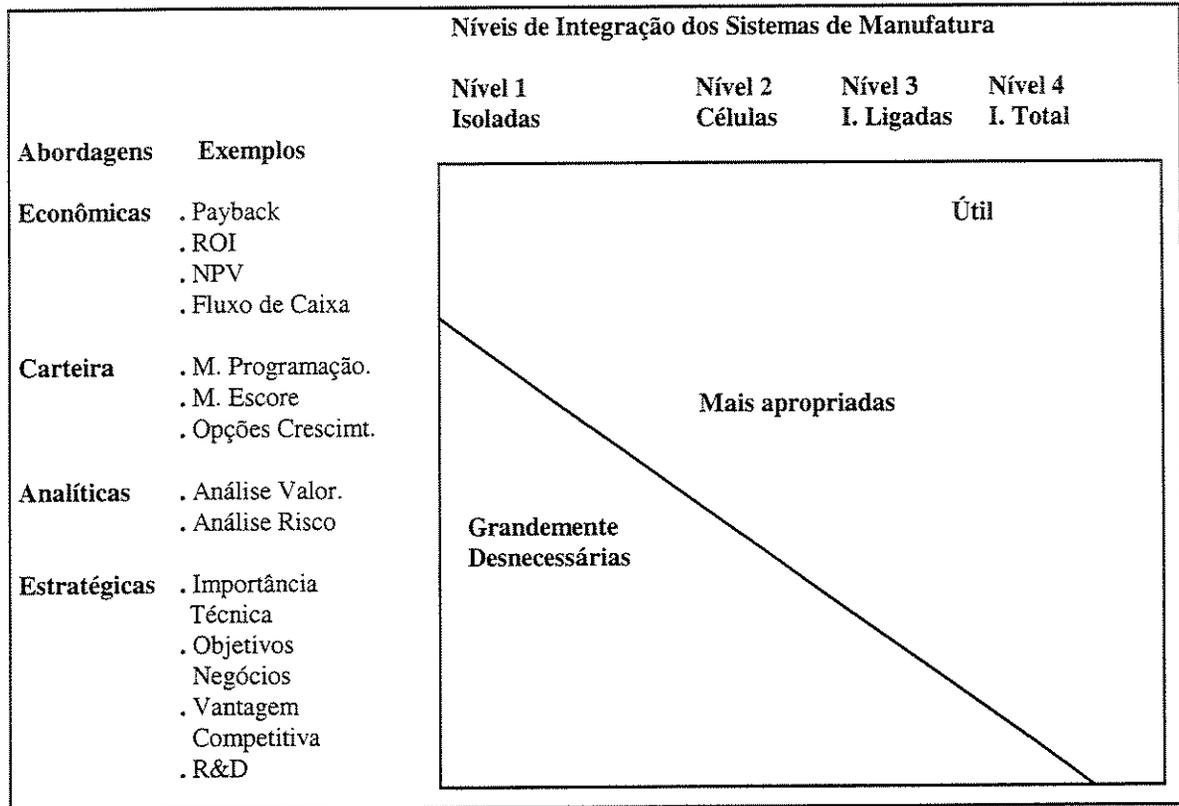


Figura 1.4: Casamento abordagens e níveis de integração.

De acordo com esta figura, por exemplo, se o propósito da aquisição for trocar um equipamento isolado para um aumento de capacidade ou redução de mão-de-obra, então abordagens baseadas no retorno direto sobre investimento podem ser utilizadas. Nestes casos, os benefícios prometidos pelas tecnologias no Nível de integração 1 são tangíveis e, além disto, casam com o propósito da aquisição.

Por outro lado se o propósito da aquisição for eficácia – alcançar uma maior qualidade, novos produtos, e resposta aos requisitos do consumidor – proporcionada pelas tecnologias no Nível de integração 2, então as abordagens mais apropriadas são as analíticas. As abordagens econômicas podem ser empregadas de maneira complementar na avaliação. Nestes casos, os benefícios estratégicos, a maioria deles qualitativos, casam também com o propósito da aquisição.

Além do mais, se o propósito for vantagem competitiva – habilidade de se gerar mais facilmente e rapidamente novos produtos e de se entrar em novos mercados – oferecida pela

flexibilidade de produção das ilhas ligadas no Nível 3, então as abordagens analíticas podem ser utilizadas. As abordagens econômicas e de carteira não devem ser desconsideradas. E, mais uma vez, os benefícios estratégicos, difíceis de serem quantificados casam com propósito da aquisição.

Finalmente, se uma AMT está sendo adquirida para fazer parte de uma fábrica totalmente integrada, por razões como redução de “lead-time”, qualidade, flexibilidade, capacidades avançadas, segurança e outras *fontes de vantagem competitiva* (PORTER, 1990), então uma abordagem adequada deve considerar o caráter estratégico do investimento. E, novamente, os benefícios qualitativos prometidos pelo sistema que está sendo adquirido casam com os propósitos.

Assim, é importante que o casamento entre abordagem, nível de integração e propósitos seja respeitado. O emprego de abordagens não apropriadas para auxiliar na decisão sobre investimentos pode retardar o processo de aquisição. Certas abordagens podem indicar um caminho diferente daquele que levaria à realização dos objetivos de sustentabilidade da companhia. Pode acontecer do investimento proposto ser muito aquém do necessário - restringindo as possibilidades futuras da companhia - ou ser muito além do necessário - causando-lhe dívidas e prejudicando sua sustentabilidade no ambiente.

Especulações sobre uma Abordagem Apropriada

A Figura 1.4 aponta um subconjunto de abordagens estratégicas tipicamente utilizadas quando o propósito da aquisição do sistema novo é uma mudança de maior proporção, que torne o sistema produtivo uma verdadeira arma competitiva da companhia em seu ambiente. Tais abordagens desempenham um papel importante nas decisões sobre investimentos tecnológicos. Mas, pelo fato destas abordagens manipularem informações que são, geralmente, generalidades e suposições subjetivas, estabelecidas verbalmente pelas pessoas envolvidas no processo, elas são consideradas menos formais e mais fracas que as abordagens financeiras.

Neste contexto, ainda existe uma lacuna entre abordagens formais, como são os casos das

econômicas e analíticas, e as orientadas por linguagem natural, como são as abordagens estratégicas. O ideal seria uma abordagem que fizesse a ponte entre os três tipos existentes. Além disto, esta lacuna aumenta se, além de apropriada ao propósito do investimento estratégico e ao nível pretendido de integração, se desejar uma abordagem que faça uso de meios informáticos para facilitar a vida das pessoas envolvidas com o processo de tomada de decisão.

Antes disto, ainda vale definir apropriadamente o problema de investimento. As abordagens existentes foram elaboradas para resolver problemas definidos teoricamente. São abordagens genéricas que, em geral, podem ser empregadas para resolver problemas em vários domínios de aplicação, inclusive, domínios onde as alternativas de investimento são outras, isto é, diferentes das AMTs mencionadas neste capítulo. Será que uma visão mais realista do problema com AMTs pode ser modelada adequadamente por uma destas abordagens? Com certeza, vai depender muito do nível de realidade que se deseja abordar.

Capítulo 2

O Problema

Este Capítulo 2 buscou uma definição para o problema de investimento em Tecnologias Avançadas de Manufatura (AMTs). O Capítulo 1 sugeriu, implicitamente, várias definições apropriadas aos propósitos da aquisição e, conseqüentemente, aos níveis de integração pretendidos para as AMTs. O problema proposto ao final deste novo capítulo respeita esta relação, leva em consideração outros aspectos que condicionam a decisão tecnológica, e está dentro do contexto da abordagem especulada ao final do capítulo anterior. O capítulo foi dividido em três seções principais. A Seção 2.1 apresenta um conjunto de fatores condicionantes da decisão tecnológica. A Seção 2.2 apresenta uma primeira definição para o problema de decisão e uma análise desta definição. A Seção 2.3 considera a análise realizada e restabelece a primeira definição.

2.1 Fatores condicionantes da decisão sobre que tecnologia investir

Esta seção descreve sucintamente outros fatores que, a partir do ponto de vista de um grupo de pessoas especialistas no assunto (MEREDITH e HILL, 1987), (MEYER, 1990) e (GRANT et al., 1991), condicionam a decisão sobre que tecnologia investir. Estes especialistas captaram o modo como os pesquisadores e os gerentes das companhias, os decisores, estabelecem e resolvem seus problemas de investimentos. Eles sugerem um objetivo primário para orientar a decisão em que tecnologia investir e um conjunto de fatores restringindo a realização do objetivo.

Objetivos e restrições ao investimento

Segundo PORTER (1990), uma condição necessária para a adoção com “sucesso” de novos processos de manufatura consiste na identificação dos objetivos da companhia e na concentração de esforços para realizar estes objetivos. As análises da evolução dos sistemas de manufatura e investimentos em algumas companhias, realizadas por GRANT et. al. (1991) e MEYER (1991), sugerem que o objetivo primário do investimento estratégico é *o estabelecimento de uma vantagem competitiva sustentável*, e que, além disto, a escolha de uma tecnologia satisfatória para investimento - uma AMT isolada ou uma configuração de AMTs e pessoas integradas via computador - é condicionada por fatores como metas estratégicas da companhia, seus recursos internos, recursos em seu ambiente externo, e a natureza de seu ambiente produto-mercado.

Metas Estratégicas

As metas estratégicas de uma companhia definem melhor o objetivo e, conseqüentemente, orientam o investimento (GRANT et. al., 1991). Elas indicam fortemente, mas também restringem, as opções tecnológicas para investimento. Por exemplo, se a aspiração for trabalhar com custos mais baixos então é aconselhável investir em tecnologias com capacidade para produzir intensamente um mesmo produto. Por outro lado, se a aspiração for atender aos requisitos particulares dos consumidores e/ou produzir novos produtos requisitados pelo mercado, então é aconselhável investir em tecnologias que oferecem flexibilidade.

Recursos da Companhia

Os recursos internos de uma companhia determinam suas capacidades (GRANT et. al., 1991). Por exemplo, recursos financeiros escassos restringem as opções tecnológicas. Entretanto, a disponibilidade de recursos de mão-de-obra especializada para “tocar” as AMTs na companhia pode aumentar o número de opções para investimento. Por outro lado, se uma companhia possui uma única fábrica, altamente especializada, ela tem um número menor de opções. Nestes casos, é melhor pensar duas vezes antes de realizar “experiências”, evitando-se rupturas no processo

produtivo. Além do mais, se os recursos internos estão escassos, mas a companhia tem condições de adquirir o que está faltando para o investimento em seu ambiente externo, nacional e/ou internacional, então ela passa a ter mais opções para o investimento.

Ambiente Produto-Mercado

Por sua vez, a análise do ambiente produto-mercado leva em consideração variáveis tais como: tamanho dos lotes das peças que serão processados, ciclos de demanda e a estabilidade da relação companhia-consumidor (GRANT et. al., 1991). Por exemplo, produtos altamente voltados para o consumidor, produzidos em lotes muito pequenos, usualmente, requisitam a larga flexibilidade oferecida por uma produção “job-shop”. Por outro lado, lotes de tamanho muito grande permitem a utilização de linhas de produção dedicadas e altamente automatizadas. Além do mais, se não existem grandes variações na demanda, mais apropriadas são estas linhas de produção; caso contrário, vale mais a pena investir na utilização intensa de mão-de-obra.

Entre os fatores citados, a estabilidade e duração da relação da companhia com o consumidor é um elemento chave que determina a dinâmica de competição em um mercado e a escolha da tecnologia de manufatura. GRANT et. al. (1991) distinguem três categorias principais de mercados em função do tipo de produto da companhia: Mercados de Monopólio Local, Mercados de Manufatura Tradicional e Mercados Schumpeterianos Dinâmicos.

Nos dois primeiros tipos de mercados a relação entre a companhia e o consumidor existe há bastante tempo e, sendo assim, é considerada estável. Nestes mercados, é importante levar em consideração a qualidade dos produtos, os requisitos do consumidor, sem preocupação com aumento de produtividade. Nestes casos, as tecnologias apropriadas para a produção em larga escala são mais interessantes para o investimento.

Nos Mercados Schumpeterianos Dinâmicos como, por exemplo, o mercado de microcomputadores PC, as relações da companhia-consumidor são instáveis e breves. Segundo GRANT et. al. (1991) e MEYER (1991), nestes mercados a tecnologia de manufatura é dirigida

por uma inovação de produtos rápida e de competição intensa de preços. Sobreviver em tal mercado requer uma combinação de eficiência e flexibilidade que é possível, por exemplo, por meio de tecnologias CIM.

Instabilidade na Relação Companhia-Consumidor

A introdução dessa instabilidade e da inovação de produtos traz outras implicações para a decisão sobre investimentos em novas tecnologias de manufatura. Dentro de um contexto estático, a tecnologia adequada para uma companhia é condicionada pelo estado corrente de seus ambientes externo e interno. Mas, se no ambiente externo posições de vantagem competitiva estão sendo continuamente modificadas então *sustentar uma vantagem competitiva*, o objetivo primário do investimento, requisitará inovações contínuas na manufatura (GRANT et. al., 1991).

Este novo componente, levar em consideração fatores estáticos e dinâmicos do ambiente da companhia, traz novas implicações para a tomada de decisão tecnológica. Tipicamente considerações dinâmicas levam à seleção de um processo tecnológico mais avançado do que a companhia deveria adotar sobre condições estáticas. Mas, a companhia não deve dar um passo que vá além de uma tecnologia consistente com os requisitos de mercado existente e suas capacidades internas. A violação desta restrição pode implicar em uma implementação desproporcional e em custos de aprendizagem, que limitarão melhoramentos tecnológicos no futuro (GRANT et. al., 1991).

Capacidade de Aprendizagem da Companhia

Da mesma maneira que um indivíduo possui certas habilidades, um negócio possui um conjunto de rotinas organizacionais (GRANT et. al., 1991) e (MEYER, 1991). Uma rotina organizacional pode ser descrita como um padrão de atividade coordenada entre um número de indivíduos. O estabelecimento da rotina ocorre a partir de um tempo de aprendizagem decorrente, principalmente, da realização da atividade repetidamente. Operações de manufatura usualmente

são compostas por um subconjunto de rotinas, que vão possibilitar o bom funcionamento da companhia.

A combinação em redes destas rotinas permite a execução de atividades complexas. Um aspecto chave, observado a partir da evolução dos sistemas de manufatura, é o tamanho e complexidade crescentes de tais redes. Em algumas companhias a linha de fluxo da produção envolve a integração de um número de tarefas de produção discretas em um sistema bem coordenado. Em outras, operações que antes eram separadas, tal como manutenção e controle de qualidade, atualmente estão integradas dentro das operações de manufatura.

Assim, como cada companhia possui uma determinada capacidade para assimilar uma nova tecnologia, deve-se tomar cuidado para que novas aquisições não provoquem ruptura na rotina de funcionamento do sistema. Na verdade, raramente são encontrados lugares em que a adoção de uma mudança não provoque rupturas. Muitas opções estão disponíveis, mas deve-se tomar cuidado de maneira a minimizar as rupturas no bom funcionamento.

Incrementos Tecnológicos

De maneira a minimizar as rupturas de adoção, é recomendável a implementação de incrementos tecnológicos. Tais incrementos tendem a melhorar o desempenho da companhia até um limite estabelecido pela sua capacidade de aprendizagem. A partir deste ponto, incrementos maiores pressionam desnecessariamente a capacidade de mudança da companhia. A abordagem incremental tecnológica evita a ruptura, proporcionando a assimilação da nova tecnologia, ao mesmo tempo, mantendo a competência da manufatura existente.

Assim, devem ser evitados saltos ambiciosos na mudança tecnológica de manufatura. Neste último caso, por exemplo, deve-se afastar a possibilidade do investimento em reequipamento total de uma planta em funcionamento. Neste caso, é preferível que se selecione um processo de aprendizagem contínuo e de melhoramentos orientados em torno da reorganização da planta e de métodos de gerenciamento (GRANT et. al., 1991) e (MEYER, 1991). Por outro lado, companhias

em que não existem restrições provenientes de rotinas organizacionais estabelecidas, tendem a absorver melhor todos os aspectos do estado da arte da manufatura.

No caso da decisão por AMTs integradas em sistemas CIM o maior desafio para os gerentes é a implementação, ao longo do tempo, de um sistema integrado de bases de dados e “links” de comunicação centralizados e descentralizados – redes de informação – que permitam que a companhia *proteja e intensifique sua posição de competitividade* (MEYER, 1991). Como a integração não ocorre da noite para o dia, a abordagem incremental deve ser empregada. MEYER (1991) observou como as companhias construíam e integravam seus sistemas, e destacou várias arquiteturas para as redes de informação.

Intenções de integração

Em seu artigo, MEYER (1991) apresentou um quadro evolutivo mostrando os planos futuros de companhias com relação à integração de suas bases de dados e subsistemas computadorizados. Vale ressaltar, na maioria dos casos, as companhias envolvidas fizeram opção em empregar uma abordagem incremental ao longo de um caminho que oferecia a ‘menor resistência’. Assim, decidiram pela criação de um número de ilhas de integração, evoluindo em direção a um sistema de informação totalmente integrado. Estas ilhas correspondem a várias funções existentes nas companhias, por exemplo, operação de chão-de-fábrica, entrega, vendas e “marketing”, e projeto. A menor resistência foi indicada pela escolha de uma integração central, entre as diferentes ilhas, através de uma base de dados central.

Outros fatores

Um especialista no assunto pode apontar outros fatores, além daqueles citados nesta seção. Mas, para os objetivos deste trabalho, não cabe estender este apanhado. Nesta etapa, vale mais apresentar uma primeira definição para o problema. Segundo o exposto esta definição deve levar em consideração o objetivo primário do investimento e os fatores condicionantes da decisão, e estar dentro do contexto das discussões realizadas no capítulo anterior.

2.2 Primeira definição

Esta seção apresenta uma primeira definição para o problema de investimento em AMTs. Esta definição considera o caráter estratégico do investimento na manufatura integrada por computador, as descrições em linguagem natural dos objetivos do investimento e da relação entre o conjunto de AMTs disponíveis para investimento e o conjunto de metas estratégicas da companhia, além dos fatores condicionantes mencionados até a última seção. Ela pode ser formalizada, de maneira que o problema de investimento se transforma em um problema matemático, capaz de ser resolvido por um programa de computador. Esta transformação permitiu a realização de uma análise e a classificação do problema de investimento nas próximas subseções.

Definição I

A inserção dos dois últimos fatores, os incrementos tecnológicos e as intenções de integração ao longo de um horizonte de planejamento – como estratégia para evitar os custos de aprendizagem – em conjunto com as metas estratégicas da companhia, suas condições de recursos e as características de seu ambiente produto-mercado, determina um conjunto de AMTs possíveis para o investimento em algum momento. Estas são as ações factíveis para investimento, ou seja, aquelas que não violam as restrições impostas pelas condições de recursos e realizam aspirações da companhia. Considerando este conjunto de AMTs e o objetivo primário do investimento, o problema pode ser enunciado:

Dado um conjunto de AMTs possíveis, encontrar um caminho no tempo para investimentos na manufatura que sustente uma posição de vantagem competitiva dentro de um ambiente externo variável.

Neste enunciado, é importante ressaltar que as escolhas tecnológicas devem considerar tanto condições de recursos e mercado corrente, quanto necessidade de se aumentar o desempenho futuro da companhia, por meio da satisfação de suas metas estratégicas. Este

enunciado é resultado das discussões apresentadas até esta etapa. Ele foi especificado a partir de uma interpretação dos pontos de vista dos autores referenciados, tentando conciliar as diversas visões. A análise a seguir visou classificar e especificar o problema enunciado. Esta análise deu origem a uma segunda definição para o problema.

Problema de tomada de decisão em que configuração de AMTs investir

De acordo com a definição anterior, o problema de investimento em AMTs pode ser classificado como um problema de tomada de decisão (SIMON, 1977). Além do mais, dependendo de características específicas do domínio onde o problema se estabelece, ele pode ser classificado como um problema de escolha entre ações alternativas ou como um problema de projeto de cursos de ações alternativas. O fator determinante para esta classificação é o número de opções individuais de AMTs necessárias para a formação de configurações, isto é, de caminhos no tempo para investimento em um domínio particular.

Dentro deste contexto, se existirem meios de enumerar em um período de tempo “aceitável” todas as configurações de AMTs possíveis, todos os caminhos no tempo para investimento a partir do conjunto de AMTs factíveis para investimento, então o problema pode ser considerado como um problema de escolha entre configurações de AMTs alternativas. Por outro lado, se não for possível enumerar todas as configurações, em função de existirem muitas combinações de AMTs possíveis, então o problema pode ser classificado como um problema de projeto de configurações de AMTs alternativas.

Considerando estas possibilidades, o problema de decisão sobre que tecnologias investir pode ser restabelecido de duas maneiras diferentes: quais configurações de AMTs possíveis realizam o objetivo do investimento? ou como projetar configurações de AMTs que realizem o objetivo do investimento?. É de se esperar que perguntas diferentes, ou melhor, aproximações diferentes realizadas no problema de investimento requisitem abordagens diferentes para o mesmo. Em comum, a resolução dos dois problemas necessita da especificação de boas funções

de avaliação, que permitam avaliar as configurações possíveis no primeiro caso ou que permitam orientar a organização de configurações no segundo caso (SIMON, 1977).

Problema de escolha entre configurações de AMTs alternativas

Abordagens que venham a considerar o problema de investimento como um problema de escolha entre ações alternativas, em geral, além de considerar o conhecimento prévio do conjunto de todas as configurações de AMTs – variáveis de comando do problema – devem fazer uso de critérios bem definidos para a escolha entre possíveis “estados” da companhia em seu ambiente produto-mercado, alguma função (utilidade) do conjunto de configurações de AMTs possíveis e de um conjunto de variáveis ambientais da companhia.

Especulando a respeito do assunto, uma função deste tipo pode ser obtida levando-se em consideração as realizações prometidas pelas configurações – valores das variáveis de comando do problema - as aspirações nas metas estratégicas da companhia em um ambiente particular e os custos associados às configurações – valores das variáveis ambientais. Esta função pode, primeiramente, obter um valor numérico real como resultado das “diferenças” entre as realizações prometidas pela configuração e as aspirações nas metas e, em seguida, multiplicar este valor pelo preço da configuração em questão. Assim, todas as configurações podem ser avaliadas e aquela que apresentar o menor valor avaliado, ou seja, aquela que produziu as menores “diferenças” e custa menos, deve ser escolhida.

Além deste tipo de abordagem, outras podem ser adaptadas a partir do ponto de vista de adotado em várias áreas do conhecimento como, por exemplo: Economia, Administração, Psicologia, Teoria da Decisão Estatística, Programação de Computadores, Engenharia de Sistemas, Inteligência Artificial e outras (SIMON, 1977), (SIMON, 1981) e (RUSSEL e NORVIG, 1995).

Por exemplo, CAMPOS e CAMPOS (2000) empregaram uma rede neural para resolver o problema de seleção de tecnologias para a Manufatura Integrada por Computador. O problema foi definido de uma maneira simplificada, mas pode ajudar na escolha entre AMTs disponíveis. Em resumo, eles implementaram uma rede neural de três camadas, diretamente alimentadas, empregando algoritmo de aprendizagem Back-Propagation (RICH e KNIGHT, 1988). Treinaram a rede apresentando um conjunto de exemplos representativo de uma certa relação existente entre um conjunto de metas estratégicas de uma companhia e um conjunto de tecnologias disponíveis para investimento.

Os resultados foram tais que, durante a etapa de operação, em algumas situações a rede conseguiu selecionar as tecnologias apropriadas, quando foram apresentados certos níveis de aspiração nas metas estratégicas de uma companhia fictícia. CAMPOS e CAMPOS (2000) não chegaram a implementar uma rede neural que fosse capaz de projetar uma configuração de tecnologias. Mas isto é possível. Por exemplo, alternativamente às redes diretamente alimentadas, outros modelos de redes neurais podem produzir resultados bastante interessantes para problemas de projeto (FREEMAN e SKAPURA, 1991).

Além deste tipo de abordagem, o Processo Analítico Hierárquico (AHP), desenvolvido por SAATY (1980), também, pode ser utilizado para resolver o problema de seleção de tecnologias. O AHP é uma abordagem lógica que serve para justificar e dar suporte à tomada de decisões. Ele é especialmente utilizado como uma ferramenta para a modelagem e solução de problemas multicritério. O AHP parte um problema em subproblemas e então agrega as soluções destes últimos para tirar uma conclusão. Ao partir o problema original, o AHP faz uso da habilidade humana de fazer julgamentos subjetivos comparando pares de aspectos envolvidos nos subproblemas.

Por exemplo, considerando a meta de selecionar uma AMT ou uma configuração de AMTs que realize o objetivo do investimento, o primeiro passo consiste em se definir critérios que, em conjunto, permitam avaliar as alternativas em relação à meta. Por sua vez, quando necessário

alguns destes critérios podem ser divididos em subcritérios e, assim, sucessivamente. O próximo passo consiste em realizar julgamentos comparativos acessando a importância relativa de todos os pares de critérios em relação à meta, e de todos os pares de subcritérios em relação aos critérios que lhes deram origem. Finalmente, novos julgamentos comparativos devem ser realizados, desta vez, acessando a importância relativa das AMTs alternativas em relação aos critérios ou subcritérios que foram definidos.

O AHP combina de maneira sistemática a informação resultante das comparações realizadas, ou seja, medidas de prioridades na hierarquia de critérios, com a informação a respeito das alternativas possíveis para investimento e propõe a melhor solução para os problemas de seleção. A vantagem da utilização do AHP é que os resultados são obtidos de maneira aceitável pela intuição humana, sem forçar manipulações mais técnicas. No Capítulo 7 do livro *Tomadores de Decisões para Líderes*, SAATY (1996) descreve diversos tipos de decisões complexas reais realizadas pelo AHP: seleção de uma rota para oleodutos, estratégias de produtos e mercados, aquisição de um banco, uniões e aquisições, escolha de sistemas de telecomunicações, etc.

Problemas de projeto de configurações alternativas

Por outro lado, no caso em que não se tem o conhecimento prévio do conjunto de configurações de AMTs possíveis, em função da enorme quantidade de combinações de tecnologias individuais disponíveis para a montagem destas configurações, não é possível avaliar todas as alternativas e dificilmente alguém conseguirá escolher a melhor configuração, ou seja, aquela que providencia a máxima utilidade. Nestes casos, deve-se buscar abordagens capazes de ‘projetar, pelo menos, uma configuração de AMTs possível que realize o objetivo do investimento’. Muitas vezes, pode ser necessário que se recorra às abordagens que providenciam apenas soluções satisfatórias (SIMON, 1981).

No que diz respeito a atividade ‘projetar’, segundo SIMON (1981): “*Projeta quem quer que conceba cursos de ação com o objetivo de transformar situações correntes, ou existentes, em*

situações desejadas, ou preferidas”. Considerando este ponto de vista, é verdade dizer que freqüentemente as pessoas se deparam com problemas de projeto quando precisam realizar certas tarefas em diversos domínios. Elas projetam quando decidem como chegar ao trabalho (tarefa comum), quando decidem como demonstrar um argumento e como jogar uma partida de xadrez (tarefas formais). Projetam, também, quando concebem um motor elétrico e/ou um sistema de manufatura (tarefas especializadas).

Por exemplo, dependendo do domínio, o projeto em si, ou seja, o curso de ação que realiza um certo objetivo, pode assumir a forma de: um caminho “interessante” que leve a pessoa de um ponto na cidade até o local de trabalho; uma estratégia para jogar xadrez que produza xeque-mate; uma seqüência de proposições que demonstre a validade de um argumento; uma organização de componentes que produza um motor elétrico; e, como é o caso da solução para o problema de investimento, uma configuração de AMTs que prometa colocar a companhia de manufatura em uma posição de vantagem competitiva sustentável ao longo do tempo.

Focando mais na classe de tarefas especializadas, ainda vale destacar uma variedade de projetistas profissionais. Por exemplo, além do engenheiro que produz o motor elétrico e do gerente que organiza uma configuração de AMTs para investimento, são, também, projetistas: o médico que prescreve remédios e exames a um doente, o administrador que concebe um plano de vendas para uma companhia, etc.. Teoricamente falando, a atividade de ‘projeto’ é comum a vários tipos de profissionais. O que muda é a denominação adotada nos diversos domínios. Por exemplo, a atividade denominada ‘projeto’ em engenharia é denominada ‘planejamento’ na área militar e ‘síntese’ em química. Muitas vezes a palavra projeto é substituída pelas palavras ‘invenção’ ou ‘criação’.

Além do mais, observando mais atentamente, a atividade intelectual que produz artefatos materiais é fundamentalmente similar àquelas atividades que produzem receitas, planos e estratégias (SIMON, 1981). Este resultado pode ser muito útil na construção de uma abordagem para o problema de investimento. Por exemplo, a abstração das descrições gerais e teóricas de problema de projeto e as lógicas de busca de soluções para estes problemas podem ser úteis. Estas

descrições podem ser especializadas a um domínio de interesse e, na maioria dos casos, os processos de projeto correspondentes podem ser automatizados.

Por exemplo, considerando a definição teórica do problema de projeto, ou seja, ‘encontrar um curso de ação que transforme uma situação corrente em uma situação desejada’, é possível apresentar definições específicas de problemas de projeto e de busca de soluções em vários domínios. Para tanto, primeiramente, é necessário especificar as situações e ações no contexto destes domínios. Isto possibilita a utilização de lógicas de busca de soluções disponíveis nos domínios em questão ou, se alguém preferir, que se adapte outras lógicas, métodos ou sistemas já bem desenvolvidos para resolver problemas específicos (RUSSEL e NORVIG, 1995) e (KASABOV, 1998). A próxima subseção dá um passo importante nesta direção. Ela começa o processo de especificação das ações e das situações no contexto do problema de investimento.

2.3 Segunda definição

Esta seção apresenta uma segunda definição para o problema de investimento, enunciado na seção anterior. Ela é mais específica que a definição anterior, pois, desta vez, ela identifica as “ações” e as “situações”, presentes na definição teórica de problema de projeto, respectivamente com o conjunto de AMTs possíveis e as posições de competitividade da companhia (PORTER, 1990), descritas no problema de investimento na seção anterior. Esta abordagem levou à definição do objetivo primário do investimento em termos destas posições e do efeito do investimento nas AMTs em termos de mudanças nas mesmas.

Pressupostos

O objetivo do investimento descrito na definição informal do problema é ‘estabelecer uma vantagem competitiva sustentável ao longo do tempo’ para a companhia. Este objetivo pode ser realizado mudando-se, sempre que o ambiente produto-mercado requisitar, ou a companhia desejar mudar, uma “posição corrente de competitividade” em uma “posição desejada de competitividade”. Além do mais, uma tal mudança pode ser realizada através do investimento e

implementação ao longo do tempo de uma configuração de AMTs, que seja apropriada ao ambiente produto-mercado em questão.

De acordo com estas considerações, o problema de investimento pode ser restabelecido como um problema de projeto substituindo-se na definição teórica de projeto a palavra “situações” pelas palavras “posições de competitividade”, a palavra “ações” por “tecnologias AMTs”, e as palavras “cursos de ações” por “configurações de tecnologias AMTs”:

Dado um conjunto de tecnologias AMTs possíveis, achar uma configuração de AMTs que transforme a posição corrente de competitividade da companhia em uma posição desejada.

De maneira a clarear e especificar mais esta definição, vale encontrar meios que possam ser empregados na representação de conceitos ambíguos e nebulosos, como é o caso das noções de “posições de competitividade” e das “tecnologias AMTs”; bem como, as relações envolvendo estes conceitos, como é o caso das descrições dos efeitos do investimento nas AMT em termos de mudanças nas posições de competitividade. PFEILSTICKER (1981) propõe um esquema apropriado para esta finalidade.

De acordo com esta proposta, o conceito posição de competitividade é uma generalidade ambígua. Existe pelo menos um meio de se representar este tipo de conceito. Por exemplo, considerando as discussões apresentadas no Capítulo 1, uma “posição desejada (corrente) de competitividade” de uma companhia pode ser definida em termos de “fontes de competitividade” no ambiente produto-mercado particular da companhia em questão - p.ex: custo, flexibilidade, desempenho inovativo, “lead-time”, ... - e dos “níveis desejados” (“níveis correntes”) nestas fontes - p.ex: *baixo, médio e alto* (GRANT et. al., 1991).

Neste contexto, uma posição desejada de competitividade particular pode ser definida empregando os seguintes pares (*fonte de competitividade, nível desejado*): *baixo* custo, *média* flexibilidade, *alto* desempenho inovativo, *baixo* “lead-time”. Por outro lado, uma “posição corrente de competitividade” poderia ser definida: *alto* custo, *baixa* flexibilidade, *baixo*

desempenho inovativo, *alto* “lead-time”. Além do mais, opcionalmente, pode-se incluir na definição das posições os graus de importâncias das várias fontes no contexto do ambiente produto-mercado. Considerando este esquema para a definição das posições, os efeitos do investimento nas AMTs podem ser definidos através de conjuntos de declarações condicionais envolvendo as fontes de competitividade e os níveis nestas fontes (MONK, 1989).

Cada declaração em um conjunto pode descrever uma mudança de nível em uma fonte, proporcionada pela implementação da AMT em questão. Cada conjunto de declarações pode representar uma suposta relação existente entre o conjunto de valores de níveis correntes nas fontes e o conjunto de valores de níveis realizados nestas fontes, com a implementação de uma tecnologia sobre consideração. Por exemplo, as tecnologias CAD e CAM integradas poderiam ser representadas pelo seguinte conjunto de declarações: CAD/CAM = {se “lead time” *muito alto* então “lead time” *baixo*, se custo *alto* então custo *baixo*, se desempenho inovativo *baixo* então desempenho inovativo *alto*, ...}.

Alternativamente, algumas AMTs em questão podem requisitar um esquema de representação um pouco mais abrangente. Supondo que existam certas não-linearidades na descrição dos efeitos das AMTs, uma representação através de famílias de conjuntos de declarações condicionais é suficiente. Por exemplo, estas AMTs poderiam ser representadas da seguinte maneira: AMT = {{se “lead time” *muito alto* então “lead time” *médio*, se “lead time” *alto* então “lead time” *médio*, ...}, {se custo *médio* então custo *baixo*, se custo *alto* então custo *baixo*, ...}, {se desempenho inovativo *baixo* então desempenho inovativo *alto*, se desempenho inovativo *médio* então desempenho inovativo *alto*, ...}}.

Definição II

Considerando a validade dos pressupostos acima, adotando-se os esquemas de representação nas especificações das tecnologias do conjunto de AMTs possíveis e das posições corrente e desejada de competitividade da companhia, o problema de investimento pode ser novamente definido:

Conhecendo-se:

1. Conjunto de AMTs possíveis = $\{AMT_1, \dots, AMT_T\}$, onde
 $AMT_1 = \{\{se\ nível\ corrente\ fonte_1\ é\ C_{111}\} então\ nível\ realizado\ fonte_1\ é\ R_{111}, \dots,$
 $se\ nível\ corrente\ fonte_1\ é\ C_{11D}\} então\ nível\ realizado\ fonte_1\ é\ R_{11D}\},$
...,
 $\{se\ nível\ corrente\ fonte_M\ é\ C_{M11}\} então\ nível\ realizado\ fonte_M\ é\ R_{M11}, \dots$
 $se\ nível\ corrente\ fonte_M\ é\ C_{M1D}\} então\ nível\ realizado\ fonte_M\ é\ R_{M1D}\}\}$
...,
 $AMT_T = \{\{se\ nível\ corrente\ fonte_1\ é\ C_{1T1}\} então\ nível\ realizado\ fonte_1\ é\ R_{1T1}, \dots,$
 $se\ nível\ corrente\ fonte_1\ é\ C_{1TD}\} então\ nível\ realizado\ fonte_1\ é\ R_{1TD}\},$
...,
 $\{se\ nível\ corrente\ fonte_M\ é\ C_{MT1}\} então\ nível\ realizado\ fonte_M\ é\ R_{MT1}, \dots,$
 $se\ nível\ corrente\ fonte_M\ é\ C_{MTD}\} então\ nível\ realizado\ fonte_M\ é\ R_{MTD}\}\}$;
2. Posições corrente (PC) e desejada (PD) de competitividade, onde
 $PC = \{nível\ corrente\ fonte_1\ é\ C_1, \dots, nível\ corrente\ fonte_M\ é\ C_M\}$ e
 $PD = \{nível\ desejado\ fonte_1\ é\ A_1, \dots, nível\ desejado\ fonte_M\ é\ A_M\}$;
3. Lista de “importâncias” associadas às fontes = $\{\mu_1, \dots, \mu_M\}$.

Encontrar:

Configuração de AMTs, $AMT_X \dots AMT_Y$, que transforme PC em PD.

Esta nova definição não reduz consideravelmente o problema de investimento. Apesar dela ser obtida a partir do enunciado genérico do problema de projeto, ela é mais específica que as anteriores e pode ser adaptada de maneira a caracterizar um problema de escolha entre AMTs ou um problema projeto de configurações de AMTs. Isto vai depender muito do que vai estar sendo considerado como alternativas de escolha, ou seja, AMTs individuais ou configurações de AMTs.

Além do mais, esta definição respeita a maioria dos aspectos mencionados até esta etapa. Mais importante ainda, ela pode ser formalizada apropriadamente e uma lógica de projeto de configurações pode ser adaptada. Estes dois aspectos permitiram a concepção de um programa de computador capaz de procurar e organizar, entre um grande número de AMTs possíveis, aquelas configurações que parecem mais promissoras, ou seja, que prometem transformar a posição corrente de competitividade da companhia em uma posição desejada de competitividade. As

próximas duas partes deste trabalho apresentam as formalizações e os resultados providenciados por um programa deste tipo na resolução de problemas de investimento.

Parte II

Sistema Orientado por Metas Nebulosas

Esta Parte II esboça e formaliza um Sistema Orientado por Metas Nebulosas (SOMN), possível de ser programado para resolver o problema de investimento em novas tecnologias, proposto ao final da Parte I deste trabalho. O Sistema Orientado por Meta é uma concepção antiga de sistema resolvidor de problemas. Atualmente, ele pode ser classificado como um tipo de agente racional. Esta segunda parte foi dividida em quatro capítulos. O Capítulo 3 apresenta a noção de programas de computador inteligentes. O SOMN em um computador pode ser visto como um programa deste tipo. O Capítulo 4 inicia o processo de formalização do SOMN. Ele apresenta a parte da Teoria de Conjuntos Nebulosos necessária à formalização das informações percebidas e das ações do sistema. O Capítulo 5 continua o processo de formalização do SOMN. Ele apresenta a parte da Teoria de Conjuntos Nebulosos necessária à formalização das informações que o sistema mantém internamente, a respeito das relações existentes entre as percepções e as ações. O Capítulo 6 encerra o processo de formalização do SOMN. Ele apresenta o restante da Teoria de Conjuntos Nebulosos necessária à formalização de um esquema de projeto que permita ao sistema resolver o problema enunciado no capítulo anterior. A próxima parte deste trabalho apresenta os resultados do funcionamento do SOMN aqui formalizado.

Capítulo 3

Um Esboço

Este Capítulo 3 apresenta o esboço de um Sistema Orientado por Metas (SOM). Ele pressupõe que os SOMs podem ser programados em computador para resolver o problema de escolha ou projeto de configurações de AMTs, enunciado ao final do capítulo anterior. Além de considerar que as informações disponíveis no enunciado do problema são processadas por um SOM, este esboço também especula a respeito de uma lógica de busca apropriada para a escolha e para o projeto de configurações. O capítulo foi dividido em quatro seções. A Seção 3.1 classifica o SOM proposto como um programa inteligente, ou seja, aqueles que surgem no contexto da Inteligência Computacional. A Seção 3.2 esboça a idéia de SOM como um tipo de Agente Racional. A Seção 3.3 dá início ao processo de formalização das percepções, ações, objetivo e ambiente de um programa para resolver o problema de investimento. Finalmente, a Seção 3.4 esboça uma lógica de busca apropriada para o programa encontrar uma solução.

3.1 Programas inteligentes

Faz mais ou menos quarenta anos que o primeiro programa de computador foi escrito e testado na resolução de problemas de projeto (SIMON, 1977). No início, os Sistemas de Processamento da Informação (SPI), descritos por NEWELL e SIMON (1972), contribuíram fortemente para a concepção deste tipo de programa. Estes SPIs foram adaptados a demonstrar teoremas, resolver problemas de criptoaritmética e jogar xadrez. De lá para cá, vários tipos de sistemas foram projetados e programados para resolver estes e outros tipos de problemas, em

diversos domínios de aplicação (RICH e KNIGHT, 1988), (KASABOV, 1988), (FREEMAN e SKAPURA, 1991), (LEE, 1993), (RUSSEL e NORVIG, 1995) e (MITCHEL, 1996).

Por exemplo, o solucionador de problemas gerais GPS, um modelo mais específico de SPI, deu origem a “bons” programas de projeto (SIMON, 1977) e (SIMON, 1981). Atualmente, este modelo pode servir como base e/ou inspirar a concepção de outros programas, inclusive, que sejam capazes de realizar outras tarefas normalmente realizadas por humanos. Mas, além do GPS, com o desenvolvimento da Ciência e da Tecnologia da Computação, atualmente existem várias teorias que, também, podem fundamentar a concepção destes programas.

Dentre as diversas possibilidades, vale a pena conhecer as teorias e resultados teóricos envolvidos na concepção daqueles programas de computador denominados inteligentes (RUSSEL e NORVIG, 1995). Os sistemas inteligentes têm sido estudados mais intensamente nos cursos de graduação e pós-graduação das áreas de Ciências Exatas e Tecnologia. Na área de Computação, estes sistemas são trabalhados no contexto da Inteligência Computacional (BARRETO, 1999). Alguns cursos de Engenharia focam a utilização e o desenvolvimento de sistemas inteligentes apropriados a diversos domínios de aplicação de interesse.

A Inteligência Computacional pode ser vista como uma tecnologia da Computação. Ela se preocupa em estudar, pesquisar e desenvolver métodos, sistemas e ferramentas computacionais que sejam capazes de automatizar os processos de resolução de problemas humanos. A Inteligência Computacional tem possibilitado a implementação de programas fundamentados em uma ou mais das seguintes subáreas de estudo: Inteligência Artificial (IA) Simbólica, a IA Conexionista, os Sistemas Evolucionários e os Sistemas Nebulosos (KOSABOV, 1995) e (BARRETO, 1999).

Por exemplo, no contexto da IA Conexionista é possível projetar sistemas baseados em redes neurais para encontrar soluções satisfatórias para o problema do “Caixeiro-viajante” (FREEMAN e SKAPURA, 1991). Uma abordagem baseada na rede de Hopfield pode ser programada para esta finalidade (DAYHOFF, 1990). No contexto da IA Simbólica, o mesmo

problema pode ser resolvido por programas agentes que funcionem de acordo com a lógica de algum método de busca (LEE, 1993), (RUSSEL e NORVIG, 1995) e (CAMPOS e RIBEIRO, 2000).

Por outro lado, se um problema de projeto requisitar soluções ótimas, as técnicas de otimização podem servir de base para a concepção de bons programas. Se a otimalidade não for um critério importante ou for muito complicado obter o ótimo, então a Computação Evolucionária e, mais especificamente, os Algoritmos Genéticos podem ser utilizados com bastante eficiência (MITCHEL, 1996). A Teoria de Conjuntos Nebulosos (ZADEH, 1965) e os resultados teóricos desenvolvidos até o momento podem ser úteis no contexto de todas as áreas de estudo da Inteligência Computacional, possibilitando a concepção de diversos tipos de programas.

Junte-se a estes fatos, ainda existe a possibilidade da combinação de técnicas oriundas de áreas diferentes na resolução de um mesmo problema, inclusive, podendo dar origem aos sistemas híbridos. Por exemplo, CAMPOS et. al. (2001) conceberam um sistema capaz de projetar redes neurais multicamadas com realimentação, para a realização efetiva de diversas tarefas. A concepção deste sistema envolve um algoritmo genético que manipula uma população de regras de geração de topologias de redes neurais, especificadas dentro do contexto das gramáticas L-systems (LINDEMAYER, 1965). De maneira a gerar pesos apropriados para as conexões entre os neurônios das redes em uma população, a função “fitness” do sistema considera uma adaptação do algoritmo Back-propagation para o caso de redes com realimentação (FREEMAN e SKAPURA, 1991).

Apesar de tantas possibilidades, no caso do problema de projeto de configurações de AMTs, é suficiente programar uma adaptação do modelo genérico de Sistema Orientado por Metas (SOM) para funcionar de acordo com um certo esquema de busca heurística (SIMON, 1977). Este modelo é um tipo de Agente Racional, descrito na abordagem moderna para a IA de RUSSEL e NORVIG (1995). As próximas seções descrevem melhor estes modelos e uma lógica de funcionamento apropriada para os problemas de escolha e projeto de configurações.

3.2 Os Sistemas Orientados por Metas e os Agentes Racionais

Segundo SIMON (1977), um Sistema Orientado por Metas (SOM) é *“qualquer sistema que está em comunicação com o ambiente através de dois tipos de canais: os aferentes, ou sensoriais, através dos quais o sistema recebe informação sobre o ambiente, e os eferentes, ou motores, através dos quais o sistema atua no ambiente. Estes sistemas possuem meios de armazenar em memória informações sobre estados do mundo – informações aferentes – e sobre suas próprias ações – informações eferentes. A capacidade que estes sistemas têm de realizar objetivos depende da formação de associações entre mudanças especificadas de estados do mundo e ações particulares que provoquem, fiavelmente ou não, essas mudanças”*.

