

INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA

RENATA LÚCIA MAGALHÃES DE OLIVEIRA

**MODELO NEURO-FUZZY PARA ESCOLHA MODAL NO
TRANSPORTE DE CARGAS**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia de Transportes do Instituto Militar de Engenharia, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciências em Engenharia de Transportes.

Orientador: Marcus Vinícius Quintella Cury -
D.Sc.

Rio de Janeiro

2004

c2004

INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA

Praça General Tibúrcio, 80 - Praia Vermelha

Rio de Janeiro - RJ

CEP: 22290-270

Este exemplar é de propriedade do Instituto Militar de Engenharia, que poderá incluí-lo em base de dados, armazenar em computador, microfilmear ou adotar qualquer forma de arquivamento.

É permitida a menção, reprodução parcial ou integral e a transmissão entre bibliotecas deste trabalho, sem modificação de seu texto, em qualquer meio que esteja ou venha a ser fixado, para pesquisa acadêmica, comentários e citações, desde que sem finalidade comercial e que seja feita a referência bibliográfica completa.

Os conceitos expressos neste trabalho são de responsabilidade do(s) autor(es) e do(s) orientador(es).

048 Oliveira, Renata L. Magalhães

Modelo Neuro-Fuzzy para Escolha Modal no Transporte de Cargas / Renata Lúcia Magalhães de Oliveira - Rio de Janeiro: Instituto Militar de Engenharia, 2004.

141p. : il., graf., tab.

Dissertação (mestrado) - Instituto Militar de Engenharia - Rio de Janeiro, 2004.

1. Tecnologia Neuro-Fuzzy. 2. Escolha modal. 3. Transporte de Cargas. I. Título. II. Instituto Militar de Engenharia.

CDD 629.04

INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA

RENATA LÚCIA MAGALHÃES DE OLIVEIRA

**MODELO NEURO-FUZZY PARA ESCOLHA MODAL NO
TRANSPORTE DE CARGAS**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia de Transportes do Instituto Militar de Engenharia, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciências em Engenharia de Transportes.

Orientador: Prof. Marcus Vinícius Quintella Cury - D.Sc.

Aprovada em 02 de Agosto de 2004 pela seguinte Banca Examinadora:

Prof Marcus Vinícius Quintella Cury - D.Sc. do IME

Prof^a Maria Cristina Fogliatti de Sinay - Ph.D. do IME

Prof^a Maria Augusta Soares Machado - D.Sc. do IBMEC

Prof David José Ahouagi Vaz Magalhães - D.Sc. da UFMG

Rio de Janeiro

2004

Dedico este trabalho a meu noivo e futuro esposo, Patrick, que me apoiou em todos os momentos; e a minha mãe, que sempre se dedicou a mim, sendo solidária às minhas escolhas

AGRADECIMENTOS

Ao IME, pelo curso de mestrado em Engenharia de Transportes.

À CAPES, pelo fomento à pesquisa.

Ao Grupo Tectran, pela oportunidade de aprendizagem e crescimento profissional.

À Companhia Vale do Rio Doce, pela agregação de valor a partir do curso de especialização em Engenharia Ferroviária e pelo aprendizado prático e vivência na ferrovia.

Ao professor Marcus Vinícius Quintella Cury, pela orientação e parceria no processo de pesquisa.

Aos demais professores do curso, pelo apoio e pelo conteúdo transmitido, que hoje faz parte do meu dia-a-dia profissional.

Aos professores da UFMG, em especial ao professor David José Ahouagi Vaz Magalhães, pelos ensinamentos e pela dedicação.

À Simone e ao Saul, pela força e amizade.

Aos colegas das turmas, pelo convívio e pela troca de experiências.

Ao Maurício, pelo aprendizado profissional e pela paciência.

A meus pais, pelo incentivo, pelos valores a mim transmitidos e pelo apoio incondicional.

Em especial, para minha mãe, pela força, dedicação e por todo o apoio na elaboração da dissertação.

Ao meu amado noivo, Patrick, pelo amor, carinho, apoio e companheirismo trocados ao longo dessa caminhada.

SUMÁRIO

LISTA DE ILUSTRAÇÕES	9	
LISTA DE TABELAS	11	
1	INTRODUÇÃO	17
1.1	Considerações Iniciais.....	17
1.2	Objetivo.....	26
1.3	Relevância e Justificativa.....	27
1.4	Estrutura da Dissertação.....	29
2	ESCOLHA MODAL NO TRANSPORTE DE CARGAS	30
2.1	Parâmetros Intervenientes no Processo de Escolha Modal no Transporte de Cargas.....	32
2.1.1	Variáveis Relacionadas ao Tempo.....	34
2.1.2	Variáveis Relacionadas ao Custo.....	36
2.1.3	Variáveis Relacionadas à Segurança.....	37
2.1.4	Variáveis Relacionadas ao Conforto e à Conveniência	37
2.1.5	Outras Variáveis Intervenientes na Escolha Modal..	38
2.2	Metodologias de Análise e Comparação de Opções de Transporte de Cargas.....	40
2.2.1	Processo de Tomada de Decisão.....	40
2.2.2	Técnicas de Seleção de Opções de Transporte.....	44
2.2.2.1	Métodos de Programação Linear.....	44
2.2.2.2	Algoritmos de Rede.....	45
2.2.2.3	Métodos Comportamentais.....	47
2.3	Conclusões.....	61
3	TECNOLOGIA NEURO-FUZZY	63
3.1	Métodos Heurísticos.....	63

3.2	Lógica Fuzzy.....	64
3.2.1	Conjuntos <i>Fuzzy</i>	66
3.2.2	Variáveis Linguísticas.....	68
3.2.3	Sistema de Inferência <i>Fuzzy</i>	69
3.2.4	Determinação dos Conjuntos <i>Fuzzy</i> (Fuzificação)....	70
3.2.5	Inferência <i>Fuzzy</i> (Determinação da Base de Regras). 73	
3.2.6	Defuzificação.....	76
3.2.7	Conjuntos <i>Fuzzy</i> e a Probabilidade.....	77
3.3	Redes Neurais.....	78
3.3.1	Redes Neurais Artificiais.....	78
3.4	Tecnologia <i>Neuro-Fuzzy</i>	83
3.5	Conclusões.....	84
4	APLICAÇÃO DA TECNOLOGIA <i>NEURO-FUZZY</i> AO PROCESSO DE ESCOLHA MODAL NO TRANSPORTE DE CARGA	85
4.1	Diagnóstico e Caracterização das Opções de Transporte a Serem Avaliadas.....	85
4.2	Definição das Variáveis de Entrada (VE).....	86
4.2.1	Atributos Referentes aos Custos.....	87
4.2.2	Atributos Referentes às Características da Carga a ser Transportada.....	87
4.2.3	Atributos Referentes ao Nível de Serviço Prestado ao Cliente.....	88
4.3	Arquitetura da Rede <i>Neuro-Fuzzy</i>	89
4.4	Tratamento das Variáveis de Entrada (Fuzificação). 92	
4.5	Definição das Variáveis Intermediárias (VI).....	95
4.6	Inferência <i>Fuzzy</i>	95
4.7	Tratamento da Variável de Saída (Defuzificação)... 97	
4.8	Conclusão.....	98
5	ESTUDO DE CASO	99
5.1	Diagnóstico e Caracterização das Opções de Transporte.....	99

5.2	Levantamento dos Dados Referentes às Variáveis de Entrada.....	100
5.2.1	Determinação dos Valores para as VE Quantitativas	101
5.2.2	Valores Atribuídos pelos Especialistas para as VE Qualitativas.....	102
5.3	Fuzificação.....	103
5.4	Inferência <i>Fuzzy</i>	109
5.5	Defuzificação.....	112
6	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	115
6.1	Conclusões.....	115
6.2	Recomendações.....	118
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	119
8	APÊNDICES	125
8.1	APÊNDICE 1: MODELO DE QUESTIONÁRIO.....	126
8.2	APÊNDICE 2: DESENVOLVIMENTO DO MODELO NEURO-FUZZY	129

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIG. 1.1: O Triângulo da Tomada de Decisões Logísticas.....	18
FIG. 1.2: Atividades Logísticas.....	23
FIG. 1.3: Atividades de Suprimento e Distribuição Física....	23
FIG. 2.1: Fatores Intervenientes na Escolha Modal segundo INDRA-PAYOONG (1999).....	33
FIG. 2.2: Representação de um Modelo de Rede.....	46
FIG. 2.3: Exemplo de Estrutura Hierárquica de Problemas de Decisão.....	55
FIG. 3.1: Representação Gráfica de um Conjunto <i>Crisp</i>	67
FIG. 3.2: Estrutura Geral de um Sistema de Inferência <i>Fuzzy</i> .	69
FIG. 3.3: Modelo Básico de um Neurônio de McCulloch.....	79
FIG. 3.4: Arquitetura das Redes Neurais Artificiais.....	81
FIG. 3.5: Estrutura de uma Rede Neural Hierárquica.....	82
FIG. 3.6: Arquitetura de uma Rede Neuro-Fuzzy.....	84
FIG. 4.1: Unidade-Padrão de Inferência Fuzzy (UPIF).....	90
FIG. 4.2: Arquitetura da Rede <i>Neuro-Fuzzy</i> para Escolha Modal no Transporte de Cargas.....	91
FIG. 4.3: Conjuntos <i>Fuzzy</i> para VE <i>Transit Time</i> - Exemplo....	93
FIG. 4.4: Conjuntos <i>Fuzzy</i> da Variável Confiabilidade - Exemplo	94
FIG. 5.1: Opções A e B para o Transporte de Soja entre Rondonópolis e Vitória.....	100
FIG. 5.2: Conjunto <i>Fuzzy</i> para a VE <i>Transit Time</i>	105
FIG. 5.3: Conjunto Fuzzy para a VE Qualitativa Perdas e Danos	108
FIG. 5.4: Conjuntos <i>Fuzzy</i> para a Variável de Saída GEM.....	112
FIG. 8.1: Conjuntos <i>Fuzzy</i> para a Variável CUSTOS DE TRANSPORTE	131
FIG. 8.2: Conjuntos <i>Fuzzy</i> para a Variável CUSTOS INDIRETOS.	133

FIG. 8.3: Conjuntos <i>Fuzzy</i> para a Variável VALOR AGREGADO DA CARGA.....	135
FIG. 8.4: Conjuntos <i>Fuzzy</i> para a Variável FREQUÊNCIA DE TRANSPORTE.....	137
FIG. 8.5: Conjuntos <i>Fuzzy</i> para a Variável TRANSIT TIME.....	139
FIG. 8.6: Conjuntos <i>Fuzzy</i> para a Variável PERDAS E DANOS...	141
FIG. 8.7: Conjuntos <i>Fuzzy</i> para a Variável CONFIABILIDADE...	143
FIG. 8.8: Conjuntos <i>Fuzzy</i> para a Variável DISPONIBILIDADE DE INFORMAÇÕES.....	145
FIG. 8.9: Conjuntos <i>Fuzzy</i> para a Variável INSTALAÇÕES LOGÍSTICAS.....	147
FIG. 8.10: Conjuntos <i>Fuzzy</i> para a Variável ACESSIBILIDADE..	149
FIG. 8.11: Conjuntos <i>Fuzzy</i> para a Variável FLEXIBILIDADE...	151

LISTA DE TABELAS

TAB 1.1: Atividades típicas de uma cadeia logística.....	25
TAB. 2.1: Comparação de parâmetros para os diferentes modos .	39
TAB. 2.2: Escala de julgamento de importância do método AHP .	56
TAB. 3.1: Base de Regras <i>Fuzzy</i>	74
TAB. 4.1: Termos Lingüísticos Atribuídos às Variáveis de Entrada.....	86
TAB. 4.2: Fuzificação da Variável Quantitativa <i>Transit Time</i> - Exemplo.....	92
TAB. 4.3: Graus de Certeza para a Variável Qualitativa Confiabilidade - Exemplo.....	94
TAB. 4.4: Termos Lingüísticos Atribuídos às Variáveis Intermediárias.....	95
TAB. 4.5: Base de Regras <i>Fuzzy</i> - Exemplo Genérico.....	96
TAB. 4.6: Inferência <i>Fuzzy</i> - Exemplo Hipotético.....	97
TAB. 5.1: Características das Opções de Transporte entre Rondonópolis e Vitória.....	101
TAB. 5.2: Valores Atribuídos às VE Quantitativas do Modelo Proposto.....	102
TAB. 5.3: Valores Atribuídos às VE Quantitativas do Modelo Proposto.....	102
TAB. 5.4: Fuzificação da VE <i>Transit Time</i>	104
TAB. 5.5: Vetores Lingüísticos para as VE Quantitativas....	105
TAB. 5.6: Fuzificação da VE Perdas e Danos.....	107
TAB. 5.7: Vetores Lingüísticos para as VE Qualitativas para o Especialista 1.....	109
TAB. 5.8: Base de Regras <i>Fuzzy</i> do Bloco de Inferência BI-1.	110
TAB. 5.9: Processo de Inferência <i>Fuzzy</i> para a VI Custos Totais - Especialista 1.....	111
TAB. 5.10: Vetores Lingüísticos das VI e da VS - Especialista 1.....	111

TAB. 5.11: Vetores Lingüísticos e Valores Defuzificados para a VS GEM segundo os Especialistas.....	113
TAB. 5.12: Grau de Efetividade Modal para as Opções de Transporte Propostas.....	114
TAB. 8.1: Construção dos Conjuntos <i>Fuzzy</i> da VE CUSTOS DE TRANSPORTE.....	130
TAB. 8.2: Construção dos Conjuntos <i>Fuzzy</i> da VE CUSTOS INDIRETOS.....	132
TAB. 8.3: Construção dos Conjuntos <i>Fuzzy</i> da VE VALOR AGREGADO DA CARGA.....	134
TAB. 8.4: Construção dos Conjuntos <i>Fuzzy</i> da VE FREQUÊNCIA DE TRANSPORTE.....	136
TAB. 8.5: Construção dos Conjuntos <i>Fuzzy</i> da VE TRANSIT TIME	138
TAB. 8.6: Construção dos Conjuntos <i>Fuzzy</i> da VE PERDAS E DANOS	140
TAB. 8.7: Construção dos Conjuntos <i>Fuzzy</i> da VE CONFIABILIDADE	142
TAB. 8.8: Construção dos Conjuntos <i>Fuzzy</i> da VE DISPONIBILIDADE DE INFORMAÇÕES.....	144
TAB. 8.9: Construção dos Conjuntos <i>Fuzzy</i> da VE INSTALAÇÕES LOGÍSTICAS.....	146
TAB. 8.10: Construção dos Conjuntos <i>Fuzzy</i> da VE ACESSIBILIDADE	148
TAB. 8.11: Construção dos Conjuntos <i>Fuzzy</i> da VE FLEXIBILIDADE	150
TAB. 8.12: Bloco de Inferência BI-I.....	152
TAB. 8.13: Bloco de Inferência BI-II.....	152
TAB. 8.14: Bloco de Inferência BI-III.....	152
TAB. 8.15: Bloco de Inferência BI-IV.....	152
TAB. 8.16: Bloco de Inferência BI-V.....	153
TAB. 8.17: Bloco de Inferência BI-VI.....	153
TAB. 8.18: Bloco de Inferência BI-VII.....	153
TAB. 8.19: Bloco de Inferência BI-VIII.....	153

TAB. 8.20:	Bloco de Inferência BI-IX.....	154
TAB. 8.21:	Bloco de Inferência BI-X.....	154
TAB. 8.22:	Bloco de Inferência BI-I - Alternativa A.....	154
TAB. 8.23:	Bloco de Inferência BI-I - Alternativa B.....	154
TAB. 8.24:	Bloco de Inferência BI-II - Alternativa A.....	155
TAB. 8.25:	Bloco de Inferência BI-II - Alternativa B.....	155
TAB. 8.26:	Bloco de Inferência BI-III - Alternativa A.....	155
TAB. 8.27:	Bloco de Inferência BI-III - Alternativa B.....	156
TAB. 8.28:	Bloco de Inferência BI-IV - Alternativa A.....	156
TAB. 8.29:	Bloco de Inferência BI-IV - Alternativa B.....	156
TAB. 8.30:	Bloco de Inferência BI-V - Alternativa A.....	157
TAB. 8.31:	Bloco de Inferência BI-V - Alternativa B.....	157
TAB. 8.32:	Bloco de Inferência BI-VI - Alternativa A.....	157
TAB. 8.33:	Bloco de Inferência BI-VI - Alternativa B.....	158
TAB. 8.34:	Bloco de Inferência BI-VII - Alternativa A.....	158
TAB. 8.35:	Bloco de Inferência BI-VII - Alternativa B.....	158
TAB. 8.36:	Bloco de Inferência BI-VIII - Alternativa A.....	159
TAB. 8.37:	Bloco de Inferência BI-VIII - Alternativa B.....	159
TAB. 8.38:	Bloco de Inferência BI-IX - Alternativa A.....	159
TAB. 8.39:	Bloco de Inferência BI-IX - Alternativa B.....	160
TAB. 8.40:	Bloco de Inferência BI-X - Alternativa A.....	160
TAB. 8.41:	Bloco de Inferência BI-X - Alternativa B.....	160

RESUMO

O processo de escolha modal no transporte de cargas pode ser definido como o processo decisório que visa o atendimento do nível de serviço demandado pelos clientes, estabelecendo um trade-off entre os custos logísticos e a qualidade do atendimento. Os atributos intervenientes nesse processo decisório não são apenas objetivos, envolvendo também parâmetros subjetivos, como a confiabilidade e a segurança das opções modais disponíveis.

Métodos lineares têm sido aplicados como ferramentas de auxílio ao processo decisório, mas sem permitir a consideração da subjetividade do processo decisório em sua resolução. Por outro lado, os modelos comportamentais permitem considerar parâmetros subjetivos, mas apresentam complexidade no processo de obtenção da informação junto aos especialistas. A Tecnologia Neuro-Fuzzy, vem sendo aplicada na solução de problemas que envolvem convergência de informações quantitativas e qualitativas para apoio ao processo decisório, com a vantagem de trabalhar a informação sem que haja perda da subjetividade. Entretanto, não se conhece ainda um número significativo de aplicações dessa ferramenta para apoio ao processo de escolha modal no transporte de cargas, carecendo de trabalhos que tenham como contribuição a estruturação e a implementação de modelos dessa ordem.

Assim, essa dissertação teve como objetivo a modelagem desse processo, com base em informações quantitativas e também nas avaliações qualitativas de especialistas, utilizando-se a tecnologia Neuro-Fuzzy. Essa ferramenta possibilita a consideração de variáveis objetivas e subjetivas que correspondem aos atributos mais significativos para o tomador de decisão quanto à escolha modal, considerando a experiência do especialista como atributo fundamental nesse processo.

Foi estruturado um modelo de convergência de informações que apresentou, como resultado, uma nota denominada Grau de Efetividade Modal (GEM), que reflete o quanto cada opção modal se adequa às necessidades dos clientes. O modelo proposto foi aplicado às opções de transporte disponíveis - rodoviária e rodo-ferroviária - para remoção da soja proveniente de Rondonópolis, MT para o porto de Vitória, ES. Como resultado, obteve-se um GEM duas vezes maior para a opção rodo-ferroviária que para a rodoviária.

Os resultados obtidos com a aplicação do modelo demonstram que essa tecnologia é adequada para a estruturação do modelo de escolha proposto devido, principalmente, à baixa complexidade e à flexibilidade, que permite a inserção ou retirada de variáveis, seguindo o procedimento de construção

do modelo apresentado. Ressalta-se ainda a grande contribuição da aplicação desse modelo fundamentada na possibilidade de tratamento da subjetividade considerada no processo decisório referente à escolha modal no transporte de cargas.

ABSTRACT

The freight mode choice can be defined as a decision making process to establish a trade-off between logistic costs and service quality. The attributes that influence the freight mode choice can be both objective and subjective.

On the one hand, linear programming and networks have been applied in the solution of this decision problem, but do not allow the input of qualitative variables. On the other hand, behavioral models permit the usage of subjective attributes, but can be extremely complicated when structured with a large number of input variables due to its complexity. Neuro-Fuzzy technology has been applied to support the decision making process in problems that involve subjective and objective attributes, but not a large number of publications that apply this tool to freight mode choice are known.

Therefore, the main objective of this dissertation is to model freight mode choice through Neuro-Fuzzy technology, representing the decision making process according to specialists. This technology allows the consideration of qualitative and quantitative variables that correspond to the most relevant attributes in mode choice.

A Neuro-Fuzzy model was structured and the result was named Degree of Mode Effectiveness, representing the level of adequacy of the mode option to the consumer's needs. The model proposed was applied to support the decision making process that involved two options for transporting soy beans from Rondonópolis, MT to Vitória, ES. The application of the model indicates that the alternative that considers road and railroad transport is twice more effective than the exclusively road transport.

The results obtained with the application of the proposed model show that this technology is adequate for supporting freight mode choice, due mainly to its low level of complexity and to its flexibility, that allows the input and output of variables, considering the construction process described in this dissertation.

1 INTRODUÇÃO

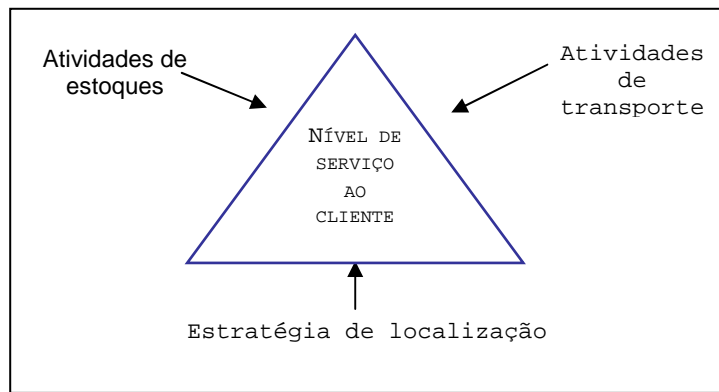
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A globalização, ou seja, a integração do mundo em um sistema econômico unificado, resultou em mudanças intensas nas relações de produção antes existentes. Houve o surgimento de novos produtos, com menores ciclos de vida, e grande crescimento da competitividade, o que acarretou um aumento da demanda por melhores níveis de serviços.

Durante anos, o diferencial competitivo empresarial se baseou em estratégias de produção e marketing. Atualmente, este diferencial não se encontra no produto diversificado ou nas campanhas promocionais, e sim no nível de serviço prestado ao consumidor.

As vantagens competitivas são essenciais para a sobrevivência das empresas no mercado mundial atual. Assim, o papel da logística tem fundamental importância, uma vez que objetiva o atendimento ao cliente com nível de serviço ótimo. A logística empresarial busca prestar elevados níveis de serviço onde o produto (ou serviço) correto, seja entregue no local certo, no tempo certo, a um preço justo.

Segundo BALLOU (2001), no contexto logístico, são três as atividades que devem ser observadas, sempre considerando o seguinte triângulo de tomada de decisões logísticas mostrado na FIG. 1.1.



Fonte: BALLOU, 2001.

FIG. 1.1: O Triângulo da Tomada de Decisões Logísticas

O planejamento logístico é muito importante quando se considera o nível de serviço prestado ao cliente. Dentre as atividades de planejamento, o transporte se destaca por ter influência de até 75% no custo logístico total. As decisões de transporte podem envolver a escolha modal, a especificação dos veículos mais adequados para o transporte, o tamanho do carregamento, a roteirização e a programação (BALLOU, 2001). Segundo RODRIGUES (2001), considerando-se as alternativas estratégicas das empresas, a logística de transporte é o principal problema a solucionar.

A análise do processo de escolha modal no transporte de carga, objeto desta dissertação, é muito importante para o planejamento e o gerenciamento da cadeia logística, uma vez que permite determinar a escolha mais adequada a ser feita pelos usuários em função de alterações nos atributos dos modos de transporte e, assim, permite estimar a demanda por diferentes modos em diferentes situações (MONTEIRO, MARTINS e RODRIGUES, 2001).

Os serviços de transporte, associados a atividades logísticas, assim como outros serviços de infra-estrutura, são essenciais tanto para o desenvolvimento individual quanto para o desenvolvimento econômico. Adequados serviços de transporte podem potencializar a eficiência logística dos setores produtivos, contribuindo para a redução do custo por unidade

de insumo e para o incremento de demanda. Se a infra-estrutura e os serviços de transporte não funcionarem adequadamente, as atividades econômicas ficam comprometidas, com adicional elevação dos custos, o que leva à perda de competitividade dos produtos no mercado internacional e ao aumento dos preços no mercado doméstico (BDMG, 2002).

A associação entre uma eficiente infra-estrutura e a prestação de serviços adequada possibilita menores custos, maior confiabilidade e rapidez, reforçando a premissa de que a eficiência do sistema logístico é um fator extremamente importante para a garantia da competitividade internacional.

Conclui-se então que o transporte tem fundamental importância como fator de produção, uma vez que seu papel na cadeia logística é essencial, levando à indústria a matéria-prima e os insumos da produção e distribuindo os bens e produtos acabados até o consumidor final. Entretanto, cabe-se ressaltar que as características dos transportes são diferentes para cada tipo de produto.

Como fator locacional, o transporte é uma das principais atividades estratégicas a serem consideradas na alocação de instalações físicas componentes das redes logísticas de suprimento e distribuição física (BDMG, 2002).

A redução dos custos de transporte contribui para o aumento da competitividade entre os mercados e, conseqüentemente, para o desenvolvimento econômico. Cabe ressaltar que os custos de transporte variam de um sistema produtivo para outro. Bens com alto valor agregado não sofrem grande influência do transporte na composição do custo final. Entretanto, empresas com elevados volumes de insumos transportados refletem a agregação dos custos de transporte na composição de seus custos totais.

Segundo BDMG (2002), os principais setores de infra-estrutura responsáveis pelo desenvolvimento de uma nação são o transporte, energia, telecomunicações e saneamento. A partir

da implantação de infra-estrutura de transportes, os custos de suprimento de insumos e de distribuição de produtos diminuem e o empreendedor pode investir na produção, gerando novos empregos, produção em escala, movimentando a economia local e desenvolvendo a região. A redução dos custos logísticos permite que muitas indústrias busquem a expansão de mercados consumidores, e localizações geográficas mais adequadas, aumentando as escalas de produção e aproveitando melhor o espaço geográfico.

Os serviços de transporte e a construção e manutenção da infra-estrutura são, por si mesmos, geradores de emprego e consumidores de insumos, gerando impacto significativo no desenvolvimento econômico.

Por outro lado, além de consumir bens e serviços, o transporte é responsável por um grande número de externalidades negativas, com grande impacto econômico e social. Estas externalidades podem ser caracterizadas como custos sociais resultantes do congestionamento viário, da emissão de poluentes na atmosfera, das desapropriações a fim de se implantar novas infra-estruturas, dos altos índices de acidentes etc.

No âmbito internacional, onde a globalização estimula o aumento da competitividade empresarial, os negócios têm sido realizados em cenários com fronteiras pouco definidas, onde o suprimento, a produção e o consumo podem se encontrar geograficamente distantes (KOMAROVA, 2000).

A transformação da matéria prima e de componentes intermediários em bens de consumo mais elaborados agrega valor a esses produtos. Entretanto, é necessária a agregação de valor de lugar e tempo aos produtos, através das atividades de transporte e armazenagem, respectivamente. A logística empresarial busca equilibrar essas atividades, visando menores

custos e a manutenção do nível de serviço desejado pelo cliente.

Atividades logísticas organizadas tiveram origem no contexto militar, onde a agregação de valores de tempo e lugar aos processos logísticos é essencial. Considera-se que a maior operação logística da história tenha sido a invasão da Europa durante a 2ª guerra mundial (BALLOU, 2001). Segundo NOVAES (2001), o conceito de logística, considerando sua origem, esteve essencialmente relacionado às operações militares.

Historicamente, as empresas se organizavam em torno dos setores de produção e marketing. Entretanto, com a crescente necessidade de aumentar a competitividade no mercado, as empresas passaram a buscar o aumento das receitas e redução dos custos, mantendo os níveis de serviços. Isso só foi possível com o surgimento do conceito de logística dentro das empresas produtivas, onde as atividades de movimentação e estoques passaram a ser geridas separadamente, e não mais como atividades de marketing e produção.

O processo de difusão do conceito de logística empresarial no Brasil começou no início da década de 90, com a abertura comercial do país. A partir de 1994, com a estabilização econômica devido ao Plano Real, esse processo se acelerou. O rápido crescimento do comércio internacional, entre 1994 e 1997, e, principalmente, das importações e exportações, gerou enorme demanda por logística internacional, uma área para a qual o país não se encontrava preparado em termos de infraestrutura, práticas empresariais e burocracia. A logística empresarial não apresentava uma definição estruturada, estando dispersa nos conceitos de marketing e produção.

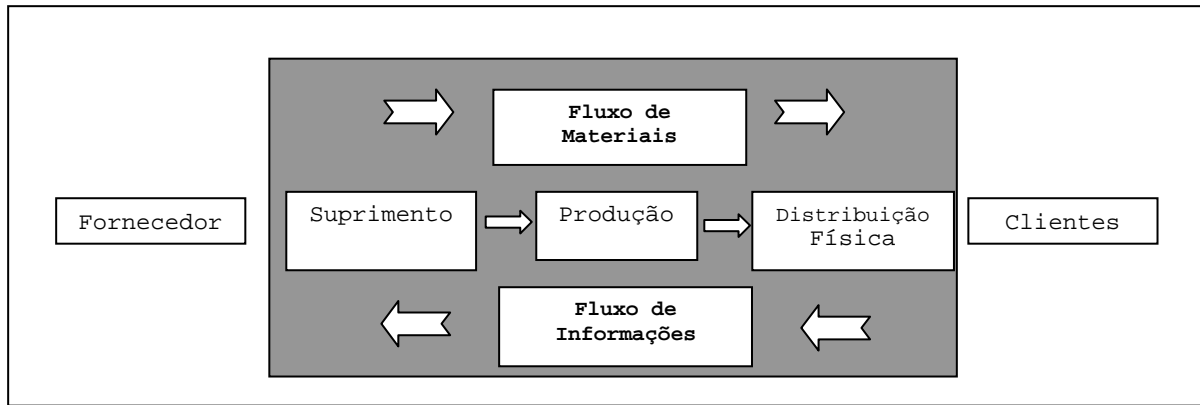
Hoje, pode-se afirmar que o conceito de logística empresarial se encontra bastante consolidado e disseminado nas empresas. Grandes investimentos foram realizados pela iniciativa privada visando o aprimoramento das operações

logísticas. Entretanto, ainda há enormes deficiências na infra-estrutura de transportes e comunicações, que dificultam essas operações (FLEURY, 2000).

Logística é adquirir, manusear, transportar, distribuir e controlar eficazmente os bens disponíveis, objetivando: a redução dos custos globais; os altos giros de estoques; a continuidade do fornecimento; a garantia do nível de qualidade; a rapidez nas entregas; e os registros, os controles e a transmissão de dados instantâneos e confiáveis (RODRIGUES, 2001). O *Council of Logistics Management* - CLM - define logística da seguinte maneira: "Logística é o processo de planejamento, implementação e controle do fluxo de matérias-primas eficiente e economicamente eficaz, estoque em processo, produtos acabados e informações relativas desde o ponto de origem até o ponto de consumo, com o propósito de atender às exigências dos clientes" (NOVAES, 2001). Segundo BALLOU (2001), a Logística pode ainda ser definida como o ato de "dispor a mercadoria ou o serviço certo, no lugar certo, no tempo certo e nas condições desejadas, ao mesmo tempo em que fornece a maior contribuição à empresa".

Todas as definições são pertinentes e consideram os mesmos objetivos, podendo-se resumir a definição de logística em: Prestar um nível de serviço adequado ao cliente, com agregação de valor de tempo e lugar aos produtos e serviços de forma ordenada, a um menor custo total para a empresa.

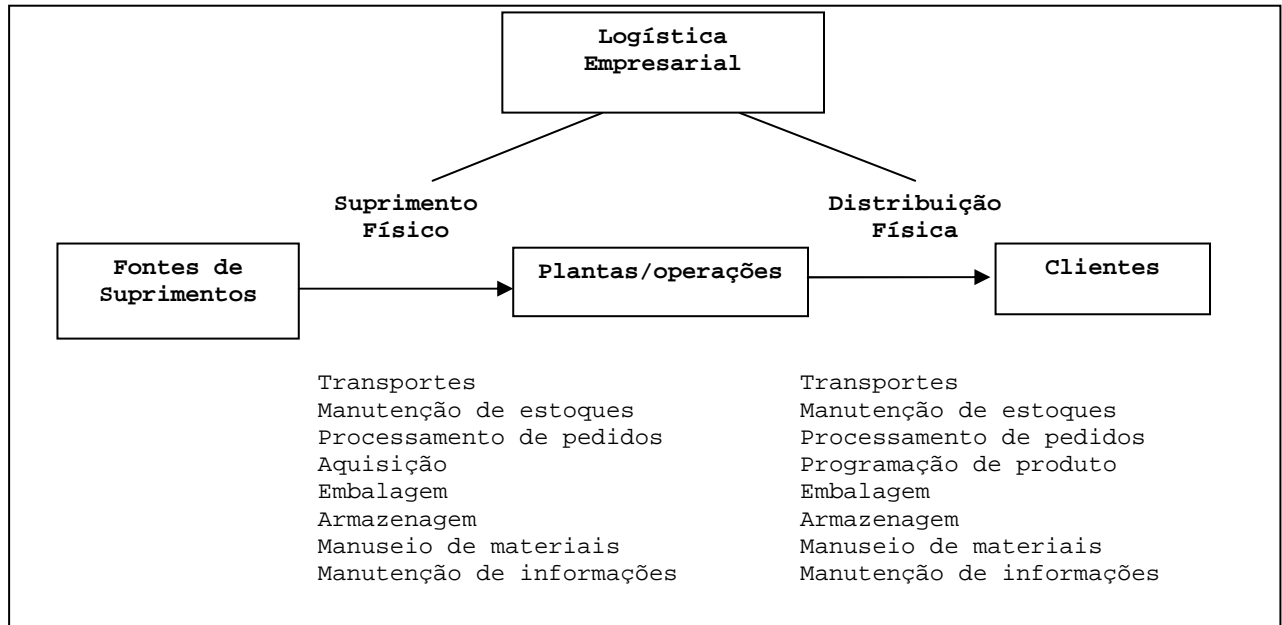
A logística empresarial é composta por uma série de atividades que podem ser agregadas em suprimento e distribuição física, considerando-se o fluxo de materiais e o fluxo de informações, sempre objetivando a conversão da matéria-prima em produto final e a entrega deste produto ao cliente. Essas atividades estão representadas na FIG. 1.2.



Fonte: BOWERSOX (1996)

FIG. 1.2: Atividades Logísticas

Os componentes das atividades de suprimento e de distribuição de um sistema logístico típico, de acordo com o *Council of Logistics Management*, são mostrados na FIG. 1.3.



Fonte: BALLOU, 2001.

FIG. 1.3: Atividades de Suprimento e Distribuição Física

Essas atividades podem ser desdobradas em atividades-chave e atividades de suporte. As atividades-chave ocorrem, no geral, em todo o canal logístico, enquanto que as atividades de suporte podem ou não ocorrer, estando presentes de acordo com as circunstâncias da empresa em questão. Tais atividades são mostradas na TAB 1.1.

Considerando-se a cadeia logística, pode-se dizer que os custos logísticos são proporcionais ao nível de serviço ofertado ao cliente. Devido a esta proporcionalidade, deve-se preocupar mais com os serviços de transporte e estoque, uma vez que, essas atividades absorvem de 50 a 75% dos custos logísticos totais. Os serviços de transporte, por movimentarem os produtos e serviços no espaço, agregam valor de "lugar" aos mesmos. As atividades de estoque são responsáveis pela disponibilização dos produtos no tempo, agregando assim, valor de "tempo" (BALLOU, 2001).

As atividades de transporte são essenciais para o gerenciamento da logística empresarial, uma vez que é necessária a movimentação de matéria-prima até os locais de produção e de produtos acabados ao consumidor final. Embora esteja longe de ser o único, o transporte é o elemento mais visível da cadeia logística, pois, diariamente, podem ser observados caminhões e trens trafegando carregados com mercadorias.

Basta comparar as economias de uma nação "desenvolvida" com as que estão "em desenvolvimento", para ver que, em parte, um alto nível de atividade econômica é criado a partir das atividades de transporte. Um sistema de transporte eficiente e barato contribui para o aumento da concorrência no mercado, para a melhoria das economias de escala de produção e para a redução dos preços das mercadorias.

Atualmente, foram agregados fundamentos logísticos ao conceito de transportes, resultando em preços de fretes em queda. Paralelamente, a busca de confiabilidade no suprimento, pelo novo mercado internacional vem estimulando rápidas mudanças tecnológicas e, conseqüentemente, sucessivas quedas no custo de informatização. Essa redução nos custos relativos à informação tem levado à utilização de serviços *online* precisos, a processos decisórios mais ágeis e ciclos

operacionais mais curtos, evitando insegurança, falhas, erros, demoras e serviços desnecessários, orientando o foco para a eliminação de desperdícios (RODRIGUES, 2001).

TAB 1.1: Atividades típicas de uma cadeia logística

ATIVIDADES-CHAVE		ATIVIDADES DE SUPORTE	
Padrões de serviços ao cliente	Necessidades e desejos dos clientes	Armazenagem	Determinação de espaço
	Reação dos clientes aos		Disposição do estoque
	Estabelecer níveis de serviços		Configuração do armazém
	Localização de estoque		
Transporte	Seleção do modo	Manuseio de materiais	Seleção de equipamentos
	Consolidação		Política de reposição de equipamento
	Roteirização		Procedimentos de coleta de pedidos
	Programação de veículos		Alocação e recuperação de materiais
	Seleção de equipamentos		
	Processamento de reclamações	Compras	Seleção de fontes de suprimentos
Auditoria de tarifas	Momento da compra		
	Quantidade de compra		
Administração de estoques	Políticas de estocagem	Embalagem	Manuseio
	Previsão de vendas		Estocagem
	Combinação de produtos para estocagem		Proteção
	Estratégias de <i>just-in-time</i>		
Fluxo de informações e processamento de pedidos	Interface estoque vendas	Produção	Especificação de quantidades agregadas
	Métodos de transmissão de informações		Seqüência e tempo de volume de produção
	Regras de pedidos	Manutenção de informação	Coleta, arquivamento e manipulação de informação
	Análise de dados		
	Procedimento de controle		

Fonte: BALLOU, 2001.

Considerando-se as possibilidades de contratação de transporte, atualmente, as empresas têm ao seu dispor uma grande amplitude de alternativas para o transporte de mercadorias, sendo:

- a verticalização de todas as suas operações de transporte, através do emprego de frota própria;
- a terceirização parcial de suas operações de transporte, mantendo as de caráter estratégico sob o seu comando direto;

- a manutenção de uma equipe própria coordenando os diversos procedimentos e contratos de transporte;
- a terceirização de todas as suas operações de transporte, entregando-o a um único ou a vários operadores logísticos.

O transporte brasileiro representa 10% do PIB nacional, cerca de 120 bilhões de reais por ano, sendo bastante dependente do modo rodoviário. Este modo é responsável por cerca de 61% da carga transportada (em toneladas-km) no Brasil. Em países desenvolvidos, a participação deste modo é bastante inferior, como por exemplo nos EUA, onde apenas 28% das cargas são transportadas por rodovias. Para os padrões norte-americanos, os custos de transporte rodoviário são três vezes e meia maiores que o ferroviário, seis vezes maiores que o dutoviário e nove vezes maiores que o hidroviário. Pode-se então perceber o potencial de redução de custos na reestruturação da matriz de transportes nacional (FLEURY, 2000).

Considerando que a atividade mais onerosa dentro de uma cadeia logística é o transporte, torna-se necessário o tratamento cuidadoso dos problemas advindos destas atividades. Dentre estes problemas se encontra a seleção do modo ou modos a serem utilizados, tanto no suprimento quanto na distribuição. A escolha modal pode ser considerada como uma atividade essencial para a garantia de utilização mínima de recursos, da manutenção do nível de serviço e da adequação das condições de transporte aos diferentes tipos de carga.

1.2 OBJETIVO

O objetivo desta dissertação é estabelecer um modelo de escolha modal para o transporte de cargas, desenvolvido a partir da opinião de especialistas sobre as diferentes opções

de transporte existentes e considerando variáveis quantitativas e qualitativas que, além dos custos de transportes, considere também variáveis como a confiabilidade, a agilidade, a flexibilidade, a frequência da oferta etc.

Este modelo poderá ser utilizado por quaisquer empreendedores, clientes dos sistemas de transporte disponíveis, que desejam utilizar uma ferramenta de suporte à tomada de decisão quanto à escolha modal para o transporte de cargas. Assim, os usuários do transporte poderão decidir quanto à alternativa escolhida considerando não apenas o custo, mas também os fatores referentes ao nível de serviço.

A partir da estruturação e implementação do modelo utilizando a Tecnologia *Neuro-Fuzzy* será possível criar uma escala numérica que determine o grau de adequação das opções de transporte propostas às necessidades do cliente. Assim, a partir de parâmetros objetivos e subjetivos é possível determinar a opção que melhor atende à demanda dos usuários dos sistemas de transporte.

1.3 RELEVÂNCIA E JUSTIFICATIVA

Os serviços logísticos, além de outros serviços de infraestrutura, são essenciais para o desenvolvimento econômico de uma localidade ou mesmo de uma nação. Os setores produtivos necessitam de adequados serviços de transporte e armazenagem, buscando o aumento da produtividade e a redução do custo unitário de produção. Dentre estes serviços, as atividades relacionadas ao transporte são essenciais, uma vez que geram a agregação de valor de lugar aos insumos e bens acabados.

Assim, para avaliar e comparar as diferentes opções modais de transporte de cargas de forma a inserir esta atividade em um contexto logístico, devem-se considerar os principais

atributos determinantes, relativos à efetividade¹ do serviço ofertado. Além disto, conhecer esses parâmetros também auxilia a tomada de decisões quanto ao posicionamento tático e estratégico do empreendedor, buscando atender às expectativas dos clientes e, portanto, garantir a competitividade do negócio.

