

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**MODELAGEM MULTICRITÉRIO EM GERENCIAMENTO DE  
PROJETOS**

TESE SUBMETIDA À UFPE  
PARA A OBTENÇÃO DE GRAU DE DOUTOR  
POR

CAROLINE MARIA DE MIRANDA MOTA  
Orientador: Prof. Adiel Teixeira de Almeida

RECIFE, MAIO / 2005

**Mota, Caroline Maria de Miranda**

**Modelagem multicritério em gerenciamento de  
projetos / Caroline Maria de Miranda Mota. – Recife:  
O Autor, 2005.**

**xi, 171 folhas: il., fig., tab.**

**Tese (doutorado) – Universidade Federal de  
Pernambuco. CTG. Engenharia de Produção, 2005.**

**Inclui bibliografia.**

**1. Engenharia de produção – Pesquisa  
operacional. 2. Gestão de projetos – Planejamento e  
controle – Empreendimentos. 3. Decisão  
multicritério – Métodos de sobreclassificação –  
ELECTRE. I. Título.**

**658.5  
658.5036**

**CDU (2.ed.)  
CDD (21.ed.)**

**1 UFPE  
BC2005-312**



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

PARECER DA COMISSÃO EXAMINADORA  
DE DEFESA DE TESE DE DOUTORADO DE

**CAROLINE MARIA DE MIRANDA MOTA**

***“Modelagem Multicritério em Gerenciamento de Projetos”.***

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: PESQUISA OPERACIONAL

A comissão examinadora, composta pelos professores abaixo, sob a presidência do primeiro, considera a candidata **CAROLINE MARIA DE MIRANDA MOTA**  
**APROVADA COM DISTINÇÃO.**

Recife, 19 de maio de 2005.

---

Prof. ADIEL TEIXEIRA DE ALMEIDA, PhD (UFPE)

---

Prof. FERNANDO MENEZES CAMPELLO DE SOUZA, PhD (UFPE)

---

Profa. DENISE DUMKE DE MEDEIROS, Docteur (UFPE)

---

Prof. HELDER GOMES COSTA, Doutor (UFF-RJ)

---

Prof. ANDRÉ MARQUES CAVALCANTI, Doutor (IDEP)

*À Laís, minha querida filha, que nasceu  
durante o curso de doutoramento, com todo  
carinho e amor.*

## AGRADECIMENTOS

Muitas pessoas contribuíram para que fosse possível o desenvolvimento deste trabalho. Por isso, gostaria de agradecer a todos os que de uma forma ou de outra me apoiaram, fazendo com que todo o esforço valesse a pena.

Agradeço, inicialmente, ao meu orientador e amigo *Prof. Adiel Teixeira de Almeida*, a quem tenho grande admiração, pela confiança, apoio, incentivo e pela inestimável contribuição mediante seu amplo conhecimento. *Prof. Adiel* tem me orientado desde a graduação, começando pela iniciação científica, passando pelo mestrado e nesta etapa de doutorado.

À minha família, em especial meu marido *João* e meus pais *Abel* e *Dalva*, por todo carinho, apoio e incentivo em todos os momentos, e às minhas irmãs e irmão que sempre tiveram ao meu lado.

Aos amigos do GPSID, que compartilharam comigo não só seus conhecimentos como também momentos de distração, e a equipe da secretaria do PPGEPE/UFPE, com a qual sempre pude contar com auxílio nas questões administrativas e burocráticas.

À comissão examinadora *Prof. Fernando Campello Menezes de Souza* e *Prof. Denise Dumke de Medeiros*, *Prof. André Marques Cavalcanti* e *Prof. Hélder Gomes Costa*, pelos valiosos comentários sobre meu trabalho.

À CAPES, que disponibilizou recursos para realização desta pesquisa, por meio de bolsa de doutorado e pelo estágio de doutorado no exterior (Universidade de Southampton – Inglaterra) que contribuiu para ampliar tantos os conhecimentos acadêmicos quanto culturais.

Por fim, ao *Prof. Lin Thomas*, pelas valiosas discussões sobre minha pesquisa, no estágio de doutorado.

## RESUMO

Este trabalho concentra-se no processo de planejamento e gestão de projetos com modelagem de apoio multicritério a decisão (AMD). O planejamento está relacionado à etapa em que várias simulações e avaliações de alternativas diferentes são elaboradas com vista à definição do processo por meio do qual o projeto será desenvolvido. A gestão está relacionada ao processo de acompanhamento, envolvendo, além do controle, todo o processo de reavaliação e ajustes que implicam o replanejamento do projeto ao longo do processo de implementação. Para desenvolvimento do trabalho serão utilizadas abordagens multicritérios (AMD) para conceber uma nova forma de tratar problemas de gerenciamento de projetos, com destaque aos métodos de sobreclassificação (ELECTRE I, ELECTRE TRI e ELECTRE IV). Para o processo de planejamento e gestão de empreendimentos podem ser considerados os modelos de rede PERT/CPM para a estruturação das atividades associados aos métodos AMD. Na etapa inicial de planejamento essa associação permitirá realizar várias simulações e avaliações de diferentes alternativas de empreendimentos com base num conjunto de fatores que levam ao sucesso do projeto, tais como prazo, custo total, fluxo de caixa, gerenciamento de recursos humanos, novas tecnologias, qualidade, flexibilidade, entre outros. Na fase de gestão permitirá a seleção e indicação das atividades mais críticas, em cada etapa do empreendimento. É proposto ainda um modelo de decisão multicritério baseado no ELECTRE IV, para tratar o problema de gestão de projetos quando o decisor não pode estabelecer a importância relativa entre os critérios. Os resultados deste estudo estão direcionados para três diferentes setores de aplicação: a indústria da construção civil, o setor de energia elétrica e desenvolvimento de TI.

## ABSTRACT

*This work deals with the project management process based on multiple criteria decision aid methods (MCDA). Project management is, basically, compounded by two phases: project planning and project control. Project planning is related with alternative evaluation and simulation and aims to establish a basic schedule by whom the project will be carried out. Project control is related with monitoring and replanning process during the project's implementation phase. Multicriteria decision aid models are used to develop a new way to deal with project management. The use of outranking methods, including the ELECTRE I, TRI and IV methods, are highlighted in this problem. The PERT/CPM network model associated with the MCDA models are considered to create a project's schedule. In the project planning case, this association will allow to perform simulation and evaluations of project's schedule alternatives, taking into account aspect of cost, time, quality, high technology, flexibility and others. In the project control phase, a selection of critical activities will be performed. Finally, a new methodology based on ELECTRE IV method is presented to treat the case of project management when the decision maker cannot establish the criterion's weight. The results of this study could be applied in three different areas: civil construction industry, electric energy, and development of information technology – IT.*

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUCÃO</b>	<b>1</b>
1.1	RELEVÂNCIA DO ESTUDO .....	1
1.2	OBJETIVOS .....	2
1.3	METODOLOGIA EMPREGADA.....	3
1.4	ESTRUTURA DA TESE.....	5
<b>2</b>	<b>BASE CONCEITUAL</b>	<b>7</b>
2.1	VISÃO GERAL DA LITERATURA SOBRE PLANEJAMENTO E GESTÃO DE PROJETOS .....	7
2.1.1	PLANEJAMENTO.....	8
2.1.2	GESTÃO.....	12
2.1.3	VISÃO GERAL DA ABORDAGEM PERT/CPM.....	14
2.1.4	RISCOS EM PROJETOS – PROCEDIMENTOS DE MITIGAÇÃO.....	16
2.2	MÉTODOS MULTICRITÉRIOS.....	18
2.2.1	PROBLEMÁTICAS DE DECISÃO .....	19
2.2.2	CONCEITOS BÁSICOS DE APOIO MULTICRITÉRIO A DECISÃO.....	20
2.2.3	VISÃO GERAL DA TEORIA DA UTILIDADE MULTIATRIBUTO - MAUT .....	24
2.2.4	MÉTODO ELECTRE .....	25
2.2.4.1	ELECTRE I.....	26
2.2.4.2	ELECTRE II .....	28
2.2.4.3	ELECTRE III.....	30
2.2.4.4	ELECTRE IV.....	34
2.2.4.5	ELECTRE TRI .....	36
2.2.4.6	Comentário sobre os métodos ELECTRE .....	38
2.2.5	VISÃO GERAL DO MÉTODO PROMETHEE.....	38
2.2.6	MONTE CARLO.....	41
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE PLANEJAMENTO E GESTÃO DE PROJETOS E MÉTODOS MULTICRITÉRIOS</b>	<b>43</b>
3.1	REVISÃO DA LITERATURA SOBRE PLANEJAMENTO E GESTÃO DE PROJETOS .....	44
3.1.1	RELATOS DE EXPERIÊNCIAS.....	44