Esta idéia, apesar de descrita há bastante tempo, é muito semelhante à descrição de Agentes Racionais, realizada recentemente por RUSSEL e NORVIG (1995). Por exemplo, eles consideram que um Agente é *“... anything that can be viewed as perceiving the environment through sensors and acting upon that environment through effectors”*. Além do mais, da mesma maneira que os SOMs, os Agentes devem possuir meios de armazenar informações sobre o ambiente e sobre suas ações. A capacidade que o Agente tem de realizar objetivos no ambiente, também, depende da construção de uma espécie de ponte entre os mundos das percepções e das ações.

Apesar de idealizados em épocas diferentes, estes sistemas têm várias propriedades comuns. As diferenças entre as idéias originais surgem, principalmente, nos critérios de avaliação de desempenho propostos por SIMON (1977) e por RUSSEL e NORVIG (1995), respectivamente para os SOMs e para os Agentes Racionais. Originalmente, os SOMs são considerados “sistemas que pensam como humanos”, enquanto que os Agentes, de uma maneira geral, são considerados “como sistemas que agem racionalmente”. Um programa orientado por metas deve se comportar da maneira como um humano se comportaria frente ao problema, enquanto que um programa agente racional deve “agir corretamente”, ou seja, agir de maneira a obter o máximo de sucesso possível na realização de seu objetivo.

Por exemplo, considerando um SOM aplicado a um problema de projeto, é importante que um programa particular encontre uma solução, ou seja, um projeto, da mesma maneira que um especialista humano encontraria em seu ambiente de trabalho. Nestes casos, um projeto “satisfatório” pode ser suficiente. Mas, se o pressuposto é que, em um domínio específico, o humano orienta-se pelo ótimo então o programa deve encontrar exatamente o projeto ótimo. Da mesma maneira, um programa agente baseado em utilidade quando aplicado ao mesmo problema deve encontrar o melhor projeto de todos ou, quando não existir tempo e memória suficientes para o programa realizar todas as computações necessárias para encontrar o melhor, ele deve encontrar a melhor possível.

No contexto dos SOMs e dos Agentes Racionais, os termos satisfatório e melhor possível podem indicar soluções produzidas com a quantidade de recursos disponíveis para os sistemas, mas que não são garantidamente a melhor solução existente. Assim, a maneira de pensar logicamente de um especialista em certos domínios também pode ser muito importante na realização das tarefas de um Agente Racional. Um programa de computador deste tipo deve simular o comportamento humano quando não for possível encontrar o ótimo, e se contentar com uma solução também satisfatória, como é o caso daquelas produzidas pelos SOMs.

Considerando ou não este ponto de vista, pelo menos, estruturalmente os SOMs podem ser vistos como um tipo de Agente Racional, ou seja, os Agentes Baseados em Metas (RUSSEL e NORVIG, 1995). Como o próprio nome indica, semelhantemente aos SOMs, estes agentes fazem uso de informações sobre suas metas durante a escolha de ações para a realização de seus objetivos em seus ambientes de trabalho. Segundo RUSSEL e NORVIG (1995), no caso destes agentes, *“... as well as a current state description the agent needs some sort of goal information, which describes situations that are desirable ... the agent can combine this with information about the results of possible actions in order to choose actions that achieve the goals”*.

No caso dos SOMs, em uma das descrições de SIMON (1981) a respeito do GPS, fortalece a semelhança quando ressalta que: *“no que se refere ao lado aferente ou sensorial, GPS deve ser*

capaz de representar situações ou objetos desejados tal como a situação presente. Deve também ser capaz de representar diferenças entre a situação presente e a situação desejada. Do lado eferente, GPS deve ser capaz de representar ações que mudam situações ou objetos. Em ordem a atuar propositadamente, GPS deve ter a capacidade de selecionar em certas ocasiões as ações particulares que se presumam capazes de reduzir ou remover as diferenças específicas que o sistema detecta entre o presente e o desejado. No mecanismo do GPS esta seleção faz-se por meio duma tabela de conexões, que associa a cada tipo de diferença detectável as ações relevantes para a redução dessa diferença”.

Estas semelhanças fortalecem a teoria disponível para o projetista de programas orientados por metas. São propriedades comuns que podem ser implementadas e testadas frente ao problema de projeto de configurações de AMTs. Elas indicam um caminho que pode ser seguido até a implementação destes programas. Em ambos os casos, no início deste caminho, antes da implementação de um programa é preciso ter uma boa idéia das percepções e ações possíveis, que objetivos ou medidas de desempenho o programa supostamente deve realizar e as características do ambiente de operação. Este primeiro passo deve definir o **PAGE** do programa, ou seja, suas percepções **P**, as ações **A**, o objetivo **G** e o ambiente de desempenho **E** (RUSSEL e NORVIG, 1995).

3.3 PAGE - percepções, ações, objetivos e ambiente

De maneira a atuar propositadamente e realizar um objetivo (**G**), um programa particular deve construir uma ponte entre os dois mundos, ou seja, mapear as percepções (**P**) do mundo aferente nas ações (**A**) do mundo eferente. Neste contexto, é necessário compreender e definir os mundos aferentes e eferentes relacionados ao ambiente (**E**), e capturar todos os tipos de associações que relacionam estes mundos. Esta seção dá um primeiro passo nesta direção. Ela começa a especificar um **PAGE** apropriado para o programa resolver o problema de investimento. A próxima seção faz usos destas idéias e propõe uma lógica de busca apropriada para o projeto de configurações de AMTs.

Levando em consideração o problema de projeto de configurações de AMTs, uma primeira versão do **ambiente E** do programa pode ser alguma representação simplificada do ambiente de um gerente de uma companhia, em algum ambiente produto-mercado particular. Neste contexto, as informações do mundo aferente devem considerar as fontes de competitividade no ambiente particular, $\{fonte_1, \dots, fonte_M\}$, a lista de “importâncias” destas fontes no contexto deste ambiente, $\{\mu_1, \dots, \mu_M\}$, os *níveis corrente e desejados* nestas fontes, $\{C_1, \dots, C_M\}$ e $\{A_1, \dots, A_M\}$, bem como o conjunto de tecnologias possíveis para investimento, $\{AMT_1, \dots, AMT_T\}$. Do outro lado, as informações eferentes devem considerar as configurações de AMTs propostas para investimento.

Considerando um ambiente deste tipo, uma parte das informações que o sistema recebe pelo canal aferente determina as *posições corrente e desejada* de competitividade da companhia no ambiente produto-mercado. Aproveitando a definição do problema de projeto de configurações de AMTs, esta parte das **percepções P** do programa, a princípio, pode ser representada da seguinte maneira:

$$PC = \{\mu_1/\text{nível corrente fonte}_1 \text{ é } C_1, \dots, \mu_M/\text{nível corrente fonte}_M \text{ é } C_M\} \text{ e}$$

$$PD = \{\mu_1/\text{nível desejado fonte}_1 \text{ é } A_1, \dots, \mu_M/\text{nível desejado fonte}_M \text{ é } A_M\}.$$

A outra parte, ou seja, a representação das informações sobre as AMTs possíveis para investimento, por um conjunto da forma:

$$ATP = \{AMT_1, \dots, AMT_T\}.$$

Pelos canais eferentes o programa deve fornecer informações sobre as configurações de AMTs que pareçam mais promissoras na transformação dos *níveis correntes* nos *níveis desejados* das fontes de competitividade. Estas propostas para investimento são as **ações A** do programa. São as soluções que vão sendo geradas, que podem ser representadas por seqüências da forma:

$$\text{Configurações satisfatórias} = \{AMT_A \dots AMT_B, AMT_X \dots AMT_Y, \dots, AMT_V \dots AMT_W\}.$$

Dentro do contexto em que foram esboçados os componentes **P**, **A** e **E**, o **objetivo G** do programa orientado por metas consiste em encontrar uma configuração que transforme *PC* em *PD*, ou melhor, que elimine ou que, pelo menos, reduza as *diferenças* entre os *níveis* nas fontes registrados em *PC* e *PD*. A realização de **G** depende muito do conhecimento das relações entre **P** e **A**, existentes no mundo real. Os exemplos envolvendo o sistema GPS e outros modelos de Agentes podem mostrar nitidamente como uma ação orientada por meta(s), uma ação satisfatória no contexto de um agente, depende deste tipo de conhecimento.

No mecanismo do GPS, conforme mencionado anteriormente, este conhecimento é estruturado em uma **tabela de conexões**. Esta tabela associa a cada tipo de diferença detectável entre as situações corrente e desejada, as ações relevantes para a redução dessa diferença (SIMON, 1981). Estas são as associações do sistema que relacionam o mundo aferente com o eferente. São também conhecidas como ‘informações a priori a respeito dos efeitos das ações disponíveis para o agente em seu ambiente’ (RUSSEL e NORVIG, 1995).

No projeto de configurações, este conhecimento sobre os efeitos das tecnologias AMTs está disponível na própria definição do problema. Ele faz parte dos dados do problema e, praticamente, define cada uma das AMTs possíveis para investimento. Ele diz respeito às mudanças previstas nos *níveis* em cada uma das fontes no ambiente produto-mercado com o investimento em cada uma das AMTs possíveis. De acordo com a definição do problema de investimento, este conhecimento pode ser representado por:

$$\begin{aligned}
 AMT_I = & \{ \{ \textit{se nível corrente fonte}_1 \textit{ é } C_{11I} \textit{ então nível realizado fonte}_1 \textit{ é } R_{11I}, \dots, \\
 & \textit{se nível corrente fonte}_1 \textit{ é } C_{11D} \textit{ então nível realizado fonte}_1 \textit{ é } R_{11D}, \\
 & \dots \\
 & \{ \textit{se nível corrente fonte}_M \textit{ é } C_{M1I} \textit{ então nível realizado fonte}_M \textit{ é } R_{M1I}, \dots \\
 & \textit{se nível corrente fonte}_M \textit{ é } C_{M1D} \textit{ então nível realizado fonte}_M \textit{ é } R_{M1D} \} \} \\
 & \dots \\
 AMT_T = & \{ \{ \textit{se nível corrente fonte}_1 \textit{ é } C_{1T1} \textit{ então nível realizado fonte}_1 \textit{ é } R_{1T1}, \dots, \\
 & \textit{se nível corrente fonte}_1 \textit{ é } C_{1TD} \textit{ então nível realizado fonte}_1 \textit{ é } R_{1TD}, \\
 & \dots \\
 & \{ \textit{se nível corrente fonte}_M \textit{ é } C_{MT1} \textit{ então nível realizado fonte}_M \textit{ é } R_{MT1}, \dots, \\
 & \textit{se nível corrente fonte}_M \textit{ é } C_{MTD} \textit{ então nível realizado fonte}_M \textit{ é } R_{MTD} \} \} ;
 \end{aligned}$$

Este esquema de representação é apropriado e, de uma maneira prática, permite a concepção de mecanismos para a avaliação das AMTs possíveis e das posições de competitividade, supostamente, realizadas por estas AMTs. Por exemplo, considerando a descrição da *posição corrente de competitividade*, PC , o programa pode raciocinar e inferir a *posição realizada de competitividade* por cada uma das tecnologias do conjunto de *AMTs possíveis*. Em seguida, ele pode avaliar estas *posições* em relação à *posição desejada*, PD , e escolher a melhor AMT. Esta lógica de escolha impõe um esquema de representação das *posições realizadas* semelhante ao adotado para PC e PD .

Por exemplo, considerando uma configuração satisfatória $AMT_X \dots AMT_Y$, as *posições realizadas* com o investimento em cada uma das AMTs na seqüência poderiam ser representadas internamente no programa por:

$$PR_X = \{ \text{nível realizado fonte}_1 \text{ é } R_{X1}', \dots, \text{nível realizado fonte}_M \text{ é } R_{XM}' \},$$

$$\dots$$

$$PR_Y = \{ \text{nível realizado fonte}_1 \text{ é } R_{Y1}', \dots, \text{nível realizado fonte}_M \text{ é } R_{YM}' \}.$$

Vale ressaltar, visto que não existem interdependências entre as metas descritas na *posição desejada* (DRIANKOV, 1987), cada *posição realizada* acima deve ser interpretada como a nova *posição corrente*, prevista com o investimento em uma AMT sobre consideração na seqüência. Por exemplo, no caso da configuração AMT_X, \dots, AMT_Y , PR_X pode ser interpretada como a nova *posição corrente* obtida com o investimento na AMT_X ; e PR_Y , a nova *posição corrente* com o investimento na última tecnologia na configuração, AMT_Y .

De maneira geral, uma *posição realizada* descreve uma modificação do ambiente E do programa, prevista com o investimento em uma AMT. É este tipo de modificação prevista que vai determinar a escolha de uma AMT durante o projeto de configurações. Além disto, outras características de E vão determinar qual lógica de busca é mais apropriada para o programa gerar um projeto satisfatório. Estas características refletem algumas das propriedades do ambiente do

gerente de uma companhia em um ambiente produto-mercado particular. Algumas destas características estão implícitas nas discussões realizadas nos dois capítulos anteriores e na própria definição do problema de investimento.

Neste contexto, o ambiente de desempenho do programa proposto possui características bastante simplificadas RUSSEL e NORVIG (1995). Por exemplo, como primeira aproximação, **E** é **acessível**, ou seja, o canal de percepção do programa tem acesso ao estado completo de **E**, isto é, aos *níveis* das fontes de competitividade, inclusive, às *posições corrente e desejada* de competitividade da companhia. Some-se a isto, **E** é **determinístico**, ou seja, o próximo estado do ambiente – alguma *posição realizada* de competitividade por uma configuração projetada para investimento – vai ser completamente determinado pelo estado corrente de **E** – alguma *posição corrente* de competitividade – e pelas AMTs na configuração projetada.

Além do mais, como no problema real, o ambiente **E** é **não-episódico**. Cada episódio equivale a um retrato das percepções e ações do programa em algum momento - *posições de competitividade e AMTs disponíveis*. Em um ambiente episódico o comportamento do agente pode ser dividido em episódios independentes uns dos outros. Neste caso, a qualidade da ação realizada pelo agente em um episódio não depende das ações realizadas nos episódios anteriores. Isto não ocorre no ambiente do programa para o projeto de configurações de AMTs. Neste ambiente, o programa deve organizar uma configuração montando e desmontando, parcialmente ou totalmente, configurações, percebendo as *posições realizadas* por estas configurações, até encontrar uma que seja satisfatória. Este tipo de comportamento deve ocorrer em todos os ambientes não-episódicos.

Por outro lado, simplificando o problema do programa, o ambiente **E** é **estático**, pois não muda enquanto o programa estiver projetando uma configuração de AMTs para investimento. E, finalmente, **E** é **discreto**, pois o número de percepções e ações - *posições e AMTs disponíveis*, durante o processo de decisão é limitado. Todas estas simplificações viabilizaram uma primeira versão do programa orientado por metas. Em geral, quanto mais complexo o ambiente mais dificuldades o projetista tem em conceber um programa orientado por metas. O pior dos casos é

quando o projetista está de frente a um ambiente que é inacessível, não-determinístico, não-episódico, dinâmico e contínuo (RUSSEL e NORVIG, 1995).

No caso do problema de investimento, as aproximações realizadas simplificaram o problema real. Entretanto, estas aproximações possibilitaram a formalização matemática de uma primeira ferramenta para ajudar gerentes durante o processo de tomada de decisão sobre que tecnologia investir. Os próximos capítulos desta Parte II apresentam esta formalização. A próxima seção apresenta um esboço de uma lógica de busca apropriada ao problema e ao **PAGE** especificado nesta seção.

3.4 Busca heurística

A realização de um objetivo **G** por um programa concebido para resolver problemas de projeto no mundo real, em geral, requer uma seqüência de ações. É difícil descrever na sua totalidade o processo de raciocínio real desenvolvido pelas pessoas quando se defrontam com estes problemas, sejam eles envolvendo conhecimento especializado, formal ou do senso comum (RICH e KNIGHT, 1988). Várias tentativas têm sido realizadas no sentido de encontrar descrições que possam ser automatizadas. Estes resultados podem ser úteis na construção de versões do programa solucionador para o problema de projeto de configurações de AMTs. Uma lógica para a resolução de problemas gerais, mas que pode ser adaptada para este problema, foi originalmente proposta para os SOMs por SIMON (1981).

Nas experiências realizadas com o GPS, SIMON (1981) destaca que *“para representar a relação entre os mundos aferente e eferente concebemos o GPS movendo-se através de um grande labirinto. Os nós do labirinto representam situações, descritas aferentemente; os caminhos que ligam os nós são as ações, descritas como seqüências motoras, que transformam as situações umas nas outras. No mecanismo do GPS, uma situação, quando vista aferentemente, é factorizável em termos de diferenças. O raciocínio implícito no GPS é que se uma situação desejada difere duma situação presente das diferenças D_1, D_2, \dots, D_n , e se a ação A_1 elimina diferenças do tipo D_1 , a ação A_2 elimina diferenças do tipo D_2 e assim em seguida, então a*

situação presente pode ser transformada na situação desejada executando a seqüência de ações A_1, A_2, \dots, A_n .”

Sabe-se que este raciocínio não é válido em todos os tipos de ambientes possíveis. Sua validade requer alguns postulados bastante fortes acerca da independência dos efeitos das várias ações sobre as várias diferenças. Nem sempre isto é possível, pois em certos ambientes “*as ações podem ter efeitos laterais (produzir novas diferenças) e por vezes só podem ser executadas quando certas condições adicionais são satisfeitas (requerem a eliminação de outras diferenças para se tornarem aplicáveis)*. Em geral, não podemos afirmar que uma seqüência parcial de ações que realiza certos objetivos possa ser aumentada de modo a fornecer uma solução que satisfaça todas as condições e realize todos os objetivos do problema” (SIMON, 1981).

Estes aspectos envolvendo o GPS demonstram bem porque os programas para resolução de problemas de projeto quando acoplados a um ambiente de desempenho “*não devem se limitar a organizar soluções de problemas a partir de componentes, mas devem procurar as organizações apropriadas*” (SIMON, 1981). Este resultado vale para o problema de projeto de configurações de AMTs. Ele restringe e indica algumas das propriedades de uma lógica de busca apropriada. CAMPOS e RIBEIRO (2000) especularam a respeito do tipo de lógica apropriada para um programa projetar. Eles reeditaram, de maneira particular, a descrição da lógica de busca heurística esboçada no passado por SIMON (1977).

Assim, o quadro esquemático idealizado sugere, primeiramente, uma maneira do programa representar internamente a ponte entre os mundos aferente (**P**) e eferente (**A**). Por exemplo, considerando o projeto de configurações, um programa particular pode ser concebido movendo-se através de uma árvore (mais precisamente, um grafo direcionado) cujos nós representam as *posições* de competitividade, e cujos ramos representam as *AMTs*, que transformam as *posições* umas nas outras. Cada árvore deve conter um nó de partida, *posição corrente* de competitividade, PC^0 , e um nó meta, *posição desejada* de competitividade, PD . O programa deve encontrar um caminho que o leve do nó inicial ao nó meta, ou seja, uma configuração de AMTs, do conjunto de AMTs possíveis em ATP^0 , que transforme PC^0 em PD . A Figura 3.1 ilustra este esquema.

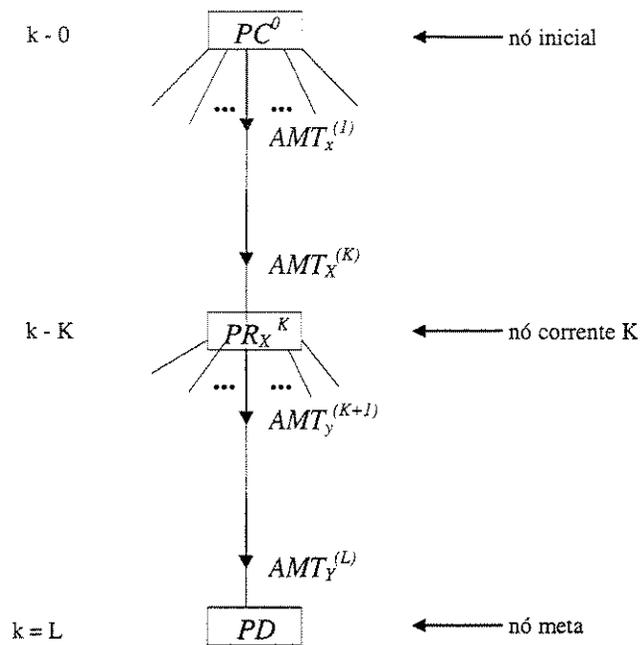


Figura 3.1: Parte da árvore empregada como ponte entre P e A.

Na figura acima, a seqüência de ramos correspondente a configuração $AMT_x^{(1)} \dots AMT_x^{(K)} AMT_y^{(K+1)} \dots AMT_y^{(L)}$ ilustra uma solução. O tamanho da árvore de busca é proporcional ao número de AMTs possíveis em ATP^0 e, conseqüentemente, ao número de configurações possíveis de serem montadas com estas AMTs. O custo esperado da busca realizada, por um programa solucionador de problemas que executa um processo de busca serial, ou seja, limita-se a observar um ramo por vez na árvore, é proporcional ao número de ramos que o sistema examina até uma solução ser encontrada (SIMON, 1977). Qualquer redução no custo da busca depende da disponibilidade e do uso de informações que indiquem ao programa que certos caminhos parecem conduzir a uma solução.

Mais especificamente, estas informações auxiliam o programa a decidir o próximo passo, ou seja: 'que ramo selecionar a seguir?'. Esta decisão tem duas partes principais: (1) a escolha de um nó ao qual o ramo será adicionado, ou seja, a escolha da *posição realizada* que será a nova *posição corrente* de competitividade, e (2) a escolha da ação a ser aplicada neste nó, ou seja, de uma AMT disponível para investimento (SIMON, 1977). Neste contexto, existem dois tipos de

informação utilizada pelos programas para decidir seus próximos passos: (1) informação que está disponível no domínio de aplicação durante a definição do problema, e (2) informação que se torna disponível à medida que o processo de busca evolui (SIMON, 1977).

Por exemplo, considerando o **PAGE** especificado na seção anterior, as descrições dos efeitos das AMTs em termos das mudanças nas posições de competitividade são informações do tipo (1). No caso do GPS, a tabela de conexões, também, é exemplo de informação do tipo (1). Este tipo de informação aumenta grandemente o potencial heurístico dos programas (SIMON, 1977) e (CAMPOS e RIBEIRO, 2000). Além do mais, o programa GPS também faz uso de informações tipo (2). Ele particiona as situações percebidas aferentemente “*em componentes que correspondem pelo menos de forma aproximada às ações componentes derivadas de um particionamento eferente*” (SIMON, 1981). Se uma situação desejada difere duma situação presente nas diferenças D_1, D_2, \dots, D_n , o programa observa na tabela de conexões que ações eliminam estas diferenças e as executa em alguma seqüência.

Por exemplo, se ele percebe que A_1 elimina diferenças do tipo D_1 e A_2 elimina diferenças do tipo D_2 , então ele infere que a situação presente pode ser transformada na situação desejada através da execução da seqüência de ações A_1A_2 . Assim, para decidir o próximo passo o sistema combina as informações disponíveis do domínio de aplicação, ou seja, aquelas representadas na tabela de conexões, com as informações que se tornam disponíveis, ou seja, sobre as diferenças entre as situações que vão ocorrendo à medida que a busca continua.

Outra estratégia interessante de se inserir informações do tipo (2) na decisão sobre que ramo adicionar à árvore de busca é a utilização de funções avaliação de ações e de estados no ambiente (SIMON, 1977), (RICH e KNIGHT, 1988), (LEE, 1993) e (RUSSEL e NORVIG, 1995) e (CAMPOS e RIBEIRO, 2000). Por exemplo, considerando o esquema de representação ilustrado na Figura 3.1, é possível associar com cada nó gerado na árvore uma avaliação de nó, ou seja, uma avaliação da *posição de competitividade* descrita no nó. Além do mais, é possível associar com cada ação no nó uma avaliação de ação, ou seja, uma avaliação da *AMT* descrita em algum ramo sobre consideração.

A utilização deste tipo de informação em conjunto com as informações do tipo (1) promete aumentar, ainda mais, o potencial heurístico dos programas. Por exemplo, o programa pode conduzir a busca selecionando o nó com maior avaliação, a melhor *posição de competitividade*, e aplicar neste nó todas as b ações cujas avaliações excedem algum valor padrão (alternativamente a ação com maior avaliação), ou seja, as b melhores *AMTs*, e então avaliar os novos nós gerados, ou seja, as b *posições realizadas de competitividade*. Neste caso, o programa pode repetir o seguinte ciclo de ações, até uma solução ser encontrada ou até um número pré-determinado de repetições terem sido realizadas (SIMON, 1977):

SELECIONAR O PRIMEIRO NÓ EM UMA LISTA DE TENTATIVAS, E REMOVÊ-LO DA LISTA
SELECIONAR E APLICAR b AÇÕES NO NÓ SELECIONADO
AVALIAR OS b NOVOS NÓS GERADOS, E ARMAZENÁ-LOS EM ORDEM DE VALORES NA
LISTA DE TENTATIVAS

A maioria dos esquemas de busca que possui um poder heurístico razoável utiliza alguma variação do ciclo acima para guiar a ramificação das árvores de busca. Neste ciclo, o segundo e o terceiro passos sugerem um dos principais problemas na concepção de bons programas orientados por metas. Estes problemas dizem respeito à geração de informações do tipo (2) no segundo passo, uma maneira de avaliar as b ações a serem aplicadas no nó selecionado da lista de tentativas; e, no terceiro, uma maneira de avaliar os nós gerados no segundo passo.

No programa orientado por metas para o investimento, estes problemas dizem respeito à avaliação de *posições de competitividade* e *AMTs* a partir destas *posições*. Neste contexto, é extremamente importante a especificação de funções ‘avaliação de nós’ e ‘ações em nós’, que levem em consideração as informações sobre as *posições corrente e desejada* de competitividade de uma companhia, bem como sobre as próprias *AMTs* e suas *posições realizadas*. CAMPOS e RIBEIRO (2000) abordaram alguns aspectos gerais presentes na maioria dos problemas de especificação de boas funções avaliação. Os Capítulos 5 e 6 formalizam duas funções avaliação e o ciclo de ações descrito nesta seção. O Capítulo 4 formaliza matematicamente o **PAGE** esboçado na seção anterior.

Capítulo 4

Primeira Formalização

Este Capítulo 4 dá início ao trabalho de formalização do que foi esboçado no Capítulo 3. Ele apresenta algumas definições e resultados da Teoria de Conjuntos Nebulosos, que foram úteis na formalização do **PAGE** de um SOM para resolver o problema de projeto de configurações de AMTs. Estes resultados permitiram a formalização matemática do problema de investimento. O capítulo foi dividido em três seções. A Seção 4.1 caracteriza o tipo de informação envolvida na descrição do **PAGE** esboçado no capítulo anterior. A Seção 4.2 apresenta a fundamentação matemática necessária para a formalização deste **PAGE**. A Seção 4.3 apresenta a formalização propriamente dita.

4.1 Conceitos ambíguos e nebulosos

A maneira como o conceito *posição de competitividade* e os efeitos das *AMTs possíveis* foram representados no Capítulo 3, impõe um novo problema ao desenvolvimento de um SOM para o investimento, ou seja, o problema do significado relacionado a conceitos ambíguos e nebulosos. Por exemplo, uma *posição de competitividade* foi representada em termos de fontes de competitividade e valores de *níveis* nestas fontes. Por sua vez, os *níveis* nas fontes são valores lingüísticos do tipo *alto*, *baixo*, e etc., em vez de valores numéricos. Dentro deste contexto, as representações dos efeitos de uma AMT, através de uma família de conjuntos de declarações condicionais, envolvendo os *níveis* nas *fontes*, são relações entre valores lingüísticos.

De acordo com PFEILSTICKER (1981), um conceito do tipo posição de competitividade é um conceito ambíguo e os valores lingüísticos de níveis são conceitos nebulosos. Um conceito nebuloso é bem definido em termos de objetos em um universo de discurso, onde cada objeto participa com um certo grau na definição do conceito. Por exemplo, o nível *alto* em uma *fonte* é um conceito que pode ser definido considerando um universo de discurso de valores numéricos do atributo nível. Neste universo, alguns valores não são elevados para serem considerados *alto*, logo participam com um baixo grau na definição do conceito; outros são realmente elevados, logo participam com o grau máximo; outros não são tão elevados para serem considerados *alto* nem tão desprezíveis para deixarem de ser, logo participam com um grau médio na definição.

Por exemplo, considerando o universo representando os valores de níveis possíveis em uma fonte da forma:

$$U = \{0.0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0\}, \quad (4.1)$$

então o conceito *alto* pode ser definido:

$$\textit{alto} = \{0.5/0.7, 0.7/0.8, 0.9/0.9, 1.0/1.0\} \quad (4.2)$$

onde o número à direita de '/' representa o valor numérico de nível em uma fonte e o número à esquerda representa o grau com o qual o valor numérico pode ser considerado *alto*.

Um conceito ambíguo é um tipo de conceito onde existe uma certa discordância, subjetiva, na definição das propriedades ou valores das propriedades que constituem o conceito (PFEILSTICKER, 1981). Por exemplo, a definição do conceito *posição de competitividade* em termos de pares (*fonte de competitividade, nível da fonte*) é dependente das circunstâncias ambientais em que a companhia se encontra no momento de definir 'o que é ser competitivo'. Neste caso, além das fontes e dos *níveis correntes e desejados* nestas fontes, vale especificar a importância do par no contexto do ambiente produto-mercado da companhia. Esta definição depende muito do ponto de vista das pessoas envolvidas no processo de definição e o resultado pode ser a ambigüidade.

O esquema proposto por PFEILSTICKER (1981) para representação deste tipo de conceito, quando aplicado à definição de uma posição de competitividade, complementa o que foi proposto no Capítulo 3:

$$\text{posição de competitividade} = \{ \mu_1/(\text{fonte1, nível1}), (\mu_2/(\text{fonte2, nível2}), \dots \}, (4.3)$$

onde μ_i representa o grau com que um par (*fonte de competitividade i, nível i*) contribui na definição do conceito.

PFEILSTICKER (1981) ressalta que a Teoria de Conjuntos Nebulosos é adequada para descrever formalmente estes conceitos e as relações envolvendo estes conceitos (ZADEH, 1965) e (KAUFMANN, 1975). Empregando esta teoria os conceitos ambíguos e os valores de quaisquer atributos lingüísticos podem ser definidos por meio de conjuntos nebulosos. Neste contexto, as declarações condicionais envolvendo componentes nebulosos, aquelas que descrevem os efeitos das AMTs, podem ser formalizadas por meio de relações nebulosas. A próxima seção apresenta algumas definições oriundas da Teoria de Conjuntos Nebulosos, que foram úteis na formalização destas idéias.

4.2 Conjuntos e relações nebulosas

Muito se ganha em adotar a Teoria de Conjuntos Nebulosos na representação das informações disponíveis para o programa orientado por metas. Esta seção descreve uma parte desta teoria, ou seja, apenas as definições de conjuntos e relações nebulosas, empregadas na formalização do **PAGE** do programa. Esta abordagem emprega a notação padrão de conjuntos (KURTZ, 1992), denotando conjuntos e conjuntos nebulosos por letras maiúsculas e índices, e família de todos os possíveis subconjuntos nebulosos de um universo de discurso U por $F(U)$. Seja o intervalo de números reais $L = [0, 1]$.

Definição 4.2.1 (PFEILSTICKER, 1981). Um subconjunto nebuloso de um conjunto universo arbitrário U é uma função de U no intervalo de números reais L , $C: U \rightarrow L$; onde $C(u) \in L$ é interpretado como o grau com que $u \in U$ participa no conjunto nebuloso C , $C(u) = 0$ significa que $u \notin C$ e $C(u) = 1$ significa que $u \in C$.

Definição 4.2.2 (SANCHEZ, 1976). Uma relação nebulosa do conjunto não vazio U_1 para o conjunto não vazio U_2 é um subconjunto nebuloso N de $U_1 \times U_2$, ou seja, um elemento de $F(U_1 \times U_2)$. Usualmente a função de participação, que descreve o grau de participação de qualquer par ordenado $(u_1, u_2) \in U_1 \times U_2$ na relação nebulosa N , $N((u_1, u_2))$, é denotada por $N(u_1, u_2)$.

O universo de discurso U pode ser do tipo contínuo ou discreto. Esta abordagem considerou o universo discurso discreto finito de valores numéricos de *níveis* nas fontes, descrito na seção anterior. Neste quadro formal ele foi representado por:

$$U = 0.0 + 0.1 + 0.2 + 0.3 + 0.4 + 0.5 + 0.6 + 0.7 + 0.8 + 0.9 + 1.0, \quad (4.4)$$

onde o sinal + denota a operação de união, em vez da soma aritmética.

Neste caso, em que U é discreto, se C for um subconjunto nebuloso de U então C pode ser representado por:

$$C = C(0.0)/0.0 + C(0.1)/0.1 + \dots + C(1.0)/1.0 \quad (4.5)$$

ou

$$C = \sum_{i=1}^{11} C(u_i)/u_i. \quad (4.6)$$

Semelhantemente, se N for uma relação nebulosa de U para U então a relação nebulosa N pode ser representada por:

$$N = N(0.0, 0.0)/(0.0, 0.0) + \dots + N(1.0, 1.0)/(1.0, 1.0) \quad (4.7)$$

ou

$$N = \sum_{i=1}^{11} \sum_{j=1}^{11} N(u_i, u_j)/(u_i, u_j). \quad (4.8)$$

Estas definições encerram o primeiro quadro formal fundamental deste trabalho. Na próxima seção, este quadro foi adaptado de maneira a formalizar matematicamente as percepções e ações de um SOM para o problema de investimento. Além deste capítulo, esta seção fundamenta também o restante dos capítulos desta Parte II.

4.3 Percepções (P) e ações (A)

Considerando as descrições das percepções **P** do programa, realizadas no capítulo anterior, vale associar a cada *fonte de competitividade* uma variável lingüística X (PFEILSTICKER, 1981). Nestes casos, os valores destas variáveis são sentenças pertencentes à linguagem formada pelo conjunto de valores lingüísticos de *níveis* nas fontes. Por exemplo, considerando *níveis aspirados*, esta linguagem pode ser definida pelo seguinte conjunto:

$$T(\text{"Aspiração"}) = \dots + \text{muito baixo} + \text{médio} + \dots + \text{alto} + \text{muito alto} + \dots \quad (4.9)$$

O significado de cada valor lingüístico acima pode ser definido através de uma correspondência entre o conjunto $T(\text{"Aspiração"})$ e o universo de discurso U . Esta correspondência pode ser representada por uma relação nebulosa N_I de $T(\text{"Aspiração"})$ para U , que associa com cada valor lingüístico, vla , em $T(\text{"Aspiração"})$ e cada elemento, u , em U o grau $N_I(vla, u)$ ao qual vla se aplica a u . Por exemplo se $vla = \text{alto}$ e $u = 0.9$, então $N_I(\text{alto}, 0.9)$ pode ser 0.9 . Assim, para um valor lingüístico fixo $vla \in T(\text{"Aspiração"})$ e todo $u \in U$, $N_I(vla, u)$ define um subconjunto nebuloso A^* de U , cuja função de participação é dada por $A^*(u) = N_I(vla, u)$. Este subconjunto nebuloso é o significado matemático de vla .

Assim, considerando variáveis lingüísticas para representar fontes, qualquer valor lingüístico de nível em uma *fonte de competitividade* X pode ter seu significado expresso como um subconjunto nebuloso em U . Por exemplo, os significados dos valores lingüísticos *baixo*, *médio* e *alto* poderiam ser representados pelos seguintes subconjuntos nebulosos de U :

$$\text{baixo} = 0.5/0.2 + 0.7/0.3 + 1.0/0.4 + 0.7/0.5 + 0.5/0.6, \quad (4.10)$$

$$\text{médio} = 0.5/0.4 + 0.7/0.5 + 1.0/0.6 + 0.7/0.7 + 0.5/0.8, \quad (4.11)$$

$$\text{alto} = 0.5/0.7 + 0.7/0.8 + 0.9/0.9 + 1.0/1.0. \quad (4.12)$$

Conforme o capítulo anterior, um par (*fonte de competitividade*, *valor lingüístico de nível de aspiração*) define uma *meta* para o programa. As *metas* expressam em termos mensuráveis o significado de uma *posição desejada de competitividade*, transformando-a em um alvo para o

programa (DRIANKOV, 1987). Assim, considerando os conjuntos nebulosos para expressar o significado de valores lingüísticos, uma *meta nebulosa* pode ser definida:

Definição 4.3.3. Uma *meta* M_m é denominada *nebulosa* se o *nível de aspiração* A_m^* , atribuído à *fonte de competitividade* X_m no contexto de uma *posição desejada de competitividade*, for descrito em termos de um subconjunto nebuloso de U da forma:

$$M_m = (X_m, A_m^* = \sum_{i=1}^{11} A_m^*(u_i)/u_i)$$

onde:

X_m é o nome da *m-ésima* variável lingüística empregada para a representação da *m-ésima fonte de competitividade* dentro do contexto de uma *posição desejada de competitividade* sobre consideração;

A_m^* é o valor lingüístico particular de X_m pertencente a T (“*Aspiração*”) e representa o *nível de aspiração* atribuído à fonte X_m no contexto de uma *posição desejada de competitividade* sobre consideração;

$A_m^*(u_i)$ é o grau de participação de $u_i \in U$ no subconjunto nebuloso $A_m^* \in F(U)$.

De acordo com a abordagem de PFEILSTICKER (1981) para a definição de conceitos ambíguos, em geral, mais de uma *meta* deve ser empregada para clarear suficientemente o significado de uma *posição desejada de competitividade*. Cada *meta* com uma importância no contexto da *posição* contribui com um grau diferente para o significado deste conceito ambíguo. Considerando estas idéias, uma *posição nebulosa desejada de competitividade* em algum nó meta na árvore de busca do programa pode ser definida:

Definição 4.3.4. Uma *posição desejada de competitividade* em algum nó meta em G , PD , é denominada *nebulosa* se o significado de PD for expresso por um subconjunto nebuloso descrito em termos de *metas nebulosas* M_m e de graus de participação μ_m ($m = 1, \dots, M$), indicando subjetivamente o quanto as metas são importantes em PD ,

$$PD = \sum_{m=1}^M \mu_m/M_m.$$

Considerando esta definição, o conceito *posição nebulosa corrente de competitividade* em algum nó corrente, a uma profundidade K em G pode ser definida:

Definição 4.3.5. Uma *posição corrente de competitividade* em algum nó corrente situado a uma profundidade K em G , PC^K , é denominada nebulosa se o significado de PC^K for expresso por um subconjunto nebuloso descrito em termos de pares (X_m, C_m') e de graus de participação μ_m ($m = 1, \dots, M$), indicando subjetivamente o quanto os pares são importantes em PC^K ,

$$PC^K = \sum_{m=1}^M \mu_m / (X_m, C_m')$$

onde:

X_m é o nome da m -ésima variável lingüística empregada na representação da m -ésima fonte de competitividade;

$C_m' \in F(U)$ é o valor lingüístico particular de X_m pertencente ao conjunto de termos T (“Aspiração”) e representa o *nível corrente* atribuído à fonte X_m .

Do lado das **ações (A)**, no capítulo anterior, uma *ação tecnológica possível*, uma AMT *possível* para investimento, foi descrita através de conjuntos de informação. Por exemplo, considerando M fontes de competitividade, uma AMT particular deve ser descrita em M conjuntos de declarações se-então. Existe um conjunto para cada fonte percebida no ambiente. Cada conjunto descreve os efeitos da AMT em questão em termos de mudanças de *níveis* na fonte correspondente. Por exemplo, considerando que X_x representa a fonte de competitividade ‘*lead-time* de desenvolvimento de produtos’, então o conjunto informação da tecnologia CAD associado a esta fonte pode ser descrito por:

$$\left. \begin{array}{l} \text{se } X_x \text{ é baixíssimo então } X_x \text{ baixíssimo,} \\ \text{se } X_x \text{ é realmente baixo então } X_x \text{ baixíssimo,} \\ \text{se } X_x \text{ é baixo então } X_x \text{ baixíssimo,} \\ \text{se } X_x \text{ é médio então } X_x \text{ realmente baixo,} \\ \text{se } X_x \text{ é alto então } X_x \text{ é baixo,} \\ \text{se } X_x \text{ é realmente alto então } X_x \text{ médio,} \\ \text{se } X_x \text{ é altíssimo então } X_x \text{ é realmente alto} \end{array} \right\}. \quad (4.13)$$

Vale observar, cada item acima descreve uma relação entre o valor de *nível corrente* e o valor do *nível realizado* na fonte de competitividade “*lead-time*”, com a implementação de CAD. O conjunto de itens descreve uma dependência de X_x em X_x . Mais especificamente, o valor do *nível realizado* em X_x , com implementação de CAD, depende do valor do *nível corrente* em X_x , antes do investimento. São dependências estabelecidas por meio de declarações condicionais

nebulosas (ZADEH, 1973). Dentro do contexto da Teoria de Conjuntos Nebulosos, estas declarações podem ser definidas empregando-se a noção de relação nebulosa.

Por exemplo, considerando uma AMT_y e uma fonte X_x quaisquer, um conjunto contendo D destas declarações condicionais pode ser representado por:

$$\{ \text{Se } X_x \text{ é } C_{xyd} \text{ então } X_x = R_{xyd} \}_{d=1, \dots, D}, \quad (4.14)$$

onde C_{xyd} e R_{xyd} são subconjuntos nebulosos de U e expressam respectivamente o significado dos valores lingüísticos dos *níveis correntes* e *realizados* na fonte X_x , respectivamente antes e depois da implementação da AMT_y , descritos na declaração d .

Providenciando-se que o significado dos valores lingüísticos *correntes* e *realizados* são tais que para toda declaração d ($d = 1, \dots, z, \dots, D$), C_{xyd} e $R_{xyd} \in F(U)$, então uma declaração condicional nebulosa particular z é uma relação nebulosa $D_{xyz} \in F(UxU)$. Além do mais, por exemplo, considerando as D declarações pertencentes ao conjunto associado à fonte X_x , e que o significado de cada declaração é uma relação nebulosa, $D_{xy1}, \dots, D_{xyz}, \dots, D_{xyD} \in F(UxU)$ então o efeito do investimento na fonte X_x devido a AMT_y pode ser descrito através de uma única relação nebulosa $D_{xy} \in F(UxU)$. Considerando esta possibilidade uma *ação nebulosa* pode ser definida formalmente:

Definição 4.3.6. Uma ação tecnológica AMT_i é *nebulosa* se os efeitos da ação sobre o nível de cada fonte de competitividade X_m for descrito em termos de um subconjunto nebuloso D_{mi} em UxU . Neste caso a *ação tecnológica* AMT_i pode ser representada por um conjunto da forma:

$$AMT_i = \{ (X_m, D_{mi} = \sum_{i=1}^{11} \sum_{j=1}^{11} D_{mi}(u_i, u_j) / (u_i, u_j)) \}_{m=1, \dots, M}.$$

onde:

X_m é o nome da m -ésima variável lingüística empregada na representação da m -ésima fonte de competitividade afetada pela implementação de AMT_i ;

D_{mi} é uma avaliação lingüística do m -ésimo conjunto de declarações condicionais nebulosas, $\{ \text{Se } X_m \text{ é } C_{mud} \text{ então } X_m \text{ é } R_{mud} \}_{d=1, \dots, D}$, contido no conjunto informação que define AMT_i ;

$D_{mi}(u_i, u_j)$ é o grau de participação do par ordenado $(u_i, u_j) \in UxU$ na relação nebulosa $D_{mi} \in F(UxU)$.

Neste contexto, vale ressaltar, uma *ação nebulosa* AMT_y , particular, a princípio, vai ser formalizada através das relações nebulosas que dão significados às declarações condicionais nebulosas em seus conjuntos informação (por exemplo, considerando a fonte X_x : $D_{xyI}, \dots, D_{xyz}, \dots, D_{xyD}$). As relações que expressam o efeito da ação AMT_y em cada uma das fontes são obtidas como função deste conjunto informação (por exemplo, considerando a fonte X_x : D_{xy}).