O processo de escolha modal, objeto de estudo da presente dissertação, é responsável pela eficiência e eficácia da operação de transportes, uma vez que, elevados custos de transporte e baixo nível de serviço podem acarretar a perda de competitividade dos produtos no mercado internacional e ao aumento dos preços no mercado doméstico, tornando necessária a busca de um equilíbrio entre os atributos referentes a custos e ao nível de serviço ofertado.

Por se tratar de um processo no qual grande parte de seus atributos possuem características de subjetividade, onde a experiência do tomador de decisão é bastante significativa, é necessária a utilização de uma ferramenta que permita a associação de variáveis quantitativas e qualitativas convergidas a um único parâmetro de avaliação.

Além das justificativas técnicas do trabalho, esta pesquisa se enquadra na linha de ação do III Plano Básico de Desenvolvimento Científico e Tecnológico do CNPq, que recomenda o desenvolvimento, aperfeiçoamento e difusão de técnicas e métodos de planejamento que visem a obtenção de maior racionalização, eficácia e integração dos sistemas modais de transporte e suas respectivas atividades.

¹ Um sistema pode ser considerado como efetivo quando é eficaz e eficiente. O conceito de eficiência refere-se à execução de atividades de forma racional, com a utilização adequada dos recursos disponíveis. Por outro lado, eficácia, diz respeito ao atendimento de metas previamente estabelecidas, sem que, necessariamente, haja eficiência no processo.

1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação encontra-se estruturada em seis capítulos cujos conteúdos são descritos nesta seção.

No Capítulo 1 são estabelecidos os objetivos deste trabalho, além de sua relevância quanto ao desenvolvimento econômico, a partir de conceito de logística empresarial.

No Capítulo 2 detalha-se a escolha modal no transporte de cargas considerando-se as variáveis intervenientes neste processo. São apresentadas algumas metodologias utilizadas como apoio à decisão, referentes a processos que envolvem atributos subjetivos e objetivos.

No Capítulo 3, como embasamento ao modelo a ser proposto, são apresentadas a Lógica *Fuzzy*, as Redes Neurais Artificiais e a Tecnologia *Neuro-Fuzzy*.

No Capítulo 4, é apresentado o modelo proposto, de acordo com a tecnologia selecionada para análise.

No Capítulo 5 é apresentado um exemplo de aplicação hipotético do modelo proposto.

No Capítulo 6 são apresentadas as conclusões do trabalho e algumas recomendações e sugestões para estudos e pesquisas futuras.

A escolha modal no transporte de cargas pode ser definida como a atividade de planejamento de transportes que determina qual modo (ou modos) serão utilizados durante o transporte de insumos e bens acabados. Para tal, é necessária a definição das características pertinentes ao processo de movimentação das cargas.

Na escolha modal, devem-se considerar diversas variáveis qualitativas e/ou quantitativas, intervenientes neste processo, tais como as características de mercado, legislação, infra-estrutura de transporte e tecnologias disponíveis. Ressalta-se ainda que as características de mercado estão associadas aos serviços logísticos originados a partir da competitividade inerente a uma economia globalizada (RODRIGUES, 2002).

Devem-se, portanto, considerar os diversos fatores intervenientes na tomada de decisão sobre os modos de transporte a serem utilizados. Cada um desses fatores, que serão apresentados neste capítulo, entra no processo decisório com uma importância relativa, ou um peso, dependendo do objetivo a ser alcançado.

A eficácia da tomada de decisão na seleção da alternativa mais adequada consiste na obtenção de resultados que minimizem os custos logísticos e mantenham a qualidade no atendimento aos clientes. A decisão é feita, portanto, com base na logística da operação, considerando-se o custo e o desempenho, avaliados em termos dos prazos e confiabilidade das entregas e pela qualidade e disponibilidade de informações sobre a movimentação da carga (MONTEIRO; MARTINS; RODRIGUES, 2000).

Antes do advento da logística no âmbito empresarial, a preocupação com o nível de serviço era praticamente

inexistente. Hoje, com a competitividade dos mercados, é necessário manter o nível do serviço ofertado, objetivando sempre a redução dos custos.

Segundo NOVAES & ALVARENGA (1994), a redução de custos logísticos relacionados ao transporte e a tentativa de melhoria do nível de serviço ofertado ao cliente refletem a busca por opções modais mais racionais.

Assim, considera-se que os atributos intervenientes na escolha modal podem ser quantitativos, como o custo de transporte e o *transit time*², ou qualitativos, caracterizando o nível de serviço ofertado. O estado da arte referente aos parâmetros considerados na escolha modal será apresentado neste capítulo.

Os parâmetros qualitativos são de difícil mensuração e podem apresentar elevados índices de subjetividade, justificando a aplicação de métodos que permitam a convergência destes parâmetros para um coeficiente único, viabilizando assim, a tomada de decisão considerando todos os atributos relevantes.

Conclui-se que a avaliação e a comparação das opções de transporte consistem na aplicação de técnicas e procedimentos auxiliares à tomada de decisão. O objetivo da avaliação é organizar e mostrar as informações relevantes de forma a viabilizar a comparação entre as diferentes opções e a tomada de decisão coerente, através da escolha de uma destas. Diversos métodos e procedimentos são utilizados para fundamentar a escolha modal. Os métodos mais comumente utilizados para este processo de escolha, que possibilitam a inserção de parâmetros subjetivos e objetivos, também serão

² No presente trabalho, o termo *Transit Time* será utilizado para representar o tempo de percurso da mercadoria, ou seja, o tempo consumido na movimentação de carga considerando o tempo em movimento e o tempo parado, entre a origem e o destino.

apresentados neste capítulo, mostrando-se qual será a contribuição da presente dissertação.

2.1 PARÂMETROS INTERVENIENTES NO PROCESSO DE ESCOLHA MODAL NO TRANSPORTE DE CARGAS

COOK *et al* (1999) afirma que os tomadores de decisão, quanto à opção de transporte a ser utilizada, buscam a minimização de seu custo logístico total, o que não significa, necessariamente, que estes buscarão sempre as menores tarifas. Segundo eles, as empresas reconhecem que há um grande número de fatores que podem acarretar aumento dos custos como as perdas de cargas, inventários para evitar ausência de estoque e a confiança nos serviços de transporte pelos diversos modos. Gestores racionais conhecem todos os custos destes fatores e buscam sempre a redução do custo logístico total.

INDRA-PAYOONG (1999) classifica os fatores que influenciam a escolha modal em três grupos, sendo esses: (i) características do usuário; (ii) características do transporte e (iii) informações sobre o nível de serviço.

Na FIG. 2.1 são ilustradas as principais variáveis intervenientes na escolha modal eleitas por INDRA-PAYOONG (1999).

Segundo JIANG; JOHNSON; CALZADA (2003), podem-se classificar os atributos referentes à escolha modal em três categorias: (i) características da empresa (produtora ou consumidora); (ii) características físicas dos bens e (iii) características espaciais e referentes ao fluxo do transporte.

As características da empresa podem ser definidas como: a natureza da empresa (indústria, *shopping centers*, armazéns etc.); a estrutura da mesma (pequena, capital nacional, multinacional); sua localização (acessibilidade de ramais ferroviários e rodoviários) e o seu tamanho (representado pelo

número de empregados). Outras características referentes à empresa podem ser consideradas como a existência de equipamentos de transporte próprios e a qualidade dos seus sistemas de informação.

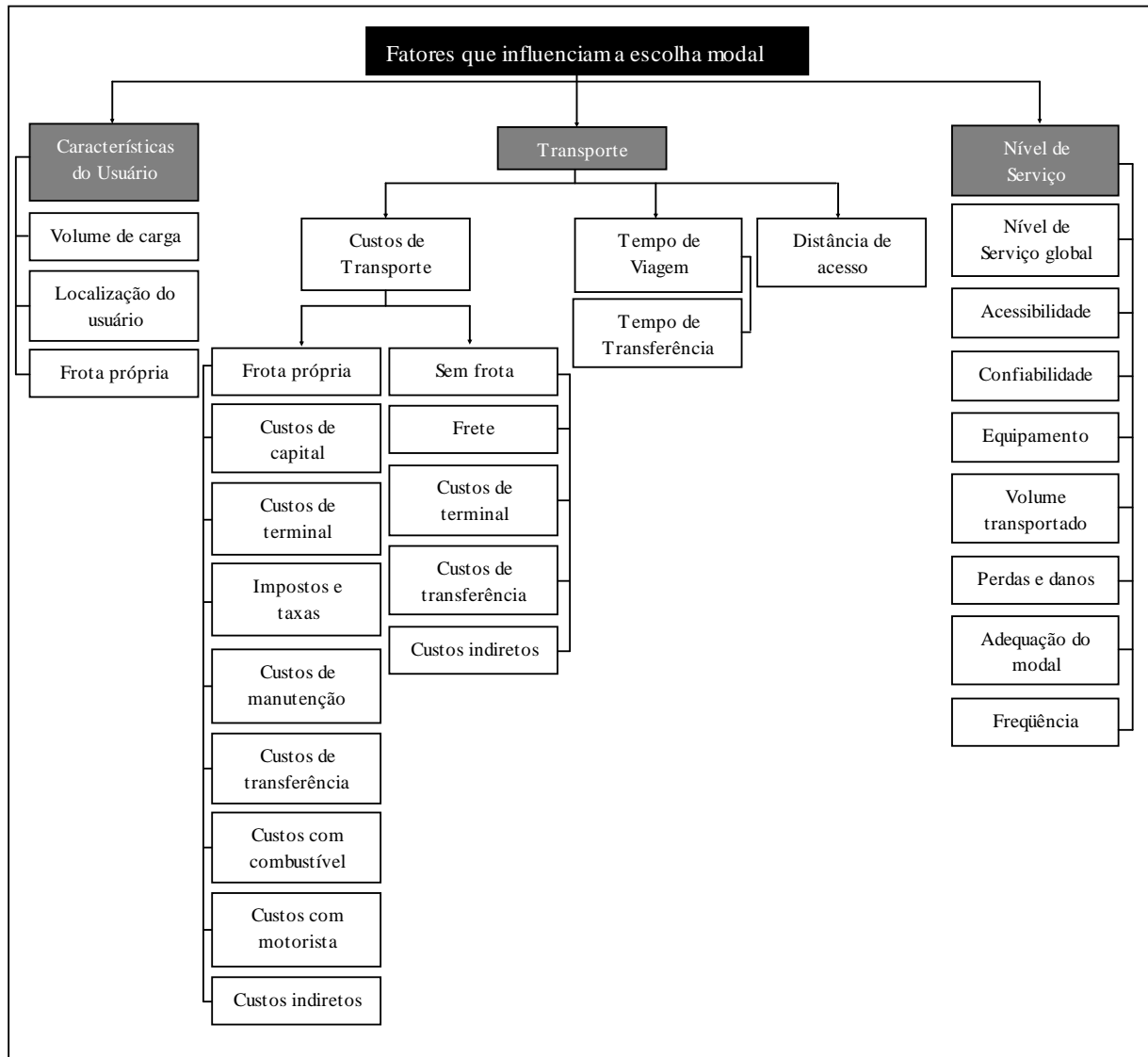


FIG. 2.1: Fatores Intervinentes na Escolha Modal segundo INDRA-PAYOONG (1999)

Os atributos referentes aos bens a serem transportados referem-se ao tipo de produto, peso, valor agregado e embalagem. O tipo de produto inclui um grande número de categorias como, por exemplo, alimentos, máquinas e artigos de metais, materiais de transporte, materiais de agricultura. A

embalagem geralmente está classificada como *pallets*, contêineres, tanques ou caixas.

Finalmente, a frequência, a distância, a origem e o destino são os atributos referentes à distribuição espacial e física dos fluxos de transporte.

As características da escolha modal ainda podem ser classificadas como: (i) fatores de longo prazo (natureza, localização, tamanho, sistemas de informação, estrutura e posse de veículos pelas empresas) e (ii) fatores de curto prazo (atributos físicos dos bens e características físicas e de distribuição espacial dos fluxos de transporte) (JIANG; JOHNSON; CALZADA, 2003).

De forma distinta, NOVAES (1986) ressalta ainda que as variáveis que usualmente compõem o nível de serviço podem ser divididas em quatro categorias. A primeira, envolve as variáveis relacionadas ao tempo; a segunda, engloba as variáveis referentes ao custo; a terceira, os atributos referentes à segurança e a quarta, refere-se a atributos relacionados ao conforto e à conveniência do modo de transporte.

2.1.1 VARIÁVEIS RELACIONADAS AO TEMPO

Adotando-se as categorias determinadas por NOVAES (1996) e, considerando apenas as variáveis relacionadas ao tempo, tem-se as seguintes: o tempo de deslocamento, a confiabilidade no cumprimento do *transit time* programado (desvio padrão do tempo de viagem), o tempo gasto nos pontos de transferência, o tempo de espera (frequência da oferta) e a existência de horários pré-estabelecidos como atributos intervenientes no processo de escolha modal.

Usualmente, o transporte é bastante sensível às variáveis de tempo, uma vez que o não cumprimento da programação de entrega

significa custos adicionados a este serviço. Tradicionalmente, os vários modos de transporte são caracterizados por suas limitações quanto ao tempo de transporte médio, sendo que, no geral, o transporte aéreo é o mais ágil, seguido pelo rodoviário e pelo ferroviário. Os modos hidroviário e marítimo são os menos eficientes considerando-se o tempo de transporte. Entretanto, há, atualmente, uma grande tendência de utilizar-se mais de um modo no transporte, buscando explorar as características positivas de cada um deles (GENTRY, 1994).

DAVID apud SONCIM (2002) também considera que a freqüência do fluxo é significativa no processo de escolha modal, uma vez que, a partir da determinação da periodicidade dos fluxos, há como adequar a oferta à demanda de transporte. A escolha modal também é impactada pelos prazos de atendimento do modo em questão.

Adicionalmente, RODRIGUES (2001) também considera o tempo em trânsito, ou *transit time*, a freqüência do transporte e a confiabilidade no tempo de trânsito, essenciais nesse processo de escolha. O *transit time* abrange o tempo na consolidação e manuseio de cargas, o tempo de viagem propriamente dito, os tempos de transbordo (caso existam) e o tempo para manuseio e liberação da carga no destino. MONTEIRO; MARTINS; RODRIGUES (2001) também ressaltam a importância do *transit time*, entre os pares origem-destino.

Em seu trabalho, NAM (1997) considera apenas duas variáveis relacionadas ao tempo, sendo essas o *transit time* médio e a freqüência da oferta diária de transporte. Além dos dois últimos atributos, RUESCH (2001), WANKE (2002), GENTRY (1994) e SHINGHAL & FOWKES (2002) ressaltam a importância em se considerar a variabilidade do tempo em trânsito, além do *transit time* médio e da freqüência da oferta.

Segundo BALLOU (2001), a seleção modal depende das características do serviço, que variam, em termos de

importância, para cada decisor. À exceção do custo de transporte, os principais fatores intervenientes na escolha modal são o *transit time* médio (velocidade) e a confiabilidade nesse *transit time*.

A velocidade e a confiabilidade no cumprimento do *transit time* programado afetam os níveis de estoque do embarcador e do comprador, assim como o estoque em trânsito. Deve haver um equilíbrio entre os custos de manutenção de estoques e de transporte, buscando o menor custo total e satisfazendo as metas de serviço ao cliente.

2.1.2 VARIÁVEIS RELACIONADAS AO CUSTO

Como variáveis referentes ao custo, NOVAES (1986) apresenta: (i) custos diretamente desembolsados: tarifa, combustível, pedágios etc; (ii) outros custos diretos como documentação, embalagem para transporte etc e (iii) custos indiretos tais como armazenagem, juros, seguros etc.

VIEIRA (1992), que considera apenas variáveis relacionadas a custos logísticos, apresenta oito categorias para esses fatores, sendo: (i) custos de pedido e movimentação de carga, referentes ao processamento de pedidos; (ii) custos de transporte, que envolvem o frete e quaisquer outros custos diretamente associados à movimentação de bens; (iii) custos de perdas e danos; (iv) custos de transporte de capitais; (v) custos de inventário no destino; (vi) custos de não disponibilidade de equipamentos; (vii) custos de confiabilidade no serviço e (viii) custos de serviços intangíveis.

Para ROSS (1996), a escolha do modo de transporte a ser utilizado na movimentação de mercadorias é um processo crítico. O objetivo é atingir o menor custo de transporte associado ao nível de serviço máximo.

SHINGHAL & FOWKES (2002), BALLOU (2001), GENTRY (1994), WANKE (2002), NAM (1997) e MONTEIRO; MARTINS; RODRIGUES (2001) concordam com ROSS (1996) quanto ao processo de *trade-off* entre custos e serviços para cada modo de transporte (ou modos), considerando o custo de transporte como um dos parâmetros mais significativos no processo de escolha modal.

2.1.3 VARIÁVEIS RELACIONADAS À SEGURANÇA

Além das variáveis referentes ao tempo e ao custo, NOVAES (1996) define, como variáveis relacionadas à segurança, às probabilidades de ocorrência de acidentes ou dano completo às cargas, de avarias e de roubo ou assaltos.

Para RODRIGUES (2001), os índices referentes a danos e avarias são significativos no processo de escolha modal. Além disso, sabe-se que a possibilidade de avarias cresce na mesma proporção que a quantidade de transbordos e manuseio de carga. Assim, a utilização de um modo cujo frete seja mais caro se justifica conforme a fragilidade da mercadoria, mostrando a importância dos atributos relacionados com a segurança.

De forma semelhante, MONTEIRO; MARTINS; RODRIGUES (2001) e GENTRY (1994), consideram a possibilidade de avarias e a segurança quanto a roubos, atributos significativos na escolha modal. Adicionalmente, BALLOU (2001) apresenta o rastreamento de embarque como variável referente à segurança da mercadoria em trânsito.

2.1.4 VARIÁVEIS RELACIONADAS AO CONFORTO E À CONVENIÊNCIA

Finalmente, a quarta categoria de variáveis proposta por NOVAES (1996) refere-se ao conforto e à conveniência do transporte, sendo descrita pelo número de transferência inter ou intramodal, pelo número de paradas dentro do percurso e

pela adequação física do modo de transporte em questão (temperatura, grau de umidade, limpeza etc).

A flexibilidade do modo de transporte, definida por COOK *et al* (1999) como a capacidade de conexão com outros modos e adequação do produto aos modos de transporte são também considerados por MONTEIRO; MARTINS; RODRIGUES (2001) e por WANKE (2002) como fatores intervenientes no processo de escolha.

Adicionalmente, ROSS (1996), NAM (1997) e MONTEIRO; MARTINS; RODRIGUES (2001) assumem a acessibilidade dos modos de transporte como fator de conveniência determinante na escolha.

2.1.5 OUTRAS VARIÁVEIS INTERVENIENTES NA ESCOLHA MODAL

Além das categorias de atributos descritas anteriormente, MONTEIRO; MARTINS; RODRIGUES (2001) revelam que, em estudos práticos, pôde-se perceber que, entre as variáveis de decisão consideradas na escolha modal, destacam-se ainda: (i) serviços logísticos adicionais ao transporte; (ii) disponibilidade e qualidade das informações referentes ao transporte e (iii) a capacidade de transporte. Existem ainda outros fatores como relacionamentos de longo prazo entre o embarcador e operador logístico, localização geográfica do centro de produção e do mercado de consumo etc.

Devem-se ainda considerar as características do produto e da demanda na escolha dos modais. Usualmente, modos de transporte com menores capacidades de carregamento possibilitam a consolidação de carga em menos tempo, gerando a flexibilidade necessária para acompanhar variações de demanda (WANKE, 2003; WANKE, 2002).

BALLOU (2001) caracteriza outros parâmetros como variáveis que influenciam o processo de escolha modal: (i) capacidade modal; (ii) disponibilidade e adequação de equipamento; (iii)

disponibilidade de serviços logísticos; (iv) administração de reclamações e (vii) assistência na solução de problemas.

Na TAB. 2.1, adaptada a partir de LAMBERT *et al* (1998), são mostradas algumas características dos modos de transporte e seus atributos: custo, tempo em trânsito, acessibilidade, confiabilidade, perdas e danos e flexibilidade.

TAB. 2.1: Comparação de parâmetros para os diferentes modos

Modo	Custo	Tempo em trânsito	Acessibilidade	Confiabilidade	Perdas e danos	Flexibilidade de carga
Aquaviário	Baixo	Lento	Baixo	Moderada	Moderado	Baixo
Rodoviário	Moderado	Moderado	Alto	Alta	Baixo	Alto
Ferroviário	Baixo	Lento	Moderado	Moderada	Alto	Moderada
Aéreo	Alto	Rápido	Moderado	Alta	Baixo	Moderado
Dutoviário	Alto	Lento	Baixo	Baixa	Baixo	Baixo

Fonte: LAMBERT *et al* (1998)

Segundo ROSS (1996), quatro princípios gerais são adotados na seleção modal: (i) comparação de opções, que pode ser uma tarefa de difícil execução, uma vez que os modos apresentam diferentes atributos que não são compartilhados por todas as modalidades; (ii) capacidade de manutenção da utilização de um modo por um longo prazo; (iii) estabelecimento de critérios para a seleção, podendo esses estarem divididos em três grandes grupos: atributos relacionados ao tráfego, ao transportador e ao serviço ofertado e (iv) formulação de um procedimento para a seleção modal, cujos critérios mais comumente utilizados são o custo, velocidade e confiabilidade.

Embora durante anos a tomada de decisão quanto à escolha dos modos de transporte a serem utilizados tenha sido feita somente considerando-se os custos totais da cadeia de distribuição, a consideração das variáveis descritas acima é essencial para a conservação de um elevado nível de serviço prestado ao cliente.

2.2 METODOLOGIAS DE ANÁLISE E COMPARAÇÃO DE OPÇÕES DE TRANSPORTE DE CARGAS

Nesta seção serão apresentadas as ferramentas mais comumente utilizadas como auxílio à tomada de decisão quanto à modalidade de transporte a ser utilizada no transporte de cargas.

Primeiramente será introduzido o conceito de Teoria da Decisão, pertinente à compreensão do processo de escolha modal, por se tratar de um processo decisório.

Posteriormente serão apresentados os métodos e modelos mais comumente utilizados para análise de problemas referentes a processos decisório quanto aos transportes.

2.2.1 PROCESSO DE TOMADA DE DECISÃO

A palavra "decisão" é formada por *de* (que em latim significa parar, extrair, interromper) que se antepõe à palavra *caedere* (que significa cindir, cortar). Literalmente, decisão significa "deixar fluir" (GOMES, GOMES; ALMEIDA, 2002).

No mundo complexo atual, sujeito a grandes transformações, os homens e as instituições aceitam ou rejeitam ações, as quais podem representar novas opções e a manutenção ou extinção das existentes, de acordo com a profundidade de suas implicações (FURTADO & KAWAMOTO, 1997). Segundo BAUER apud FURTADO & KAWAMOTO (1997) as tarefas de aceitar ou rejeitar ações podem ser classificadas como "Tomadas de Decisões", subdivididas em dois grandes grupos:

- Tarefas de natureza trivial e repetitiva: atividades mais comuns como comprar uma roupa ou assistir um filme;

- Tarefas de natureza mais complexa: comprar um veículo (ponto de vista individual) ou construir uma estrada (ponto de vista da sociedade).

O processo de tomada de decisão pode ser concebido como a eleição, por parte de um centro decisor (um indivíduo ou um grupo de indivíduos), da melhor opção entre as possíveis. A questão analítica concentra-se em definir o melhor e o possível dentro do processo decisório.

Conforme SAMSON (1988), as decisões podem abordar aspectos simples, pouco significativos ou exigir uma análise mais elaborada. Estas decisões não-triviais geralmente possuem algumas características específicas, tais como:

1. Gerarem impactos de longa duração e significativos;
2. Possuírem várias opções disponíveis para o decisor escolher;
3. Afetarem outras pessoas, além do próprio decisor;
4. Incerteza das suas conseqüências;
5. Envolverem múltiplas dimensões de valor.

Além desses aspectos, na análise pode ser incluída a grande quantidade de recursos para sua execução (pessoal, tempo, dinheiro etc.).

O processo decisório pode ocorrer em condições de certeza, quando a tomada de decisão ocorre mediante pleno conhecimento dos estados da natureza, ou seja, pode-se prever o que irá acontecer de forma determinística.

Por outro lado, a decisão pode ocorrer em condições de risco, onde as probabilidades associadas aos estados da natureza, variando entre 0 e 100%, são conhecidas.

A tomada de decisão também pode ocorrer em condições de incerteza, não se conhecendo todos os estados da natureza ou mesmo a probabilidade associada a cada um deles.

E ainda, o processo decisório pode ocorrer em um ambiente de competição ou conflito, quando as estratégias e estados da

natureza são determinados pela ação dos concorrentes, havendo, obrigatoriamente, dois ou mais decisores envolvidos no processo.

Existem ainda as condições da tomada de decisão que se enquadram em processos não determinísticos, que podem ocorrer a partir de três tipos de inexatidão: (i) imprecisão, não havendo limites bem definidos; (ii) ambigüidade, envolvendo mais de um subconceito distinguível; (iii) generalidade, na qual um conceito é aplicado em várias situações (KANDEL apud CURY, 1999). Mais detalhadamente, pode-se afirmar que o conceito *impreciso* tem origem na impossibilidade de realização de uma quantificação (medição ou graduação) de uma situação ou objeto com precisão e pode ser associado à inconsistência dos fenômenos naturais. A *ambigüidade* advém da existência de duas classificações para a mesma alternativa, o que dificulta a obtenção de uma classificação precisa do elemento em estudo. O conceito de *generalidade* tem origem na possibilidade de aplicação de um conceito único em situações diversas.

Em contrapartida, GOMES, GOMES e ALMEIDA (2002) afirmam que o não determinismo pode ter seis fontes básicas de origem, sendo estas:

- a. imprecisão causada pela dificuldade de avaliar as ações sob a influência de um determinado critério (ou critérios);
- b. a indeterminação dos métodos de avaliação dos resultados, podendo estes estarem baseados em definições "arbitrárias";
- c. dúvidas em relação aos dados obtidos;
- d. dúvidas quanto à manutenção do comportamento ao longo do tempo e/ou espaço;
- e. classificação e/ou opiniões ambíguas;
- f. eventos probabilísticos.

Para analisar e caracterizar a inexatidão dos sistemas, podem ser utilizados: (i) comparação por sistemas especialistas; (ii) informações advindas da subjetividades e (iii) modelos probabilísticos (GOMES; GOMES; ALMEIDA, 2002)

Usualmente, os problemas que envolvem situações de inexatidão são solucionados através da utilização de algoritmos de apoio à decisão, considerando a subjetividade inerente ao decisor, cuja escolha é baseada em sua experiência.

A decisão pode se basear em critérios objetivos e facilmente quantificáveis (o valor esperado) ou em critérios subjetivos (o valor moral - a utilidade esperada para o indivíduo ou para um grupo de indivíduos). A análise da decisão ainda pode ser feita a partir de uma combinação de ambos critérios.

O processo de escolha modal no transporte de carga, que envolve critérios objetivos e subjetivos, é um processo de tomada de decisão e deve ser descrito a fim de criar subsídios para o planejamento e gerenciamento da distribuição física de produtos dentro de uma cadeia logística, ou seja, movimentar as mercadorias desde os locais de produção até os de consumo. A modelagem do processo de tomada de decisão quanto à escolha modal permite estimar o comportamento dos usuários com relação às escolhas feitas a partir de determinados atributos dos sistemas de transporte, permitindo assim, estimar a demanda por diferentes modos em diferentes situações (MONTEIRO; MARTINS; RODRIGUES, 2000).

Segundo HILLIER & LIEBERMAN (1980), o objetivo da análise de decisão se fundamenta na estruturação de uma metodologia racional que permita avaliar a decisão a ser tomada em ambiente de incerteza. Ao longo da presente seção, serão apresentados métodos e metodologias aplicáveis ao processo decisório.

2.2.2 TÉCNICAS DE SELEÇÃO DE OPÇÕES DE TRANSPORTE

Nesta seção serão discutidos os métodos mais usualmente empregados na avaliação de problemas de transporte. Assim, serão apresentados os Métodos de Programação Linear, Algoritmos de Redes e os Métodos Comportamentais.

2.2.2.1 MÉTODOS DE PROGRAMAÇÃO LINEAR

Em seu trabalho, MARTINS & CAIXETA-FILHO (2001) apresentam um modelo de programação linear para avaliação do mínimo custo possível para o transporte de grão e farelo de soja no Estado do Paraná.

Com a utilização desse modelo, busca-se obter a distribuição modal ótima dos fluxos de produtos entre os pólos produtores e beneficiadores do Paraná, buscando minimizar o custo total de transporte (Z), apresentado na EQ. 2.1, segundo as restrições apresentadas nas EQ. 2.2 e EQ. 2.3.

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^{13} \sum_{j=1}^{13} [(FR_{ij} \cdot TR_{ij}) + (FF_{ij} \cdot TF)_{ij}] \quad \text{EQ. 2.1}$$

sujeito a

$$TR_{ij} + TF_{ij} = T_{ij} \quad \forall i, j \quad \text{EQ. 2.2}$$

$$TF_{ij} \leq C_{ij} \quad \text{EQ. 2.3}$$

sendo:

Z = função de custo total de transporte do fluxo de grãos e farelo de soja;

FR_{ij} = frete rodoviário (em US\$/t) entre os pólos i e j ;

TR_{ij} = quantidade transportada pela modalidade rodoviária (t) entre os pólos i e j ;

FF_{ij} = frete ferroviário (em US\$/t) entre os pólos i e j ;

TF_{ij} = quantidade transportada pela modalidade ferroviária (t) entre os pólos i e j ;

T_{ij} = fluxos de grãos e farelo de soja com origem em i e destino em j (matrizes O/D estimadas);

C_{ij} = capacidade de tráfego dos produtos nas ferrovias.

Outra aplicação de modelos de programação linear na determinação de opções de transporte pode ser encontrada no trabalho de CALDAS (2000).

Neste estudo, foram, primeiramente, levantadas as bases de dados geo-referenciados com a área de influência na cadeia logística da soja sob avaliação. Foram então quantificados os seguintes atributos: (i) custos médios de produção dos pólos; (ii) modos de transporte utilizados na movimentação da soja para outros pólos, para terminais de transbordo ou para portos exportadores; (iii) custos de transporte entre instalações; (iv) fluxos de transporte do granel soja; (v) custo médio de utilização de portos e terminais e (vi) quantidade de soja em grão destinada ao mercado externo, por porto.

Posteriormente, o problema foi modelado buscando a minimização dos custos totais da cadeia.

Estes modelos envolvem apenas variáveis referentes ao custo de transporte, à demanda rodoviária e ferroviária, aos pontos de transbordo e à capacidade (oferta) ferroviária. Não há nenhuma consideração explícita sobre o nível de serviço do transporte ofertado. É possível concluir que uma relação entre a demanda e a oferta é considerada, mas não há como incorporar atributos referentes ao *transit time*, à segurança, confiabilidade, flexibilidade e acessibilidade dos modos de transporte ao modelo, conforme abordado por vários autores ao longo deste capítulo.

2.2.2.2 ALGORITMOS DE REDE

Para verificar a competitividade entre as opções de transporte, deve-se identificar a alternativa que oferece o serviço de menor preço para o usuário, e, para tal, alguns

autores utilizam modelos de rede (OLIVEIRA e CAIXETA-FILHO, 2001).

Segundo KOO e LARSON apud OLIVEIRA e CAIXETA-FILHO (2001), um modelo de rede é tipicamente formulado a partir de nós e arcos de interconexão, conforme representado na FIG. 2.2. Ao se considerar um modelo de redes, deve-se representar as regiões de origem e destino por nós e a estimativa da oferta e demanda nos arcos.

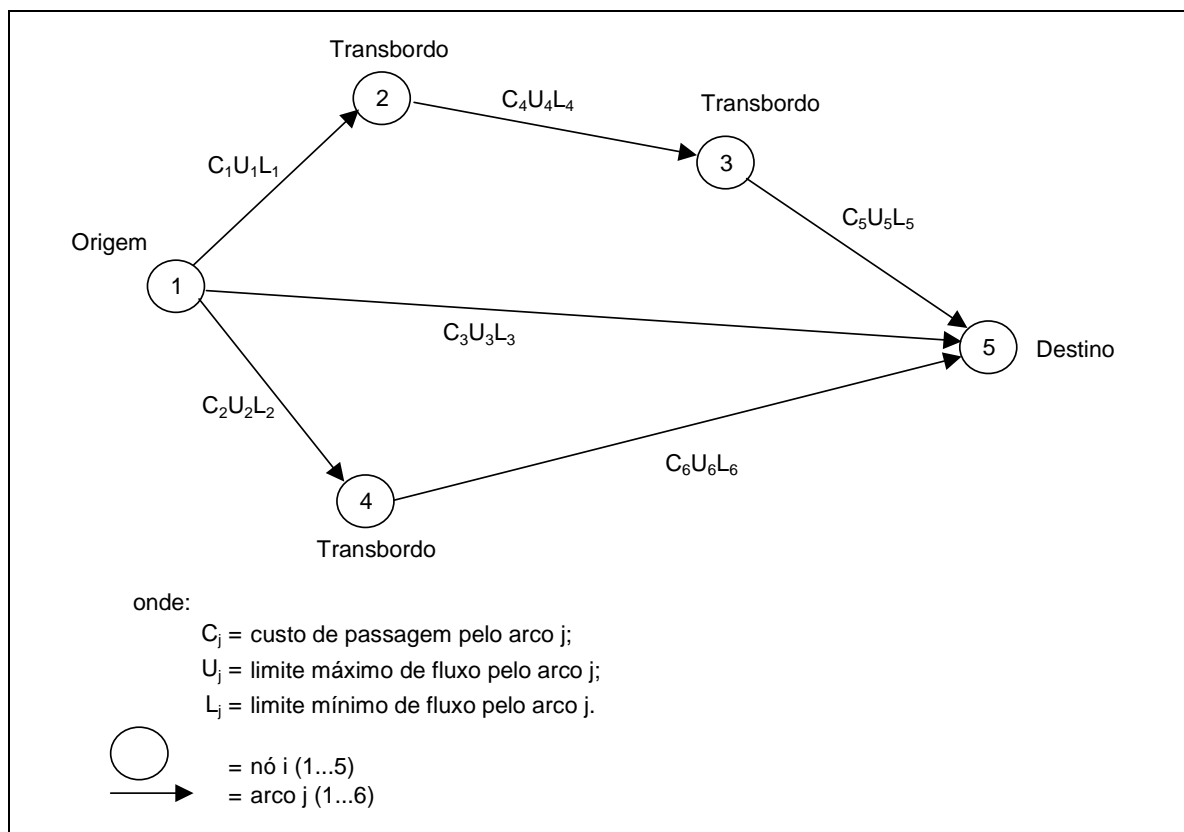


FIG. 2.2: Representação de um Modelo de Rede

Modelos de rede são bastante utilizados como ferramenta para identificação da melhor alternativa de transporte. Algumas aplicações foram desenvolvidas por Veith e Bronzini, Hawnn e Sharp e pelo Geipot, em 1993, que realizou uma análise da movimentação de grãos, considerando diversas modalidades, focalizando a redução dos custos de transporte. Foram realizadas diversas simulações com base em cenários alternativos, analisando os motivos da não-utilização de

determinadas rotas. O objetivo desta implementação em rede é a minimização da totalidade dos custos associados às movimentações de carga pelos arcos (OLIVEIRA & CAIXETA-FILHO).

SONCIM (2002), em seu trabalho "Metodologia para Análise e Seleção de Opções de Transporte de Carga em Corredores de Exportação: o Caso do Transporte dos Mármore e Granitos", propôs a utilização de um modelo de rede baseado no algoritmo de fluxo a custo mínimo, também denominado algoritmo de "Busacker e Gowen" como auxílio à escolha de rotas, através da minimização dos custos de transporte e maximização dos fluxos.

Visando a modelagem da rede, algumas premissas foram assumidas: (i) a localização da produção é diferente do ponto de exportação; (ii) não há sazonalidade e (iii) são associadas restrições de capacidade e custos a cada uma das conexões entre os modais e terminais de transferência.

Em seu modelo, SONCIM (2002) considerou, além dos atributos referentes a custo, oferta, capacidade de transporte e dois parâmetros relacionados ao nível de serviço ofertado: o *transit time* e o custo virtual do tempo total de transporte, definido como o capital imobilizado pelo cliente.

Pode-se perceber a dificuldade de tratar parâmetros subjetivos a modelos de rede, conforme mostrado nas implementações supracitadas. Assim, deveriam ser desenvolvidos modelos e métodos que possibilitassem a incorporação de variáveis subjetivas, considerando assim, a percepção do tomador de decisão.

2.2.2.3 MÉTODOS COMPORTAMENTAIS

A Teoria do Consumidor, parte da ciência da Economia Geral, pode ser adequada a problemas de transporte visando um enfoque comportamental. Para tal, deve-se admitir que o usuário é um consumidor do serviço de transporte (NOVAES, 1986).

Adotando-se a hipótese de que os indivíduos mantêm o mesmo padrão comportamental ao longo do tempo, apesar da existência de fatores subjetivos no processo de escolha, destaca-se uma das premissas do enfoque comportamental, que sugere que o decisor ordena as opções de acordo com sua preferência, a partir de fatores objetivos e subjetivos. A escolha é sempre feita com base nas condições econômico-financeiras, nos gostos pessoais e nas oportunidades disponíveis.

Outra premissa do enfoque comportamental é a de que o usuário do transporte adquire um "pacote de opções" e não um simples produto, inviabilizando a definição de uma única função para representar todas as dimensões do processo decisório. Assim, sugere-se o desmembramento do processo decisório em grupos hierárquicos seqüenciais, a fim de possibilitar o tratamento dos modelos, sem desconsiderar as premissas comportamentais básicas.

Devem-se considerar questões referentes à necessidade de deslocamento, às características do destino, ao momento de realização do deslocamento, ao modo (ou modos) e à rota a serem utilizados etc.

Portanto, para determinar modelos comportamentais que considerem atributos como esses, é necessária a medição quantitativa da opinião dos usuários, baseada no conceito de utilidade, definindo-se uma função utilidade, cujas variáveis independentes referem-se aos atributos do transporte (NOVAES, 1986). Em outras palavras, os problemas de transporte são muito complexos e freqüentemente implicam em grande impactos, sendo necessária a avaliação sob a ótica de compensações, ou *trade-off*, onde tem-se que ponderar as características de forma a equilibrar a importância relativa de cada um dos atributos (ORTÚZAR, 1999).

MONTEIRO; MARTINS; RODRIGUES (2001) utilizam modelos comportamentais, fundamentados na teoria econômica do

consumidor, para a modelagem do processo de escolha modal. Neste caso, a abordagem comportamental utiliza modelos econométricos de escolha discreta do tipo Logit binomial e multinomial, cujo princípio refere-se à maximização da utilidade ou satisfação do tomador de decisão. A partir de uma função de utilidade, que o tomador de decisão busca maximizar, são escolhidas, entre as opções de transporte possíveis, a que possui parâmetros que propiciam o maior nível relativo de satisfação do usuário.

O conjunto de alternativas possíveis é denominado conjunto de escolha (*choice set*). O conjunto de escolha para transportes pode possuir alternativas com modos independentes (rodovia, ferrovia, hidrovia) e/ou alternativas intermodais³, combinando mais de um modo na movimentação das cargas.

Um modelo básico de escolha discreta é aquele em que os decisores escolhem, a partir de um conjunto de opções (*choice set*), aquela que maximiza a utilidade no momento e no contexto onde a escolha é feita.

Nos modelos do tipo *Logit*, a escolha dos indivíduos é probabilística e que a utilidade, representada por uma combinação de atributos mensuráveis, possui um componente aleatório que deve ser incorporado na função utilidade associada a cada alternativa do conjunto de escolha.

A partir do tratamento da escolha de forma probabilística, os modelos podem conter efeitos não observáveis e não mensuráveis com relação às opções (MONTEIRO; MARTINS; RODRIGUES, 2000).

3 Para o presente trabalho, define-se como intermodal o transporte que utiliza mais de um modo, com múltiplos contratos. O transporte multimodal também utiliza mais de um modo mas é necessária a existência de um único contrato.

A probabilidade de uma alternativa ser escolhida é definida como a probabilidade de que ela tenha maior utilidade entre as alternativas do conjunto de escolha considerado.

Segundo BEN-AKIVA & LERMAN (1985), a escolha pode ser caracterizada como o resultado de um processo de decisão que envolve as seguintes etapas:

- a. definição do problema que contextualiza a escolha;
- b. geração de alternativas para compor o conjunto de escolhas;
- c. avaliação dos atributos das alternativas;
- d. utilização de regras de decisão individuais ou corporativas para realizar a escolha de uma das alternativas do conjunto de escolha.

a) Modelos de Escolha Discreta

Modelos do tipo Logit Multinomial (MNL) têm um extenso histórico de aplicações em processos de escolha de transportes. Um modelo MNL expressa a probabilidade de escolha de cada uma das opções dentro de um conjunto de escolha, segundo a EQ. 2.4.

$$P_i = \frac{e^{U_i}}{\sum_{j=1}^n e^{U_j}} \quad \text{EQ. 2.4}$$

onde:

P_i é a probabilidade da alternativa i ser escolhida;

e é a base neperiana;

U_i é a função de utilidade associada à alternativa;

n é o número de alternativas disponíveis no conjunto de escolha.

As funções de utilidade são expressas em termos de uma combinação linear entre os atributos observáveis das alternativas e parâmetros desconhecidos, estimados estatisticamente. Os vetores de atributos e de parâmetros

desconhecidos são finitos e, quanto maiores suas dimensões, maiores as dificuldades computacionais para estimá-los. Além disto, é interessante que as funções de utilidade sejam lineares com relação aos parâmetros (MONTEIRO; MARTINS; RODRIGUES, 2000).