3.1.1.1	Relatos com Resultados mais Gerais .....	44
3.1.1.2	Relatos com Resultados Específicos.....	46
3.1.2	MODELOS ESTRUTURADOS PARA TRATAR PROBLEMAS RELACIONADOS COM A GESTÃO DE PROJETOS	47
3.1.3	FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS .....	51
<b>3.2</b>	<b>REVISÃO DA LITERATURA SOBRE MÉTODOS DE APOIO A DECISÃO PARA A GESTÃO DE PROJETOS .....</b>	<b>54</b>
3.2.1	USO DE MÉTODOS DE APOIO MULTICRITÉRIO A DECISÃO NA GESTÃO DE PROJETOS .....	54
3.2.2	OUTROS MÉTODOS E TRATAMENTO DE INCERTEZAS NA GESTÃO DE PROJETOS .....	57
<b>3.3</b>	<b>CONCLUSÕES DA PESQUISA BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>59</b>

## **4 MODELO MULTICRITÉRIO PARA O PLANEJAMENTO DE PROJETOS** **61**

<b>4.1</b>	<b>SETORES DE APLICAÇÃO.....</b>	<b>62</b>
4.1.1	CONSTRUÇÃO CIVIL.....	62
4.1.2	ENERGIA ELÉTRICA .....	63
<b>4.2</b>	<b>DESCRIÇÃO DO MODELO.....</b>	<b>64</b>
4.2.1	DEFINIÇÃO DA ABORDAGEM ORGANIZACIONAL .....	65
4.2.2	CONSTRUÇÃO DO MODELO DE DECISÃO .....	67
4.2.2.1	Definição dos critérios do modelo .....	68
4.2.2.2	Levantamento das alternativas de projeto e aplicação do modelo .....	70
4.2.3	CURVA ABC COMO FERRAMENTA DE APOIO NO PLANEJAMENTO DE EMPREENDIMENTOS.	72
<b>4.3</b>	<b>ESTUDO DE CASO .....</b>	<b>73</b>
4.3.1	ESTRUTURAÇÃO DO PROCESSO DE PLANEJAMENTO DE SUBESTAÇÕES .....	74
4.3.1.1	Geração da rede PERT a partir da visão dos macroprocessos .....	75
4.3.1.2	Estudo do processo de planejamento por meio da curva ABC .....	79

## **5 MODELO MULTICRITÉRIO NA GESTÃO DE PROJETOS – PROBLEMÁTICA DE ESCOLHA** **82**

<b>5.1</b>	<b>SELEÇÃO DE ATIVIDADES CRÍTICAS DE EMPREENDIMENTOS .....</b>	<b>83</b>
5.1.1	PRIMEIRO PROCEDIMENTO.....	83
5.1.2	SEGUNDO PROCEDIMENTO.....	85
<b>5.2</b>	<b>ESTUDO DE CASOS .....</b>	<b>87</b>
5.2.1	MODELO DE DECISÃO MULTICRITÉRIO PARA O GERENCIAMENTO DE EMPREENDIMENTOS (SUBESTAÇÕES).....	88
5.2.1.1	Aplicação do modelo de gestão: Primeiro Procedimento.....	91

5.2.1.2	Aplicação do Modelo de Gestão: Segundo Procedimento .....	96
5.2.2	MODELO DE DECISÃO MULTICRITÉRIO PARA GERENCIAMENTO DE EMPREENDIMENTOS (PRÉDIOS RESIDENCIAIS).....	100
5.2.2.1	Aplicação do modelo de gestão: Primeiro Procedimento.....	103
5.2.2.2	Aplicação do Método ELECTRE I: Visão geral do processo de gestão.....	105
5.2.2.3	Aplicação do Modelo de Gestão: Segundo Procedimento .....	105
<b>5.3</b>	<b>SAD PARA A SELEÇÃO DE ATIVIDADES CRÍTICAS NO GERENCIAMENTO DE EMPREENDIMENTOS .....</b>	<b>107</b>

## **6 MODELO MULTICRITÉRIO NA GESTÃO DE PROJETOS – PROBLEMÁTICA DE CLASSIFICAÇÃO**

**111**

<b>6.1</b>	<b>CLASSIFICAÇÃO DE ATIVIDADES PARA O GERENCIAMENTO DE EMPREENDIMENTOS.....</b>	<b>113</b>
6.1.1	DESCRÍÇÃO DO MODELO DE CLASSIFICAÇÃO – PRIMEIRO PROCEDIMENTO .....	113
6.1.2	SEGUNDO PROCEDIMENTO.....	115
<b>6.2</b>	<b>ESTUDO DE CASO .....</b>	<b>117</b>
6.2.1	ESTRUTURAÇÃO DO PROBLEMA.....	118
6.2.1.1	Aplicação do primeiro procedimento - construção do modelo. .....	119
6.2.1.2	Aplicação do Modelo de Gestão: Segundo Procedimento .....	124

## **7 MODELO MULTICRITÉRIO NA GESTÃO DE PROJETOS – PROBLEMÁTICA DE ORDENAÇÃO**

**127**

<b>7.1</b>	<b>REVISÃO DOS FUNDAMENTOS DE MODELAGEM DE PREFERÊNCIA.....</b>	<b>128</b>
7.1.1	ESTRUTURA DE PSEUDOCRITÉRIO.....	129
<b>7.2</b>	<b>REVISÃO DO ELECTRE IV .....</b>	<b>130</b>
<b>7.3</b>	<b>ELECTRE IV-H: NOVA PROPOSTA BASEADA NO ELECTRE IV .....</b>	<b>132</b>
<b>7.4</b>	<b>ESTUDO DE CASOS.....</b>	<b>138</b>
7.4.1	APLICAÇÃO 1: PROBLEMA DE PLANEJAMENTO URBANO .....	138
7.4.1.1	Resultado da aplicação com o ELECTRE IV .....	139
7.4.1.2	Resultado da aplicação com o ELECTRE IV-H.....	141
7.4.2	PROBLEMA DE GESTÃO DE PROJETOS COM O ELECTRE IV-H: CONSTRUÇÃO DE SUBESTAÇÕES.....	144
7.4.2.1	Aplicação do Método ELECTRE IV-H: Primeiro procedimento .....	146
7.4.2.2	Análise de sensibilidade .....	153

<b>8.1 CONCLUSÕES .....</b>	<b>156</b>
8.1.1 O USO DE SISTEMAS DE APOIO A DECISÃO EM GESTÃO DE PROJETOS.....	158
<b>8.2 USO DE MÉTODOS DE APOIO MULTICRITÉRIO A DECISÃO COM INFORMAÇÃO PARCIAL ...</b>	<b>158</b>
8.2.1 USO DOS MÉTODOS ELECTRE EM PROBLEMAS DE GESTÃO DE PROJETOS .....	159
<b>8.3 SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS .....</b>	<b>160</b>
<b>8.4 COMENTÁRIOS FINAIS.....</b>	<b>160</b>

# ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 2.1. - Esquema do processo de planejamento - Slack et al (1995) .....</i>	9
<i>Figura 2.2. - Esquema do processo de planejamento - Jüngen e Kowalczyk (1995) .....</i>	9
<i>Figura 2.3. - Processo interativo de planejamento e controle de projetos -Jüngen e Kowalczyk (1995) .....</i>	12
<i>Figura 2.4. - Formato da Distribuição Beta.....</i>	15
<i>Figura 2.5. - Exemplo da estrutura de preferência com verdadeiros critérios .....</i>	23
<i>Figura 2.6. - Exemplo da estrutura de preferência com pseudocritérios .....</i>	23
<i>Figura 2.7. - Definição do índice de concordância.....</i>	32
<i>Figura 2.8. - Definição do índice de discordância.....</i>	33
<i>Figura 2.9. - Relações de sobreclassificação no ELECTRE IV.....</i>	35
<i>Figura 2.10. - Definição das categorias usando os perfis ( Mousseau e Slowinski, 1998).....</i>	37
<i>Figura 2.11. - Tipos de critérios generalizados .....</i>	39
<i>Figura 2.12. - Fluxo líquido .....</i>	39
<i>Figura 2.13. - Critério generalizado 5 do PROMETHEE.....</i>	40
<i>Figura 2.14. - Índice de concordância parcial do ELECTRE III .....</i>	40
<i>Figura 4.1. - Critérios ganhador de pedido, qualificador e menos importante (Slack et al, 1995) .....</i>	69
<i>Figura 4.2. - Esquema do processo de planejamento de grandes projetos .....</i>	71
<i>Figura 4.3. - Diagrama do macroprocesso básico planejamento da subestação .....</i>	76
<i>Figura 4.4. - Diagrama de Rede da Construção de Subestações .....</i>	78
<i>Figura 4.5. - Curva ABC para critério Custo – subestação elétrica .....</i>	79
<i>Figura 4.6. - Diagrama de influências de custo das atividades.....</i>	80
<i>Figura 5.1. - Modelo de Gerenciamento de Projetos – etapa 1.....</i>	84
<i>Figura 5.2. - Modelo de Gerenciamento de Projetos – etapa 2.....</i>	86
<i>Figura 5.3. - Rede PERT/CPM.....</i>	90
<i>Figura 5.4. - Rede PERT/CPM – Prédio Residencial .....</i>	102
<i>Figura 5.5. - Arquitetura de um SAD.....</i>	107
<i>Figura 5.6. - Tela inicial do Sistema de Apoio a decisão.....</i>	109
<i>Figura 5.7. - Formulário de entrada de dados e saída dos resultados.....</i>	109
<i>Figura 5.8. - Gerenciador de Cenários.....</i>	110
<i>Figura 6.1. - Modelo de Gerenciamento de Projetos – classificação.....</i>	114
<i>Figura 6.2. - Modelo de Gerenciamento de Projetos – etapa 2 .....</i>	116
<i>Figura 7.1. - Estrutura de preferências de pseudocritério.....</i>	130
<i>Figura 7.2. - Relações de sobreclassificação no ELECTRE IV .....</i>	131
<i>Figura 7.3. - Definição do índice de concordância <math>c_j(a, b)</math> .....</i>	133