Quanto ao conjunto de ações tecnológicas possíveis para o programa projetar configurações de AMTs, que transforme uma *posição nebulosa corrente* em uma *posição nebulosa desejada*, utilizando a definição de *ação nebulosa* acima, o *conjunto nebuloso de ações tecnológicas* possíveis, em algum nó corrente situado a uma profundidade K em G pode ser definido:

Definição 4.3.7. Um *conjunto de ações nebulosas tecnológicas possíveis* em algum nó corrente situado a uma profundidade K em G, ATP^K , é o conjunto formado por T *ações nebulosas tecnológicas* factíveis para investimento.

$$ATP^K = \{AMT_t\}_{t=1, \dots, T}$$

Finalmente, considerando as noções de *conjunto de AMTs nebulosas possíveis*, formas apropriadas para expressar o significado dos efeitos das AMTs possíveis, a *posição nebulosa corrente de competitividade* e regras de inferência nebulosas (FUKAMI et al, 1980) e (MIZUMOTO e ZIMMERMANN, 1982) o programa pode inferir as posições realizadas de competitividade, devido a todas as AMTs no conjunto de *AMTs possíveis*. A noção de posição realizada é semelhante às noções de posições corrente e aspirada de competitividade. Sendo assim, a definição de *posição nebulosa realizada de competitividade*, em algum nó situado a uma profundidade K + 1 em G, devida a implementação de uma *ação nebulosa tecnológica* AMT_t , particular, pode ser definida:

Definição 4.3.8. Uma *posição realizada de competitividade* em algum nó t situado a uma profundidade K + 1 em G, $PR_{Nót}^{K+1}$, devida a implementação de uma *ação nebulosa tecnológica* particular AMT_t , é *nebulosa*, se o significado de PR_t^{K+1} for expresso por um subconjunto nebuloso descrito em termos de pares (X_m, R_{mt}') e de graus de participação μ_m ($m = 1, \dots, M$), que indicam subjetivamente o quanto os pares apontam na mesma direção de $PR_{Nót}^{K+1}$,

$$PR_{Nói}^{K+1} = \sum_{m=1}^M \mu_m(X_m, R_{mi}')$$

onde:

X_m é o nome da m -ésima variável lingüística já empregada na representação da m -ésima fonte de competitividade dentro do contexto de uma posição desejada de competitividade sobre consideração;

$R_{mi}' \in F(U)$ é o valor lingüístico particular de X_m pertencente ao conjunto de termos T (“Aspiração”) e representa o nível realizado atribuído à fonte X_m no contexto da posição realizada nebulosa de competitividade, devida à implementação da ação tecnológica nebulosa particular AMT_i .

Assim, a Definição 4.3.8 completa o conjunto das principais definições para a formalização e significado das informações disponíveis para o programa projetar uma configuração. Diante da noção meta nebulosa, nos próximos capítulos o SOM para o investimento, passou a ser denominado SOMN, ou seja, o Sistema Orientado por Metas Nebulosas. O Capítulo 5 apresenta alguns resultados da Teoria de Conjuntos Nebulosos e a aplicação destes resultados na formalização das relações nebulosas presentes na Definição 4.3.6 e na obtenção dos níveis realizados presentes na Definição 4.3.8. O Capítulo 6 emprega este conjunto de definições, e descreve formalmente o problema de projeto de configurações de AMTs e uma lógica de busca de soluções para o problema.

Capítulo 5

Segunda Formalização

Este Capítulo 5 continua o trabalho de formalização iniciado no Capítulo 4. Ele apresenta outras definições e resultados da Teoria de Conjuntos Nebulosos, necessários à formalização das relações nebulosas que definem as *AMTs nebulosas* – Definição 4.3.6 – e de um mecanismo de inferência para o SOMN calcular o efeito do investimento nas *AMTs nebulosas* em termos de *posições nebulosas realizadas de competitividade* – Definição 4.3.8. O capítulo foi dividido em três seções. A Seção 5.1 discute sobre o raciocínio nebuloso e indica algumas abordagens para o problema de inferência nebulosa. A Seção 5.2 apresenta a fundamentação matemática necessária para a formalização das relações nebulosas e do mecanismo de inferência. A Seção 5.3 apresenta o processo de formalização propriamente dito.

5.1 Raciocínio nebuloso

No cálculo proposicional clássico a declaração *se A então B*, onde *A* e *B* são variáveis proposicionais, é denominada condicional, implicação. Esta declaração é denotada por $A \rightarrow B$, e definida de acordo com Tabela 5.1.

Tabela 5.1: Tabela verdade da implicação

<i>A</i>	<i>B</i>	$A \rightarrow B$
<i>V</i>	<i>V</i>	<i>V</i>
<i>V</i>	<i>F</i>	<i>F</i>
<i>F</i>	<i>V</i>	<i>V</i>
<i>F</i>	<i>F</i>	<i>V</i>

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL
SEÇÃO CIRCULANTE

Estamos acostumadas a declarar proposições no formato *se-então* e a raciocinar com estas proposições em diversos mundos de interesse (KURTZ, 1992). Por exemplo, é comum raciocinar empregando a regra de inferência *modus ponens*, ou seja: se A e $A \rightarrow B$ são verdadeiras então B também é verdadeira. Intuitivamente, não há como questionar um argumento no formato *modus ponens*. É este tipo de regra que o SOMN deve empregar na obtenção dos níveis realizados nas posições realizadas de competitividade, pelas AMTs possíveis para investimento.

Por exemplo, considerando uma declaração *se X_x é C_{xyz} então X_x é R_{xyz}* , que descreve parte do efeito da *ação nebulosa tecnológica* AMT_y sobre o nível na fonte X_x , o sistema deve ser capaz de inferir o *nível nebuloso realizado* por AMT_y em X_x , conhecendo o *nível nebuloso corrente* em X_x . Nestes casos, se o *nível nebuloso corrente* em X_x é C_{xyz} então é de se esperar que o *nível nebuloso realizado* em X_x é R_{xyz} . Mas, e se o *nível nebuloso corrente* em X_x for diferente de C_{xyz} , ou seja, X_x é C' , qual deve ser o valor do *nível nebuloso realizado* em X_x ? Intuitivamente, quando o nível C' é “próximo” de C_{xyz} , o valor de X_x vai ser, também, “próximo” de R_{xyz} . Mas e quando os valores não são “próximos”?

No contexto da Lógica Nebulosa, o antecedente e o conseqüente em uma declaração que descreve a mudança no *nível nebuloso* de uma fonte, são denominados predicados nebulosos (KLIR e FOLGER, 1992). Seus significados são subconjuntos nebulosos de U . A generalização da regra de inferência clássica *modus ponens* para abordar a implicação nebulosa deu origem à regra *modus ponens generalizado* (FUKAMI et. al., 1980) e (MIZUMOTO e ZIMMERMANN, 1982).

Este tipo de raciocínio aproximado desempenha um importante papel na realização do objetivo (G) do programa orientado por metas. A Teoria de Conjuntos Nebulosos providencia um quadro formal bem desenvolvido que pode ser empregado efetivamente na construção de mecanismos de inferências apropriados para o SOMN. A seção a seguir apresenta apenas uma parte deste quadro, ou seja, apenas as definições e resultados teóricos empregados nesta abordagem.

5.2 Interseção, inversa e composições de conjuntos nebulosos

No contexto da Teoria de Conjuntos Nebulosos, existem vários resultados que podem ser empregados na concepção de um mecanismo para o SOMN inferir o efeito do investimento em AMTs, em termos de mudanças nas posições de competitividade. Alguns destes resultados tiveram origem no campo das equações relacionais nebulosas. Estas equações foram inicialmente abordadas por SANCHEZ (1976). Esta seção descreve uma parte dos fundamentos necessários para o estudo destas equações e obtenção de suas soluções. Vale relembrar a notação iniciada na seção de fundamentos do capítulo anterior. Seja o intervalo de números reais $L = [0, 1]$.

Definição 5.2.1 (KAUFMANN, 1975). Sejam os conjuntos nebulosos C_1 e $C_2 \in F(U)$, definimos a interseção $C_1 \cap C_2$ como o maior subconjunto nebuloso de $F(U)$ contido ao mesmo tempo em C_1 e C_2 . Isto é, $(C_1 \cap C_2)(u) = \min(C_1(u), C_2(u))$ para todo $u \in U$.

Se $C_1, C_2, \dots, C_D \in F(U)$, então o subconjunto nebuloso $C = \bigcap_{d=1}^D C_d$ pode ser obtido:

$$C(u) = \inf\{C_i(u)\}, i = 1, 2, \dots, D \quad (5.1)$$

Vale ressaltar, se um conjunto $C_1 \in F(U)$ é maior que outro subconjunto $C_2 \in F(U)$ então para todo $u \in U$, $C_1(u) \geq C_2(u)$.

Definição 5.2.2 (SANCHEZ, 1976). Seja $D \in F(U \times U)$ uma relação nebulosa, a relação nebulosa D^{-1} inversa ou transposta de D , é definida por $D^{-1} \in F(U \times U)$ e $D^{-1}(u_2, u_1) = D(u_1, u_2)$ para todos $(u_2, u_1), (u_1, u_2) \in U \times U$.

De acordo com esta definição, se C é um subconjunto nebuloso de U então:

$$C^{-1}(u) = C(u) \quad (5.2)$$

para todo $u \in U$.

Definição 5.2.3 (FERNÁNDEZ et. al., 1992). Uma *norma triangular* (*norma-t*) é uma função de valor real de duas variáveis $T: L \times L \rightarrow L$ tal que

$$(a) T(x, 1) = x,$$

- (b) $T(x, y) = T(y, x)$,
- (c) $T[T(x, y), z] = T[x, T(y, z)]$,
- (d) $T(x, y) \leq T(x, z)$ se $y \leq z$, para todo $x, y, z \in L$.

FERNÁNDEZ et al (1992) apresentaram alguns exemplos de *normas-t*. Entre estes a *norma-t* abaixo é bastante utilizada em operações envolvendo a interseção de conjuntos e relações nebulosas:

$$T_1(x, y) = \min(x, y). \quad (5.3)$$

Definição 5.2.4 (FERNÁNDEZ et. al., 1992). Um *operador* $\varphi: L \times L \rightarrow L$ está associado com uma *norma-t* T se para todo $a, b, c \in L$:

- (a) $\varphi(a, \max\{b, c\}) = \max\{\varphi(a, b), \varphi(a, c)\}$,
- (b) $T(a, \varphi(a, b)) \leq b$,
- (c) $\varphi(a, T(a, b)) \geq b$.

De acordo com FERNÁNDEZ et. al. (1992), o *operador* φ_1 associado à *norma-t* T_1 , descrita em (5.3), denominado pseudocomplemento da *norma-t* T_1 , é:

$$\varphi_1(a, b) = \begin{cases} 1, & a \leq b \\ b, & a > b \end{cases} \quad (5.4)$$

Proposição 5.2.5 (FERNÁNDEZ et. al., 1992). Seja uma *norma-t* T e seja o *operador* $\varphi: L \times L \rightarrow L$ associado a T . Então para todo $a, b, c \in L$:

- (a) $\varphi(a, b_1) \leq \varphi(a, b_2)$ se $b_1 \leq b_2$,
- (b) $\varphi(a_1, b) \geq \varphi(a_2, b)$ se $a_1 \leq a_2$,
- (c) $\varphi(\varphi(a, b), b) \geq a$,
- (d) $\varphi(a, b) = \sup\{c \in L \mid T(a, c) \leq b\}$.

Definição 5.2.6 (FERNÁNDEZ et. al., 1992). Sejam D_1 e $D_2 \in F(U \times U)$ duas relações nebulosas, a *composição* *sup-T* de D_1 e D_2 , denotada por $D_1 \bullet_T D_2$, é definida como uma relação nebulosa em $U \times U$ cuja função de participação é dada por:

$$(D_1 \bullet_T D_2)(u_1, u_2) = \sup_{u \in U} [T(D_1(u_1, u), D_2(u, u_2))],$$

para todo $(u_1, u_2) \in U \times U$.

Para o caso em que $T = T_1$ a composição sup- T se transforma em sup- min , ou seja:

$$(D_1 \bullet D_2)(u_1, u_2) = \sup_{u \in U} [\min(D_1(u_1, u), D_2(u, u_2))], \quad (5.5)$$

para todo $(u_1, u_2) \in U \times U$.

Definição 5.2.7 (FERNÁNDEZ et. al., 1992). Sejam D_1 e $D_2 \in F(U \times U)$ duas relações nebulosas, a *composição inf- φ* de D_1 e D_2 , denotada por $D_1 \diamond_{\varphi} D_2$, é definida como uma relação nebulosa em $U \times U$ cuja função de participação é dada por:

$$(D_1 \diamond_{\varphi} D_2)(u_1, u_2) = \inf_{u \in U} [\varphi(D_1(u_1, u), D_2(u, u_2))],$$

para todo $(u_1, u_2) \in U \times U$.

Para o caso em que $\varphi = \varphi_1$ a composição inf- φ se transforma em inf- φ_1 , ou seja:

$$(D_1 \diamond D_2)(u_1, u_2) = \inf_{u \in U} [\varphi_1(D_1(u_1, u), D_2(u, u_2))], \quad (5.6)$$

para todo $(u_1, u_2) \in U \times U$.

A teoria de equações de relações nebulosas foi inicialmente proposta por SANCHEZ (1976). Ele considerou uma equação relacional da forma $Q \bullet R = T$ onde: $Q \in F(X \times Y)$, $R \in F(Y \times Z)$ e $T \in F(X \times Z)$, X , Y e Z são três conjuntos não vazios, e \bullet a composição sup- min descrita em (5.5). Ele obteve a maior solução desta equação quando são conhecidos Q e T , e a maior solução quando são conhecidos R e T . Este resultado está descrito no Teorema 5.2.9 abaixo. A demonstração original deste teorema faz uso do Lema 5.2.8 e, mais especificamente, da Proposição 5.2.5.

Lema 5.2.8 (MIYAKOSHI e SHIMBO, 1985). Seja $C_{xyz} \in F(U)$, $D \in F(U \times U)$ e $R_{xyz} \in F(U)$. Então:

- (a) $D \subseteq C_{xyz}^{-1} \diamond (C_{xyz} \bullet D)$.
- (b) $R_{xyz} \supseteq C_{xyz} \bullet (C_{xyz}^{-1} \diamond R_{xyz})$.

Teorema 5.2.9 (MIYAKOSHI e SHIMBO, 1985). Dados $C_{xyz}, R_{xyz} \in F(U)$ e $F_z = \{D \mid D \in F(U \times U) \text{ e } C_{xyz} \bullet D = R_{xyz}\}$. Se $F_z \neq \emptyset$ então a relação nebulosa $C_{xyz}^{-1} \diamond R_{xyz} \in F(U \times U)$ é o maior elemento de F_z .

Por sua vez, aproveitando os resultados obtidos até então, PEDRYCZ (1993) se preocupou com os sistemas de equações relacionais nebulosas. A Proposição 5.2.10 sintetiza uma solução particular para o caso em que as equações envolvem a composição sup-*min*.

Proposição 5.2.10 (PEDRYCZ, 1993). Dados $C_{xyd}, R_{xyd} \in F(U)$ e $F_d = \{D_d / D_d \in F(UxU) \text{ e } C_{xyd} \bullet D_d = R_{xyd}\}$, para $d = 1, \dots, D$.

Se $F = \bigcap_{d=1}^D F_d \neq \emptyset$ então a relação nebulosa $[(C_{xy1})^{-1} \diamond R_{xy1}) \cap \dots \cap (C_{xyD})^{-1} \diamond R_{xyD}] \in F$.

Além destes, diversos trabalhos foram publicados e os resultados têm sido utilizados no raciocínio aproximado (MIYAKOSHI, M. e SHIMBO, 1985), (FERNÁNDEZ et. al., 1992). Por exemplo, MIYAKOSHI e SHIMBO (1985) generalizaram o trabalho de SANCHEZ (1976) considerando uma equação da forma anterior, mas com composição sup-*T*. Mais recentemente, FERNÁNDEZ et. al. (1992) estenderam estes resultados, considerando equações envolvendo a composição sup-*T* e relações nebulosas definidas em subconjuntos nebulosos de X, Y , e Z . Estes resultados foram muito importantes na construção do mecanismo de inferência condicional nebulosa do SOMN. A próxima seção apresenta a formalização deste mecanismo.

5.3 Cálculo dos efeitos dos investimentos em AMTs

A Definição 4.3.6 pressupõe a existência de dois tipos de relações: relações nebulosas para expressar o significado de declarações condicionais nebulosas e relações nebulosas para expressar o significado de um conjunto de declarações. Cada relação do primeiro tipo expressa um efeito parcial no *nível* de uma fonte com o investimento em uma AMT. Cada relação do segundo tipo expressa o efeito total no *nível* da fonte com o investimento. Por exemplo, na Seção 4.3, considerando uma AMT_y e uma fonte X_x , as relações do primeiro tipo foram representadas por: $D_{xy1}, \dots, D_{xyz}, \dots, D_{xyD} \in F(UxU)$; e as do segundo, por: $D_{xy} \in F(UxU)$.

Empregando estas relações e o conhecimento do *nível nebuloso corrente* em X_x , $C_x' \in F(U)$, o SOMN deve ser capaz de inferir o *nível nebuloso realizado* nesta fonte, $R_{xy}' \in F(U)$, com o investimento na AMT_y . Conforme a Definição 4.3.8, este *nível* deve compor a *posição nebulosa*

realizada de competitividade pela AMT_y . Neste contexto, a especificação de formas apropriadas para as relações nebulosas é muito importante para o bom funcionamento do mecanismo de inferência do SOMN. Sabe-se que esta especificação depende do tipo de regra de inferência utilizada. Neste contexto, como é comum nos trabalhos sobre o raciocínio aproximado, o SOMN foi programado para funcionar de acordo com a regra de inferência composicional nebulosa (ZADEH, 1973).

Considerando esta regra o problema de especificação foi reduzido a dois problemas envolvendo as soluções de equações relacionais nebulosas. O primeiro problema, denominado **problema trivial**, considerou a inferência nebulosa no caso em que o conjunto de itens de informação de uma AMT_y , relacionado a uma fonte X_x , contém uma única declaração condicional nebulosa da forma *se X_x é C_{xyz} então X_x é R_{xyz}* . A solução do problema trivial deu origem a uma forma para relações do tipo D_{xyz} . O segundo problema, denominado **problema geral**, considerou a inferência nebulosa para o caso em que o conjunto contém D declarações condicionais nebulosas {Se X_x é C_{xyd} então $X_x = R_{xyd}$ } $d = 1, \dots, D$. A solução do problema geral deu origem a uma forma para D_{xy} .

A Figura 5.1 descreve graficamente a maneira como o problema trivial ocorre na construção da árvore de busca que o SOMN, durante a geração do ramo devido a AMT_y . Na realidade, o programa deve resolver M problemas deste tipo para obter $PR_{Nóy}^{K+1}$, já que existem M fontes de competitividade definindo PC^K .

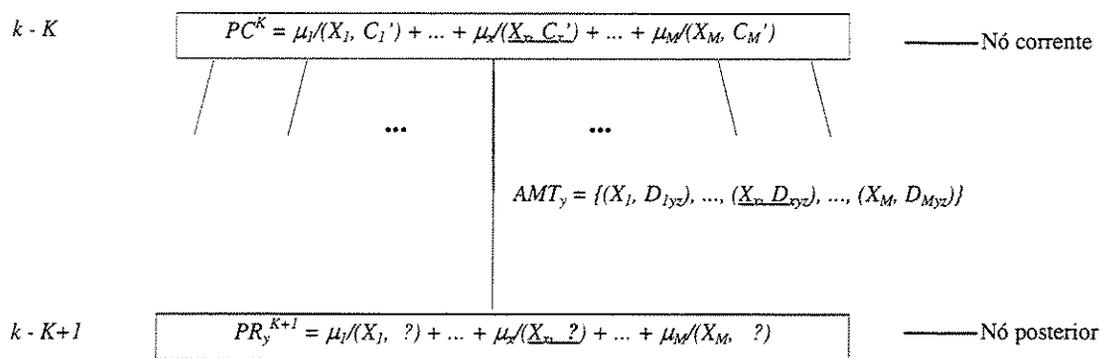


Figura 5.1: Problema trivial

Neste caso, em que $D = 1$, considerando apenas o problema cuja interrogação está sublinhada, tem-se o seguinte problema trivial de inferência:

$$\begin{array}{l} \text{Ant 1: se } X_x \text{ é } C_{xyz} \text{ então } X_x \text{ é } R_{xyz}. \\ \text{Ant 2: } X_x \text{ é } C_x'. \\ \hline \text{Cons: } X_x \text{ é ?} \end{array} \quad (5.7)$$

onde C_x', C_{xyz}, R_{xyz} e $R_{xy}' \in F(U)$. Este problema é enunciado da seguinte maneira:

problema trivial: conhecendo-se a relação nebulosa que define a declaração condicional nebulosa \underline{z} , se X_x é C_{xyz} então X_x é R_{xyz} , ou seja, $D_{xyz} \in F(U \times U)$, correspondente à ação nebulosa AMT_y , o valor do nível corrente na fonte X_x , na posição corrente nebulosa de competitividade PC^K , ou seja, $C_x' \in F(U)$; determinar o valor do nível realizado em X_x , na posição realizada nebulosa de competitividade $PR_{Nóy}^{K+1}$, ou seja, $R_{xy}' \in F(U)$, devido ao investimento na AMT_y .

Conforme o padrão adotado nos trabalhos que lidam com a inferência nebulosa, a regra de inferência composicional pode ser adaptada de maneira a encontrar um conseqüente em (5.7):

Regra de inferência composicional: Se D_{xyz} é uma relação nebulosa de U para U , e C_x' é um subconjunto nebuloso de U , o subconjunto nebuloso R_{xy}' de U , induzido por C_x' , pode ser obtido pela composição $\text{sup-}T_1$ de C_x' e D_{xyz} ; isto é,

$$C_x' \bullet D_{xyz} = R_{xy}', \quad (5.8)$$

ou, de acordo com a Definição 5.2.6 e a expressão (5.5),

$$R_{xy}'(u_1) = \sup_{u \in U} [\min(C_x'(u), D_{xyz}(u, u_1))] \quad (5.9)$$

para todo $u_1 \in U$.

De acordo com este esquema de inferência, a expressão (5.8) configura uma equação relacional nebulosa. Considerando esta equação é possível obter uma forma para a relação nebulosa $D_{xyz} \in F(U \times U)$. A princípio, sabe-se que esta relação tem significado expresso por uma função de participação da forma:

$$D_{xyz}(u_1, u_2) = F(C_{xyz}(u_1), R_{xyz}(u_2)), \quad (5.10)$$

para todo $u_1, u_2 \in U$, onde F é uma função de $L \times L \rightarrow L$. Some-se a isto, ela deve ser tal que em (5.8), quando $C_x' = C_{xyz}$ então $R_{xy}' = R_{xyz}$. Neste caso, exige-se que D_{xyz} em conjunto com a regra

de inferência composicional, ou seja, o mecanismo de inferência do SOMN, comporte-se como a regra de inferência *modus ponens* clássica (KURTZ, 1992):

$$\frac{\begin{array}{l} \text{Ant 1: se } X_x \text{ é } C_{xyz} \text{ então } X_x \text{ é } R_{xyz}. \\ \text{Ant 2: } X_x \text{ é } C_{xyz}. \end{array}}{\text{Cons: } X_x \text{ é } R_{xyz}.} \quad (5.11)$$

Considerando-se estes requisitos, (5.8) se transforma na seguinte equação:

$$C_{xyz} \bullet D_{xyz} = R_{xyz}. \quad (5.12)$$

Assim, denotando-se a família de relações nebulosas que satisfaz (5.12) por F_z , o problema de encontrar D_{xyz} pode ser estabelecido:

$$(P-1) D_{xyz} \in F_z = \{D \mid D \in F(UxU) \text{ e } C_{xyz} \bullet D = R_{xyz}\}?$$

Sobre a regra de inferência composicional, se $F_z = \emptyset$ então não existe uma relação nebulosa tal que (5.12) vale. Considerando a composição *sup-min*, SANCHEZ (1976) demonstrou que se $F_z \neq \emptyset$ então existe uma relação nebulosa que pode ser representada por uma composição do tipo *inf- ϕ_I* (FERNÁNDEZ et al, 1992). Este resultado foi declarado no Teorema 5.2.9. Ele propõe uma solução para (P-1). Empregando a maior solução em F_z para expressar o significado da relação nebulosa D_{xyz} , obtém-se a seguinte forma:

$$D_{xyz} = C_{xyz}^{-1} \diamond R_{xyz}. \quad (5.13)$$

Além de (5.13), outras formas podem ser empregadas para expressar o significado de D_{xyz} (FUKAMI et. al., 1980) e (MIZUMOTO e ZIMMERMANN, 1982). Considerando esta possibilidade, ou seja, substituindo-se (5.13) em (5.8), o mecanismo de inferência para o caso trivial pode ser formalizado:

$$C_x' \bullet (C_{xyz}^{-1} \diamond R_{xyz}) = R_{xy}'. \quad (5.14)$$

Generalizando (5.14) para o caso da Figura 5.1, o SOMN pode obter o valor do *nível realizado* pela AMT_y em cada uma das M fontes que descrevem PR_y^{K+1} , R_{my}' ($m = 1, \dots, x, \dots, M$), da seguinte maneira:

$$\begin{array}{l} C_1' \bullet (C_{1yz}^{-1} \diamond R_{1yz}) = R_{1y}', \\ \dots \end{array}$$

$$\begin{aligned}
C_x' \bullet (C_{xyz}^{-1} \diamond R_{xyz}) &= R_{xy}', \\
&\dots \\
C_M' \bullet (C_{Myz}^{-1} \diamond R_{Myz}) &= R_{My}'.
\end{aligned} \tag{5.15}$$

Assim, as expressões (5.15) encerram o **problema trivial**. A partir destes resultados o **problema geral** pode ser abordado e uma forma para o outro tipo de relação nebulosa pode ser encontrada. A Figura 5.2 descreve graficamente este problema.

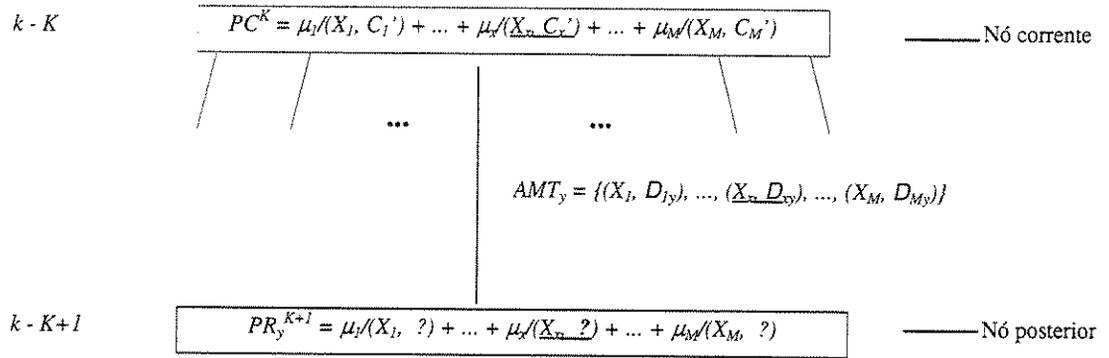


Figura 5.2: Problema geral

Neste caso, em que $D > 1$, considerando apenas o problema cuja interrogação está sublinhada, tem-se o seguinte problema geral de inferência:

$$\begin{aligned}
Ant_1: & \text{ se } X_x \text{ é } C_{xy1} \text{ então } X_x \text{ é } R_{xy1}. \\
& \dots \\
Ant_z: & \text{ se } X_x \text{ é } C_{xyz} \text{ então } X_x \text{ é } R_{xyz}. \\
& \dots \\
Ant_D: & \text{ se } X_x \text{ é } C_{xyD} \text{ então } X_x \text{ é } R_{xyD}. \\
\hline
Ant_{D+1}: & \underline{X_x \text{ é } C_x'}. \\
Cons: & X_x \text{ é } ?
\end{aligned} \tag{5.16}$$

onde $C_x', C_{xy1}, \dots, C_{xyz}, \dots, C_{xyD}, R_{xy1}, \dots, R_{xyz}, \dots, R_{xyD} \in F(U)$. Este problema é enunciado da seguinte maneira:

problema geral: conhecendo-se a relação nebulosa que define o subconjunto de D declarações condicionais nebulosas, $\{\text{se } X_x \text{ é } C_{xyd} \text{ então } X_x \text{ é } R_{xyd}\}_{d=1, \dots, z, \dots, D}$, digamos $D_{xy} \in F(U \times U)$, correspondente à ação nebulosa AMT_y , o valor do nível corrente na fonte X_x , na posição corrente nebulosa de competitividade PC^K , digamos $C_x' \in F(U)$; determinar o valor do nível realizado em X_x , na posição realizada nebulosa de competitividade $PR_{Nóy}^{K+1}$, digamos $R_{xy}' \in F(U)$, devido ao investimento na AMT_y .

Seguindo a mesma linha de raciocínio do **problema trivial**, é possível adaptar a regra de inferência composicional para encontrar um conseqüente em (5.16):

$$C_x' \bullet D_{xy} = R_{xy}', \quad (5.17)$$

ou, de acordo com a Definição 5.2.6 e a expressão (5.5),

$$R_{xy}'(u_1) = \sup_{u \in U} [\min(C_x'(u), D_{xy}(u, u_1))] \quad (5.18)$$

para todo $u_1 \in U$.

Requisitando-se as mesmas propriedades requisitadas para a relação nebulosa D_{xyz} , inclusive a inferência *modus ponens*, a relação nebulosa D_{xy} deve satisfazer o seguinte sistema de equações relacionais nebulosas:

$$\begin{aligned} C_{xy1} \bullet D_{xy} &= R_{xy1}, \\ &\dots \\ C_{xyz} \bullet D_{xy} &= R_{xyz}, \\ &\dots \\ C_{xyD} \bullet D_{xy} &= R_{xyD}, \end{aligned} \quad (5.19)$$

Assim, denotando por F_d a família de relações nebulosas que satisfaz a d -ésima equação em (5.19), ou seja, $F_d = \{D_d / D_d \in F(U \times U) \text{ e } C_{xyd} \bullet D_d = R_{xyd}\}$, e F a interseção destas famílias, o problema de encontrar D_{xy} pode ser estabelecido:

$$(P-2) \ D_{xy} \in F = \bigcap_{d=1}^D F_d ?$$

Este é um problema típico de sistemas de equações relacionais nebulosas. Para o caso em que o sistema de equações envolve composições *sup-T*, PEDRYCZ (1993) demonstrou que: se $F \neq \emptyset$ então a relação nebulosa resultante da interseção de relações nebulosas com composição *inf- φ* é solução para o sistema. Este resultado foi descrito na Proposição 5.2.10. Adaptando este resultado ao caso de (P-2), em que o sistema de equações é composto por composições *sup-min*, então a relação nebulosa D_{xy} pode assumir a forma de uma interseção de composições *inf- φ* :

$$D_{xy} = (C_{xy1}^{-1} \diamond R_{xy1}) \cap \dots \cap (C_{xyD}^{-1} \diamond R_{xyD}). \quad (5.20)$$

Considerando esta forma, o programa pode calcular o efeito da implementação de AMT_y em termos da mudança proporcionada no *nível corrente* na fonte X_x , $C_x' \in F(U)$, na *posição corrente nebulosa de competitividade* PC^K . Neste caso, substituindo-se (5.20) em (5.17), o valor do *nível realizado* pela AMT_y em X_x , $R_{xy}' \in F(U)$, na *posição realizada nebulosa de competitividade* $PR_{Nóy}^{K+1}$, pode ser obtido como:

$$C_x' \bullet [(C_{xyI}^{-1} \diamond R_{xyI}) \cap \dots \cap (C_{xyD}^{-1} \diamond R_{xyD})] = R_{xy}'. \quad (5.21)$$

Generalizando (5.19) para o caso da Figura 5.2, onde são conhecidos os valores dos *níveis correntes* nas M fontes de competitividade que descrevem PC^K , C_m' ($m = 1, \dots, x, \dots, M$), o SOMN pode obter o valor do *nível realizado* pela AMT_y em cada uma das M fontes que descrevem $PR_{Nóy}^{K+1}$, R_{my}' ($m = 1, \dots, x, \dots, M$):

$$\begin{aligned} C_1' \bullet [(C_{1yI}^{-1} \diamond R_{1yI}) \cap \dots \cap (C_{1yD}^{-1} \diamond R_{1yD})] &= R_{1y}', \\ \dots \\ C_x' \bullet [(C_{xyI}^{-1} \diamond R_{xyI}) \cap \dots \cap (C_{xyD}^{-1} \diamond R_{xyD})] &= R_{xy}', \\ \dots \\ C_M' \bullet [(C_{MyI}^{-1} \diamond R_{MyI}) \cap \dots \cap (C_{MyD}^{-1} \diamond R_{MyD})] &= R_{My}'. \end{aligned} \quad (5.22)$$

As expressões (5.22) encerram a descrição do **problema geral** e do mecanismo de inferência adotado pelo SOMN. Este mecanismo deve calcular o efeito de qualquer AMT em termos da mudança proporcionada no *nível corrente* em cada uma das fontes de competitividade. Assim, considerando formas do tipo de (5.19), uma *ação nebulosa tecnológica* particular AMT_y vai ser definida por:

$$AMT_y = \{(X_m \sum_{i=1}^{11} \sum_{j=1}^{11} [(C_{myi}^{-1} \diamond R_{myi}) \cap \dots \cap (C_{myD}^{-1} \diamond R_{myD})](u_i, u_j)/(u_i, u_j))\}_{m=1, \dots, M}. \quad (5.22)$$

Este esquema pode ser generalizado para qualquer uma das T *ações nebulosas tecnológicas* do conjunto nebuloso de *ações nebulosas tecnológicas possíveis*, em qualquer profundidade k em G , ATP^k . Por exemplo, supondo que as tecnologias $AMT_1, \dots, AMT_y, \dots, e AMT_T$ estão disponíveis para investimento, o conjunto ATP^k pode ser representado por:

$$\begin{aligned} ATP^k = \{ \{ (X_m \sum_{i=1}^{11} \sum_{j=1}^{11} [(C_{m1i}^{-1} \diamond R_{m1i}) \cap \dots \cap (C_{m1D}^{-1} \diamond R_{m1D})](u_i, u_j)/(u_i, u_j)) \}_{m=1, \dots, M}; \\ \dots; \\ \{ (X_m \sum_{i=1}^{11} \sum_{j=1}^{11} [(C_{myi}^{-1} \diamond R_{myi}) \cap \dots \cap (C_{myD}^{-1} \diamond R_{myD})](u_i, u_j)/(u_i, u_j)) \}_{m=1, \dots, M}; \end{aligned}$$

$$\{ (X_m, \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n [(C_{mTI}^{-1} \diamond R_{mTI}) \cap \dots \cap (C_{mTD}^{-1} \diamond R_{mTD})](u_i, u_j) / (u_i, u_j)) \}_{m=1, \dots, M}. \quad (5.24)$$

Assim, as especificações realizadas neste capítulo e o conjunto de definições presentes no capítulo anterior, quase completam o quadro formal utilizado pelo SOMN durante a escolha e o projeto de configurações de AMTs satisfatórias. O próximo capítulo apresenta o restante do quadro necessário à formalização do problema de investimento e do esquema de busca heurística, esboçados no Capítulo 3.

Capítulo 6

Terceira Formalização

Este Capítulo 6 encerra o trabalho de formalização iniciado nos Capítulos 4 e 5. Ele completa o conjunto de definições e resultados da Teoria de Conjuntos Nebulosos, necessários à formalização do esquema de busca heurística esboçado no Capítulo 3 e à programação do SOMN para resolver problemas de investimento. O capítulo foi dividido em quatro seções. A Seção 6.1 discute de maneira mais específica e formal o ciclo de ações apresentado ao final do Capítulo 3, ou seja, que implementa o esquema de busca do sistema. A Seção 6.2 apresenta um quadro formal sobre medidas de nebulosidade, necessárias à formalização de funções avaliação de *AMTs nebulosas* e de *posições nebulosas*, respectivamente nos passos 2 e 3 do ciclo. A Seção 6.3 apresenta o modelo de um gerador-avaliador de *AMTs* e *posições*, fundamental para a execução dos passos 2 e 3 do ciclo. Finalmente, a Seção 6.4 apresenta uma descrição procedimental do esquema de busca heurística nebulosa formalizado até a Seção 6.3 deste trabalho.

6.1 Busca heurística nebulosa

Considerando o **PAGE** (**P**erceptions, **A**ctions, **G**oals, **E**nvironment) do SOMN, formalizado nos Capítulos 4 e 5, mais especificamente as Definições 4.3.3-4.3.7 e a expressão 5.24, o problema de investimento enunciado ao final do Capítulo 2 pode ser formalizado:

Conhecendo-se:

1. Conjunto de AMTs nebulosas possíveis:

$$\begin{aligned}
 ATP^0 = & \{ \{ (X_m \sum_{i=1}^{11} \sum_{j=1}^{11} [(C_{m1i}^{-1} \diamond R_{m1i}) \cap \dots \cap (C_{m1D}^{-1} \diamond R_{m1D})] (u_i, u_j) / (u_i, u_j)) \}_{m=1, \dots, M}; \\
 & \dots; \\
 & \{ (X_m \sum_{i=1}^{11} \sum_{j=1}^{11} [(C_{myi}^{-1} \diamond R_{myi}) \cap \dots \cap (C_{myD}^{-1} \diamond R_{myD})] (u_i, u_j) / (u_i, u_j)) \}_{m=1, \dots, M}; \\
 & \dots; \\
 & \{ (X_m \sum_{i=1}^{11} \sum_{j=1}^{11} [(C_{mTi}^{-1} \diamond R_{mTi}) \cap \dots \cap (C_{mTD}^{-1} \diamond R_{mTD})] (u_i, u_j) / (u_i, u_j)) \}_{m=1, \dots, M} \};
 \end{aligned}$$

2. Posições nebulosas corrente e desejada de competitividade:

$$PC^0 = \mu_1/(X_1, C_1') + \mu_2/(X_2, C_2') + \dots + \mu_M/(X_M, C_M')$$

$$PD = \mu_1/(X_1, A_1^*) + \mu_2/(X_2, A_2^*) + \dots + \mu_M/(X_M, A_M^*).$$

Encontrar:

Configuração de AMTs, $AMT_X \dots AMT_Y$ de ATP^0 que transforme PC^0 em PD .

Considerando este novo enunciado e a Definição 4.3.8, o ciclo de ações genérico descrito ao final do Capítulo 3, para o SOMN repetir até encontrar uma configuração de AMTs que transforme PC^0 em PD , pode ser formalizado:

SELECIONAR A PRIMEIRA DESCRIÇÃO DE *posição nebulosa corrente de competitividade* PC^K EM UMA LISTA DE TENTATIVAS, E REMOVÊ-LA DA LISTA

SELECIONAR \underline{h} AMTs nebulosas DE ATP^K , $AMT_{(1)}, \dots, AMT_{(b)}$, E OBTER O EFEITO DESTAS EM PC^K

AVALIAR AS \underline{h} *posições nebulosas realizadas de competitividade* $PR_{(1)}^{K+1}, \dots, PR_{(b)}^{K+1}$, GERADAS NO PASSO ANTERIOR, EM RELAÇÃO À *posição nebulosa de competitividade* PD , E ARMAZENÁ-LAS EM ORDEM DE VALORES NA LISTA DE TENTATIVAS

No início do processo de projeto a lista de tentativas deve conter somente a *posição nebulosa corrente de competitividade* da companhia PC^0 . O ciclo deve ser repetido até uma *posição nebulosa realizada* $PR_{(?)^K}$ ser igual à *posição nebulosa desejada de competitividade* PD , ou até um esforço limite ter sido alcançado. Neste caso, o SOMN deve retornar como solução a configuração de AMTs que produziu este efeito. O sucesso deste ciclo pressupõe a geração e a avaliação de AMTs nebulosas e de *posições nebulosas realizadas*. Neste contexto, é extremamente importante o papel do **PAGE** e do mecanismo de inferência condicional nebulosa para o cálculo dos efeitos do investimento, propostos nos dois últimos capítulos.

Por sua vez, o sucesso de um mecanismo gerador-avaliador ainda vai depender da formalização de outras noções implícitas no ciclo. Uma interpretação deste ciclo permite a abstração de algumas destas noções. Para o caso do problema de investimento, a princípio, mais três idéias foram úteis na concepção do ciclo: *AMT nebulosa ideal*, *AMT_j nebulosa similar* e *AMT nebulosa promissora*. Informalmente, estas idéias podem ser definidas:

- uma *AMT_i nebulosa é ideal* se ela elimina as diferenças entre os níveis das fontes descritos nas posições corrente e desejada nebulosas de competitividade;
- uma *AMT_j nebulosa é similar* a uma *AMT_i nebulosa* se for possível obter uma medida de similaridade entre as relações nebulosas que as definem;
- uma *AMT_j nebulosa é promissora* se as relações nebulosas que a definem e as relações nebulosas que definem a *AMT_i nebulosa ideal* são similares.

Considerando estas noções, em qualquer etapa de decisão K , no passo 2 do ciclo, primeiramente, considerando a *posição nebulosa* PC^K selecionada no passo 1 e a *posição nebulosa* PD , percebida aferente, o SOMN deve gerar uma *AMT_i nebulosa ideal*. Em seguida, ele deve avaliar as T *AMTs nebulosas* disponíveis em ATP^K em relação à *AMT_i* e selecionar as b mais *promissoras* $AMT_{(1)}, \dots, AMT_{(b)}$. Posteriormente, considerando PC^K e a descrição dos efeitos das b *AMTs promissoras*, ele deve gerar as *posições nebulosas* $PR_{(1)}^{K+1}, \dots, PR_{(b)}^{K+1}$. No passo 3, considerando PD , o programa deve avaliar as $PR_{(1)}^{K+1}, \dots, PR_{(b)}^{K+1}$ e armazenar estas *posições nebulosas* e/ou as *AMTs* que lhes deram origem em ordem na lista de tentativas.

Grande parte do trabalho para a concepção do mecanismo gerador do SOMN já foi realizado. Mais especificamente, a abordagem proposta para este mecanismo emprega os resultados teóricos envolvendo as equações relacionais nebulosas, obtidos por SANCHEZ (1976) e MIYAKOSHI e SHIMBO (1985), para gerar *AMTs nebulosas ideais*, e a regra de inferência composicional, proposta por ZADEH (1973), para gerar as b *posições nebulosas realizadas* mais *promissoras*.

Por outro lado, no que diz respeito à formalização do mecanismo avaliador, este deve ser capaz de avaliar as *T* AMTs *nebulosas possíveis* e as *b* posições *nebulosas realizadas* pelas AMTs mais *promissoras*. De acordo com o esquema proposto, no primeiro caso a medida de avaliação deve considerar a *AMT nebulosa ideal*, obtida em um ciclo em questão. No segundo caso, a medida deve considerar a *posição nebulosa desejada* de competitividade *PD*. Estas medidas podem ser formalizadas através de medidas de distância e similaridade de conjuntos nebulosos (XUENCHENG, 1992). A próxima seção apresenta um quadro para a formalização deste mecanismo avaliador.

6.2 Medidas de nebulosidade

A entropia de um conjunto nebuloso é uma medida de nebulosidade do conjunto (XUENCHENG, 1992). Ela é uma função que atribui um valor a cada subconjunto nebuloso de um universo de discurso. Este valor caracteriza o grau de nebulosidade do subconjunto nebuloso. Existem medidas de entropia geradas a partir de medidas de distância de conjuntos nebulosos. Uma medida de distância entre dois conjuntos nebulosos é uma medida que descreve a diferença entre os conjuntos nebulosos (XUENCHENG, 1992). Dual à medida de distância, a medida de similaridade entre dois conjuntos nebulosos é uma medida que indica a similaridade entre os conjuntos (XUENCHENG, 1992).

A Teoria de Conjuntos Nebulosos providencia um quadro formal básico dentro do qual medidas de nebulosidade podem ser formuladas (LOO, 1977), (DE LUCA e TERMINI, 1972), (WANG, 1982), (KLIR e FOLGER, 1992) e (XUENCHENG, 1992). XUENCHENG (1992) sintetizou todo o quadro necessário à formalização do mecanismo avaliador do SOMN. As definições a seguir descrevem este quadro. Para o bom entendimento do mesmo, vale considerar a notação adotada: $R^+ = [0, +\infty)$; $P(U)$ é a família de todos os conjuntos definidos em U ; $[1/2]_U \in F(U)$ tal que $[1/2]_U(u) = 0.5, \forall u \in U$; $C^C \in F(U)$ é o complemento de $C \in F(U)$, ou seja, $C^C(u) = 1 - C(u), \forall u \in U$; e F é uma subclasse de $F(U)$ com: (1) $P(U) \subset F$, (2) $[1/2]_U \in F$, (3) $C_1, C_2 \in F \Rightarrow C_1 \cup C_2 \in F$.

Definição 6.2.1 (XUENCHENG, 1992). Uma função de valor real $dis: F^2 \rightarrow R^+$ é uma medida de distância em F se dis tem as seguintes propriedades:

- (a) $dis(C_1, C_2) = dis(C_2, C_1), \forall C_1, C_2 \in F$;
- (b) $dis(C, C) = 0, \forall C \in F$;
- (c) $dis(D, D^C) = \max_{C_1, C_2 \in F} dis(C_1, C_2), \forall D \in P(U)$;
- (d) $\forall C_1, C_2, C_3 \in F$, se $C_1 \subset C_2 \subset C_3$ então $dis(C_1, C_2) \leq dis(C_1, C_3)$ e $dis(C_2, C_3) \leq dis(C_1, C_3)$.

Definição 6.2.2 (XUENCHENG, 1992). Uma função de valor real $sim: F^2 \rightarrow R^+$ é uma medida de similaridade em F se sim tem as seguintes propriedades:

- (a) $sim(C_1, C_2) = sim(C_2, C_1), \forall C_1, C_2 \in F$;
- (b) $sim(D, D^C) = 0, \forall D \in P(U)$;
- (c) $sim(C, C) = \max_{C_1, C_2 \in F} sim(C_1, C_2), \forall C \in F$;
- (d) $\forall C_1, C_2, C_3 \in F$, se $C_1 \subset C_2 \subset C_3$ então $sim(C_1, C_2) \geq sim(C_1, C_3)$ e $sim(C_2, C_3) \geq sim(C_1, C_3)$.