Segundo BEN-AKIVA & LERMAN (1985), geralmente se adota um modelo linear aditivo para a função de utilidade, descrito pela EQ. 2.5.

$$U_{in} = \sum_{k=1}^K \beta_k X_{ink} \quad \text{EQ. 2.5}$$

onde:

U_{in} = utilidade da alternativa i para o indivíduo n ;

X_{ink} = valor do atributo k para a alternativa i para o indivíduo n ;

β_k = coeficiente do modelo para o atributo k ;

K = quantidade de atributos das alternativas.

Os tipos de dados obtidos nos experimentos com Métodos de Preferência Declarada podem ser classificados em três (BATES apud MONTEIRO; MARTINS; RODRIGUES, 2000):

- **Escolha Discreta ou *Choice***: do conjunto de alternativas apresentadas ao decisor, este escolhe a preferida;
- **Ordenação ou *Ranking***: o objetivo é classificar as alternativas apresentadas em ordem de preferência;
- **Avaliação ou *Rating***: para cada alternativa, busca-se uma resposta métrica correspondente ao grau de preferência pela alternativa.

Segundo MONTEIRO; MARTINS; RODRIGUES (2000) uma das principais propriedades dos modelos Logit Multinomial é a *Independência das Alternativas Irrelevantes* (IIA), ou seja, a razão entre as probabilidades de escolha entre quaisquer duas alternativas não é afetada pela utilidade das outras alternativas. Essa propriedade pode ser considerada como um

ponto fraco dos modelos Logit, uma vez que indica que a razão entre a probabilidade de escolher o modo ferroviário e a de escolher o modo aquaviário pode ser independente da existência de uma alternativa rodoviária para a origem e o destino em questão. Esta situação é pouco provável, considerando-se que a existência de uma alternativa rodoviária afetaria mais a probabilidade de escolha de um modo ferroviário do que de um aquaviário, pois esses os modos terrestres são usualmente concorrentes.

A especificação de um modelo Logit Multinomial consisteb em um número distinto de etapas que são apresentadas a seguir.

- **Definição do conjunto de escolhas:** determinação das alternativas que serão utilizadas no processo de escolha. No caso de escolha modal, as alternativas podem ser os modos ou uma associação entre eles.
- **Definição do conjunto de escolha para cada indivíduo ou empresa:** nesta etapa, devem-se utilizar informações a respeito dos decisores e dos julgamentos possíveis de cada decisor com relação ao conjunto de escolha.
- **Definição das variáveis independentes que representarão os atributos das alternativas nas funções de utilidade:** não há como representar todos os atributos relevantes de todas alternativas, uma vez que o modelo se tornaria muito difícil de estimar e também porque há atributos não observáveis.

As principais técnicas de coleta de dados utilizadas em modelos de escolha para analisar e fazer previsões sobre o comportamento de usuários de serviços de transporte estão relacionadas com as preferências desses usuários. A maneira usual de se coletar dados sobre o comportamento dos usuários é por meio de métodos de Preferência Revelada (PR), ou seja, dados referentes às decisões realizadas pelos indivíduos em um

passado recente. Esses dados são geralmente obtidos através de entrevistas sobre o comportamento do decisor no contexto da escolha ou por estatísticas. Entretanto, modelos de Preferência Revelada não permitem modelar a estrutura de decisão de usuários em situações hipotéticas, ou seja, não há como descrever o comportamento do usuário com relação a situações não experimentadas.

Os métodos de Preferência Declarada (PD) trabalham com as preferências dos decisores, reveladas pela escolha dentre alternativas selecionadas a partir de um conjunto de alternativas reais ou não. Os decisores podem ordenar as alternativas qualitativamente, segundo sua preferência (*ranking*), ou usar uma escala métrica para dar uma nota a cada uma das alternativas (*rating*). A partir dos dados coletados, ajustam-se as funções de utilidade (MONTEIRO; MARTINS; RODRIGUES, 2000).

Em uma modelagem utilizando-se PD, o decisor é estimulado a demonstrar suas preferências diante de cenários reais e/ou hipotéticos predefinidos pelo pesquisador. Esses cenários buscam explorar ao máximo os *trade-offs*, ou seja, o equilíbrio entre os parâmetros de escolha, associados às escolhas feitas.

Segundo CAMARGO; GONÇALVES; LIMA (2000), os métodos de Preferência Declarada apresentam algumas vantagens sobre outros métodos, sendo essas:

- a técnica suporta a consideração de parâmetros subjetivos;
- o comportamento do usuário é identificado a partir das diferentes opções;
- os cenários são montados da forma mais realista possível para facilitar a tomada de decisão;
- mais de uma observação pode ser obtida em uma mesma entrevista, o que minimiza a multicolinearidade entre os atributos;

- há possibilidade de pré-definição do conjunto de escolha.

Apesar de se observar algumas vantagens referentes aos Métodos de Preferência Declarada, ressalta-se que, se houver muitas possibilidades de atribuição de valores às variáveis, o número de alternativas de escolha, geradas a partir da combinação das variáveis com seus respectivos valores, é muito grande, o que pode levar o especialista entrevistado à não declarar precisamente suas preferências.

Além disso, em algumas situações, pode ser necessário classificar os atributos de decisão em grupos, com o objetivo de modelar a estrutura de decisão com base na avaliação de grupos menores de alternativas, visando manter um equilíbrio entre a complexidade do experimento e a capacidade humana de interpretação (MONTEIRO; MARTINS; RODRIGUES, 2000). Isso reflete o quão complexo pode se tornar um experimento utilizando métodos de Preferência Declarada, podendo assim, divergir a real opinião do especialista da informação obtida na entrevista.

b) Métodos Multicriteriais

Ao longo da revisão bibliográfica desenvolvida, foram encontradas muitas referências a métodos multicriteriais aplicados na avaliação de problemas de transporte.

A identificação de vários objetivos na avaliação das opções de transporte tem sido freqüente, gerando o desenvolvimento de novas metodologias para análise destas opções, diferentemente das técnicas de pesquisa operacional, que se baseiam na existência de uma única função objetivo e na busca da otimização dessa função, sujeita a restrições pré-estabelecidas.

O problema fundamental do processo de decisão multicriterial é a associação entre as relações de preferência e os critérios do processo decisório. Os métodos multicriteriais têm sido

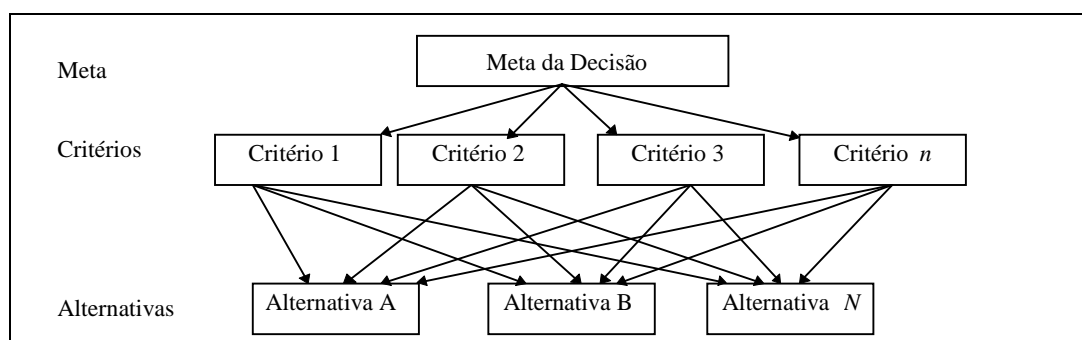
desenvolvidos para apoiar e conduzir os decisores na avaliação e escolha de alternativas, procurando esclarecer o processo de decisão e incorporando os valores de julgamento dos agentes.

Os Métodos Multicriteriais de Análise de Decisão (MMAD) têm como principal objetivo a determinação de uma relação de preferências (subjetivas) entre as alternativas que estão sendo avaliadas, sob influência de vários critérios, sendo esses quantitativos ou qualitativos (GOMES; GOMES; ALMEIDA, 2002).

Recentemente, os MMAD têm sido utilizados, no âmbito nacional, para modelar o processo de escolha modal. Como exemplo, tem-se o trabalho de GRANEMANN & GARTNER (2000), que utilizaram o AHP (*Analytic Hierarchy Process*) nos processos de escolha modal e sub-modal.

Segundo eles, através deste método, busca-se construir modelos que permitam a elaboração de juízos de valor subjetivos, a partir da opinião dos tomadores de decisão.

A aplicação do método AHP em problemas de decisão é feita em duas etapas: hierarquização e avaliação. A estrutura hierárquica é composta por uma árvore que considera a meta da decisão e, a partir daí, os critérios, subcritérios e alternativas nos sucessivos níveis (SAATY, 1991). Na FIG. 2.3, esse processo de hierarquização é exemplificado.



Fonte: SAATY, 1991

FIG. 2.3: Exemplo de Estrutura Hierárquica de Problemas de Decisão

Segundo GRANEMANN & GARTNER (2000), após a hierarquização do problema, deve-se avaliar os pares de critérios e subcritérios, quando houver. Por meio desta comparação são determinadas as importâncias relativas (pesos) de cada critério. Os critérios podem ser comparados segundo uma escala de julgamentos escolhida conforme a descrita na TAB. 2.2.

TAB. 2.2: Escala de julgamento de importância do método AHP

Intensidade da Importância	Definição	Explicação
1	Importância igual	Duas atividades contribuem igualmente para o objetivo
3	Importância fraca de uma sobre a outra	A experiência e o julgamento favorecem levemente uma atividade em relação à outra
5	Importância forte	A experiência e o julgamento favorecem fortemente uma atividade em relação a outra
7	Importância muito forte	Uma atividade é fortemente favorecida em relação à outra e sua dominância é demonstrada na prática
9	Importância absoluta	A evidência, favorecendo uma atividade em relação à outra, é do mais alto grau de certeza
2, 4, 6, 8	Valores intermediários entre dois julgamentos adjacentes	Quando é necessária uma condição de compromisso
Recíprocos	Se a atividade i tem uma das intensidades de importância ou de preferência de 1 a 9 quando comparada com a atividade j , então j tem o valor recíproco quando comparado com i .	

Fonte: Adaptado a partir de SAATY (1991).

A resolução de uma matriz que compara os critérios de forma paritária, resulta no auto-vetor de prioridades, o qual expressa as importâncias relativas de cada critério, ou seja, a determinação de seus respectivos pesos (SAATY, 1991).

A fase de avaliação do problema prossegue com a comparação paritária das alternativas em cada um dos critérios, para a determinação do nível de preferência, procedendo-se da mesma forma como foi descrito para a obtenção da importância

relativa dos critérios. Com as importâncias relativas dos critérios e os níveis de preferência das alternativas parte-se para a valoração global de cada uma das alternativas, segundo o método da soma ponderada representada pela EQ. 2.6 (GRANEMANN & GARTNER, 2000):

$$V(a) = \sum_{j=1}^n p_j v_j(a) \quad \text{EQ. 2.6}$$

com $\sum_{j=1}^n p_j = 1$ e $0 < p_j < 1$ ($j = 1, \dots, n$),

em que

$V(a)$: é o valor global da alternativa analisada;

p_j : é a importância relativa do critério j ;

v_j : é o nível de preferência da alternativa analisada no critério j .

A alternativa que tiver maior valor global é a melhor alternativa dentre as consideradas.

Uma das grandes vantagens do método AHP é a possibilidade de se considerar parâmetros quantitativos e qualitativos na análise, além de permitir a incorporação da subjetividade dos decisores.

Outro ponto positivo da utilização desse método é a estruturação hierárquica do problema, uma vez que possibilita uma visão sistêmica desse, e assim, a verificação da influência dos diversos elementos do problema, especialmente quando o objetivo do sistema decisório consiste na escolha modal segundo múltiplos critérios de decisão.

Entretanto, à medida que crescem os números de níveis, critérios e alternativas consideradas, o preenchimento das matrizes de julgamento se torna mais complexo e extenso, exigindo um grande esforço por parte dos especialistas e dos tomadores de decisão (RODRIGUES; MARTINS; MONTEIRO, 2001)

Além do AHP, há outros métodos multicriteriais que são usualmente utilizados em problemas de transporte. Dentre eles, tem-se os seguintes métodos:

- a. ELECTRE: Elimination et Choix Traduisant la Réalité;
- b. PROMETHEE: Preference Ranking Organization Method;
- c. TOPSIS: Technique Order Preference by Similarity to Ideal Solution;
- d. TODIM: Tomada de Decisão Interativa e Multicritério.

Segundo RODRIGUES; MARTINS; MONTEIRO (2001), os métodos ELECTRE compõem uma família com quatro versões com modificações do procedimento básico inicial. O objetivo destes modelos é avaliar um conjunto de alternativas de projetos, planos ou ações políticas, considerando suas contribuições para a solução do problema, segundo critérios que caracterizem os aspectos mais relevantes do contexto em análise.

Baseados nos conjuntos de alternativas e de critérios determinados, é definida uma Matriz de Impacto dos Projetos (A), mostrando o desempenho de cada uma das alternativas para cada um dos critérios.

O ELECTRE I é definido como um modelo de partição, cujos resultados se resumem a dois subgrupos de alternativas, constituídos pelas opções dominadas e pelas opções não dominadas.

O ELECTRE II é um modelo de classificação de alternativas, onde as relações entre todos os possíveis pares de opções podem ser definidas, a partir de comparações paritárias. Assim, essas alternativas são ordenadas segundo uma escala cardinal.

Por sua vez, o ELECTRE III é capaz de tratar dados imprecisos através de conceitos de "pseudocritério" e "limites de indiferença e preferência".

Nessas três versões, há necessidade de ponderação de cada um dos critérios considerados segundo as preferências do tomador de decisão, o que não ocorre na aplicação do modelo ELECTRE IV. Entretanto, a sua base conceitual é a mesma do ELECTRE III.

A família dos métodos ELECTRE, apesar de propiciarem a inserção de parâmetros qualitativos e quantitativos na análise do processo decisório, são de aplicação bastante complexa e requerem grande quantidade de parâmetros cujos valores devem ser definidos pelo decisor, o que pode gerar inconsistência dos resultados finais (RODRIGUES; MARTINS; MONTEIRO, 2001).

O método PROMETHEE introduz o conceito de VOG (*Valued Outranking Graph*) por meio da utilização de um índice de preferência, e apresenta duas possibilidades para resolver o problema de priorização. O PROMETHEE I gera um ordenamento parcial das alternativas, enquanto o PROMETHEE II produz ordenamento total.

Para esses modelos, a noção de critério baseia-se na introdução de uma função de preferência, responsável por expor as preferências, a partir do ponto de vista dos tomadores de decisão quanto à adoção de uma ação em comparação a outra. Essas funções são definidas separadamente para cada um dos critérios e seus valores situam-se no intervalo $[0,1]$, na qual a preferência varia de forma crescente com o valor atribuído à função.

O método PROMETHEE introduz o conceito de Extensão da Noção de Critério, o que reduz o esforço do decisor e facilita a compreensão dos aspectos teóricos de sua abordagem. Entretanto, a determinação das extensões pode ser significativamente complexa, restringindo a aplicação desse modelo em problemas de transporte (RODRIGUES; MARTINS; MONTEIRO, 2001).

O TOPSIS é uma técnica que permite a ordenação de alternativas utilizando-se o conceito de similaridade. Esse método introduz o conceito de Entropia da determinação do comportamento dos pesos dos critérios em relação aos desempenhos das alternativas em cada um deles. Entretanto, o TOPSIS não permite a determinação de forma subjetiva, pelos tomadores de decisão, dos pesos relativos dos critérios.

Resumidamente, esse método associa o comportamento dos pesos dos critérios com valores dos desempenhos das alternativas.

Diferentemente dos outros métodos multicriteriais já apresentados, o TOPSIS não permite que os julgamentos de preferência dos decisores sejam determinados por meio da subjetividade dos especialistas. Não se encontraram referências bibliográficas que indicassem a utilização de parâmetros qualitativos em aplicações desse método, apesar de, teoricamente, não haver restrições quanto à utilização de atributos subjetivos nessas aplicações (RODRIGUES; MARTINS; MONTEIRO, 2001).

O método TODIM introduz o conceito de "Fator de Contingência" que permite a análise das alternativas mesmo que essas não sejam totalmente independentes (GOMES apud RODRIGUES; MARTINS; MONTEIRO, 2001).

Para aplicação desse método, define-se uma Matriz de Comparação Paritária dos critérios, de dimensão $c \times c$, onde c é o conjunto de critérios. Cada uma das células contém uma estimativa dos pesos relativos dos critérios, segundo a subjetividade do decisor.

Para a determinação do vetor de pesos relativos, por meio do Método das Potências, utiliza-se uma escala de medidas semelhante à adotada no método AHP, apresentado anteriormente nessa seção. São então determinados a matriz de Avaliação de Projetos e o Critério de Referência. Na última etapa,

comparam-se as alternativas a partir de medidas de dominâncias.

O método TODIM permite a utilização de fatores quantitativos e qualitativos na análise do processo decisório, além de incorporar o julgamento subjetivo dos tomadores de decisão quanto as suas preferências. Entretanto, em alguns casos, pode haver dificuldade de determinação dos fatores de contingência, o que pode inviabilizar a utilização desse método em casos práticos (RODRIGUES; MARTINS; MONTEIRO, 2001).

2.3 CONCLUSÕES

Conforme descrito no presente capítulo, métodos quantitativos de Programação Linear e Algoritmos de Rede não permitem a consideração de parâmetros subjetivos em suas aplicações.

Por outro lado, métodos comportamentais, como de Preferência Declarada e métodos Multicriteriais, permitem a consideração de parâmetros quantitativos e qualitativos em suas implementações, mas essas podem se tornar bastante complexas quando o modelo em questão apresentar um número elevado de variáveis, levando até mesmo à divergências entre a real opinião de especialistas e a informação capturada a partir da aplicação desses métodos.

Utilizando métodos comportamentais, tem-se uma limitação do número de variáveis que podem ser consideradas no modelo, uma vez que, adotando-se um grande número de atributos, há o aumento da complexidade do mesmo, tornando difícil o levantamento das informações juntos aos especialistas e complexa a convergência das informações.

Conforme será visto adiante, a Tecnologia *Neuro-Fuzzy*, que se apresenta mais adequada para a implementação de um número significativo de variáveis, será abordada de forma mais

extensa e detalhada no próximo capítulo, a fim de embasar e justificar a estruturação do modelo de escolha modal, objeto dessa dissertação, em uma rede *Neuro-Fuzzy*.

Os conjuntos *fuzzy* e a lógica *fuzzy* podem ser considerados como uma das áreas emergentes em tecnologias contemporâneas para o processamento de informações. Um número significativo de implementações referentes a situações reais, sendo simples ou complexas, envolve conjuntos *fuzzy* e abordagens modernas como as redes neurais (PEDRYCZ & GOMIDE, 1998).

A lógica *fuzzy* possibilita o tratamento de situações inseridas em contextos cujas informações são imprecisas, permitindo a tradução de expressões verbais qualitativas e vagas em valores numéricos.

Por sua vez, as redes neurais são eficientes no processamento de grandes quantidades de informações, categorizadas ou não. Com isso, a associação entre essa ferramenta e a lógica *fuzzy* resulta em uma tecnologia poderosa, *neuro-fuzzy*, que será descrita e detalhada ao longo do presente capítulo.

3.1 MÉTODOS HEURÍSTICOS

Segundo CURY (1999), o termo "heurístico" tem sua origem na palavra grega que significa descoberta. A abordagem heurística associa regras de decisão que contêm informações para a solução de problemas, abrangendo o método analítico, objetivando a descoberta de verdades científicas.

Pode-se ainda afirmar que o pensamento heurístico consiste na busca do problema, no aprendizado sobre os fatos, no julgamento das informações e decisões e na repetição deste processo durante a solução do problema.

A heurística pode ser aplicada quando não se conhecer solução exata para algum problema, determinando-se a escolha

da solução mais aproximada. Além disso, quando se torna necessário o conhecimento da ação mais efetiva para solução do problema proposto, associada à redução da complexidade dessa ação, utiliza-se abordagem heurística.

A modelagem *fuzzy* pode ser definida como uma forma de descrição qualitativa do comportamento de sistemas pelo uso da linguagem natural, tomando como ferramenta um método heurístico baseado na experiência de especialistas (SUGENO & YASUKAWA apud CURY, 1999).

As heurísticas foram consideradas durante muito tempo como modelos cognitivos por excelência, constituindo-se como regras baseadas na experiência e no planejamento substituindo as anteriores fundamentadas na procura algorítmica que chega às soluções corretas depois de ter combinado o problema com todas as soluções possíveis.

Os métodos heurísticos englobam estratégias, procedimentos, métodos de aproximação tentativa / erro, sempre na procura da melhor forma de chegar a um determinado fim. Os processos heurísticos exigem muitas vezes menos tempo que os processos algorítmicos, aproximam-se mais da forma como o ser humano raciocina e chega às resoluções dos problemas e garantem soluções eficientes.

3.2 LÓGICA FUZZY

A lógica *fuzzy* é um conjunto expandido da lógica Booleana, desenvolvido para tratar o conceito de verdade parcial, ou seja, para abordar valores exatos compreendidos entre o "completamente verdadeiro" e o "completamente falso" (CURY, 1999).

A percepção da lógica convencional ou Booleana está bastante presente no cotidiano dos seres humanos. Neste tipo de lógica, uma determinada afirmação pode ser verdadeira ou falsa,

inexistindo valores entre essas duas classes. Assim, a lógica Booleana é também denominada lógica binária. Este princípio de verdadeiro ou falso foi formulado por Aristóteles (384-322 a.C.). Naturalmente, em certas situações, afirmações envolvendo apenas verdadeiro e falso não condizem com a realidade, como nas atribuições de adjetivos como alto, baixo, magro, gordo, rico, pobre, onde não se pode afirmar, por exemplo, que uma pessoa é totalmente rica ou totalmente pobre (TANSCHKEIT, 2003).

Platão foi o primeiro cientista a abordar a existência de uma terceira classificação, entre o verdadeiro e o falso, onde os objetos poderiam ser definidos em ambas categorias. Outros pesquisadores desenvolveram estudos relacionados à flexibilidade da classificação de objetos em outras categorias que não verdadeiro ou falso. Dentre esses, destacam-se Hegel, Marx, Engels, George Cantor, Lukasiewicz, Knuth (CURY, 1999). Somente em 1965, o professor Lofti Zadeh, da universidade da Califórnia, publicou o primeiro trabalho desenvolvido sobre a teoria da lógica *fuzzy*, abordando os conjuntos não totalmente verdadeiros e nem totalmente falsos. Segundo ele, a lógica *fuzzy* pode ser definida como uma teoria matemática formal para a representação de incertezas.

Os sistemas *fuzzy* usualmente se adequam a situações onde há dificuldade de modelagem analítica, pois, para sua estruturação, não é necessário utilizar modelos matemáticos na descrição do processo em questão.

Antes do início da utilização da lógica *fuzzy* como sistema de apoio à decisão, o processo decisório se fundamentava em uma lógica matemática, estruturada em funções de decisão dependentes de informações preliminares e de probabilidades subjetivas a respeito da incerteza. Entretanto, na vida real, as noções de incerteza são predominantes sobre as noções exatas da matemática pura.

A Teoria dos Conjuntos *Fuzzy* e os Conceitos de Lógica *Fuzzy* podem ser utilizados para traduzir a informação imprecisa, expressa por um conjunto de regras lingüísticas, em termos matemáticos. Se um operador humano for capaz de elaborar sua estratégia a partir de regras da forma SE-ENTÃO, pode-se estruturar um algoritmo que reproduza essa estratégia. O resultado é um sistema de inferência baseado em regras, onde a Teoria dos Conjuntos *Fuzzy* fornece o ferramental matemático para trabalhar com tais regras lingüísticas.

Atualmente, a lógica *fuzzy* vem sendo utilizada como um importante suporte à tomada de decisões, em vários segmentos do conhecimento humano.

Ressalta-se que o termo *fuzzy* não será traduzido no presente trabalho da mesma forma proposta por CURY (1999). Isto se deve à grande distorção conceitual causada pela tradução deste termo para o português, alterando o significado inicialmente desenvolvido por Zadeh, em 1965. Entretanto, serão utilizados aportuguesamentos como: fuzificação, defuzificação.

Para compreensão dos princípios da lógica *fuzzy*, torna-se necessário o conhecimento dos conjuntos *fuzzy* e das respectivas operações.

3.2.1 CONJUNTOS *FUZZY*

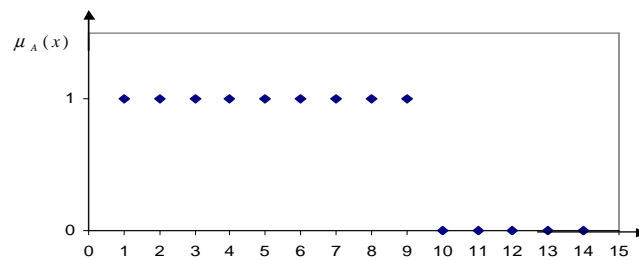
Os conjuntos *fuzzy* e os conjuntos convencionais (*crisp*) se diferem quanto aos seus conjuntos de pertinência, que podem assumir valores entre 0 e 1 para os primeiros e apenas os valores 0 e 1 para os conjuntos *crisp*.

Os conjuntos convencionais podem ser definidos a partir da enumeração de seus elementos ou por uma condição que determine se o elemento pertence ou não ao conjunto em questão. O envolvimento de objetos em uma coleção na qual os membros compartilham algumas características gerais ou propriedades

naturais implica na noção de conjunto. Os conjuntos são geralmente utilizados de forma inconsciente, ou seja, os termos podem ser associados aos números ímpares, às temperaturas positivas, a frutas etc,.

Segundo PEDRYCZ & GOMIDE (1998), os conjuntos convencionais (Booleanos) introduzem uma noção fundamental de dicotomia, ou seja, de processos caracterizados por uma decisão binária; aceita-se ou rejeita-se um objeto como pertencente a um determinado conjunto.

A representação gráfica de um conjunto *crisp* está apresentada na FIG. 3.1. Observa-se que não há valores intermediários para a função de pertinência, ou seja, esta assume apenas os valores 0 e 1, sem haver representação da pertinência parcial, característica aos conjuntos *fuzzy*.



Fonte: FALCÃO, 2002

FIG. 3.1: Representação Gráfica de um Conjunto *Crisp*

Os conjuntos *fuzzy* podem ser caracterizados como uma generalização dos conjuntos Booleanos, onde a função de pertinência pode assumir valores em intervalos determinados. Usualmente, considera-se o intervalo $[0,1]$, quando não é correto dizer que um elemento pertence a um determinado conjunto, e sim, apresenta um certo grau de pertinência.

Segundo CURY (1999), o grau de pertinência pode ser denominado como Grau de Certeza (GdC), traduzido do inglês *Degree of Belief* (DoB).

3.2.2 VARIÁVEIS LINGÜÍSTICAS

Uma variável *fuzzy* é aquela cujos valores são rótulos (*labels*) de conjuntos *fuzzy*. Por exemplo, a temperatura de um dado processo poderia ser uma variável *fuzzy* se assumir valores como *baixa*, *média*, *alta* etc. Estes valores são descritos por intermédio de conjuntos *fuzzy*. Generalizando, os valores de uma variável podem ser sentenças em uma linguagem especificada. Neste caso, a variável é uma variável lingüística (TANSCHKEIT, 2003).

Pode-se definir como variáveis lingüísticas aquelas que não são números, e sim, palavras ou sentenças de uma linguagem natural ou artificial (FALCÃO, 2002).

Para ilustrar, os valores da variável *fuzzy* temperatura poderiam ser expressos como *alta*, *não alta*, *muito alta*, *bastante alta*, *não muito alta*, *alta mas não muito alta*. Neste caso, os valores *fuzzy* são sentenças formadas a partir do rótulo *alta*, da negação *não*, do conectivo *mas* e dos modificadores *muito* e *bastante*. Nesse contexto, a variável temperatura é uma variável lingüística. Os modificadores servem para gerar um conjunto maior de valores para uma variável lingüística a partir de uma coleção de termos primários. Por exemplo, usando *muito* em conjunto com *não* e o termo primário *grande*, podem ser gerados os conjuntos *fuzzy* *muito grande*, *muito muito grande*, *não muito grande*.

A principal função das variáveis lingüísticas é fornecer uma maneira sistemática para a caracterização aproximada de fenômenos complexos ou mal definidos. Em essência, a utilização do tipo de descrição lingüística empregada por seres humanos e não de variáveis quantitativas, permite o tratamento de sistemas muito complexos para serem analisados de forma convencional (TANSCHKEIT, 2003).

3.2.3 SISTEMA DE INFERÊNCIA FUZZY

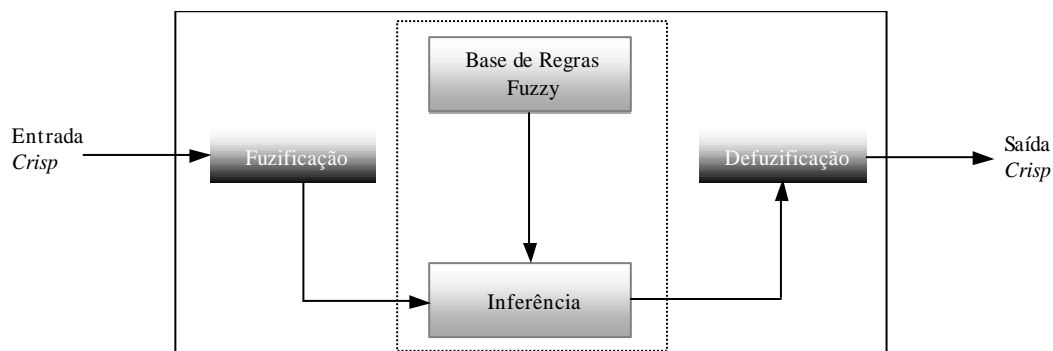
A adequação da teoria dos conjuntos *fuzzy* à realidade humana é facilmente verificada, uma vez que, no ambiente humano, a incerteza é inerente.

A imprecisão representada pela utilização de variáveis lingüísticas pode ter duas origens: (i) ser intencional, quando não há necessidade de se conhecer os atributos com maior precisão e (ii) imposta pela dificuldade ou impossibilidade de obter-se os atributos de um objeto de estudo (CURY, 1999).

Um sistema *fuzzy* típico é composto por uma base de regras, que associa as variáveis de entrada e saída, pelas funções de pertinência e por procedimentos de inferência, conforme apresentado na FIG. 3.2 (FALCÃO, 2002; TANSCHKEIT, 2000).

Se os dados de entrada forem valores precisos, resultados de medições ou observações, é necessário efetuar-se um mapeamento destes dados para os conjuntos *fuzzy* de entrada, consistindo na fuzificação. Caso as variáveis de entrada sejam obtidas em valores lingüísticos, não é necessário o processo de fuzificação. Neste estágio ocorre também a ativação das regras relevantes para uma dada situação.

No estágio de inferência ocorrem as operações com conjuntos *fuzzy* propriamente ditas: combinação dos antecedentes das regras e aplicação das regras de inferência.



Fonte: FALCÃO, 2002 e CURY, 1999.

FIG. 3.2: Estrutura Geral de um Sistema de Inferência *Fuzzy*

Uma vez obtido o conjunto *fuzzy* de saída através do processo de inferência, no estágio de defuzificação é efetuada uma interpretação dessa informação. Os conjuntos *fuzzy* de entrada, relativos aos antecedentes das regras, e de saída, referente ao conseqüente, podem ser definidos a partir dos dados de entrada.

3.2.4 DETERMINAÇÃO DOS CONJUNTOS FUZZY (FUZIFICAÇÃO)

O processo de fuzificação é caracterizado pela determinação das funções de pertinência das variáveis de entrada do sistema e pela definição da base de regras. Ressalta-se ainda que a determinação das funções de pertinência associadas aos conjuntos *fuzzy* é o estágio mais crítico da modelagem *fuzzy*.

BRAGA apud CURY (1999) relata que Zadeh, em seus estudos, concluiu que se obtidas 20 opiniões de especialistas, não há necessidade de mais entrevistas, pois, a partir deste número, os valores atribuídos às funções de pertinência passam a se repetir. Segundo CURY (1999), essa teoria de Zadeh pode ser estendida para os usuários de um sistema, atendendo à Teoria do Limite Central (curva de Gauss), atingindo estabilidade após a obtenção dos graus de pertinência junto a 30 pessoas (teoria estatística das grandes amostras).

A definição das funções de pertinência é uma etapa fundamental no desenvolvimento de sistemas *fuzzy*. Não existem regras específicas para a escolha dessas funções, as quais representam o conhecimento de um especialista no assunto em questão ou informações extraídas de um banco de dados. Aplicações muito sensíveis à escolha das funções de pertinência são, em geral, não adequadas para a modelagem *fuzzy* (FALCÃO, 2002).

As funções de pertinência podem ter várias formas diferentes e podem apresentar propriedades específicas. A adequação de

uma função com forma pré-determinada para representar a função de pertinência deve ocorrer considerando-se o contexto em questão. Em alguns casos, as informações capturadas a partir dos conjuntos *fuzzy* não são sensíveis a variações na forma das funções de pertinência, o que viabiliza a utilização de funções simples (PEDRYCZ & GOMIDE, 1998). Em muitos casos, os conjuntos *fuzzy* podem ser representados por famílias de funções parametrizadas, podendo ser classificadas em triangulares, trapezoidais, gaussianas, exponenciais etc.

Funções de pertinência contínuas são compostas de segmentos contínuos lineares, resultando em formas triangulares ou trapezoidais. Funções de pertinência discretizadas consistem de conjuntos de valores discretos correspondendo a elementos discretos do universo.

Para CURY (1999), os graus de certeza são definidos com base mais no pragmatismo do que na estatística, estando fundamentado no conhecimento do especialista e não na frequência com que os eventos ocorrem.

Algumas características das funções de pertinência são (FALCÃO, 2002):

- *Formato*: podem ser triangular, trapezoidal, Gaussiana, sigmoidal etc;
- *Obtenção*: podem ser escolhidas pelo usuário baseadas em sua experiência ou através de um processo de otimização a partir de dados experimentais e/ou obtidos por simulação;
- *Sobreposição*⁴: não é necessário, porém é importante para dar robustez ao sistema *fuzzy*. Em geral, a sobreposição ocorre entre duas funções.

⁴ A sobreposição de funções de pertinência refere-se a mais de uma função assumindo valores iguais, com diferentes graus de pertinência.

- *Normalização*: geralmente as funções de pertinência são definidas no intervalo $[0,1]$. Isso não é obrigatório, mas facilita a implementação de sistemas *fuzzy*.

Há dois métodos para elaboração das funções de pertinência referentes aos conjuntos *fuzzy*, a partir da opinião de especialistas:

- (i) as funções de pertinência podem ser obtidas a partir de questionários onde são apresentados os números do universo de um determinado conjunto aos especialistas/usuários. Apenas respostas SIM e NÃO são solicitadas que, posteriormente, são utilizadas na obtenção das frequências de ocorrência da resposta SIM. Constrói-se então a função de pertinência em questão;
- (ii) os especialistas (ou usuários) atribuem, individualmente, um grau de certeza (GdC) para cada um dos elementos. O valor atribuído varia no intervalo $[0,1]$. A média de cada elemento é utilizada na construção da função de pertinência (BRAGA apud CURY, 1999).

Segundo TURKSEN apud CURY (1999), os graus de certeza podem ser determinados por diversos métodos, incluindo: (i) avaliação e dedução subjetiva, onde o entrevistado traça a curva de pertinência ou a escolhe entre algumas curvas pré-determinadas; (ii) Ad Hoc, implementada a partir de curvas com formas pré-definidas (triangular, trapezoidal etc); (iii) conversão de probabilidades, onde utiliza-se histogramas e curvas de densidade de probabilidade como funções de pertinência e (iv) mensuração física, medindo-se os valores dos atributos e fuzificando posteriormente.

3.2.5 INFERÊNCIA FUZZY (DETERMINAÇÃO DA BASE DE REGRAS)

O raciocínio humano, inconscientemente, utiliza regras SE-ENTÃO no processo decisório. Usualmente, as regras de inferência *fuzzy* são baseadas nessa mesma estrutura (SE-ENTÃO). A definição das regras de inferência está, necessariamente, associada à criação dos conjuntos *fuzzy* envolvidos no sistema.

As regras de controle *fuzzy*, mostradas na FIG. 3.2, podem ser determinadas conforme quatro métodos: (i) a partir da extração do conhecimento dos especialistas; (ii) a partir da observação de um operador humano; (iii) a partir de um modelo *fuzzy* e (iv) a partir de aprendizado (TAKAGI; LEE apud CURY, 1999).

Considerando-se as bases de regras, a proposição SE pode ser associada ao termo "antecedente" e ENTÃO, ao termo "conseqüente". As variáveis de entrada são representadas pelos graus de certeza correspondentes, e, a partir da inferência *fuzzy*, são geradas as camadas das variáveis de saída, que também são associadas a graus de certeza.

Segundo PEDRYCZ & GOMIDE (1998), as regras *fuzzy* têm o formato genérico de uma proposição condicionada: R = SE antecedente, ENTÃO conseqüente.

Nas camadas de regras *fuzzy*, cada uma das regras representa um neurônio. Estes, por sua vez, calculam o grau de certeza da proposição antecedente, computando o quanto foram cumpridos os pré-requisitos de cada uma das regras (CURY, 1999).

Segundo VON ALTROCK (1997), a cada regra, atribui-se um fator de ponderação que reflete a importância desta na base de regras. Esse coeficiente é denominado Fator de Certeza (FC) e pode variar no intervalo [0,1], sendo multiplicado pelo resultado da agregação (parte SE da inferência).

Uma possível interpretação para o fator de certeza é considerar as suas regras como *fuzzy*. Conforme o princípio da lógica *fuzzy* simples, cada regra pertence ou não pertence ao conjunto das regras válidas (lógica Booleana). Se os fatores de certeza podem assumir valores contínuos no intervalo $[0,1]$, o conjunto de regras válidas se torna *fuzzy* e assim, permite as definições de regras "mais ou menos" válidas (VON ALTROCK, 1997).

A inferência *fuzzy* é estruturada por dois componentes: (i) agregação, ou seja, a computação da parte SE das regras e (ii) composição, referente à parte ENTÃO das regras. Na TAB. 3.1 é mostrada uma base de regras genérica, onde são apresentadas as funções de pertinência (A_{nm}) para cada variável de entrada (VE_m) referentes a cada regra n , as funções de pertinência (B_n) das variáveis de saída (VS_n) e os fatores de certeza (FC_k) para cada uma das regras que compõem a base de regras genérica mostrada a seguir.

Cada variável de entrada possui uma função de pertinência para cada uma das regras que compõem a base de regras *fuzzy*. A variável de saída apresenta função de pertinência própria, associada a cada uma das regras.

TAB. 3.1: Base de Regras *Fuzzy*

Regra	SE				ENTÃO	
	VE_1	VE_2	...	VE_m	VS	FC_k
1	A_{11}	A_{12}	...	A_{1m}	B_1	FC_1
2	A_{21}	A_{22}	...	A_{2m}	B_2	FC_2
3	A_{31}	A_{32}	...	A_{3m}	B_3	FC_3
...
n	A_{n1}	A_{n2}	...	A_{nm}	B_n	FC_n

Fonte: CURY, 1999.

A agregação pode ser composta por uma única condição ou pode combinar duas ou mais condições. A parte SE das regras define se a regra é válida ou não para o caso em questão.

A fim de representar a verdade parcial, os conectivos lógicos E, OU e NÃO são definidos pelos operadores *max*, *min* e complementar nas bases de regra. Esses operadores são

utilizados na maioria das aplicações da lógica *fuzzy* e se encontram descritos nas EQ. 3.1, conforme seus graus de certeza ou de pertinência.

$$\begin{aligned} E: GdC_{A \wedge B} &= \min\{GdC_A; GdC_B\} \\ OU: GdC_{A \vee B} &= \max\{GdC_A; GdC_B\} \\ N\tilde{A}O: GdC_{A'} &= 1 - GdC_A \end{aligned} \quad \text{EQ. 3.1}$$

Os resultados das regras são o grau de pertinência da parte SE e assim, indicam o quanto cada regra se adequa ao caso em questão (VON ALTROCK, 1997).

A agregação da regra 1 da TAB. 3.1 pode ser computada conforme a EQ. 3.2. Os resultados desta parte da inferência *fuzzy* correspondem aos seus graus de certeza, e assim, as regras ponderadas pelos fatores de certeza são avaliadas quanto sua adequação ao caso correspondente.

$$R_1: FC_1 \cdot \min\{GdC_{A_{11}}, GdC_{A_{12}}, \dots, GdC_{A_{1m}}\} \quad \text{EQ. 3.2}$$

onde FC_1 é o fator de certeza da regra 1 e os $GdC_{A_{1n}}$ são os graus de certeza atribuídos a cada termo lingüístico n para computação da regra 1.

Cada uma das regras da composição definem o resultado da avaliação para a parte ENTÃO. A partir dos graus de certeza da parte SE (agregação), computa-se o grau para o qual cada resultado da avaliação é válido, dado pela adequação das regras para o caso em questão (VON ALTROCK, 1997), sendo definida pela EQ. 3.3.

$$\begin{aligned} GdC_s: & \max[FC_1 \cdot \min\{GdC_{A_{11}}, GdC_{A_{12}}, \dots, GdC_{A_{1m}}\}, \dots, \\ & FC_n \cdot \min\{GdC_{A_{n1}}, GdC_{A_{n2}}, \dots, GdC_{A_{nm}}\}] \end{aligned} \quad \text{EQ. 3.3}$$

Em algumas aplicações, a interpretação lingüística de um resultado é suficiente, como por exemplo, quanto o resultado é utilizado para fornecer uma resposta qualitativa ou verbal. Entretanto, em outras aplicações, um valor numérico como resultado do sistema é necessário (como por exemplo, na

ordenação e comparação). Nestes casos, após a inferência *fuzzy*, é necessário um processo de defuzificação.