<i>Figura 7.4. - Resultado das destilações descendente – D, e ascendente – A, para o ELECTRE IV....</i>	141
<i>Figura 7.5. - Ordenação parcial final para o ELECTRE IV.....</i>	141
<i>Figura 7.6. - Resultado das destilações descendente – D, e ascendente – A, para o ELECTRE IV-H</i>	143
<i>Figura 7.7. - Ordenação parcial final para o ELECTRE IV-H .....</i>	144

## ÍNDICE DE TABELAS

<i>Tabela 2.1. - Situações básicas de preferências para comparar duas ações potenciais .....</i>	21
<i>Tabela 2.2. - Situações consolidadas de preferências para comparar duas ações potenciais .....</i>	22
<i>Tabela 4.1. - Visão geral dos projetos (para um período específico).....</i>	65
<i>Tabela 4.2. - Exemplo do passo 2: definição dos processos .....</i>	66
<i>Tabela 4.3. - Exemplo do passo 3: definição dos insumos e produtos dos processos.....</i>	66
<i>Tabela 4.4. - Atividades da subestação, durações e relações de precedência .....</i>	77
<i>Tabela 4.5. - Curva ABC para critério custo – subestação elétrica .....</i>	79
<i>Tabela 5.1. - Atividades da construção da subestação (duração e relações de precedência) .....</i>	89
<i>Tabela 5.2. - Fatores Críticos do Projeto SE .....</i>	92
<i>Tabela 5.3. - Aspectos críticos do projeto de subestações elétricas .....</i>	93
<i>Tabela 5.4. - Pesos dos Aspectos Críticos – Projeto Subestação .....</i>	94
<i>Tabela 5.5. - Relação de sobreclassificação para <math>c = 0,8</math> e <math>d = 0,3</math> .....</i>	95
<i>Tabela 5.6. - Atividades do Trimestre 1 .....</i>	97
<i>Tabela 5.7. - Avaliações das atividades do Trimestre 1 .....</i>	97
<i>Tabela 5.8. - Resumo das atividades do Trimestre 1: atividades críticas .....</i>	98
<i>Tabela 5.9. - Resumo das atividades do Trimestre 2: atividades críticas .....</i>	98
<i>Tabela 5.10. - Resumo das atividades do Trimestre 3: atividades críticas .....</i>	99
<i>Tabela 5.11. - Resumo das atividades do Trimestre 4: atividades críticas .....</i>	99
<i>Tabela 5.12. - Atividades da construção da subestação (duração e relações de precedência) .....</i>	101
<i>Tabela 5.13. - Aspectos Críticos do Projeto .....</i>	103
<i>Tabela 5.14. - Valor das atividades da construção de predio residencial para os critérios considerados .....</i>	104
<i>Tabela 5.15. - Pesos dos Aspectos Críticos – Projeto SE .....</i>	105
<i>Tabela 5.16. - Resumo das atividades do trimestre 1: atividades selecionadas em PR .....</i>	106
<i>Tabela 5.17. - Resumo das atividades do trimestre 2: atividades selecionadas em PR .....</i>	106
<i>Tabela 5.18. - Resumo das atividades do trimestre 3: atividades selecionadas em PR .....</i>	106
<i>Tabela 6.1. - Atividades da construção da subestação (duração e relações de precedência) .....</i>	118
<i>Tabela 6.2. - Aspectos Críticos do Projeto SE .....</i>	120
<i>Tabela 6.3. - Valor das atividades para cada um dos critérios .....</i>	121
<i>Tabela 6.4. - Perfis das classes .....</i>	122
<i>Tabela 6.5. - Limiares do modelo - Projeto Subestação .....</i>	122
<i>Tabela 6.6. - Pesos dos critérios – Projeto Subestação .....</i>	123
<i>Tabela 6.7. - Grau de sobreclassificação e classificação para <math>\lambda = 0,7</math> – Projeto Subestação .....</i>	123
<i>Tabela 6.8. - Resumo das atividades do trimestre 1 .....</i>	125

<i>Tabela 6.9. - Novos pesos dos critérios – Projeto Subestação.....</i>	125
<i>Tabela 6.10. - Classificação das atividades do trimestre 1.....</i>	125
<i>Tabela 7.1. - Situações básicas de preferências para comparar duas ações potenciais .....</i>	128
<i>Tabela 7.2. - Relação de sobreclassificação para comparar duas ações potenciais .....</i>	129
<i>Tabela 7.3. - Valores das alternativas para cada uma dos critérios de avaliação .....</i>	138
<i>Tabela 7.4. - Limiares de preferência e indiferença.....</i>	139
<i>Tabela 7.5. - Alternativas sobreclassificadas fortemente e qualificação inicial.....</i>	139
<i>Tabela 7.6. - Alternativas sobreclassificadas fracamente.....</i>	139
<i>Tabela 7.7. - Alternativas sobreclassificadas fortemente e segunda qualificação .....</i>	140
<i>Tabela 7.8. - Alternativas sobreclassificadas fortemente e qualificação inicial - <math>\lambda F = 2</math> .....</i>	142
<i>Tabela 7.9. - Alternativas sobreclassificadas fracamente <math>\lambda f = 2</math>.....</i>	142
<i>Tabela 7.10. - Alternativas sobreclassificadas fracamente para <math>\lambda f = 1,5</math>.....</i>	143
<i>Tabela 7.11. - Aspectos Críticos do Projeto SE.....</i>	145
<i>Tabela 7.12. - Avaliação das atividades para cada uma dos critérios do projeto – SE.....</i>	146
<i>Tabela 7.13. - Limiares de preferência e indiferença.....</i>	147
<i>Tabela 7.14. - Alternativas sobreclassificadas fortemente para <math>\lambda F = 2</math> .....</i>	149
<i>Tabela 7.15. - Alternativas sobreclassificadas fracamente <math>\lambda f = 2</math>.....</i>	150
<i>Tabela 7.16. - Ordenação descendente <math>\lambda F = \lambda f = 2</math> .....</i>	151
<i>Tabela 7.17. - Ordenação ascendente <math>\lambda F = \lambda f = 2</math> .....</i>	152
<i>Tabela 7.18. - Ordenação descendente <math>\lambda F = 2</math> e <math>\lambda f = 1</math> .....</i>	153
<i>Tabela 7.19. - Ordenação ascendente <math>\lambda F = 2</math> e <math>\lambda f = 1</math> .....</i>	154

# 1 INTRODUÇÃO

Esta Tese de Doutorado está relacionado ao processo de planejamento e gestão de projetos, atendendo a múltiplos critérios e envolvendo prazos, custos e aspectos relacionados ao desempenho futuro de uma organização. Neste trabalho, os termos *projeto* e *empreendimento* têm o mesmo significado.

## 1.1 Relevância do Estudo

O problema de planejamento e gestão de empreendimentos é abordado na literatura como um sistema de produção do tipo grandes projetos (Gaither e Frazier, 2001; Slack *et al*, 1995). A gestão de projetos é reconhecida como uma disciplina que é amplamente estudada por associações, como o PMI (*Project Management Institute*) e a IPMA (*International Project Management Association*), além de associações em geral relacionadas à Engenharia de Produção. Embora a literatura básica use o termo gestão (*project management*) de forma mais ampla, neste estudo, os termos Planejamento e Gestão de projetos são empregados de forma distinta e devem ter seu sentido esclarecido.