Definição 6.2.3 (XUENCHENG, 1992). Se uma medida de distância dis em F satisfaz $\max_{C_1, C_2 \in F} dis(C_1, C_2) = 1$ então dis é uma medida de distância normal em F .

Definição 6.2.4 (XUENCHENG, 1992). Se uma medida de similaridade sim em F satisfaz $\max_{C_1, C_2 \in F} sim(C_1, C_2) = 1$ então sim é uma medida de similaridade normal em F .

Proposição 6.2.5 (XUENCHENG, 1992). Existe uma correlação uma-a-uma entre medidas de distância e similaridade, e uma medida de distância normal dis e sua correspondente medida de similaridade normal sim satisfazem $dis + sim = 1$.

Existem várias formulações de medidas de distância e similaridade entre conjuntos nebulosos satisfazendo as propriedades descritas nas Definições 6.2.1 e 6.2.2 (XUENCHENG, 1992). Várias delas podem servir para a avaliação das *AMTs possíveis* e das *posições nebulosas realizadas* de competitividade. No mecanismo de avaliação do SOMN a seguinte medida de distância normal foi adotada como base:

$$dis_1^{(p)}(C_1, C_2) = \left(\sum_{i=1}^{11} |C_1(u_i) - C_2(u_i)|^p \right)^{1/p} / n^{1/p}, \quad (6.1)$$

onde $p \geq 1$, n é o número de elementos do universo U , e $u_i \in U$. Além do mais, considerando a expressão (6.1) e a Proposição 6.2.5, é possível obter a seguinte medida de similaridade correspondente:

$$sim_1^{(p)}(C_1, C_2) = 1 - dis_1^{(p)}(C_1, C_2) \quad \forall C_1, C_2 \in F(U). \quad (6.2)$$

Neste contexto, vale observar que $dis_I^{(p)}(C, C^C) = \max_{C_1, C_2 \in F} dis_I^{(p)}(C_1, C_2) = 1, \forall C \in F$, e $sim_I^{(p)}(C, C) = \max_{C_1, C_2 \in F} sim_I^{(p)}(C_1, C_2) = 1, \forall C \in F$, e, conseqüentemente, de acordo com as Definições 6.2.4, $dis_I^{(p)}$ e $sim_I^{(p)}$ são medidas normais. Para $p = 2$, $dis_I^{(2)}$ é a distância Euclidiana (XUENCHENG, 1992). Vale ressaltar, no mecanismo avaliador, no passo 2 do ciclo, a avaliação de *AMTs nebulosas* implicou na utilização $dis_I^{(2)}$ para medir distâncias entre relações nebulosas, por exemplo:

$$dis_I^{(2)}(R_1, R_2) = \left(\sum_{i=1}^{11} \sum_{j=1}^{11} |R_1(u_i, u_j) - R_2(u_i, u_j)|^2 \right)^{1/2} / 121^{1/2}, \quad (6.3)$$

onde $u_i, u_j \in U, \forall R_1, R_2 \in F(U \times U)$. No passo 3, a avaliação de *posições nebulosas realizadas* implicou na utilização de $dis_I^{(2)}$ para medir distâncias entre conjuntos nebulosos, por exemplo:

$$dis_I^{(2)}(C_1, C_2) = \left(\sum_{i=1}^{11} |C_1(u_i) - C_2(u_i)|^2 \right)^{1/2} / 11^{1/2}, \quad (6.4)$$

onde $u_i \in U, \forall C_1, C_2 \in F(U)$.

Vale observar duas propriedades das medidas (6.3) e (6.4) interessantes no contexto do mecanismo avaliador do SOMN. Por exemplo, obtendo-se a medida de similaridade correspondente à medida de distância (6.4) e considerando-se a Definição 6.2.1, quando $dis_I^{(2)}(C, C) = 0$ então $sim_I^{(2)}(C, C) = 1, \forall C \in F$, e quando $dis_I^{(2)}(C, C^C) = 1$ então $sim_I^{(2)}(C, C^C) = 0, \forall D \in P(U)$. O valor destas propriedades para o avaliador pode ser percebido na próxima seção com a formalização das funções avaliação de *AMTs nebulosas* e de *posições nebulosas realizadas* de competitividade, e nas discussões sobre o que vem a ser uma *AMT promissora*.

6.3 Gerador-Avaliador de AMTs e posições de competitividade

A Definição 4.3.6 sugere que a noção *AMT nebulosa ideal* pode ser formalizada empregando-se relações nebulosas e composições relacionais. Este esquema possibilita a avaliação e seleção das b *AMTs nebulosas* mais promissoras de ATP^K empregando medidas de distância e/ou similaridade entre relações nebulosas. O mecanismo de inferência condicional nebulosa, proposto de acordo com as Expressões (5.22), forma o núcleo do gerador de *posições*

nebulosas realizadas de competitividade devido as *b* *AMTs nebulosas* mais *promissoras*. Este esquema possibilita um mecanismo de avaliação de *posições nebulosas* empregando medidas de distância e/ou similaridade entre conjuntos nebulosos. Estas aplicações formam o gerador-avaliador de *AMTs nebulosas* e *posições nebulosas* de competitividade do SOMN.

De acordo a Seção 6.1, uma *AMT nebulosa* é *ideal* (AMT_{ideal}) em relação às *posições nebulosas corrente e desejada* de competitividade, PC^K e PD , se ela elimina as diferenças entre os *níveis correntes e aspirados* nas fontes, C_m' e A_m^* ($m = 1, \dots, M$), na profundidade K da árvore de busca mantida internamente pelo SOMN. Neste caso, diz-se que a *AMT nebulosa ideal* transforma PC^K em PD . Considerando este último requisito e a regra de inferência composicional, proposta no capítulo anterior para o cálculo dos efeitos das *AMTs nebulosas*, então uma AMT_{ideal} deve satisfazer o seguinte sistema de equações nebulosas:

$$\begin{aligned} C_1' \bullet D_{Ideal} &= A_1^* \\ \dots \\ C_M' \bullet D_{Mideal} &= A_M^* \end{aligned} \quad (6.6)$$

onde $D_{mideal} \in F(UxU)$ ($m = 1, \dots, M$) são as relações nebulosas que definem a AMT_{ideal} .

Considerando os resultados sobre equações relacionais nebulosas descritos no Capítulo 4, é possível obter uma formulação para a AMT_{ideal} . Para tanto, é necessário que se formalize cada uma das M relações nebulosas presentes no sistema (6.6), ou seja: $D_{Ideal}, \dots, D_{Mideal}$. O Teorema 5.2.9 sugere uma solução para cada uma das equações acima. Empregando este teorema uma *AMT nebulosa ideal* pode ser formalizada em função dos *níveis correntes e desejados* nas fontes de competitividade em uma profundidade K da árvore, C_m' e A_m^* ($m = 1, \dots, M$), respectivamente em PC^K e PD :

Definição 6.3.1. Uma *AMT nebulosa* é *ideal*, AMT_{ideal} , em relação a uma *posição corrente nebulosa de competitividade*, em algum nó corrente situado a uma profundidade K em G , PC^K , e uma *posição desejada nebulosa de competitividade*, em algum nó alvo em G , PD , se os efeitos desta AMT_{ideal} sobre os *níveis* nas fontes X_m , ($m = 1, \dots, M$), forem descritos por um conjunto da forma:

$$AMT_{ideal} = \{(X_m, D_{mideal} = \sum_{i=1}^{11} \sum_{j=1}^{11} (C_m'^{i-1} \diamond A_m^*) (u_i, u_j) / (u_i, u_j))\}_{m=1, \dots, M}$$

onde:

X_m é o nome da m -ésima variável lingüística empregada na representação da m -ésima fonte de competitividade afetada pela implementação de AMT_{ideal} ;

D_{mideal} é uma avaliação lingüística do efeito de AMT_{ideal} sobre X_m ;

$C_m' \in F(U)$ é o valor lingüístico particular de X_m pertencente ao conjunto de termos T (“Aspiração”) e representa o nível corrente atribuído à fonte X_m no contexto de PC^K ;

$A_m^* \in F(U)$ é o valor lingüístico particular de X_m pertencente ao conjunto de termos T (“Aspiração”) e representa o nível de aspiração atribuído à fonte X_m no contexto de PD ;

$(C_m'^{-1} \diamond A_m^*)(u_i, u_j)$ é o grau de participação do par ordenado $(u_i, u_j) \in U \times U$ na relação nebulosa $D_{mideal} \in F(U \times U)$.

A utilização desta definição na formalização da AMT nebulosa ideal e a utilização de medidas de distância entre relações nebulosas, permitem ao SOMN, no passo 2, avaliar cada uma das T $AMTs$ nebulosa possíveis em ATP^K , AMT_t ($t = 1, \dots, T$), e selecionar somente as b $AMTs$ menos diferentes da AMT_{ideal} . Por exemplo, considerando a AMT_y nebulosa em ATP^K , primeiro, o sistema pode calcular as distâncias (β) entre as m relações nebulosas que definem a AMT_y e as m relações nebulosas que definem a AMT_{ideal} . Estas distâncias podem ser formalizadas por expressões semelhantes à Expressão (6.3), ou seja:

$$\begin{aligned} \beta_{I(AMTy)} &= dis_I^{(2)}(D_{Iy}, D_{Iideal}) \\ &\dots, \\ \beta_{M(AMTy)} &= dis_I^{(2)}(D_{My}, D_{Mideal}) \end{aligned} \quad (6.7)$$

onde $\beta_{m(AMTy)} \in [0, 1]$, $m = 1, \dots, M$.

O calculo das distâncias em (6.7) permite que o SOMN obtenha uma medida de avaliação indicando quão *promissora* é a tecnologia AMT_y . Esta medida pode ser alguma função dos valores de distância. Alternativamente, ela pode ser alguma função dos valores de *importância* associados às fontes μ_m ($m = 1, \dots, M$), que definem as *posições nebulosas* de competitividade, e dos valores de similaridade, $\alpha_{m(AMTy)}$, associados aos valores de distância, $\beta_{m(AMTy)}$ ($m = 1, \dots, M$). Considerando esta última possibilidade e o resultado teórico descrito na Proposição 6.2.5, por exemplo, o programa pode avaliar uma AMT_y empregando a seguinte função avaliação:

$$f_AMT_{(y)}(\alpha_{1(AMTy)}, \dots, \alpha_{M(AMTy)}) = (\mu_1 \alpha_{1(AMTy)} + \dots + \mu_M \alpha_{M(AMTy)}) / (\mu_1 + \dots + \mu_M). \quad (6.8)$$

onde $\alpha_{m(AMTy)} \in [0, 1]$ são medidas de similaridade associadas às medidas de distância $\beta_{m(AMTy)}$, $m = 1, \dots, M$, obtidas em (6.7), ou seja:

$$\begin{aligned} \alpha_{1(AMTy)} &= 1 - \beta_{1(AMTy)}, \\ &\dots, \\ \alpha_{M(AMTy)} &= 1 - \beta_{M(AMTy)}. \end{aligned} \quad (6.9)$$

Vale observar em (6.8) que: $f_AMT_{(y)}: [0, 1]^M \rightarrow [0, 1]$. Considerando (6.8) na avaliação de todas as AMTs disponíveis, à medida que os valores de similaridade entre as relações nebulosas que definem as *AMTs nebulosas* em ATP^K e a AMT_{ideal} aumentam, o valor de avaliação também aumenta e, conseqüentemente, aumenta a *promessa* da AMT que está sendo avaliada. Neste caso, se as relações nebulosas que definem esta *AMT nebulosa* em questão e a AMT_{ideal} são iguais, o valor de avaliação é máximo e vale 1. Por outro lado, à medida que os valores de similaridade entre as relações nebulosas diminuem, o valor de avaliação também diminuí, atingindo um mínimo igual a 0. Assim, quanto maior o valor de avaliação, mais *promissora* é a AMT; e quanto menor, menos *promissora* a AMT.

Generalizando a aplicação de (6.8) na avaliação de todas as *AMTs nebulosas* possíveis em ATP^K , o programa pode selecionar somente as b mais *promissoras* e finalizar o passo 2 calculando o efeito de cada uma das b *AMTs nebulosas*, em termos da mudança na *posição nebulosa corrente* de competitividade PC^K . Isto deve encerrar o papel do gerador de AMTs no passo 2 do ciclo. Por exemplo, supondo que a AMT_y é uma das b mais *promissora*, empregando Expressões (5.20) e (5.21), o SOMN deve calcular os níveis *realizados* na *posição nebulosa realizada* pela AMT_y , $PR_y^{K+1} = \mu_1/(X_1, R_{1y}') + \dots + \mu_M/(X_M, R_{My}')$, da seguinte maneira:

$$\begin{aligned} R_{1y}' &= C_1' \cdot D_{1y}, \\ &\dots \\ R_{My}' &= C_M' \cdot D_{My}. \end{aligned} \quad (6.10)$$

Finalizado o passo 2, no passo 3 o SOMN deve avaliar as *posições nebulosas realizadas* por cada uma das b *AMTs nebulosas* mais *promissoras*, ordenar estas b AMTs de acordo com os valores das *posições* e, em seguida, inserir estas AMTs na lista de tentativas. As avaliações das

posições podem ser realizadas de maneira semelhante às avaliações das *AMTs nebulosas* mais *promissoras*. Por exemplo, considerando a *posição nebulosa realizada* pela AMT_y , $PR_y^{K+1} = \mu_1/(X_1, R_{1y}') + \dots + \mu_M/(X_M, R_{My}')$, e a *posição nebulosa desejada* de competitividade, $PD = \mu_1/(X_1, A_1^*) + \dots + \mu_M/(X_M, A_M^*)$, primeiramente, o sistema deve calcular as distâncias entre os m conjuntos nebulosos que definem os *níveis realizados* em PR_y^{K+1} e os m conjuntos nebulosos que definem os *níveis desejados* em PD :

$$\begin{aligned}\beta_{1(PR_y^{K+1})} &= dis_1^{(2)}(R_{1y}', A_1^*), \\ \beta_{M(PR_y^{K+1})} &= dis_M^{(2)}(R_{My}', A_M^*)\end{aligned}\quad (6.11)$$

onde $\beta_{m(PR_y^{K+1})} \in [0, 1]$, $m = 1, \dots, M$.

O calculo destas distâncias em (6.11) possibilita ao SOMN obter uma medida de avaliação da realização do objetivo **G**. Por exemplo, considerando as medidas de distância acima, esta avaliação deve expressar o quão satisfatória é a configuração cuja última tecnologia na seqüência é a AMT_y . Esta medida pode ser alguma função dos valores das distâncias. Ela, também, pode levar em consideração os valores de *importância* associados às fontes μ_m ($m = 1, \dots, M$) e os valores de similaridade associados aos valores de distância em (6.11). Mais uma vez, considerando esta última possibilidade e o resultado teórico descrito na Proposição 6.2.5, por exemplo, o SOMN pode avaliar a *posição nebulosa* PR_y^{K+1} empregando a seguinte função avaliação:

$$f_{PR_y^{K+1}}([\alpha_{1(PR_y^{K+1})}, \dots, \alpha_{M(PR_y^{K+1})}]) = (\mu_1 \alpha_{1(PR_y^{K+1})} + \dots + \mu_M \alpha_{M(PR_y^{K+1})}) / (\mu_1 + \dots + \mu_M). \quad (6.12)$$

onde $\alpha_{m(PR_y^{K+1})} \in [0, 1]$ são medidas de similaridade associadas às medidas de distância $\beta_{1(PR_y^{K+1})}$, $m = 1, \dots, M$, obtidas em (6.11), ou seja:

$$\begin{aligned}\alpha_{1(PR_y^{K+1})} &= 1 - \beta_{1(PR_y^{K+1})} \\ \alpha_{M(PR_y^{K+1})} &= 1 - \beta_{M(PR_y^{K+1})}\end{aligned}\quad (6.13)$$

Mais uma vez, vale observar que: $f_{PR_y^{K+1}}: [0,1]^M \rightarrow [0,1]$. Considerando esta função, avaliando todas as b *posições* geradas no passo 2 do ciclo, à medida que os valores de similaridade entre os conjuntos nebulosos que definem os *níveis realizados* em uma PR_t^{K+1} e os m conjuntos nebulosos que definem os *níveis desejados* em PD aumentam, o valor de avaliação

também aumenta e, conseqüentemente, mais promissora a configuração de AMTs que gerou esta PR_r^{K+1} . Neste caso, se estes conjuntos nebulosos são iguais, a última AMT na configuração é uma *AMT nebulosa ideal*, e o valor de avaliação é máximo e vale 1. Por outro lado, à medida que os valores de similaridade diminuem, o valor de avaliação também diminui, atingindo um mínimo igual a 0.

Assim, aplicando a função avaliação (6.12) em todas as b posições nebulosas realizadas, o SOMN pode ordenar as b AMTs nebulosas mais promissoras, de acordo com as avaliações de posições, e finalizar o passo 3 inserindo estas AMTs em ordem na lista de tentativas. Isto completa a execução de um ciclo de ações. Neste contexto, para a realização do objetivo G do SOMN é extremamente importante o papel do mecanismo gerador (5.22), da *AMT nebulosa ideal* na Definição 6.3.1, da função avaliação de *AMTs nebulosas* (6.8) e da função avaliação de *posições nebulosas* (6.12).

De maneira a resolver um problema de investimento o SOMN deve executar toda uma série de ciclos até encontrar uma configuração de AMTs satisfatórias, e/ou o valor de avaliação de uma *posição nebulosa realizada* e/ou o número de gerações realizadas pelo sistema forem iguais a valores pré-estabelecidos para a parada, ou até ele ter projetado todas as configurações possíveis a partir desta lógica de busca. Neste último caso ele deve retornar pelo canal de ação (A) as melhores configurações encontradas. A próxima seção apresenta uma descrição procedimental mais específica do esquema de busca implementado pelo SOMN.

6.4 Descrição procedimental do esquema de busca

Esta seção apresenta uma descrição procedimental do esquema de busca heurística formalizado até a Seção 6.3. O nome busca heurística nebulosa foi originalmente proposto em (CAMPOS e RIBEIRO, 2000). Este procedimento foi escrito de acordo com o que LEE (1993) recomenda para a construção procedimental de programas Prolog. Ele pode ser codificado na maioria das linguagens de programação de computadores disponíveis atualmente. Esta descrição total foi realizada em vários quadros: descrição dos tipos de dados e estruturas de dados

envolvidos no procedimento, o procedimento principal e alguns de seus subprocedimentos. A Figura 6.1 apresenta o domínio dos valores das variáveis envolvidas na descrição procedimental do esquema de busca heurística nebulosa.

<p><i>amt</i> – inteiro positivo <i>lista de AMTs</i> – <i>amt</i>* <i>configuração</i> – lista de AMTs <i>configurações</i> – configuração* <i>participação</i> – real <i>conjunto nebuloso</i> – participação* <i>nível corrente</i> – conjunto nebuloso <i>nível aspirado</i> – conjunto nebuloso <i>nível realizado</i> – conjunto nebuloso <i>lista de níveis correntes</i> – nível corrente* <i>lista de níveis aspirados</i> – nível aspirado* <i>lista de níveis realizados</i> – nível realizado* <i>lista de listas de níveis realizados</i> – lista de níveis realizados* μ – real <i>lista de μ</i> – μ* <i>função avaliação de posição</i> – real <i>melhores configurações</i> – melhor(função avaliação de posição, configurações) <i>fator de ramificação</i> – inteiro positivo <i>profundidade</i> – inteiro positivo <i>retrocesso</i> – inteiro positivo <i>parada1</i> – real <i>parada2</i> – inteiro positivo <i>relação nebulosa</i> – conjunto nebuloso* <i>lista de relações nebulosas</i> – relação nebulosa* α – real <i>lista de diferenças entre níveis</i> – α* <i>lista de diferenças entre AMTs</i> – α* <i>função avaliação de AMT</i> – real <i>ramo</i> - ramo(lista de níveis correntes, lista de diferenças entre níveis, função avaliação posição, amt, lista de diferenças entre AMTs, função avaliação de AMT, profundidade) <i>lista de ramos</i> – ramo* <i>avaliação de AMT</i> – avalia(função avaliação de AMT, amt) <i>lista de avaliações das AMTs</i> – avaliação de AMTs*</p>

Figura 6.1: Tipos de dados.

São os tipos de dados nas linguagens de programação de computadores. Nesta descrição alguns tipos são simples e bem conhecidos: inteiros, reais, caracteres e cadeias. Por exemplo, o tipo *amt* é um *inteiro positivo*. Esta denominação indica que as variáveis que representam AMTs disponíveis para investimento têm como domínio o conjunto de números inteiros positivos. Outros tipos são compostos de tipos simples e/ou tipos compostos. Por exemplo, o tipo *ramo* é

uma estrutura de tipos simples como, por exemplo, *amt* e *profundidade*, e, também, de tipos compostos como *lista de níveis correntes* e *lista de diferenças entre níveis*.

O símbolo asterístico (*), que aparece no sufixo dos nomes de alguns tipos, indica um tipo composto formado por uma lista do tipo ao qual está concatenado. Por exemplo, o tipo *conjunto nebuloso* é uma lista do tipo *participação* que, por sua vez, é do tipo *real*. Isto implica que o tipo *conjunto nebuloso* é, na realidade, definido como uma lista de reais. A lista é uma estrutura de dados muito comum na descrição procedimental a seguir. A Figura 6.2 apresenta a descrição do procedimento principal *somn* e as principais variáveis envolvidas na sua descrição.

<i>Domínio</i>
<i>Config_satisfatória</i> – lista de AMTs <i>LAMTs_possíveis</i> – lista de AMTs <i>LC'</i> – lista de níveis correntes <i>LA*</i> – lista de níveis aspirados <i>Lμ</i> – lista de μ <i>B</i> – fator de ramificação <i>Parada1</i> – parada <i>Parada2</i> – parade
<i>Procedimento</i>
Para o <i>somn</i> projetar uma <i>Config_satisfatória</i> com as tecnologias em <i>LAMTs_possíveis</i> que transforme <i>LC'</i> em <i>LA*</i> considerando <i>Lμ</i> , <i>B</i> , <i>Parada1</i> e <i>Parada2</i> fazer $K = 0$ e <i>Gera</i> = 0 então inicializar informações em <i>Lista_listas_D</i> , sobre os efeitos das AMTs em <i>LAMTs_possíveis</i> então avaliar <i>LC'</i> e obter <i>Lista_α_{pos}</i> e <i>Fava_pos</i> considerando <i>LA*</i> e <i>Lμ</i> então fazer <i>AMT_inicial</i> = 0 então fazer <i>Ltentativas</i> = [<i>ramo</i> (<i>LC'</i> , <i>Lista_α_{pos}</i> , <i>Fava_pos</i> , <i>AMT_inicial</i> , <i>_</i> , <i>_</i> , <i>K</i>)] então fazer <i>Nova_LAMTs_possíveis</i> = [<i>AMT_inicial</i> <i>LAMTs_possíveis</i>] então fazer <i>Laux</i> = [] então fazer <i>Melhor</i> = <i>melhor</i> (0.0,[[]]) então projetar uma <i>Config_satisfatória</i> considerando <i>Lμ</i> , <i>K</i> , <i>Ltentativas</i> , <i>LA*</i> , <i>Nova_LAMTs_possíveis</i> , <i>B</i> , <i>Laux</i> , <i>Melhor</i> , <i>Gera</i> , <i>Parada1</i> e <i>Parada2</i> .

Figura 6.2: Descrição do procedimento *somn*.

Este quadro foi dividido em duas seções. A primeira seção ressalta os argumentos de entrada e de saída do procedimento principal e os seus tipos. A segunda seção ressalta a descrição procedimental propriamente dita. O único argumento de saída deste procedimento é a variável *Config_satisfatória*. Os nomes das variáveis foram escolhidos de maneira a evitar maiores

descrições a respeito do que estão representando. Todas as variáveis começam por letras maiúsculas. Os argumentos de entrada referentes às condições de parada por valor de função avaliação de *posição* e por número de gerações realizadas, foram representados respectivamente pelas variáveis *Parada1* e *Parada2*.

A lista que representa o conjunto de AMTs possíveis para investimento foi representada por *LAMTs_possíveis*. Conforme definição, esta lista é formada por uma coleção de inteiros entre colchetes. Na descrição procedimental as listas aparecem nos seguintes formatos: $[]$, $[X]$ e $[X|Y]$. O primeiro formato representa uma lista vazia; o segundo, uma lista que contém um único elemento; e o terceiro, uma lista que contém pelo menos um elemento X ou, ainda, uma lista que contém um número indeterminado de elementos na cauda Y . Neste último caso, Y é também uma lista e contém o resto dos elementos.

A primeira atribuição no procedimento **somn** indica que o sistema está na profundidade 0 da árvore de busca abstrata e que nenhuma geração foi realizada até esta etapa. O procedimento **inicializar** ativa o conhecimento disponível no enunciado do problema de projeto a respeito do efeito das AMTs. Equivale a obter o conjunto ATP^0 proposto conforme (5.24). O procedimento **avaliar** calcula as medidas de similaridade entre os níveis correntes em LC' e os níveis aspirados em LA^* , ou seja, a lista $L\alpha_{pos}$, obtida de acordo com (6.13), e o valor de avaliação da *posição nebulosa corrente* PC^0 , ou seja, $Fava_{pos}$, obtido de acordo com (6.12). Os próximos cinco comandos inicializam diversos parâmetros que o SOMN mantém internamente para se orientar durante o processo de busca de uma *Config_satisfatória*.

O primeiro destes comandos indica que o SOMN considera uma AMT_0 *nebulosa* fictícia, *AMT_inicial*, além daquelas disponíveis em ATP^0 . O segundo comando inicializa *Ltentativas* com uma única estrutura denominada *ramo*. Este primeiro ramo contém informações a respeito do ramo inicial da árvore, ou seja, correspondente à AMT_0 e à PC^0 . Vale ressaltar o quinto e o sexto argumentos do ramo representam a lista de valores de similaridade, $L\alpha_{AMT}$, obtida de acordo com (6.9), e o valor de avaliação da AMT_0 , F_ava_{AMT} , obtido conforme (6.8). O caractere '_' indica que os valores destes argumentos não são relevantes no início do processo.

O terceiro comando, obtém um novo conjunto de AMTs possíveis, *Nova_LAMTs_possíveis*, ou seja, a lista obtida com a inserção da AMT_0 em *LAMTs_possíveis*. O quarto comando indica para o sistema que a configuração corrente, *Laux*, não contém AMTs. O quinto comando indica que a lista das melhores configurações no início do processo contém apenas a configuração vazia, e seu valor de avaliação de *posição* é *0.0*. O último comando é na realidade o procedimento que vai produzir a lista das melhores configurações. Ele foi denominado **projetar**. A Figura 6.3 apresenta a descrição procedimental de **projetar**.

O procedimento possui os mesmos argumentos do procedimento principal e mais três herdados do procedimento **inicializar**: a lista de tentativas *Ltentativas*, a lista que contém as melhores configurações *Melhor* e a configuração corrente *Laux*. Novamente o argumento de saída é a lista *Config_satisfatória*. O escopo deste procedimento é composto de quatro estruturas de decisão no formato 'se *antecedente* então *conseqüente*'. O *antecedente* de cada estrutura é uma conjunção de condições. O caractere '=' representa a operação de unificação. Neste tipo de aplicação, esta operação unifica os seus operandos, quando eles são unificáveis; e retorna falso, em caso contrário (LEE, 1993). O *conseqüente* de cada estrutura é uma seqüência de comandos.

O primeiro se-então verifica se o primeiro ramo em *Ltentativas* satisfaz uma das condições de parada. Neste caso, se o valor de avaliação da *posição* neste ramo, *Fava_pos*, for maior ou igual ao valor de parada por valor de posição, *Parada1*, ou o número de ramos gerados, *Gera*, for maior ou igual ao valor de parada por número de gerações, *Parada2*, então a seqüência de comandos no conseqüente será executada e uma lista de configurações vai ser unificada com a lista *Config_satisfatória*. O primeiro comando, o procedimento **inserir**, insere a AMT presente no primeiro ramo da lista de tentativas, *AMT*, na configuração corrente em *Laux* e uma nova configuração é obtida em *NovaLaux*. Em seguida, os próximos comandos providenciam uma resposta apropriada para este tipo de parada.

Domínio
<p><i>Config_satisfatória</i> – lista de AMTs <i>LAMTs_possíveis</i> – lista de AMTs <i>LC'</i> – lista de níveis correntes <i>LA*</i> – lista de níveis aspirados <i>Lμ</i> – lista de μ <i>B</i> – fator de ramificação <i>Parada1</i> – parada <i>Parada2</i> – parada <i>K</i> – profundidade <i>Ltentativas</i> – lista de ramos <i>Melhor</i> – melhor configuração <i>Laux</i> – lista de AMTs</p>
Procedimento
<p>Para projetar uma <i>Config_satisfatória</i> considerando <i>Lμ</i>, <i>K</i>, <i>Ltentativas</i>; <i>LA*</i>, <i>LAMTs_possíveis</i>, <i>B</i>, <i>Laux</i>, <i>Melhor</i>, <i>Gera</i>, <i>Parada1</i> e <i>Parada2</i></p> <p>se <i>Ltentativas</i> = [<i>ramo</i>(<i>_</i>, <i>_</i>, <i>Fava_pos</i>, <i>AMT</i>, <i>_</i>, <i>_</i>, <i>K</i>) _] e (<i>Fava_pos</i> \geq <i>Parada1</i> ou <i>Gera</i> \geq <i>Parada2</i>) então inserir <i>AMT</i> em <i>Laux</i> e obter <i>NovaLaux</i>; então <i>Melhor</i> = <i>melhor</i>(<i>Fava_melhor</i>, <i>Melhor_config</i>) então encontrar <i>Config_satisfatória</i> considerando <i>NovaLaux</i>, <i>Fava_pos</i>, <i>Melhor_config</i> e <i>Fava_melhor</i>;</p> <p>se <i>LAMTs_possíveis</i> = [] e <i>Lt</i> = [] então fazer <i>Melhor</i> = <i>melhor</i>(<i>_</i>, <i>Melhor_config</i>) então fazer <i>Config_satisfatória</i> = <i>Melhor_config</i>;</p> <p>se <i>LAMTs_possíveis</i> = [] e <i>Ltentativas</i> = [<i>ramo</i>(<i>_</i>, <i>_</i>, <i>_</i>, <i>_</i>, <i>_</i>, <i>Klinha</i>) _] então fazer <i>Backtrack</i> = <i>K-Klinha</i> então deletar <i>Backtrack</i> de <i>Laux</i> e obter as listas <i>Nova_Laux</i> e <i>LAMTs_deletadas</i> então concatenar <i>LAMTs_deletadas</i> com <i>LAMTs_possíveis</i> e obter <i>Nova_LAMTs_possíveis</i> então projetar uma <i>Config_satisfatória</i> considerando <i>Klinha</i>, <i>Lt</i>, <i>LA*</i>, <i>Nova_LAMTs</i>, <i>B</i>, <i>Nova_Laux</i>, <i>Melhor</i>, <i>Gera</i>, <i>Parada1</i>, <i>Parada2</i>;</p> <p>se <i>LAMTs_possíveis</i> = [<i>_</i> _] e <i>Ltentativas</i> = [<i>ramo</i>(<i>LC'</i>, <i>_</i>, <i>Fava_pos</i>, <i>AMT</i>, <i>_</i>, <i>_</i>, <i>K</i>) <i>NovaLtentativas</i>] então selecionar primeiro ramo de <i>Ltentativas</i> e obter <i>NovaLtentativas</i>, <i>Nova_LAMTs_possíveis</i> e <i>Nova_Laux</i> considerando <i>LAMTs_possíveis</i> e <i>Laux</i> então encontrar a melhor configuração <i>M</i> e sua avaliação <i>AvalI</i> considerando <i>Fava_pos</i>, <i>Nova_Laux</i> e <i>Melhor</i> então fazer <i>Nova_Melhor</i> = <i>melhor</i>(<i>AvalI</i>, <i>M</i>) então <i>KI</i> = <i>K+1</i> então selecionar e aplicar até <i>B</i> AMTs e obter <i>LPR^{KI}</i> e <i>NovaGera</i> considerando <i>KI</i>, <i>LC'</i>, <i>LA*</i>, <i>Nova_LAMTs_possíveis</i> e <i>Gera</i> então avaliar cada posição realizada em <i>LPR^{KI}</i> e armazenar estas posições em ordem de valores em <i>NovaLtentativas</i> e obter <i>NLtentativas</i> considerando <i>LA*</i> então projetar uma <i>Config_satisfatória</i> considerando <i>Lμ</i>, <i>KI</i>, <i>NLtentativas</i>, <i>LA*</i>, <i>Nova_LAMTs_possíveis</i>, <i>B</i>, <i>Nova_Laux</i>, <i>Nova_Melhor</i>, <i>NovaGera</i>, <i>Parada1</i> e <i>Parada2</i>.</p>

Figura 6.3: Descrição do procedimento projetar.

Neste último caso, nada garante que a nova configuração corrente em *NovaLaux* seja igual ou melhor que as melhores configurações encontradas até a parada, *Melhor_config*, e registradas no segundo argumento da estrutura *Melhor*. Assim, os dois últimos comandos do conseqüente, a unificação e o procedimento **encontrar**, providenciam uma resposta apropriada para a lista de configurações *Config_satisfatória*: se o valor de avaliação da configuração corrente, *Fava_pos*, ou seja, o valor da *posição nebulosa realizada* pela última AMT em *NovaLaux*, for maior que o valor de avaliação das melhores configurações, *Fava_melhores*, então a lista *Config_satisfatória* conterá somente a lista *NovaLaux*; se for menor, *Config_satisfatória* conterá todas as configurações em *Melhor_config*; e se *Fava_pos* for igual a *Fava_melhores* então a lista *Config_satisfatória* vai conter todas as *Melhores_config* mais a configuração *NovaLaux*.

O segundo se-então verifica se o SOMN projetou todas as configurações permitidas pelo esquema de busca proposto. Neste caso, a lista de tentativas deve estar totalmente vazia, ou seja, não existem novos ramos para serem deletados no primeiro passo do ciclo, e este ciclo não pode ser continuado, pois não existem AMTs possíveis para investimento em *LAMTs possíveis*. Esta conjunção garante que o SOMN projetou realmente todas as configurações permitidas pelo esquema. Se ela for verdadeira então a lista *Config_satisfatória* é unificada com a lista que contém as melhores configurações, *Melhor_config*, obtida até o final do processo de busca.

O primeiro e o segundo se-então descrevem as únicas situações em que o SOMN deve interromper o ciclo de ações e responder a lista de configurações satisfatórias *Config_satisfatória*. Em todos os casos, o sistema responde como configuração satisfatória as melhores encontradas até a parada, ou seja, aquelas que apresentaram o melhor valor de avaliação *posição*, *Fava_pos*. Os dois últimos se-então não interrompem o ciclo de ações. A maioria das situações pelas quais o SOMN passa dizem respeito ao quarto se-então. Este e o terceiro se-então permitem que as configurações sejam montadas e desmontadas.

O antecedente do terceiro se-então verifica se o SOMN utilizou todas as AMTs de ATP^K no projeto de uma configuração não satisfatória em *Laux*. Neste caso, a lista *LAMTs possíveis* está vazia. Além do mais, a configuração corrente em *Laux* tem tamanho máximo igual ao número de

AMTs em ATP^0 , e sua *posição nebulosa realizada* vai estar representada por algum nó na profundidade máxima da árvore de busca do sistema. Não sendo satisfatória e não podendo estender a configuração, pois *LAMTs_possíveis* está vazia, o sistema terá de desmontar uma parte da configuração corrente em *Laux* e devolver as AMTs correspondentes para *LAMTs_possíveis*. Na árvore de busca, isto equivale a retroceder à profundidade do primeiro ramo armazenado em *Ltentativas*. Com isto o processo de projeto pode continuar considerando a submontagem que restou em *Laux* e as AMTs na nova *LAMTs_possíveis*.

Neste contexto, é importante considerar o valor de profundidade máxima da árvore de busca do SOMN, registrado na variável *K*, e o valor da profundidade da *posição nebulosa realizada* no primeiro ramo de *Ltentativas*, registrado na variável *Klinha*. O valor de *Klinha-1* é igual ao tamanho da submontagem que deve restar quando o sistema liberar as AMTs para *LAMTs_possíveis* e iniciar novamente o ciclo de ações, com a seleção do primeiro ramos em *Ltentativas*. Assim, é a partir de *Klinha - 1* que o processo de projeto vai continuar. A diferença entre *K* e *Klinha*, registrada na variável *Backtrack*, determina o número de AMTs de *Laux* que serão desmontadas e liberadas para *LAMTs_possíveis*.

Ainda neste terceiro se-então, depois do sistema calcular o valor de *Backtrack*, os dois próximos subprocedimentos, **deletar** e **concatenar**, encarregam-se de obter a nova lista de AMTs possíveis, *Nova_AMTs_possíveis*, e a nova configuração corrente, *Nova_Laux*, montada até a profundidade *Klinha-1*. Finalmente, o último comando do conseqüente deste se-então faz uma chamada recursiva ao procedimento **projetar**. Assim, o sistema vai poder continuar o processo de projeto, mas, desta vez, com as seguintes transformações (\Leftarrow) nos valores de alguns de seus argumentos de entrada: *LAMTs_possíveis* \Leftarrow *Nova_LAMTs_possíveis*, *K* \Leftarrow *Klinha* e *Laux* \Leftarrow *Nova_Laux*. A transformação *K* \Leftarrow *Klinha* apenas informa ao SOMN a profundidade do primeiro ramo em *Ltentativas*, mas não interfere no processo de projeto.

O quarto se-então na descrição do procedimento **projetar** permite ao SOMN iniciar um processo de projeto, ou que o mesmo continue um processo já iniciado e estenda uma submontagem obtida recentemente. Neste caso, de acordo com o antecedente deste se-então, a

lista *LAMTs_possíveis* deve conter pelo menos uma AMT disponível para investimento e a lista *Ltentativas* deve conter pelo menos um ramo. Esta condição efetivamente permite que o sistema dê início a um ciclo de ações. O conseqüente do quarto se-então implementa este ciclo em sete comandos principais.

O primeiro comando, o procedimento **selecionar**, seleciona o primeiro ramo da lista *Ltentativas*. Esta seleção, além de eliminar este ramo de *Ltentativas*, elimina de *LAMTs_possíveis* a AMT que deu origem a este ramo e a insere na configuração corrente em *Laux*. Isto sugere as seguintes transformações como efeito da execução deste procedimento: *Ltentativas* \Leftarrow *NovaLtentativas*, *LAMTs_possíveis* \Leftarrow *Nova_LAMTs_possíveis* e *Laux* \Leftarrow *Nova_Laux*. O segundo comando, o procedimento **encontrar a melhor**, verifica se a configuração em *Nova_Laux* é melhor que a melhor configuração em *Melhor*. Além disto, este procedimento em conjunto com o terceiro comando do mesmo conseqüente armazena as melhores configurações, encontradas até esta etapa, e seu valor de avaliação na estrutura *Nova_Melhor*.

O quarto comando incrementa em um o valor da variável que representa a profundidade do ramo, *K*, na árvore que está sendo pesquisada. Esta informação, *KI*, vai ser utilizada no quinto comando do conseqüente, ou seja, no procedimento **selecionar e aplicar até**. Este procedimento seleciona até *B* AMTs, dependendo do número de AMTs em *LAMTs_possíveis*, e gera as *posições nebulosas realizadas* na profundidade *KI* por estas AMTs. Estas posições são armazenadas em uma lista denominada *LPR^{KI}*. Com isto o número de gerações, *Gera*, é incrementado e o resultado armazenado na variável *NovaGera*. Vale ressaltar, conforme comentado anteriormente, o processo de seleção das *B* AMTs faz uso da função avaliação de AMTs descrita na Expressão (6.8); e a aplicação, para a geração das *posições nebulosas realizadas*, de Expressões da forma de (6.10).

Continuando o ciclo de ações, o sexto comando do conseqüente, o procedimento **avaliar cada posição realizada**, avalia as *posições* em *LPR^{KI}* e insere os ramos correspondentes de maneira ordenada em *NovaLtentativas*, obtendo uma nova lista de tentativas representada pela

variável *NLtentativas*. Cada uma das *posições* deve ser avaliada empregando-se uma função avaliação de posição da forma (6.12).

Enquanto no sexto comando o SOMN encerra um ciclo de ações, no sétimo comando ela faz uma chamada recursiva ao procedimento **projetar**, desta vez, com as seguintes transformações (\Leftarrow) nos valores de alguns de seus argumentos de entrada: $K \Leftarrow K1$, $Ltentativas \Leftarrow NovaLtentativa \Leftarrow NLtentativas$, $LAMTs_possiveis \Leftarrow Nova_LAMTs_possiveis$, $Laux \Leftarrow Nova_Laux$, $Melhor \Leftarrow NovaMelhor$ e $Gera \Leftarrow NovaGera$. Esta chamada recursiva, conforme ocorreu no conseqüente do terceiro se-então, dá continuidade ao processo de projeto da configuração satisfatória, até que o antecedente do primeiro e/ou do segundo se-então seja verdadeiro. Somente nestes casos, o SOMN responderá a lista de configurações em *Config_satisfatória*. A Figura 6.4 exemplifica uma árvore de busca abstrata gerada pelo procedimento projetar.

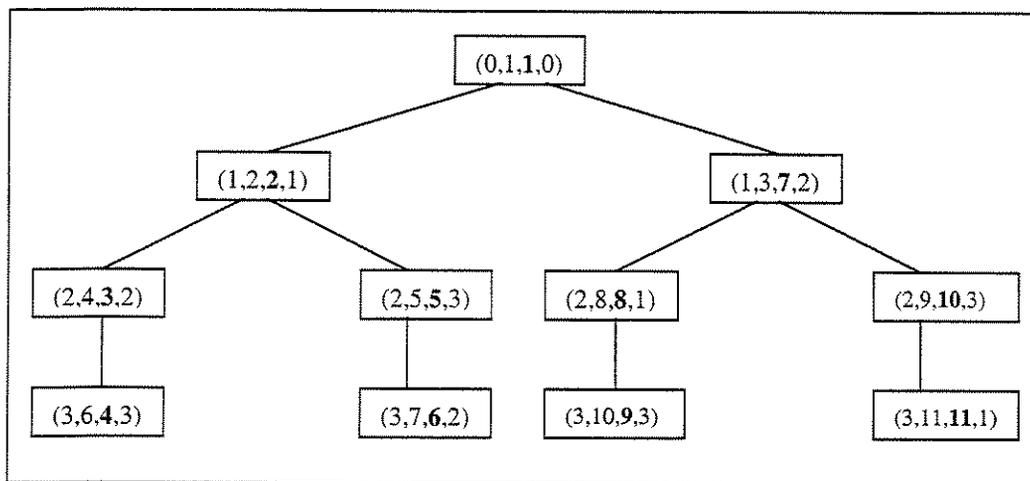


Figura 6.4: Árvore de busca construída internamente pelo SOMN.

A figura pressupõe um conjunto de três AMTs fictícias possíveis para investimento, $LAMTs_possiveis = [1,2,3]$, e um fator de ramificação igual a dois, $B = 2$. Uma quadrúpla em um nó expressa informações a respeito do ramo correspondente ao nó. O primeiro componente da quadrúpla representa a profundidade, K , do ramo na árvore; o segundo, a ordem em que o ramo foi gerado; o terceiro, em negrito, a ordem em que o nó foi expandido; e o quarto, a AMT no ramo, AMT .

A ordem de expansão foi estabelecida de maneira arbitrária, sem avaliar realmente as *posições nebulosas realizadas* pelas AMTs nos ramos e, nem mesmo, as *AMTs nebulosas*, para a seleção das 2 melhores AMTs disponíveis, na realização do segundo passo do ciclo de ações em uma profundidade K . Assim, de acordo com a árvore acima, o SOMN parou pois atingiu o seu limite de projeto, ou seja, ele projetou todas as configurações possíveis de serem projetadas pelo procedimento **projetar**. Isto equivale dizer que ele parou e respondeu uma *Config_satisfatória* devido à satisfação da condição expressa no antecedente do segundo se-então.

A árvore acima sugere que a lista *Config_satisfatória* pode representar qualquer subconjunto do conjunto de configurações possíveis de serem formadas com as AMTs de ATP^0 , concatenadas à AMT fictícia AMT_0 . O tamanho máximo destas configurações é quatro. Existem quatro destas configurações, ou seja: $AMT_0AMT_1AMT_2AMT_3$, $AMT_0AMT_1AMT_3AMT_2$, $AMT_0AMT_2AMT_1AMT_3$ e $AMT_0AMT_2AMT_3AMT_1$. As etapas em que o sistema projetou cada uma destas configurações antecederam a ativação do terceiro se-então de **projetar**, onde ocorreram os retrocessos na árvore. O restante do projeto das configurações em *Config_satisfatória* foi realizado pelos comandos no conseqüente do quarto se-então. A Figura 6.5 ajuda a compreender este processo. Ela apresenta um registro fictício das principais variáveis envolvidas em **projetar**.

Os números adotados para identificar os nós nesta figura são aqueles que definem a ordem em que os nós foram expandidos na árvore de busca da Figura 6.4. Estes números também foram escritos em negrito. Assim, a leitura ordenada do conteúdo de cada subquadro deve ser realizada da esquerda para direita e de cima para baixo. Além da identificação do nó, cada subquadro contém informações a respeito dos valores das variáveis mais importantes envolvidas na ativação do se-então identificado no subquadro. Alguns subquadros não contêm identificação de nó. Eles registram os valores das variáveis envolvidas no processo de retrocesso na árvore de busca. O último subquadro registra a resposta em *Config_satisfatória*.