3.2.6 DEFUZIFICAÇÃO

Ao final da inferência *fuzzy*, o resultado é uma variável lingüística. Para utilizar esse resultado em comparações ou ordenações é necessário transformar o termo *fuzzy* em um valor numérico. Essa etapa é denominada defuzificação. A relação entre as variáveis lingüísticas e os valores numéricos correspondentes é sempre definida através de funções de pertinência.

Uma vez que a lógica *fuzzy* busca reproduzir o processo decisório humano e avaliar esse processo, um bom método de defuzificação deve se aproximar desta abordagem. A maioria dos métodos de defuzificação utilizam uma abordagem com duas etapas: (i) o valor típico de cada termo da variável lingüística é obtido e, (ii) é feita uma ponderação destes valores.

A forma mais comum de se obter os valores típicos de cada termo lingüístico (X) é determinando-se os máximos de cada função de pertinência. Quando a função de pertinência não possui um ponto de máximo, e sim um intervalo, toma-se a mediana do conjunto de máximos como o valor típico do termo lingüístico.

Na segunda etapa, o valor numérico (*crisp*), ou seja, o valor de compromisso, que melhor representa o resultado lingüístico é computado. Na maioria das implementações *fuzzy*, utiliza-se o método do Centro de Máximos que é idêntico ao método do "Centro de Gravidade".

No método do Centro de Máximos, após a determinação dos valores típicos, define-se os graus de certeza dos termos lingüísticos como "pesos" associados a cada um destes valores.

O valor de compromisso exato (VC) é determinado através da ponderação dos pesos com relação aos valores típicos (média ponderada), conforme definição da EQ. 3.4 (VON ALTROCK, 1997).

$$VC = \frac{\sum_{i=1}^n GdC_i \cdot X_i}{\sum_{i=1}^n GdC_i} \quad \text{EQ. 3.4}$$

onde

GdC_i - graus de certeza dos termos lingüísticos da variável de saída final;

X_i - valores típicos para os termos lingüísticos, que correspondem aos máximos (ou à mediana dos intervalos de máximos) dos conjuntos *fuzzy* que definem a variável de saída final.

3.2.7 CONJUNTOS FUZZY E A PROBABILIDADE

A probabilidade e os conjuntos *fuzzy* são geralmente confrontados como duas formas conceitualmente distintas de representação e processamento de incerteza. Entretanto, estes podem ser caracterizados como idéias complementares e não antagônicas.

A distinção entre a probabilidade e os conjuntos *fuzzy* é nitidamente evidente. A probabilidade está relacionada à ocorrência de eventos bem definidos (considerados como conjuntos), como a retirada de bolas de uma urna, cara ou coroa. As probabilidades são definidas ou estimadas a partir da repetição de uma série de experimentos desenvolvidos em um ambiente estacionário. Assim, a ocorrência de um evento se torna a noção central de probabilidade: "o cálculo da

probabilidade refere-se à ocorrência de eventos" (PEDERYCZ & GOMIDE, 1998).

Por outro lado, os conjuntos *fuzzy* abordam os limites gradualmente, não sendo relacionados às frequências (repetição) de um evento. Os conjuntos *fuzzy* podem ser baseados em um pequeno número de observações ou mesmo na experiência de especialistas (heurística).

Resumindo, ressalta-se que a probabilidade aborda a frequência de pertinência de um evento a uma determinada classe. Em contrapartida, a lógica *fuzzy* busca determinar a similaridade do elemento com o conjunto em questão (CURY, 1999).

3.3 REDES NEURAIIS

A principal limitação da lógica *fuzzy* é o tratamento de muitos fatores, funções de pertinência e regras simultaneamente. Em contrapartida, a estrutura das redes neurais é adequada ao tratamento de grandes quantidades de dados e classe. Assim, a lógica *fuzzy* é usualmente combinada à Teoria das Redes Neurais, de forma a fundamentar a tecnologia *Neuro-Fuzzy* (MENDES FILHO, 2003; CURY, 1999).

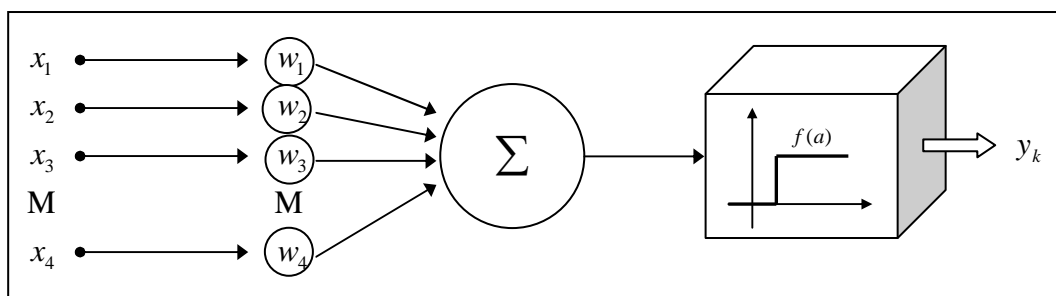
3.3.1 REDES NEURAIIS ARTIFICIAIS

As Redes Neurais Artificiais podem ser definidas como técnicas computacionais que apresentam um modelo inspirado na estrutura neural de organismos inteligentes e que adquirem conhecimento através da experiência. Essas redes são capazes de aprender, associar e tolerar erros, podendo ser treinadas para executar uma tarefa específica, e, ainda, se organizarem. (MENDES FILHO, 2003).

Uma rede neural é uma estrutura de processamento de informação distribuída paralelamente na forma de um grafo direcionado⁵, com algumas restrições e definições próprias. Os nós deste grafo são chamados elementos de processamento. Suas arestas são conexões, que funcionam como caminhos de condução de sinais em uma única direção, de forma que seus elementos de processamento possam receber qualquer número de conexões de entrada. Estes elementos têm uma única conexão de saída, que tem a capacidade de se dividir, formando múltiplas conexões.

Assim como o sistema nervoso é composto por bilhões de células nervosas, a rede neural artificial também é formada por unidades que nada mais são que pequenos módulos que simulam o funcionamento de um neurônio. Estes módulos devem funcionar de acordo com os elementos em que foram inspirados, recebendo e retransmitindo informações (TATIBANA & KAETSU, 2003).

Em 1943, o fisiologista Warrem McCulloch interpretou o funcionamento do neurônio biológico e o representou, de forma simplificada, através do Neurônio de McCulloch, apresentado na FIG. 3.3.



Fonte: CURY (1999) e TATIBANA & KAETSU (2003)

FIG. 3.3: Modelo Básico de um Neurônio de McCulloch

Define-se então, como estrutura básica de uma rede neural, o neurônio de McCulloch. Esta estrutura apresenta uma variável

⁵ Um grafo direcionado é um objeto geométrico que consiste de um conjunto de pontos, chamados nós, ao longo de um conjunto de segmentos de linhas direcionadas entre eles.

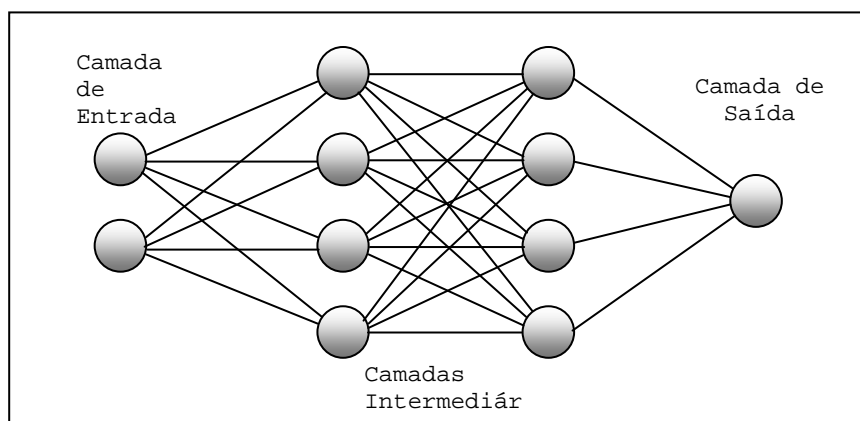
de saída y_k única, que é função das variáveis de entrada x_i . Cada uma das variáveis de entrada é multiplicada por pesos w_i associados, a fim de produzir um estado de ativação do neurônio, correspondente à frequência de descarga do neurônio biológico. Os produtos $x_i w_i$ são agregados por uma função, sendo estes, usualmente, somados. O valor obtido é então processado por uma função de ativação $f(a)$ que determine o valor de saída y_k . A uma combinação destas unidades denomina-se rede neural (CURY, 1999; TONSIG, 2000).

Em 1958, Rosenblatt propôs o modelo dos *Perceptrons*, definido como uma rede com neurônios dispostos em várias camadas, conforme mostrado na FIG. 3.4.

Por convenção, a camada que recebe os dados é denominada *input* (entrada), onde os padrões são apresentados à rede; a camada intermediária é denominada *hidden* (oculta), onde é feita a maior parte do processamento, através das conexões ponderadas e a camada final, denominada camada de saída, onde o resultado final é concluído e apresentado.

Redes neurais são classificadas de acordo com a arquitetura de implementação, topologia, características de seus nós, regras de treinamento e tipos de modelos.

Do ponto de vista estrutural, a arquitetura de redes neurais pode ser classificada como estática, dinâmica ou *fuzzy*, e de única camada ou múltiplas camadas. Diferenças computacionais surgem quando se trata da maneira com que são feitas as conexões existentes entre os neurônios. Estas conexões podem ser estritamente no sentido de ida, no sentido de ida e volta, lateralmente conectadas, topologicamente ordenadas ou híbridas. (TATIBANA & KAETSU, 2003).



Fonte: TATIBANA & KAETSU, 2003

FIG. 3.4: Arquitetura das Redes Neurais Artificiais

Segundo MENDES FILHO (2003), a propriedade mais importante das redes neurais é a capacidade de aprendizado a partir do meio, podendo, assim, proporcionar melhorias em seu desempenho. O aprendizado ocorre a partir de um processo iterativo de ajustes aplicado a seus pesos, denominado treinamento, que pode ser percebido quanto a rede neural alcança uma solução generalizada para uma classe de problemas.

A maioria dos modelos de redes neurais possui alguma regra de treinamento, onde os pesos de suas conexões são ajustados de acordo com os padrões apresentados. A rede neural passa por um processo de treinamento a partir dos casos reais conhecidos, adquirindo, a partir daí, a sistemática necessária para executar adequadamente o processamento desejado dos dados fornecidos. Sendo assim, a rede neural é capaz de extrair regras básicas a partir de dados reais, diferindo da computação programada, onde é necessário um conjunto de regras rígidas pré-fixadas e algoritmos (TATIBANA & KAETSU, 2003).

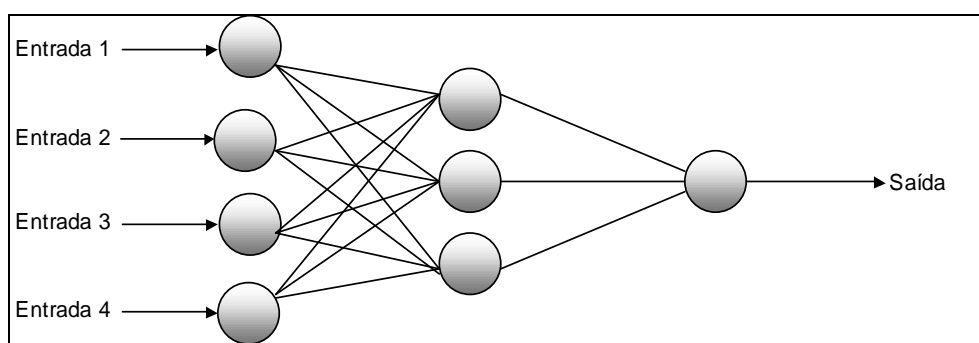
Para considerar a complexidade das situações do mundo real, são necessárias tecnologias de processamento da informação que se aproximem ao máximo da estrutura de pensamento humana. Usualmente, a avaliação humana é feita por categorias, que podem ser representadas por conjuntos *fuzzy*.

Além disto, há vários níveis de complexidade envolvidos no processo de agregação de informação, assim, o nível que contém conceitos básicos é agregado até que se atinja o nível mais abstrato da rede. Essa configuração viabiliza a utilização de redes neurais hierárquicas, agregando diversos níveis de complexidade (ZIMMERMANN & ZYSNO apud CURY, 1999). Portanto, pode-se dizer que na implementação de redes neurais hierárquicas, os dados das variáveis de entrada são agregados até que se obtenha a informação desejada (variável de saída) (VON ALTROCK, 1997).

Atualmente, as Redes Neurais Hierárquicas têm sido utilizadas a fim de desenvolver metodologias que identifiquem padrões, representando fenômenos específicos em cenários determinados.

A abordagem hierárquica garante especialização e adaptação ao mesmo tempo, uma vez que os níveis da rede podem ser ajustados às características específicas do problema a ser resolvido, e toda a arquitetura pode facilmente ser modificada se as descrições do problema mudarem, através do treinamento apenas dos níveis sob modificação (PIERI & SALVETTI, 2003).

A estrutura de uma rede neural hierárquica é mostrada na FIG. 3.5.



Fonte: CURY, 1999

FIG. 3.5: Estrutura de uma Rede Neural Hierárquica

3.4 TECNOLOGIA *NEURO-FUZZY*

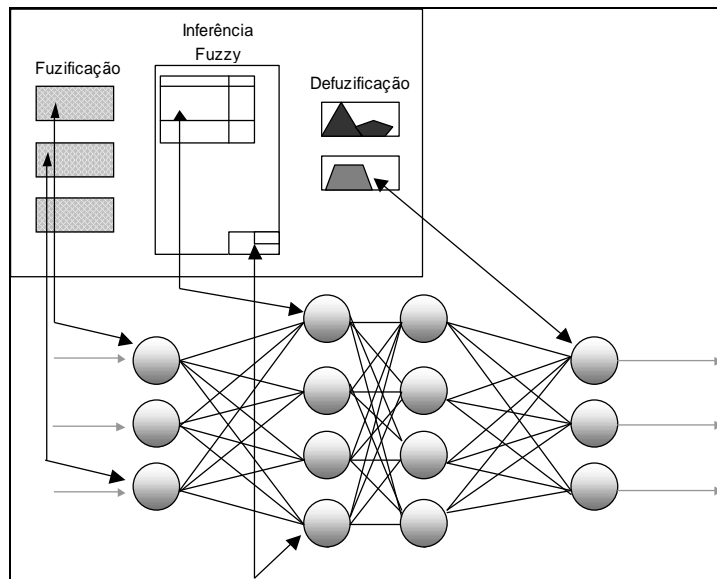
A lógica *fuzzy* busca reproduzir o processo da tomada de decisão humana, utilizando a linguagem natural, ou seja, termos lingüístico. Em contrapartida, as redes neurais são capazes de copiar o modo como o cérebro humano trata a informação, processando informações numéricas e possuindo potencial de aprendizagem (VON ALTROCK, 1997). A associação destas duas ferramentas resulta na tecnologia *neuro-fuzzy*, onde é representado o processo decisório humano (*fuzzy*), processado conforme a estrutura de trabalho humana (*redes neurais*).

As redes neurais são capazes de aprender e de processar um grande número de dados e categorias, enquanto que as soluções da lógica *fuzzy* podem ser facilmente verificadas e otimizadas. A combinação dessas características resulta na tecnologia *neuro-fuzzy*.

Um sistema *neuro-fuzzy* pode ser caracterizado como uma rede neural de três camadas. A primeira camada representa as variáveis de entrada; a camada intermediária, as regras de inferência *fuzzy* e a terceira camada, as variáveis de saída. Pode haver arquiteturas com mais camadas, onde as camadas intermediárias representam os conjuntos *fuzzy*.

Segundo PEDRYCZ & GOMIDE (1998), as redes *neuro-fuzzy* são úteis na aproximação de relações multivariadas, estáticas e dinâmicas, entre as variáveis de entrada e saída. Essa forma de aproximação se fundamenta na natureza lógica de dependência entre as variáveis.

Na FIG. 3.6 é apresentada a arquitetura de uma rede *neuro-fuzzy*.



Fonte: VON ALTROCK (1997)

FIG. 3.6: Arquitetura de uma Rede Neuro-Fuzzy

3.5 CONCLUSÕES

A Tecnologia *Neuro-Fuzzy*, conforme detalhamento no presente capítulo, se apresenta como um ferramenta adequada para a construção e aplicação de um modelo de escolha modal que considere variáveis quantitativas e qualitativas, referentes ao custo de transporte e ao nível de serviço ofertado pelas diferentes opções modais e intermodais.

Assim, o Capítulo 4 apresentará o modelo *Neuro-Fuzzy* de escolha modal proposto na presente dissertação.

4 APLICAÇÃO DA TECNOLOGIA *NEURO-FUZZY* AO PROCESSO DE ESCOLHA MODAL NO TRANSPORTE DE CARGA

Neste capítulo será apresentado o procedimento proposto para escolha modal considerando-se atributos referentes ao custo e ao nível de serviço prestado ao cliente. O objetivo dessa escolha é garantir baixos custos agregados à empresa pelas atividades de transporte e assim, a competitividade nos mercados doméstico e internacional. A aplicação deste modelo se baseia na metodologia proposta por CURY (1999) em seu trabalho.

As etapas a serem desenvolvidas durante a estruturação do modelo são:

- a. diagnóstico e caracterização das opções de transporte a serem avaliadas;
- b. determinação dos parâmetros considerados como variáveis de entrada;
- c. estruturação do modelo *Neuro-Fuzzy*;
- d. fuzificação;
- e. inferência *Fuzzy*;
- f. defuzificação;
- g. obtenção do Grau de Efetividade Modal e comparação desses para definição da melhor alternativa.

4.1 DIAGNÓSTICO E CARACTERIZAÇÃO DAS OPÇÕES DE TRANSPORTE A SEREM AVALIADAS

As opções de transporte consideradas, entre os pontos de origem e destino definidos, devem ser caracterizadas de forma a possibilitar a utilização de informações como variáveis de entrada do modelo proposto.

Por tanto, nessa etapa devem-se caracterizar as opções de transporte quanto: (i) à extensão dos trechos em questão, considerando os respectivos modos de transporte; (ii) às características de unitização e embalagem da carga a ser transportada e dos respectivos veículos utilizados nessa movimentação e (iii) às condições operacionais dos pontos de carga e descarga e dos trechos onde a carga é movimentada.

4.2 DEFINIÇÃO DAS VARIÁVEIS DE ENTRADA (VE)

Nessa etapa do procedimento é necessário determinar quais os atributos qualitativos e quantitativos que deverão influenciar a escolha modal, considerando o estado da arte explorado na seção 2.1 do capítulo 2 do presente trabalho. Cada uma das variáveis de entrada deve ser caracterizada e apresentar valores numéricos ou lingüísticos definidos.

TAB. 4.1: Termos Lingüísticos Atribuídos às Variáveis de Entrada

Descrição	Tipo	Termos Lingüísticos		
Custos de Transporte (R\$)	Quantitativa	Baixo	Médio	Alto
Custos Indiretos (R\$)	Quantitativa	Baixo	Médio	Alto
Valor Agregado da Carga	Qualitativa	Baixo	Médio	Alto
Frequência da Oferta	Qualitativa	Baixa	Média	Alta
<i>Transit Time</i> (h)	Quantitativa	Baixo	Médio	Alto
Perdas e Danos	Qualitativa	Baixa	Média	Alta
Confiabilidade	Qualitativa	Baixa	Média	Alta
Disponibilidade de Informações	Qualitativa	Baixa	Média	Alta
Instalações Logísticas	Qualitativa	Pouco	Moderado	Muito
Acessibilidade	Qualitativa	Baixa	Média	Alta
Flexibilidade	Qualitativa	Baixa	Média	Alta

Fonte: Elaboração Própria, baseada em CURY (1999).

Nas seções seguintes serão descritas as variáveis consideradas no modelo proposto, agrupadas em três categorias: (i) variáveis referentes ao custo; (ii) variáveis referentes às características da carga; e (iii) variáveis referentes ao nível de serviço ofertado.

4.2.1 ATRIBUTOS REFERENTES AOS CUSTOS

O **custo de transporte** pode ser considerado o elemento mais sensível da escolha, mas não o único. O custo de utilização de um modo em uma cadeia de transportes, também conhecido como frete, é composto pelo custo de transporte acrescido dos custos de manuseio da carga para que esta esteja disponível para o modo de transporte definido. Esses custos são compostos pelos custos de preparo (embalagem, unitização etc), de estocagem, de embarque e desembarque, de seguros e despesas financeiras relativas ao despacho da carga.

Outro fator de elevação do custo do frete é a desigual matriz de transporte brasileira, com pouca competitividade entre os modos, o que reflete a subutilização dos modos ferroviário e aquaviário e a utilização excessiva do transporte rodoviário para serviços porta a porta.

Os **custos administrativos**, ou *overhead* são custos indiretos, não vinculados ao processo produtivo, e sim a custos fixos de instalações e atividades de suporte ao processo de produção de transporte.

4.2.2 ATRIBUTOS REFERENTES ÀS CARACTERÍSTICAS DA CARGA A SER TRANSPORTADA

Como cada carga possui características peculiares à sua natureza e acondicionamento, no modelo apenas o **valor agregado** da mercadoria será considerado. Essa variável busca representar a adequação dos modos de transporte ao tipo de carga considerando seu valor agregado. Como por exemplo, tem-se as restrições da utilização do modo ferroviário para transporte de bens de alto valor agregado.

4.2.3 ATRIBUTOS REFERENTES AO NÍVEL DE SERVIÇO PRESTADO AO CLIENTE

A **freqüência da oferta de transporte** refere-se à quantidade de movimentações programadas em um determinado intervalo de tempo, ou seja, é a disponibilidade de atendimento da demanda dos clientes.

Segundo RODRIGUES (2001), "o **tempo em trânsito** afeta diretamente o prazo de ressuprimento, abrangendo o tempo despendido pelo embarcador na consolidação e manuseios, o tempo de viagem propriamente dito, os tempos necessários aos transbordos (caso existam) e o tempo necessário à liberação da carga por ocasião do recebimento." Atrasos no tempo de transporte podem acarretar a paralisação de uma linha de produção caso o estoque de segurança seja baixo. O modo aéreo é o que demanda menos tempo em trânsito.

Outra variável significativa no processo de escolha modal refere-se à ocorrência de **perdas e danos** no transporte, ou seja, a extravio, avaria ou roubo da carga movimentada.

A **confiabilidade no transporte** pode ser definida como a regularidade e consistência no nível de serviço ofertado, adequadas à programação de entregas. Resumidamente, é a variabilidade potencial das programações de entrega previstas e efetivas.

Atualmente, a **disponibilidade e a qualidade das informações** referentes ao posicionamento da carga durante sua movimentação é muito importante, uma vez que possibilita ao cliente conhecer a localização e a previsão de entrega da carga, sendo um diferencial no momento da escolha por opções de transporte.

A oferta de **instalações logísticas**, como a existência de plataformas logísticas nos pontos de transbordo, são fatores significativos para a escolha modal. Isso se deve ao fato de que, com o aumento da velocidade e efetividade das operações

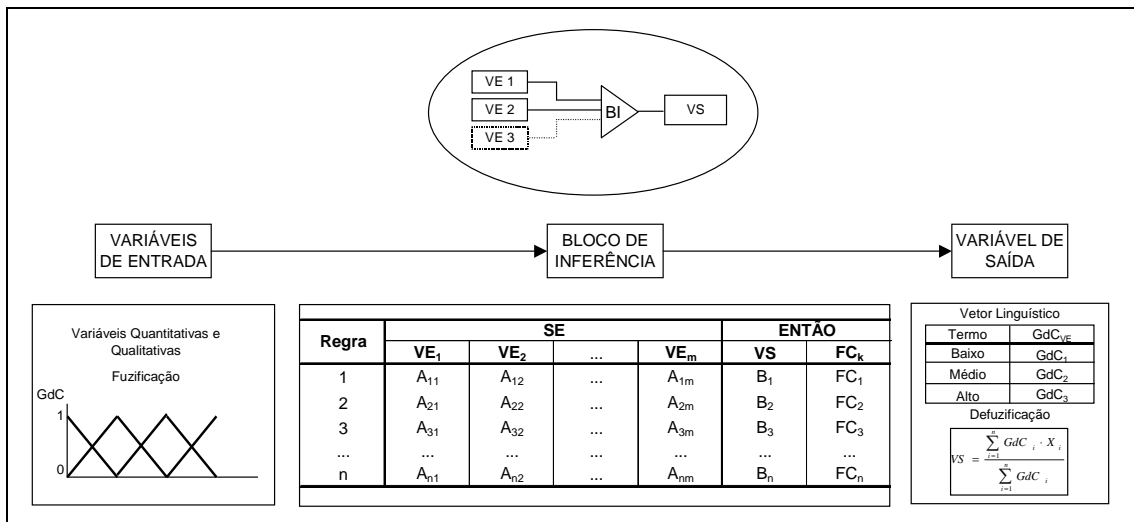
de movimentação da carga, há redução no risco de ocorrência de roubos e/ou avarias nas mercadorias.

A **acessibilidade** do sistema de transporte é a capacidade que um modo tem em atender a origem e o destino, prestando um serviço de porta-a-porta. O transporte rodoviário é o mais acessível dentre os cinco modos principais.

A **flexibilidade modal** refere-se à capacidade de integração modal e de adaptação a uma nova rota ou percurso. Mais uma vez, o modo rodoviário tem maior facilidade de integração e adequação.

4.3 ARQUITETURA DA REDE *NEURO-FUZZY*

O modelo *Neuro-Fuzzy* proposto é estruturado segundo a arquitetura das redes neurais hierárquicas, sendo composto por 10 (dez) Unidades-Padrão de Inferência *Fuzzy* (UPIF), desenvolvida por CURY (1999), conforme apresentado na FIG. 4.1. Cada UPIF é composta por duas Variáveis de Entrada (VE), que, após os processos de fuzificação e Inferência (descritos nas seções 3.2.5 e 3.2.6, respectivamente), produzem uma Variável de Saída, (VS), que, se não for a última, é denominada Variável Intermediária (VI). Nos níveis seguintes esse procedimento é repetido até que se alcance a última camada, onde uma única VS é obtida. Essa VS passa então pelo processo de defuzificação, descrito na seção 3.2.7 do capítulo 3, sendo denominada o Grau de Efetividade Modal (GEM).



Fonte: Cury, 1999

FIG. 4.1: Unidade-Padrão de Inferência Fuzzy (UPIF)

A determinação do GEM caracteriza-se pela modelagem heurística, utilizando a tecnologia *Neuro-Fuzzy*, que, por sua vez, baseia-se nas VE, em seus conjuntos *fuzzy*, nas regras SE-ENTÃO, nos GdC e FC definidos pelos especialistas.

Na FIG 4.2 é apresentada a arquitetura da rede *Neuro-Fuzzy* proposta para a escolha modal no transporte de cargas, onde são mostradas as variáveis de entrada, as variáveis intermediárias e a variável de saída, além dos respectivos blocos de inferência. A estruturação dessa rede foi baseada em CURY (1999).

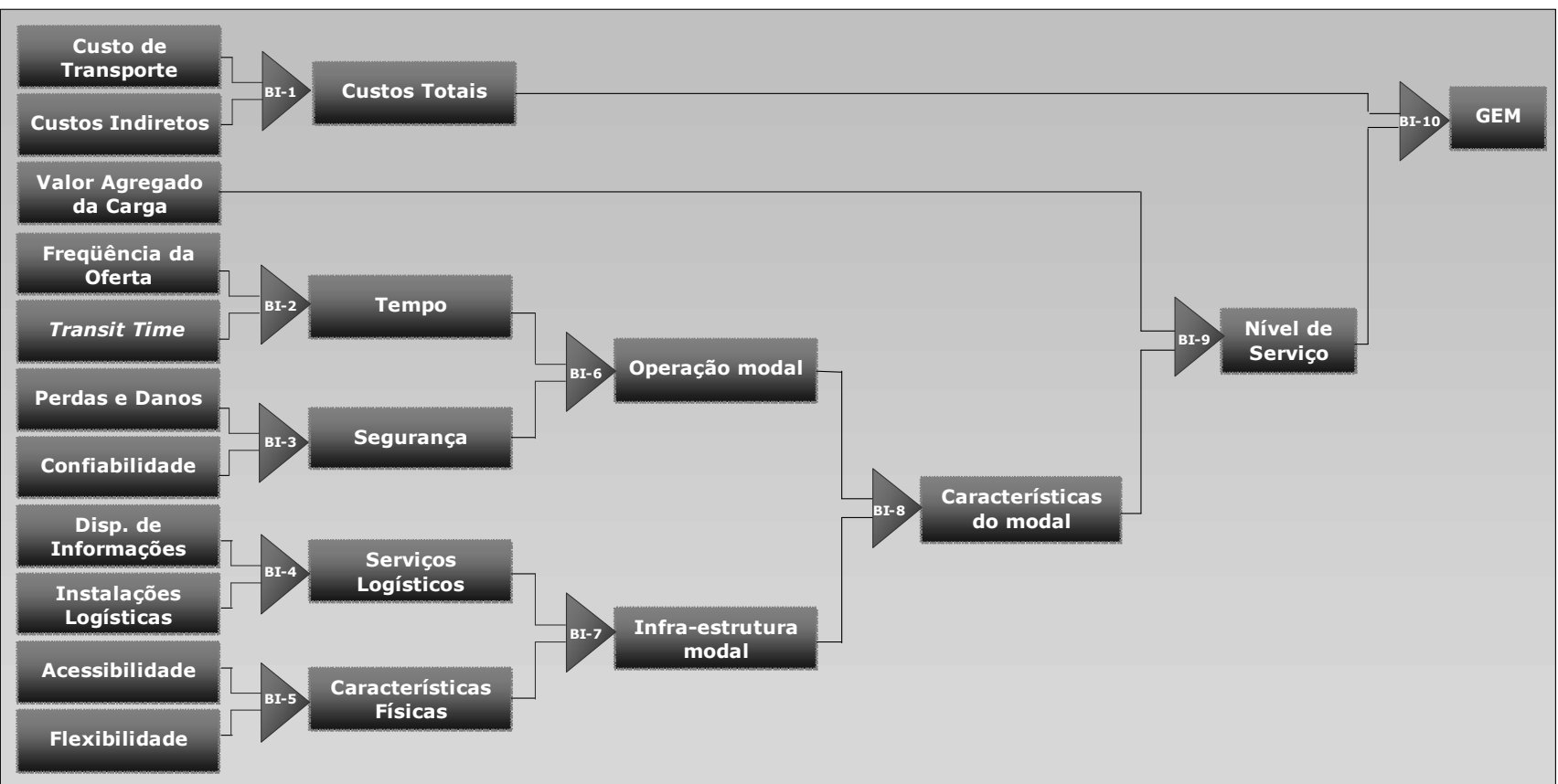


FIG. 4.2: Arquitetura da Rede Neuro-Fuzzy para Escolha Modal no Transporte de Cargas

4.4 TRATAMENTO DAS VARIÁVEIS DE ENTRADA (FUZIFICAÇÃO)

Depois de caracterizadas as variáveis de entrada, tomam-se os parâmetros quantitativos e inicia-se assim, a fuzificação ou seja, a determinação dos conjuntos *fuzzy* para cada variável de entrada, intermediária e de saída.

O modelo proposto possibilita o tratamento das variáveis quantitativas e qualitativas listadas na seção anterior. Considerando-se as variáveis quantitativas, os valores exatos, obtidos por meio de pesquisa, projeções ou estimativas, são transformados em expressões lingüísticas (por exemplo, baixo, médio e alto), com seus respectivos Graus de Certeza, utilizando-se os conjuntos *fuzzy* para essa transformação. São então determinados os vetores lingüísticos de cada VE.

De forma mais detalhada, são apresentados aos especialistas, os valores atribuídos às VE quantitativas, que, por sua vez, respondem "sim" ou "não" para cada um dos termos lingüísticos definidos, conforme sua percepção do valor apresentado. O percentual de respostas afirmativas para cada termo lingüístico referente a cada valor quantitativo analisado representa o Grau de Certeza (GdC) com que cada valor pode ser qualificado pelos termos lingüísticos.

Como exemplo de uma variável quantitativa, tem-se o *transit time*, definido como a duração, em horas, do transporte da mercadoria entre os pontos de origem e destino. No caso dessa variável, podem-se apresentar os valores contidos na TAB. 4.2.

TAB. 4.2: Fuzificação da Variável Quantitativa *Transit Time* - Exemplo

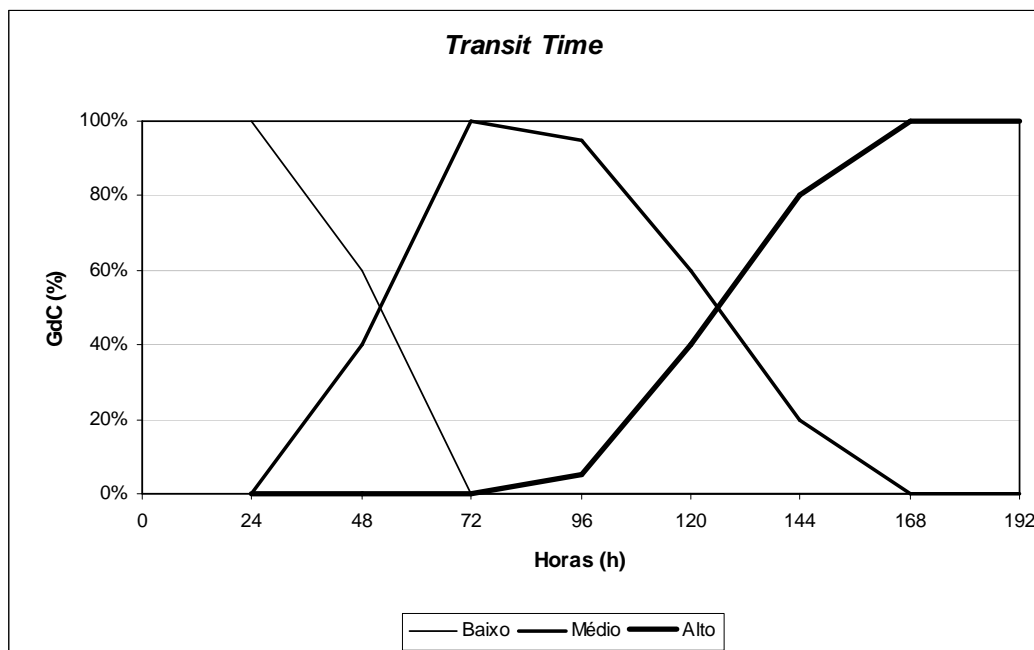
Especialista	Termo lingüístico	Tempo em trânsito (horas)								
		< 24	24-48	49-72	73-96	97-120	121-144	145-168	169-192	> 192
GdC (%)	Baixo	100%	100%	60%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	Médio	0%	0%	40%	100%	95%	60%	20%	0%	0%
	Alto	0%	0%	0%	0%	5%	40%	80%	100%	100%

Fonte: Elaboração Própria

Tem-se então que 100% dos entrevistados consideraram que tempos menores que 24 horas assumem o termo lingüístico baixo. Por outro lado, nenhum especialista atribuiu os termos médio e alto para esses valores. Em outras palavras, os tempos inferiores a 24 horas são baixos, com GdC = 100%, médios, com GdC = 0% e altos, com GdC = 0%.

Os valores para o tempo em trânsito entre 49 e 72 horas possuem o seguinte vetor lingüístico: {baixo = 0,60; médio = 0,40 e alto = 0,00}. A cada valor quantitativo da variável é atribuído um vetor lingüístico, conforme apresentado anteriormente.

A partir dos Graus de Certeza obtidos e dos valores numéricos, é construído o gráfico apresentado na FIG. 4.3 onde cada curva representa o conjunto *fuzzy* para os valores lingüísticos.



Fonte: Elaboração Própria

FIG. 4.3: Conjuntos *Fuzzy* para VE *Transit Time* - Exemplo

Considerando-se as variáveis qualitativas, pode-se tomar como exemplo o atributo confiabilidade.

Apesar de não ser necessária a fuzificação de variáveis qualitativas, conforme citado anteriormente, solicita-se que

os especialistas atribuem termos lingüísticos (baixa, média, alta etc.) a graus de avaliação em uma escala que varia de 1 a 10 para cada variável.

Os GdC referentes aos termos lingüísticos atribuídos à variável confiabilidade são apresentados na TAB. 4.3.

TAB. 4.3: Graus de Certeza para a Variável Qualitativa Confiabilidade - Exemplo

	Termo lingüístico	Graus Atribuídos									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
GdC (%)	Baixa	100	100	85	70	0	0	0	0	0	0
	Média	0	0	15	30	100	90	60	40	10	0
	Alta	0	0	0	0	0	10	40	60	90	100

Fonte: Elaboração Própria

A partir dos GdC são estruturados os conjuntos *fuzzy*, apresentados na FIG. 4.4.

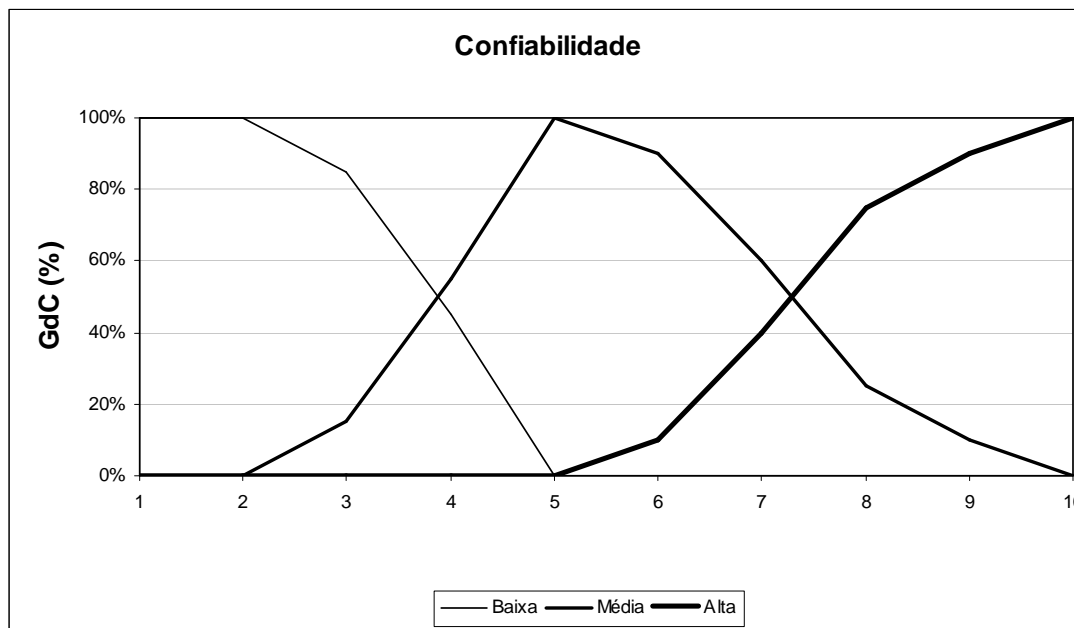


FIG. 4.4: Conjuntos *Fuzzy* da Variável Confiabilidade - Exemplo

Resumidamente, os seguintes passos devem ser seguidos no processo de estruturação dos conjuntos *fuzzy*: (i) elaboração de formulários para extração da opinião de especialistas sobre os termos lingüísticos determinados para as variáveis, sendo essas quantitativas ou qualitativas; (ii) tabulação das informações obtidas a fim de determinar os graus de certeza para composição de cada conjunto *fuzzy* e (iii) determinação

dos conjuntos *fuzzy* das variáveis de entrada, intermediárias e de saída.

4.5 DEFINIÇÃO DAS VARIÁVEIS INTERMEDIÁRIAS (VI)

As nove variáveis intermediárias apresentadas na FIG. 4.2 são caracterizadas como variáveis de entrada dos blocos de inferência das camadas intermediárias da rede *Neuro-Fuzzy*.

TAB. 4.4: Termos Lingüísticos Atribuídos às Variáveis Intermediárias

Descrição	Termos Lingüísticos		
Custos Totais	Baixo	Médio	Alto
Tempo	Lento	Moderado	Rápido
Segurança	Baixa	Média	Alta
Serviços Logísticos	Pouco	Moderado	Muito
Características Físicas	Ruim	Regular	Bom
Operação Modal	Ruim	Regular	Bom
Infra-estrutura Modal	Ruim	Regular	Bom
Características do Modal	Ruim	Regular	Bom
Nível de Serviço	Ruim	Regular	Bom

Fonte: Elaboração Própria

4.6 INFERÊNCIA FUZZY

Após a etapa de fuzificação das variáveis de entrada, sendo essas quantitativas ou qualitativas, faz-se a operação dos blocos de inferência *fuzzy* (BI).

Os BI são compostos por base de regras SE-ENTÃO, atuando como um sistema especialista *fuzzy*. Essa base de regras gera variáveis de saída a partir de processamentos das variáveis de entrada.

Através dos operadores MIN-MAX, apresentados no Capítulo 3, seção 3.2.6, as regras SE-ENTÃO são computadas, obtendo-se um vetor lingüístico para cada variável intermediária e para a

variável de saída do modelo, com os termos lingüísticos definidos pelos especialistas anteriormente.

Cada uma das regras possui um fator de ponderação, denominado Fator de Certeza (FC), cujo valor pertence ao intervalo $[0,1]$ e sua função é indicar o grau de importância de cada regra na base de regras *fuzzy*, conforme descrito no capítulo 3. Segundo VEIGA apud CURY (1999), os FC devem ser definidos exclusivamente pelos especialistas.

A inferência *fuzzy* é composta por duas etapas: (i) agregação, que diz respeito à parte SE das regras *fuzzy* e (ii) composição, referente à parte ENTÃO das regras. A agregação é caracterizada por operações de ponderação utilizando o operador MIN. Essas operações resultam na determinação dos GdC de cada regra, ponderados pelos respectivos fatores de certeza.

Em contrapartida, a composição se caracteriza pela obtenção do vetor lingüístico da variável de saída da UPIF em questão, cuja operação é realizada pelo operador MAX. Na TAB. 4.5 é exemplificada uma base hipotética de regras.