O planejamento está relacionado à etapa em que várias simulações e avaliações de alternativas diferentes são elaboradas com vista à definição do processo por meio do qual o projeto será desenvolvido. Essa fase ocorre antes de se iniciar o desenvolvimento do projeto. A gestão ocorre logo após o início da implementação do projeto. Está relacionada ao processo de acompanhamento, envolvendo, além do controle, todo o processo de reavaliação e ajustes que implicam o replanejamento do projeto ao longo do processo de implementação.

O processo de planejamento e gestão de empreendimentos ou de projetos é tratado de forma muito ampla na literatura. Os métodos mais básicos para o tratamento desse problema são o PERT e o CPM, largamente apresentados em livros-textos básicos (PMBOOK, 2001; Maylor, 2002; Gaither e Frazier, 2001; Moreira, 1993). A maioria dos textos sobre gestão de projetos preocupa-se com o tratamento de um único projeto com uma determinada meta de prazo e/ou orçamento a ser cumprido. A estrutura básica dos métodos PERT/CPM é baseada nesse contexto.

Este trabalho concentra-se no processo de planejamento e gestão de projetos com modelagem de apoio multicritério à decisão (AMD), com destaque para o uso dos métodos de

Sobreclassificação, embora relativamente poucos estudos façam uso dessa abordagem. Tais métodos permitem o tratamento de problemas com vários objetivos a serem atendidos (Gomes *et al.*, 2002, Almeida e Costa, 2003).

Os resultados deste estudo estão direcionados para três diferentes setores de aplicação: a indústria da construção civil, o setor de energia elétrica e desenvolvimento de TI.

## 1.2 Objetivos

O objetivo deste trabalho é desenvolver a concepção de um modelo de decisão para apoiar o planejamento e gestão de empreendimentos.

É proposto desenvolver um modelo de decisão para apoiar o gerenciamento de empreendimentos levando em consideração outros aspectos além da relação custo/tempo, tais como os aspectos de qualidade, flexibilidade, credibilidade, segurança, dentre outros. O modelo deve apoiar a fase inicial de planejamento e a contínua etapa de gestão de empreendimentos, identificando as atividades com maior chance de apresentar problemas em função dos fatores críticos do projeto.

Os objetivos específicos são:

- Estruturar o processo de planejamento de empreendimentos com base nos objetivos de desempenho projeto.
- Estruturar o processo de gestão de empreendimentos com base nos fatores críticos do projeto.
- Avaliar e analisar diferentes formas de tratar o problema de gestão de empreendimentos por meio de modelos de decisão.
- Estabelecer um novo modelo de decisão multicritério para apoiar o problema de gestão de empreendimentos.
- Analisar e aplicar os modelos de decisão multicritério para a gestão de empreendimentos a título de estudo de caso.

Com este processo de modelagem e o novo modelo, espera-se proporcionar aos gerentes de projetos uma visão mais real dos fatores críticos de um projeto, que levam à ocorrência de falhas no planejamento e gestão de empreendimentos.

### 1.3 Metodologia Empregada

Para o desenvolvimento deste trabalho, serão utilizadas abordagens multicritérios (AMD) para conceber uma nova forma de tratar problemas de gerenciamento de projetos – envolvendo as etapas de planejamento e gestão. Dentre os métodos de apoio a decisão multicritério previstos destacam-se os métodos de Sobreclassificação (ELECTRE I, ELECTRE TRI, ELECTRE IV) (Roy, 1996; Vincke, 1992; Gomes *et al* 2002, Almeida e Costa, 2003).

Para o planejamento e gestão do empreendimento, são considerados os modelos de rede PERT/CPM, para a estruturação das atividades associadas a métodos AMD. Na etapa inicial de planejamento, essa associação permitirá realizar várias simulações e avaliações de diferentes alternativas de empreendimentos com base num conjunto de fatores que levam ao sucesso do projeto, tais como prazo, custo total, fluxo de caixa, gerenciamento de recursos humanos, uso novas tecnologias, qualidade, flexibilidade, dentre outros. Na fase de gestão, permitirá a seleção e indicação das atividades mais críticas, em cada etapa do empreendimento.

O planejamento e gestão de empreendimentos têm como base inicial um estudo do contexto do problema, no qual é definido o tipo de abordagem que deve ser adotada: visão integrada ou visão localizada.

Na visão localizada, cada empreendimento é planejado de forma isolada, sem serem considerados os outros projetos do plano de empreendimentos da empresa. Nesse caso, as estimativas de tempo com base na técnica PERT/CPM são importantes para o estabelecimento mais preciso da duração probabilística das etapas do projeto. Nesse processo, os métodos de apoio a decisão são utilizados com a finalidade de avaliar a melhor formatação dentre as possíveis alternativas para a rede PERT concernente ao empreendimento, e selecionar as atividades mais críticas com relação aos aspectos críticos do problema.

Na visão integrada, os empreendimentos são considerados na visão do conjunto do plano de empreendimentos, isto é, no planejamento todos os empreendimentos são considerados em conjunto, a serem executados num determinado período. Nesse caso, as estimativas de tempo com base na técnica PERT/CPM são importantes para o estabelecimento

dos prazos básicos para as etapas. O modelo de decisão nesse caso deveria considerar todo o plano de empreendimentos.

Na literatura, o problema de gerenciamento de projetos e/ou empreendimentos é mais comumente tratado de forma qualitativa. No entanto, vários trabalhos já têm tratado essa questão de forma quantitativa. Brown *et al* (2001) propõem uma abordagem quantitativa para considerar um conjunto de objetivos de desempenho para a indústria da construção, sendo utilizados os usuais parâmetros: tempo, custo e qualidade. Alencar (2003) apresenta o problema de gestão de empreendimentos para o caso de construção de prédios residenciais. Alencar adaptou o modelo apresentado por Miranda e Almeida (2002), sendo considerado o método PROMETHEE V, com o objetivo de ordenar as atividades críticas do projeto e inserindo restrições na modelagem.

O gerenciamento de empreendimentos é uma tarefa difícil, considerando-se a complexidade, as incertezas e o grande número de atividades envolvidas. Os métodos PERT/CPM são os mais básicos para o tratamento do planejamento e gestão de projetos. Entretanto, sua estrutura básica preocupa-se com o tratamento de um único projeto com uma determinada meta de prazo e/ou orçamento a ser cumprido.

Todavia, Greek e Pullin (1999) destacam que a maioria dos gerentes não focaliza os aspectos críticos dos projetos. Segundo esses autores, o gerenciamento de projetos é um negócio caracterizado por falhas e essas falhas são ocasionadas por duas razões: incertezas de ordem técnica e julgamentos incorretos das urgências do projeto. As falhas não estão diretamente ligadas ao abandono, isso pode até acontecer, mas, por exemplo, estão significativamente relacionadas ao tempo ou ao orçamento.

Considerando esses fatores, o processo de gestão de empreendimentos pode ser suportado por métodos de apoio multicritério à decisão, envolvendo o estudo dos aspectos críticos do projeto, isto é, planejar, programar e gerenciar as atividades em função de outros aspectos além do tempo, tais como priorizar atividades de baixa segurança, alto custo, dentre outros aspectos que sejam relevantes para o gerente.

O uso de sistemas de apoio a decisão baseados na técnica PERT/CPM, em conjunto com uma metodologia de apoio multicritério à decisão, incorporando os aspectos críticos dos projetos, permite tratar o problema de gerenciamento de projetos de forma mais realista. Em fase de planejamento, tendo o empreendedor elaborado diversas propostas de projeto, uma metodologia multicritério é necessária para auxiliar o gerente na escolha do processo mais

eficiente e eficaz, por meio do qual o projeto será desenvolvido. No caso do processo de gestão de projetos, as atividades críticas do projeto são determinadas de modo que o gerente possa concentrar seus esforços no controle e acompanhamento das atividades com maior chance de apresentar problemas ao longo da execução.

## **1.4 Estrutura da tese**

A estrutura da tese é composta de nove capítulos que serão descritos a seguir, a partir do capítulo 2.

O Capítulo 2 apresenta a fundamentação teórica que dá suporte ao desenvolvimento do trabalho, sendo tratados os conceitos sobre gerenciamento de projetos e decisão multicritério, destacando-se os métodos da família ELECTRE.

O Capítulo 3 expõe a revisão da literatura nesse tema, relatando os trabalhos mais relevantes encontrados e comentando suas contribuições. São apresentados comentários de artigos incluindo relatos de experiências, experiências de natureza geral, experiências de projetos específicos, ferramentas computacionais, o uso de métodos de apoio multicritério a decisão e outros métodos de tratamento de incertezas na gestão de projetos.

O Capítulo 4 apresenta um modelo multicritério para o problema de planejamento de empreendimentos. Esse modelo tem o intuito de estruturar o processo de planejamento por meio de avaliações de diferentes formatações para as alternativas de programação do empreendimento.