<p><u>Nó: 1</u> <u>Se-então: 4</u> $K = 0$ $Ltentativas = \{r(0,0)\}$ $LAMTs_possíveis = \{0,1,2,3\}$ $Laux = \{ \}$ $NovaLtentativas = \{ \}$ $Nova_LAMTs_possíveis = \{1,2,3\}$ $Nova_Laux = \{0\}$ $KI = 1$ $NLtentativas = \{r(1,1),r(2,1)\}$</p>	<p><u>Nó: 2</u> <u>Se-então: 4</u> $K = 1$ $Ltentativas = \{r(1,1),r(2,1)\}$ $LAMTs_possíveis = \{1,2,3\}$ $Laux = \{0\}$ $NovaLtentativas = \{r(2,1)\}$ $Nova_LAMTs_possíveis = \{2,3\}$ $Nova_Laux = \{1,0\}$ $KI = 2$ $NLtentativas = \{r(2,2),r(3,2),r(2,1)\}$</p>	<p><u>Nó: 3</u> <u>Se-então: 4</u> $K = 2$ $Ltentativas = \{r(2,2),r(3,2),r(2,1)\}$ $LAMTs_possíveis = \{2,3\}$ $Laux = \{1,0\}$ $NovaLtentativas = \{r(3,2),r(2,1)\}$ $Nova_LAMTs_possíveis = \{3\}$ $Nova_Laux = \{2,1,0\}$ $KI = 3$ $NLtentativas = \{r(3,3),r(3,2),r(2,1)\}$</p>
<p><u>Nó: 4</u> <u>Se-então: 4</u> $K = 3$ $Ltentativas = \{r(3,3),r(3,2),r(2,1)\}$ $LAMTs_possíveis = \{3\}$ $Laux = \{2,1,0\}$ $NovaLtentativas = \{r(3,2),r(2,1)\}$ $Nova_LAMTs_possíveis = \{ \}$ $Nova_Laux = \{3,2,1,0\}$ $KI = 4$ $NLtentativas = \{r(3,2),r(2,1)\}$</p>	<p><u>Se-então: 3</u> $Ltentativas = \{r(3,2),r(2,1)\}$ $Klinha = 2$ $LAMTs_possíveis = \{ \}$ $Laux = \{3,2,1,0\}$ $Backtrack = 4 - 2 = 2$ $Nova_LAMTs_possíveis = \{2,3\}$ $Nova_Laux = \{1,0\}$</p>	<p><u>Nó: 5</u> <u>Se-então: 4</u> $K = 2$ $Ltentativas = \{r(3,2),r(2,1)\}$ $LAMTs_possíveis = \{2,3\}$ $Laux = \{1,0\}$ $NovaLtentativas = \{r(2,1)\}$ $Nova_LAMTs_possíveis = \{2\}$ $Nova_Laux = \{3,1,0\}$ $KI = 3$ $NLtentativas = \{r(2,3),r(2,1)\}$</p>
<p><u>Nó: 6</u> <u>Se-então: 4</u> $K = 3$ $Ltentativas = \{r(2,3),r(2,1)\}$ $LAMTs_possíveis = \{2\}$ $Laux = \{3,1,0\}$ $NovaLtentativas = \{r(2,1)\}$ $Nova_LAMTs_possíveis = \{ \}$ $Nova_Laux = \{2,3,1,0\}$ $KI = 4$ $NLtentativas = \{r(2,1)\}$</p>	<p><u>Se-então: 3</u> $Ltentativas = \{r(2,1)\}$ $Klinha = 1$ $LAMTs_possíveis = \{ \}$ $Laux = \{2,3,1,0\}$ $Backtrack = 4 - 1 = 3$ $Nova_LAMTs_possíveis = \{1,2,3\}$ $Nova_Laux = \{0\}$</p>	<p><u>Nó: 7</u> <u>Se-então: 4</u> $K = 1$ $Ltentativas = \{r(2,1)\}$ $LAMTs_possíveis = \{1,2,3\}$ $Laux = \{0\}$ $NovaLtentativas = \{ \}$ $Nova_LAMTs_possíveis = \{1,3\}$ $Nova_Laux = \{2,0\}$ $KI = 2$ $NLtentativas = \{r(1,2),r(3,2)\}$</p>
<p><u>Nó: 8</u> <u>Se-então: 4</u> $K = 2$ $Ltentativas = \{r(1,2),r(3,2)\}$ $LAMTs_possíveis = \{1,3\}$ $Laux = \{2,0\}$ $NovaLtentativas = \{r(3,2)\}$ $Nova_LAMTs_possíveis = \{3\}$ $Nova_Laux = \{1,2,0\}$ $KI = 3$ $NLtentativas = \{r(3,3),r(3,2)\}$</p>	<p><u>Nó: 9</u> <u>Se-então: 4</u> $K = 3$ $Ltentativas = \{r(3,3),r(3,2)\}$ $LAMTs_possíveis = \{3\}$ $Laux = \{1,2,0\}$ $NovaLtentativas = \{r(3,2)\}$ $Nova_LAMTs_possíveis = \{ \}$ $Nova_Laux = \{3,1,2,0\}$ $KI = 4$ $NLtentativas = \{r(3,2)\}$</p>	<p><u>Se-então: 3</u> $Ltentativas = \{r(3,2)\}$ $Klinha = 2$ $LAMTs_possíveis = \{ \}$ $Laux = \{3,1,2,0\}$ $Backtrack = 4 - 2 = 2$ $Nova_LAMTs_possíveis = \{1,3\}$ $Nova_Laux = \{2,0\}$</p>
<p><u>Nó: 10</u> <u>Se-então: 4</u> $K = 2$ $Ltentativas = \{r(3,2)\}$ $LAMTs_possíveis = \{1,3\}$ $Laux = \{2,0\}$ $NovaLtentativas = \{ \}$ $Nova_LAMTs_possíveis = \{1\}$ $Nova_Laux = \{3,2,0\}$ $KI = 3$ $NLtentativas = \{r(1,3)\}$</p>	<p><u>Nó: 11</u> <u>Se-então: 4</u> $K = 3$ $Ltentativas = \{r(1,3)\}$ $LAMTs_possíveis = \{1\}$ $Laux = \{3,2,0\}$ $NovaLtentativas = \{ \}$ $Nova_LAMTs_possíveis = \{ \}$ $Nova_Laux = \{1,3,2,0\}$ $KI = 4$ $NLtentativas = \{ \}$</p>	<p><u>Se-então: 2</u> $Ltentativas = \{ \}$ $LAMTs_possíveis = \{ \}$ $Melhor =$ $melhor(_,Melhor_config)$ $Config_satisfatória = Melhor_confi$</p>

Figura 6.5: Registro do processo de busca realizado pelo SOMN.

Este caso fictício encerra a descrição do esquema de busca heurística nebulosa proposta para o SOMN resolver o problema de investimento e, conseqüentemente, o Capítulo 6 deste trabalho. Por sua vez, este capítulo encerra as formalizações necessárias para a implementação em computador de uma primeira versão do SOMN. A observação dos resultados produzidos por uma implementação deve acrescentar novos detalhes envolvidos no processo de projeto do sistema. A Parte III deste trabalho preocupou-se com a implementação desta versão e com o teste da mesma, através da elaboração de vários problemas em um domínio de aplicação específico.

Parte III

Testes

Esta Parte III apresenta os testes de um Sistema Orientado por Metas Nebulosas (SOMN), programado para resolver problemas de investimento nos formatos de problemas de escolha entre AMTs alternativas e de projeto de configurações de AMTs. O programa foi escrito em linguagem PROLOG e os testes realizados em um computador do tipo PC. Os resultados produzidos pelo SOMN em funcionamento demonstraram grande parte dos aspectos mencionados na Parte II e, além disto, apresentaram novas faces do sistema. Esta terceira parte foi dividida em dois capítulos. O Capítulo 7 apresenta domínio de aplicação e os resultados dos testes quando o SOMN foi programado para encontrar soluções para cinco problemas de escolha. O Capítulo 8 apresenta os resultados dos testes quando o SOMN foi programado para resolver cinco problemas de projeto de configurações. Esta Parte III encerra o desenvolvimento deste trabalho.

Capítulo 7

Escolha entre Alternativas de Investimento

Este Capítulo 7 inicia o teste do SOMN formalizado até o Capítulo 6. Ele foi dividido em três seções principais. A Seção 7.1 define formalmente o que vem a ser o problema de escolha entre AMTs alternativas para investimento e descreve a maneira como o SOMN deve funcionar para resolver estes problemas. A Seção 7.2 sintetiza a informação necessária para se estabelecer problemas de escolha e de projeto, e para o sistema resolver estes problemas. A Seção 7.3 apresenta cinco problemas de escolha específicos, as soluções propostas pelo SOMN e uma breve análise destes primeiros resultados.

7.1 Descrição do problema de escolha

A Figura 7.1 esquematiza um problema específico de escolha entre AMTs alternativas. Este esquema passa uma idéia de como os problemas de escolha são estabelecidos para o SOMN. Dadas as descrições das *posições nebulosas corrente* e *aspirada* de competitividade, $PC^0 = 0.8/(X_1, \bullet) + \dots + 0.6/(X_4, \bullet) + \dots + 0.8/(X_7, \bullet) + \dots + 0.6/(X_{10}, \bullet)$ e $PD = 0.8/(X_1, +) + \dots + 0.6/(X_4, ++)+ \dots + 0.8/(X_7, -) + \dots + 0.6/(X_{10}, ++)$, e o conjunto de AMTs *nebulosas* possíveis para investimento, $ATP^0 = \{AMT_1, AMT_2, \dots, AMT_{10}\}$, o problema consiste em encontrar uma *AMT nebulosa satisfatória*, isto é, que transforme PC^0 em PD ou que, pelo menos, reduza as diferenças entre estas *posições*.

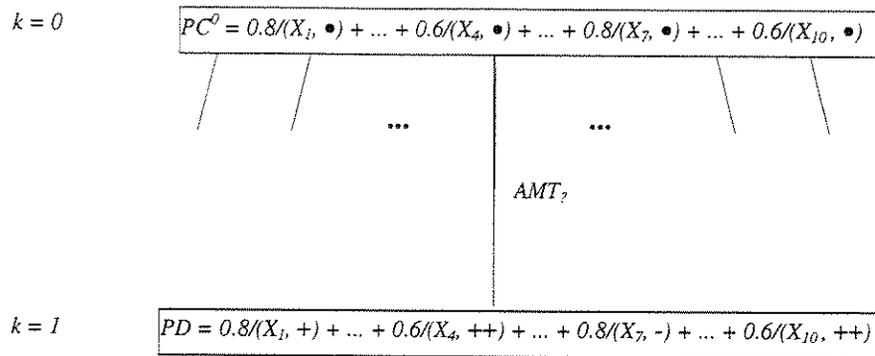


Figura 7.1 Problema de Escolha entre AMTs Alternativas.

No caso de problemas de escolha este capítulo considera que a configuração satisfatória é formada por uma única AMT_7 . Para encontrá-la, o SOMN deve implementar um único ciclo de três ações **selecionar_primeiro** → **selecionar_B_e_aplicar** → **avaliar_B_e_armazenar**. Isto equivale a uma execução da seqüência de comandos do conseqüente do quarto se-então do procedimento **projetar**, descrito no capítulo anterior. Por exemplo, no problema acima ele deve iniciar selecionando PC^0 na lista de tentativas. Em seguida, ele deve aplicar nesta *posição* todas as dez *AMTs nebulosas* em ATP^0 e obter uma lista de dez *posições nebulosas realizadas*, ou seja, $[PR_1^1, PR_2^1, \dots, PR_{10}^1]$. Posteriormente, ele deve avaliar e armazenar estas *posições* e as AMTs correspondentes de maneira ordenada na lista de tentativas.

Em seguida, ao final do ciclo, para escolher uma *AMT nebulosa satisfatória*, o SOMN precisa implementar, apenas mais uma vez, a primeira ação do ciclo, **selecionar_primeiro**, ou seja, selecionar a primeira *posição nebulosa* da lista de tentativas, recuperar a AMT que a gerou, escolher esta como a *AMT nebulosa satisfatória* e interromper o ciclo de ações. Isto equivale à execução da seqüência de comandos no conseqüente do primeiro se-então do comando **projetar**. A interrupção na execução de outros ciclos de ações pode ser implementada atribuindo-se à condição de parada por valor de função avaliação de *posição nebulosa realizada* um valor de avaliação muito baixo e/ou à condição de parada por gerações realizadas um valor L igual ao fator de ramificação B da árvore de busca. Assim, neste capítulo, este valor é igual ao número de AMTs disponíveis em ATP^0 .

7.2 Domínio de aplicação

O domínio de aplicação proposto para os testes do SOMN teve origem no trabalho desenvolvido por WILHELM e PARSAEI (1991), ou seja, uma abordagem lingüística nebulosa para implementar uma estratégia para a manufatura integrada por computador. Esta abordagem consiste em uma proposta para o problema de escolha entre tecnologias alternativas. Basicamente o problema consiste em avaliar as tecnologias disponíveis para investimento e escolher a melhor. Cada tecnologia é avaliada levando-se em consideração um conjunto de metas estratégicas para a companhia.

Essa abordagem para o problema de investimento considera valores lingüísticos de *importância* associados às metas estratégicas da companhia e valores lingüístico de *capacidade* das tecnologias disponíveis para investimento em realizar as metas estratégicas. O significado dos valores lingüísticos de *importância* e *capacidade* são conjuntos nebulosos. As relações entre as variáveis lingüísticas associadas às metas e às tecnologias são relações nebulosas. A regra de inferência composicional nebulosa, alguns dos resultados teóricos envolvendo as equações relacionais nebulosas e medidas de distância nebulosa constituem o restante do quadro formal fundamental nessa abordagem.

Os testes elaborados para o SOMN, consideraram as mesmas tecnologias e metas estratégicas empregadas na abordagem original de WILHELM e PARSAEI (1991). As tecnologias deram origem ao conjunto de AMTs possíveis para investimento. As metas estratégicas deram origem às fontes de competitividade da companhia. As informações a respeito dos valores de importância associados às fontes de competitividade e a respeito dos efeitos das AMTs em termos de mudanças nos níveis nestas fontes foram geradas a partir de algumas adaptações nas descrições lingüísticas de *importância* e *capacidade* na abordagem original.

A Tabela 7.1 apresenta as dez fontes de competitividade e as variáveis lingüísticas empregadas na especificação das *posições correntes e desejadas nebulosas* de competitividade consideradas nos testes do SOMN. A fonte de competitividade denominada “Competitividade”, representada pela variável lingüística X_1 , aparece de maneira específica na definição das *posições nebulosas* de competitividade da companhia.

Tabela 7.1: Fontes de Competitividade e Variáveis Lingüísticas.

X_1	Competitividade
X_2	Qualidade do Produto
X_3	Custo do Produto
X_4	Desenvolvimento de Perícia
X_5	Utilização de Ativos
X_6	“Lead-time” de Desenvolvimento de Produto
X_7	Inventário
X_8	Retorno do Investimento
X_9	Aceitação pela mão-de-obra
X_{10}	Liderança no Uso da Tecnologia

De acordo com a abordagem proposta por PFEILSTICKER (1981) para definição de conceitos ambíguos e as Definições 4.3.4, 4.3.5 e 4.3.8, as *posições nebulosas* de competitividade dependem dos *níveis* nas fontes X_1 a X_{10} . O número de valores lingüísticos dos *níveis* nestas fontes, especificados nos problemas de investimento, foi limitado. A Tabela 7.2 apresenta estes valores e os seus significados em termos de conjuntos nebulosos. A coluna mais à esquerda apresenta um esquema de representação simplificado para os valores de *níveis*. Este esquema leva em consideração um outro conjunto de símbolos. Esta mudança possibilitou uma descrição compacta e inteligível dos problemas de investimento e dos resultados nos testes realizados com o SOMN.

Tabela 7.2: Valores de níveis, suas representações e significados.

---	<i>baixissimo</i>	$1.0/0.0+0.98/0.1+0.18/0.2+0.02/0.3+0.0/0.4+0.0/0.5+0.0/0.6+0.0/0.7+0.0/0.8+0.0/0.9+0.0/1.0$
--	<i>real. baixo</i>	$1.0/0.0+0.95/0.1+0.55/0.2+0.32/0.3+0.0/0.4+0.0/0.5+0.0/0.6+0.0/0.7+0.0/0.8+0.0/0.9+0.0/1.0$
-	<i>baixo</i>	$1.0/0.0+0.95/0.1+0.90/0.2+0.65/0.3+0.20/0.4+0.0/0.5+0.0/0.6+0.0/0.7+0.0/0.8+0.0/0.9+0.0/1.0$
+	<i>alto</i>	$0.0/0.0+0.0/0.1+0.0/0.2+0.0/0.3+0.0/0.4+0.0/0.5+0.20/0.6+0.65/0.7+0.90/0.8+0.95/0.9+1.0/1.0$
++	<i>real. alto</i>	$0.0/0.0+0.0/0.1+0.0/0.2+0.0/0.3+0.0/0.4+0.0/0.5+0.0/0.6+0.32/0.7+0.55/0.8+0.95/0.9+1.0/1.0$
+++	<i>altissimo</i>	$0.0/0.0+0.0/0.1+0.0/0.2+0.0/0.3+0.0/0.4+0.0/0.5+0.0/0.6+0.02/0.7+0.18/0.8+0.98/0.9+1.0/1.0$
•	<i>médio</i>	$0.0/0.0+0.05/0.1+0.1/0.2+0.35/0.3+0.8/0.4+1.0/0.5+0.8/0.6+0.35/0.7+0.1/0.8+0.05/0.9+0.0/1.0$

Em todos os problemas estabelecidos para o SOMN, o conjunto de AMTs possíveis para investimento levou em consideração as dez tecnologias descritas na Tabela 7.3. Nas descrições destes problemas, bem como das soluções encontradas para os mesmos, estas AMTs são referenciadas através das siglas na coluna mais à esquerda da tabela. Isto também simplificou a apresentação da proposta.

Tabela 7.3: AMTs disponíveis para investimento

AMT_1	CAM	Manufatura Auxiliada por Computador
AMT_2	CAD	Projeto Auxiliado por Computador
AMT_3	CAPP	Planejamento de Processos Auxiliado por Computador
AMT_4	DB	Bases de Dados
AMT_5	GT	Tecnologia de Grupo
AMT_6	JIT	“Just-in-time”
AMT_7	FMS	Sistema de Manufatura Flexível
AMT_8	AGVS	Sistema de Veículos Guiados Automaticamente
AMT_9	AS/AR	Armazenamento e Recuperação Automatizada
AMT_{10}	MRS	“Overhead Monorail System”

A Tabela 7.4 descreve, conforme as declarações condicionais da forma (4.13), o efeito destas AMTs em termos de mudanças nos níveis nas fontes. A primeira linha desta tabela contém as AMTs possíveis. A primeira coluna, as representações dos valores lingüísticos de *níveis correntes* nas fontes antes do investimento em uma AMT em questão. A coluna seguinte contém as variáveis lingüísticas associadas às fontes de competitividade afetadas. As colunas posteriores, os *níveis realizados* com o investimento nas AMTs. Os valores lingüísticos em Língua Portuguesa e seus significados em termos de conjuntos nebulosos podem ser obtidos conforme a Tabela 7.2.

Tabelas 7.4: Efeito das AMTs em termos de mudanças nos níveis das fontes.

7.4 (a): Efeito sobre a fonte X_1

		AMT_1	AMT_2	AMT_3	AMT_4	AMT_5	AMT_6	AMT_7	AMT_8	AMT_9	AMT_{10}
---		--	-	-	-	--	-	-	--	---	---
--		-	•	•	•	-	•	•	-	---	---
-		•	+	+	+	•	+	+	•	--	--
+	X_1	++	+++	+++	+++	++	+++	+++	++	•	•
++		+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+	+
+++		+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	++	++
•		+	++	++	++	+	++	++	+	-	-

7.4 (b): Efeito sobre a fonte X_2

		AMT ₁	AMT ₂	AMT ₃	AMT ₄	AMT ₅	AMT ₆	AMT ₇	AMT ₈	AMT ₉	AMT ₁₀
---	X ₂	•	-	--	--	--	---	•	---	---	---
--		+	•	-	-	-	---	+	---	---	---
-		++	+	•	•	•	--	++	--	--	--
+		+++	+++	++	++	++	•	+++	•	•	•
++		+++	+++	+++	+++	+++	+	+++	+	+	+
+++		+++	+++	+++	+++	+++	++	+++	++	++	++
•		+++	++	+	+	+	-	+++	-	-	-

7.4 (c): Efeito sobre a fonte X_3

		AMT ₁	AMT ₂	AMT ₃	AMT ₄	AMT ₅	AMT ₆	AMT ₇	AMT ₈	AMT ₉	AMT ₁₀
---	X ₃	---	---	--	---	---	---	---	---	---	---
--		---	---	-	---	---	---	---	---	---	---
-		---	--	•	--	--	---	---	---	•	•
+		-	•	++	•	•	--	-	-	++	++
++		•	+	+++	+	+	-	•	•	+++	+++
+++		+	++	+++	++	++	•	+	+	+++	+++
•		--	-	+	-	-	-	---	+	--	+

7.4 (d): Efeito sobre a fonte X_4

		AMT ₁	AMT ₂	AMT ₃	AMT ₄	AMT ₅	AMT ₆	AMT ₇	AMT ₈	AMT ₉	AMT ₁₀
---	X ₄	-	-	--	--	-	--	-	---	---	---
--		•	•	-	-	•	-	•	---	---	---
-		+	+	•	•	+	•	+	--	--	--
+		+++	+++	++	++	+++	++	+++	•	•	•
++		+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+	+	+
+++		+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	++	++	++
•		++	++	+	+	++	+	++	-	-	-

7.4 (e): Efeito sobre a fonte X_5

		AMT ₁	AMT ₂	AMT ₃	AMT ₄	AMT ₅	AMT ₆	AMT ₇	AMT ₈	AMT ₉	AMT ₁₀
---	X ₅	--	--	---	--	--	-	--	--	--	--
--		-	-	---	-	-	•	-	-	-	-
-		•	•	--	•	•	+	•	•	•	•
+		++	++	•	++	++	+++	++	++	++	++
++		+++	+++	+	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
+++		+++	+++	++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
•		+	+	-	+	+	++	+	+	+	+

7.4 (f): Efeito sobre a fonte X_6

		AMT ₁	AMT ₂	AMT ₃	AMT ₄	AMT ₅	AMT ₆	AMT ₇	AMT ₈	AMT ₉	AMT ₁₀
---	X ₆	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
--		---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
-		---	---	---	---	---	--	---	--	--	--
+		-	-	--	--	-	•	--	•	•	•
++		•	•	-	-	•	+	-	+	+	+
+++		+	+	•	•	+	++	•	++	++	++
•		--	--	---	---	--	-	---	--	--	--

7.4 (g): Efeito sobre a fonte X_7

		AMT_1	AMT_2	AMT_3	AMT_4	AMT_5	AMT_6	AMT_7	AMT_8	AMT_9	AMT_{10}
---		---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
--		---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
-		--	--	--	---	--	---	---	--	--	--
+	X_7	•	•	•	-	•	--	-	•	•	•
++		+	+	+	•	+	-	•	+	+	+
+++		++	++	++	+	++	•	+	++	++	++
•		-	-	-	--	-	---	--	-	-	-

7.4 (h): Efeito sobre a fonte X_8

		AMT_1	AMT_2	AMT_3	AMT_4	AMT_5	AMT_6	AMT_7	AMT_8	AMT_9	AMT_{10}
---		•	•	-	•	-	-	•	-	-	-
--		+	+	-	+	•	-	+	•	-	•
-		++	++	+	++	+	+	++	+	+	+
+	X_8	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
++		+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
+++		+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
•		+++	+++	++	+++	++	++	+++	++	++	++

7.4 (i): Efeito sobre a fonte X_9

		AMT_1	AMT_2	AMT_3	AMT_4	AMT_5	AMT_6	AMT_7	AMT_8	AMT_9	AMT_{10}
---		--	-	--	-	--	--	--	--	--	--
--		-	•	-	•	-	-	-	-	-	-
-		•	+	•	+	•	•	•	•	•	•
+	X_9	++	+++	++	+++	++	•	++	++	++	++
++		+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
+++		+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
•		+	++	+	++	+	+	+	+	+	+

7.4 (j): Efeito sobre a fonte X_{10}

		AMT_1	AMT_2	AMT_3	AMT_4	AMT_5	AMT_6	AMT_7	AMT_8	AMT_9	AMT_{10}
---		-	-	--	•	--	-	-	-	-	--
--		•	•	-	+	-	•	•	•	•	-
-		+	+	•	++	•	+	+	+	+	•
+	X_{10}	+++	+++	++	+++	++	+++	+++	+++	+++	++
++		+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
+++		+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
•		++	++	+	+++	+	++	++	++	++	+

Considerando as Tabelas 7.3 e 7.4, por exemplo, o efeito da *AMT nebulosa* AMT_1 na fonte de competitividade X_1 vai ser definido pelo conjunto de relações nebulosas expressas na Tabela 7.5. As sete primeiras relações, fundo branco na tabela, são as expressões dos significados das relações nebulosas entre os sete pares de valores lingüísticos que definem os *níveis correntes* e *realizados* em X_1 , respectivamente antes e depois do investimento na AMT_1 , descritos na Tabela 7.4 (a). A última relação nebulosa, fundo cinza na tabela, é resultado da interseção das sete primeiras e sintetiza a mudança nos níveis em X_1 proporcionada pela AMT_1 . Estas relações foram calculadas empregando-se expressões da forma de (5.13) e (5.20). São as relações nebulosas presentes na definição de *AMT nebulosa*, Definição 4.3.6, e na Expressão (5.22).

Tabela 7.5: Efeito da AMT_i sobre os níveis na fonte X_i .

7.5 (a): Descrição parcial linhas 1 e 2

AMT_i/X_i	
$(\bullet \bullet \bullet \bullet) - D_{111}$	$(\bullet \bullet \bullet) - D_{112}$
[[1,0.95,0.55,0.32,0,0,0,0,0,0],	[[1,0.95,0.9,0.65,0.2,0,0,0,0,0],
[1,0.95,0.55,0.32,0,0,0,0,0,0],	[1,1,0.9,0.65,0.2,0,0,0,0,0],
[1,1,1,1,0,0,0,0,0,0],	[1,1,1,1,0.2,0,0,0,0,0],
[1,1,1,1,0,0,0,0,0,0],	[1,1,1,1,0.2,0,0,0,0,0],
[1,1,1,1,1,1,1,1,1,1],	[1,1,1,1,1,1,1,1,1,1],
[1,1,1,1,1,1,1,1,1,1],	[1,1,1,1,1,1,1,1,1,1],
[1,1,1,1,1,1,1,1,1,1],	[1,1,1,1,1,1,1,1,1,1],
[1,1,1,1,1,1,1,1,1,1],	[1,1,1,1,1,1,1,1,1,1],
[1,1,1,1,1,1,1,1,1,1],	[1,1,1,1,1,1,1,1,1,1],
[1,1,1,1,1,1,1,1,1,1],	[1,1,1,1,1,1,1,1,1,1],
[1,1,1,1,1,1,1,1,1,1],	[1,1,1,1,1,1,1,1,1,1],
[1,1,1,1,1,1,1,1,1,1],	[1,1,1,1,1,1,1,1,1,1],
[1,1,1,1,1,1,1,1,1,1]	[1,1,1,1,1,1,1,1,1,1]

7.5 (b): Descrição parcial linhas 3 e 4

AMT_i/X_i	
$(\bullet \bullet) - D_{112}$	$(\bullet \bullet \bullet) - D_{113}$
[[0,0.05,0.1,0.35,0.8,1,0.8,0.35,0.1,0.05,0],	[[1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1],
[0,0.05,0.1,0.35,0.8,1,0.8,0.35,0.1,0.05,0],	[1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1],
[0,0.05,0.1,0.35,0.8,1,0.8,0.35,0.1,0.05,0],	[1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1],
[0,0.05,0.1,0.35,1,1,1,0.35,0.1,0.05,0],	[1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1],
[0,0.05,0.1,1,1,1,1,0.1,0.05,0],	[1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1],
[1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1],	[1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1],
[1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1],	[0,0,0,0,0,0,0,1,1,1,1],
[1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1],	[0,0,0,0,0,0,0,0.32,0.55,1,1],
[1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1],	[0,0,0,0,0,0,0,0.32,0.55,1,1],
[1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1],	[0,0,0,0,0,0,0,0.32,0.55,1,1],
[1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1]	[0,0,0,0,0,0,0,0.32,0.55,0.95,1]]

7.5 (c): Descrição parcial linhas 5 e 6

AMT_i/X_i	
$(\bullet \bullet \bullet \bullet) - D_{115}$	$(\bullet \bullet \bullet \bullet) - D_{116}$
[[1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1],	[[1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1],
[1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1],	[1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1],
[1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1],	[1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1],
[1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1],	[1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1],
[1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1],	[1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1],
[1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1],	[1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1],
[1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1],	[1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1],
[0,0,0,0,0,0,0,0.02,0.18,1,1],	[0,0,0,0,0,0,0,0,1,1,1],
[0,0,0,0,0,0,0,0.02,0.18,1,1],	[0,0,0,0,0,0,0,0.02,1,1,1],
[0,0,0,0,0,0,0,0.02,0.18,1,1],	[0,0,0,0,0,0,0,0.02,0.18,1,1],
[0,0,0,0,0,0,0,0.02,0.18,0.98,1]]	[0,0,0,0,0,0,0,0.02,0.18,0.98,1]]

7.5 (d): Descrição parcial linha 7 e descrição total

AMT_i/X_i	
$(\bullet \bullet \bullet) - D_{116}$	D_{11}
[[1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1],	[[0,0.05,0.1,0.32,0,0,0,0,0,0],
[0,0,0,0,0,0,1,1,1,1,1],	[0,0,0,0,0,0,0,0,0,0],
[0,0,0,0,0,0,1,1,1,1,1],	[0,0,0,0,0,0,0,0,0,0],
[0,0,0,0,0,0,0.2,1,1,1,1],	[0,0,0,0,0,0,0,0,0,0],
[0,0,0,0,0,0,0.2,0.65,1,1,1],	[0,0,0,0,0,0,0.2,0.65,0.1,0.05,0],
[0,0,0,0,0,0,0.2,0.65,0.9,0.95,1],	[0,0,0,0,0,0,0.2,0.65,0.9,0.95,1],
[0,0,0,0,0,0,0.2,0.65,1,1,1],	[0,0,0,0,0,0,0.65,1,1,1],
[0,0,0,0,0,0,0.2,1,1,1,1],	[0,0,0,0,0,0,0.02,0.18,1,1],
[0,0,0,0,0,0,1,1,1,1,1],	[0,0,0,0,0,0,0.02,0.18,1,1],
[0,0,0,0,0,0,1,1,1,1,1],	[0,0,0,0,0,0,0.02,0.18,1,1],
[1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1]]	[0,0,0,0,0,0,0.02,0.18,0.95,1]]

A Tabela 7.6 apresenta os significados das relações nebulosas que definem os efeitos da AMT_I em termos de mudanças nos *níveis* nas dez fontes de competitividade. O processo de obtenção de cada uma destas relações é o mesmo realizado para D_{II} na Tabela 7.5, ou seja, conforme sugere a Expressão (5.22).

Tabela 7.6: Efeito da AMT_I nas dez fontes.

7.6 (a): Efeito nas fontes $X_1 - X_2$

AMT_I	
D_{II}	D_{II}
[[0,0,05,0,1,0,32,0,0,0,0,0,0,0],	[[0,0,0,0,0,0,0,0,0,32,0,1,0,05,0],
[0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0],	[0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,02,0,1,0,05,0],
[0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0],	[0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,02,0,1,0,05,0],
[0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0],	[0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,02,0,18,1,0],
[0,0,0,0,0,0,0,2,0,65,0,1,0,05,0],	[0,0,0,0,0,0,0,0,0,02,0,18,1,1],
[0,0,0,0,0,0,0,2,0,65,0,9,0,95,1],	[0,0,0,0,0,0,0,0,0,02,0,18,0,98,1],
[0,0,0,0,0,0,0,0,65,1,1,1,1],	[0,0,0,0,0,0,0,0,0,02,0,18,1,1],
[0,0,0,0,0,0,0,0,02,0,18,1,1],	[0,0,0,0,0,0,0,0,0,02,0,18,1,1],
[0,0,0,0,0,0,0,0,02,0,18,1,1],	[0,0,0,0,0,0,0,0,0,02,0,18,1,1],
[0,0,0,0,0,0,0,0,02,0,18,1,1],	[0,0,0,0,0,0,0,0,0,02,0,18,1,1],
[0,0,0,0,0,0,0,0,02,0,18,0,95,1]]	[0,0,0,0,0,0,0,0,0,02,0,18,0,98,1]]

7.6 (b): Efeito nas fontes $X_3 - X_4$

AMT_I	
D_{II}	D_{II}
[[1,0,98,0,18,0,02,0,0,0,0,0,0,0],	[[0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0],
[1,1,0,18,0,02,0,0,0,0,0,0,0,0],	[0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0],
[1,1,0,18,0,02,0,0,0,0,0,0,0,0],	[0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0],
[1,1,0,18,0,02,0,0,0,0,0,0,0,0],	[0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0],
[1,1,0,18,0,02,0,0,0,0,0,0,0,0],	[0,0,0,0,0,0,0,0,32,0,55,1,1],
[1,0,95,0,55,0,32,0,0,0,0,0,0,0],	[0,0,0,0,0,0,0,0,32,0,55,0,95,1],
[1,1,0,55,0,32,0,0,0,0,0,0,0,0],	[0,0,0,0,0,0,0,0,0,02,0,18,1,1],
[0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0],	[0,0,0,0,0,0,0,0,0,02,0,18,1,1],
[0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0],	[0,0,0,0,0,0,0,0,0,02,0,18,1,1],
[0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0],	[0,0,0,0,0,0,0,0,0,02,0,18,1,1],
[0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0]]	[0,0,0,0,0,0,0,0,0,02,0,18,0,98,1]]

7.6 (c): Efeito nas fontes $X_5 - X_6$

AMT_I	
D_{II}	D_{II}
[[0,0,05,0,1,0,32,0,0,0,0,0,0,0],	[[1,0,98,0,18,0,02,0,0,0,0,0,0,0],
[0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0],	[1,1,0,18,0,02,0,0,0,0,0,0,0,0],
[0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0],	[1,1,0,18,0,02,0,0,0,0,0,0,0,0],
[0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0],	[1,1,0,18,0,02,0,0,0,0,0,0,0,0],
[0,0,0,0,0,0,0,2,0,65,0,1,0,05,0],	[1,1,0,18,0,02,0,0,0,0,0,0,0,0],
[0,0,0,0,0,0,0,2,0,65,0,9,0,95,1],	[1,0,95,0,55,0,32,0,0,0,0,0,0,0],
[0,0,0,0,0,0,0,0,65,1,1,1,1],	[1,1,0,55,0,32,0,0,0,0,0,0,0,0],
[0,0,0,0,0,0,0,0,02,0,18,1,1],	[0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0],
[0,0,0,0,0,0,0,0,02,0,18,1,1],	[0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0],
[0,0,0,0,0,0,0,0,02,0,18,1,1],	[0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0],
[0,0,0,0,0,0,0,0,02,0,18,0,95,1]]	[0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0]]

tentativas, a *AMT nebulosa ideal*, a sensibilidade do sistema quanto às *posições nebulosas* de competitividade e a qualidade das escolhas realizadas pelo sistema.

Problema 1: Lista de tentativas e *AMT nebulosa ideal*

A Tabela 7.7 apresenta os argumentos de entrada do SOMN para o caso do Problema 1. Além das *posições nebulosas corrente e aspirada* de competitividade e do conjunto de *AMTs nebulosas* possíveis para investimento, definidos a partir de LC' , LA^* , $L\mu$, e $LAMTs_possíveis$, os outros dois argumentos, B e $Parada1$, dizem ao SOMN que ele deve selecionar, aplicar e avaliar as 10 *AMTs* em $LAMTs_possíveis$, e parar se pelo menos uma delas produzir uma *posição nebulosa realizada* com valor de avaliação maior ou igual a 0.4.

Tabela 7.7: Valores dos argumentos de entrada do SOMN para o Problema 1.

Problema 1										
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}
LC'	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
LA^*	+	+++	--	++	+	--	-	+++	+	++
$L\mu$	0.8	1.0	0.7	0.6	0.7	0.9	0.8	1.0	0.7	0.6
$LAMTs_possíveis$	[1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10]									
B	10									
$Parada1$	0.40									

Durante o processo de escolha de uma *AMT nebulosa satisfatória* para o Problema 1, foram registradas várias das informações processadas pelo SOMN. A Tabela 7.8 apresenta o conteúdo da lista de tentativas no início do processo, ou seja, em $K = 0$. Ela apresenta uma lista LC' de *níveis nebulosos correntes* registrados nas dez variáveis lingüísticas, uma lista $L\beta_{pos}$ de diferenças entre os *níveis nebulosos corrente* em LC' e *aspirados* em LA^* , o valor de avaliação $Fava_pos$ da *posição nebulosa corrente* PC^0 , a *AMT* AMT que gerou esta *posição*, uma lista $L\beta_{AMT}$ de diferenças entre *AMT* e a *AMT nebulosa ideal*, o valor de avaliação $Fava_AMT$ da *AMT*, e a profundidade K na árvore de busca da *posição* gerada por *AMT*.

Tabela 7.8: Lista de tentativas no início do processo.

K		Problema 1
0	Ramo	1
	LC'	[[0,0.05,0.1,0.35,0.8,1,0.8,0.35,0.1,0.05,0],[0,0.05,0.1,0.35,0.8,1,0.8,0.35,0.1,0.05,0], [0,0.05,0.1,0.35,0.8,1,0.8,0.35,0.1,0.05,0],[0,0.05,0.1,0.35,0.8,1,0.8,0.35,0.1,0.05,0], [0,0.05,0.1,0.35,0.8,1,0.8,0.35,0.1,0.05,0],[0,0.05,0.1,0.35,0.8,1,0.8,0.35,0.1,0.05,0], [0,0.05,0.1,0.35,0.8,1,0.8,0.35,0.1,0.05,0],[0,0.05,0.1,0.35,0.8,1,0.8,0.35,0.1,0.05,0], [0,0.05,0.1,0.35,0.8,1,0.8,0.35,0.1,0.05,0],[0,0.05,0.1,0.35,0.8,1,0.8,0.35,0.1,0.05,0]]
	$L\beta_{pos}$	[0.65192,0.63211,0.63449,0.63449,0.65192,0.63449,0.6519,0.63211,0.65192,0.63449]
	Fava_pos	0.35941
	AMT	0
	$L\beta_{AMT}$	[1,1,1,1,1,1,1,1,1,1]
	Fava_AMT	0
	K	0

Os valores de diferença em $L\beta_{AMT}$ foram obtidos levando-se em consideração expressões da forma (6.7). As relações nebulosas que definem AMT_0 devem ser calculadas da mesma maneira que as outras disponíveis em ATP^0 , ou seja, conforme indica a Definição 6.3.1. Não existe uma regra específica para geração do conjunto informação que define esta AMT fictícia. Este conjunto pode ser gerado de maneira arbitrária sem degradação no funcionamento do SOMN. Neste trabalho, ele teve o seguinte formato $\{\{se X_1 \text{ é médio então } X_1 \text{ é médio}\}, \{se X_2 \text{ é médio então } X_2 \text{ é médio}\}, \dots, \{se X_{10} \text{ é médio então } X_{10} \text{ é médio}\}\}$. As relações nebulosas que definem a AMT nebulosa ideal devem ser obtidas considerando-se os conteúdos dos argumentos de entrada LC' e LA^* , conforme a Definição 6.3.1. A Tabela 7.9 apresenta estas relações.

Tabela 7.9: AMT nebulosa ideal.
7.9 (a): $X_1 - X_2$

AMT_{ideal}	
D_{ideal}	D_{ideal}
[[1,1,1,1,1,1,1,1,1,1]]	[[1,1,1,1,1,1,1,1,1,1]]
[0,0,0,0,0,1,1,1,1,1]	[0,0,0,0,0,0,0,0,0,0.02,1,1,1,1]
[0,0,0,0,0,0,1,1,1,1,1]	[0,0,0,0,0,0,0,0,0,0.02,1,1,1,1]
[0,0,0,0,0,0,0,2,1,1,1,1]	[0,0,0,0,0,0,0,0,0,0.02,0.18,1,1,1]
[0,0,0,0,0,0,0,2,0.65,1,1,1,1]	[0,0,0,0,0,0,0,0,0,0.02,0.18,1,1,1]
[0,0,0,0,0,0,0,2,0.65,0.9,0.95,1,1]	[0,0,0,0,0,0,0,0,0,0.02,0.18,0.98,1,1]
[0,0,0,0,0,0,0,2,0.65,1,1,1,1]	[0,0,0,0,0,0,0,0,0,0.02,0.18,1,1,1]
[0,0,0,0,0,0,0,2,1,1,1,1]	[0,0,0,0,0,0,0,0,0,0.02,0.18,1,1,1]
[0,0,0,0,0,0,1,1,1,1,1]	[0,0,0,0,0,0,0,0,0,0.02,1,1,1,1]
[0,0,0,0,0,0,1,1,1,1,1]	[0,0,0,0,0,0,0,0,0,0.02,1,1,1,1]
[1,1,1,1,1,1,1,1,1,1]	[1,1,1,1,1,1,1,1,1,1]

A Tabela 7.10 apresenta um registro da lista de tentativas, $L_{tentativas}$, ao final da implementação do primeiro ciclo de ações. Os ramos nesta lista contêm diversos tipos de informação. Por exemplo, no primeiro ramo desta lista o parâmetro LR_1^1 contém uma lista de conjuntos nebulosos. Neste ramo, estes conjuntos definem os *níveis nebulosos realizados* pela AMT_i em $K = 1$, na segunda ação do ciclo, **selecionar_aplicar**, ou seja, no conseqüente do quarto se-então do procedimento **projetar**. Os outros parâmetros deste ramo $L\beta_{pos}$, $Fava_{pos}$, AMT , $L\beta_{AMT}$, $Fava_{AMT}$ e K são semelhantes aqueles descritos na Tabela 7.8. Os outros nove ramos desta lista de tentativas são semelhantes ao primeiro e estão ordenados por valor avaliação, $Fava_{pos}$, das *posições nebulosas realizadas* pelas AMTs restantes em ATP^0 .

Tabela 7.10: Registro da lista de tentativas $L_{tentativas}$ ao final de um ciclo de ações.

Problema 1	
Ramo	1
LR_1^1	[[0,0,0,0,0,0,0,2,0.65,0.9,0.95,1],[0,0,0,0,0,0,0,0.02,0.18,0.98,1],[1,0.95,0.55,0.32,0,0,0,0,0,0],[0,0,0,0,0,0,0,0.32,0.55,0.95,1],[0,0,0,0,0,0,0,2,0.65,0.9,0.95,1],[1,0.95,0.55,0.32,0,0,0,0,0,0],[1,0.95,0.9,0.65,0.2,0,0,0,0,0],[0,0,0,0,0,0,0,0.02,0.18,0.98,1],[0,0,0,0,0,0,0,2,0.65,0.9,0.95,1],[0,0,0,0,0,0,0,0.32,0.55,0.95,1]]
$L\beta_{pos}$	[0,0,0,0,0,0,0,0,0,0]
$Fava_{pos}$	1
AMT	1
$L\beta_{AMT}$	[0.59294,0.46867,0.53775,0.53775,0.59294,0.53775,0.59294,0.46867,0.59294,0.53775]
$Fava_{AMT}$	0.45873
K	1
Ramo	2
LR_2^1	[[0,0,0,0,0,0,0,0.32,0.55,0.95,1],[0,0,0,0,0,0,0,0.02,0.18,0.98,1],[1,0.95,0.55,0.32,0,0,0,0,0,0],[0,0,0,0,0,0,0,0.32,0.55,0.95,1],[0,0,0,0,0,0,0,2,0.65,0.9,0.95,1],[1,0.98,0.18,0.02,0,0,0,0,0,0],[1,0.95,0.55,0.32,0,0,0,0,0,0],[0,0,0,0,0,0,0,0.02,0.18,0.98,1],[0,0,0,0,0,0,0,2,0.65,0.9,0.95,1],[0,0,0,0,0,0,0,0.32,0.55,0.95,1]]
$L\beta_{pos}$	[0.15707,0,0,0,0,0.14390,0.15707,0,0,0]
$Fava_{pos}$	0.95117
AMT	7
$L\beta_{AMT}$	[0.59156,0.46867,0.53775,0.53775,0.59294,0.51926,0.59156,0.46867,0.59294,0.53775]
$Fava_{AMT}$	0.46115
K	1
	⋮
	⋮
Ramo	10
LR_{10}^1	[[1,0.95,0.9,0.65,0.2,0,0,0,0,0],[1,0.95,0.9,0.65,0.2,0,0,0,0,0],[0,0,0,0,0,0,0,2,0.65,0.9,0.95,1],[1,0.95,0.9,0.65,0.2,0,0,0,0,0],[0,0,0,0,0,0,0,2,0.65,0.9,0.95,1],[1,0.95,0.9,0.65,0.2,0,0,0,0,0],[0,0,0,0,0,0,0,0.32,0.55,0.95,1],[0,0,0,0,0,0,0,2,0.65,0.9,0.95,1],[0,0,0,0,0,0,0,2,0.65,0.9,0.95,1]]
$L\beta_{pos}$	[0.75978,0.68544,0.70597,0.70597,0,0.15707,0,0.143906,0,0.15707]
$Fava_{pos}$	0.66787
AMT	10
$L\beta_{AMT}$	[0.76147,0.66870,0.71178,0.71178,0.59294,0.55131,0.59294,0.49348,0.59294,0.55131]
$Fava_{AMT}$	0.38100
K	1

A Tabela 7.11 apresenta um outro tipo de registro envolvendo uma lista de tentativas simplificada e outros parâmetros importantes do SOMN. Cada ramo *r* da lista contém informações a respeito (1) da avaliação de uma *posição nebulosa realizada*, *Fava_pos*, (2) da *AMT nebulosa* que gerou esta *posição*, *AMT*, (3) de seu valor de avaliação, *Fava_AMT*, e (4) da profundidade da *posição* na árvore de busca, *K*.