TAB. 4.5: Base de Regras *Fuzzy* - Exemplo Genérico

Regra	SE				ENTÃO	
	VE ₁		VE ₂		VS	
	Termo Linguístico	GdC	Termo Linguístico	GdC	Termo Linguístico	FC _k
1	Baixo	0,30	Baixo	0,10	Baixo	0,8
2	Baixo	0,30	Médio	0,60	Baixo	0,8
3	Baixo	0,30	Alto	0,30	Médio	0,7
4	Médio	0,70	Baixo	0,10	Baixo	0,8
5	Médio	0,70	Médio	0,60	Médio	0,7
6	Médio	0,70	Alto	0,30	Alto	0,9
7	Alto	0,00	Baixo	0,10	Médio	0,7
8	Alto	0,00	Médio	0,60	Alto	0,9
9	Alto	0,00	Alto	0,30	Alto	0,9

Fonte: Elaboração Própria, baseado em CURY (1999)

A inferência *fuzzy* ocorre a partir da base de regras, gerando o vetor lingüístico da VS, obtido por meio das etapas de agregação e composição. Na TAB. 4.6 é apresentado um exemplo hipotético de inferência *fuzzy*.

TAB. 4.6: Inferência *Fuzzy* - Exemplo Hipotético

Agregação	
Regra 1	$FC_1 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Baixo}}, \text{GdC}_{\text{Baixo}}\} = 0,8 \cdot \text{MIN}\{0,30; 0,10\} = 0,08$
Regra 2	$FC_2 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Baixo}}, \text{GdC}_{\text{Médio}}\} = 0,8 \cdot \text{MIN}\{0,30; 0,60\} = 0,24$
Regra 3	$FC_3 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Baixo}}, \text{GdC}_{\text{Alto}}\} = 0,7 \cdot \text{MIN}\{0,30; 0,30\} = 0,21$
Regra 4	$FC_4 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Médio}}, \text{GdC}_{\text{Ruim}}\} = 0,8 \cdot \text{MIN}\{0,70; 0,10\} = 0,08$
Regra 5	$FC_5 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Médio}}, \text{GdC}_{\text{Médio}}\} = 0,7 \cdot \text{MIN}\{0,70; 0,60\} = 0,42$
Regra 6	$FC_6 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Médio}}, \text{GdC}_{\text{Alto}}\} = 0,9 \cdot \text{MIN}\{0,70; 0,30\} = 0,27$
Regra 7	$FC_7 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Alto}}, \text{GdC}_{\text{Baixo}}\} = 0,7 \cdot \text{MIN}\{0,00; 0,10\} = 0,00$
Regra 8	$FC_8 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Alto}}, \text{GdC}_{\text{Médio}}\} = 0,9 \cdot \text{MIN}\{0,00; 0,60\} = 0,00$
Regra 9	$FC_9 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Alto}}, \text{GdC}_{\text{Alto}}\} = 0,9 \cdot \text{MIN}\{0,00; 0,30\} = 0,00$
Composição	
$\text{GdC}_{\text{Custos Diretos}} = \text{MAX}\{FC_1 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Baixo}}, \text{GdC}_{\text{Baixo}}\}, \dots, FC_9 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Alto}}, \text{GdC}_{\text{Alto}}\}\}$	
$\text{GdC}_{\text{Custos Diretos}} = \{ \text{Baixo} = 0,24 ; \text{Médio} = 0,42 ; \text{Alto} = 0,27 \}$	

Fonte: Elaboração Própria

Cada UPIF é processada da maneira descrita anteriormente, até que se obtenha a variável de saída, que, para o presente modelo, representa a efetividade das opções de transporte existentes, ou seja, o Grau de Efetividade Modal - GEM.

4.7 TRATAMENTO DA VARIÁVEL DE SAÍDA (DEFUZIFICAÇÃO)

A fim de viabilizar comparações entre as possíveis opções de transporte, torna-se necessário o processo de defuzificação do vetor lingüístico do GEM, transformando-o em um número real, cujo valor pertence ao intervalo $[0,1]$, que é utilizado para comparação das opções propostas.

Para tal, utilizar-se-á o método do Centro de Máximos (CM), também conhecido como Centro de Gravidade (CG) visando o tratamento da variável de saída. Esse método é um dos mais utilizados para transformar um resultado lingüístico em um resultado numérico (CURY, 1999).

O cálculo do GEM de cada alternativa de transporte é feito a partir da aplicação da EQ. 4.1.

$$GEM_{Final} = \frac{\sum_{i=1}^n GdC_i \cdot X_i}{\sum_{i=1}^n GdC_i} \quad \text{EQ. 4.1}$$

onde GdC_i são os graus de certeza dos termos lingüísticos da variável de saída e X_i são os valores da escala definida para o GEM que correspondem aos máximos dos conjuntos *fuzzy* da VS.

Pode-se dizer então que o GEM é, na verdade, o valor máximo dos conjuntos *fuzzy* ponderado pelos graus de certeza de cada termo lingüístico da VS.

O valor numérico do GEM, estabelecido no intervalo [0,1], representa a efetividade de cada alternativa, e portanto, é utilizado para comparação entre as opções propostas pré-determinadas.

4.8 CONCLUSÃO

A tecnologia *Neuro-Fuzzy* se mostra adequada à convergência de informações referentes ao modelo de escolha modal proposto, aplicado ao problema selecionado (transporte de soja entre Rondonópolis e Vitória) como exemplo de aplicação, apresentado no Capítulo 5.

A partir da variável de saída do modelo, ou seja, do GEM, é possível a comparação entre as opções modais considerando variáveis referentes a custo e nível de serviço, quantitativas e qualitativas.

5 ESTUDO DE CASO

Para melhor entendimento do modelo proposto, este capítulo tem por finalidade apresentar um exemplo de aplicação da metodologia proposta para escolha modal, apresentada no capítulo 4.

Pretende-se, portanto, abordar opções existentes para o transporte da soja produzida em Rondonópolis, Mato Grosso, para exportação pelo porto de Vitória, no Espírito Santo. Para estruturar os conjuntos *fuzzy* referentes às variáveis de entradas quantitativas, são consideradas informações reais das opções de transporte disponíveis.

Nas próximas seções são apresentadas as comparações entre as opções modais disponíveis para o exemplo de aplicação proposto.

5.1 DIAGNÓSTICO E CARACTERIZAÇÃO DAS OPÇÕES DE TRANSPORTE

Deseja-se transportar soja entre as cidades de Rondonópolis, em Mato Grosso, e Vitória, no Espírito Santo, visando a exportação desse produto.

Trata-se portanto de uma carga a granel e essa deve ser transportada em condições estanques, ou seja, sem contato com a umidade ambiente, pois pode haver deterioração da soja no transporte.

Para que esse fluxo seja movimentado, existem duas opções a serem consideradas: (i) alternativa A: rodo-ferroviária, com carregamento no modo rodoviário em Rondonópolis, transbordo rodo-ferroviário em Araguari, intercâmbio ferroviário na estação de Pedreiras e descarga ferroviária no Terminal de Produtos Diversos em Vitória; (ii) alternativa B: rodoviária,

com carregamento no modo rodoviário em Rondonópolis e descarga rodoviária no Terminal de Produtos Diversos em Vitória.

Na FIG. 5.1 são apresentadas as opções de transporte da soja proveniente de Rondonópolis, MT com destino a Vitória, ES.

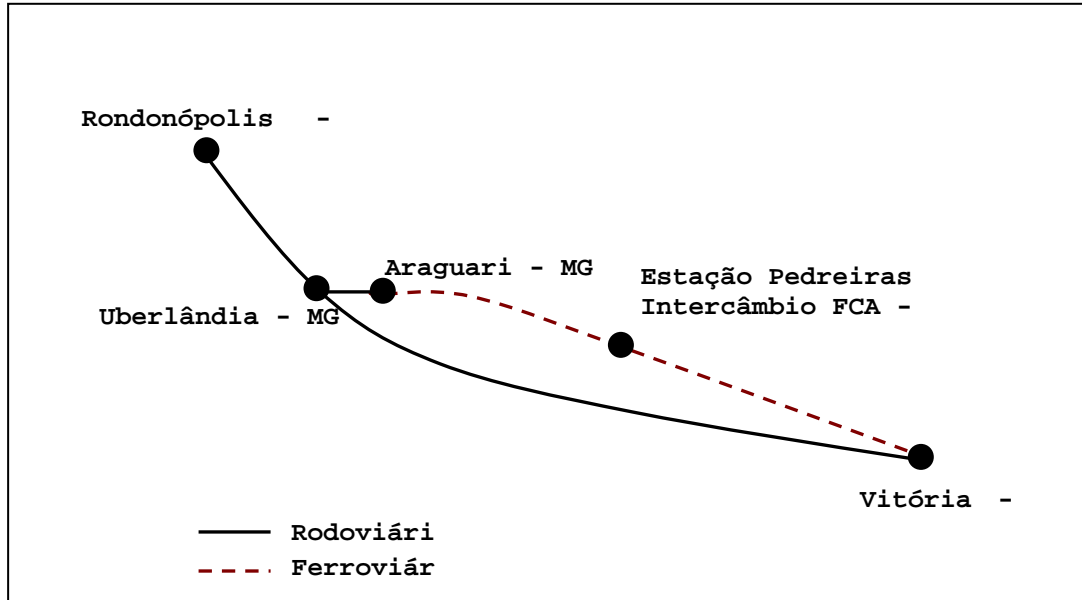


FIG. 5.1: Opções A e B para o Transporte de Soja entre Rondonópolis e Vitória

5.2 LEVANTAMENTO DOS DADOS REFERENTES ÀS VARIÁVEIS DE ENTRADA

É necessário o levantamento dos dados referentes às VE para que sejam estruturados os conjuntos *fuzzy*, os BI e determinados os vetores lingüísticos das VI e VS.

Conforme apresentado no Capítulo 4, o modelo foi estruturado contendo 11 VE, sendo três dessas, quantitativas (Custos de Transporte, Custos Indiretos e *Transit Time*) e as demais, qualitativas. A determinação dos valores dessas variáveis é apresentado nas próximas seções.

5.2.1 DETERMINAÇÃO DOS VALORES PARA AS VE QUANTITATIVAS

Os custos de transporte rodoviário de soja entre Rondonópolis e Vitória, em reais por tonelada e reais por tonelada-km foram levantados junto ao Sistema de Informações de Fretes - SIFRECA (2004), que realiza pesquisas continuamente sobre o transporte de carga, dando destaque a produtos agrícolas.

Considerou-se, como custos indiretos, trinta por cento dos custos totais de transporte, tanto para o modo rodoviário quanto para a opção rodo-ferroviária.

A extensão rodoviária entre as cidades consideradas como origem e destino da soja foi obtida no cadastro de distâncias rodoviárias entre cidades do DNIT (2004).

Por sua vez, os custos e o *transit time* referentes ao trecho ferroviário, entre Araguari e Vitória foram obtidos junto às empresas responsáveis por esse transporte: Ferrovia Centro-Atlântica S.A. e Companhia Vale do Rio Doce.

Uma estimativa média do *transit time* total foi feita considerando o tempo efetivamente em trânsito (hora marcha e hora parada) e o tempo de carga e descarga nos terminais.

As características de cada opção, referentes à origem e destino do transporte, à extensão rodoviária e rodo-ferroviária, ao custo por tonelada transportada e ao *transit time*, são apresentadas na TAB. 5.1.

TAB. 5.1: Características das Opções de Transporte entre Rondonópolis e Vitória

Alternativa modal	Origem	Destino	Distância (km)	Modo	Empresa	Frete (R\$/t)	Momento (R\$/tkm)	Custo total (R\$/t)	Transit Time (h)	Transit time total (h)
A	Rondonópolis	Araguari	845	Rodoviário		68,45	0,0810	97,84	48:00	143:00
	Terminal	Araguari	0	Rodo-ferroviário					24:00	
	Araguari	Pedreiras	767	Ferroviário	FCA	16,00	0,0209		28:00	
	Pedreiras	Vitória	603	Ferroviário	EFVM	13,39	0,0222		43:00	
B	Rondonópolis	Vitória	1908	Rodoviário		156,84	0,0822	156,84	120:00	120:00

De forma resumida, apresentam-se, na TAB. 5.2, os valores atribuídos às variáveis quantitativas do modelo.

TAB. 5.2: Valores Atribuídos às VE Quantitativas do Modelo Proposto

Parâmetro	Valor Atribuído	
	A	B
Custo de Transporte	R\$ 97,84	R\$ 156,84
Custo Indireto	R\$ 29,35	R\$ 47,05
Transit time	143 hs	120 hs

5.2.2 VALORES ATRIBUÍDOS PELOS ESPECIALISTAS PARA AS VE QUALITATIVAS

Para levantamento da opinião de especialistas sobre as variáveis intervenientes na escolha do modo de transporte mais adequado, foi elaborado o questionário apresentado no Apêndice I. Considerando a restrição de tempo hábil para agendamento e realização das entrevistas com os especialistas, a aplicação dos questionários foi simulada atribuindo notas avaliativas a cada variável qualitativa, em uma escala de 1 a 10. Essas notas são apresentadas na TAB. 5.3.

TAB. 5.3: Valores Atribuídos às VE Qualitativas do Modelo Proposto

Esp.	VE Qualitativas															
	Valor Agregado da Carga		Frequência de Transporte		Perdas e Danos		Confiabilidade		Disponibilidade de Informações		Instalações Logísticas		Acessibilidade		Flexibilidade	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
1	9	9	5	9	7	8	8	9	9	6	8	6	7	8	8	7
2	8	8	6	7	6	6	8	9	10	5	9	6	7	9	8	5
3	7	7	4	9	6	9	5	9	9	6	8	6	7	8	8	7
4	8	8	6	7	6	6	8	8	10	4	9	6	6	8	9	7
5	8	8	6	8	8	9	6	7	10	6	9	5	8	10	9	7
6	10	10	6	6	6	5	7	7	10	4	10	5	8	9	10	6
7	9	9	6	8	7	8	7	9	10	5	9	5	6	8	9	7
8	9	9	6	9	8	9	7	8	10	7	9	6	8	9	8	6
9	10	10	6	8	5	6	7	8	10	7	9	6	6	8	9	7
10	9	9	5	6	7	6	7	7	9	4	8	2	3	9	8	4
11	9	9	8	9	8	8	9	9	10	6	9	6	7	8	10	7
12	8	8	5	6	7	7	8	8	9	5	8	5	7	9	8	4
13	9	9	5	9	7	9	7	9	9	8	8	8	7	9	9	8
14	9	9	8	9	9	9	8	9	10	7	10	5	6	8	9	8
15	7	7	4	5	5	6	4	4	8	5	7	2	6	8	8	4
16	9	9	5	6	7	7	5	6	6	5	10	6	4	8	9	7
17	9	9	5	6	7	7	8	8	9	3	8	2	7	8	8	3
18	9	9	5	6	6	9	8	6	9	4	9	5	7	9	9	5
19	9	9	8	8	5	6	4	5	5	3	5	2	5	10	9	5
20	8	8	6	9	6	7	8	8	8	6	8	6	6	8	9	6

5.3 FUZIFICAÇÃO

Conforme detalhado no capítulo 3, é necessária a determinação dos conjuntos *fuzzy* para cada uma das variáveis de entrada, intermediárias e de saída.

Para uma exemplificação do processo de fuzificação, serão considerados dois parâmetros, sendo um quantitativo e outro qualitativo.

Como exemplo de fuzificação de um parâmetro quantitativo temos a VE *Transit Time*. A opinião de 20 especialistas sobre diferentes valores de *Transit Time* foram simuladas apontando a correspondência dos termos lingüísticos (baixo, médio e alto) com os respectivos valores. Para cada valor foi atribuído 1 ou 0, para correspondências positivas ou negativas, respectivamente, conforme apresentado na TAB. 5.4.

A partir do cálculo do percentual de respostas afirmativas para cada termo lingüístico associado a cada uma das faixas de valores de *transit time* simulados, são construídos os conjuntos *fuzzy* para cada termo lingüístico, apresentados na FIG. 5.2. Esse percentual representa o grau de certeza (GdC) atribuído a cada termo.

TAB. 5.4: Fuzificação da VE *Transit Time*

Especialista	Termo linguístico	Tempo em trânsito (horas)								
		< 24	24-48	49-72	73-96	97-120	121-144	145-168	169-192	> 192
1	Baixo	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	Médio	0	0	0	1	1	1	0	0	0
	Alto	0	0	0	0	0	0	1	1	1
2	Baixo	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	Médio	0	0	1	1	1	0	0	0	0
	Alto	0	0	0	0	0	1	1	1	1
3	Baixo	1	1	1	1	0	0	0	0	0
	Médio	0	0	0	0	1	1	1	0	0
	Alto	0	0	0	0	0	0	0	1	1
4	Baixo	1	1	1	1	0	0	0	0	0
	Médio	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	Alto	0	0	0	0	0	1	1	1	1
5	Baixo	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	Médio	0	0	1	1	1	1	0	0	0
	Alto	0	0	0	0	0	0	1	1	1
6	Baixo	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	Médio	0	0	1	1	1	0	0	0	0
	Alto	0	0	0	0	0	1	1	1	1
7	Baixo	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	Médio	0	0	1	1	1	1	0	0	0
	Alto	0	0	0	0	0	0	1	1	1
8	Baixo	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	Médio	0	0	0	1	1	1	0	0	0
	Alto	0	0	0	0	0	0	1	1	1
9	Baixo	1	1	1	1	0	0	0	0	0
	Médio	0	0	0	0	1	1	0	0	0
	Alto	0	0	0	0	0	0	1	1	1
10	Baixo	1	1	1	1	0	0	0	0	0
	Médio	0	0	0	0	1	1	1	0	0
	Alto	0	0	0	0	0	0	0	1	1
11	Baixo	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	Médio	0	0	1	1	1	1	1	0	0
	Alto	0	0	0	0	0	0	0	1	1
12	Baixo	1	1	1	1	0	0	0	0	0
	Médio	0	0	0	0	1	1	0	0	0
	Alto	0	0	0	0	0	0	1	1	1
13	Baixo	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	Médio	0	0	1	1	1	0	0	0	0
	Alto	0	0	0	0	0	1	1	1	1
14	Baixo	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	Médio	0	0	1	1	1	0	0	0	0
	Alto	0	0	0	0	0	1	1	1	1
15	Baixo	1	1	1	1	0	0	0	0	0
	Médio	0	0	0	0	1	1	1	0	0
	Alto	0	0	0	0	0	0	0	1	1
16	Baixo	1	1	1	1	0	0	0	0	0
	Médio	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	Alto	0	0	0	0	0	1	1	1	1
17	Baixo	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	Médio	0	0	1	1	1	0	0	0	0
	Alto	0	0	0	0	0	1	1	1	1
18	Baixo	1	1	1	1	0	0	0	0	0
	Médio	0	0	0	0	1	1	0	0	0
	Alto	0	0	0	0	0	0	1	1	1
19	Baixo	1	1	1	1	0	0	0	0	0
	Médio	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	Alto	0	0	0	0	0	1	1	1	1
20	Baixo	1	1	1	1	0	0	0	0	0
	Médio	0	0	0	0	1	1	0	0	0
	Alto	0	0	0	0	0	0	1	1	1
GdC (%)	Baixo	100%	100%	60%	50%	0%	0%	0%	0%	0%
	Médio	0%	0%	40%	50%	100%	60%	20%	0%	0%
	Alto	0%	0%	0%	0%	0%	40%	80%	100%	100%

Como exemplo, tem-se que 100% dos avaliadores simulados atribuíram o termo lingüístico ALTO a um *transit time* maior que 192 horas. Assim, um *transit time* maior que 192 horas pertence ao conjunto BAIXO com 0% de certeza, ao conjunto MÉDIO com GdC = 0% e ao conjunto ALTO, com 100% de certeza.

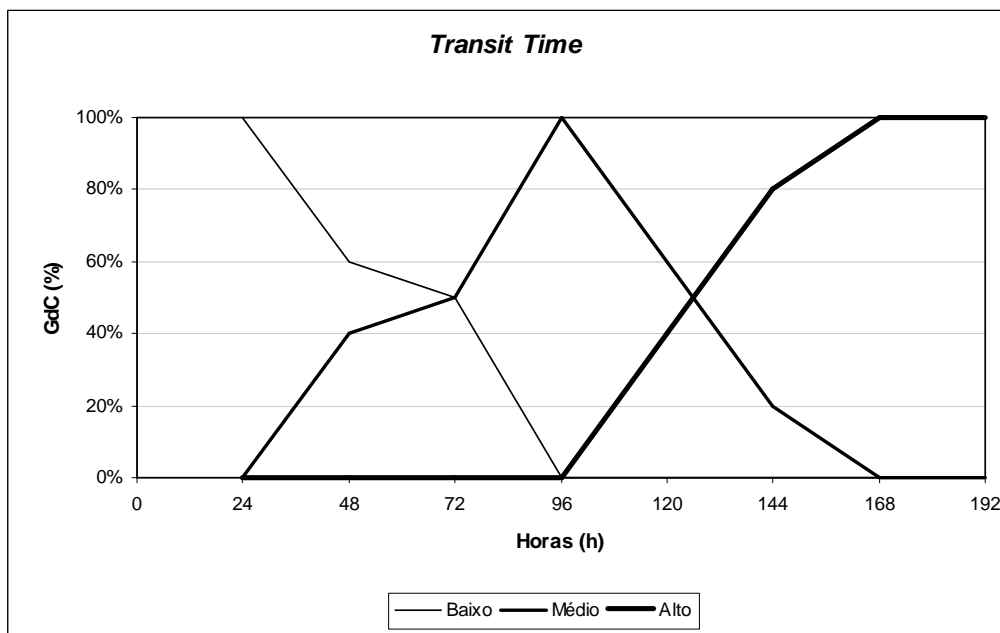


FIG. 5.2: Conjunto *Fuzzy* para a VE *Transit Time*

Na TAB. 5.5 são apresentados os vetores lingüísticos de cada VE quantitativa para os valores definidos na TAB. 5.2.

TAB. 5.5: Vetores Lingüísticos para as VE Quantitativas

Parâmetro	Termo Lingüístico	Grau de certeza	
		A	B
Custo de Transporte	Valor Atribuído	97,84	156,84
	Baixo	40%	0%
	Médio	60%	50%
	Alto	0%	50%
Custo Indireto	Valor Atribuído	29,352	47,052
	Baixo	70%	0%
	Médio	30%	85%
	Alto	0%	15%
Transit time	Valor Atribuído	143	120
	Baixo	0%	0%
	Médio	60%	100%
	Alto	40%	0%

Considerando a VE qualitativa Perdas e Danos, a opinião dos especialistas foi simulada atribuindo os termos lingüísticos BAIXA, MÉDIA E ALTA a graus de avaliação em uma escala de 1 a 10. Como exemplo, tem-se o vetor lingüístico para o grau 8, considerado BAIXA por 85% dos especialistas, MÉDIA por 15% e ALTA por 0% dos especialistas. Na TAB. 5.6 são apresentados os parâmetros para fuzificação da VE Perdas e Danos. E ainda, na FIG. 5.3 são apresentados os conjuntos *fuzzy* para a VE Perdas e Danos.

As tabelas de fuzificação das VE e os gráficos contendo os conjuntos *fuzzy* de cada VE são apresentados no Apêndice II.

TAB. 5.6: Fuzificação da VE Perdas e Danos

Especialista	Termo linguístico	Nota atribuída à variável PERDAS E DANOS									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Baixa	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
	Média	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0
	Alta	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
2	Baixa	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
	Média	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0
	Alta	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
3	Baixa	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
	Média	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
	Alta	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
4	Baixa	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
	Média	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0
	Alta	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	Baixa	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
	Média	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0
	Alta	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	Baixa	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
	Média	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0
	Alta	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
7	Baixa	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
	Média	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0
	Alta	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
8	Baixa	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
	Média	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0
	Alta	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
9	Baixa	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
	Média	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0
	Alta	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
10	Baixa	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
	Média	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0
	Alta	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
11	Baixa	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
	Média	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0
	Alta	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
12	Baixa	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
	Média	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
	Alta	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
13	Baixa	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
	Média	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0
	Alta	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
14	Baixa	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
	Média	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0
	Alta	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	Baixa	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
	Média	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
	Alta	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
16	Baixa	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
	Média	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0
	Alta	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
17	Baixa	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
	Média	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0
	Alta	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
18	Baixa	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
	Média	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0
	Alta	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
19	Baixa	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
	Média	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0
	Alta	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
20	Baixa	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
	Média	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0
	Alta	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
GdC (%)	Baixa	0%	0%	0%	0%	0%	20%	65%	85%	100%	100%
	Média	0%	15%	45%	80%	100%	80%	35%	15%	0%	0%
	Alta	100%	85%	55%	20%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

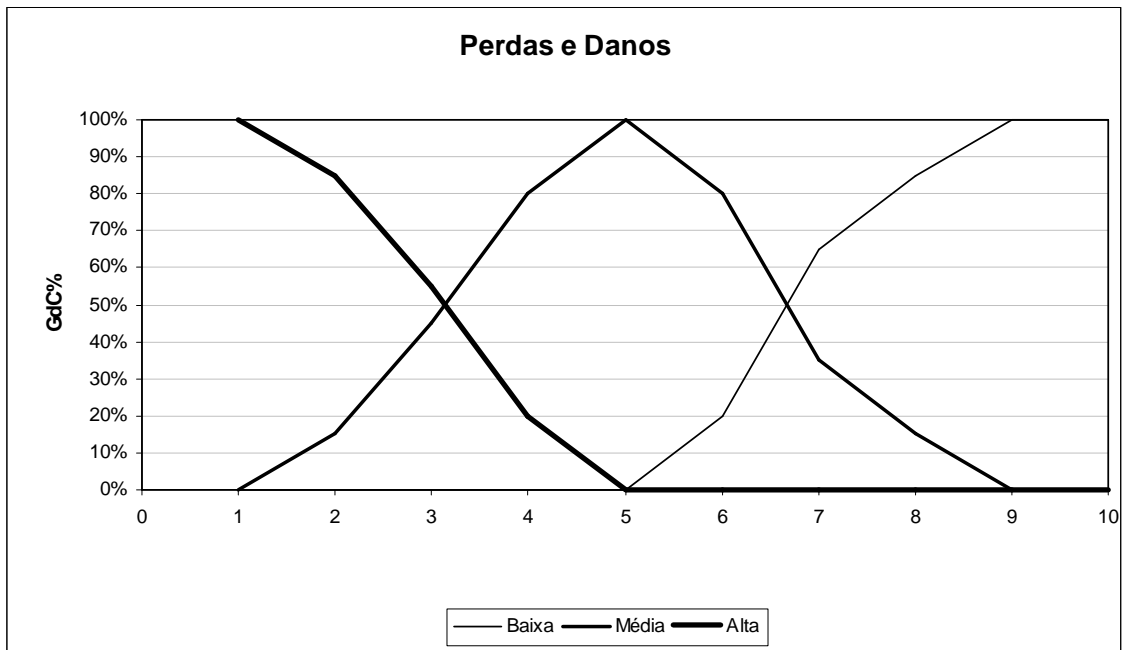


FIG. 5.3: Conjunto Fuzzy para a VE Qualitativa Perdas e Danos

Considerando as variáveis qualitativas, foi simulada a opinião do especialista para atribuir um grau, em uma escala de 1 a 10, que qualifique as VE para cada alternativa. Como exemplo, tem-se a atribuição de graus simulada pelo especialista 1 para a VE Perdas e Danos, sendo: (i) alternativa A, 7; e (ii) alternativa B, 8.

Considerando apenas os critérios simulados pelo especialista 1 para atribuição de valores às VE das opções de transporte, os vetores lingüísticos dessas VE são apresentados na TAB. 5.7.

TAB. 5.7: Vetores Lingüísticos para as VE Qualitativas para o Especialista 1

Parâmetro	Termo Linguístico	Grau de certeza	
		A	B
Valor Agregado da Carga	Valor Atribuído	9	9
	Baixo	100%	100%
	Médio	0%	0%
	Alto	0%	0%
Frequencia da oferta	Valor Atribuído	5	9
	Baixa	0%	0%
	Média	100%	0%
	Alta	0%	100%
Transit time	Valor Atribuído	143	120
	Baixo	0%	0%
	Médio	60%	100%
	Alto	40%	0%
Perdas e Danos	Valor Atribuído	7	8
	Baixa	65%	85%
	Média	35%	15%
	Alta	0%	0%
Confiabilidade	Valor Atribuído	8	9
	Baixa	0%	0%
	Média	25%	10%
	Alta	75%	90%
Disponibilidade de Informações	Valor Atribuído	9	6
	Baixa	0%	0%
	Média	0%	90%
	Alta	100%	10%
Instalações Logísticas	Valor Atribuído	8	6
	Pouco	0%	0%
	Moderado	20%	80%
	Muito	80%	20%
Acessibilidade	Valor Atribuído	7	8
	Baixa	0%	0%
	Média	30%	10%
	Alta	70%	90%
Flexibilidade	Valor Atribuído	8	7
	Baixa	0%	0%
	Média	10%	50%
	Alta	90%	50%

5.4 INFERÊNCIA FUZZY

Após a determinação dos termos lingüísticos para cada VE, agrupam-se esses termos para a formação da base de regras de cada bloco de inferência (BI). Na TAB. 5.8 são apresentadas as regras para inferência de BI-1.

TAB. 5.8: Base de Regras *Fuzzy* do Bloco de Inferência BI-1

Regra	SE		ENTÃO
	Custo de Transporte	Custo Indireto	Custos
1	Baixo	Baixo	Baixo
2	Baixo	Médio	Baixo
3	Baixo	Alto	Médio
4	Médio	Baixo	Baixo
5	Médio	Médio	Médio
6	Médio	Alto	Alto
7	Alto	Baixo	Médio
8	Alto	Médio	Alto
9	Alto	Alto	Alto

Conforme descrito no capítulo 4, o Bloco de Inferência é composto pela agregação, determinada pela parte SE da inferência *fuzzy*, onde são combinadas as condições definidas pelos termos lingüísticos e pela composição, determinada pela parte ENTÃO, que define o resultado da avaliação, atribuindo um termo lingüístico à saída do BI. Assim, tomando a regra 1 como exemplo, tem-se que, se o Custo de Transporte é BAIXO e o Custo Indireto é BAIXO, então os Custos Totais são BAIXOS.

Conforme detalhado na seção 4.6 do capítulo 4, cada regra de um BI é caracterizada por um fator de certeza (FC). Os FC são obtidos a partir da média aritmética dos FC atribuídos por cada avaliados para cada regra. Os blocos de inferência *fuzzy* com seus respectivos FC são apresentados no Apêndice II, TAB. II.12 a TAB. II.21.

A partir das equações apresentadas em EQ. 3.15, é feito o processo de agregação e composição, ou seja, a inferência *fuzzy*, considerando-se os valores das variáveis qualitativas simulados para cada especialista. Na TAB. 5.9 é mostrado um exemplo desse processo para a VI Custos Totais, considerando-se os valores simulados para o Especialista 1.

TAB. 5.9: Processo de Inferência *Fuzzy* para a VI Custos Totais - Especialista 1

Agregação	
Regra 1 : $FC_1 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Baixo}}, \text{GdC}_{\text{Baixo}}\}$	$= 1,0 \cdot \text{MIN}\{0,4 ; 0,7\} = 0,40$
Regra 2 : $FC_2 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Baixo}}, \text{GdC}_{\text{Médio}}\}$	$= 0,8 \cdot \text{MIN}\{0,4 ; 0,3\} = 0,23$
Regra 3 : $FC_3 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Baixo}}, \text{GdC}_{\text{Alto}}\}$	$= 0,6 \cdot \text{MIN}\{0,4 ; 0,0\} = 0,00$
Regra 4 : $FC_4 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Médio}}, \text{GdC}_{\text{Ruim}}\}$	$= 0,9 \cdot \text{MIN}\{0,6 ; 0,7\} = 0,51$
Regra 5 : $FC_5 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Médio}}, \text{GdC}_{\text{Médio}}\}$	$= 0,8 \cdot \text{MIN}\{0,6 ; 0,3\} = 0,24$
Regra 6 : $FC_6 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Médio}}, \text{GdC}_{\text{Alto}}\}$	$= 0,9 \cdot \text{MIN}\{0,6 ; 0,0\} = 0,00$
Regra 7 : $FC_7 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Alto}}, \text{GdC}_{\text{Baixo}}\}$	$= 0,7 \cdot \text{MIN}\{0,0 ; 0,7\} = 0,00$
Regra 8 : $FC_8 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Alto}}, \text{GdC}_{\text{Médio}}\}$	$= 0,8 \cdot \text{MIN}\{0,0 ; 0,3\} = 0,00$
Regra 9 : $FC_9 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Alto}}, \text{GdC}_{\text{Alto}}\}$	$= 1,0 \cdot \text{MIN}\{0,0 ; 0,0\} = 0,00$

Composição	
$\text{GdC}_{\text{Custos}} = \text{MAX}\{FC_1 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Baixo}}, \text{GdC}_{\text{Baixo}}\}, \dots, FC_9 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Alto}}, \text{GdC}_{\text{Alto}}\}\}$	
$\text{GdC}_{\text{Custos}} =$	{ Baixo = 0,51 ; Médio = 0,24 ; Alto = 0,00 }

Os vetores lingüísticos das VI e da VS, originados a partir dos BI-1 a BI-10, para o Especialista 1, são apresentados na TAB. 5.10. Os BI contendo as agregações e as composições encontram-se no Apêndice II.

TAB. 5.10: Vetores Lingüísticos das VI e da VS - Especialista 1

Parâmetro	Termo Linguístico	GdC	
		Alternativa A	Alternativa B
Custos Totais	Baixo	51%	0%
	Médio	24%	40%
	Alto	0%	39%
Tempo	Lento	34%	0%
	Moderado	38%	0%
	Rápido	0%	79%
Segurança	Baixa	0%	0%
	Média	16%	6%
	Alta	65%	85%
Serviços Logísticos	Pouco	0%	0%
	Moderado	0%	70%
	Muito	80%	13%
Características Físicas	Ruim	0%	0%
	Regular	9%	9%
	Bom	70%	50%
Operação Modal	Ruim	13%	0%
	Regular	23%	0%
	Bom	29%	79%
Infra-estrutura Modal	Ruim	0%	0%
	Regular	0%	7%
	Bom	70%	37%
Características do Modal	Ruim	0%	0%
	Regular	9%	0%
	Bom	29%	37%
Nível de Serviço	Ruim	7%	0%
	Regular	18%	23%
	Bom	0%	0%
Grau de Efetividade Modal	Baixo	6%	18%
	Médio	13%	17%
	Alto	15%	0%

Todo o processo de inferência *fuzzy* é processado para os 20 especialistas simulados, considerando os atributos quantitativos e qualitativos.

5.5 DEFUZIFICAÇÃO

A defuzificação, conforme descrito no capítulo 3, permite a obtenção de um grau quantitativo atribuído ao vetor lingüístico da variável de saída - GEM - de cada alternativa. Esse grau permite a comparação entre as opções propostas para o transporte da soja.

Utilizando-se o método do centro de gravidade apresentado na seção 4.7, cuja aplicação é feita a partir da EQ. 4.1 do capítulo 4, desenvolve-se o processo de defuzificação.

Na FIG. 5.4 são apresentados os conjunto *fuzzy* obtidos para a variável de saída Grau de Efetividade Modal.

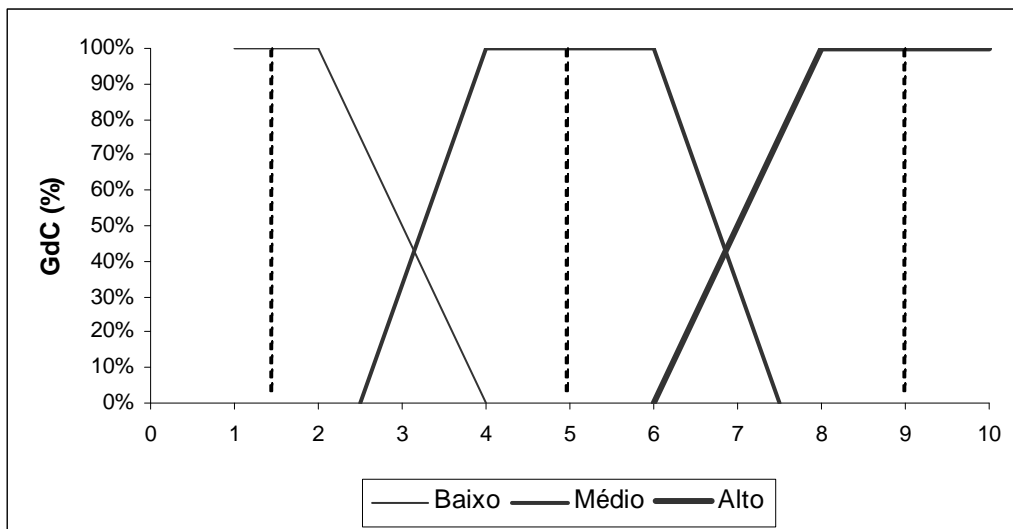


FIG. 5.4: Conjuntos *Fuzzy* para a Variável de Saída GEM

Aplicando-se a EQ. 4.1, calcula-se o valor quantitativo do GEM para cada alternativa e para cada especialista. A seguir são apresentados os GEM das opções de transporte para os valores atribuídos às VE qualitativas pelo especialista 1.

$$GEM_{A\ Final} = \frac{\sum_{i=1}^n GdC_i \cdot X_i}{\sum_{i=1}^n GdC_i} = \frac{(1,50 \cdot 0,06) + (5,00 \cdot 0,13) + (9,00 \cdot 0,15)}{0,06 + 0,13 + 0,15} = 6,16$$

$$GEM_{B\ Final} = \frac{\sum_{i=1}^n GdC_i \cdot X_i}{\sum_{i=1}^n GdC_i} = \frac{(1,50 \cdot 0,18) + (5,00 \cdot 0,17) + (9,00 \cdot 0,00)}{0,18 + 0,17 + 0,00} = 3,21$$

O GEM final de cada alternativa é média aritmética dos valores resultantes da defuzificação de cada um dos 20 especialistas simulados. Na TAB. 5.11 são apresentados os vetores lingüísticos da VS GEM para cada especialista e o GEM defuzificado.

TAB. 5.11: Vetores Lingüísticos e Valores Defuzificados para a VS GEM segundo os Especialistas

Esp.	Opção A				Opção B			
	Baixo	Médio	Alto	GEM	Baixo	Médio	Alto	GEM
1	0,06	0,13	0,15	6,16	0,18	0,17	0,00	3,21
2	0,06	0,13	0,15	6,16	0,19	0,18	0,00	3,21
3	0,13	0,11	0,13	5,15	0,18	0,17	0,00	3,21
4	0,06	0,13	0,15	6,16	0,18	0,17	0,00	3,21
5	0,04	0,13	0,15	6,51	0,18	0,17	0,00	3,21
6	0,13	0,11	0,12	5,11	0,11	0,11	0,00	3,21
7	0,08	0,13	0,15	5,86	0,18	0,17	0,00	3,21
8	0,04	0,13	0,15	6,51	0,17	0,16	0,00	3,21
9	0,13	0,11	0,12	5,11	0,17	0,16	0,00	3,21
10	0,08	0,13	0,15	5,86	0,21	0,09	0,00	2,54
11	0,02	0,18	0,25	7,03	0,18	0,17	0,00	3,21
12	0,06	0,13	0,15	6,16	0,18	0,17	0,00	3,21
13	0,08	0,13	0,15	5,86	0,30	0,29	0,00	3,21
14	0,00	0,18	0,25	7,34	0,17	0,16	0,00	3,21
15	0,15	0,12	0,06	4,13	0,32	0,05	0,00	1,98
16	0,08	0,13	0,15	5,86	0,18	0,17	0,00	3,21
17	0,06	0,13	0,15	6,16	0,23	0,08	0,00	2,45
18	0,06	0,13	0,15	6,16	0,18	0,17	0,00	3,21
19	0,11	0,12	0,14	5,43	0,16	0,15	0,00	3,21
20	0,06	0,13	0,15	6,16	0,25	0,24	0,00	3,21
GEM	5,94				3,08			

Considerando todos os especialistas, os valores de GEM para as opções A e B obtidos a partir da média aritmética dos GEM definidos para cada especialista são apresentados na TAB. 5.12.

TAB. 5.12: Grau de Efetividade Modal para as Opções de Transporte Propostas

GEM	
Opção A	Opção B
5,94	3,08

Uma vez que a proposta a aplicação do modelo objetiva a análise comparativa entre as opções de transporte disponíveis, conclui-se que, a alternativa A, rodo-ferroviária, apresenta maior efetividade no transporte, considerando variáveis referentes ao custo e ao nível de serviço prestado apresentadas no modelo. O GEM não retrata necessariamente a qualidade da opção modal, mas sim, comparativamente, qual das opções mais se aproxima da qualidade esperada pelo cliente.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

6.1 CONCLUSÕES

A partir do advento da logística no contexto empresarial, tornou-se necessário, conforme exposto na introdução do presente trabalho, considerar atributos referentes ao nível de serviço ofertado ao cliente no processo de escolha modal no transporte de cargas. Assim, não basta considerar apenas os custos referentes às atividades de transporte e estoque, mas também variáveis qualitativas como a confiabilidade, a flexibilidade e a acessibilidade dos modos, além da disponibilidade de informações e serviços logísticos para os clientes.

Conforme apresentado no capítulo 2 da presente dissertação, na escolha modal no transporte de cargas, deve-se considerar variáveis quantitativas e qualitativas, a fim de abordar atributos que representem a importância dos custos e do nível de serviço nesse processo decisório.

Métodos de programação linear e algoritmos de rede têm sido frequentemente implementados na busca da solução do problema Escolha Modal. Entretanto, tais métodos consideram apenas variáveis objetivas na estruturação do modelo, não se mostrando adequados à representação da subjetividade de determinados parâmetros.