O Capítulo 5 aborda o modelo multicritério na gestão de empreendimentos para a seleção das atividades críticas baseado no método ELECTRE I. São apresentados dois estudos de caso, um para o problema da construção de subestações elétricas e outro para a construção de prédios residenciais. Ao final do capítulo, é apresentado um protótipo de sistema de apoio a decisão para a seleção de atividades críticas.

O Capítulo 6 expõe o problema de classificação de atividades de um empreendimento em três categorias, cada uma delas representando um modelo gerencial a ser enfatizado. Essa classificação é realizada com o apoio do método de sobreclassificação ELECTRE TRI. É apresentado um estudo de caso ao final do capítulo para o caso da construção de subestações elétricas.

O Capítulo 7 apresenta um novo modelo intitulado ELECTRE IV-H, baseado no ELECTRE IV, para tratar o problema de gestão de empreendimentos em que há dificuldade de se estabelecer os pesos dos critérios. Ao final são apresentados comentários gerais e as vantagens do novo modelo.

No Capítulo 8 é apresentada uma discussão geral, integrando-se as principais conclusões obtidas. É apresentada também uma perspectiva para futuros trabalhos.

## 2 BASE CONCEITUAL

Neste capítulo é apresentada a base conceitual que dá suporte ao desenvolvimento do trabalho, sendo tratados os conceitos sobre gerenciamento de projetos e decisão multicritério, destacando-se os métodos de sobreclassificação (conhecidos como *outranking*).

### 2.1 Visão Geral da Literatura sobre Planejamento e Gestão de Projetos

O conceito de projetos tem sido discutido e tem evoluído ao longo dos anos. Para o PMI (*Project Management Institute*), um projeto pode ser definido como sendo:

*“Um empreendimento temporário feito para criar um produto ou serviço único”* PMBoK (2000).

Já a definição de Turner (1992) destaca a natureza incerta dos projetos, como sendo:

*“Um empreendimento em que recursos humanos, materiais e financeiros são organizados de forma a englobar um único escopo de trabalho com dadas especificações, dentro de restrições de custo e tempo, para então atingir unicamente benefícios, mediante objetivos qualitativos e quantitativos definidos”* (Turner, 1992).

Projeto é uma atividade não repetitiva com as seguintes características:

- está orientado para uma dada meta (final particular ou objetivo em mente);
- possui um conjunto particular de restrições (normalmente centrado em volta de tempo e recurso);
- o resultado do projeto é mensurável;
- alguma coisa tem sido mudada enquanto o projeto está sendo executado.

Segundo Vargas (2002), o gerenciamento de projetos é definido como um conjunto de ferramentas gerenciais que permitem à empresa desenvolver um conjunto de habilidades, incluindo conhecimento e capacidade individuais, destinadas ao controle de eventos não-repetitivos. Na visão de Maylor (2002), o gerenciamento de projetos inclui planejamento, organização, direção e controle de atividades, em adição à motivação, que normalmente é o recurso mais caro do projeto – as pessoas. Maylor ainda afirma que, atualmente, o

gerenciamento de projetos não está rodeado de teorias, mas é praticamente baseado em várias conclusões que têm sido alcançadas de estudos empíricos.

Nesse assunto, dois termos empregados amplamente devem ter seu sentido clarificado: planejamento e gestão de projetos, embora a literatura básica use o termo gestão (*project management*) de forma mais ampla, envolvendo os dois.

O planejamento está relacionado à etapa em que várias simulações e avaliações de alternativas diferentes são elaboradas com vista à definição do processo mediante o qual o projeto será desenvolvido. Essa fase ocorre antes de se iniciar o desenvolvimento do projeto. A gestão ocorre logo após o início da implementação do projeto. Está relacionada ao processo de acompanhamento, envolvendo, além do controle, todo o processo de reavaliação e ajustes que implicam o replanejamento do projeto ao longo do processo de implementação.

Assim, o gerenciamento de projetos, numa visão mais global, abrange as fases de planejamento, que ocorre antes de se iniciar o desenvolvimento do projeto; de execução e de controle, que englobam o seu desenvolvimento e acompanhamento, e de finalização, que avalia o resultado do projeto junto ao cliente.

O gerenciamento de projetos é reconhecido como uma disciplina que é amplamente estudada por associações (Pitagorsky, 2001), como o PMI (*Project Management Institute*) e a IPMA (*International Project Management Association*), além de associações em geral relacionadas à engenharia de produção.

### 2.1.1 Planejamento

O processo de planejamento de projetos envolve todas as atividades de iniciação, administrativas e de relação de recursos humanos. Exemplos são: estudos de viabilidade, determinação de requerimentos e restrições do projeto, orçamentação, pedido de material, motivação de pessoal, dentre outros. O planejamento em si consiste em determinar as atividades que devem ser realizadas para se atingir determinada meta ou objetivo do projeto e a relação entre elas.

O processo de planejamento de empreendimentos tem sido colocado como uma forma de garantir uma melhor coordenação entre os vários intervenientes, auxiliando a direção da empresa a clarificar os objetivos do empreendimento e estabelecendo um padrão contra o qual o progresso da construção pode ser monitorado (Laufer e Tucker, 1988).

Inúmeras são as razões para se dedicar uma maior atenção ao planejamento, pois se essa etapa do projeto for bem executada, maior será a probabilidade de sucesso no que concerne a qualidade, produtividade, segurança e aumento do fluxo de caixa da empresa.

Para Meseguer (1991), a fase de planejamento implica a previsão de todas as necessidades, exige uma consideração prévia das possíveis falhas que se possam apresentar e uma preparação da resposta mais adequada a cada uma delas.

Na literatura, são encontrados vários modelos para o processo de planejamento de projetos e a maioria deles são bem idealizados e de aplicação direta. Em geral, esses modelos apresentam a mesma idéia, diferenciando-se por pequenas contribuições individuais ou especificidades do contexto em que o projeto está inserido.

Segundo Slack *et al* (1995), o processo de planejamento de empreendimentos pode ser descrito em cinco etapas (Figura 2.1): identificação das atividades, estimativa de tempo, identificação das relações de dependência, identificação das restrições da programação e preparação da programação. Na visão de Jüngen e Kowalczyk (1995), o planejamento de projetos para a indústria da construção civil envolve as seguintes etapas: identificação das atividades e relações de dependência, estimativa de tempo e recurso, preparação da programação, definição da relação tempo-custo, escolha de diferentes tecnologias e alocação de recursos (Figura 2.2).

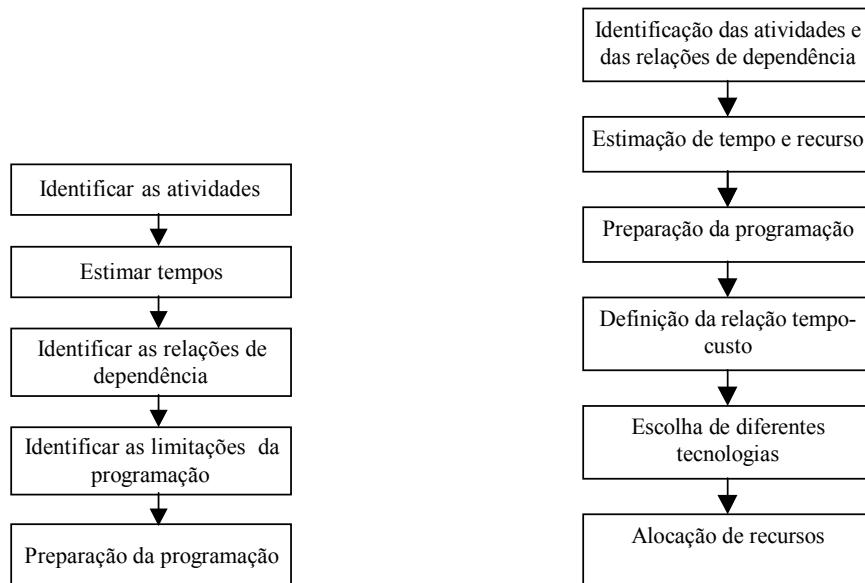


Figura 2.1. - Esquema do processo de planejamento - Slack *et al* (1995)

Figura 2.2. - Esquema do processo de planejamento - Jüngen e Kowalczyk (1995)

A identificação das atividades corresponde à etapa em que o projeto é desmembrado em partes possíveis de ser gerenciadas. São chamadas de atividades as operações que consomem tempo e recursos. Dependendo do objetivo e do contexto do problema, o desmembramento do projeto em atividades pode ser elaborado de forma mais detalhada ou não. Esse desmembramento proporciona maior clareza e definição ao processo.

Devido à complexidade do planejamento, é comum dividir todo o processo em vários níveis, isto é, elaborar um planejamento de forma hierárquica. Esse tipo de planejamento permite iniciar o processo com uma pequena rede de atividades e poucas relações de precedência. Estando o planejador satisfeito com a programação inicial, essas atividades podem ser refinadas, criando um plano hierárquico.