Tabela 7.11: Registro do processo de busca realizado pelo SOMN para o Problema 1.

Problema 1					
<i>LAMTs possíveis</i>	<i>Laux</i>	<i>Gera</i>	<i>Ltentativas</i>	<i>Melhor_config</i>	<i>Fava_melhor</i>
[0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,10]	{ }	0	[r(0.35941,0.0.0)]	{[]}	0
[1,2,3,4,5,6,7,8,9,10]	{0}	10	[r(1,1,0.45873,1), r(0.95117,7,0.46115,1), r(0.93724,2,0.45460,1), r(0.91757,5,0.44687,1), r(0.86202,4,0.45401,1), r(0.82124,8,0.41495,1), r(0.79010,6,0.43038,1), r(0.75532,3,0.41857,1), r(0.67995,9,0.38205,1), r(0.66787,10,0.38100,1)]	{[0]}	0.35941

A primeira coluna desta Tabela, *LAMTs possíveis*, contém as AMTs disponíveis para investimento em *ATP⁰*. A segunda coluna, *Laux*, as configurações que vão sendo formadas durante o processo de busca. Esta lista e a lista de AMTs disponíveis são modificadas à medida que os ramos vão sendo selecionados da lista de tentativas. A terceira coluna, *Gera*, apresenta o número de gerações realizadas pelo SOMN. A quinta e a sexta colunas, *Melhor_config* e *Fava_melhor*, contém as melhores configurações encontradas em todas as gerações realizadas e o valor de avaliação associado a estas configurações.

No caso de problemas de escolha entre AMTs alternativas a profundidade máxima da árvore que o SOMN constrói em memória é igual a 1. Isto porque, para este tipo de problema o sistema precisa implementar um único ciclo de ações. No próximo passo o sistema deve fazer uso das informações em *Ltentativas* e escolher a configuração satisfatória. Na tabela acima, a lista simplificada contém todas as informações necessárias para esta escolha. Considerando o conseqüente do primeiro se-então de **projetar**, o sistema deve implementar, pela segunda vez, a primeira ação do ciclo e recuperar a AMT correspondente ao primeiro ramo desta lista, ou seja, a

AMT_1 . Esta AMT tem valor de avaliação de *posição nebulosa realizada* igual a 1.0 . Neste caso, como este valor é maior que o valor de *Parada1* o SOMN escolheu a AMT_1 como configuração satisfatória.

A Tabela 7.12 descreve os valores de algumas das variáveis em **projetar** e o valor do argumento de saída do SOMN ao final do processo solução do Problema 1, ou seja, depois do sistema implementar pela segunda vez a primeira ação do ciclo e parar devido à satisfação da condição no antecedente do primeiro se-então de **projetar**.

Tabela 7.12: Argumento de saída e outras variáveis no SOMN para o Problema 1.

Problema 1	
<i>AMTs_avaliadas</i>	[1, 7, 2, 5, 4, 8, 6, 3, 9, 10]
<i>LFava_pos</i>	[1, 0.95, 0.94, 0.92, 0.86, 0.82, 0.79, 0.76, 0.68, 0.67]
<i>LFava_AMT</i>	[0.45, 0.46, 0.45, 0.44, 0.45, 0.41, 0.43, 0.41, 0.38, 0.38]
<i>Config_satisfatória</i>	[[1,0]]
<i>Fava_satisfatória</i>	1.0

A primeira linha desta tabela, *AMTs_avaliadas*, apresenta as AMTs avaliadas e ordenadas de acordo com os valores de avaliação de suas *posições nebulosas realizadas*, descritos na segunda linha da tabela, *LFava_pos*. A terceira linha, *LFava_AMT*, apresenta os valores de avaliação de cada uma das AMTs em *AMTs_avaliadas*. A quarta linha, *Config_satisfatória*, apresenta a configuração satisfatória escolhida. A quinta linha, o valor de avaliação da configuração satisfatória. Nesta configuração deve-se desconsiderar a AMT fictícia AMT_0 .

No que diz respeito à configuração satisfatória, o SOMN escolheu exatamente a configuração ideal. Basta conferir os parâmetros de entrada LC' e LA^* na Tabela 7.7 com as informações referentes à AMT_1 na Tabela 7.4. De acordo com esta última tabela, quando os *níveis nebulosos correntes* nas fontes são iguais aos descritos em LC' então os *níveis nebulosos realizados* nestas fontes pela AMT_1 são iguais aos *níveis nebulosos aspirados* descritos em LA^* . Isto também pode ser confirmado na Tabela 7.11. Basta perceber em *Ltentativas* os *níveis nebulosos realizados* pela AMT_1 na lista LR_1^1 , ao final da terceira ação do ciclo.

No primeiro ramo desta lista, aquele associado à AMT_1 , os conjuntos nebulosos que expressam os significados dos *níveis nebulosos realizados* em LR_1^I são os mesmos que expressam os significados dos *níveis nebulosos aspirados* em LA^* no Problema 1. Assim, de acordo com a Tabela 7.2, $LR_1^I = LA^* = [+ , +++ , - , ++ , + , - , - , +++ , + , ++]$. Além do mais, na Tabela 7.7 vale observar, a lista de distâncias $L\beta_{pos}$ entre os níveis em LR_1^I e LA^* , obtidas de acordo com expressões da forma (6.11), contém somente valores de diferença iguais a 0 e, conseqüentemente, uma avaliação de *posição nebulosa realizada* $Fava_{pos}$ igual a 1 , o valor máximo de avaliação.

Uma análise semelhante pode ser desenvolvida para o caso das outras candidatas à escolha. Por exemplo, na situação em que os *níveis nebulosos correntes* são os mesmos que aqueles em LC' na Tabela 7.4, os *níveis nebulosos realizados* pela AMT_7 são $LR_7^I = [\underline{++} , +++ , - , ++ , + , \underline{+-} , \underline{-} , +++ , + , ++]$. Neste caso, três destes *níveis*, aqueles que estão sublinhados, são diferentes de três *níveis nebulosos aspirados* em LA^* . Da mesma maneira, no caso da AMT_2 existem quatro níveis diferentes, ou seja, $LR_2^I = [\underline{++} , \underline{+-} , \underline{-} , ++ , + , - , - , +++ , \underline{+-} , ++]$. No caso da AMT_5 , cinco *níveis nebulosos realizados* diferentes, ou seja, $LR_5^I = [+ , \underline{+} , \underline{-} , ++ , + , - , - , \underline{++} , \underline{+-} , \underline{+}]$.

Problemas 2 e 3: sensibilidade quanto aos níveis na posição nebulosa desejada

Os resultados obtidos na Tabela 7.12 indicam que o SOMN é sensível à *posição nebulosa desejada*, especificada de acordo com os *níveis nebulosos aspirados* em LA^* e com os valores de importância em $L\mu$, associados às *metas nebulosas*. As soluções produzidas para os próximos dois problemas de escolha confirmam esta sensibilidade. Nestes problemas, foram alterados os *níveis nebulosos aspirados* em LA^* , permanecendo-se com os mesmos *níveis nebulosos correntes* LC' do Problema 1. A condição de parada *Parada1* e o fator de ramificação B são os mesmos do Problema 1. A Tabela 7.13 sintetiza os valores dos argumentos de entrada e saída do SOMN quando o Problema 2 foi estabelecido.

Tabela 7.13: Valores dos argumentos de entrada e saída do SOMN para o Problema 2.

Problema 2										
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}
LC'	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
LA^*	++	+	-	+	+	---	--	+++	++	+++
$L\mu$	0.8	1.0	0.7	0.6	0.7	0.9	0.8	1.0	0.7	0.6
$LAMTs_possíveis$	[1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10]									
$AMTs_avaliadas$	[4, 2, 7, 5, 1, 3, 6, 8, 9, 10]									
$Config_satisfatóri$ a	[[4, 0]]									
$F_ava_satisfatória$	1.0									

No que diz respeito aos argumentos de entrada, em relação ao Problema 1, no Problema 2 foram alterados oito *níveis nebulosos aspirados* em LA^* , ou seja, os *níveis* das fontes de competitividade representadas pelas variáveis lingüísticas $X_1, X_2, X_3, X_4, X_6, X_9$ e X_{10} . As células marcadas na tabela apresentam os novos *níveis*. Em termos de resultados, mais uma vez, como havia acontecido no problema anterior, o SOMN escolheu a AMT ideal, ou seja, a AMT_4 . Isto aconteceu pois, de acordo com a Tabela 7.4, quando os *níveis nebulosos correntes* nas fontes são iguais aos descritos em LC' então os *níveis nebulosos realizados* nestas fontes pela AMT_4 são iguais aos *níveis nebulosos aspirados* descritos em LA^* .

Da mesma maneira, no caso da segunda candidata a ser escolhida, ou seja, a AMT_2 , nem todos os *níveis nebulosos realizados* correspondem aos *aspirados* em LA^* . Neste caso, existem cinco *níveis* diferentes, ou seja, $LR_2^I = [++, ++, -, ++, +, -, -, +, ++, ++, ++]$. O Problema 3 confirmou ainda mais a sensibilidade quanto à *posição nebulosa desejada*. Ele foi elaborado de maneira ligeiramente diferente do Problema 2. A Tabela 7.14 sintetiza os valores dos argumentos de entrada e saída do SOMN para este problema.

Tabela 7.14: Valores dos argumentos de entrada e saída do SOMN para o Problema 3.

Problema 3										
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}
LC_m'	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
LA_m^*	++	+	-	+	+	---	--	++	+	++
$L\mu_m$	0.8	1.0	0.7	0.6	0.7	0.9	0.8	1.0	0.7	0.6
$AMTs_possíveis$	[1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10]									
$AMTs_avaliadas$	[4, 5, 7, 2, 1, 3, 6, 8, 9, 10]									
$Config_satisfatória$	[[4, 0]]									
$F_ava_satisfatória$	0.96									

No que diz respeito aos valores de entrada, em relação ao Problema 2, foram alterados três *níveis nebulosos aspirados* em LA^* , ou seja, os *níveis* das fontes de competitividade representadas pelas variáveis lingüísticas X_8 , X_9 e X_{10} . Mesmo com estas alterações, o SOMN continuou escolhendo a AMT desejada, ou seja, mais uma vez a AMT_4 . Desta vez, diferentemente do que ocorreu nos Problemas 1 e 2, na Tabela 7.4, três *níveis nebulosos realizados* pela AMT_4 são diferentes dos *níveis nebulosos aspirados* em LA^* , ou seja, $LR_4^I = [++, +, -, +, +, ---, --, ++, ++, ++]$, exatamente aqueles que foram alterados em relação ao Problema 2. Estas diferenças produziram um valor avaliação de *posição nebulosa realizada* igual a **0.96**, ou seja, menor que o alcançado nos Problemas 1 e 2.

A AMT_5 , segunda candidata a ser escolhida, produziu cinco *níveis nebulosos realizados* diferentes dos *aspirados* em LA^* , ou seja, $LR_5^I = [+, +, -, ++, +, --, -, ++, +, +]$. Estes detalhes tornaram a ordem proposta para a escolha no Problema 2 diferente daquela proposta no Problema 3. No primeiro caso, a ordem para a escolha foi $AMTs_avaliadas = [4, 2, 7, 5, 1, 3, 6, 8, 9, 10]$; no segundo, $AMTs_avaliadas = [4, 5, 7, 2, 1, 3, 6, 8, 9, 10]$. Percebe-se nestas listas que as alterações nos níveis em LA^* mudaram a AMT_5 da quarta para a segunda candidata a ser escolhida, e a AMT_2 da segunda para a quarta. Isto aconteceu pois, neste novo problema, a AMT_2 produziu seis *níveis nebulosos realizados* diferentes dos *níveis nebulosos aspirados* em LA^* , ou seja, $LR_2^I = [++, ++, -, ++, +, --, -, ++, ++, ++]$; uma diferença a mais que no Problema 2. Finalmente, a AMT_7 , terceira candidata nos dois problemas, produziu cinco *níveis* diferentes.

Problema 4: sensibilidade quanto à importância da meta nebulosa

Os resultados obtidos nos Problemas 1, 2 e 3 demonstraram na prática que o SOMN é sensível às variações nos níveis nebulosos aspirados em LA^* . Sendo assim, vale observar a sensibilidade da escolha em relação à lista de importâncias $L\mu$. O Problema 4 descrito na Tabela 7.15 explora este aspecto. Este problema permanece com os mesmos valores de argumentos de entrada para o Problema 3, descritos na Tabela 7.14, exceto os valores de importância associados às fontes representadas pelas variáveis lingüísticas X_2, X_3, X_8 e X_{10} . As células da tabela que estão marcadas descrevem os novos valores.

Tabela 7.15: Valores dos argumentos de entrada e saída do SOMN para o Problema 4.

Problema 4										
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}
LC^*	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
LA^*	++	+	-	+	+	---	--	++	+	++
$L\mu$	0.8	0.1	0.1	0.6	0.7	0.9	0.8	0.1	0.7	1.0
$AMTs_possíveis$	[1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10]									
$AMTs_avaliadas$	[7, 4, 2, 1, 6, 5, 3, 8, 9, 10]									
$Config_satisfatória$	[[7, 0]]									
$F_ava_satisfatória$	0.97									

Comparando com a Tabela 7.14, os valores de importância associados às variáveis X_2, X_3 , e X_8 foram diminuídos e o valor associado a X_{10} foi aumentado. Estas alterações proporcionaram uma outra ordem na lista de AMTs avaliadas e, conseqüentemente, uma outra configuração satisfatória. A AMT_4 , que foi configuração satisfatória no Problema 3, deu lugar no Problema 4 para a AMT_7 , que foi a terceira candidata na solução proposta para o Problema 3. Apesar da AMT_4 parecer mais interessante que a AMT_7 , visto que no Problema 3 ela apresentou apenas três diferenças entre LR_4^I e LA^* , em detrimento de cinco diferenças entre LR_7^I e LA^* , as alterações nos valores de importância justificam a escolha da AMT_7 .

Estes últimos resultados podem ser justificados levando-se em consideração a função avaliação de *posição nebulosa realizada*, obtida de acordo com uma expressão da forma (6.12). As diminuições dos valores de importância “atenuaram” bastante as distâncias entre os níveis nas variáveis X_2, X_3 e X_8 no caso da AMT_7 . Além do mais, o aumento no valor de importância “amplificou” a similaridade entre os níveis na variável X_{10} . Isto fez com que o valor avaliação da

posição nebulosa realizada pela AMT_7 aumentasse em relação ao Problema 3. Por outro lado, as diminuições dos valores de importância “atenuaram” a similaridade entre os níveis nas variáveis X_2 e X_3 no caso da AMT_4 . E, o aumento no valor de importância, “amplificou” a distância entre os níveis na variável X_{10} . Isto fez com que o valor avaliação da *posição nebulosa realizada* pela AMT_4 diminuísse em relação ao Problema 3.

Problema 5: qualidade das escolhas realizadas pelo SOMN

Os resultados anteriores demonstraram que o SOMN é sensível às variações na *posição nebulosa desejada* de competitividade, sejam estas variações nos níveis nebulosos aspirados ou nos valores de importância associados às metas nebulosas que definem a *posição*. Este resultado pode ser estendido para variações na *posição nebulosa corrente* do sistema. Este tipo de teste foi realizado no Capítulo 8. Nesta etapa, vale observar a qualidade das escolhas realizadas pelo SOMN. O Problema 5 explora este novo aspecto. A Tabela 7.16 apresenta os valores dos argumentos de entrada do SOMN.

Tabela 7.16: Valores dos argumentos de entrada do SOMN para o Problema 5.

Problema 5										
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}
LC'	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
LA^*	+++	+++	---	+++	+++	---	---	+++	+++	+++
$L\mu$	0.6	1.0	0.4	0.2	0.4	0.8	0.6	1.0	0.4	0.2
$AMTs_possíveis$	[1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10]									
B	10									
$Parada1$	0.40									

Estes valores foram estabelecidos de maneira muito semelhante aos estabelecidos no estudo de caso realizado por WILHELM e PARSAEI (1991). A obtenção da Tabela 7.16 a partir do estudo de caso foi realizada da mesma maneira que a realizada para obtenção da informação sobre o domínio de aplicação, na seção anterior. Os níveis nebulosos correntes em LC' foram mantidos em médio (•). Os níveis nebulosos aspirados em LA^* e os valores de importância em $L\mu$ foram adaptados respectivamente a partir do enunciado das metas estratégicas da companhia e dos valores lingüísticos de importância no estudo de caso. A Tabela 7.17 apresenta os resultados produzidos pelo algoritmo heurístico (AH) de WILHELM e PARSAEI (1991) e pelo SOMN.

Tabela 7.17: Resultados do estudo de caso (EC) e argumentos de saída do SOMN.

Problema 5		
AH	AMTs_avaliables	[1, 7, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10]
	LDist_Hammig	[0.07, 0.07, 0.17, 0.26, 0.26, 0.26, 0.60, 0.61, 0.62, 0.62]
	LFava_AMT	não consta no estudo de caso
	AMT_escolhida	[[1, 0],[7,0]]
SOMN	AMTs_avaliables	[7, 4, 1, 2, 5, 6, 3, 8, 9, 10]
	LFava_pos	[0.91, 0.85, 0.85, 0.84, 0.76, 0.75, 0.73, 0.66, 0.58, 0.58]
	LFava_AMT	[0.52, 0.51, 0.51, 0.50, 0.49, 0.47, 0.48, 0.46, 0.43, 0.42]
	Config_satisfatória	[[7,0]]
	Fava_satisfatória	0.91

No caso do algoritmo AH a função empregada na avaliação das AMTs leva em consideração a Distância de Hamming adaptada para conjuntos nebulosos. Esta função funciona como a função *Fava_pos* do SOMN. Mais ainda, não existe uma função em AH que seja equivalente a função *Fava_AMTs*. Devido às adaptações subjetivas realizadas na informação processada por AH, o SOMN produziu resultados ligeiramente diferentes de AH. Mesmo assim, considerando adequadas as análises dos resultados produzidos por AH, o sistema passou também neste teste.

Por exemplo, o SOMN escolheu como configuração satisfatória uma das duas AMTs selecionadas por AH, ou seja, a AMT_7 . A AMT_1 , avaliada com o mesmo valor que a AMT_7 por AH, em conjunto com a AMT_4 ocupam o segundo lugar no caso do SOMN. De qualquer maneira, as discordâncias mais marcantes nos resultados produzidos pelo SOMN e por AH estão nas classificações das AMTs: AMT_3 , AMT_4 , AMT_5 e AMT_6 . As opções AMT_8 , AMT_9 e AMT_{10} obtiveram as mesmas classificações nos dois casos.

WILHELM e PARSAEI (1991) não teceram comentários sobre a classificação propriamente dita das AMTs possíveis. Estes comentários requisitam um conhecimento especializado a respeito destas AMTs. Este conhecimento não esteve disponível durante a etapa de teste do SOMN. Assim, para a validação dos resultados quanto à qualidade das escolhas, faltou uma avaliação a partir do ponto de vista de um especialista no assunto. Isto ficou para uma próxima etapa do desenvolvimento deste trabalho. O próximo capítulo continua com a

apresentação dos testes do SOMN, mas, desta vez, através da elaboração de vários problemas de projeto de configurações de AMTs. Novos resultados interessantes foram obtidos.

Capítulo 8

Projeto de Configurações para Investimento

Este Capítulo 8 continuou com teste do SOMN formalizado até o Capítulo 6. Considerando que o mesmo realizou escolhas satisfatórias no capítulo anterior, desta vez, foram elaborados vários problemas de projeto de configurações de AMTs. Este capítulo foi dividido em três seções principais. A Seção 8.1 define formalmente o que vem a ser o problema de projeto de configurações para investimento e descreve como o SOMN funciona de maneira a resolver estes problemas. A Seção 8.2 apresenta cinco problemas de projeto de configurações específicos, as soluções propostas pelo SOMN e uma breve análise destes resultados. A Seção 8.3 realiza uma avaliação informal do desempenho do SOMN frente aos problemas de projeto resolvidos.

8.1 Descrição do problema de projeto

A Figura 8.1 esquematiza um problema específico de projeto de configurações de AMTs. Este esquema repassa a idéia de como os problemas de projeto são estabelecidos para o SOMN. Dadas as descrições das *posições nebulosas corrente* e *aspirada* de competitividade, $PC^0 = 0.8/(X_1, \bullet) + \dots + 0.6/(X_4, \bullet) + \dots + 0.8/(X_7, \bullet) + \dots + 0.6/(X_{10}, \bullet)$ e $PD = 0.8/(X_1, +) + \dots + 0.6/(X_4, ++)$ + ... + $0.8/(X_7, -) + \dots + 0.6/(X_{10}, ++)$, e o conjunto de AMTs *nebulosas* possíveis para investimento, $ATP^0 = \{AMT_1, AMT_2, \dots, AMT_{10}\}$, o problema consiste em encontrar uma *configuração de AMTs nebulosas* satisfatória, isto é, que transforme PC^0 em PD ou que, pelo menos, reduza as diferenças entre estas *posições*.

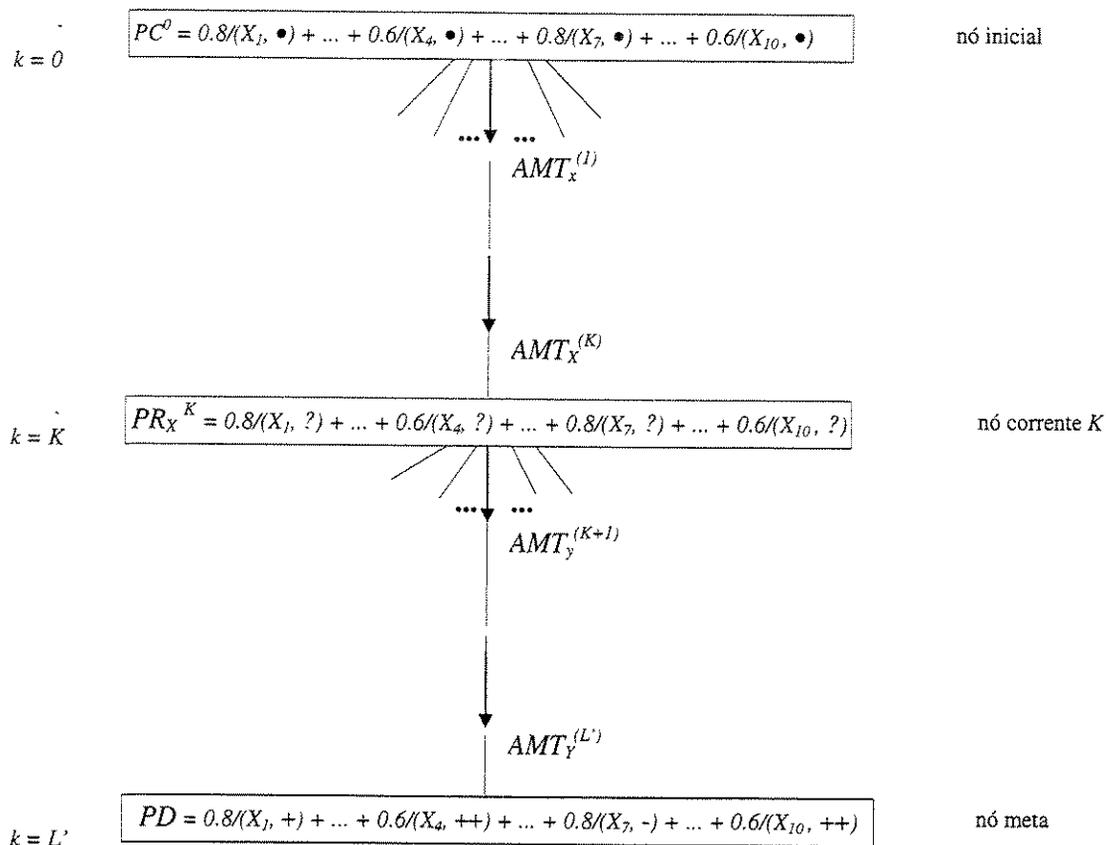


Figura 8.1 Problema de projeto de configurações de AMTs.

Neste tipo de problema, diferentemente dos problemas de escolha, a configuração satisfatória tem comprimento L' , onde $1 \leq L' \leq N$ e N é o número de AMTs disponíveis em ATP^0 . Assim, como em geral $L' > 1$ então o SOMN deve realizar várias vezes o ciclo de ações **selecionar_primeiro** \rightarrow **selecionar_B_e_aplicar** \rightarrow **avaliar_B_e_armazenar**, descrito no conseqüente do quarto se-então do procedimento **projetar**, descrito na última seção do Capítulo 6. Na realidade, o sistema deve resolver vários problemas de escolha até a montagem da configuração satisfatória, mas, em alguns momentos deste processo, pode ser preciso que ele volte atrás em algumas decisões tomadas anteriormente, isto é, desmonte parcialmente uma configuração corrente e monte outras configurações alternativas.

Por exemplo, no problema acima, o SOMN deve iniciar o processo selecionando PC^0 na lista de tentativas. Em seguida, considerando que PC^0 é diferente de PD e um fator de

ramificação B , ele deve aplicar apenas as B AMTs *nebulosas* em ATP^0 mais promissoras, ou seja, mais similares à *AMT nebulosa ideal* em $K = 0$, e obter uma lista contendo informações a respeito das B *posições nebulosas realizadas* e das B AMTs que as geraram, ou seja, $[PR_1^1, PR_2^1, \dots, PR_B^1]$. Posteriormente, ele deve avaliar, ordenar e concatenar a lista ordenada com a lista de tentativas que restou ao final da primeira ação do ciclo, e obter uma nova lista de tentativas. Por sua vez, esta nova lista será manipulada no início de um outro ciclo de ações, caso as condições de parada não tenham sido satisfeitas.

Estes ciclos devem ocorrer até que uma das condições de parada sejam satisfeitas ou o SOMN projetar todas as configurações possíveis de serem montadas pelo esquema de busca. Nestes casos, o sistema deve responder apropriadamente, isto é, dependendo da condição de parada que for satisfeita, o SOMN deve produzir um tipo de configuração satisfatória. Por exemplo, se ao final da terceira ação o sistema parar porque alguma *posição nebulosa realizada* obteve valor de avaliação maior ou igual à condição de parada por valor de função avaliação de *posição nebulosa realizada*, então a configuração que gerou esta *posição* é satisfatória e, realmente, a melhor; está de acordo com o requisitado no problema, e o sistema, provavelmente, parou antes de atingir a condição de parada pelo número máximo de gerações permitidas.

Por outro lado, se o sistema parar porque realizou o número máximo de gerações permitidas, então as melhores configurações encontradas até a parada são contabilizadas como satisfatórias. Neste caso, é provável que o valor de função avaliação de *posição* destas configurações seja menor que o atribuído à condição de parada por valor de *posição nebulosa realizada*. Pode-se dizer que estas configurações reduzem as diferenças entre as *posições nebulosas corrente e desejada*, especificadas no problema. Vale ressaltar que, para responder apropriadamente, durante a realização dos ciclos de ações o SOMN armazena as melhores configurações projetadas até uma condição de parada ser alcançada.

Em alguns momentos pode ser necessário que o SOMN desmonte parcialmente uma configuração corrente de comprimento $N + 1$ (no problema da Figura 8.1: dez AMTs mais a AMT fictícia AMT_0), ou seja, de comprimento máximo mas que não atingiu a condição de parada

por valor avaliação de *posição nebulosa realizada*. Neste caso, o sistema deve desmontar parcialmente a configuração corrente e reiniciar os ciclos de ações. O número de AMTs que devem sair da configuração corrente é função da profundidade, K' , da primeira *posição nebulosa realizada* na lista de tentativas. Neste caso, conforme a descrição procedimental do esquema de busca este número é igual a $N - K' + 1$. A próxima seção apresenta vários problemas de projeto. Eles permitiram avaliar o funcionamento do SOMN diante de várias situações.

8.2 Problemas e resultados

Nesta seção foram elaborados cinco problemas de projeto de configurações de AMTs. As definições destes problemas são muito parecidas com as definições dos Problemas 1-5 elaborados no capítulo anterior. A diferença é que, desta vez, o SOMN vai ser forçado a projetar uma configuração de comprimento maior que I . Assim, os valores dos argumentos de entrada *Parada1* e *Parada2* assumem um papel mais importante que nos problemas de escolha. Esta estratégia permitiu a observação de outros aspectos envolvidos no funcionamento do sistema como, por exemplo: o processo de projeto, as *posições nebulosas realizadas* ao longo do processo, o retrocesso e o efeito da variação do fator de ramificação no desempenho do sistema.

Problema 1: processo de projeto e posições nebulosas realizadas

A Tabela 8.1 apresenta os valores dos argumentos de entrada do SOMN para o caso do Problema 1. Além das *posições nebulosas corrente* e *aspirada* de competitividade e do conjunto de AMTs *nebulosas* possíveis para investimento, definidas a partir das listas LC' , LA^* , $L\mu$ e $LAMTs_possíveis$, os outros dois parâmetros, B e *Parada1*, dizem ao SOMN que ele deve selecionar, aplicar e avaliar as dez AMTs em $LAMTs_possíveis$, e parar se pelo menos uma delas produzir uma *posição nebulosa realizada* com valor de avaliação maior ou igual a **0.999**.

Tabela 8.1: Valores dos argumentos de entrada do SOMN para o Problema 1.

Problema 1										
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}
LC'	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
LA^*	+++	+++	---	+++	+++	---	---	+++	+++	+++
$L\mu$	0.6	1.0	0.4	0.2	0.4	0.8	0.6	1.0	0.4	0.2
$LAMTs_possiveis$	[1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10]									
B	10									
$Parada1$	0.999									

Os conteúdos das listas LC' , LA^* e $L\mu$ são os mesmos do Problema 5 do capítulo anterior. O valor de $Parada2$, ou seja, o número máximo de gerações permitidas, não aparece nesta tabela. Conforme pode ser observado a seguir, este valor não interferiu no processo de projeto da configuração satisfatória. Além do mais, no que diz respeito à outra condição de parada, vale observar, o parâmetro $Parada1$ é maior no Problema 1 que nos Problemas 1-5 do capítulo anterior, e, também, maior que o valor de avaliação, 0.91 , da *posição nebulosa realizada* pela configuração satisfatória obtida no Problema 5.

Assim, a princípio, a configuração $[7, 0]$ não é configuração satisfatória no problema atual. Neste caso, o SOMN deve implementar um novo ciclo de ações em busca de uma alternativa que produza uma *posição nebulosa realizada* com valor avaliação igual ou maior que 0.999 . As Tabelas 8.2-8.5 apresentam alguns registros do processo de busca implementado pelo SOMN para este novo problema. A Tabela 8.2 apresenta um registro dos valores dos parâmetros antes do SOMN iniciar o processo de projeto.

Tabela 8.2: Registro do processo de busca realizado pelo SOMN em $K=0$ para o Problema 1.

Problema 1						
K	$LAMTs_possiveis$	$Laux$	$Gera$	$Lentativas$	$Melhor$	$F\ ave\ Melhor$
0	[0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,10]	[]	0	[r(0.3678895378,0.0,0)]	[[]]	0

Relembrando, a primeira coluna desta tabela, K , apresenta a profundidade da árvore de busca do sistema. A segunda coluna, $LAMTs_possiveis$, as AMTs disponíveis para investimento em ATP^K . A terceira coluna, $Laux$, as configurações que vão sendo formadas durante o processo de busca. A quarta coluna, $Gera$, apresenta o número de gerações realizadas pelo SOMN. A

quinta, *Ltentativas*, cada ramo da lista de tentativas, $r(\text{Fav_pos}, \text{AMT}, \text{Fav_AMT}, K')$, contém informações a respeito (1) da avaliação de uma *posição nebulosa realizada*, (2) da *AMT nebulosa* que gerou esta *posição*, (3) de seu valor de avaliação, e (4) da profundidade da *posição* na árvore de busca. A sexta e a sétima colunas, *Melhor* e *F_ava_Melhor*, apresentam as melhores configurações encontradas e o valor de avaliação associado a estas configurações.

A lista *LAMTs_possíveis* na Tabela 8.2 contém todas as AMTs possíveis para investimento e a configuração corrente *Laux* é vazia. Nenhuma geração, *Gera*, foi realizada. A lista *Ltentativas* contém apenas o ramo com informações a respeito da *posição nebulosa corrente* inicial, PC^0 , e da *AMT nebulosa* fictícia AMT_0 . A lista das melhores configurações, no início, contém somente a configuração vazia, *Melhor* = $[[[]]]$, e seu valor de avaliação é zero, $F_ava_Melhor = 0$.

Considerando estes e os outros argumentos de entrada especificados na Tabela 8.2, em $K = 0$ o SOMN iniciou o primeiro ciclo de ações selecionando o único ramo de *Ltentativas*. Por causa desta ação, a AMT descrita neste ramo, AMT_0 , “responsável” por PC^0 , foi retirada de *LAMTs_possíveis* e inserida na configuração corrente *Laux*. Vale ressaltar, este tipo de procedimento ocorre sempre que um ramo é selecionado de *Ltentativas*. Em seguida, considerando que o valor de avaliação de PC^0 registrado no ramo selecionado, 0.37, é menor que a condição de parada *Parada1*, 0.999, o sistema aplicou as dez *AMTs nebulosas* em *LAMTs_possíveis* e gerou dez *posições nebulosas realizadas* em $K = 1$.

Posteriormente, ele avaliou estas *posições* e armazenou os ramos correspondentes de maneira ordenada em *Ltentativas*. A Tabela 8.3 apresenta um registro dos valores dos parâmetros depois que o SOMN terminou o primeiro ciclo. A lista das melhores configurações, montadas até o final do primeiro ciclo, sem levar em consideração as AMTs inseridas em *Ltentativas*, contém somente a configuração corrente, *Melhor* = $[[0]]$, e seu valor de *posição nebulosa realizada* é igual ao valor de PC^0 , $F_ava_Melhor = 0.37$.

Tabela 8.3: Registro do processo de busca realizado pelo SOMN em $K = 1$ para o Problema 1.

Problema 1						
K	LAMTs_possiveis	Laux	Gera	Ltentativas	Melhor	F_ava_Melhor
1	[1,2,3,4,5,6,7,8,9,10]	[0]	10	[r(0.9064856211,7,0.5153160875,1), r(0.8535858778,4,0.5063592942,1), r(0.8535858778,1,0.5063592942,1), r(0.8440591156,2,0.5046351639,1), r(0.7590684641,5,0.4902818852,1), r(0.7473556209,6,0.4733451342,1), r(0.7346054117,3,0.4742066547,1), r(0.6645853817,8,0.4563421777,1), r(0.5840527204,9,0.4277583941,1), r(0.5786624426,10,0.4268563121,1)]	[[0]]	0.3678895378

Em $K = 1$, o SOMN iniciou um novo ciclo de ações selecionando o primeiro ramo de *Ltentativas*. O sistema retirou a AMT_7 de *LAMTs_possiveis* e a inseriu em *Laux*. Este novo conteúdo de *Laux* indica que a configuração formada em $K = 1$ é AMT_0AMT_7 . Além do mais, com esta ação os valores dos novos *níveis nebulosos correntes* na *posição nebulosa corrente*, PC^1 , assumiram os valores dos *níveis nebulosos realizados* na *posição nebulosa realizada* pela AMT_7 , PR_7^1 . Em seguida, como o valor de PC^1 é menor que *Parada1*, $0.906 < 0.999$, o sistema aplicou as nove $AMTs$ em *LAMTs_possiveis* e gerou mais nove *posições nebulosas realizadas* em $K = 2$. Posteriormente, o SOMN avaliou estas *posições* e armazenou os ramos correspondentes de maneira ordenada em *Ltentativas*. A Tabela 8.4 apresenta um registro dos valores dos parâmetros depois que o SOMN terminou o segundo ciclo.

Tabela 8.4: Registro do processo de busca realizado pelo SOMN em $K = 2$ para o Problema 1.

Problema 1						
K	LAMTs_possiveis	Laux	Gera	Ltentativas	Melhor	F_ava_Melhor
2	[1,2,3,4,5,6,8,9,10]	[7,0]	19	[r(0.995077276,4,0.2547743181,2), r(0.9944311803,2,0.2530666369,2), r(0.990154552,1,0.2537460848,2), r(0.9891854084,5,0.2541928278,2), r(0.9334058717,3,0.2552021709,2), r(0.920320542,6,0.2543955935,2), r(0.8996711563,8,0.2548049846,2), r(0.8252374702,9,0.2559466567,2), r(0.8249144223,10,0.2562271136,2), r(0.8535858778,4,0.5063592942,1), r(0.8535858778,1,0.5063592942,1), r(0.8440591156,2,0.5046351639,1), r(0.7590684641,5,0.4902818852,1), r(0.7473556209,6,0.4733451342,1), r(0.7346054117,3,0.4742066547,1), r(0.6645853817,8,0.4563421777,1), r(0.5840527204,9,0.4277583941,1), r(0.5786624426,10,0.4268563121,1)]	[[7,0]]	0.9064856211

A melhor configuração encontrada ao final do segundo ciclo passou a ser a configuração corrente atual, $Melhor = [[7, 0]]$, e o valor de *posição* desta configuração igual ao valor de avaliação de PC^1 , $F_ava_Melhor = 0.906$. Em $K = 2$, o SOMN iniciou o terceiro ciclo. Selecionou o primeiro ramo de *Ltentativas*, retirou a AMT_4 de *LAMTs possíveis* e a inseriu em *Laux*. Assim, a nova configuração corrente passou a ser $AMT_0AMT_7AMT_4$. Além do mais, os valores dos novos *níveis nebulosos correntes* na *posição* PC^2 assumiram os valores dos *níveis nebulosos realizados* na *posição nebulosa realizada* pela AMT_4 , PR_4^2 . Em seguida, como o valor de PC^2 é menor que *Parada1*, $0.995 < 0.999$, o sistema aplicou as oito $AMTs$ restantes em *LAMTs possíveis* e gerou oito *posições nebulosas realizadas* em $K = 3$. Posteriormente, ele avaliou estas *posições* e armazenou os ramos correspondentes de maneira ordenada em *Ltentativas*. A Tabela 8.5 apresenta um registro dos valores dos parâmetros depois que o SOMN terminou o terceiro ciclo.

Tabela 8.5: Registro do processo de busca realizado pelo SOMN em $K = 3$ para o Problema 1.

Problema 1						
K	LAMTs possíveis	Laux	Gera	Ltentativas	Melhor	F_ava_Melhor
3	[1,2,3,5,6,8,9,10]	[4,7,0]	27	[r(0.9993539043,1,0.2433737284,3), r(0.9987078085,5,0.2438064121,3), r(0.9987078085,2,0.241659677,3), r(0.9393546883,3,0.2441781014,3), r(0.9242741224,6,0.2429829936,3), r(0.9088705086,8,0.2443025575,3), r(0.8334676788,10,0.2450837059,3), r(0.8334676788,9,0.2448079354,3), r(0.9944311803,2,0.2530666369,2), r(0.990154552,1,0.2537460848,2), r(0.9891854084,5,0.2541928278,2), r(0.9334058717,3,0.2552021709,2), r(0.920320542,6,0.2543955935,2), r(0.8996711563,8,0.2548049846,2), r(0.8252374702,9,0.2559466567,2), r(0.8249144223,10,0.2562271136,2), r(0.8535858778,4,0.5063592942,1), r(0.8535858778,1,0.5063592942,1), r(0.8440591156,2,0.5046351639,1), r(0.7590684641,5,0.4902818852,1), r(0.7473556209,6,0.4733451342,1), r(0.7346054117,3,0.4742066547,1), r(0.6645853817,8,0.4563421777,1), r(0.5840527204,9,0.4277583941,1), r(0.5786624426,10,0.4268563121,1)]	[[4,7,0]]	0.995077276

A melhor configuração encontrada ao final do segundo ciclo passou a ser a configuração corrente em *Laux*, ou seja, $Melhor = [[4, 7, 0]]$, e seu valor de *posição* igual ao valor de PC^2 ,

$F_ava_Melhor = 0.995$. Finalmente, em $K = 3$, o SOMN iniciou o quarto e último ciclo. Depois da realização da primeira ação, seleção do primeiro ramo de *Ltentativas*, e a retirada da AMT_1 de *LAMTs_possíveis* e inserção em *Laux*, a nova configuração corrente $AMT_0AMT_7AMT_4AMT_1$ e os valores dos novos *níveis nebulosos correntes* em PC^3 assumiram os valores dos *níveis nebulosos realizados* em PR_1^3 . Em seguida, o sistema percebeu que a condição de parada *Parada1* foi satisfeita, pois o valor de avaliação de PC^3 é igual a 0.999. Neste momento, ele interrompeu o ciclo e respondeu a configuração satisfatória para o Problema 1, ou seja, a própria configuração corrente montada até $K = 3$, *Config_satisfatória* = $[[1, 4, 7, 0]]$. A Tabela 8.6 apresenta um registro dos valores de algumas variáveis manipuladas pelo SOMN até a parada.

Tabela 8.6: Algumas variáveis manipuladas pelo SOMN no Problema 1.

Problema 1	
<i>LAMTs_possíveis</i>	$[2, 3, 5, 6, 8, 9, 10]$
<i>Config_satisfatória</i>	$[[1, 4, 7, 0]]$
<i>Fava_satisfatória</i>	0.9993539043

Além da configuração satisfatória e do valor de avaliação da *posição nebulosa realizada* por esta configuração, a tabela acima destaca as AMTs em *LAMTs_possíveis* que restaram ao final do processo de projeto. As Tabelas 8.7(a)-(d) apresentam um registro dos *níveis nebulosos correntes* em cada uma das profundidades da árvore de busca do SOMN para o Problema 1, desde o início do processo, $K = 0$, até a montagem da configuração satisfatória, $K = 3$.

Tabela 8.7: Lista de níveis nebulosos correntes em PC^K , $K = 0, \dots, 3$.
8.7(a): PC^0

Problema 1						
K	LC^k	LA^k	$L\beta$	$L\alpha$	<i>Fava_pos</i>	<i>AMT</i>
0	$[[0, 0, 0, 0, 1, 0, 35, 0, 8, 1, 0, 8, 0, 35, 0, 1, 0, 05, 0],$ $[0, 0, 0, 0, 1, 0, 35, 0, 8, 1, 0, 8, 0, 35, 0, 1, 0, 05, 0],$ $[0, 0, 0, 0, 1, 0, 35, 0, 8, 1, 0, 8, 0, 35, 0, 1, 0, 05, 0],$ $[0, 0, 0, 0, 1, 0, 35, 0, 8, 1, 0, 8, 0, 35, 0, 1, 0, 05, 0],$ $[0, 0, 0, 0, 1, 0, 35, 0, 8, 1, 0, 8, 0, 35, 0, 1, 0, 05, 0],$ $[0, 0, 0, 0, 1, 0, 35, 0, 8, 1, 0, 8, 0, 35, 0, 1, 0, 05, 0],$ $[0, 0, 0, 0, 1, 0, 35, 0, 8, 1, 0, 8, 0, 35, 0, 1, 0, 05, 0],$ $[0, 0, 0, 0, 1, 0, 35, 0, 8, 1, 0, 8, 0, 35, 0, 1, 0, 05, 0],$ $[0, 0, 0, 0, 1, 0, 35, 0, 8, 1, 0, 8, 0, 35, 0, 1, 0, 05, 0],$ $[0, 0, 0, 0, 1, 0, 35, 0, 8, 1, 0, 8, 0, 35, 0, 1, 0, 05, 0]]$	$[[0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 02, 0, 18, 0, 98, 1],$ $[0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 02, 0, 18, 0, 98, 1],$ $[1, 0, 98, 0, 18, 0, 02, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0],$ $[0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 02, 0, 18, 0, 98, 1],$ $[0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 02, 0, 18, 0, 98, 1],$ $[1, 0, 98, 0, 18, 0, 02, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0],$ $[1, 0, 98, 0, 18, 0, 02, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0],$ $[0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 02, 0, 18, 0, 98, 1],$ $[0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 02, 0, 18, 0, 98, 1],$ $[0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 02, 0, 18, 0, 98, 1]]$	[0.632, 0.632, 0.632, 0.632, 0.632, 0.632, 0.632, 0.632, 0.632, 0.632]	[0.367, 0.367, 0.367, 0.367, 0.367, 0.367, 0.367, 0.367, 0.367, 0.367]	0.367	0

8.7(b): PC^1

A Tabela 8.7(a) apresenta o registro dos *níveis nebulosos correntes* em $K = 0$. No início existem muitas diferenças entre PC^0 e PD . Isto fez com que o SOMN iniciasse o primeiro ciclo de ações. A Tabela 8.7(b) apresenta o registro dos *níveis* em $K = 1$, ao final da realização do primeiro ciclo e da seleção da AMT_7 no início do segundo ciclo. O número de diferenças entre PC^1 e PD diminuiu e o valor de avaliação aumentou. A Tabela 8.7(c) apresenta o registro dos *níveis* em $K = 2$, ao final da realização do segundo ciclo e da seleção da AMT_4 no início do terceiro ciclo. O número de diferenças entre PC^2 e PD diminuiu ainda mais e o valor de avaliação aumentou. Finalmente, a Tabela 8.7(d) apresenta o registro dos *níveis* em $K = 3$, ao final da realização do terceiro ciclo, da seleção da AMT_1 e da interrupção do processo. O número de diferenças entre PC^3 e PD diminuiu ainda mais e o valor de avaliação *Fava_pos* satisfaz a condição de parada do SOMN.