Além desses métodos, alguns autores têm abordado a escolha modal utilizando métodos de escolha discreta e multicriteriais, que apresentam características que propiciam a consideração de variáveis quantitativas e qualitativas nas análises das opções, bem como a subjetividade. Entretanto, essas ferramentas podem não apresentar grande eficiência quando aplicadas a modelos com elevado número de variáveis ou

com diversas possibilidades de atribuição de valores a cada atributo. Isso se deve à elevada complexidade dos problemas no processo de obtenção da informação a partir dos especialistas e às divergências entre a informação obtida e a real opinião dos mesmos.

Na presente dissertação foi explorada a aplicabilidade da Tecnologia *Neuro-Fuzzy* ao problema da escolha modal no transporte de cargas, tendo em vista as limitações dos outros modelos, sendo devido à complexidade da aplicação considerando-se um grande número de variáveis ou pela dificuldade de consideração da subjetividade no modelo.

Para desenvolvimento do modelo, foram revisados os conceitos de Lógica *Fuzzy* e Redes Neurais, apresentados no capítulo 3 dessa dissertação. Foram abordados os processos de fuzificação, inferência *fuzzy* e defuzificação, utilizados ao longo do desenvolvimento do modelo proposto.

A escolha das variáveis de entrada do modelo foi determinada a partir de uma extensa revisão bibliográfica, abordando diferentes classes de variáveis, referentes a custos, segurança dos modos de transporte, característica da carga, características físicas do modo etc.

O modelo proposto na presente dissertação foi aplicado na escolha modal para o escoamento da soja proveniente de Rondonópolis, MT para exportação pelo porto de Vitória, ES, sendo disponíveis duas opções: (i) opção rodoviária; e (ii) opção rodo-ferroviária.

Os processos de fuzificação, inferência e defuzificação, resultaram na convergência das variáveis de entrada em variáveis intermediárias, e dessas, por sua vez, na variável de saída Grau de Efetividade Modal - GEM. O GEM é uma nota que representa a adequação da opção de transporte às necessidades do cliente. Quanto maior essa nota, mais efetivo é a opção modal.

O estudo de caso demonstrou que essa tecnologia é adequada para a estruturação do modelo de escolha modal proposto. Algumas vantagens podem ser atribuídas a essa aplicação, como a objetividade na obtenção das informações junto aos especialistas, a baixa complexidade matemática da tecnologia e a grande flexibilidade da ferramenta. Essa última vantagem na utilização da Tecnologia *Neuro-Fuzzy* é atribuída à possibilidade de inserção ou retirada de variáveis do modelo de forma simples, seguindo o procedimento de construção apresentado nessa dissertação.

A contribuição do presente trabalho foi a adequação da aplicação da metodologia *Neuro-Fuzzy*, apresentada no trabalho de CURY (1999), ao processo de escolha modal no transporte de cargas.

Essa metodologia poderá ser aplicada a diversos problemas de escolha, que envolvam um número elevado de variáveis quantitativas e qualitativas, e que considerem a experiência do especialista como atributo fundamental no processo decisório, reduzindo o nível de incerteza desses processos.

Além disso, essa ferramenta pode ser utilizada por órgãos governamentais ou empresas privadas que desejam avaliar e priorizar investimentos em infra-estrutura de transportes, confrontando o nível de adequação das opções de transporte existentes e projetadas às necessidades dos clientes, através do Grau de Efetividade Modal.

Pode-se ainda, a partir do desenvolvimento de uma escala que determine o nível de qualidade da opção modal possibilitando assim sua avaliação individual, estabelecer critérios de investimentos visando a manutenção de um nível de serviço com qualidade mínima aos clientes dos modos de transporte ofertados. Assim, o governo pode avaliar a qualidade das infra-estruturas de transportes disponíveis.

6.2 RECOMENDAÇÕES

Primeiramente, recomenda-se a implementação computacional, através da construção de softwares ou da utilização de softwares específicos, a fim de facilitar o processo de desenvolvimento da análise e possibilitar o treinamento da rede. Além disso, a implementação computacional possibilitará a análise de sensibilidade do modelo relacionada às variáveis selecionadas para estruturação do mesmo. Essa análise é interessante para determinar o quanto a variação de cada parâmetro impacta o Grau de Efetividade Modal para cada alternativa.

A partir da análise de sensibilidade podem ser definidos desdobramentos de variáveis a fim de detalhar o impacto das variações dos parâmetros no modelo, de forma mais refinada. Como exemplo tem-se a possibilidade de desdobramento da variável *Transit Time* em duas variáveis: tempo em movimento e tempo parado.

Outra sugestão para estudos futuros é a consideração de parâmetros que associem o modelo não só às características das opções de transporte disponíveis, mas também às estratégias de estoque adotadas pelas empresas. Uma vez que a logística empresarial objetiva o equilíbrio entre as atividades de estoque e transportes visando a manutenção dos custos e do nível de serviço adequados às necessidades do mercado, é fundamental a consideração do contexto logístico na análise. Sugere-se então, para trabalhos futuros, a consideração de variáveis com os custos de estoque, condições de armazenagem e as estratégias de atendimento ao mercado.

- BALLOU, R. H. **Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos: Planejamento, Organização e Logística Empresarial**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.
- BEN-AKIVA, M. & LERMAN, S. **Discrete choice analysis: theory and application to travel demand** in MONTEIRO, A. B. F. C.; MARTINS, W. C.; RODRIGUES, F. H. Processo de decisão do modo no transporte de carga. São Paulo: Ed. Atlas, 2000.
- BEN-AKIVA, M. et al **Hybrid Choice Models: Progress and Challenges**. EconPapers. Disponível em <http://econpapers.hhs.se/paper/xrssfma/02-29.htm>. [Capturado em 07/05/03].
- BDMG - BANCO DE DESENVOLVIMENTO DE MINAS GERAIS S.A. **Minas Gerais do Século XXI**. Belo Horizonte: Rona Editora, 2002.
- BOWERSOX, D. J. & CLOSS, D. J. **Logistical Management - The Integrated Supply Chain Process**. USA: The McGraw-Hill Companies, Inc, 1996.
- CALDAS, M. A. **Modelagem da cadeia logística de abastecimento da soja - uma análise do fluxo da soja pelos corredores de exportação**. XIV ANPET. Gramado, 2000.
- CAMARGO, O.; GONÇALVES, M. B.; LIMA, M. L. P. **Comparação entre as estratégias de ordenação e de avaliação em preferência declarada aplicadas ao transporte de soja no oeste paranaense**. Anais do ANPET, 2000.
- COOK, P. D. et al **Key factors in road-rail mode choice in India: Applying the logistics cost approach**. Proceedings of the 1999 Winter Simulation Conference. Disponível em www.informs-cs.org/wsc99papers/187.PDF. [Capturado em 09/05/03].
- CORRÊA JÚNIOR, G. et al. **Oferta de Transportes: Fatores determinantes do valor do frete e o caso das centrais de carga** in Gestão Logística do Transporte de Cargas. São Paulo: Ed. Atlas, 2001.
- CURY, M. V. Q. **Classificação de sistemas de transporte urbano com o uso da lógica fuzzy**. Rio de Janeiro: Instituto Militar de Engenharia, 2002.

- CURY, M. V. Q. **Modelo heurístico Neuro-Fuzzy para avaliação humanística de projetos de transporte urbano.** Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1999.
- DNIT - Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes. **Distâncias médias de transporte.** Disponível em <http://www.dner.gov.br/rodovias/distancias/distancias.asp>. [Capturado em 20/02/2004].
- FALCÃO, D. M. **Conjuntos, lógica e sistemas fuzzy.** COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro: 2000
- FLEURY, P. F. **Logística Empresarial: a perspectiva brasileira.** São Paulo: Ed. Atlas, 2000.
- FURTADO, N. & KAWAMOTO, E. **Avaliação de Projetos de Transporte.** São Carlos, 1997.
- GENTRY, J. J. **Integration of purchasing and transportation decision making** in ROBESON, J. F.; COPACINO, W. C. The logistics handbook. New York: The Free Press, 1994.
- GOLDSBOROUGH, W. W.; ANDERSON, D. L. **Import/export management** in ROBESON, J. F.; COPACINO, W. C. The logistics handbook. New York: The Free Press, 1994.
- GOMES, L. F. A. M.; GOMES, C. F. S.; ALMEIDA, A. T. **Tomada de decisão gerencial - enfoque multicritério.** Ed. Atlas. São Paulo, 2002.
- GRANEMANN, S. R. & GARTNER, I. R. **Modelo multicriterial para escolha modal/sub-modal de transporte.** Anais da ANPET, 2000.
- HANDABAKA, A. R. **Gestão logística da distribuição física internacional.** São Paulo: Maltese, 1994.
- HILLIER, F. S. LIEBERMAN, G. J. **Introduction to operations research.** 3ed. San Francisco: Holden-Day, 1980.
- INDRA-PAYOONG, N. **Factors influencing modal choice for freight transportation: a case study of freight transported between Bangkok and the eastern region of Thailand.** Disponível em <http://www.comp.leeds.ac.uk/nakorn/paper/paper1.doc> [Capturado em 09/05/03].
- KEEDI, S. & MENDONÇA, P. C. C. **Transportes e Seguros no Comércio Exterior.** São Paulo: Aduaneiras, 2000.

- KOMAROVA, A. D. H. **Transporte multimodal de cargas: análise de alternativas** Dissertação de Mestrado. Rio de Janeiro: IME, 2000.
- JIANG, F.; JOHNSON, P.; CALZADA, C. **Freight demand characteristics and mode choice: an analysis of the results of modeling with disaggregate revealed preference data.** *Journal of transportation and statistics*. Disponível em www.bts.gov/programs/jts/V2N2/04jiang.pdf [Capturado em 09/05/03].
- LAMBERT, D.; STOCK, J.; VANTINE, J. **Administração estratégica da logística.** São Paulo: Vantine consultoria.
- LUZ, N. F. **A escolha do modal a ser utilizado no transporte de cargas.** Belo Horizonte, IBRLOG, 13/06/2002. Entrevista.
- MARTINS, R. S.; CAIXETA-FILHO, J. V. **Subsídios à tomada de decisão na escolha da modalidade e ao planejamento dos transportes no estado do Paraná** in Sistemas de gerenciamento de transportes - Modelagem matemática. São Paulo: Atlas, 2001.
- MAVROVOUNIOTIS, M. L. **Hierarchical neural networks.** Institute for Systems Research. TR 91-4, 1991. Disponível em http://techreports.isr.umd.edu/TechReports/ISR/1991/TR_91-4/TR_91-.phtml. [Capturado em 18/03/03].
- MELLO, R. Z. **Alternativas para o posicionamento estratégico das empresas de transporte rodoviário de cargas (ETC) sob uma abordagem logística.** Dissertação de Mestrado (UFSC). Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2001.
- MENDES FILHO, E. F. **Uma introdução às Redes Neurais Artificiais.** Disponível em: http://sites.uol.com.br/elson_mendes/rn/index.html. [Capturado em 14/03/2003]
- MONTEIRO, A. B. F. C.; MARTINS, W. C.; RODRIGUES, F. H. **Processo de decisão do modal no transporte de carga** in Gestão Logística do Transporte de Cargas. São Paulo: Ed. Atlas, 2001.
- NAM, K. C. **A study on the estimation and aggregation of disaggregate models of mode choice for freight transport** in Transportation Research - E. Vol. 33, No. 3, pp. 223-231. Great Britain, 1997.
- NAZÁRIO, P. **Intermodalidade: Importância para a Logística e Estágio Atual no Brasil.** Centro de Estudos Logísticos da

- Universidade Federal do Rio de Janeiro. COPPEAD. Disponível em <http://www.cel.coppead.ufrj.br/fr-public.htm>. [Capturado em 10/10/2002]
- NOVAES, A. G. **Logística e Gerenciamento da Cadeia de Distribuição**. Estratégia, Operação e Avaliação. Rio de Janeiro: Campus, 2001.
- NOVAES, A. G.; ALVARENGA, A. **Logística Aplicada**. São Paulo: Pioneira, 1994.
- NOVAES, A. G. **Sistemas de Transporte**. Volume 1: Análise da Demanda. São Paulo: Edgard Blücher Ltda., 1986.
- OLIVEIRA, J. C. V.; CAIXETA-FILHO, J. V. **Análise de alternativas de rotas disponíveis para movimentação de grãos e farelos através da hidrovia Tietê-Paraná** in Sistemas de gerenciamento de transportes - Modelagem matemática. São Paulo: Atlas, 2001.
- ORTÚZAR, J. D. S. **Modelos Econométricos de Elección Discreta**. Santiago: Ediciones Universidad Católica de Chile, 1999.
- PEDRYCZ, W; GOMIDE, F. **An introduction to fuzzy sets**. Cambridge, Massachusetts: MIT Press, 1998.
- PIERI, G. & SALVETTI, O. **Scene Understanding using Hierarchical Neural Networks**. ERCIM News 52, Jan/2003. Disponível em http://www.ercim.org/publication/Ercim_News/enw52/salvetti.html. [Capturado em 18/03/03]
- PORTO, M. M. & SILVA, C. F. **Transportes, Seguros e a Distribuição Física Internacional de Mercadorias**. São Paulo: Aduaneiras, 2001.
- RODRIGUES, P. R. A. **Introdução aos Sistemas de Transporte no Brasil e à Logística Internacional**. São Paulo: Aduaneiras, 2001.
- RODRIGUES, F. H.; MARTINS, W. C.; MONTEIRO, A. B. F. C. **O processo de decisão baseado em múltiplos objetivos: o uso do método de análise hierárquica na tomada de decisão sobre investimentos** in Gestão Logística do Transporte de Cargas. São Paulo: Ed. Atlas, 2001.
- ROSS, D. F. **Distribution planning and control**. Boston: Kluwer Academic Publishers, 1996.

- RUESCH, M. **Potentials for modal shift in freight transport.** First Swiss Transport Research Conference. Monte Verità, Ascona, 2001.
- SAATY, T. L. **Método da Análise Hierárquica.** São Paulo: Makron Books, 1991.
- SAMSON, D. **Managerial decision analysis.** Ed. Irwin. Illinois, 1998.
- SHINGHAL, N.; FOWKES, T. **Freight mode choice and adaptive stated preference.** Transportation Research Part E 38, 367-378. 2002.
- SIFRECA. **Sistema de Informações de Fretes.** Departamento de Economia, Administração e Sociologia da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ/USP). Disponível em <http://sifreca.esalq.usp.br/sifreca/pt/index.php>. [Capturado em 20/02/2004].
- SONCIM, S. P. **Metodologia para análise e seleção de alternativas de transporte de cargas em corredores de exportação: o caso do transporte dos mármore e granitos.** Dissertação de Mestrado. Rio de Janeiro: Instituto Militar de Engenharia, 2002.
- TANSCHKEIT, R. **Fundamentos de lógica fuzzy e controle fuzzy.** Departamento de Engenharia Elétrica. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: 2000.
- TATIBANA, C. Y. & KAETSU, D. Y. **Uma introdução às redes neurais.** Departamento de informática. Universidade Estadual de Maringá, PR. Disponível em: <http://www.din.uem.br/ia/neurais>. [Capturado em 13/03/2003]
- TONSIG, S. L. **Simulando o Cérebro: Redes Neurais.** Monografia apresentada no curso de Pós-Graduação Stricto-Sensu - Mestrado em Gerência de Sistemas de Informação, da Pontifícia Universidade Católica de Campinas - PUCCamp. Campinas, 2000.
- VIEIRA, Luiz F. M. **The value of service in freight transportation.** Ph. D. Dissertation, Department of Civil Engineering. Massachusetts Institute of Technology, 1992.
- VON ALTROCK, C. **Fuzzy logic and neurofuzzy applications in business and finance.** New Jersey: Prentice Hall, 1997.
- WANKE, P. **O impacto das características do produto, da operação e da demanda sobre o tipo de organização de fluxo de produtos: pesquisa de campo em seis setores do Ranking Exame**

Melhores e Maiores. Centro de Estudos em Logística, COPPEAD, UFRJ. Disponível em: http://www.cel.coppead.ufrj.br/fs-busca.htm?fr-txt_peter.htm. [Capturado em 15/05/2003]

WANKE, P. **Estratégia de posicionamento logístico: conceitos, implicações e análise da realidade brasileira.** Centro de Estudos em Logística, COPPEAD, UFRJ. Disponível em: <http://www.cel.coppead.ufrj.br/fs-busca.htm?fr-estrat2.htm> [Capturado em 12/10/2002]

WOOD, D. F. et al **International logistics.** New York: Chapman & Hall, 1994.

8.1 APÊNDICE 1: MODELO DE QUESTIONÁRIO

Exemplo de questionário para avaliação das alternativas para escolha modal.

QUESTIONÁRIO

Especialista: _____
 Empresa: _____
 Data: _____

Características da Operação de Transporte

- 1 - Carga a ser transportada _____
- 2 - Origem _____
- 3 - Destino _____
- 4 - Distância entre origem e destino _____
- 5 - Serviço de Transporte _____

Parâmetros Quantitativos

A - Custos de Transporte

Pode-se afirmar que um custo de transporte de:

		SIM	NÃO
Custo 1	é Baixo		
	Médio		
	Alto		
Custo 2	é Baixo		
	Médio		
	Alto		
Custo 3	é Baixo		
	Médio		
	Alto		
Custo 4	é Baixo		
	Médio		
	Alto		
Custo 5	é Baixo		
	Médio		
	Alto		
Custo 6	é Baixo		
	Médio		
	Alto		
Custo 7	é Baixo		
	Médio		
	Alto		
Custo 8	é Baixo		
	Médio		
	Alto		
Custo 9	é Baixo		
	Médio		
	Alto		
Custo 10	é Baixo		
	Médio		
	Alto		

B - Custos Indiretos

Pode-se afirmar que um custo de estoque de:

		SIM	NÃO
Custo 1	é Baixo		
	Médio		
	Alto		
Custo 2	é Baixo		
	Médio		
	Alto		
Custo 3	é Baixo		
	Médio		
	Alto		
Custo 4	é Baixo		
	Médio		
	Alto		
Custo 5	é Baixo		
	Médio		
	Alto		
Custo 6	é Baixo		
	Médio		
	Alto		
Custo 7	é Baixo		
	Médio		
	Alto		
Custo 8	é Baixo		
	Médio		
	Alto		
Custo 9	é Baixo		
	Médio		
	Alto		
Custo 10	é Baixo		
	Médio		
	Alto		

QUESTIONÁRIO

Especialista: _____
Empresa: _____
Data: _____

Características da Operação de Transporte

- 1 - Carga a ser transportada _____
- 2 - Origem _____
- 3 - Destino _____
- 4 - Distância entre origem e destino _____
- 5 - Serviço de Transporte _____

Parâmetros Quantitativos

C - Transit Time

Pode-se afirmar que um *Transit Time* de:

			SIM	NÃO
Tempo (h)	é	Baixo		
		Médio		
		Alto		
Tempo (h)	é	Baixo		
		Médio		
		Alto		
Tempo (h)	é	Baixo		
		Médio		
		Alto		
Tempo (h)	é	Baixo		
		Médio		
		Alto		
Tempo (h)	é	Baixo		
		Médio		
		Alto		
Tempo (h)	é	Baixo		
		Médio		
		Alto		
Tempo (h)	é	Baixo		
		Médio		
		Alto		
Tempo (h)	é	Baixo		
		Médio		
		Alto		
Tempo (h)	é	Baixo		
		Médio		
		Alto		
Tempo (h)	é	Baixo		
		Médio		
		Alto		

Parâmetros Qualitativos

D - Valor Agregado da Carga

Termo Linguístico	Grau de Avaliação									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Baixo										
Médio										
Alto										

E - Frequência da Oferta

Termo Linguístico	Grau de Avaliação									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Baixa										
Média										
Alta										

F - Perdas e Danos

Termo Linguístico	Grau de Avaliação									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Baixa										
Média										
Alta										

G - Confiabilidade

Termo Linguístico	Grau de Avaliação									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Baixa										
Média										
Alta										

H - Disponibilidade de Informações

Termo Linguístico	Grau de Avaliação									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Baixa										
Média										
Alta										

I - Instalações Logísticas

Termo Linguístico	Grau de Avaliação									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Pouco										
Moderado										
Muito										

J - Acessibilidade

Termo Linguístico	Grau de Avaliação									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Baixa										
Média										
Alta										

L - Flexibilidade

Termo Linguístico	Grau de Avaliação									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Baixa										
Média										
Alta										

8.2 APÊNDICE 2: DESENVOLVIMENTO DO MODELO NEURO-FUZZY

TAB. 8.1: Construção dos Conjuntos Fuzzy da VE CUSTOS DE TRANSPORTE

Especialista	Termo linguístico	Valores em R\$/t									
		<80	80-90	91-100	101-110	111-120	121-130	131-140	141-150	151-160	>160
1	Baixo	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Médio	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0
	Alto	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
2	Baixo	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	Médio	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0
	Alto	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
3	Baixo	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Médio	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0
	Alto	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
4	Baixo	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Médio	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0
	Alto	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
5	Baixo	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	Médio	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0
	Alto	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
6	Baixo	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Médio	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0
	Alto	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
7	Baixo	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	Médio	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0
	Alto	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
8	Baixo	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	Médio	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0
	Alto	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
9	Baixo	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Médio	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0
	Alto	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
10	Baixo	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Médio	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0
	Alto	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
11	Baixo	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	Médio	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0
	Alto	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
12	Baixo	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Médio	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0
	Alto	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
13	Baixo	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	Médio	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
	Alto	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
14	Baixo	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	Médio	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0
	Alto	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
15	Baixo	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Médio	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0
	Alto	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
16	Baixo	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Médio	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0
	Alto	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
17	Baixo	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Médio	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0
	Alto	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
18	Baixo	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Médio	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0
	Alto	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
19	Baixo	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	Médio	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0
	Alto	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
20	Baixo	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Médio	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0
	Alto	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
GdC (%)	Baixo	100%	75%	40%	35%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	Médio	0%	25%	60%	65%	100%	90%	75%	65%	50%	0%
	Alto	0%	0%	0%	0%	0%	10%	25%	35%	50%	100%

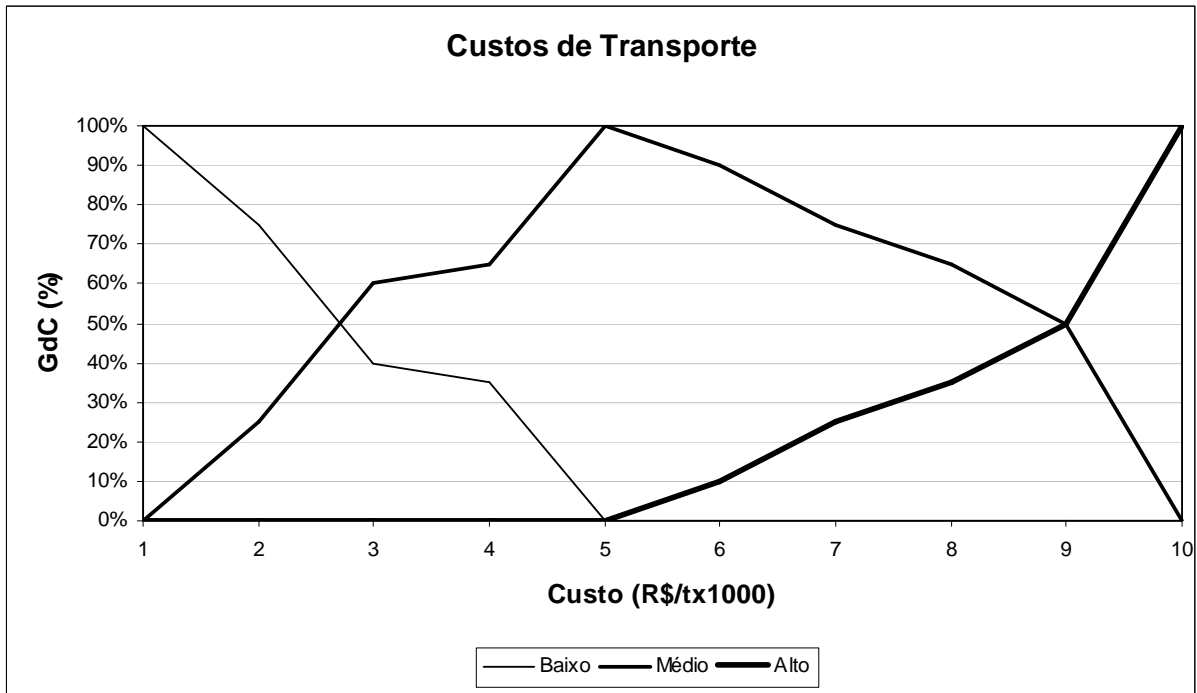


FIG. 8.1: Conjuntos *Fuzzy* para a Variável CUSTOS DE TRANSPORTE

TAB. 8.2: Construção dos Conjuntos *Fuzzy* da VE CUSTOS
INDIRETOS

Especialista	Termo linguístico	Valores em R\$/t										
		<25	25-30	31-35	36-40	41-45	46-50	51-55	56-60	61-65	>65	
1	Baixo	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Médio	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0
	Alto	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
2	Baixo	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Médio	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0
	Alto	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
3	Baixo	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Médio	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0
	Alto	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
4	Baixo	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Médio	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0
	Alto	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
5	Baixo	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Médio	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
	Alto	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
6	Baixo	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Médio	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0
	Alto	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
7	Baixo	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Médio	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0
	Alto	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
8	Baixo	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Médio	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0
	Alto	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
9	Baixo	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Médio	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0
	Alto	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
10	Baixo	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Médio	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0
	Alto	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
11	Baixo	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Médio	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0
	Alto	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
12	Baixo	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Médio	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
	Alto	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
13	Baixo	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Médio	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
	Alto	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
14	Baixo	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Médio	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
	Alto	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
15	Baixo	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Médio	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0
	Alto	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
16	Baixo	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Médio	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	Alto	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
17	Baixo	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Médio	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0
	Alto	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
18	Baixo	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Médio	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
	Alto	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
19	Baixo	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Médio	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	Alto	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
20	Baixo	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Médio	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0
	Alto	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
GdC (%)	Baixo	100%	70%	60%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	Médio	0%	30%	40%	100%	95%	85%	45%	5%	0%	0%	0%
	Alto	0%	0%	0%	0%	5%	15%	55%	95%	100%	100%	100%

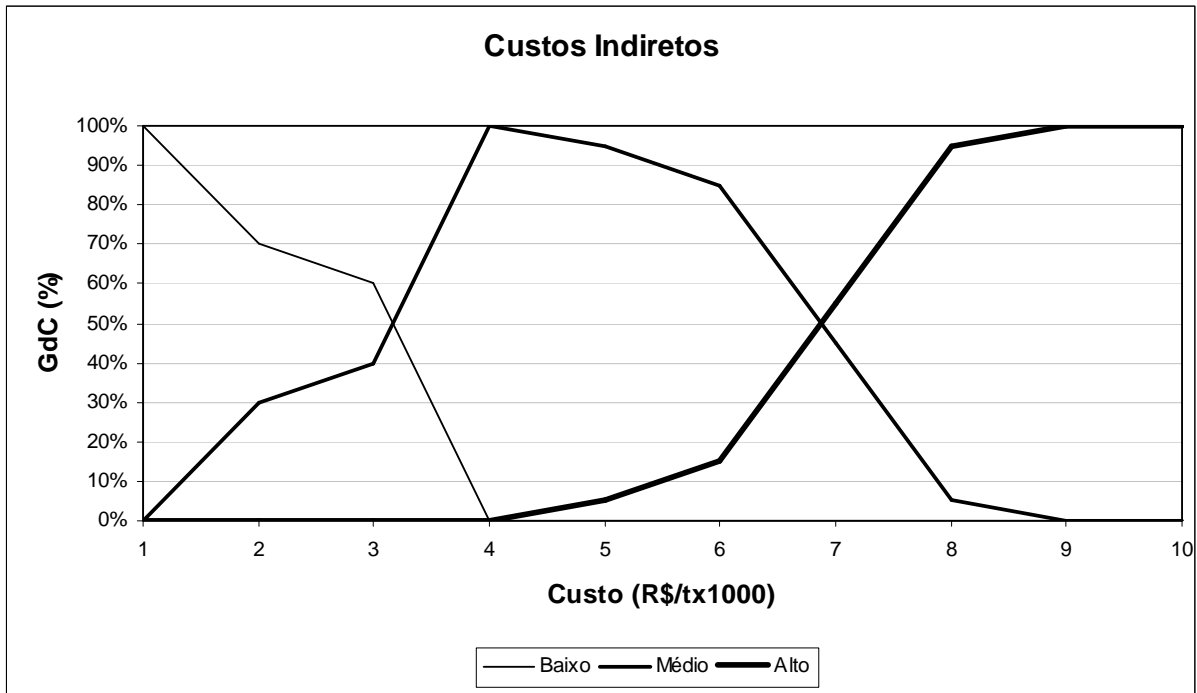


FIG. 8.2: Conjuntos *Fuzzy* para a Variável CUSTOS INDIRETOS

TAB. 8.3: Construção dos Conjuntos *Fuzzy* da VE VALOR AGREGADO DA CARGA

Especialista	Termo linguístico	Nota atribuída à variável VALOR AGREGADO DA CARGA									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Baixo	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
	Médio	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
	Alto	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
2	Baixo	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
	Médio	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	Alto	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	Baixo	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
	Médio	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0
	Alto	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
4	Baixo	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
	Médio	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
	Alto	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
5	Baixo	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
	Médio	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0
	Alto	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
6	Baixo	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
	Médio	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0
	Alto	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
7	Baixo	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
	Médio	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0
	Alto	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
8	Baixo	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
	Médio	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0
	Alto	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
9	Baixo	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
	Médio	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0
	Alto	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	Baixo	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
	Médio	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0
	Alto	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
11	Baixo	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
	Médio	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	Alto	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	Baixo	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
	Médio	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
	Alto	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
13	Baixo	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
	Médio	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0
	Alto	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
14	Baixo	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
	Médio	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0
	Alto	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
15	Baixo	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
	Médio	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
	Alto	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
16	Baixo	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
	Médio	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	Alto	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	Baixo	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
	Médio	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0
	Alto	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	Baixo	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
	Médio	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0
	Alto	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
19	Baixo	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
	Médio	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
	Alto	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
20	Baixo	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
	Médio	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0
	Alto	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
GdC (%)	Baixo	0%	0%	0%	0%	30%	60%	100%	100%	100%	100%
	Médio	0%	25%	65%	100%	70%	40%	0%	0%	0%	0%
	Alto	100%	75%	35%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

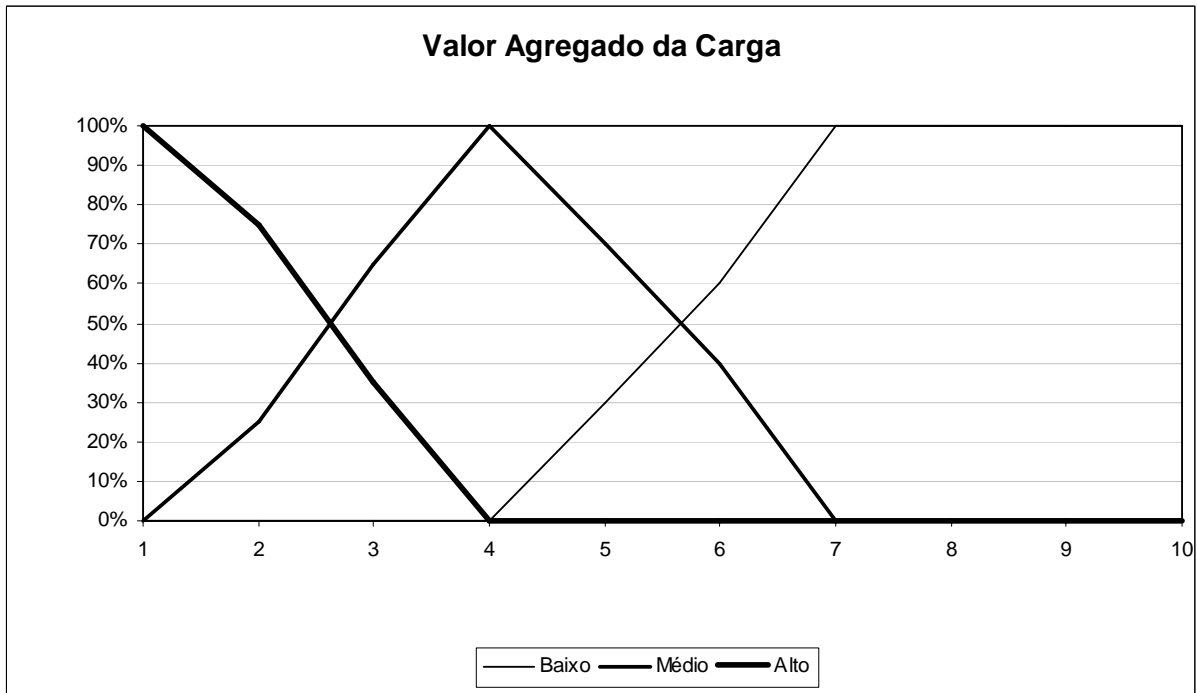


FIG. 8.3: Conjuntos *Fuzzy* para a Variável VALOR AGREGADO DA CARGA

TAB. 8.4: Construção dos Conjuntos *Fuzzy* da VE FREQUÊNCIA DE TRANSPORTE

Especialista	Termo linguístico	Nota atribuída à variável FREQUÊNCIA DE TRANSPORTE									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Baixa	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	Média	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0
	Alta	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
2	Baixa	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	Média	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0
	Alta	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
3	Baixa	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Média	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0
	Alta	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
4	Baixa	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	Média	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0
	Alta	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
5	Baixa	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	Média	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
	Alta	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
6	Baixa	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Média	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0
	Alta	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
7	Baixa	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Média	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0
	Alta	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
8	Baixa	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Média	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0
	Alta	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
9	Baixa	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Média	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0
	Alta	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
10	Baixa	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	Média	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
	Alta	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
11	Baixa	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	Média	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
	Alta	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
12	Baixa	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Média	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0
	Alta	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
13	Baixa	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Média	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0
	Alta	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
14	Baixa	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	Média	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0
	Alta	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
15	Baixa	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Média	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0
	Alta	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
16	Baixa	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	Média	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0
	Alta	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
17	Baixa	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	Média	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0
	Alta	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
18	Baixa	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	Média	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0
	Alta	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
19	Baixa	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Média	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0
	Alta	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
20	Baixa	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	Média	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
	Alta	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
GdC (%)	Baixa	100%	95%	55%	25%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	Média	0%	5%	45%	75%	100%	80%	50%	30%	0%	0%
	Alta	0%	0%	0%	0%	0%	20%	50%	70%	100%	100%

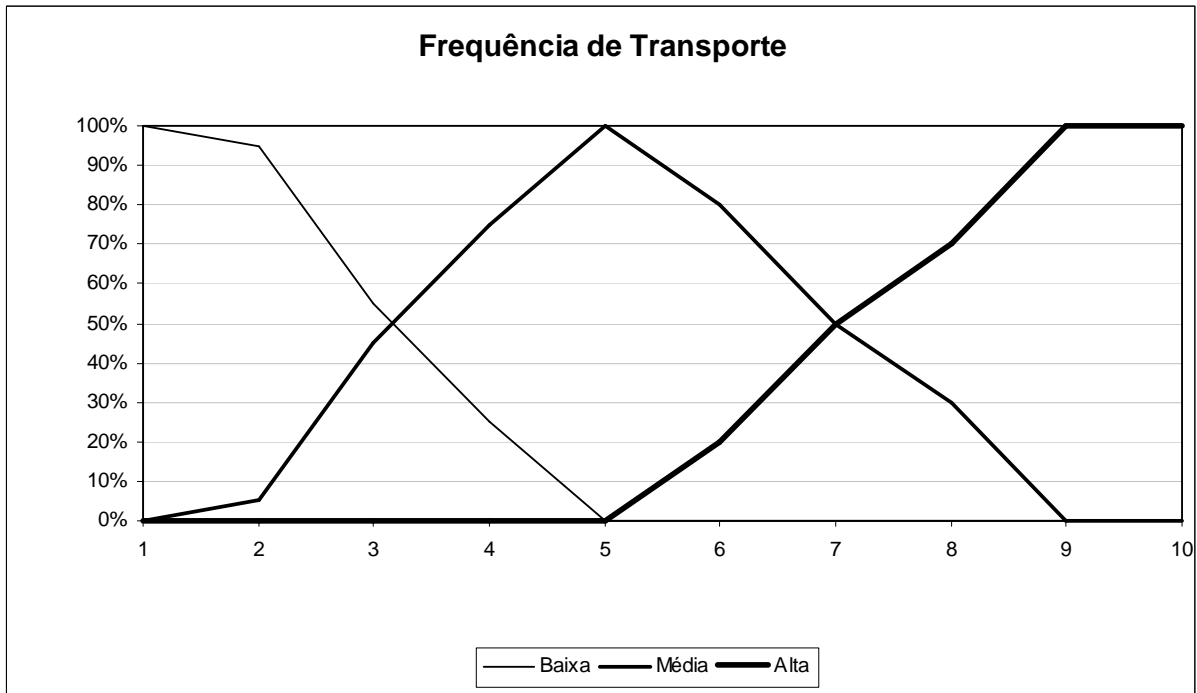


FIG. 8.4: Conjuntos *Fuzzy* para a Variável FREQUÊNCIA DE TRANSPORTE

TAB. 8.5: Construção dos Conjuntos Fuzzy da VE TRANSIT TIME

Especialista	Termo linguístico	Tempo em trânsito (horas)								
		< 24	24-48	49-72	73-96	97-120	121-144	145-168	169-192	> 192
1	Baixo	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	Médio	0	0	0	1	1	1	0	0	0
	Alto	0	0	0	0	0	0	1	1	1
2	Baixo	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	Médio	0	0	1	1	1	0	0	0	0
	Alto	0	0	0	0	0	1	1	1	1
3	Baixo	1	1	1	1	0	0	0	0	0
	Médio	0	0	0	0	1	1	1	0	0
	Alto	0	0	0	0	0	0	0	1	1
4	Baixo	1	1	1	1	0	0	0	0	0
	Médio	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	Alto	0	0	0	0	0	1	1	1	1
5	Baixo	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	Médio	0	0	1	1	1	1	0	0	0
	Alto	0	0	0	0	0	0	1	1	1
6	Baixo	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	Médio	0	0	1	1	1	0	0	0	0
	Alto	0	0	0	0	0	1	1	1	1
7	Baixo	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	Médio	0	0	1	1	1	1	0	0	0
	Alto	0	0	0	0	0	0	1	1	1
8	Baixo	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	Médio	0	0	0	1	1	1	0	0	0
	Alto	0	0	0	0	0	0	1	1	1
9	Baixo	1	1	1	1	0	0	0	0	0
	Médio	0	0	0	0	1	1	0	0	0
	Alto	0	0	0	0	0	0	1	1	1
10	Baixo	1	1	1	1	0	0	0	0	0
	Médio	0	0	0	0	1	1	1	0	0
	Alto	0	0	0	0	0	0	0	1	1
11	Baixo	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	Médio	0	0	1	1	1	1	1	0	0
	Alto	0	0	0	0	0	0	0	1	1
12	Baixo	1	1	1	1	0	0	0	0	0
	Médio	0	0	0	0	1	1	0	0	0
	Alto	0	0	0	0	0	0	1	1	1
13	Baixo	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	Médio	0	0	1	1	1	0	0	0	0
	Alto	0	0	0	0	0	1	1	1	1
14	Baixo	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	Médio	0	0	1	1	1	0	0	0	0
	Alto	0	0	0	0	0	1	1	1	1
15	Baixo	1	1	1	1	0	0	0	0	0
	Médio	0	0	0	0	1	1	1	0	0
	Alto	0	0	0	0	0	0	0	1	1
16	Baixo	1	1	1	1	0	0	0	0	0
	Médio	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	Alto	0	0	0	0	0	1	1	1	1
17	Baixo	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	Médio	0	0	1	1	1	0	0	0	0
	Alto	0	0	0	0	0	1	1	1	1
18	Baixo	1	1	1	1	0	0	0	0	0
	Médio	0	0	0	0	1	1	0	0	0
	Alto	0	0	0	0	0	0	1	1	1
19	Baixo	1	1	1	1	0	0	0	0	0
	Médio	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	Alto	0	0	0	0	0	1	1	1	1
20	Baixo	1	1	1	1	0	0	0	0	0
	Médio	0	0	0	0	1	1	0	0	0
	Alto	0	0	0	0	0	0	1	1	1
GdC (%)	Baixo	100%	100%	60%	50%	0%	0%	0%	0%	0%
	Médio	0%	0%	40%	50%	100%	60%	20%	0%	0%
	Alto	0%	0%	0%	0%	0%	40%	80%	100%	100%