A identificação das atividades e suas relações de dependência podem ser mais elaboradas mediante o levantamento dos macroprocessos do empreendimento (Almeida, 2002; Miranda e Almeida, 2002; Almeida, 2003). Esse levantamento facilita a compreensão do problema, assim como registra o processo.

Identificadas as atividades, é preciso estimar os tempos necessários à execução dessas atividades. Segundo as técnicas de planejamento e programação de projetos, as estimativas de tempo irão fundamentar o processo de tomada de decisão. Essa tarefa, normalmente, é definida com base na experiência em projetos anteriores e similares. Considerando-se o ambiente incerto que envolve os projetos, é bastante razoável considerar estimativas probabilísticas no processo.

A identificação das relações de dependência entre as atividades depende da lógica do projeto, sendo definida pelo responsável pela execução do mesmo. Vale destacar que algumas atividades podem não ter relações de dependência com as outras. A identificação correta dessas dependências é fundamental para o desenvolvimento do processo de planejamento.

A identificação das limitações da programação está, na maioria dos casos, relacionada com a disponibilidade de recursos e de tempo. As restrições impostas pelo ambiente são os maiores obstáculos de uma programação completamente automatizada. Muitas dessas restrições não podem ser expressas explicitamente por estarem apenas nas mentes do planejador.

De posse das informações levantadas, faz-se a programação das atividades. Essa programação determina a janela de tempo em que as atividades do projeto devem ser

executadas. As técnicas PERT/CPM são muito utilizadas nessas fases do planejamento e também no controle de projetos, auxiliando no gerenciamento da complexidade do processo.

As técnicas de planejamento e controle de projetos foram inicialmente desenvolvidas por engenheiros e planejadores que trabalhavam com projetos complexos de defesa e construção civil. Em 1957, foi desenvolvida a técnica CPM (Critical Path Method), que se preocupou em determinar as relações entre as atividades e o caminho crítico. Em 1958, foi desenvolvida a técnica PERT (*Program Evaluation and Review Technique*), que incorporou incertezas nas estimativas de tempo das atividades (Premachandra, 2001; Willians, 1995). Outras variantes dos algoritmos mencionados acima foram desenvolvidas, uma alterando, por exemplo, a forma como a rede de atividade é apresentada. Ambas as técnicas PERT e CPM e suas variantes têm o mesmo objetivo: encontrar o tempo mais cedo de se iniciar cada uma atividade e o tempo mais tarde de se concluir cada uma das atividades.

Em projetos de construção civil, é comum a preocupação com o *trade-off* entre a duração de uma atividade e seus custos associados. Para cada uma das atividades é possível associar uma expressão para o custo, representando o custo de uma atividade dada uma certa duração da atividade. Vários algoritmos têm sido desenvolvidos, variando da idéia inicial proposta por Kelley (1961), em que os objetivos são os seguintes:

- (1) minimizar o custo total do projeto;
- (2) minimizar a duração total do projeto;
- (3) encontrar o menor custo do projeto dada a máxima duração total aceitável.

A escolha da tecnologia tem se tornado uma tarefa difícil, atualmente. É preciso recorrer às técnicas da pesquisa operacional para se ter a certeza estar fazendo a melhor escolha. Isso porque as alternativas existentes possuem pontos fortes e fracos. Por exemplo, quando são de baixo custo, são lentas, ou podem ser bastante onerosas e de difícil implementação, porém com capacidade de diminuir significativamente a duração do projeto. O uso de modelos de apoio a decisão multicritério pode ajudar nesse processo de escolha.

Na visão de Jüngen e Kowalczyk (1995), a alocação de recursos é uma tarefa muito importante porque normalmente, gera conflitos. Tendo estabelecido a programação das atividades, é feita a alocação dos recursos levantados na etapa de “identificação das limitações da programação”. Pode ser necessário adiar algumas atividades que requerem os mesmos recursos para resolver o problema de conflito de recursos. Várias regras heurísticas foram

elaboradas para tratar esse problema de conflito, como os modelos propostos por Davis e Patterson (1975) e Kurtulus e Davis (1982) e Nkasu e Leung (1997).

O processo de planejamento de projetos não é estático. Após o início da execução do projeto, pode ser necessário fazer alguns ajustes na programação proposta, ou seja, é preciso fazer um replanejamento. Isso é devido à natureza incerta dos projetos. Nesse sentido, a etapa de planejamento do projeto se estenderia à etapa de gestão, num processo interativo, como está representado na Figura 2.3.

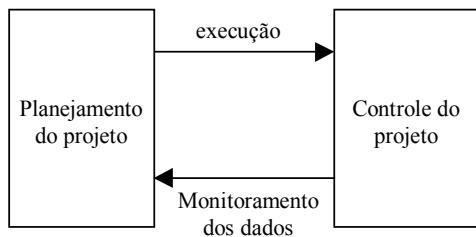


Figura 2.3. - Processo interativo de planejamento e controle de projetos (Jüngen e Kowalczyk, 1995)

No processo de planejamento de projetos, não é possível estabelecer uma programação ótima devido à complexidade do problema. No entanto, é possível avaliar diversas opções de planos de planejamento com características diferentes com relação ao custo, ao tempo, à qualidade e à credibilidade do empreendimento, por exemplo. Cada plano de empreendimento poderá ser considerado como uma alternativa de projeto. A escolha da melhor alternativa pode ser feita empregando-se um modelo de decisão multicritério.

### 2.1.2 Gestão

A gestão ocorre logo após o início da implementação do projeto. Está relacionada ao processo de acompanhamento, envolvendo, além do controle, todo o processo de reavaliação e ajustes que implicam o replanejamento do projeto ao longo do processo de implementação.

No caso da construção civil, o início do processo de gestão envolve uma grande quantidade de tarefas administrativas, tais como: pedido de material, permissões especiais junto a órgãos públicos, contratos com fornecedores, disponibilização de equipamentos no momento apropriado, dentre outros. Essas atividades já foram previstas na etapa de planejamento. No entanto, executar e controlar essas atividades preparatórias requer um grande esforço administrativo.

A fase de execução do projeto consiste na realização das atividades previstas no planejamento. A alocação detalhada de recursos físicos é então realizada. Nessa fase, é importante coletar informações sobre o projeto, pois algumas discrepâncias podem ser observadas. Quando essas discrepâncias são muito grandes, é necessário fazer um replanejamento. Netto (1988) já destaca a necessidade da existência de dados gerados nas fases anteriores, como datas, recursos disponíveis, folgas, orçamentos previstos e outros, sendo que a maior ênfase é dada aos aspectos técnicos.

O monitoramento das informações do projeto deve ser feito durante todo o seu ciclo de vida, permitindo o controle das principais variáveis de execução de um projeto - o tempo e o custo –uma vez que, controlando-se esses dois fatores, já se estará exercendo implicitamente um controle sobre os recursos utilizados.

O controle possibilita a verificação do andamento dos processos de acordo com o planejamento estabelecido, sendo também possível realizar um acompanhamento financeiro de todo o projeto, detalhando os seus custos de forma a acompanhar com precisão as suas evoluções. Dessa forma, o gerente de projeto pode avaliar se está consumindo muito dinheiro para realizar uma determinada tarefa, permitindo que sejam usadas ações corretivas ou preventivas com a devida antecedência.

Os acompanhamentos a curto, médio e longo prazos permitem as correções diárias, semanais, mensais e anuais. Segundo Netto (1988), os replanejamentos executados na fase de controle podem evitar a ocorrência de desvios irrecuperáveis, além de permitir, a todos os envolvidos, o domínio da situação, o encaminhamento das soluções pertinentes e a conscientização em face das estruturas a serem consideradas nas futuras tomadas de decisão.

A finalização do projeto tem como objetivo avaliar o resultado do projeto junto ao cliente ou patrocinador para conhecer o seu grau de aceitação. Para viabilizá-la, na maioria das vezes, é realizada uma auditoria, de modo a avaliar se o resultado obtido está em conformidade com o previsto nas suas definições, sendo um subsídio técnico para a aceitação do projeto. (Vargas, 2000).

A gestão de projetos está longe de significar o gerenciamento da seqüência de passos requerida para completar um projeto em tempo. Está relacionada à incorporação sistemática da voz do cliente, criando um caminho disciplinado de priorização de esforços e solução de conflitos (*trade-offs*), trabalhando, simultaneamente, em todos os aspectos do projeto com uma equipe multifuncional.

Vários sistemas de informação foram desenvolvidos para apoiar o processo de execução e controle de projetos. Em adição àqueles baseados nas técnicas PERT/CPM, há também sistemas preocupados com a melhoria do processo de execução, como os que fornecem informações sobre o custo do gerenciamento da qualidade do processo (Love e Irani, 2002, Low e Yeo, 1998).