Problema 2: processo de projeto e retrocesso

Considerando satisfatória a configuração projetada pelo SOMN para o Problema 1 e que, intuitivamente, esta configuração é plausível no domínio de aplicação, o Problema 2 força o SOMN a montar e desmontar uma configuração de tamanho máximo não satisfatória. Assim, foi possível perceber o retrocesso que o sistema realiza na árvore de busca. A Tabela 8.8 apresenta um registro dos valores dos argumentos de entrada do sistema. As diferenças em relação ao problema anterior estão nas definições das *posições nebulosas correntes*. As células da tabela que estão marcadas descrevem estas diferenças.

Tabela 8.8: Valores dos argumentos de entrada do SOMN para o Problema 2.

		Problema 2									
		X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}
LC'	-	•	--	•	•	•	•	•	--	•	
LA^*	+++	+++	---	+++	+++	---	---	+++	+++	+++	
$L\mu$	0.6	1.0	0.4	0.2	0.4	0.8	0.6	1.0	0.4	0.2	
$LAMTs_possiveis$	[1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10]										
B	10										
$Parada1$	0.999										
$Parada2$	60										

Os valores dos níveis nebulosos correntes nas variáveis X_1 , X_3 , X_9 diminuíram, ou seja, de *médio* (●) passaram a *realmente baixo* (--). Além do mais, a condição de parada **Parada2** foi inserida, indicando ao sistema que ele deve parar e responder a configuração satisfatória depois de sessenta gerações. Estas modificações revelaram novas faces do SOMN. A Tabela 8.9 apresenta um registro do processo de busca até a condição **Parada2** ser satisfeita.

Tabela 8.9: Registro do processo de busca do SOMN até sessenta gerações para o Problema 2.

Problema 2					
K	LAMTs possíveis	Laux	Ger a	Melhor	F_ava_Melhor
0	[0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,10]	[]	0	[[]]	0
1	[1,2,3,4,5,6,7,8,9,10]	[0]	10	[[0]]	0.40398
2	[1,2,3,4,5,6,8,9,10]	[7,0]	19	[[7,0]]	0.87636
3	[1,2,3,5,6,8,9,10]	[4,7,0]	27	[[4,7,0]]	0.91970
4	[1,2,3,6,8,9,10]	[5,4,7,0]	34	[[5,4,7,0]]	0.92334
5	[2,3,6,8,9,10]	[1,5,4,7,0]	40	[[5,4,7,0],[1,5,4,7,0]]	0.92334
6	[3,6,8,9,10]	[2,1,5,4,7,0]	45	[[5,4,7,0],[1,5,4,7,0],[2,1,5,4,7,0]]	0.92334
7	[6,8,9,10]	[3,2,1,5,4,7,0]	49	[[5,4,7,0],[1,5,4,7,0],[2,1,5,4,7,0]]	0.92334
8	[8,9,10]	[6,3,2,1,5,4,7,0]	52	[[5,4,7,0],[1,5,4,7,0],[2,1,5,4,7,0]]	0.92334
9	[9,10]	[8,6,3,2,1,5,4,7,0]	54	[[5,4,7,0],[1,5,4,7,0],[2,1,5,4,7,0]]	0.92334
10	[9]	[10,8,6,3,2,1,5,4,7,0]	55	[[5,4,7,0],[1,5,4,7,0],[2,1,5,4,7,0]]	0.92334
11	[]	[9,10,8,6,3,2,1,5,4,7,0]	55	[[5,4,7,0],[1,5,4,7,0],[2,1,5,4,7,0]]	0.92334
9	[9,10]	[8,6,3,2,1,5,4,7,0]	55	[[5,4,7,0],[1,5,4,7,0],[2,1,5,4,7,0]]	0.92334
10	[10]	[9,8,6,3,2,1,5,4,7,0]	56	[[5,4,7,0],[1,5,4,7,0],[2,1,5,4,7,0]]	0.92334
11	[]	[10,9,8,6,3,2,1,5,4,7,0]	56	[[5,4,7,0],[1,5,4,7,0],[2,1,5,4,7,0]]	0.92334
8	[10,9,8]	[6,3,2,1,5,4,7,0]	56	[[5,4,7,0],[1,5,4,7,0],[2,1,5,4,7,0]]	0.92334
9	[9,8]	[10,6,3,2,1,5,4,7,0]	58	[[5,4,7,0],[1,5,4,7,0],[2,1,5,4,7,0]]	0.92334
10	[9]	[8,10,6,3,2,1,5,4,7,0]	59	[[5,4,7,0],[1,5,4,7,0],[2,1,5,4,7,0]]	0.92334
11	[]	[9,8,10,6,3,2,1,5,4,7,0]	59	[[5,4,7,0],[1,5,4,7,0],[2,1,5,4,7,0]]	0.92334
9	[9,8]	[10,6,3,2,1,5,4,7,0]	59	[[5,4,7,0],[1,5,4,7,0],[2,1,5,4,7,0]]	0.92334
10	[8]	[9,10,6,3,2,1,5,4,7,0]	60	[[5,4,7,0],[1,5,4,7,0],[2,1,5,4,7,0]]	0.92334
11	[]	[8,9,10,6,3,2,1,5,4,7,0]	60	[[5,4,7,0],[1,5,4,7,0],[2,1,5,4,7,0]]	0.92334

A coluna referente ao conteúdo da lista de tentativas não aparece nesta tabela. Primeiramente, vale perceber outros detalhes envolvidos no processo de projeto realizado pelo sistema diante da nova *posição nebulosa corrente* de competitividade PC^0 . Por exemplo, até a realização das sessenta gerações o sistema não satisfaz a condição **Parada1**. Observe na tabela abaixo que em **Melhor** as três melhores configurações encontradas têm valor de função avaliação de *posição nebulosa realizada*, **Fava_pos_Melhor**, igual a 0.923, ou seja, menor que 0.999.

Assim, diferentemente do que ocorreu no Problema 1 onde em $K = 3$ a configuração corrente em **Laux**, $AMT_0AMT_7AMT_4AMT_1$, satisfaz **Parada1**, desta vez, o SOMN respondeu como configuração satisfatória as três melhores configurações encontradas em sessenta gerações:

$AMT_0AMT_7AMT_4AMT_5$, $AMT_0AMT_7AMT_4AMT_5AMT_1$ e $AMT_0AMT_7AMT_4AMT_5AMT_1AMT_2$. Além do mais, estas configurações foram encontradas depois do sistema ter realizado apenas quarenta e cinco gerações. Até este ponto, a lista que contém as melhores configurações foi modificada seis vezes; e o valor de avaliação, quatro vezes. Até parar, o sistema atingiu a profundidade máxima da árvore de busca, $K = 11$, quatro vezes. Nesta profundidade e em $K = 10$ vale perceber os conteúdos das listas *LAMTs possíveis*, *Laux* e *Ltentativas*.

A mudança de conteúdo destas listas dá uma idéia do que ocorre durante o retrocesso na árvore de busca implementada internamente pelo SOMN. A Tabela 8.10 apresenta um registro do primeiro momento em que o sistema passou por este tipo de situação. Esta nova tabela especifica melhor as gerações de números cinquenta e quatro e cinquenta e cinco na Tabela 8.9. Desta vez, o número de argumentos nos ramos em *Ltentativas* foi reduzido. Cada ramo contém somente informações relevantes para a análise do retrocesso, ou seja, a respeito de uma certa AMT e da profundidade da *posição nebulosa realizada* por esta AMT, ou seja, $r(AMT, K)$.

Tabela 8.10: Retrocesso realizado pelo SOMN quando atingiu a profundidade máxima da árvore.

Problema 2			
K	LAMTs possíveis	Laux	Ltentativas
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
9	[9,10]	[8,6,3,2,1,5,4,7,0]	[r(10,9),r(9,9),r(10,8),r(9,8),r(8,7),r(10,7),r(9,7),r(6,6),r(8,6),r(10,6),r(9,6),r(3,5),r(6,5),r(8,5),r(10,5),r(9,5),r(2,4),r(3,4),r(6,4),r(8,4),r(10,4),r(9,4),r(1,3),r(2,3),r(3,3),r(6,3),r(8,3),r(10,3),r(9,3),r(1,2),r(2,2),r(5,2),r(3,2),r(6,2),r(8,2),r(9,2),r(10,2),r(1,1),r(4,1),r(2,1),r(5,1),r(3,1),r(6,1),r(8,1),r(9,1),r(10,1)]
10	[9]	[10,8,6,3,2,1,5,4,7,0]	[r(9,10),r(9,9),r(10,8),r(9,8),r(8,7),r(10,7),r(9,7),r(6,6),r(8,6),r(10,6),r(9,6),r(3,5),r(6,5),r(8,5),r(10,5),r(9,5),r(2,4),r(3,4),r(6,4),r(8,4),r(10,4),r(9,4),r(1,3),r(2,3),r(3,3),r(6,3),r(8,3),r(10,3),r(9,3),r(1,2),r(2,2),r(5,2),r(3,2),r(6,2),r(8,2),r(9,2),r(10,2),r(1,1),r(4,1),r(2,1),r(5,1),r(3,1),r(6,1),r(8,1),r(9,1),r(10,1)]
11	[]	[9,10,8,6,3,2,1,5,4,7,0]	[r(9,9),r(10,8),r(9,8),r(8,7),r(10,7),r(9,7),r(6,6),r(8,6),r(10,6),r(9,6),r(3,5),r(6,5),r(8,5),r(10,5),r(9,5),r(2,4),r(3,4),r(6,4),r(8,4),r(10,4),r(9,4),r(1,3),r(2,3),r(3,3),r(6,3),r(8,3),r(10,3),r(9,3),r(1,2),r(2,2),r(5,2),r(3,2),r(6,2),r(8,2),r(9,2),r(10,2),r(1,1),r(4,1),r(2,1),r(5,1),r(3,1),r(6,1),r(8,1),r(9,1),r(10,1)]
9	[9,10]	[8,6,3,2,1,5,4,7,0]	[r(9,9),r(10,8),r(9,8),r(8,7),r(10,7),r(9,7),r(6,6),r(8,6),r(10,6),r(9,6),r(3,5),r(6,5),r(8,5),r(10,5),r(9,5),r(2,4),r(3,4),r(6,4),r(8,4),r(10,4),r(9,4),r(1,3),r(2,3),r(3,3),r(6,3),r(8,3),r(10,3),r(9,3),r(1,2),r(2,2),r(5,2),r(3,2),r(6,2),r(8,2),r(9,2),r(10,2),r(1,1),r(4,1),r(2,1),r(5,1),r(3,1),r(6,1),r(8,1),r(9,1),r(10,1)]
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.

O registro que aparece em $K = 10$ ocorreu antes do SOMN ter realizado a primeira ação do ciclo, ou seja, antes da seleção do primeiro ramo de *Ltentativas*, conseqüentemente, antes da eliminação da última AMT disponível em *LAMTs_possíveis* e da verificação da condição *Parada1*. O registro em $K = 11$ indica que o sistema realizou a primeira ação do ciclo, que a configuração em *Laux*, obtida com a inserção da última AMT disponível na configuração corrente em $K = 10$, não satisfaz as condições de parada, e que ele não conseguiu realizar a segunda ação, visto que não existiam AMTs em *LAMTs_possíveis* para serem selecionadas.

Sendo assim, o SOMN não gerou *posições nebulosas* nesta profundidade e o conteúdo de *Ltentativas* não foi alterado. Além do mais, ainda considerando a tabela anterior, em $K = 11$, vale observar que o sistema projetou uma configuração corrente em *Laux* de tamanho máximo, *11*, mas não satisfatória, pois tem valor avaliação de *posição* menor que o valor da *posição nebulosa realizada* pelas melhores configurações em *Melhor*. Nesta etapa, não tendo mais AMTs para inserir em *Laux*, pois *LAMTs_possíveis* = [], o sistema realizou um retrocesso na árvore de busca na tentativa de projetar configurações alternativas mais promissoras que as que estão em *Melhor*. No procedimento **projetar**, equivale dizer que o terceiro se-então foi ativado.

Este novo detalhe no processo de projeto do SOMN pode ser entendido a partir da observação do conteúdo do primeiro ramo de *Ltentativas* antes do retrocesso, ou seja, ainda em $K = 11$. De acordo com a lógica de busca, apenas a profundidade da *posição nebulosa realizada* pela AMT no primeiro ramo de *Ltentativas* é suficiente para a implementação do retrocesso e a continuação da montagem de uma configuração alternativa. Mais especificamente, nestes casos o sistema deve retroceder para a profundidade da *posição* registrada no primeiro ramo e liberar para a lista *LAMTs_possíveis* as AMTs componentes da submontagem desfeita com o retrocesso.

Por exemplo, vale observar que em $K = 11$ a configuração corrente em *Laux* é $AMT_0AMT_7AMT_4AMT_5AMT_1AMT_2AMT_3AMT_6AMT_8AMT_{10}AMT_9$. Como o primeiro ramo de *Ltentativas* é $r(9,9)$, o SOMN retrocedeu para a profundidade $K = 9$. Neste momento, ele retirou as duas primeiras AMTs de *Laux*, ou seja, a submontagem $AMT_{10}AMT_9$, duas últimas AMTs montadas na configuração corrente, e às inseriu em *LAMT_possíveis*. O conteúdo de *Ltentativas*

não foi alterado com o retrocesso. Assim, em $K = 9$ o SOMN pode iniciar um novo ciclo de ações e prosseguir o projeto de uma configuração alternativa a partir da submontagem $AMT_0AMT_7AMT_4AMT_5AMT_1AMT_2AMT_3AMT_6AMT_8$.

Este esquema deve ocorrer sempre que o SOMN montar uma configuração corrente em *Laux* com comprimento máximo e valor avaliação de *posição nebulosa realizada* não satisfatório. Isto possibilita que o sistema pesquise um grande número de configurações alternativas até a satisfação das condições *Parada1* e/ou *Parada2*. A Tabela 8.11 apresenta o registro de uma parte deste processo quando, no Problema 2, o valor *Parada2* foi transformado em um valor muito grande, ou seja, 10^{10} . Neste caso, diferentemente da Tabela 8.10, foram registradas apenas as etapas em que o sistema alterou o conteúdo da lista que contém as melhores configurações, *Melhor*, até ele ter realizado 15700 gerações.

Tabela 8.11: Registro do processo de busca do SOMN depois de muitas gerações no Problema 2.

Problema 2					
K	LAMTs possíveis	Laux	Gera	Melhor	F_ava_Melhor
0	[0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,10]	[]	0	[[[]]]	0
1	[1,2,3,4,5,6,7,8,9,10]	[0]	10	[[0]]	0.40398
2	[1,2,3,4,5,6,8,9,10]	[7,0]	19	[[7,0]]	0.87635
3	[1,2,3,5,6,8,9,10]	[4,7,0]	27	[[4,7,0]]	0.91970
4	[1,2,3,6,8,9,10]	[5,4,7,0]	34	[[5,4,7,0]]	0.92334
5	[2,3,6,8,9,10]	[1,5,4,7,0]	40	[[5,4,7,0],[1,5,4,7,0]]	0.92334
6	[3,6,8,9,10]	[2,1,5,4,7,0]	45	[[5,4,7,0],[1,5,4,7,0],[2,1,5,4,7,0]]	0.92334
5	[8,6,3,10,9,1]	[2,5,4,7,0]	1996	[[5,4,7,0],[1,5,4,7,0],[2,1,5,4,7,0], [2,5,4,7,0]]	0.92334
6	[8,6,3,10,9]	[1,2,5,4,7,0]	2001	[[5,4,7,0],[1,5,4,7,0],[2,1,5,4,7,0], [2,5,4,7,0],[1,2,5,4,7,0]]	0.92334
4	[8,6,2,3,10,9,5]	[1,4,7,0]	13733	[[5,4,7,0],[1,5,4,7,0],[2,1,5,4,7,0], [2,5,4,7,0],[1,2,5,4,7,0],[1,4,7,0]]	0.92334
5	[8,6,2,3,10,9]	[5,1,4,7,0]	13739	[[5,4,7,0],[1,5,4,7,0],[2,1,5,4,7,0], [2,5,4,7,0],[1,2,5,4,7,0],[1,4,7,0], [5,1,4,7,0]]	0.92334
6	[8,6,3,10,9]	[2,5,1,4,7,0]	13744	[[5,4,7,0],[1,5,4,7,0],[2,1,5,4,7,0], [2,5,4,7,0],[1,2,5,4,7,0],[1,4,7,0], [5,1,4,7,0],[2,5,1,4,7,0]]	0.92334
5	[8,6,3,10,9,5]	[2,1,4,7,0]	15695	[[5,4,7,0],[1,5,4,7,0],[2,1,5,4,7,0], [2,5,4,7,0],[1,2,5,4,7,0],[1,4,7,0], [5,1,4,7,0],[2,5,1,4,7,0],[2,1,4,7,0]]	0.92334
6	[8,6,3,10,9]	[8,6,3,10,9]	15700	[[5,4,7,0],[1,5,4,7,0],[2,1,5,4,7,0], [2,5,4,7,0],[1,2,5,4,7,0],[1,4,7,0], [5,1,4,7,0],[2,5,1,4,7,0],[2,1,4,7,0], [5,2,1,4,7,0]]	0.92334
.
.
.

Conforme pode ser observado na tabela, até as 15700 gerações, apesar do conteúdo de *Melhor* ter sido alterado várias vezes, o valor de avaliação de *posição*, *Fava_pos*, foi alterado poucas vezes. A Tabela 8.12 registra as configurações satisfatórias encontradas até o SOMN testar todas as configurações alternativas possíveis de serem geradas para o Problema 2, ou seja, considerando o ciclo de ações proposto com fator de ramificação máximo $B = 10$.

Tabela 8.12: Registro das configurações satisfatórias encontradas pelo SOMN até a parada no Problema 2.

Problema 2
Config satisfatória
[[5,4,7,0],[1,5,4,7,0],[2,1,5,4,7,0],[2,5,4,7,0],[1,2,5,4,7,0],[1,4,7,0],[5,1,4,7,0],[2,5,1,4,7,0],[2,1,4,7,0],[5,2,1,4,7,0],[2,4,7,0],[5,2,4,7,0],[1,5,2,4,7,0],[1,2,4,7,0],[5,1,2,4,7,0],[4,1,7,0],[5,4,1,7,0],[2,5,4,1,7,0],[2,4,1,7,0],[5,2,4,1,7,0],[4,5,1,7,0],[2,4,5,1,7,0],[4,2,5,1,7,0],[4,2,1,7,0],[5,4,2,1,7,0],[4,5,2,1,7,0],[4,2,7,0],[5,4,2,7,0],[1,5,4,2,7,0],[1,4,2,7,0],[5,1,4,2,7,0],[4,5,2,7,0],[1,4,5,2,7,0],[4,1,5,2,7,0],[4,1,2,7,0],[5,4,1,2,7,0],[4,5,1,2,7,0],[4,5,7,0],[1,4,5,7,0],[2,1,4,5,7,0],[2,4,5,7,0],[1,2,4,5,7,0],[4,1,5,7,0],[2,4,1,5,7,0],[4,2,1,5,7,0],[4,2,5,7,0],[1,4,2,5,7,0],[4,1,2,5,7,0],[5,7,1,0],[4,5,7,1,0],[2,4,5,7,1,0],[2,5,7,1,0],[4,2,5,7,1,0],[4,7,1,0],[5,4,7,1,0],[2,5,4,7,1,0],[2,4,7,1,0],[5,2,4,7,1,0],[2,7,1,0],[5,2,7,1,0],[4,5,2,7,1,0],[4,2,7,1,0],[5,4,2,7,1,0],[5,4,1,0],[7,5,4,1,0],[2,7,5,4,1,0],[2,5,4,1,0],[7,2,5,4,1,0],[7,4,1,0],[5,7,4,1,0],[2,5,7,4,1,0],[2,7,4,1,0],[5,2,7,4,1,0],[2,4,1,0],[5,2,4,1,0],[7,5,2,4,1,0],[7,2,4,1,0],[5,7,2,4,1,0],[4,2,1,0],[5,4,2,1,0],[7,5,4,2,1,0],[7,4,2,1,0],[5,7,4,2,1,0],[7,2,1,0],[5,7,2,1,0],[4,5,7,2,1,0],[4,7,2,1,0],[5,4,7,2,1,0],[4,5,2,1,0],[7,4,5,2,1,0],[7,5,2,1,0],[4,7,5,2,1,0],[4,5,1,0],[7,4,5,1,0],[2,7,4,5,1,0],[2,4,5,1,0],[7,2,4,5,1,0],[7,5,1,0],[4,7,5,1,0],[2,4,7,5,1,0],[2,7,5,1,0],[4,2,7,5,1,0],[4,2,5,1,0],[7,4,2,5,1,0],[7,2,5,1,0],[4,7,2,5,1,0],[5,7,4,0],[1,5,7,4,0],[2,1,5,7,4,0],[2,5,7,4,0],[1,2,5,7,4,0],[1,7,4,0],[5,1,7,4,0],[2,5,1,7,4,0],[2,1,7,4,0],[5,2,1,7,4,0],[2,7,4,0],[5,2,7,4,0],[1,5,2,7,4,0],[1,2,7,4,0],[5,1,2,7,4,0],[7,1,4,0],[5,7,1,4,0],[2,5,7,1,4,0],[2,7,1,4,0],[5,2,7,1,4,0],[7,5,1,4,0],[2,7,5,1,4,0],[7,2,5,1,4,0],[7,2,1,4,0],[5,7,2,1,4,0],[7,5,2,1,4,0],[7,2,4,0],[5,7,2,4,0],[1,5,7,2,4,0],[1,7,2,4,0],[5,1,7,2,4,0],[7,1,2,4,0],[5,7,1,2,4,0],[7,1,2,4,0],[5,7,1,2,4,0],[7,5,1,2,4,0],[7,5,2,4,0],[1,7,5,2,4,0],[7,1,5,2,4,0],[7,5,4,0],[1,7,5,4,0],[2,1,7,5,4,0],[2,7,5,4,0],[1,2,7,5,4,0],[7,1,5,4,0],[2,7,1,5,4,0],[7,2,1,5,4,0],[7,2,5,4,0],[1,7,2,5,4,0],[7,1,2,5,4,0],[5,7,2,0],[4,5,7,2,0],[1,4,5,7,2,0],[1,5,7,2,0],[4,1,5,7,2,0],[4,7,2,0],[5,4,7,2,0],[1,5,4,7,2,0],[1,4,7,2,0],[5,1,4,7,2,0],[1,7,2,0],[5,1,7,2,0],[4,5,1,7,2,0],[4,1,7,2,0],[5,4,1,7,2,0],[1,4,2,0],[5,1,4,2,0],[7,5,1,4,2,0],[7,1,4,2,0],[5,7,1,4,2,0],[7,4,2,0],[5,7,4,2,0],[1,5,7,4,2,0],[1,7,4,2,0],[5,1,7,4,2,0],[1,5,4,2,0],[7,1,5,4,2,0],[7,5,4,2,0],[1,7,5,4,2,0],[4,1,2,0],[5,4,1,2,0],[7,5,4,1,2,0],[7,4,1,2,0],[5,7,4,1,2,0],[7,1,2,0],[5,7,1,2,0],[4,5,7,1,2,0],[4,7,1,2,0],[5,4,7,1,2,0],[4,5,1,2,0],[7,4,5,1,2,0],[7,5,1,2,0],[4,7,5,1,2,0],[7,5,2,0],[4,7,5,2,0],[1,4,7,5,2,0],[1,7,5,2,0],[4,1,7,5,2,0],[4,1,5,2,0],[7,4,1,5,2,0],[7,1,5,2,0],[4,7,1,5,2,0],[1,4,5,2,0],[7,1,4,5,2,0],[7,4,5,2,0],[1,7,4,5,2,0],[4,7,5,0],[1,4,7,5,0],[2,1,4,7,5,0],[2,4,7,5,0],[1,2,4,7,5,0],[1,7,5,0],[4,1,7,5,0],[2,4,1,7,5,0],[2,1,7,5,0],[4,2,1,7,5,0],[2,7,5,0],[4,2,7,5,0],[1,4,2,7,5,0],[1,2,7,5,0],[4,1,2,7,5,0],[4,1,5,0],[7,4,1,5,0],[2,7,4,1,5,0],[2,4,1,5,0],[7,2,4,1,5,0],[7,1,5,0],[4,7,1,5,0],[2,4,7,1,5,0],[2,7,1,5,0],[4,2,7,1,5,0],[4,2,1,5,0],[7,4,2,1,5,0],[7,2,1,5,0],[4,7,2,1,5,0],[7,2,5,0],[4,7,2,5,0],[1,4,7,2,5,0],[1,7,2,5,0],[4,1,7,2,5,0],[1,4,2,5,0],[7,1,4,2,5,0],[7,4,2,5,0],[1,7,4,2,5,0],[4,1,2,5,0],[7,4,1,2,5,0],[7,1,2,5,0],[4,7,1,2,5,0],[1,4,5,0],[7,1,4,5,0],[2,7,1,4,5,0],[2,1,4,5,0],[7,2,1,4,5,0],[7,4,5,0],[1,7,4,5,0],[2,1,7,4,5,0],[2,7,4,5,0],[1,2,7,4,5,0],[1,2,4,5,0],[7,1,2,4,5,0],[7,2,4,5,0],[1,7,2,4,5,0]]

Todas estas configurações obtiveram valor avaliação de *posição nebulosa realizada*, *Fava_pos*, menor que *Parada1*. Elas foram armazenadas em *Melhor* com valor igual a 0.923, depois do sistema gerar 4303835 *posições nebulosas realizadas*. Além do mais, até parar e produzir as configurações satisfatórias ele realizou 9864100 gerações, um valor também menor que *Parada2*. Vale ressaltar, neste caso, o sistema parou porque chegou no limite máximo de gerações permitidas pelo ciclo. Nesta etapa, tanto *Ltentativas* quanto *LAMTs possíveis* estão vazias, impossibilitando que a busca continue. No procedimento **projetar**, equivale dizer que o segundo se-então foi ativado.

O grande número de configurações satisfatórias projetadas pelo SOMN deve-se ao valor do fator de ramificação da árvore de busca do sistema, ou seja, $B = 10$. O processo todo até a obtenção desta solução demorou bastante. A princípio este tempo de processamento não se constitui em um problema, visto a ausência de uma necessidade “crítica” por tempo de resposta mínimo e, além disto, a enorme quantidade de soluções que o SOMN projetou. Mas, nos casos em que o número de AMTs possíveis, N , e o fator de ramificação, B , forem muito acima de 10, mesmo considerando a eficiência do ciclo de ações no processo de projeto, pode demorar muito para o sistema parar e produzir uma configuração satisfatória.

Nestes casos, é interessante que o sistema encontre soluções semelhantes, pelo menos em termos de avaliação de posição, *Fava_pos*, quando B for reduzido a um valor que produza um tempo de resposta “aceitável”. Por exemplo, pode-se requisitar que uma solução satisfatória seja produzida em no máximo: dois dias, algumas horas, alguns minutos, Nestes casos, vale reduzir B a valores menores que 10, e verificar o número de configurações satisfatórias propostas, o valor *Fava_pos* e o valor qualitativo destas configurações em relação às do Problema 2.

Problemas 3, 4 e 5: processo de projeto e o fator de ramificação

Nesta etapa dos testes, vale perceber a influência de B no número de soluções e nos valores de *Fava_pos* para o caso do Problema 2. Nos próximos problemas B foi reduzido a 5, 2 e 1. Os resultados estão descritos a seguir. No Problema 3, descrito na Tabela 8.13, o fator de ramificação da árvore de busca foi reduzido a 5. Isto indica que em todos os ciclos de ações, durante a realização da segunda ação, o sistema deve selecionar no máximo cinco AMTs.

Tabela 8.13: Valores dos argumentos de entrada do SOMN para o Problema 3.

Problema 3										
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}
LC'	--	•	--	•	•	•	•	•	--	•
LA'	+++	+++	--	+++	+++	--	--	+++	+++	+++
$L\mu$	0.6	1.0	0.4	0.2	0.4	0.8	0.6	1.0	0.4	0.2
AMTs possíveis	[1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10]									
B	5									
Parada1	0.999									
Parada2	10E10									

Será que esta redução, importante do ponto de vista do esforço computacional, compromete as configurações propostas pelo SOMN? A Tabela 8.14 apresenta as primeiras sessenta gerações realizadas pelo sistema. Vale comparar esta tabela com a Tabela 8.9, aquela produzida pelo sistema para o caso em que $B = 10$. Valem, também, os comentários a respeito do processo de retrocesso nas descrições dos resultados do Problema 2.

Tabela 8.14: Registro do processo de busca do SOMN até sessenta gerações para o Problema 3.

Problema 3					
K	LAMTs possíveis	Laux	Gera	Melhor	F_ava_Melhor
0	[0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,10]	[]	0	[[]]	0
1	[1,2,3,4,5,6,7,8,9,10]	[0]	5	[[0]]	0.40398
2	[1,2,3,4,5,6,8,9,10]	[7,0]	10	[[7,0]]	0.87636
3	[1,2,4,5,6,8,9,10]	[3,7,0]	15	[[7,0]]	0.87636
4	[1,2,5,6,8,9,10]	[4,3,7,0]	20	[[4,3,7,0]]	0.88203
5	[1,2,6,8,9,10]	[5,4,3,7,0]	25	[[5,4,3,7,0]]	0.88279
6	[2,6,8,9,10]	[1,5,4,3,7,0]	30	[[1,5,4,3,7,0]]	0.88316
7	[6,8,9,10]	[2,1,5,4,3,7,0]	34	[[1,5,4,3,7,0],[2,1,5,4,3,7,0]]	0.88316
8	[8,9,10]	[6,2,1,5,4,3,7,0]	37	[[1,5,4,3,7,0],[2,1,5,4,3,7,0]]	0.88316
9	[9,10]	[8,6,2,1,5,4,3,7,0]	39	[[1,5,4,3,7,0],[2,1,5,4,3,7,0]]	0.88316
10	[9]	[10,8,6,2,1,5,4,3,7,0]	40	[[1,5,4,3,7,0],[2,1,5,4,3,7,0]]	0.88316
11	[]	[9,10,8,6,2,1,5,4,3,7,0]	40	[[1,5,4,3,7,0],[2,1,5,4,3,7,0]]	0.88316
9	[9,10]	[8,6,2,1,5,4,3,7,0]	40	[[1,5,4,3,7,0],[2,1,5,4,3,7,0]]	0.88316
10	[10]	[9,8,6,2,1,5,4,3,7,0]	41	[[1,5,4,3,7,0],[2,1,5,4,3,7,0]]	0.88316
11	[]	[10,9,8,6,2,1,5,4,3,7,0]	41	[[1,5,4,3,7,0],[2,1,5,4,3,7,0]]	0.88316
8	[10,9,8]	[6,2,1,5,4,3,7,0]	41	[[1,5,4,3,7,0],[2,1,5,4,3,7,0]]	0.88316
9	[9,8]	[10,6,2,1,5,4,3,7,0]	43	[[1,5,4,3,7,0],[2,1,5,4,3,7,0]]	0.88316
10	[9]	[8,10,6,2,1,5,4,3,7,0]	44	[[1,5,4,3,7,0],[2,1,5,4,3,7,0]]	0.88316
11	[]	[9,8,10,6,2,1,5,4,3,7,0]	44	[[1,5,4,3,7,0],[2,1,5,4,3,7,0]]	0.88316
9	[9,8]	[10,6,2,1,5,4,3,7,0]	44	[[1,5,4,3,7,0],[2,1,5,4,3,7,0]]	0.88316
10	[8]	[9,10,6,2,1,5,4,3,7,0]	45	[[1,5,4,3,7,0],[2,1,5,4,3,7,0]]	0.88316
11	[]	[8,9,10,6,2,1,5,4,3,7,0]	45	[[1,5,4,3,7,0],[2,1,5,4,3,7,0]]	0.88316
8	[8,9,10]	[6,2,1,5,4,3,7,0]	45	[[1,5,4,3,7,0],[2,1,5,4,3,7,0]]	0.88316
9	[8,10]	[9,6,2,1,5,4,3,7,0]	47	[[1,5,4,3,7,0],[2,1,5,4,3,7,0]]	0.88316
10	[10]	[8,9,6,2,1,5,4,3,7,0]	48	[[1,5,4,3,7,0],[2,1,5,4,3,7,0]]	0.88316
11	[]	[10,8,9,6,2,1,5,4,3,7,0]	48	[[1,5,4,3,7,0],[2,1,5,4,3,7,0]]	0.88316
9	[10,8]	[9,6,2,1,5,4,3,7,0]	48	[[1,5,4,3,7,0],[2,1,5,4,3,7,0]]	0.88316
10	[8]	[10,9,6,2,1,5,4,3,7,0]	49	[[1,5,4,3,7,0],[2,1,5,4,3,7,0]]	0.88316
11	[]	[8,10,9,6,2,1,5,4,3,7,0]	49	[[1,5,4,3,7,0],[2,1,5,4,3,7,0]]	0.88316
7	[8,10,9,6]	[2,1,5,4,3,7,0]	49	[[1,5,4,3,7,0],[2,1,5,4,3,7,0]]	0.88316
8	[10,9,6]	[8,2,1,5,4,3,7,0]	52	[[1,5,4,3,7,0],[2,1,5,4,3,7,0]]	0.88316
9	[10,9]	[6,8,2,1,5,4,3,7,0]	54	[[1,5,4,3,7,0],[2,1,5,4,3,7,0]]	0.88316
10	[9]	[10,6,8,2,1,5,4,3,7,0]	55	[[1,5,4,3,7,0],[2,1,5,4,3,7,0]]	0.88316
11	[]	[9,10,6,8,2,1,5,4,3,7,0]	55	[[1,5,4,3,7,0],[2,1,5,4,3,7,0]]	0.88316
9	[9,10]	[6,8,2,1,5,4,3,7,0]	55	[[1,5,4,3,7,0],[2,1,5,4,3,7,0]]	0.88316
10	[10]	[9,6,8,2,1,5,4,3,7,0]	56	[[1,5,4,3,7,0],[2,1,5,4,3,7,0]]	0.88316
11	[]	[10,9,6,8,2,1,5,4,3,7,0]	56	[[1,5,4,3,7,0],[2,1,5,4,3,7,0]]	0.88316
8	[10,9,6]	[8,2,1,5,4,3,7,0]	56	[[1,5,4,3,7,0],[2,1,5,4,3,7,0]]	0.88316
9	[9,6]	[10,8,2,1,5,4,3,7,0]	58	[[1,5,4,3,7,0],[2,1,5,4,3,7,0]]	0.88316
10	[9]	[6,10,8,2,1,5,4,3,7,0]	59	[[1,5,4,3,7,0],[2,1,5,4,3,7,0]]	0.88316
11	[]	[9,6,10,8,2,1,5,4,3,7,0]	59	[[1,5,4,3,7,0],[2,1,5,4,3,7,0]]	0.88316
9	[9,6]	[10,8,2,1,5,4,3,7,0]	59	[[1,5,4,3,7,0],[2,1,5,4,3,7,0]]	0.88316
10	[6]	[9,10,8,2,1,5,4,3,7,0]	60	[[1,5,4,3,7,0],[2,1,5,4,3,7,0]]	0.88316
.
.
.

Ao final das sessenta gerações as melhores configurações em **Melhor** têm valor avaliação **Fava_pos** = 0.883, ou seja, menor que o valor 0.923, encontrado na Tabela 8.9. Isto não implica que ao final do processo, quando o sistema tiver realizado todas as gerações possíveis com fator de ramificação 5, não apareçam novas configurações com valor de avaliação *posição* mais próximo ou igual a 0.923. Até lá, muitas configurações devem ser projetadas e avaliadas. A Tabela 8.15 demonstra bem estas duas últimas proposições. Ela registra todas as etapas em que o sistema alterou o conteúdo de **Melhor**, até ele avaliar todas as configurações alternativas possíveis de serem geradas com fator de ramificação máximo igual a 5. Esta nova tabela pode ser comparada com as Tabelas 8.11 e 8.12.

Tabela 8.15: Registro das configurações encontradas pelo SOMN até a parada no Problema 3.

Problema 3					
K	LAMTs possíveis	Laux	Gera	Melhor	Fava Melhor
0	[0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,10]	[]	0	[[]]	0
1	[1,2,3,4,5,6,7,8,9,10]	[0]	5	[[0]]	0.40398
2	[1,2,3,4,5,6,8,9,10]	[7,0]	10	[[7,0]]	0.87636
4	[1,2,5,6,8,9,10]	[4,3,7,0]	20	[[4,3,7,0]]	0.88203
5	[1,2,6,8,9,10]	[5,4,3,7,0]	25	[[5,4,3,7,0]]	0.88279
6	[2,6,8,9,10]	[1,5,4,3,7,0]	30	[[1,5,4,3,7,0]]	0.88316
7	[6,8,9,10]	[2,1,5,4,3,7,0]	34	[[1,5,4,3,7,0],[2,1,5,4,3,7,0]]	0.88316
6	[8,6,2,10,9]	[1,4,5,3,7,0]	8185	[[1,5,4,3,7,0],[2,1,5,4,3,7,0],[1,4,5,3,7,0]]	0.88316
7	[8,6,10,9]	[2,1,4,5,3,7,0]	8189	[[1,5,4,3,7,0],[2,1,5,4,3,7,0],[1,4,5,3,7,0],[2,1,4,5,3,7,0]]	0.88316
3	[4,6,8,5,2,3,9,10]	[4,6,8,5,2,3,9,10]	203920	[[7,1,0]]	0.92003
4	[4,6,8,2,3,9,10]	[5,7,1,0]	203925	[[5,7,1,0]]	0.92334
5	[6,8,2,3,9,10]	[4,5,7,1,0]	203930	[[5,7,1,0],[4,5,7,1,0]]	0.92334
4	[8,6,2,3,10,9,7]	[5,4,1,0]	244705	[[5,7,1,0],[4,5,7,1,0],[5,4,1,0]]	0.92334
5	[7,10,6,8,3,9]	[1,5,4,2,0]	611740	[[5,7,1,0],[4,5,7,1,0],[5,4,1,0],[1,5,4,2,0]]	0.92334
4	[6,8,1,3,9,10,2]	[4,7,5,0]	815640	[[5,7,1,0],[4,5,7,1,0],[5,4,1,0],[1,5,4,2,0],[4,7,5,0]]	0.92334
5	[6,8,3,9,10,2]	[1,4,7,5,0]	815645	[[5,7,1,0],[4,5,7,1,0],[5,4,1,0],[1,5,4,2,0],[4,7,5,0],[1,4,7,5,0]]	0.92334
4	[8,6,2,3,10,9,7]	[4,1,5,0]	856420	[[5,7,1,0],[4,5,7,1,0],[5,4,1,0],[1,5,4,2,0],[4,7,5,0],[1,4,7,5,0],[4,1,5,0]]	0.92334
11	[]	[1,7,2,4,6,10,9,3,8,5,0]	1019530	[[5,7,1,0],[4,5,7,1,0],[5,4,1,0],[1,5,4,2,0],[4,7,5,0],[1,4,7,5,0],[4,1,5,0]]	0.92334

Desta vez, foram projetadas apenas sete configurações satisfatórias, todas com valor avaliação de *posição nebulosa realizada* menor que **Parada1**, mas igual ao produzido para o Problema 2, ou seja, **Fava_pos** = 0.923. Isto ocorreu depois do sistema gerar 856420 *posições nebulosas realizadas*, desta vez, um número de gerações menor que do Problema 2. Além do mais, no total, até parar e produzir as configurações satisfatórias ele realizou 1019530 gerações, valor também menor que **Parada2** e que aquele realizado pelo sistema para o Problema 2. O processo todo demorou menos de um dia. A princípio, esta redução no tempo de processamento pode ser avaliada como sendo positiva.

O preço desta redução foi a diminuição no número de configurações satisfatórias. O conjunto solução gerado pelo SOMN para o Problema 3 está contido no conjunto de configurações satisfatórias gerado para o Problema 2. Isto era esperado, já que a redução do fator de ramificação, $B = 5$, fez com que o “espaço” pesquisado diminuísse. Isto pode ser interessante se a qualidade do conjunto solução não for prejudicada. Por exemplo, será que as configurações geradas para o Problema 3 – $AMT_0AMT_1AMT_7AMT_5$, $AMT_0AMT_1AMT_4AMT_5$, $AMT_0AMT_5AMT_7AMT_4$, $AMT_0AMT_5AMT_1AMT_4$, $AMT_0AMT_1AMT_7AMT_5AMT_4$, $AMT_0AMT_2AMT_4AMT_5AMT_1$, $AMT_0AMT_5AMT_7AMT_4AMT_1$ – são suficientes para uma boa análise e escolha de uma configuração para se iniciar o investimento?

Só mesmo um especialista poderia responder com mais segurança à pergunta acima. É fato que o número de opções para análise na Tabela 8.12 é mais interessante que o da Tabela 8.15. Dependendo do caso, uma redução no tempo de processamento vale mais que o número de configurações. De qualquer maneira, vale respeitar o compromisso entre a ramificação, o tempo de processamento, o número de configurações projetadas ao final do processo, o valor avaliação *posição* e a qualidade destas configurações a partir do ponto de vista de um especialista.

Neste contexto, o valor de B foi reduzido, e o número de configurações propostas e o valor de *Fava_pos* ao final do processo foram observados. No Problema 4, descrito na Tabela 8.16, o fator de ramificação da árvore de busca foi reduzido a 2. Isto indica que em todos os ciclos de ações, durante a realização da segunda ação, o sistema selecionará no máximo duas AMTs de *LAMTs possíveis*.

Tabela 8.16: Valores dos argumentos de entrada do SOMN para o Problema 4.

Problema 4										
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}
LC'	--	•	--	•	•	•	•	•	--	•
LA'	+++	+++	---	+++	+++	---	---	+++	+++	+++
$L\mu$	0.6	1.0	0.4	0.2	0.4	0.8	0.6	1.0	0.4	0.2
<i>AMTs possíveis</i>	[1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10]									
B	2									
<i>Parada1</i>	0.999									
<i>Parada2</i>	10E10									

Será que esta nova redução vai comprometer as configurações propostas pelo SOMN? A Tabela 8.17 apresenta as primeiras sessenta gerações realizadas pelo sistema.

Tabela 8.17: Registro do processo de busca do SOMN até sessenta gerações no Problema 4.