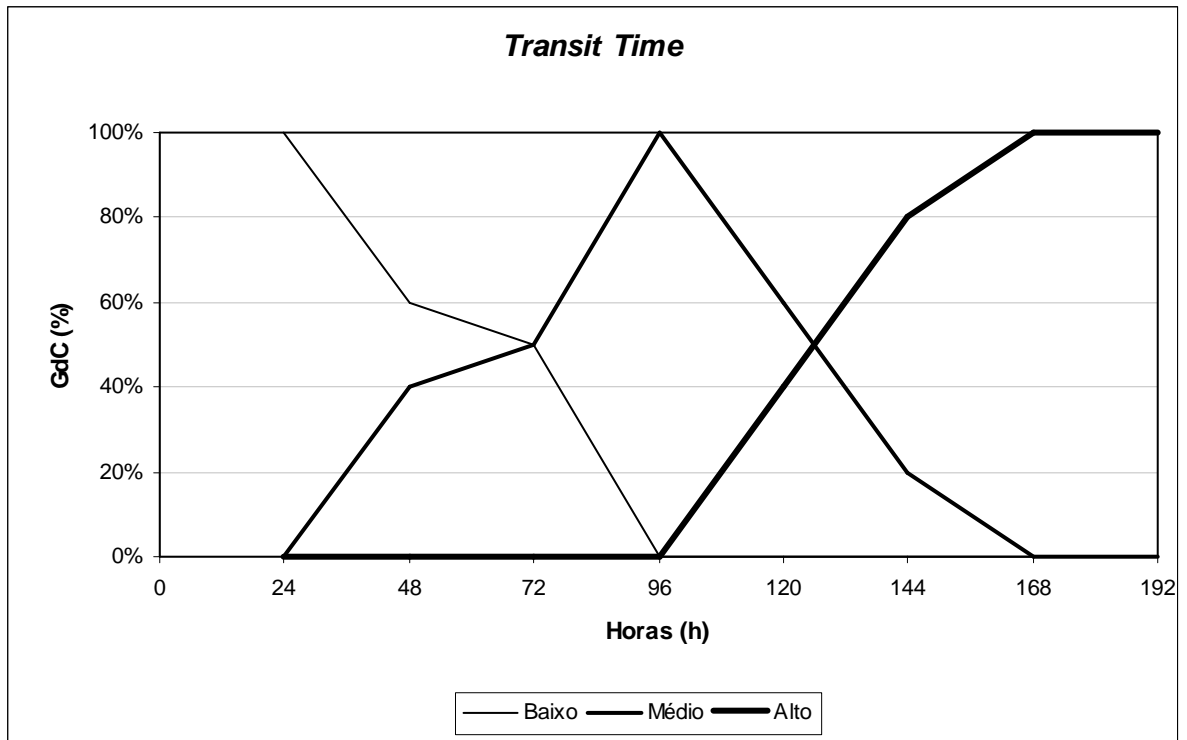


FIG. 8.5: Conjuntos *Fuzzy* para a Variável TRANSIT TIME

TAB. 8.6: Construção dos Conjuntos Fuzzy da VE PERDAS E DANOS

Especialista	Termo linguístico	Nota atribuída à variável PERDAS E DANOS									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Baixa	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
	Média	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0
	Alta	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
2	Baixa	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
	Média	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0
	Alta	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
3	Baixa	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
	Média	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
	Alta	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
4	Baixa	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
	Média	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0
	Alta	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	Baixa	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
	Média	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0
	Alta	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	Baixa	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
	Média	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0
	Alta	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
7	Baixa	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
	Média	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0
	Alta	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
8	Baixa	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
	Média	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0
	Alta	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
9	Baixa	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
	Média	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0
	Alta	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
10	Baixa	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
	Média	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0
	Alta	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
11	Baixa	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
	Média	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0
	Alta	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
12	Baixa	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
	Média	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
	Alta	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
13	Baixa	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
	Média	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0
	Alta	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
14	Baixa	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
	Média	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0
	Alta	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	Baixa	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
	Média	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
	Alta	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
16	Baixa	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
	Média	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0
	Alta	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
17	Baixa	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
	Média	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0
	Alta	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
18	Baixa	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
	Média	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0
	Alta	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
19	Baixa	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
	Média	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0
	Alta	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
20	Baixa	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
	Média	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0
	Alta	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
GdC (%)	Baixa	0%	0%	0%	0%	0%	20%	65%	85%	100%	100%
	Média	0%	15%	45%	80%	100%	80%	35%	15%	0%	0%
	Alta	100%	85%	55%	20%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

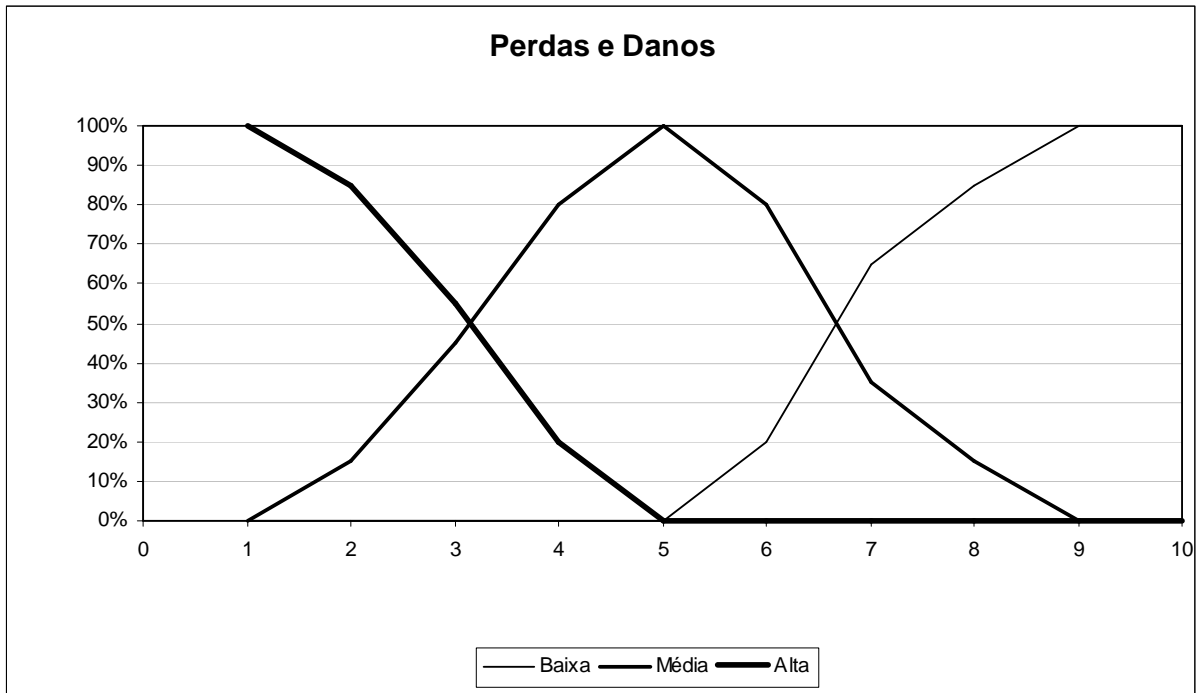


FIG. 8.6: Conjuntos Fuzzy para a Variável PERDAS E DANOS

TAB. 8.7: Construção dos Conjuntos *Fuzzy* da VE CONFIABILIDADE

Especialista	Termo linguístico	Nota atribuída à variável CONFIABILIDADE									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Baixa	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	Média	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
	Alta	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
2	Baixa	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	Média	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0
	Alta	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
3	Baixa	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	Média	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
	Alta	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
4	Baixa	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	Média	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0
	Alta	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
5	Baixa	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	Média	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
	Alta	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
6	Baixa	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	Média	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0
	Alta	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
7	Baixa	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	Média	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
	Alta	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
8	Baixa	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Média	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0
	Alta	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
9	Baixa	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	Média	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0
	Alta	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
10	Baixa	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	Média	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0
	Alta	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
11	Baixa	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	Média	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
	Alta	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
12	Baixa	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	Média	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0
	Alta	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
13	Baixa	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	Média	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0
	Alta	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
14	Baixa	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Média	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0
	Alta	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
15	Baixa	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	Média	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0
	Alta	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
16	Baixa	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	Média	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
	Alta	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
17	Baixa	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	Média	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0
	Alta	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
18	Baixa	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Média	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0
	Alta	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
19	Baixa	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	Média	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
	Alta	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
20	Baixa	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	Média	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
	Alta	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
GdC (%)	Baixa	100%	100%	85%	70%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	Média	0%	0%	15%	30%	100%	90%	60%	25%	10%	0%
	Alta	0%	0%	0%	0%	0%	10%	40%	75%	90%	100%

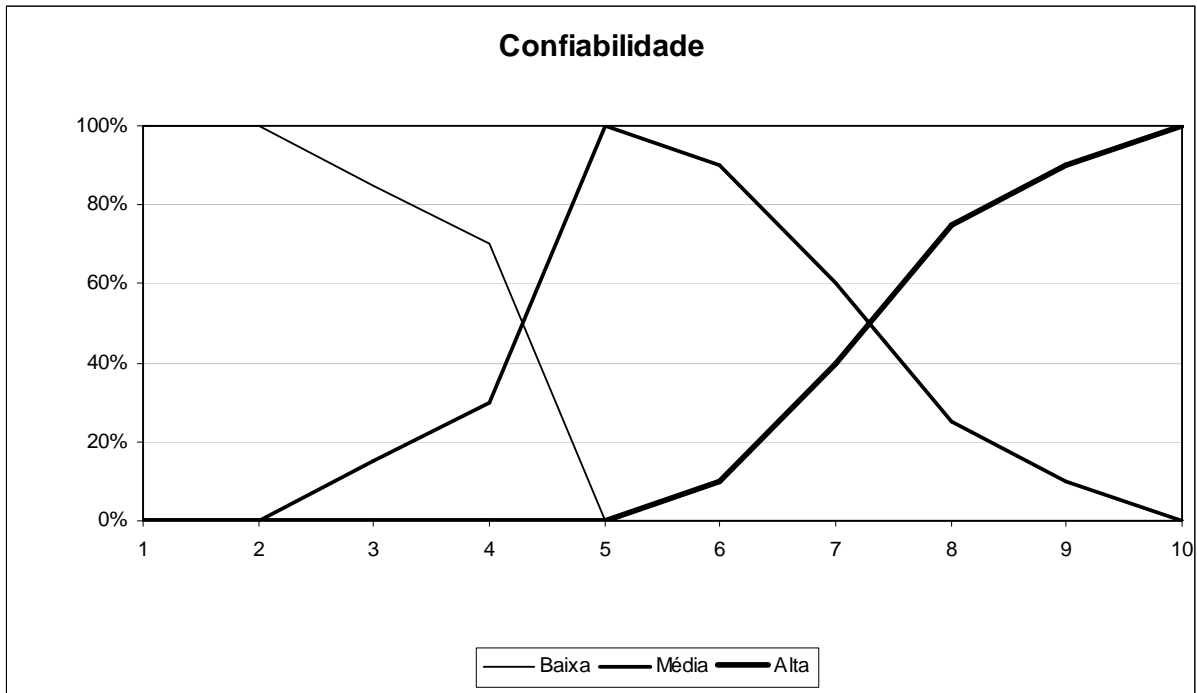


FIG. 8.7: Conjuntos *Fuzzy* para a Variável CONFIABILIDADE

TAB. 8.8: Construção dos Conjuntos *Fuzzy* da VE DISPONIBILIDADE DE INFORMAÇÕES

Especialista	Termo linguístico	Nota atribuída à variável DISPONIBILIDADE DE INFORMAÇÕES									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Baixa	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	Média	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0
	Alta	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
2	Baixa	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	Média	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0
	Alta	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
3	Baixa	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	Média	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
	Alta	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
4	Baixa	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Média	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0
	Alta	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
5	Baixa	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Média	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0
	Alta	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
6	Baixa	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	Média	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
	Alta	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
7	Baixa	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Média	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0
	Alta	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
8	Baixa	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Média	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0
	Alta	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
9	Baixa	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	Média	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0
	Alta	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
10	Baixa	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Média	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0
	Alta	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
11	Baixa	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Média	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0
	Alta	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
12	Baixa	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	Média	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0
	Alta	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
13	Baixa	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	Média	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
	Alta	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
14	Baixa	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	Média	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0
	Alta	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
15	Baixa	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Média	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0
	Alta	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
16	Baixa	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	Média	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0
	Alta	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
17	Baixa	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	Média	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
	Alta	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
18	Baixa	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	Média	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0
	Alta	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
19	Baixa	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Média	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0
	Alta	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
20	Baixa	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Média	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0
	Alta	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
GdC (%)	Baixa	100%	100%	55%	25%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	Média	0%	0%	45%	75%	100%	90%	55%	30%	0%	0%
	Alta	0%	0%	0%	0%	0%	10%	45%	70%	100%	100%

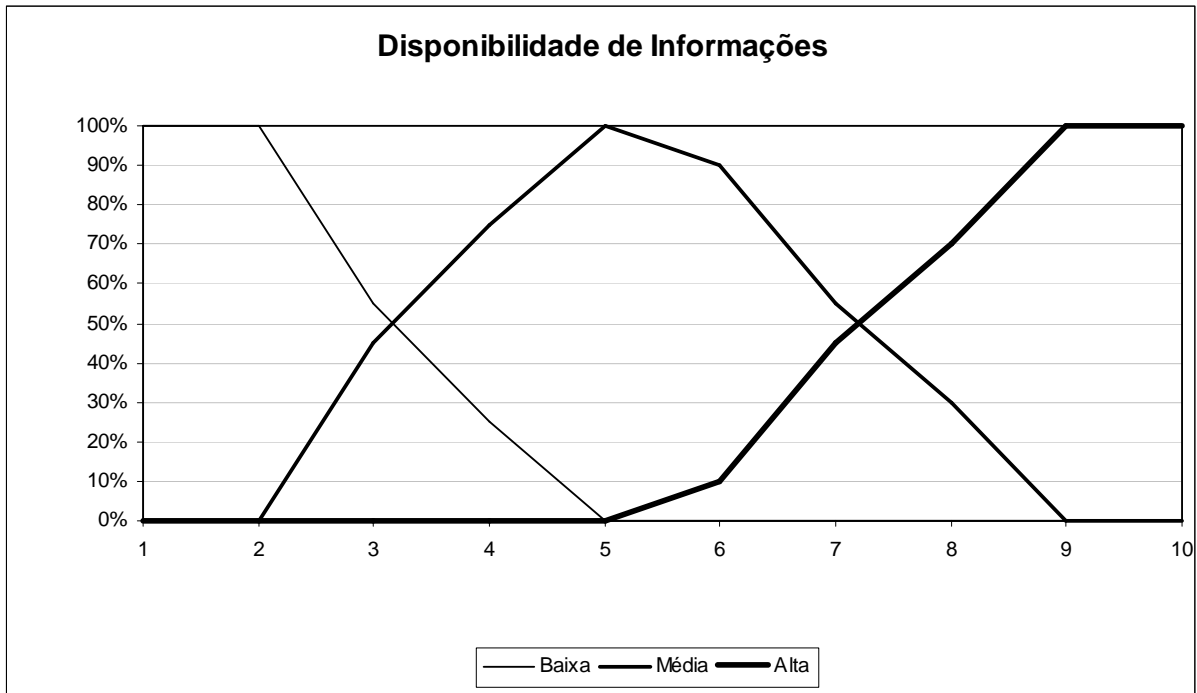


FIG. 8.8: Conjuntos Fuzzy para a Variável DISPONIBILIDADE DE INFORMAÇÕES

TAB. 8.9: Construção dos Conjuntos *Fuzzy* da VE INSTALAÇÕES LOGÍSTICAS

Especialista	Termo linguístico	Nota atribuída à variável INSTALAÇÕES LOGÍSTICAS										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	Pouco	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Moderado	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0
	Muito	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
2	Pouco	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Moderado	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	Muito	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
3	Pouco	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Moderado	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0
	Muito	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
4	Pouco	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Moderado	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0
	Muito	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
5	Pouco	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Moderado	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	Muito	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
6	Pouco	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	Moderado	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0
	Muito	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
7	Pouco	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	Moderado	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0
	Muito	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
8	Pouco	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	Moderado	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0
	Muito	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
9	Pouco	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	Moderado	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0
	Muito	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
10	Pouco	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Moderado	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0
	Muito	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
11	Pouco	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Moderado	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	Muito	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
12	Pouco	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Moderado	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0
	Muito	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
13	Pouco	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Moderado	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0
	Muito	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
14	Pouco	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Moderado	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0
	Muito	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
15	Pouco	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Moderado	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	Muito	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
16	Pouco	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	Moderado	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0
	Muito	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
17	Pouco	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	Moderado	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
	Muito	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
18	Pouco	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	Moderado	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
	Muito	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
19	Pouco	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Moderado	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0
	Muito	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
20	Pouco	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	Moderado	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0
	Muito	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
GdC (%)	Pouco	100%	100%	60%	40%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	Moderado	0%	0%	40%	60%	100%	80%	50%	20%	0%	0%	0%
	Muito	0%	0%	0%	0%	0%	20%	50%	80%	100%	100%	100%

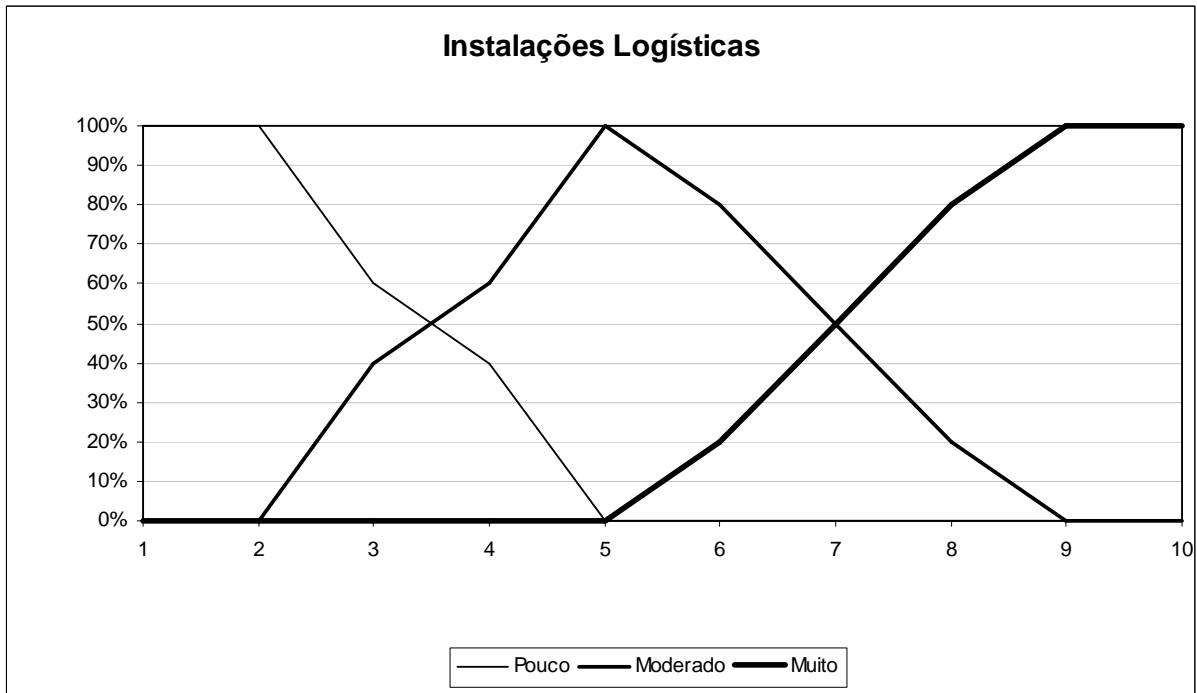


FIG. 8.9: Conjuntos *Fuzzy* para a Variável INSTALAÇÕES LOGÍSTICAS

TAB. 8.10: Construção dos Conjuntos *Fuzzy* da VE ACESSIBILIDADE

Especialista	Termo linguístico	Nota atribuída à variável ACESSIBILIDADE									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Baixa	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	Média	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
	Alta	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
2	Baixa	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Média	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0
	Alta	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
3	Baixa	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	Média	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
	Alta	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
4	Baixa	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Média	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0
	Alta	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
5	Baixa	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	Média	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
	Alta	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
6	Baixa	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	Média	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
	Alta	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
7	Baixa	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	Média	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
	Alta	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
8	Baixa	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	Média	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0
	Alta	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
9	Baixa	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	Média	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
	Alta	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
10	Baixa	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	Média	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0
	Alta	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
11	Baixa	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Média	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0
	Alta	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
12	Baixa	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	Média	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
	Alta	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
13	Baixa	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	Média	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0
	Alta	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
14	Baixa	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Média	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0
	Alta	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
15	Baixa	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Média	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0
	Alta	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
16	Baixa	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	Média	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0
	Alta	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
17	Baixa	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	Média	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0
	Alta	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
18	Baixa	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	Média	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0
	Alta	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
19	Baixa	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Média	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0
	Alta	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
20	Baixa	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	Média	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0
	Alta	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
GdC (%)	Baixa	100%	100%	70%	30%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	Média	0%	0%	30%	70%	100%	75%	30%	10%	0%	0%
	Alta	0%	0%	0%	0%	0%	25%	70%	90%	100%	100%

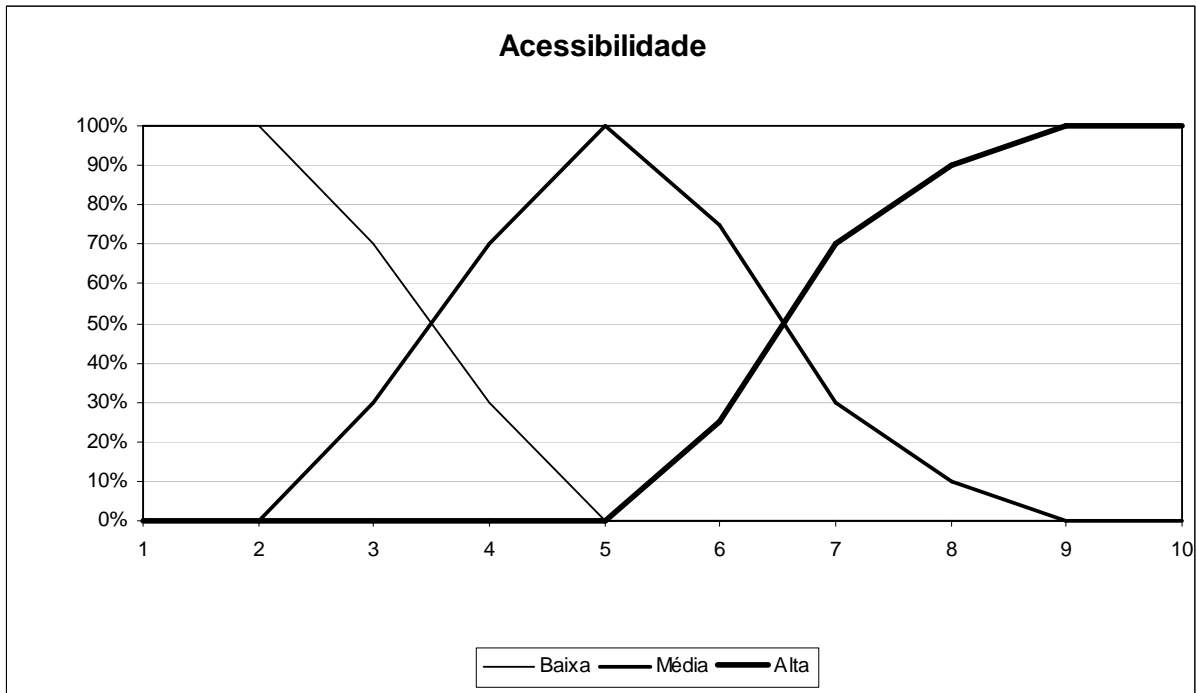


FIG. 8.10: Conjuntos *Fuzzy* para a Variável ACESSIBILIDADE

TAB. 8.11: Construção dos Conjuntos Fuzzy da VE FLEXIBILIDADE

Especialista	Termo linguístico	Nota atribuída à variável FLEXIBILIDADE									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Baixa	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	Média	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0
	Alta	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
2	Baixa	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Média	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0
	Alta	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
3	Baixa	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	Média	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0
	Alta	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
4	Baixa	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Média	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0
	Alta	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
5	Baixa	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	Média	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0
	Alta	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
6	Baixa	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Média	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0
	Alta	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
7	Baixa	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	Média	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0
	Alta	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
8	Baixa	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	Média	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0
	Alta	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
9	Baixa	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	Média	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
	Alta	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
10	Baixa	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	Média	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0
	Alta	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
11	Baixa	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	Média	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0
	Alta	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
12	Baixa	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	Média	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0
	Alta	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
13	Baixa	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	Média	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0
	Alta	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
14	Baixa	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Média	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0
	Alta	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
15	Baixa	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Média	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0
	Alta	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
16	Baixa	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	Média	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
	Alta	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
17	Baixa	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	Média	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0
	Alta	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
18	Baixa	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Média	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0
	Alta	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
19	Baixa	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Média	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0
	Alta	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
20	Baixa	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	Média	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
	Alta	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
GdC (%)	Baixa	100%	100%	65%	35%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	Média	0%	0%	35%	65%	100%	85%	50%	10%	0%	0%
	Alta	0%	0%	0%	0%	0%	15%	50%	90%	100%	100%

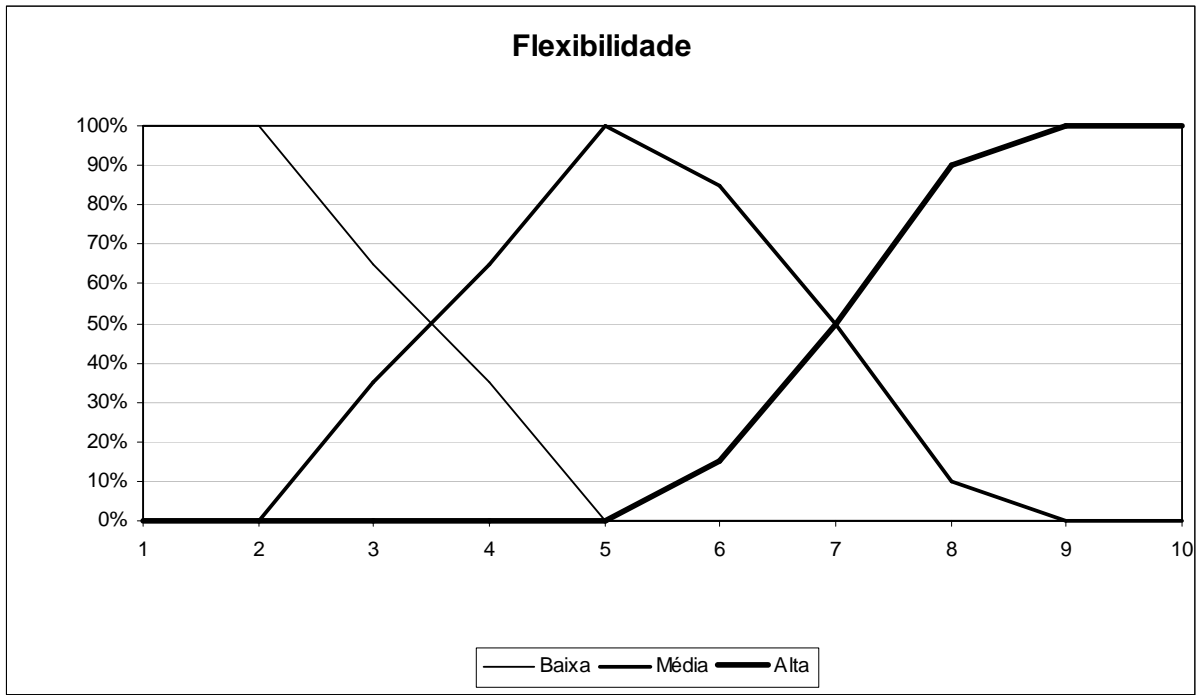


FIG. 8.11: Conjuntos *Fuzzy* para a Variável FLEXIBILIDADE

TAB. 8.12: Bloco de Inferência BI-I

Regra	SE		ENTÃO	Fator de Certeza - FC _{ij}																					
	Custo de Transporte	Custo Indireto	Custos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	FC _K	
1	Baixo	Baixo	Baixo	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
2	Baixo	Médio	Baixo	0,8	0,9	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,9	0,6	0,6	0,6	0,6	0,9	0,8	0,8
3	Baixo	Alto	Médio	0,9	0,5	0,5	0,8	0,8	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,5	0,6	0,5	0,7	0,7	0,5	0,5	0,5	0,9	0,6	0,6	
4	Médio	Baixo	Baixo	0,9	0,9	0,6	0,6	0,6	0,6	1,0	0,8	1,0	0,8	0,8	0,8	0,8	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	
5	Médio	Médio	Médio	0,9	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,6	0,9	0,8	
6	Médio	Alto	Alto	0,6	0,6	0,6	1,0	0,7	0,8	0,7	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,8	1,0	0,9	0,9	0,9	1,0	0,6	0,9	0,9	
7	Alto	Baixo	Médio	1,0	1,0	1,0	1,0	0,6	0,6	0,6	1,0	0,7	0,7	0,7	0,8	0,6	0,6	0,6	0,8	0,6	0,5	0,7	0,7	0,7	
8	Alto	Médio	Alto	0,6	0,6	0,6	0,7	1,0	1,0	0,6	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	0,8	
9	Alto	Alto	Alto	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	

TAB. 8.13: Bloco de Inferência BI-II

Regra	SE		ENTÃO	Fator de Certeza - FC _{ij}																				
	Frequência da Oferta	Transit Time	Tempo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	FC _K
1	Baixa	Alto	Lento	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
2	Baixa	Médio	Lento	0,7	0,9	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,9	0,6	0,6	0,6	0,6	0,9	0,8
3	Baixa	Baixo	Moderado	0,7	0,5	0,5	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,8	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9
4	Média	Alto	Lento	0,8	0,9	0,6	0,6	0,6	0,6	1,0	0,8	1,0	0,8	0,8	0,8	0,8	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9
5	Média	Médio	Moderado	0,8	0,7	0,7	0,7	0,5	0,5	0,5	0,8	0,8	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,9	0,6	0,6
6	Média	Baixo	Rápido	0,5	0,6	0,6	1,0	0,7	0,8	0,7	1,0	1,0	0,4	0,5	1,0	0,8	0,5	0,5	0,5	0,8	1,0	0,6	0,9	0,7
7	Alta	Alto	Moderado	1,0	1,0	1,0	1,0	0,6	0,6	1,0	1,0	1,0	0,7	0,7	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,6	0,8	0,6	0,5	0,9
8	Alta	Médio	Rápido	0,6	0,6	0,6	0,7	1,0	1,0	0,6	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	0,8
9	Alta	Baixo	Rápido	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

TAB. 8.14: Bloco de Inferência BI-III

Regra	SE		ENTÃO	Fator de Certeza - FC _{ij}																				
	Perdas e Danos	Confiabilidade	Segurança	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	FC _K
1	Alta	Baixa	Baixa	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
2	Alta	Média	Baixa	1,0	0,9	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,7	0,7	0,7	0,7	0,5	0,5	0,5	0,4	0,5	0,6	0,9	0,7
3	Alta	Alta	Média	1,0	0,5	0,5	0,8	0,8	0,5	0,5	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,5	0,5	0,9	0,8	0,8
4	Média	Baixa	Baixa	1,0	0,9	0,6	0,6	0,6	0,6	1,0	0,8	1,0	0,8	0,8	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9
5	Média	Média	Média	0,6	0,5	0,6	0,6	0,5	0,4	0,4	0,8	0,8	0,4	0,5	0,7	0,6	0,6	0,6	0,5	0,9	0,9	0,6	0,9	0,6
6	Média	Alta	Alta	0,6	0,6	0,6	1,0	0,7	0,8	0,7	1,0	1,0	1,0	1,0	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	1,0	0,6	0,9	0,8	0,8
7	Baixa	Baixa	Média	1,0	1,0	1,0	1,0	0,6	1,0	1,0	0,6	1,0	1,0	1,0	0,7	0,7	0,8	0,6	0,6	0,6	0,8	0,6	0,5	0,8
8	Baixa	Média	Alta	0,6	0,6	0,6	0,7	1,0	1,0	0,6	1,0	0,8	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9
9	Baixa	Alta	Alta	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

TAB. 8.15: Bloco de Inferência BI-IV

Regra	SE		ENTÃO	Fator de Certeza - FC _{ij}																				
	Disponibilidade de Informações	Instalações Logísticas	Serviços Logísticos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	FC _K
1	Baixa	Pouco	Pouco	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
2	Baixa	Moderado	Pouco	0,8	0,9	0,8	0,9	0,9	0,7	0,7	0,7	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1,0	1,0	0,6	0,6	0,6	0,9	0,7
3	Baixa	Muito	Moderado	0,9	1,0	1,0	0,8	1,0	1,0	0,9	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	0,9	0,7	0,7	0,5	0,5	0,5	0,9	0,9
4	Média	Pouco	Pouco	0,9	0,9	0,6	0,6	0,6	0,6	1,0	1,0	1,0	1,0	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5	0,6	0,5	0,5	1,0	0,9	0,7
5	Média	Moderado	Moderado	0,9	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
6	Média	Muito	Muito	0,6	0,6	0,6	0,5	0,7	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,8	1,0	0,9	0,9	0,5	0,5	0,6	0,9	0,6
7	Alta	Pouco	Moderado	1,0	1,0	1,0	1,0	0,6	1,0	1,0	0,6	1,0	1,0	0,8	0,8	0,8	0,8	1,0	1,0	0,6	1,0	0,6	0,5	0,9
8	Alta	Moderado	Muito	0,6	0,6	0,9	0,9	1,0	1,0	0,6	0,8	0,5	0,8	0,8	0,8	0,5	0,6	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	0,8
9	Alta	Muito	Muito	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

TAB. 8.16: Bloco de Inferência BI-V

Regra	SE		ENTÃO	Fator de Certeza - FC _{ij}																					
	Acessibilidade	Flexibilidade	Características Físicas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	FC _k	
1	Baixa	Baixa	Ruim	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
2	Baixa	Média	Ruim	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,7	0,7	1,0	1,0	1,0	0,9	0,6	0,6	0,6	0,6	0,9	0,9	0,9
3	Baixa	Alta	Regular	0,9	0,5	0,5	0,8	0,8	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,5	0,6	1,0	1,0	1,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,9	0,7	0,7
4	Média	Baixa	Ruim	0,5	0,5	0,6	0,6	0,5	0,6	0,5	0,5	0,6	0,8	0,8	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,9	0,6	0,6
5	Média	Média	Regular	0,9	1,0	1,0	1,0	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7	1,0	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,6	0,9	0,9	0,9
6	Média	Alta	Bom	0,6	0,6	0,6	1,0	0,7	0,8	0,7	0,7	0,6	0,5	0,6	0,5	0,8	1,0	0,9	0,9	0,9	1,0	0,6	0,9	0,7	0,7
7	Alta	Baixa	Regular	1,0	1,0	1,0	1,0	0,6	0,6	0,9	0,9	1,0	0,7	0,7	0,7	0,8	0,6	0,6	0,6	0,8	0,6	0,5	0,8	0,8	0,8
8	Alta	Média	Bom	0,6	1,0	1,0	0,7	1,0	1,0	1,0	0,8	0,8	1,0	1,0	1,0	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9
9	Alta	Alta	Bom	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

TAB. 8.17: Bloco de Inferência BI-VI

Regra	SE		ENTÃO	Fator de Certeza - FC _{ij}																					
	Tempo	Segurança	Operação Modal	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	FC _k	
1	Lento	Baixa	Ruim	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
2	Lento	Média	Ruim	0,8	0,9	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,7	0,7	0,7	0,7	0,9	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,9	0,8	0,8
3	Lento	Alta	Regular	0,9	0,7	0,7	0,8	0,8	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,5	0,6	0,5	0,7	0,7	0,5	0,5	0,5	0,9	0,7	0,7	0,7
4	Moderado	Baixa	Ruim	0,9	0,9	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	0,8	0,8	0,8	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,9	0,7	0,7
5	Moderado	Média	Regular	0,9	0,7	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	0,8	0,9	0,9	0,7	0,7	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
6	Moderado	Alta	Bom	0,6	0,8	0,6	0,5	0,7	0,8	0,7	0,5	0,6	0,6	0,7	0,7	0,8	1,0	0,9	0,9	1,0	0,6	0,9	0,7	0,7	
7	Rápido	Baixa	Regular	1,0	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	0,7	0,7	0,5	0,8	0,6	0,6	0,6	0,8	0,6	0,5	0,6	
8	Rápido	Média	Bom	1,0	1,0	1,0	0,7	1,0	1,0	0,6	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	1,0	1,0	1,0	0,8	0,9	0,9	0,9	
9	Rápido	Alta	Bom	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	

TAB. 8.18: Bloco de Inferência BI-VII

Regra	SE		ENTÃO	Fator de Certeza - FC _{ij}																					
	Serviços Logísticos	Características Físicas	Infra-estrutura Modal	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	FC _k	
1	Pouco	Ruim	Ruim	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
2	Pouco	Regular	Ruim	0,8	0,9	0,8	0,9	0,6	0,9	0,5	0,9	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,9	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,9	0,7	0,7
3	Pouco	Bom	Regular	0,9	0,5	1,0	1,0	1,0	1,0	0,5	1,0	0,6	0,6	0,5	0,6	0,5	0,7	0,7	0,5	0,5	0,5	0,9	0,7	0,7	0,7
4	Moderado	Ruim	Ruim	0,9	0,9	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	0,8	0,8	0,8	0,8	0,5	0,5	0,4	0,6	0,6	0,6	0,9	0,7	0,7
5	Moderado	Regular	Regular	0,9	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7	0,6	0,6	0,5	0,5	0,9	0,9	0,6	0,9	0,7	0,7
6	Moderado	Bom	Bom	0,6	0,6	0,6	1,0	0,7	0,8	0,7	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,8	1,0	0,9	0,9	1,0	0,6	0,9	0,9	0,9	
7	Muito	Ruim	Regular	1,0	1,0	1,0	1,0	0,6	0,6	0,6	0,6	1,0	1,0	1,0	1,0	0,7	0,8	0,6	0,6	0,6	0,8	0,6	0,5	0,8	
8	Muito	Regular	Bom	0,6	0,6	0,6	0,7	0,5	0,5	0,6	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	0,7	
9	Muito	Bom	Bom	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

TAB. 8.19: Bloco de Inferência BI-VIII

Regra	SE		ENTÃO	Fator de Certeza - FC _{ij}																					
	Operação Modal	Infra-estrutura Modal	Características do Modal	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	FC _k	
1	Ruim	Ruim	Ruim	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
2	Ruim	Regular	Ruim	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	0,6	0,6	0,6	0,6	0,9	0,9
3	Ruim	Bom	Regular	0,9	0,5	0,5	0,8	0,8	0,5	0,5	1,0	1,0	1,0	1,0	0,6	0,7	0,7	0,5	0,7	0,5	0,5	0,5	0,9	0,7	0,7
4	Regular	Ruim	Ruim	0,9	0,9	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,8	0,5	0,6	0,5	0,6	0,4	0,4	0,5	0,6	0,6	0,6	1,0	0,9	0,6	0,6
5	Regular	Regular	Regular	0,9	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7	0,5	0,5	0,9	0,9	0,9	0,5	0,5	0,9	0,7	0,7
6	Regular	Bom	Bom	0,6	0,6	0,6	1,0	0,7	0,8	0,7	1,0	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	1,0	0,9	0,9	0,9	1,0	0,6	0,9	0,8	0,8
7	Bom	Ruim	Regular	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	1,0	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,6	0,6	0,6	0,8	0,6	0,5	0,8	0,8
8	Bom	Regular	Bom	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5	0,6	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,5	0,5	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	0,7
9	Bom	Bom	Bom	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

TAB. 8.20: Bloco de Inferência BI-IX

Regra	SE		ENTÃO	Fator de Certeza - FC _{ij}																					
	Valor Agregado da Carga	Características do Modal	Nível de Serviço	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	FC _K	
1	Baixo	Ruim	Ruim	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
2	Baixo	Regular	Ruim	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,9	0,6	0,6	0,6	0,6	0,9	0,8	0,8
3	Baixo	Bom	Regular	0,9	0,4	0,5	0,8	0,8	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,5	0,6	0,5	0,7	0,7	0,7	0,5	0,5	0,5	0,9	0,6	0,6
4	Médio	Ruim	Ruim	0,9	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	1,0	0,8	1,0	0,8	0,8	0,8	0,8	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	0,8	0,8
5	Médio	Regular	Regular	0,9	0,6	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,8	0,7	0,7	0,7	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,6	0,9	0,7	0,7
6	Médio	Bom	Bom	0,6	0,6	0,6	1,0	1,0	1,0	0,7	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	1,0	0,6	0,9	0,9	0,9
7	Alto	Ruim	Regular	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	1,0	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,6	0,6	0,6	0,8	0,6	0,5	0,6	0,6
8	Alto	Regular	Bom	0,6	0,6	0,6	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	1,0	0,9	0,9	0,9
9	Alto	Bom	Bom	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

TAB. 8.21: Bloco de Inferência BI-X

Regra	SE		ENTÃO	Fator de Certeza - FC _{ij}																					
	Custos	Nível de Serviço	GEM	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	FC _K	
1	Alto	Ruim	Baixo	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
2	Alto	Regular	Baixo	0,6	0,5	0,6	0,6	0,4	0,5	0,6	0,6	0,5	0,7	0,7	0,7	0,7	0,9	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,9	0,6	0,6
3	Alto	Bom	Médio	0,9	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	0,5	0,6	0,5	0,7	0,7	0,5	0,5	0,5	0,9	0,7	0,7
4	Médio	Ruim	Baixo	0,9	0,9	0,6	0,6	0,6	0,6	1,0	0,8	1,0	0,8	0,8	0,8	0,8	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	1,0	0,9	0,7	0,7
5	Médio	Regular	Médio	0,9	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,6	0,9	0,8	0,8	0,8
6	Médio	Bom	Alto	0,6	0,6	0,6	1,0	0,7	0,8	0,7	1,0	1,0	1,0	1,0	0,6	0,8	0,6	0,6	0,5	0,9	1,0	0,6	0,9	0,8	0,8
7	Baixo	Ruim	Médio	1,0	1,0	1,0	1,0	0,6	0,6	0,6	0,9	0,9	1,0	0,7	0,7	0,8	0,6	0,6	0,6	0,8	0,6	0,5	0,8	0,8	0,8
8	Baixo	Regular	Alto	0,6	0,6	0,6	0,7	1,0	1,0	0,6	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	0,8	0,8
9	Baixo	Bom	Alto	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