### 2.1.3 Visão geral da Abordagem PERT/CPM

A abordagem PERT/CPM é amplamente utilizada para o planejamento e controle de atividades de um projeto. É definida como um conjunto de processos e técnicas para planejamento, programação e controle de um empreendimento, operação ou projeto, tendo como característica fundamental a indicação, dentre as várias seqüências operacionais, daquela que possui duração máxima, além de permitir a indicação de graus de prioridade relativos, demonstrando a distribuição de recursos e a interdependência entre as várias ações necessárias ao desenvolvimento do projeto (Cukierman, 1993 *apud* Musetti, 1998).

Essas técnicas são muito úteis quando o gerente é o responsável pelo planejamento, programação e controle de grandes projetos que contém muitas atividades levadas a cabo por diferentes pessoas de diferentes habilidades.

Na visão PERT/CPM, um projeto pode ser visualizado como um conjunto de operações conduzidas numa certa seqüência para atingir dados objetivos. As atividades são as operações que consomem tempo e recursos. Essas atividades podem ser representadas e ordenadas em um Diagrama de Rede, que mostra as diversas seqüências de atividades (caminho) e enfatiza o caminho crítico, aquele que tem maior duração e que governa a duração do projeto (Moreira, 1993).

As estimativas de tempo das atividades podem ser determinadas por meio de um processo de educação do conhecimento de um especialista. Esse usa a probabilidade *a priori*, que é uma probabilidade medida como conhecimento subjetivo ou grau de crença. Quando uma característica não é completamente conhecida, isto é, quando há incerteza quanto ao seu comportamento é possível obter informação probabilística baseado no conhecimento a priori de um especialista no assunto. O conhecimento *a priori* pode ser expresso em termos de probabilidade *a priori*  $\pi(\theta)$ . Esta probabilidade representa o grau de crença de um pessoa em um evento particular A probabilidade *a priori* segue todos os postulados básicos da teoria da

probabilidade. Assim, na análise bayesiana os parâmetros desconhecidos são considerados como uma variável aleatória (Almeida, 1999; Campello de Souza, 2002).

Uma hipótese que se faz é que os tempos das atividades são distribuídos segundo uma distribuição beta. Através do processo de educação com o especialista são encontrados três pontos da distribuição, que representam as estimativas Otimista, Mais provável e Pessimista. Estudos mostram que essas estimativas podem ser facilmente obtidas pelo gerente do projeto. A estimativa otimista (a) corresponde ao tempo mínimo que uma atividade pode requerer, a estimativa mais provável (m) corresponde ao tempo que ocorre com mais freqüência (representa a moda da distribuição beta) e a estimativa pessimista (b) corresponde ao tempo máximo que uma atividade pode requerer. (Premachandra, 2001; Willians, 1995).

A duração média de cada atividade pode ser obtida facilmente através da relação:

$$t = 1/6.(a+4m+b) \quad (2.1)$$

$$\sigma = 1/6.(b-a) \quad (2.2)$$

em que, a, m e b são respectivamente as estimativas Otimista, Mais provável e Pessimista. A Figura 2.4 ilustra a forma da distribuição beta.

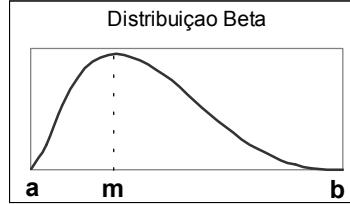


Figura 2.4. - Formato da Distribuição Beta

A duração e o desvio padrão do projeto são encontrados por meio dos conceitos do teorema central do limite. Nesse caso, a duração do projeto ( $T_p$ ), pode ser encontrada pela soma das durações das atividades do caminho crítico ( $t_{ic}$ ), e a variância do projeto ( $\sigma_p^2$ ) pode ser encontrada pela soma das variâncias das atividades do caminho crítico ( $\sigma_{ic}^2$ ):

No planejamento de empreendimentos podem-se utilizar as vantagens dos recursos dos sistemas de gerenciamento de projetos, nas quais podem ser encontrados diversos softwares. Utilizando-se esses recursos, constrói-se um Diagrama de Redes no qual os pontos críticos do projeto podem ser evidenciados. Tais pontos críticos são visualizados pelo caminho crítico do diagrama de redes, no qual é o caminho com a maior duração que governa a duração do projeto, pois qualquer atraso nesse caminho causará um atraso no projeto.

Essa noção de caminho crítico é muito útil quando se trata de grandes projetos, pois é possível dar uma atenção redobrada às atividades desse caminho, de modo que não haja atrasos na obra, já que outras atividades podem ser feitas mais pausadamente.

O controle pode ser feito por um Cronograma de Barras. Sua função é dar uma visão mais executável com relação ao tempo e controle dos processos. Com ele se pode planejar a obra de tal forma que não existam demissões e admissões freqüentes, diminuindo os custos. Também é possível ter um maior controle sobre a compra de materiais, já que há uma programação das atividades com as respectivas necessidades materiais durante todo o ciclo de vida do projeto. Com esse planejamento a obra torna-se mais organizada, o gerente pode fazer controle por meio dos cronogramas de barras e com isso detectar as falhas e aprimorar os processos.

#### 2.1.4 Riscos em Projetos – procedimentos de mitigação

Projeto é, por definição uma atividade que envolve incerteza. A incerteza em projetos pode ser consideravelmente alta e, nesses casos, o processo de gerenciamento de projetos deve incluir um estudo do gerenciamento de incertezas durante todo o ciclo de vida do projeto.

De acordo com Chapman e Ward (2002), a incerteza em projetos é, em parte, vista como uma *variabilidade* em relação ao desempenho de medidas tais como, custo, duração ou qualidade. É também como uma *ambigüidade* associada à falta de clareza devido à ausência de dados, à falta de detalhes, ao comportamento dos participantes do projeto, falta de padrão para realizar as tarefas, ao conhecimento e desconhecimento de fontes de vieses, às hipóteses consideradas para simplificar os problemas e à ignorância sobre ao esforço necessário para se entender uma situação.

A incerteza está presente em todas as fases do projeto, porém, é particularmente mais evidente nas fases de pré-execução, nas quais pode ser vista em cinco áreas:

1 – variabilidade associada às estimativas realizadas: está relacionado ao tamanho dos parâmetros do projeto, tais como: duração de uma atividade, custo e qualidade das atividades do projeto;

2 – incerteza sobre a base das estimativas: o que determina a qualidade das estimativas, o que depende de quem as produziu, a forma que têm, porque, como e quando elas foram produzidas e que hipóteses as cercam;

3 – incerteza sobre o desenho e a logística do projeto: envolve o estágio de concepção do projeto, sua natureza voltada para a entrega de um único produto final e o processo para produzi-lo;

4 – incerteza sobre os objetivos e suas prioridades: está relacionada aos objetivos do projeto em si, às prioridades relativas e aos *trade-offs* aceitáveis, e em como ligar esses objetivos ao planejamento das atividades;

5 – incerteza sobre as relações entre as partes do projeto: refere-se aos relacionamentos entre as partes interessadas no projeto, suas responsabilidades, a comunicação entre eles, o contrato entre as partes e os mecanismos para a coordenação e o controle.

Chapman (2002) afirma que quanto mais se desce na lista acima, mais importantes são as incertezas para o desempenho do projeto, estando elas mais relacionadas à ambigüidade que à variabilidade.

O processo de gerenciamento de riscos em projetos RMP – *Risk Management Process* – pode ser visto como uma extensão do planejamento de projetos convencional. Nesse sentido, dois diferentes conceitos sobre os planos de projeto devem ser esclarecidos. São eles: o plano de base e o plano de contingência.

O plano de base é o cenário objetivo de como se quer que o projeto seja executado, incorporando respostas *proativas* às incertezas identificadas por um planejamento proativo, isto é, estabelece uma base para as etapas de preparação, execução e controle do projeto. O plano de contingência é um segundo nível do planejamento, sendo um plano com respostas às ameaças e às oportunidades, associado ao plano de base, incorporando respostas *reativas* às incertezas identificadas por um planejamento proativo. Em outras palavras, no plano de contingência tem-se as respostas às ameaças e oportunidades identificadas no plano de base.

Recentemente, o desenvolvimento de processos para o gerenciamento de riscos em projetos tem sido alvo de muito interesse. A associação de gerentes de projetos (APM – *Association of Project Managers*) desenvolveu a idéia de gerenciamento e análise de riscos em projetos (PRAM – *Project Risk Analysis and Management*), em que são definidas as várias fases de descrição do processo de riscos. Essas fases são: definição, foco, identificação, estrutura, *ownership*, estimativa, avaliação, planejamento e gestão. Outras idéias para o tratamento de riscos em projetos foram desenvolvidas. Entretanto, essas são variantes ou simplificações do modelo inicial PRAM. Esses modelos procuram diminuir a informalidade no tratamento de risco em projetos.