Problema 4					
K	LAMTs possíveis	Laux	Gera	Melhor	F ava. Melhor
0	[0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,10]	[]	0	[[[]]]	0
1	[1,2,3,4,5,6,7,8,9,10]	[0]	2	[[0]]	0.40398
2	[1,2,3,4,5,6,8,9,10]	[7,0]	4	[[7,0]]	0.87636
3	[1,2,3,4,5,6,8,10]	[9,7,0]	6	[[7,0]]	0.87636
4	[1,2,3,4,5,6,10]	[8,9,7,0]	8	[[7,0]]	0.87636
5	[1,2,3,4,5,6]	[10,8,9,7,0]	10	[[7,0]]	0.87636
6	[1,2,3,4,6]	[5,10,8,9,7,0]	12	[[7,0]]	0.87636
7	[1,2,3,6]	[4,5,10,8,9,7,0]	14	[[7,0]]	0.87636
8	[2,3,6]	[1,4,5,10,8,9,7,0]	16	[[7,0]]	0.87636
9	[2,3]	[6,1,4,5,10,8,9,7,0]	18	[[7,0]]	0.87636
10	[3]	[2,6,1,4,5,10,8,9,7,0]	19	[[7,0]]	0.87636
11	[]	[3,2,6,1,4,5,10,8,9,7,0]	19	[[7,0]]	0.87636
9	[3,2]	[6,1,4,5,10,8,9,7,0]	19	[[7,0]]	0.87636
10	[2]	[3,6,1,4,5,10,8,9,7,0]	20	[[7,0]]	0.87636
11	[]	[2,3,6,1,4,5,10,8,9,7,0]	20	[[7,0]]	0.87636
8	[2,3,6]	[1,4,5,10,8,9,7,0]	20	[[7,0]]	0.87636
9	[2,6]	[3,1,4,5,10,8,9,7,0]	22	[[7,0]]	0.87636
10	[2]	[6,3,1,4,5,10,8,9,7,0]	23	[[7,0]]	0.87636
11	[]	[2,6,3,1,4,5,10,8,9,7,0]	23	[[7,0]]	0.87636
9	[2,6]	[3,1,4,5,10,8,9,7,0]	23	[[7,0]]	0.87636
10	[6]	[2,3,1,4,5,10,8,9,7,0]	24	[[7,0]]	0.87636
11	[]	[6,2,3,1,4,5,10,8,9,7,0]	24	[[7,0]]	0.87636
7	[6,2,3,1]	[4,5,10,8,9,7,0]	24	[[7,0]]	0.87636
8	[6,2,1]	[3,4,5,10,8,9,7,0]	26	[[7,0]]	0.87636
9	[6,2]	[1,3,4,5,10,8,9,7,0]	28	[[7,0]]	0.87636
10	[2]	[6,1,3,4,5,10,8,9,7,0]	29	[[7,0]]	0.87636
11	[]	[2,6,1,3,4,5,10,8,9,7,0]	29	[[7,0]]	0.87636
9	[2,6]	[1,3,4,5,10,8,9,7,0]	29	[[7,0]]	0.87636
10	[6]	[2,1,3,4,5,10,8,9,7,0]	30	[[7,0]]	0.87636
11	[]	[6,2,1,3,4,5,10,8,9,7,0]	30	[[7,0]]	0.87636
8	[6,2,1]	[3,4,5,10,8,9,7,0]	30	[[7,0]]	0.87636
9	[2,1]	[6,3,4,5,10,8,9,7,0]	32	[[7,0]]	0.87636
10	[2]	[1,6,3,4,5,10,8,9,7,0]	33	[[7,0]]	0.87636
11	[]	[2,1,6,3,4,5,10,8,9,7,0]	33	[[7,0]]	0.87636
9	[2,1]	[6,3,4,5,10,8,9,7,0]	33	[[7,0]]	0.87636
10	[1]	[2,6,3,4,5,10,8,9,7,0]	34	[[7,0]]	0.87636
11	[]	[1,2,6,3,4,5,10,8,9,7,0]	34	[[7,0]]	0.87636
6	[1,2,6,3,4]	[5,10,8,9,7,0]	34	[[7,0]]	0.87636
7	[1,2,6,4]	[3,5,10,8,9,7,0]	36	[[7,0]]	0.87636
8	[1,2,6]	[4,3,5,10,8,9,7,0]	38	[[7,0]]	0.87636
9	[2,6]	[1,4,3,5,10,8,9,7,0]	40	[[7,0]]	0.87636
10	[2]	[6,1,4,3,5,10,8,9,7,0]	41	[[7,0]]	0.87636
11	[]	[2,6,1,4,3,5,10,8,9,7,0]	41	[[7,0]]	0.87636
9	[2,6]	[1,4,3,5,10,8,9,7,0]	41	[[7,0]]	0.87636
10	[6]	[2,1,4,3,5,10,8,9,7,0]	42	[[7,0]]	0.87636
11	[]	[6,2,1,4,3,5,10,8,9,7,0]	42	[[7,0]]	0.87636
8	[6,2,1]	[4,3,5,10,8,9,7,0]	42	[[7,0]]	0.87636
9	[2,1]	[6,4,3,5,10,8,9,7,0]	44	[[7,0]]	0.87636
10	[2]	[1,6,4,3,5,10,8,9,7,0]	45	[[7,0]]	0.87636
11	[]	[2,1,6,4,3,5,10,8,9,7,0]	45	[[7,0]]	0.87636
9	[2,1]	[6,4,3,5,10,8,9,7,0]	45	[[7,0]]	0.87636
10	[1]	[2,6,4,3,5,10,8,9,7,0]	46	[[7,0]]	0.87636
11	[]	[1,2,6,4,3,5,10,8,9,7,0]	46	[[7,0]]	0.87636
7	[1,2,6,4]	[3,5,10,8,9,7,0]	46	[[7,0]]	0.87636
8	[2,6,4]	[1,3,5,10,8,9,7,0]	48	[[7,0]]	0.87636
9	[2,6]	[4,1,3,5,10,8,9,7,0]	50	[[7,0]]	0.87636

Tabela 8.17: continuação					
<i>K</i>	<i>LAMTs possíveis</i>	<i>Laux</i>	<i>Gera</i>	<i>Melhor</i>	<i>F ava Melhor</i>
10	[2]	[6,4,1,3,5,10,8,9,7,0]	51	[[7,0]]	0.87636
11	[]	[2,6,4,1,3,5,10,8,9,7,0]	51	[[7,0]]	0.87636
9	[2,6]	[4,1,3,5,10,8,9,7,0]	51	[[7,0]]	0.87636
10	[6]	[2,4,1,3,5,10,8,9,7,0]	52	[[7,0]]	0.87636
11	[]	[6,2,4,1,3,5,10,8,9,7,0]	52	[[7,0]]	0.87636
8	[6,2,4]	[1,3,5,10,8,9,7,0]	52	[[7,0]]	0.87636
9	[2,4]	[6,1,3,5,10,8,9,7,0]	54	[[7,0]]	0.87636
10	[2]	[4,6,1,3,5,10,8,9,7,0]	55	[[7,0]]	0.87636
11	[]	[2,4,6,1,3,5,10,8,9,7,0]	55	[[7,0]]	0.87636
9	[2,4]	[6,1,3,5,10,8,9,7,0]	55	[[7,0]]	0.87636
10	[4]	[2,6,1,3,5,10,8,9,7,0]	56	[[7,0]]	0.87636
11	[]	[4,2,6,1,3,5,10,8,9,7,0]	56	[[7,0]]	0.87636
5	[4,2,6,1,3,5]	[10,8,9,7,0]	56	[[7,0]]	0.87636
6	[4,2,6,1,5]	[3,10,8,9,7,0]	58	[[7,0]]	0.87636
7	[2,6,1,5]	[4,3,10,8,9,7,0]	60	[[7,0]]	0.87636

Vale comparar esta tabela com as Tabelas 8.9 e 8.14, respectivamente aquelas produzidas pelo sistema para o caso em que $B = 10$ e $B = 5$. Ao final das sessenta gerações as melhores configurações em *Melhor* têm valor avaliação *Fava_pos* = 0.876, ou seja, menor que os valores 0.923 e 0.883, encontrados respectivamente nas Tabelas 8.9 e 8.14. Além disto, o número de configurações foi também menor. A Tabela 8.18 registra todas as etapas em que o sistema alterou o conteúdo de *Melhor*, até ele avaliar todas as configurações alternativas possíveis de serem geradas com fator de ramificação 2. Esta nova tabela pode ser comparada com as Tabelas 8.11, 8.12 e 8.15.

Tabela 8.18: Registro das configurações encontradas pelo SOMN até a parada no Problema 4.

Problema 4					
<i>K</i>	<i>LAMTs possíveis</i>	<i>Laux</i>	<i>Gera</i>	<i>Melhor</i>	<i>F ava Melhor</i>
0	[0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,10]	[]	0	[[[]]]	0
1	[1,2,3,4,5,6,7,8,9,10]	[0]	2	[[[0]]]	0.40398
2	[1,2,3,4,5,6,8,9,10]	[7,0]	4	[[[7,0]]]	0.87636
3	[2,6,8,5,3,9,10,7]	[4,1,0]	772	[[[4,1,0]]]	0.91970
11	[]	[8,2,7,4,5,3,10,9,6,1,0]	1534	[[[4,1,0]]]	0.91970

A única configuração satisfatória gerada ao final do processo obteve valor avaliação de *posição nebulosa realizada* menor que *Parada1* e que aquele produzido para os Problemas 2 e 3, ou seja, *Fava_pos* = 0.919. Isto ocorreu depois do sistema gerar 772 *posições nebulosas realizadas*, desta vez, um número de gerações bem menor que aqueles dos Problema 2 e 3. Até parar e produzir a configuração satisfatória o SOMN realizou 1534 gerações, valor também menor que *Parada2* e que aqueles realizados para os Problema 2 e 3. O processo todo demorou menos

de um minuto. E, mais uma vez, a princípio, esta redução no tempo de processamento pode ser avaliada como sendo positiva, visto que a configuração satisfatória obteve valor avaliação muito próximo daquele obtido para os Problemas 2 e 3.

Mas, e neste caso, será que a qualidade do conjunto solução foi prejudicada ainda mais, ou seja, será que a configuração gerada para o Problema 4 – AMT_1AMT_4 – é suficiente? Será que a companhia pode iniciar o investimento com a tecnologia AMT_1 ? Pode não ser interessante apenas uma configuração para a análise. Mas, outra vez, somente um especialista pode responder com mais segurança esta pergunta. Novamente, deve-se respeitar o compromisso entre o fator de ramificação, o tempo de processamento, o valor de avaliação de *posição nebulosa realizada*, o número de configurações satisfatórias projetadas e a qualidade destas configurações a partir do ponto de vista do especialista.

Finalmente, no Problema 5 o fator de ramificação foi reduzido ao mínimo, $B = 1$, e o valor de *Fava_pos* ao final do processo foi observado. Isto indica que em todos os ciclos de ações, durante a realização da segunda ação, o sistema selecionará exatamente uma AMT de *LAMTs possíveis*. Este problema está descrito na Tabela 8.19.

Tabela 8.19: Valores dos argumentos de entrada do SOMN para o Problema 5.

Problema 5										
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}
LC'	--	•	--	•	•	•	•	•	--	•
LA^*	+++	+++	---	+++	+++	---	---	+++	+++	+++
$L\mu$	0.6	1.0	0.4	0.2	0.4	0.8	0.6	1.0	0.4	0.2
<i>AMTs possíveis</i>	[1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10]									
B	1									
<i>Parada1</i>	0.999									
<i>Parada2</i>	10E10									

A Tabela 8.20 registra todas as etapas pelas quais o SOMN passou até o final do processo de geração de uma configuração satisfatória. No caso em que $B = 1$, o espaço pesquisado é muito pequeno. Não foi necessário registrar apenas as etapas em que o conteúdo de *Melhor* foi alterado. Mesmo assim, esta nova tabela pode ser comparada com as Tabelas 8.11, 8.12, 8.15 e 8.18.

Tabela 8.20: Registro das configurações encontradas pelo SOMN até a parada no Problema 5.

Problema 5					
<i>K</i>	<i>LAMTs possíveis</i>	<i>Laux</i>	<i>Gera</i>	<i>Melhor</i>	<i>F. ava. Melhor</i>
0	[0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,10]	[]	0	[[]]	0
1	[1,2,3,4,5,6,7,8,9,10]	[0]	1	[[0]]	0.40398
2	[1,2,3,4,5,6,8,9,10]	[7,0]	2	[[7,0]]	0.87636
3	[1,2,3,4,5,6,8,9]	[10,7,0]	3	[[7,0]]	0.87636
4	[1,2,3,4,5,6,8]	[9,10,7,0]	4	[[7,0]]	0.87636
5	[1,2,3,4,5,6]	[8,9,10,7,0]	5	[[7,0]]	0.87636
6	[1,2,4,5,6]	[3,8,9,10,7,0]	6	[[7,0]]	0.87636
7	[1,2,4,6]	[5,3,8,9,10,7,0]	7	[[7,0]]	0.87636
8	[1,2,6]	[4,5,3,8,9,10,7,0]	8	[[7,0]]	0.87636
9	[2,6]	[1,4,5,3,8,9,10,7,0]	9	[[7,0]]	0.87636
10	[2]	[6,1,4,5,3,8,9,10,7,0]	10	[[7,0]]	0.87636
11	[]	[2,6,1,4,5,3,8,9,10,7,0]	10	[[7,0]]	0.87636

Como era esperado, a única configuração satisfatória gerada obteve valor avaliação de *posição nebulosa realizada* menor que *Parada1* e que todos aqueles produzidos para os problemas anteriores, ou seja, *Fava_pos* = 0.876. Até parar e produzir a configuração satisfatória o SOMN realizou 10 gerações. O processo todo demorou menos de um segundo. Da mesma maneira como ocorreu nos problemas anteriores, esta redução drástica no tempo de processamento deve ser analisada mais cuidadosamente. De qualquer maneira, a qualidade da solução é que vai dizer se este tipo de abordagem é válido, ou não, para o problema de investimento. Na ausência dos comentários de um especialista, a próxima seção avalia informalmente o desempenho do esquema de busca proposto.

8.3 Avaliação informal do desempenho do esquema de busca

A maioria dos trabalhos escritos com o foco na avaliação do desempenho de estratégias de busca considera quatro critérios para esta finalidade (RUSSEL e NORVIG, 1995):

1. **Compleitude:** a estratégia encontra uma solução quando existe uma?
2. **Otimidade:** a estratégia encontra a melhor de todas as soluções possíveis?
3. **Complexidade no tempo:** quanto tempo leva para a estratégia encontrar uma solução?
4. **Complexidade espacial:** quanta memória é necessária para a estratégia realizar a busca?

Uma parte da literatura que aborda a Inteligência Computacional distingue, principalmente, duas classes de estratégias de busca (LEE, 1993), (RUSSEL e NORVIG, 1995) e (SIMON, 1977): sistemáticas, ou desinformadas, e heurísticas, ou informadas.

A classe das estratégias sistemáticas realiza uma busca “cega”, ou seja, elas não possuem informações a respeito do custo do caminho de um nó corrente, que descreve um estado corrente do ambiente, até um nó meta, que descreve um estado meta no ambiente. Tudo o que estas estratégias fazem é distinguir entre um estado meta e um estado não-meta. Os exemplos mais conhecidos deste tipo de estratégia são as buscas em largura e em profundidade. Dependendo do problema, estas estratégias podem ser pouco eficientes (RUSSEL e NORVIG, 1995). Por exemplo, a Figura 8.2 compara o desempenho destas estratégias em termos dos quatro critérios citados.

	Largura	Profundidade
Completo?	sim	não
Ótimo?	sim	não
Tempo?	b^d	b^m
Memória?	b^d	bm

Figura 8.2: Avaliação das estratégias: b é o fator de ramificação; d é o comprimento da solução; m é a profundidade máxima da árvore de busca.

Este tipo de comparação ajuda bastante na escolha de uma estratégia apropriada para um problema. Por exemplo, a busca em largura é completa e produz soluções “ótimas”, mas a complexidade exponencial $O(b^d)$ indica que o tempo de processamento e a memória necessária para um computador calcular uma solução podem ser exagerados, ou impossíveis de serem implementados em computadores existentes atualmente. Por outro lado, se a otimalidade não for tão importante e for possível perceber o comprimento máximo da solução, então a complexidade espacial $O(bm)$ da estratégia de busca em profundidade indica que ela é mais apropriada para o problema. Mesmo assim, em ambos os casos, a complexidade no tempo indica que estas estratégias sistemáticas podem ser bastante ineficientes.

Diferentemente desta primeira classe, as estratégias baseadas em heurísticas têm preferências quanto ao próximo nó, n , a ser expandido. As estratégias heurísticas fazem uso de uma função avaliação de nó, $f(n)$, que retorna um valor descrevendo a “promessa” do nó n . Quando os nós candidatos à expansão são ordenados tal que aquele com maior valor é escolhido

para expansão, a estratégia resultante é denominada busca pela melhor escolha. Existe toda uma família de algoritmos de busca com esta denominação. Como, em alguns casos, o objetivo é encontrar a solução de menor custo, estes algoritmos utilizam uma medida estimada do custo da solução e tentam minimizá-la (SIMON, 1977).

Existem, pelo menos, duas abordagens básicas diferentes empregadas na concepção das funções avaliação dos algoritmos de busca pela melhor escolha. Num primeiro tipo de abordagem os valores retornados pela função avaliação fazem com que o nó que parece estar mais próximo do nó meta seja expandido, ou seja, $f(n) = h(n)$. A estratégia de busca “gulosa” é um exemplo deste tipo de abordagem. Num segundo tipo, estas funções fazem com que o nó no caminho solução de menor custo seja expandido, ou seja, $f(n) = g(n)$. A estratégia de busca uniforme é um exemplo deste tipo (RUSSEL e NORVIG, 1995). Além destas possibilidades, outras estratégias concebem suas funções avaliação levando em consideração os dois tipos de informação, ou seja, $f(n) = g(n)+h(n)$. A estratégia de busca A^* é um exemplo deste tipo de abordagem.

A busca gulosa funciona bem na maioria dos casos, mas não é completa e ótima. Além do mais, este tipo de estratégia tem complexidade exponencial no tempo e no espaço $O(b^m)$. Assim, pode demorar muito para encontrar uma solução e o consumo de memória pode ser muito grande, pois ela armazena todos os nós que vão sendo gerados durante o processo de busca. Por outro lado, o estabelecimento de preferências do tipo proposto na estratégia A^* produz uma melhora considerável na “otimalidade” proposta pelo método de busca em largura. Neste ponto, vale ressaltar sobre o que foi dito anteriormente, no caso da busca em largura a otimalidade da solução só vai ser garantida quando o custo dos arcos (operadores), transição de um nó para o próximo, for unitário, ou seja, $g(n) = 1$ (RUSSEL e NORVIG, 1995).

Segundo RUSSEL e NORVIG (1995), a estratégia de busca heurística A^* é completa em grafos com um fator de ramificação finito, providenciando-se que exista uma constante δ tal que o custo de todo arco (operador) seja pelo menos δ . Além do mais, A^* é ótima, pressupondo-se que a função $h(n)$ satisfaça uma simples restrição: h nunca *superestima* o custo de se chegar a um estado meta. Entre os algoritmos que estendem o caminho de busca a partir da raiz da árvore,

considerando-se uma função heurística $h(n)$, os algoritmos A^* são os melhores, ou seja, nenhum outro algoritmo ótimo garante expandir menos nós que o A^* . Mesmo assim, este tipo de estratégia não responde a todos os tipos de problemas. Para grande parte dos problemas, o número de nós a serem pesquisados é exponencial no comprimento da solução.

Esta complexidade exponencial no tempo e no espaço pode ser evitada se o erro entre o custo estimado, $h(n)$, e o custo real de se ir do n para o nó meta, $h^*(n)$, crescer menos rapidamente que o logaritmo do custo do caminho atual, ou seja, $|h(n)-h^*(n)| \leq O(\log h^*(n))$ (RUSSEL e NORVIG, 1995). De qualquer maneira, neste tipo de estratégia, o tempo computacional necessário para encontrar uma solução não é o principal problema. A complexidade espacial pode interromper o funcionamento de um computador antes de atingir um tempo de processamento exagerado. Mas, já existem algoritmos capazes de lidar com a complexidade espacial sem comprometer a completude e otimalidade de A^* (RUSSEL e NORVIG, 1995).

Mas, e sobre a estratégia adotada pelo SOMN ? As estratégias discutidas e os resultados obtidos são suficientes para uma análise informal do desempenho do esquema de busca heurística nebulosa. Esta estratégia parece mais um híbrido da busca em profundidade limitada com a busca gulosa. É semelhante à busca em profundidade, pois ela sempre expande o nó mais profundo na árvore de busca, realiza um retrocesso quando atinge uma profundidade limite nesta árvore e expande os nós menos profundos ainda não expandidos. Além do mais, diferentemente da busca em profundidade, que apenas distingue entre estados metas e estados não-metas, esta estratégia é semelhante à busca gulosa, pois ela faz uso de uma função heurística, $h(n)$, para a seleção do nó mais profundo.

Esta combinação faz com que a estratégia proposta herde um aspecto positivo da busca gulosa, a tendência de encontrar uma solução rapidamente, ao mesmo tempo em que ela evita a complexidade espacial exponencial desta estratégia. Por exemplo, a Figura 8.3 descreve o progresso da busca para o caso fictício considerado na Figura 6.1, ao final do Capítulo 6. Relembrando, esta figura pressupõe um conjunto de três AMTs possíveis para investimento, $LAMTs_possíveis = [1,2,3]$, e um fator de ramificação igual a dois, $B = 2$.

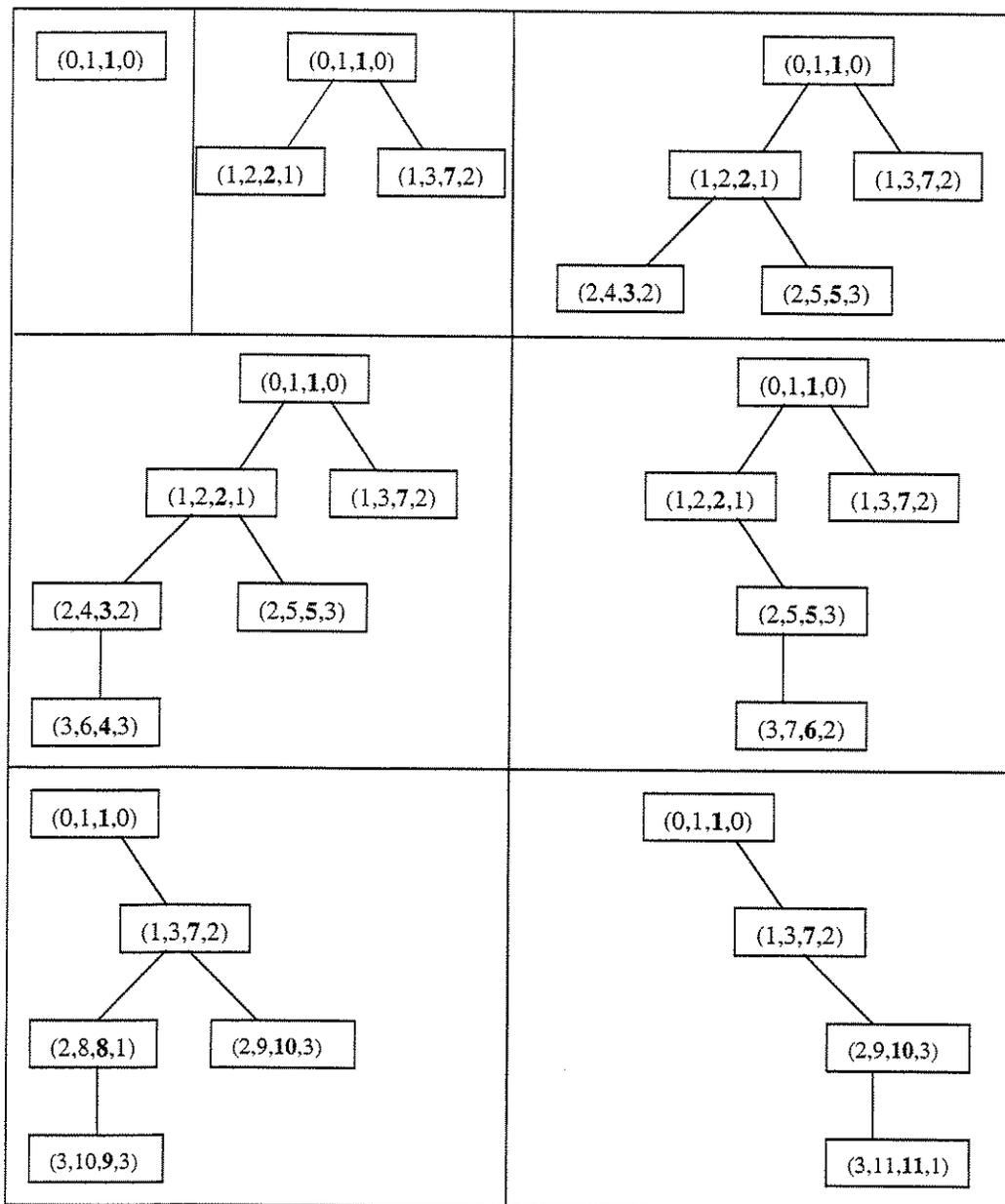


Figura 8.3: Progresso da busca realizada pelo SOMN.

Uma quadrúpla em um nó apresenta informações a respeito do ramo correspondente ao nó. O primeiro componente representa a profundidade, K , do ramo na árvore de busca; o segundo, a ordem em que o ramo foi gerado; o terceiro, a ordem em que o nó foi expandido; e o quarto, a AMT no ramo, AMT . Comparada com a busca gulosa, a estratégia proposta requisita pouca memória. Neste aspecto ela é muito parecida com a busca em profundidade. Conforme a figura

mostra, ela necessita armazenar apenas o caminho do nó raiz até um nó folha, juntamente com os nós “irmãos” de cada nó no caminho. Para um espaço de estados com fator de ramificação b e máxima profundidade m , esta estratégia requisita o armazenamento de somente bm nós. Por exemplo, no caso fictício apresentado, considerando que $m = 3$, o número máximo de nós que vai ser armazenado é 6. Isto pode ser constatado no quarto quadro da figura acima.

Apesar da complexidade espacial $O(bm)$ ser um aspecto positivo desta estratégia, a complexidade no tempo é semelhante à busca em profundidade e à busca gulosa, ou seja, é da ordem $O(b^m)$. Pode ser necessário que o SOMN trabalhe com o fator de ramificação máximo e gere todos os caminhos possíveis até encontrar uma solução satisfatória. Mas, conforme percebido na seção anterior, o sistema tem boas chances de encontrar uma solução satisfatória após explorar uma pequena porção do espaço de estados. Para tanto, basta que se reduza o fator de ramificação, conforme aconteceu nos Problemas 3, 4, 5. A Tabela 8.21 apresenta o tempo e do consumo de memória necessários para SOMN resolver os Problemas 2, 3, 4 e 5.

Tabela 8.21: Tempo de processamento e consumo de memória pelo SOMN.

Problema 2					
Etapa	Dia	Horas	Minutos	GStack ocupado	GStack livre
Início	Quinta-feira	23	45	56	100007880
Final	Segunda-feira	15	27	2780864	97227072
Problema 3					
Etapa	Dia	Horas	Minutos	GStack ocupado	GStack livre
Início	Sexta-feira	19	4	56	100007880
Final	Sábado	9	19	2760148	97247788
Problema 4					
Etapa	Horas	Minutos	Segundos	GStack ocupado	GStack livre
Início	18	48	44	56	100007880
Final	18	49	2	2759716	97248220
Problema 5					
Etapa	Horas	Minutos	Segundos	GStack ocupado	GStack livre
Início	16	12	29	56	100007880
Final	16	12	29	2759704	97248232

Conforme comentado o programa SOMN foi implementado na linguagem de programação Visual PROLOG e executado em um computador do tipo PC, com processador AMD-K6 e 32 Mbytes de memória RAM. O parâmetro *GStack*, no início e no final do processo de projeto, dá uma idéia da utilização em bytes de uma das pilhas de armazenamento de informações utilizadas pelo PROLOG. Esta pilha, denominada “global stack”, providencia um armazenamento automático e temporário para as estruturas, listas e “strings” manipuladas pelo SOMN. De acordo

com a tabela, o consumo de memória não se constituiu em problema, visto o valor de *GStack* livre ao final do processo. Por outro lado, apesar do tempo dilatado necessário para resolver o Problema 2, a redução no valor do fator de ramificação para valores menores que o máximo possível, $b = 10$, reduziu bastante o tempo necessário para se encontrar uma solução.

Vale ressaltar, esta estratégia para redução do tempo de processamento é válida especificamente para o problema de projeto de configurações de AMTs. Em contra-partida, esta redução pode trazer complicações para a completude do sistema. Vale perceber que, se o fator de ramificação for máximo e a profundidade limite para a árvore de busca igual ao número de AMTs possíveis no início do processo de busca, a estratégia do SOMN se aproxima da busca em profundidade limitada (RUSSEL e NORVIG, 1995). Somente neste caso, a estratégia proposta é completa. Além do mais, como acontece nas buscas em profundidade e gulosa, ela é não ótima, visto que esta estratégia não leva em consideração o custo do caminho do nó raiz até um nó que esteja sobre avaliação.

Apesar da otimalidade não ter sido a meta do desenvolvimento desta abordagem, uma função custo pode ser implementada em uma outra abordagem. A princípio o preço estimado da implantação de cada uma das AMTs pode ser levado em consideração. Mais uma vez, este preço pode ser expresso por meio de valores aproximados e, até mesmo, valores numéricos nebulosos (DRIANKOV, 1987). Esta extensão pode melhorar a qualidade das soluções produzidas. Mas, isto é assunto para trabalhos futuros. Finalmente, a avaliação informal desenvolvida nesta seção encerra, temporariamente, o desenvolvimento deste trabalho. A seguir, algumas conclusões a respeito deste desenvolvimento.

Conclusão

Ao final do desenvolvimento desta etapa da abordagem estratégica computacional para o problema de investimento em novas tecnologias de manufatura, o objetivo principal proposto na introdução deste trabalho foi realizado. O SOMN formalizado na segunda parte lidou muito bem com a subjetividade presente nas descrições lingüísticas dos objetivos do investimento e dos efeitos das AMTs em termos da realização deste objetivo. Assim, a tese proposta na introdução foi validada. Os pressupostos considerados na primeira parte e os resultados produzidos pelo SOMN em funcionamento na terceira parte, valem como expressão da demonstração desta validade. Os próximos parágrafos comentam a respeito dos principais resultados obtidos com esta abordagem e os próximos passos de seu desenvolvimento.

A escolha de uma abordagem apropriada para o problema de investimento em novas tecnologias de manufatura depende, principalmente, do propósito da aquisição e do nível de integração pretendido para as tecnologias na companhia. Se o propósito for o estabelecimento de uma vantagem competitiva sustentável, proporcionada, p.ex., pela manufatura integrada por computador, então as abordagens estratégicas são as mais apropriadas. Nestes casos, em conjunto com as estratégicas, as abordagens econômicas e analíticas também podem ser utilizadas. Esta união promete minimizar o “gap” existente entre a exatidão matemática intrínseca nas abordagens econômicas e analíticas, e a subjetividade predominante nas abordagens estratégicas.

O objetivo primário do tipo de investimento estratégico proposto é o estabelecimento de uma vantagem competitiva sustentável ao longo do tempo, em um ambiente mercado-produto onde as relações da companhia com o consumidor são instáveis e breves. Este tipo de ambiente requisita que freqüentes inovações sejam realizadas nos produtos das companhias. Mas, além do

ambiente, outros fatores condicionam a tomada de decisão sobre que tecnologia investir, são as restrições à realização do objetivo do investimento. Elas surgem em função dos recursos disponíveis para a companhia em seu ambiente interno e nacional, de sua capacidade de aprendizagem, suas intenções de integração e de suas metas estratégicas. Considerando todos estes fatores foi possível definir realisticamente o problema de investimento em novas tecnologias e conceber uma abordagem apropriada para o mesmo.

Vale ressaltar, o problema definido considerou estes fatores de uma maneira bem particular, respeitando o ponto de vista das pessoas especializadas no assunto, aqueles que deram origem às sínteses apresentadas na primeira parte. Por um lado, a escolha ou o projeto de configurações de AMTs para a transformação de posições correntes em posições desejadas de competitividade, não alterou o significado do objetivo primário do investimento. Por outro lado, a obtenção do conjunto de tecnologias possíveis para investimento, selecionando objetivamente para a tomada de decisão apenas as tecnologias que respeitam as restrições impostas à realização do objetivo, é muito comum de acontecer durante a concepção de abordagens para escolha entre alternativas de investimento.

Estas adaptações permitiram a continuação do desenvolvimento da abordagem. A partir delas, foi possível definir formalmente o problema de investimento e, conseqüentemente, conceber uma abordagem capaz de funcionar como uma ponte entre as abordagens estratégicas, analíticas e econômicas. Assim, o problema foi definido como um problema de escolha ou de projeto de configurações de AMTs alternativas. O Sistema Orientado por Metas Nebulosas (SOMN) formalizado na segunda parte deste trabalho concretizou esta ponte. Neste contexto, contribuíram para esta abordagem as teorias e resultados a respeito dos Sistemas Orientados por Metas e dos Agentes Racionais, da noção de Busca Heurística e dos Conjuntos Nebulosos.

O Sistema Orientado por Metas Nebulosas e o esquema de busca heurística nebulosa, mostraram ser bastante eficientes durante o processo de resolução dos problemas de escolha e de projeto de configurações de AMTs. Apesar do esquema de busca não prometer uma solução ótima, ele promete encontrar uma boa solução, em um tempo razoável, sem consumir uma

quantidade exagerada de memória do computador. Em resumo, apesar do esquema não ter satisfeito o critério de otimalidade, ele pode ser considerado completo para o caso em que o fator de ramificação é máximo; e, além do mais, ele tem complexidade temporal semelhante ao método de busca em profundidade limitada e complexidade espacial semelhante ao método guloso.

A utilização da teoria de Conjuntos Nebulosos na formalização do PAGE do SOM permitiu uma primeira implementação em computador do esquema de busca heurística. Essa Teoria permitiu a representação matemática de conceitos ambíguos e nebulosos, como é o caso das posições de competitividade e dos níveis nas fontes de competitividade, e para a representação de relações entre conceitos nebulosos, como é o caso da descrição dos efeitos das AMTs em termos de mudanças nas posições de competitividade. Este esquema de formalização proporcionou um caráter genérico ao SOMN, permitindo que atualmente o mesmo seja especializado de acordo com o contexto de uma aplicação particular, descrito a partir do ponto de vista das pessoas envolvidas com o problema de investimento.

Além do mais, a teoria de Conjuntos Nebulosos disponibilizou todo um quadro formal para a concepção do gerador-avaliador de AMTs nebulosas e de posições nebulosas de competitividade, ou seja, dos ramos da árvore de busca do SOMN. Este gerador-avaliador foi fundamental na expansão desta árvore e na condução organizada e eficiente desta expansão por parte do SOMN. A regra de inferência composicional e os resultados teóricos a respeito das equações relacionais nebulosas e da inferência condicional nebulosa, permitiram a concepção do mecanismo gerador. As medidas de distância e de similaridade de conjuntos nebulosos, permitiram a concepção de funções avaliação de AMTs nebulosas e de posições nebulosas. Estas funções contribuíram consideravelmente na orientação do SOMN durante o processo de busca de solução para os problemas de escolha e de projeto propostos.

No que diz respeito ao funcionamento de todas essas idéias organizadas no SOMN, durante a resolução dos problemas de escolha, na terceira parte deste trabalho o sistema demonstrou ser sensível às variações nas posições nebulosas desejadas de competitividade. À medida que os níveis nebulosos aspirados nas fontes de competitividade foram sendo alterados, o SOMN

respondeu apropriadamente as AMTs satisfatórias. Além do mais, ele demonstrou ser sensível aos valores de importância associados às fontes nas posições, pois, quando estes valores foram alterados, ele também respondeu apropriadamente. Isto pode ser confirmado observando as escolhas proporcionadas pelo SOMN e a análise qualitativa destas soluções a partir do ponto de vista de pessoas especializadas no assunto.

Durante a resolução dos problemas de projeto de configurações de AMTs, o SOMN também demonstrou ser sensível às variações nas posições nebulosas correntes de competitividade. À medida que os níveis nebulosos correntes foram alterados, em relação aos definidos nos problemas de escolha, o sistema realizou diversos processos de busca de configurações satisfatórias. Neste contexto, foi extremamente importante o papel das AMTs nebulosas ideais e do processo de retrocesso na busca destas configurações. Além do mais, as variações no fator de ramificação da árvore de busca demonstraram a eficiência do SOMN durante a busca. Conforme verificado, com a redução do fator de ramificação da árvore até determinados valores, ocorreu uma redução considerável no tempo de resposta do sistema, sem uma grande redução na quantidade de configurações satisfatórias propostas.

Considerando estes resultados como positivos, Campos e Ribeiro escreveram dois artigos apresentando as definições teóricas de problemas de escolha entre ações alternativas e de projeto de seqüência de ações alternativas, e as abordagens para estes problemas baseadas em agentes orientados por metas nebulosas (CAMPOS e RIBEIRO, 2003). Os problemas foram definidos de maneira semelhante às definições na última parte deste trabalho, substituindo-se a palavra posição pela palavra “situação”, fonte por “componente”, e tecnologia por “ação”. Os agentes foram testados processando as informações sobre o domínio de aplicação apresentado no Capítulo 7. Estas publicações devem gerar novas aplicações em outros domínios.

Nem todo o quadro formal desenvolvido para o SOMN foi apresentado neste trabalho. O restante, aquele não apresentado, prevê situações em que as metas nebulosas são interdependentes entre si. Nestas situações, sabe-se a priori que determinados valores de níveis nebulosos realizados, p. ex., por uma AMT_y em uma fonte de competitividade X_x , alteram os valores dos

níveis nebulosos realizados por esta mesma AMT na fonte X_z . Sendo assim, a posição nebulosa realizada realmente pela AMT_y em X_z é diferente daquela que seria realizada pelo SOMN na versão com metas nebulosas independentes, testada neste trabalho. Vale ressaltar, este tipo de interdependência causal pode ser implementada através de uma alteração na forma da função avaliação de posições. No quadro desenvolvido, foram consideradas duas possibilidades para o estabelecimento destas interdependências.

Numa primeira concepção, propôs-se uma função avaliação de posições nebulosas onde as interdependências entre as metas nebulosas são descritas através de declarações condicionais envolvendo os níveis nebulosos realizados nas fontes, por exemplo: se o nível nebuloso realizado em X_x for R_x então o nível nebuloso realizado em X_z será R_z . Esta primeira concepção deu origem a um novo modelo para o SOMN: o “Modelo de Interdependências”. Numa segunda concepção, uma função avaliação onde as declarações condicionais envolvendo os níveis nebulosos nas fontes, remetem a uma interdependência descrita em termos dos “níveis de satisfação” proporcionados pelas AMTs nas metas nebulosas. Esta segunda concepção deu origem ao “Termômetro de Satisfação” e a uma adaptação no “Modelo de Interdependências”.

Mas, além destes modelos para a função avaliação de posições, ainda vale trabalhar em, pelo menos, mais dois aspectos intrínsecos na abordagem apresentada. Este novo desenvolvimento depende fundamentalmente da disponibilidade de um conhecimento especializado sobre o investimento em novas tecnologias. Por um lado, vale considerar a existência de restrições na montagem das configurações. Por exemplo, além da AMTs serem alternativas entre si, algumas podem precisar da implantação prévia de tecnologias complementares. Além do mais, vale também considerar o atributo preço previsto para a implantação das AMTs nas configurações. Mais uma vez, os conjuntos nebulosos e, mais especificamente, os números nebulosos podem ser empregados na quantificação deste preço subjetivo. Estes passos deverão dar origem a uma função custo da configuração e a uma abordagem mais realista e otimista para o investimento.

Estes próximos passos deverão tornar o SOMN uma abordagem mais atrativa aos olhos de um decisor especializado no investimento em novas tecnologias e que não tenha restrições quanto ao uso da Inteligência Computacional como ferramenta de apoio aos processos de tomada de decisão envolvendo o conhecimento especializado. Os resultados obtidos nas três partes deste trabalho demonstram bem que os objetivos propostos foram alcançados. Estes resultados demonstram também a validade da tese que considera que o SOMN é o tipo de sistema computacional apropriado para ajudar as pessoas durante a concepção de abordagens estratégicas para os problemas de investimento em novas tecnologias para as companhias.

Referências Bibliográficas

BARRETO, J. M. **Inteligência Computacional no Limiar do Século XXI**. Florianópolis: Duplic, 2º Edição, 1999.

CAMPOS, L. M. E CAMPOS, G. A. L. **Aplicação de Redes Neurais em um Problema de Seleção de Tecnologias para a Manufatura Integrada por Computador**. Anais do I Simpósio Catarinense de Computação Univali, Itajaí-SC, v.1, n.1, p. 208-215, 2000.

CAMPOS, G. A. L e RIBEIRO, R. V. **Busca Heurística – Classificação e um Quadro Formal para a Busca Nebulosa**. Anais do Congresso Brasileiro de Automática, Florianópolis-SC, 2000.

CAMPOS, G. A. L e RIBEIRO, R. V. **Design of Sequences of Alternatives Actions Guided by Fuzzy Goals**. Fuzzy Sets and Systems, 2003 (submetido).

CAMPOS, G. A. L e RIBEIRO, R. V. **Selection of Alternatives Actions Guided by Fuzzy Goals**. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 2003 (submetido).

CAMPOS, L. M. K., ROISENBERG, M. e CAMPOS, G. A. L. **Evolutionary Approach do Design of Artificial Neural Network**. Logic, Artificial Inteligence and Robotics, 71, 35-42, 2001.

DAYHOFF, J. **Neural Networks Architectures: an introduction**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1990.

DE LUCA, A. e TERMINI, S. **A Definition of a Nonprobabilistic Entropy in the Setting of Fuzzy Set Theory.** Information and Control, 301-312, 1972.

DRIANKOV, D. **An Outline of a Fuzzy Sets Approach to Decision Making with Interdependent Goals,** Fuzzy Sets and Systems, n.21, 275-288, 1987.

FERNÁNDEZ, M. J., SUÁREZ, F. e GIL, P. **Equations of Fuzzy Relations Defined on Fuzzy Subsets.** Fuzzy Sets and Systems, n.52, 53-63, 1992.

FREEMAN, J. A. e SKAPURA, D. M. **Neural Networks: algorithms, applications and programming techniques.** Addison-Wesley, Reading, 1991.

FUKAMI, S., MIZUMOTO, M. e TANAKA, K. **Some Considerations on Fuzzy Conditional Inference.** Fuzzy Sets and Systems, n.4, 243-273, 1980.

GRANT, R. M., KRISHNAN, R., SHANI, A. B. e BAER, R., **Appropriate Manufacturing Technology: A Strategic Approach.** Sloan Management Review, Fall, 43-54, 1991.

KASABOV, N. K. **Foundations of Neural Networks, Fuzzy Systems, and Knowledge Engineering.** The MIT Press, 2^o Edition, 1998.

KAUFMANN, A. **Introduction to the Theory of Fuzzy Subsets.** New York: Academic Press, 1975.

KING, W. R. e RAMAMURTHY, K. **Do Organizations Achieve Their Objectives from Computer-Based Manufacturing Technologies?.** IEEE Trans. Engineering Management, v.39, n. 2, 129-141, 1992.

KLIR, G. J. e FOLGER, T. A. **Fuzzy Sets, Uncertainty, and Information**. Singapore: Prentice-Hall International Editions, 1992.

KOCHAN, A. e COWAN, D. **Implementing CIM: Computer Integrated Manufacturing**. England: Springer-Verlag, 1986.

KURTZ, D. C. **Foundations of Abstract Mathematics**. Singapore: McGraw-Hill, 1992.

LEE, T. V. **Techniques of Prolog Programming**. Singapore: John Willey & Sons, 1993.

LOO, G. **Measures of Fuzziness**. *Cybernetica*, n.20, 201-210, 1977.

LINDEMAYER, A. **Mathematical Model for Cellular Interaction in development, Parts I and II**. *Journal of Theoretical Biology*, n.18, 280, 1965.

MEREDITH, J. R. **Justification Techniques for Advanced Manufacturing Systems**. *Int. J. Prod. Res.*, v.24, n.5, 1043-1057, 1986.

MEREDITH, J. R. e HILL, M. M. **Justifying New Manufacturing Systems: A Managerial Approach**. *Sloan Management Review*, Summer, 49-61, 1987.

MEYER, D. **How to arrive at computer integrated manufacturing: A 3-year survey**. *European Journal of Operations Research*, n. 47, 239 -247, 1990.

MITCHEL, M. **An Introduction do Genetic algorithms**. Cambridge: MIT Press, 1996.

MIYAKOSHI, M. e SHIMBO, M. **Solutions of Composite Fuzzy Relational Equations With Triangular Norms**. *Fuzzy Sets and Systems*, n.16, 53-63, 1985.

MIZUMOTO, M e ZIMMERMANN, H. J. **Comparison of Fuzzy Reasoning Methods**. Fuzzy Sets and Systems, n.8, 253-283, 1982.

NEWELL, A. e SIMON, H. A. **Human Problem Solving**. New Jersey: Prentice Hall, 1972.

PEDRYCZ, W. **Fuzzy Control and Fuzzy Systems**. England: Willey, 1993.

PFEILSTICKER, A. **The Systems Approach and Fuzzy Set Theory Bridging The Gap Between Mathematical and Language-oriented Economists**, Fuzzy Sets and Systems, n.6, 209-233, 1981.

PORTER, M. E. **The Competitive Advantage of Nations**. New York: The Free Press, 1990.

RICH, E.e KNIGHT, K. **Inteligência Artificial**. São Paulo: Mc Graw-Hill, 1988.

RUSSEL, S. e NORVIG, P. **Artificial Intelligence: A Modern Approach**. New Jersey: Ed. Prentice-Hall. 1995.

SAATY, T. L. **The Analytic Hierarchy Process**. New York: Mc Graw-Hill, 1980.

SAATY, T. L. **Tomada de Decisões para Líderes**. Pittsburgh: RWS Publications, 1996.

SANCHEZ, E. **Resolution of Composite Fuzzy Relation Equations**. Information and Control, n.30, 38-48, 1976.

SIMON, H. A. **Models of Discovery**. Dordrecht, Holland: D. Reidel, 1977.

SIMON, H. A. **As Ciências do Artificial**. Coimbra: Sucessor, 1981.

WANG, P. Z. **Theory of Fuzzy Sets and Their Applications**. Shangai Science and Technology Publishing House, 1982.

WILHELM, M. R. e PARSAEI, H. R. **A Fuzzy Linguistic Approach to Implementing a Strategy fo Computer Integrated Manufacturing.** Fuzzy Sets and Systems, n.42, 191-204, 1991.

XUENCHENG, L. **Entropy, Distance Measure and Similarity Measure of Fuzzy Sets and Their Relations.** Fuzzy Sets and Systems, n.52, 305-318, 1992.

ZADEH, L. A. **Fuzzy Sets.** Information and Control, n.8, 338-353, 1965.

ZADEH, L. A. **Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Process.** IEEE Trans. Systems, Man, and Cybernetics, SMC-3, 28-44, 1973.