TAB. 8.22: Bloco de Inferência BI-I - Alternativa A

Agregação

Regra 1 : FC₁ . MIN {GdC_{Baixo}, GdC_{Baixo}} = 1,0 . MIN { 0,4 ; 0,7 } = 0,40
 Regra 2 : FC₂ . MIN {GdC_{Baixo}, GdC_{Médio}} = 0,8 . MIN { 0,4 ; 0,3 } = 0,23
 Regra 3 : FC₃ . MIN {GdC_{Baixo}, GdC_{Alto}} = 0,6 . MIN { 0,4 ; 0,0 } = 0,00
 Regra 4 : FC₄ . MIN {GdC_{Médio}, GdC_{Ruim}} = 0,9 . MIN { 0,6 ; 0,7 } = 0,51
 Regra 5 : FC₅ . MIN {GdC_{Médio}, GdC_{Médio}} = 0,8 . MIN { 0,6 ; 0,3 } = 0,24
 Regra 6 : FC₆ . MIN {GdC_{Médio}, GdC_{Alto}} = 0,9 . MIN { 0,6 ; 0,0 } = 0,00
 Regra 7 : FC₇ . MIN {GdC_{Alto}, GdC_{Baixo}} = 0,7 . MIN { 0,0 ; 0,7 } = 0,00
 Regra 8 : FC₈ . MIN {GdC_{Alto}, GdC_{Médio}} = 0,8 . MIN { 0,0 ; 0,3 } = 0,00
 Regra 9 : FC₉ . MIN {GdC_{Alto}, GdC_{Alto}} = 1,0 . MIN { 0,0 ; 0,0 } = 0,00

Composição

GdC_{Custos} = MAX [FC₁.MIN{GdC_{Baixo}; GdC_{Baixo}}, ..., FC₉.MIN{GdC_{Alto}; GdC_{Alto}}]
GdC_{Custos} = { Baixo = 0,51 ; Médio = 0,24 ; Alto = 0,00 }

TAB. 8.23: Bloco de Inferência BI-I - Alternativa B

Agregação

Regra 1 : FC₁ . MIN {GdC_{Baixo}, GdC_{Baixo}} = 1,0 . MIN { 0,0 ; 0,0 } = 0,00
 Regra 2 : FC₂ . MIN {GdC_{Baixo}, GdC_{Médio}} = 0,8 . MIN { 0,0 ; 0,9 } = 0,00
 Regra 3 : FC₃ . MIN {GdC_{Baixo}, GdC_{Alto}} = 0,6 . MIN { 0,0 ; 0,2 } = 0,00
 Regra 4 : FC₄ . MIN {GdC_{Médio}, GdC_{Ruim}} = 0,9 . MIN { 0,5 ; 0,0 } = 0,00
 Regra 5 : FC₅ . MIN {GdC_{Médio}, GdC_{Médio}} = 0,8 . MIN { 0,5 ; 0,9 } = 0,40
 Regra 6 : FC₆ . MIN {GdC_{Médio}, GdC_{Alto}} = 0,9 . MIN { 0,5 ; 0,2 } = 0,13
 Regra 7 : FC₇ . MIN {GdC_{Alto}, GdC_{Baixo}} = 0,7 . MIN { 0,5 ; 0,0 } = 0,00
 Regra 8 : FC₈ . MIN {GdC_{Alto}, GdC_{Médio}} = 0,8 . MIN { 0,5 ; 0,9 } = 0,39
 Regra 9 : FC₉ . MIN {GdC_{Alto}, GdC_{Alto}} = 1,0 . MIN { 0,5 ; 0,2 } = 0,15

Composição

GdC_{Custos Diretos} = MAX [FC₁.MIN{GdC_{Baixo}; GdC_{Baixo}}, ..., FC₉.MIN{GdC_{Alto}; GdC_{Alto}}]
GdC_{Custos Diretos} = { Baixo = 0,00 ; Médio = 0,40 ; Alto = 0,39 }

TAB. 8.24: Bloco de Inferência BI-II - Alternativa A

Agregação	
Regra 1	$FC_1 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Baixa}}, \text{GdC}_{\text{Alto}}\} = 1,0 \cdot \text{MIN}\{0,0; 0,4\} = 0,00$
Regra 2	$FC_2 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Baixa}}, \text{GdC}_{\text{Médio}}\} = 0,8 \cdot \text{MIN}\{0,0; 0,6\} = 0,00$
Regra 3	$FC_3 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Baixa}}, \text{GdC}_{\text{Baixo}}\} = 0,9 \cdot \text{MIN}\{0,0; 0,0\} = 0,00$
Regra 4	$FC_4 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Média}}, \text{GdC}_{\text{Alto}}\} = 0,9 \cdot \text{MIN}\{1,0; 0,4\} = 0,34$
Regra 5	$FC_5 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Média}}, \text{GdC}_{\text{Médio}}\} = 0,6 \cdot \text{MIN}\{1,0; 0,6\} = 0,38$
Regra 6	$FC_6 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Média}}, \text{GdC}_{\text{Baixo}}\} = 0,7 \cdot \text{MIN}\{1,0; 0,0\} = 0,00$
Regra 7	$FC_7 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Alta}}, \text{GdC}_{\text{Alto}}\} = 0,9 \cdot \text{MIN}\{0,0; 0,4\} = 0,00$
Regra 8	$FC_8 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Alta}}, \text{GdC}_{\text{Médio}}\} = 0,8 \cdot \text{MIN}\{0,0; 0,6\} = 0,00$
Regra 9	$FC_9 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Alta}}, \text{GdC}_{\text{Baixo}}\} = 1,0 \cdot \text{MIN}\{0,0; 0,0\} = 0,00$
Composição	
$\text{GdC}_{\text{Tempo}} = \text{MAX}\{FC_1 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Baixa}}, \text{GdC}_{\text{Alto}}\}, \dots, FC_9 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Alta}}, \text{GdC}_{\text{Baixo}}\}\}$	
$\text{GdC}_{\text{Tempo}} = \{ \text{Lento} = 0,34 ; \text{Moderado} = 0,38 ; \text{Rápido} = 0,00 \}$	

TAB. 8.25: Bloco de Inferência BI-II - Alternativa B

Agregação	
Regra 1	$FC_1 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Baixa}}, \text{GdC}_{\text{Alto}}\} = 1,0 \cdot \text{MIN}\{0,0; 0,0\} = 0,00$
Regra 2	$FC_2 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Baixa}}, \text{GdC}_{\text{Médio}}\} = 0,8 \cdot \text{MIN}\{0,0; 1,0\} = 0,00$
Regra 3	$FC_3 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Baixa}}, \text{GdC}_{\text{Baixo}}\} = 0,9 \cdot \text{MIN}\{0,0; 0,0\} = 0,00$
Regra 4	$FC_4 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Média}}, \text{GdC}_{\text{Alto}}\} = 0,9 \cdot \text{MIN}\{0,0; 0,0\} = 0,00$
Regra 5	$FC_5 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Média}}, \text{GdC}_{\text{Médio}}\} = 0,6 \cdot \text{MIN}\{0,0; 1,0\} = 0,00$
Regra 6	$FC_6 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Média}}, \text{GdC}_{\text{Baixo}}\} = 0,7 \cdot \text{MIN}\{0,0; 0,0\} = 0,00$
Regra 7	$FC_7 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Alta}}, \text{GdC}_{\text{Alto}}\} = 0,9 \cdot \text{MIN}\{1,0; 0,0\} = 0,00$
Regra 8	$FC_8 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Alta}}, \text{GdC}_{\text{Médio}}\} = 0,8 \cdot \text{MIN}\{1,0; 1,0\} = 0,79$
Regra 9	$FC_9 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Alta}}, \text{GdC}_{\text{Baixo}}\} = 1,0 \cdot \text{MIN}\{1,0; 0,0\} = 0,00$
Composição	
$\text{GdC}_{\text{Tempo}} = \text{MAX}\{FC_1 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Baixa}}, \text{GdC}_{\text{Alto}}\}, \dots, FC_9 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Alta}}, \text{GdC}_{\text{Baixo}}\}\}$	
$\text{GdC}_{\text{Tempo}} = \{ \text{Lento} = 0,00 ; \text{Moderado} = 0,00 ; \text{Rápido} = 0,79 \}$	

TAB. 8.26: Bloco de Inferência BI-III - Alternativa A

Agregação	
Regra 1	$FC_1 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Alta}}, \text{GdC}_{\text{Baixa}}\} = 1,0 \cdot \text{MIN}\{0,0; 0,0\} = 0,00$
Regra 2	$FC_2 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Alta}}, \text{GdC}_{\text{Média}}\} = 0,7 \cdot \text{MIN}\{0,0; 0,3\} = 0,00$
Regra 3	$FC_3 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Alta}}, \text{GdC}_{\text{Alta}}\} = 0,8 \cdot \text{MIN}\{0,0; 0,8\} = 0,00$
Regra 4	$FC_4 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Média}}, \text{GdC}_{\text{Baixa}}\} = 0,9 \cdot \text{MIN}\{0,4; 0,0\} = 0,00$
Regra 5	$FC_5 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Média}}, \text{GdC}_{\text{Média}}\} = 0,6 \cdot \text{MIN}\{0,4; 0,3\} = 0,16$
Regra 6	$FC_6 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Média}}, \text{GdC}_{\text{Alta}}\} = 0,8 \cdot \text{MIN}\{0,4; 0,8\} = 0,26$
Regra 7	$FC_7 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Baixa}}, \text{GdC}_{\text{Baixa}}\} = 0,8 \cdot \text{MIN}\{0,7; 0,0\} = 0,00$
Regra 8	$FC_8 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Baixa}}, \text{GdC}_{\text{Média}}\} = 0,9 \cdot \text{MIN}\{0,7; 0,3\} = 0,21$
Regra 9	$FC_9 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Baixa}}, \text{GdC}_{\text{Alta}}\} = 1,0 \cdot \text{MIN}\{0,7; 0,8\} = 0,65$
Composição	
$\text{GdC}_{\text{Segurança}} = \text{MAX}\{FC_1 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Alta}}, \text{GdC}_{\text{Baixa}}\}, \dots, FC_9 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Baixa}}, \text{GdC}_{\text{Alta}}\}\}$	
$\text{GdC}_{\text{Segurança}} = \{ \text{Baixa} = 0,00 ; \text{Média} = 0,16 ; \text{Alta} = 0,65 \}$	

TAB. 8.27: Bloco de Inferência BI-III - Alternativa B

Agregação	
Regra 1	$FC_1 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Alta}}, \text{GdC}_{\text{Baixa}}\} = 1,0 \cdot \text{MIN}\{0,0; 0,0\} = 0,00$
Regra 2	$FC_2 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Alta}}, \text{GdC}_{\text{Média}}\} = 0,7 \cdot \text{MIN}\{0,0; 0,1\} = 0,00$
Regra 3	$FC_3 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Alta}}, \text{GdC}_{\text{Alta}}\} = 0,8 \cdot \text{MIN}\{0,0; 0,9\} = 0,00$
Regra 4	$FC_4 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Médio}}, \text{GdC}_{\text{Baixa}}\} = 0,9 \cdot \text{MIN}\{0,2; 0,0\} = 0,00$
Regra 5	$FC_5 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Médio}}, \text{GdC}_{\text{Média}}\} = 0,6 \cdot \text{MIN}\{0,2; 0,1\} = 0,06$
Regra 6	$FC_6 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Médio}}, \text{GdC}_{\text{Alta}}\} = 0,8 \cdot \text{MIN}\{0,2; 0,9\} = 0,11$
Regra 7	$FC_7 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Baixa}}, \text{GdC}_{\text{Baixa}}\} = 0,8 \cdot \text{MIN}\{0,9; 0,0\} = 0,00$
Regra 8	$FC_8 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Baixa}}, \text{GdC}_{\text{Média}}\} = 0,9 \cdot \text{MIN}\{0,9; 0,1\} = 0,09$
Regra 9	$FC_9 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Baixa}}, \text{GdC}_{\text{Alta}}\} = 1,0 \cdot \text{MIN}\{0,9; 0,9\} = 0,85$

Composição	
$\text{GdC}_{\text{Segurança}}$	$= \text{MAX}\{FC_1 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Alta}}, \text{GdC}_{\text{Baixa}}\}, \dots, FC_9 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Baixa}}, \text{GdC}_{\text{Alta}}\}\}$
$\text{GdC}_{\text{Segurança}}$	$= \{ \text{Baixa} = 0,00 ; \text{Média} = 0,06 ; \text{Alta} = 0,85 \}$

TAB. 8.28: Bloco de Inferência BI-IV - Alternativa A

Agregação	
Regra 1	$FC_1 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Baixa}}, \text{GdC}_{\text{Pouco}}\} = 1,0 \cdot \text{MIN}\{0,0; 0,0\} = 0,00$
Regra 2	$FC_2 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Baixa}}, \text{GdC}_{\text{Moderado}}\} = 0,7 \cdot \text{MIN}\{0,0; 0,2\} = 0,00$
Regra 3	$FC_3 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Baixa}}, \text{GdC}_{\text{Muito}}\} = 0,9 \cdot \text{MIN}\{0,0; 0,8\} = 0,00$
Regra 4	$FC_4 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Média}}, \text{GdC}_{\text{Pouco}}\} = 0,7 \cdot \text{MIN}\{0,0; 0,0\} = 0,00$
Regra 5	$FC_5 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Média}}, \text{GdC}_{\text{Moderado}}\} = 0,9 \cdot \text{MIN}\{0,0; 0,2\} = 0,00$
Regra 6	$FC_6 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Média}}, \text{GdC}_{\text{Muito}}\} = 0,6 \cdot \text{MIN}\{0,0; 0,8\} = 0,00$
Regra 7	$FC_7 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Alta}}, \text{GdC}_{\text{Pouco}}\} = 0,9 \cdot \text{MIN}\{1,0; 0,0\} = 0,00$
Regra 8	$FC_8 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Alta}}, \text{GdC}_{\text{Moderado}}\} = 0,8 \cdot \text{MIN}\{1,0; 0,2\} = 0,15$
Regra 9	$FC_9 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Alta}}, \text{GdC}_{\text{Muito}}\} = 1,0 \cdot \text{MIN}\{1,0; 0,8\} = 0,80$

Composição	
$\text{GdC}_{\text{Serviços Logísticos}}$	$= \text{MAX}\{FC_1 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Baixa}}, \text{GdC}_{\text{Pouco}}\}, \dots, FC_9 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Alta}}, \text{GdC}_{\text{Muito}}\}\}$
$\text{GdC}_{\text{Serviços Logísticos}}$	$= \{ \text{Pouco} = 0,00 ; \text{Moderado} = 0,00 ; \text{Muito} = 0,80 \}$

TAB. 8.29: Bloco de Inferência BI-IV - Alternativa B

Agregação	
Regra 1	$FC_1 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Baixa}}, \text{GdC}_{\text{Pouco}}\} = 1,0 \cdot \text{MIN}\{0,0; 0,0\} = 0,00$
Regra 2	$FC_2 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Baixa}}, \text{GdC}_{\text{Moderado}}\} = 0,7 \cdot \text{MIN}\{0,0; 0,8\} = 0,00$
Regra 3	$FC_3 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Baixa}}, \text{GdC}_{\text{Muito}}\} = 0,9 \cdot \text{MIN}\{0,0; 0,2\} = 0,00$
Regra 4	$FC_4 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Média}}, \text{GdC}_{\text{Pouco}}\} = 0,7 \cdot \text{MIN}\{0,9; 0,0\} = 0,00$
Regra 5	$FC_5 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Média}}, \text{GdC}_{\text{Moderado}}\} = 0,9 \cdot \text{MIN}\{0,9; 0,8\} = 0,70$
Regra 6	$FC_6 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Média}}, \text{GdC}_{\text{Muito}}\} = 0,6 \cdot \text{MIN}\{0,9; 0,2\} = 0,13$
Regra 7	$FC_7 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Alta}}, \text{GdC}_{\text{Pouco}}\} = 0,9 \cdot \text{MIN}\{0,1; 0,0\} = 0,00$
Regra 8	$FC_8 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Alta}}, \text{GdC}_{\text{Moderado}}\} = 0,8 \cdot \text{MIN}\{0,1; 0,8\} = 0,08$
Regra 9	$FC_9 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Alta}}, \text{GdC}_{\text{Muito}}\} = 1,0 \cdot \text{MIN}\{0,1; 0,2\} = 0,10$

Composição	
$\text{GdC}_{\text{Serviços Logísticos}}$	$= \text{MAX}\{FC_1 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Baixa}}, \text{GdC}_{\text{Pouco}}\}, \dots, FC_9 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Alta}}, \text{GdC}_{\text{Muito}}\}\}$
$\text{GdC}_{\text{Serviços Logísticos}}$	$= \{ \text{Pouco} = 0,00 ; \text{Moderado} = 0,70 ; \text{Muito} = 0,13 \}$

TAB. 8.30: Bloco de Inferência BI-V – Alternativa A

Agregação	
Regra 1	$FC_1 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Baixa}}, \text{GdC}_{\text{Baixa}}\} = 1,0 \cdot \text{MIN}\{0,0; 0,0\} = 0,00$
Regra 2	$FC_2 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Baixa}}, \text{GdC}_{\text{Média}}\} = 0,9 \cdot \text{MIN}\{0,0; 0,1\} = 0,00$
Regra 3	$FC_3 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Baixa}}, \text{GdC}_{\text{Alta}}\} = 0,7 \cdot \text{MIN}\{0,0; 0,9\} = 0,00$
Regra 4	$FC_4 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Média}}, \text{GdC}_{\text{Baixa}}\} = 0,6 \cdot \text{MIN}\{0,3; 0,0\} = 0,00$
Regra 5	$FC_5 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Média}}, \text{GdC}_{\text{Média}}\} = 0,9 \cdot \text{MIN}\{0,3; 0,1\} = 0,09$
Regra 6	$FC_6 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Média}}, \text{GdC}_{\text{Alta}}\} = 0,7 \cdot \text{MIN}\{0,3; 0,9\} = 0,22$
Regra 7	$FC_7 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Alta}}, \text{GdC}_{\text{Baixa}}\} = 0,8 \cdot \text{MIN}\{0,7; 0,0\} = 0,00$
Regra 8	$FC_8 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Alta}}, \text{GdC}_{\text{Média}}\} = 0,9 \cdot \text{MIN}\{0,7; 0,1\} = 0,09$
Regra 9	$FC_9 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Alta}}, \text{GdC}_{\text{Alta}}\} = 1,0 \cdot \text{MIN}\{0,7; 0,9\} = 0,70$
Composição	
$\text{GdC}_{\text{Características Físicas}} = \text{MAX}\{FC_1 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Baixa}}, \text{GdC}_{\text{Baixa}}\}, \dots, FC_9 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Alta}}, \text{GdC}_{\text{Alta}}\}\}$	
$\text{GdC}_{\text{Características Físicas}} = \{ \text{Ruim} = 0,00 ; \text{Regular} = 0,09 ; \text{Bom} = 0,70 \}$	

TAB. 8.31: Bloco de Inferência BI-V – Alternativa B

Agregação	
Regra 1	$FC_1 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Baixa}}, \text{GdC}_{\text{Baixa}}\} = 1,0 \cdot \text{MIN}\{0,0; 0,0\} = 0,00$
Regra 2	$FC_2 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Baixa}}, \text{GdC}_{\text{Média}}\} = 0,9 \cdot \text{MIN}\{0,0; 0,5\} = 0,00$
Regra 3	$FC_3 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Baixa}}, \text{GdC}_{\text{Alta}}\} = 0,7 \cdot \text{MIN}\{0,0; 0,5\} = 0,00$
Regra 4	$FC_4 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Média}}, \text{GdC}_{\text{Baixa}}\} = 0,6 \cdot \text{MIN}\{0,1; 0,0\} = 0,00$
Regra 5	$FC_5 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Média}}, \text{GdC}_{\text{Média}}\} = 0,9 \cdot \text{MIN}\{0,1; 0,5\} = 0,09$
Regra 6	$FC_6 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Média}}, \text{GdC}_{\text{Alta}}\} = 0,7 \cdot \text{MIN}\{0,1; 0,5\} = 0,07$
Regra 7	$FC_7 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Alta}}, \text{GdC}_{\text{Baixa}}\} = 0,8 \cdot \text{MIN}\{0,9; 0,0\} = 0,00$
Regra 8	$FC_8 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Alta}}, \text{GdC}_{\text{Média}}\} = 0,9 \cdot \text{MIN}\{0,9; 0,5\} = 0,44$
Regra 9	$FC_9 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Alta}}, \text{GdC}_{\text{Alta}}\} = 1,0 \cdot \text{MIN}\{0,9; 0,5\} = 0,50$
Composição	
$\text{GdC}_{\text{Características Físicas}} = \text{MAX}\{FC_1 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Baixa}}, \text{GdC}_{\text{Baixa}}\}, \dots, FC_9 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Alta}}, \text{GdC}_{\text{Alta}}\}\}$	
$\text{GdC}_{\text{Características Físicas}} = \{ \text{Ruim} = 0,00 ; \text{Regular} = 0,09 ; \text{Bom} = 0,50 \}$	

TAB. 8.32: Bloco de Inferência BI-VI – Alternativa A

Agregação	
Regra 1	$FC_1 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Lento}}, \text{GdC}_{\text{Baixa}}\} = 1,0 \cdot \text{MIN}\{0,3; 0,0\} = 0,00$
Regra 2	$FC_2 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Lento}}, \text{GdC}_{\text{Média}}\} = 0,9 \cdot \text{MIN}\{0,3; 0,2\} = 0,13$
Regra 3	$FC_3 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Lento}}, \text{GdC}_{\text{Alta}}\} = 0,7 \cdot \text{MIN}\{0,3; 0,7\} = 0,23$
Regra 4	$FC_4 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Moderado}}, \text{GdC}_{\text{Baixa}}\} = 0,6 \cdot \text{MIN}\{0,4; 0,0\} = 0,00$
Regra 5	$FC_5 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Moderado}}, \text{GdC}_{\text{Média}}\} = 0,9 \cdot \text{MIN}\{0,4; 0,2\} = 0,13$
Regra 6	$FC_6 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Moderado}}, \text{GdC}_{\text{Alta}}\} = 0,7 \cdot \text{MIN}\{0,4; 0,7\} = 0,29$
Regra 7	$FC_7 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Rápido}}, \text{GdC}_{\text{Baixa}}\} = 0,8 \cdot \text{MIN}\{0,0; 0,0\} = 0,00$
Regra 8	$FC_8 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Rápido}}, \text{GdC}_{\text{Média}}\} = 0,9 \cdot \text{MIN}\{0,0; 0,2\} = 0,00$
Regra 9	$FC_9 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Rápido}}, \text{GdC}_{\text{Alta}}\} = 1,0 \cdot \text{MIN}\{0,0; 0,7\} = 0,00$
Composição	
$\text{GdC}_{\text{Operação Modal}} = \text{MAX}\{FC_1 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Lento}}, \text{GdC}_{\text{Baixa}}\}, \dots, FC_9 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Rápido}}, \text{GdC}_{\text{Alta}}\}\}$	
$\text{GdC}_{\text{Operação Modal}} = \{ \text{Ruim} = 0,13 ; \text{Regular} = 0,23 ; \text{Bom} = 0,29 \}$	

TAB. 8.33: Bloco de Inferência BI-VI - Alternativa B

Agregação	
Regra 1	$FC_1 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Lento}}, \text{GdC}_{\text{Baixa}}\} = 1,0 \cdot \text{MIN}\{0,0; 0,0\} = 0,00$
Regra 2	$FC_2 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Lento}}, \text{GdC}_{\text{Média}}\} = 0,9 \cdot \text{MIN}\{0,0; 0,1\} = 0,00$
Regra 3	$FC_3 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Lento}}, \text{GdC}_{\text{Alta}}\} = 0,7 \cdot \text{MIN}\{0,0; 0,9\} = 0,00$
Regra 4	$FC_4 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Moderado}}, \text{GdC}_{\text{Baixa}}\} = 0,6 \cdot \text{MIN}\{0,0; 0,0\} = 0,00$
Regra 5	$FC_5 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Moderado}}, \text{GdC}_{\text{Média}}\} = 0,9 \cdot \text{MIN}\{0,0; 0,1\} = 0,00$
Regra 6	$FC_6 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Moderado}}, \text{GdC}_{\text{Alta}}\} = 0,7 \cdot \text{MIN}\{0,0; 0,9\} = 0,00$
Regra 7	$FC_7 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Rápido}}, \text{GdC}_{\text{Baixa}}\} = 0,8 \cdot \text{MIN}\{0,8; 0,0\} = 0,00$
Regra 8	$FC_8 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Rápido}}, \text{GdC}_{\text{Média}}\} = 0,9 \cdot \text{MIN}\{0,8; 0,1\} = 0,05$
Regra 9	$FC_9 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Rápido}}, \text{GdC}_{\text{Alta}}\} = 1,0 \cdot \text{MIN}\{0,8; 0,9\} = 0,79$

Composição	
$\text{GdC}_{\text{Operação Modal}} = \text{MAX}\{FC_1 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Lento}}, \text{GdC}_{\text{Baixa}}\}, \dots, FC_9 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Rápido}}, \text{GdC}_{\text{Alta}}\}\}$	
$\text{GdC}_{\text{Operação Modal}} = \{ \text{Ruim} = 0,00 ; \text{Regular} = 0,00 ; \text{Bom} = 0,79 \}$	

TAB. 8.34: Bloco de Inferência BI-VII - Alternativa A

Agregação	
Regra 1	$FC_1 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Pouco}}, \text{GdC}_{\text{Ruim}}\} = 1,0 \cdot \text{MIN}\{0,0; 0,0\} = 0,00$
Regra 2	$FC_2 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Pouco}}, \text{GdC}_{\text{Regular}}\} = 0,9 \cdot \text{MIN}\{0,0; 0,1\} = 0,00$
Regra 3	$FC_3 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Pouco}}, \text{GdC}_{\text{Bom}}\} = 0,7 \cdot \text{MIN}\{0,0; 0,7\} = 0,00$
Regra 4	$FC_4 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Moderado}}, \text{GdC}_{\text{Ruim}}\} = 0,6 \cdot \text{MIN}\{0,0; 0,0\} = 0,00$
Regra 5	$FC_5 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Moderado}}, \text{GdC}_{\text{Regular}}\} = 0,9 \cdot \text{MIN}\{0,0; 0,1\} = 0,00$
Regra 6	$FC_6 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Moderado}}, \text{GdC}_{\text{Bom}}\} = 0,7 \cdot \text{MIN}\{0,0; 0,7\} = 0,00$
Regra 7	$FC_7 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Muito}}, \text{GdC}_{\text{Ruim}}\} = 0,8 \cdot \text{MIN}\{0,8; 0,0\} = 0,00$
Regra 8	$FC_8 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Muito}}, \text{GdC}_{\text{Regular}}\} = 0,9 \cdot \text{MIN}\{0,8; 0,1\} = 0,07$
Regra 9	$FC_9 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Muito}}, \text{GdC}_{\text{Bom}}\} = 1,0 \cdot \text{MIN}\{0,8; 0,7\} = 0,70$

Composição	
$\text{GdC}_{\text{Infra-estrutura Modal}} = \text{MAX}\{FC_1 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Pouco}}, \text{GdC}_{\text{Ruim}}\}, \dots, FC_9 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Muito}}, \text{GdC}_{\text{Bom}}\}\}$	
$\text{GdC}_{\text{Infra-estrutura Modal}} = \{ \text{Ruim} = 0,00 ; \text{Regular} = 0,00 ; \text{Bom} = 0,70 \}$	

TAB. 8.35: Bloco de Inferência BI-VII - Alternativa B

Agregação	
Regra 1	$FC_1 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Pouco}}, \text{GdC}_{\text{Ruim}}\} = 1,0 \cdot \text{MIN}\{0,0; 0,0\} = 0,00$
Regra 2	$FC_2 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Pouco}}, \text{GdC}_{\text{Regular}}\} = 0,9 \cdot \text{MIN}\{0,0; 0,1\} = 0,00$
Regra 3	$FC_3 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Pouco}}, \text{GdC}_{\text{Bom}}\} = 0,7 \cdot \text{MIN}\{0,0; 0,5\} = 0,00$
Regra 4	$FC_4 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Moderado}}, \text{GdC}_{\text{Ruim}}\} = 0,6 \cdot \text{MIN}\{0,7; 0,0\} = 0,00$
Regra 5	$FC_5 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Moderado}}, \text{GdC}_{\text{Regular}}\} = 0,9 \cdot \text{MIN}\{0,7; 0,1\} = 0,07$
Regra 6	$FC_6 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Moderado}}, \text{GdC}_{\text{Bom}}\} = 0,7 \cdot \text{MIN}\{0,7; 0,5\} = 0,37$
Regra 7	$FC_7 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Muito}}, \text{GdC}_{\text{Ruim}}\} = 0,8 \cdot \text{MIN}\{0,1; 0,0\} = 0,00$
Regra 8	$FC_8 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Muito}}, \text{GdC}_{\text{Regular}}\} = 0,9 \cdot \text{MIN}\{0,1; 0,1\} = 0,07$
Regra 9	$FC_9 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Muito}}, \text{GdC}_{\text{Bom}}\} = 1,0 \cdot \text{MIN}\{0,1; 0,5\} = 0,13$

Composição	
$\text{GdC}_{\text{Infra-estrutura Modal}} = \text{MAX}\{FC_1 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Pouco}}, \text{GdC}_{\text{Ruim}}\}, \dots, FC_9 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Muito}}, \text{GdC}_{\text{Bom}}\}\}$	
$\text{GdC}_{\text{Infra-estrutura Modal}} = \{ \text{Ruim} = 0,00 ; \text{Regular} = 0,07 ; \text{Bom} = 0,37 \}$	

TAB. 8.36: Bloco de Inferência BI-VIII – Alternativa A

Agregação		
Regra 1	: $FC_1 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Ruim}}, \text{GdC}_{\text{Ruim}}\}$	= $1,0 \cdot \text{MIN}\{0,1; 0,0\} = 0,00$
Regra 2	: $FC_2 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Ruim}}, \text{GdC}_{\text{Regular}}\}$	= $0,9 \cdot \text{MIN}\{0,1; 0,0\} = 0,00$
Regra 3	: $FC_3 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Ruim}}, \text{GdC}_{\text{Bom}}\}$	= $0,7 \cdot \text{MIN}\{0,1; 0,7\} = 0,09$
Regra 4	: $FC_4 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Regular}}, \text{GdC}_{\text{Ruim}}\}$	= $0,6 \cdot \text{MIN}\{0,2; 0,0\} = 0,00$
Regra 5	: $FC_5 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Regular}}, \text{GdC}_{\text{Regular}}\}$	= $0,9 \cdot \text{MIN}\{0,2; 0,0\} = 0,00$
Regra 6	: $FC_6 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Regular}}, \text{GdC}_{\text{Bom}}\}$	= $0,7 \cdot \text{MIN}\{0,2; 0,7\} = 0,17$
Regra 7	: $FC_7 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Bom}}, \text{GdC}_{\text{Ruim}}\}$	= $0,8 \cdot \text{MIN}\{0,3; 0,0\} = 0,00$
Regra 8	: $FC_8 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Bom}}, \text{GdC}_{\text{Regular}}\}$	= $0,9 \cdot \text{MIN}\{0,3; 0,0\} = 0,00$
Regra 9	: $FC_9 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Bom}}, \text{GdC}_{\text{Bom}}\}$	= $1,0 \cdot \text{MIN}\{0,3; 0,7\} = 0,29$

Composição	
$\text{GdC}_{\text{Características do Modal}}$	= $\text{MAX}\{FC_1 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Ruim}}, \text{GdC}_{\text{Ruim}}\}, \dots, FC_9 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Bom}}, \text{GdC}_{\text{Bom}}\}\}$
$\text{GdC}_{\text{Características do Modal}}$	= { Ruim = 0,00 ; Regular = 0,09 ; Bom = 0,29 }

TAB. 8.37: Bloco de Inferência BI-VIII – Alternativa B

Agregação		
Regra 1	: $FC_1 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Ruim}}, \text{GdC}_{\text{Ruim}}\}$	= $1,0 \cdot \text{MIN}\{0,0; 0,0\} = 0,00$
Regra 2	: $FC_2 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Ruim}}, \text{GdC}_{\text{Regular}}\}$	= $0,9 \cdot \text{MIN}\{0,0; 0,1\} = 0,00$
Regra 3	: $FC_3 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Ruim}}, \text{GdC}_{\text{Bom}}\}$	= $0,7 \cdot \text{MIN}\{0,0; 0,4\} = 0,00$
Regra 4	: $FC_4 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Regular}}, \text{GdC}_{\text{Ruim}}\}$	= $0,6 \cdot \text{MIN}\{0,0; 0,0\} = 0,00$
Regra 5	: $FC_5 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Regular}}, \text{GdC}_{\text{Regular}}\}$	= $0,9 \cdot \text{MIN}\{0,0; 0,1\} = 0,00$
Regra 6	: $FC_6 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Regular}}, \text{GdC}_{\text{Bom}}\}$	= $0,7 \cdot \text{MIN}\{0,0; 0,4\} = 0,00$
Regra 7	: $FC_7 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Bom}}, \text{GdC}_{\text{Ruim}}\}$	= $0,8 \cdot \text{MIN}\{0,8; 0,0\} = 0,00$
Regra 8	: $FC_8 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Bom}}, \text{GdC}_{\text{Regular}}\}$	= $0,9 \cdot \text{MIN}\{0,8; 0,1\} = 0,06$
Regra 9	: $FC_9 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Bom}}, \text{GdC}_{\text{Bom}}\}$	= $1,0 \cdot \text{MIN}\{0,8; 0,4\} = 0,37$

Composição	
$\text{GdC}_{\text{Características do Modal}}$	= $\text{MAX}\{FC_1 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Ruim}}, \text{GdC}_{\text{Ruim}}\}, \dots, FC_9 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Bom}}, \text{GdC}_{\text{Bom}}\}\}$
$\text{GdC}_{\text{Características do Modal}}$	= { Ruim = 0,00 ; Regular = 0,00 ; Bom = 0,37 }

TAB. 8.38: Bloco de Inferência BI-IX – Alternativa A

Agregação		
Regra 1	: $FC_1 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Baixo}}, \text{GdC}_{\text{Ruim}}\}$	= $1,0 \cdot \text{MIN}\{1,0; 0,0\} = 0,00$
Regra 2	: $FC_2 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Baixo}}, \text{GdC}_{\text{Regular}}\}$	= $0,8 \cdot \text{MIN}\{1,0; 0,1\} = 0,07$
Regra 3	: $FC_3 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Baixo}}, \text{GdC}_{\text{Bom}}\}$	= $0,6 \cdot \text{MIN}\{1,0; 0,3\} = 0,18$
Regra 4	: $FC_4 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Médio}}, \text{GdC}_{\text{Ruim}}\}$	= $0,8 \cdot \text{MIN}\{0,0; 0,0\} = 0,00$
Regra 5	: $FC_5 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Médio}}, \text{GdC}_{\text{Regular}}\}$	= $0,7 \cdot \text{MIN}\{0,0; 0,1\} = 0,00$
Regra 6	: $FC_6 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Médio}}, \text{GdC}_{\text{Bom}}\}$	= $0,9 \cdot \text{MIN}\{0,0; 0,3\} = 0,00$
Regra 7	: $FC_7 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Alto}}, \text{GdC}_{\text{Ruim}}\}$	= $0,6 \cdot \text{MIN}\{0,0; 0,0\} = 0,00$
Regra 8	: $FC_8 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Alto}}, \text{GdC}_{\text{Regular}}\}$	= $0,9 \cdot \text{MIN}\{0,0; 0,1\} = 0,00$
Regra 9	: $FC_9 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Alto}}, \text{GdC}_{\text{Bom}}\}$	= $1,0 \cdot \text{MIN}\{0,0; 0,3\} = 0,00$

Composição	
$\text{GdC}_{\text{Nível de Serviço}}$	= $\text{MAX}\{FC_1 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Baixo}}, \text{GdC}_{\text{Ruim}}\}, \dots, FC_9 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Alto}}, \text{GdC}_{\text{Bom}}\}\}$
$\text{GdC}_{\text{Nível de Serviço}}$	= { Ruim = 0,07 ; Regular = 0,18 ; Bom = 0,00 }

TAB. 8.39: Bloco de Inferência BI-IX – Alternativa B

Agregação	
Regra 1	$FC_1 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Baixo}}, \text{GdC}_{\text{Ruim}}\} = 1,0 \cdot \text{MIN}\{1,0; 0,0\} = 0,00$
Regra 2	$FC_2 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Baixo}}, \text{GdC}_{\text{Regular}}\} = 0,8 \cdot \text{MIN}\{1,0; 0,0\} = 0,00$
Regra 3	$FC_3 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Baixo}}, \text{GdC}_{\text{Bom}}\} = 0,6 \cdot \text{MIN}\{1,0; 0,4\} = 0,23$
Regra 4	$FC_4 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Médio}}, \text{GdC}_{\text{Ruim}}\} = 0,8 \cdot \text{MIN}\{0,0; 0,0\} = 0,00$
Regra 5	$FC_5 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Médio}}, \text{GdC}_{\text{Regular}}\} = 0,7 \cdot \text{MIN}\{0,0; 0,0\} = 0,00$
Regra 6	$FC_6 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Médio}}, \text{GdC}_{\text{Bom}}\} = 0,9 \cdot \text{MIN}\{0,0; 0,4\} = 0,00$
Regra 7	$FC_7 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Alto}}, \text{GdC}_{\text{Ruim}}\} = 0,6 \cdot \text{MIN}\{0,0; 0,0\} = 0,00$
Regra 8	$FC_8 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Alto}}, \text{GdC}_{\text{Regular}}\} = 0,9 \cdot \text{MIN}\{0,0; 0,0\} = 0,00$
Regra 9	$FC_9 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Alto}}, \text{GdC}_{\text{Bom}}\} = 1,0 \cdot \text{MIN}\{0,0; 0,4\} = 0,00$
Composição	
$\text{GdC}_{\text{Nível de Serviço}} = \text{MAX}\{FC_1 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Baixo}}, \text{GdC}_{\text{Ruim}}\}, \dots, FC_9 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Alto}}, \text{GdC}_{\text{Bom}}\}\}$	
$\text{GdC}_{\text{Nível de Serviço}} = \{ \text{Ruim} = 0,00 ; \text{Regular} = 0,23 ; \text{Bom} = 0,00 \}$	

TAB. 8.40: Bloco de Inferência BI-X – Alternativa A

Agregação	
Regra 1	$FC_1 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Alto}}, \text{GdC}_{\text{Ruim}}\} = 1,0 \cdot \text{MIN}\{0,0; 0,1\} = 0,00$
Regra 2	$FC_2 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Alto}}, \text{GdC}_{\text{Regular}}\} = 0,8 \cdot \text{MIN}\{0,0; 0,2\} = 0,00$
Regra 3	$FC_3 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Alto}}, \text{GdC}_{\text{Bom}}\} = 0,6 \cdot \text{MIN}\{0,0; 0,0\} = 0,00$
Regra 4	$FC_4 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Médio}}, \text{GdC}_{\text{Ruim}}\} = 0,8 \cdot \text{MIN}\{0,2; 0,1\} = 0,06$
Regra 5	$FC_5 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Médio}}, \text{GdC}_{\text{Regular}}\} = 0,7 \cdot \text{MIN}\{0,2; 0,2\} = 0,13$
Regra 6	$FC_6 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Médio}}, \text{GdC}_{\text{Bom}}\} = 0,9 \cdot \text{MIN}\{0,2; 0,0\} = 0,00$
Regra 7	$FC_7 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Baixo}}, \text{GdC}_{\text{Ruim}}\} = 0,6 \cdot \text{MIN}\{0,5; 0,1\} = 0,04$
Regra 8	$FC_8 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Baixo}}, \text{GdC}_{\text{Regular}}\} = 0,9 \cdot \text{MIN}\{0,5; 0,2\} = 0,15$
Regra 9	$FC_9 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Baixo}}, \text{GdC}_{\text{Bom}}\} = 1,0 \cdot \text{MIN}\{0,5; 0,0\} = 0,00$
Composição	
$\text{GdC}_{\text{GEM}} = \text{MAX}\{FC_1 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Alto}}, \text{GdC}_{\text{Ruim}}\}, \dots, FC_9 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Baixo}}, \text{GdC}_{\text{Bom}}\}\}$	
$\text{GdC}_{\text{GEM}} = \{ \text{Baixo} = 0,06 ; \text{Médio} = 0,13 ; \text{Alto} = 0,15 \}$	

TAB. 8.41: Bloco de Inferência BI-X – Alternativa B

Agregação	
Regra 1	$FC_1 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Alto}}, \text{GdC}_{\text{Ruim}}\} = 1,0 \cdot \text{MIN}\{0,4; 0,0\} = 0,00$
Regra 2	$FC_2 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Alto}}, \text{GdC}_{\text{Regular}}\} = 0,8 \cdot \text{MIN}\{0,4; 0,2\} = 0,18$
Regra 3	$FC_3 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Alto}}, \text{GdC}_{\text{Bom}}\} = 0,6 \cdot \text{MIN}\{0,4; 0,0\} = 0,00$
Regra 4	$FC_4 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Médio}}, \text{GdC}_{\text{Ruim}}\} = 0,8 \cdot \text{MIN}\{0,4; 0,0\} = 0,00$
Regra 5	$FC_5 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Médio}}, \text{GdC}_{\text{Regular}}\} = 0,7 \cdot \text{MIN}\{0,4; 0,2\} = 0,17$
Regra 6	$FC_6 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Médio}}, \text{GdC}_{\text{Bom}}\} = 0,9 \cdot \text{MIN}\{0,4; 0,0\} = 0,00$
Regra 7	$FC_7 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Baixo}}, \text{GdC}_{\text{Ruim}}\} = 0,6 \cdot \text{MIN}\{0,0; 0,0\} = 0,00$
Regra 8	$FC_8 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Baixo}}, \text{GdC}_{\text{Regular}}\} = 0,9 \cdot \text{MIN}\{0,0; 0,2\} = 0,00$
Regra 9	$FC_9 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Baixo}}, \text{GdC}_{\text{Bom}}\} = 1,0 \cdot \text{MIN}\{0,0; 0,0\} = 0,00$
Composição	
$\text{GdC}_{\text{GEM}} = \text{MAX}\{FC_1 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Alto}}, \text{GdC}_{\text{Ruim}}\}, \dots, FC_9 \cdot \text{MIN}\{\text{GdC}_{\text{Baixo}}, \text{GdC}_{\text{Bom}}\}\}$	
$\text{GdC}_{\text{GEM}} = \{ \text{Baixo} = 0,18 ; \text{Médio} = 0,17 ; \text{Alto} = 0,00 \}$	