## 2.2 Métodos Multicritérios

Os métodos de decisão multicritérios podem ser classificados de diversas formas. Neste trabalho, é considerada a visão de Roy (1996), em que os métodos multicritérios podem ser divididos em três grandes abordagens, relativamente aos princípios de modelagem de preferências:

- Abordagem do critério único de síntese: foi idealizada pela Escola Americana (exemplo: Teoria da Utilidade Multiatributo (Keneey e Raiffa, 1976)) e consiste em agregar diferentes pontos de vista dentro de uma única função de síntese, que pode ser posteriormente otimizada. Nesse caso, devem-se analisar as condições de agregação da função e de construção do modelo.
- Abordagem da Sobreclassificação (ou subordinação - termo em inglês: *outranking*): inspirada na Escola Francesa, essa família apoia, em primeiro lugar, a construção de uma relação de Sobreclassificação, que representa as preferências estabelecidas pelo decisor. O segundo passo consiste em explorar a relação de Sobreclassificação de tal forma que ajude o decisor a resolver o seu problema (Roy, 1996; Belton e Stewart, 2002).
- Abordagem do julgamento Interativo: são métodos que utilizam a abordagem de tentativas e erros e estruturas de programação matemática multiobjetivo (Climaco *et al*, 2003).

Os métodos de apoio multicritério a decisão ajudam ao decisor solucionar problemas complexos de decisão, nos quais são considerados vários pontos de vista, freqüentemente contraditórios, em que o aumento do nível de um pode vir acompanhado do decréscimo de outros.

Tais métodos têm como objetivo sugerir “soluções satisfatórias, ou soluções com o melhor compromisso”, as quais levam em consideração as ponderações entre os critérios e as preferências do decisor (Roy, 1996).

Esse campo de estudo tem sido muito difundido atualmente, pois não está concentrado apenas numa área de conhecimento, sendo usado, igualmente, em diversas áreas da pesquisa operacional.

Problemas de decisão fazem parte do dia-a-dia das organizações e da vida das pessoas. Essas decisões relatam os objetivos das organizações, sejam planos de crescimento, implementação de estratégias, desenvolvimento político, dentre outros fatores que podem ser considerados.

O decisor pode recorrer a um analista para apóia-lo ao longo do processo de decisão, servindo-se de instrumentos, tais como os métodos multicritérios. Mas mesmo quando as várias opções de decisão e os objetivos forem claramente identificados, nenhum modelo matemático pode substituir ao decisor.

Deve ser alertado o caso em que o analista interfere na decisão de forma a decidir pelo decisor. Há casos, também, que o próprio decisor deseja que isso aconteça, de forma que simplesmente ele perca a responsabilidade final da decisão. Nesse sentido, é preciso que o analista deixe claro ao decisor qual o seu papel no processo de decisão.

O apoio a decisão é, então, a atividade de um analista, baseado em modelos matemáticos claramente identificados e suficientemente formalizados, que procuram por elementos de resposta face às questões do decisor (Zak, 2001).

Um processo de decisão pode ser definido como um conjunto específico de técnicas que auxiliam ao tomador da decisão reconhecer as particularidades do seu problema e a estruturá-lo. Apesar de não existirem dois problemas de decisão idênticos, é possível reunir elementos comuns a todos eles, indicando uma forma sistemática de se pensar sobre esses tipos de problemas (Keeney e Raiffa, 1976).

Podemos estruturar um processo de decisão por uma seqüência de etapas em que o decisor identifica as alternativas existentes, as suas respectivas consequências e, em seguida, escolhe a alternativa que apresentar maior vantagem para si. No caso das alternativas serem representadas por uma distribuição de probabilidade, como no caso da teoria da decisão, escolhe-se aquela que apresentar o maior valor esperado (Keeney e Raiffa, 1976).

Segundo Campello de Souza (2002), a teoria da decisão trata as situações de incerteza por meio de uma abordagem sistemática para a tomada de decisões. Neste trabalho, no entanto, as incertezas são tratadas de duas formas: por meio de ações mitigadoras para prevenir falhas e pelo uso da técnica PERT, que insere estimativas de tempo probabilísticas.

### 2.2.1 Problemáticas de Decisão

Quando modelamos um problema de decisão do mundo real usando decisão multicritério várias problemáticas (ou formulação de problemas) podem ser considerados. Roy distinguiu três problemáticas básicas: escolha ( $P\alpha$ ), classificação ( $P\beta$ ) e ordenação ( $P\gamma$ ).

Dado um conjunto de alternativas A, a problemática de escolha (ou seleção) consiste na escolha de um subconjunto  $A' \subset A$ , tão pequeno quanto possível, composto de alternativas julgadas como as mais satisfatórias. Problemas de otimização são casos particulares da problemática de escolha, onde  $A'$  fica restrito a uma única alternativa.

A problemática de classificação consiste em formular o problema de decisão de tal forma que distribua cada alternativa de A para uma categoria pré- definida. A distribuição de uma alternativa “a” para sua categoria apropriada deve-se ao valor absoluto de “a” (e não da comparação de “a” com outras alternativas de A) (Mousseau e Slowinski, 1998).

A problemática de ordenação consiste em estabelecer uma ordem de preferência (que pode ser parcial ou completa) do conjunto de alternativas A.

## 2.2.2 Conceitos básicos de apoio multicritério a decisão

Neste item são apresentados os conceitos básicos de apoio multicritério a decisão a serem usados no trabalho. Vários outros conceitos importantes relacionados à decisão multicritério são encontrados na literatura (Vincke, 1992, Roy, 1996, Keeney e Raiffa, 1976).

### A - Sistemas de relações de preferências

As preferências do decisor são modeladas por meio de um sistema de relações de preferências. Segundo Roy (1996), os principais sistemas são: o sistema básico (BSPR - *Basic Systems of Preference Relation*) e o sistema consolidado de relações de preferências (CSPR - *Consolidate Systems of Preference Relation*).

O sistema básico (BSPR) considera apenas quatro situações básicas: Indiferença (I), Preferência Estrita (P), Preferência Fraca (Q) e Incomparabilidade (R), usadas para comparar duas ações potenciais.

A Tabela 2.1 apresenta as situações básicas de preferência I, P, Q e R, com suas respectivas propriedades.

Tabela 2.1. - Situações básicas de preferências para comparar duas ações potenciais

RELAÇÃO	DEFINIÇÃO	PROPRIEDADE
Indiferença (I)	Corresponde à existência de razões claras e objetivas que justifiquem a equivalência entre as duas ações	Reflexiva: a I a Simétrica: a I a' e a' I a
Preferência Estrita (P)	Corresponde à existência de razões claras e objetivas que justifiquem uma preferência significativa em favor de uma (identificada) das duas ações	Não Reflexiva Assimétrica: a P a' ou a' P a
Preferência Fraca (Q)	Corresponde à existência de razões claras e positivas que invalidem a preferência estrita em favor de uma (identificada) das duas ações, mas essas razões são insuficientes para se deduzir uma preferência estrita em favor da outra ou uma indiferença entre essas duas ações; portanto, não é possível diferenciar nenhuma das duas situações precedentes.	Não Reflexiva Assimétrica: a Q a' ou a' Q a
Incomparabilidade (R)	Corresponde à ausência de razões claras e positivas para justificar qualquer das três situações precedentes.	Não-reflexiva Simétrica: a R a' e a' R a

Adaptado de Roy (1996)

Por definição, as quatro situações I, P, Q e R, definidas na tabela 2.1, formam um sistema básico (BSPR) se:

- (1) Elas são exaustivas: para qualquer par de ação, pelo menos uma das situações ocorre;
- (2) Elas são mutuamente exclusivas: para qualquer par de ação, no máximo uma das situações ocorre.

As definições das relações de preferência I, P, Q e R apresentadas na Tabela 2.1, por Roy (1996) são passivas de discussão. Porém, suas propriedades são capazes de distinguir e representar as estruturas que formam os sistemas de relações de preferências.

O sistema consolidado de relações de preferência introduz, além das quatro situações básicas, mais cinco situações de preferência chamadas de situações consolidadas: Não-Preferência ( $\sim$ ), Preferência ( $\phi$ ), J-Preferência (J), K-Preferência (K) e Sobreclassificação (S).

As condições de mutualidade e exaustividade devem ser atendidas para que se forme o sistema consolidado de relações de preferência. A Tabela 2.2 apresenta as situações consolidadas de preferência  $\sim$ ,  $\phi$ , J, K, S.

Tabela 2.2. - Situações consolidadas de preferências para comparar duas ações potenciais

RELAÇÃO	DEFINIÇÃO	RELAÇÃO BINÁRIA
Não- Preferência (~)	Corresponde a uma ausência de situações claras e objetivas para justificar a preferência estrita ou a preferência fraca em favor de uma das ações e, portanto, consolida as situações de indiferença ou de incomparabilidade, sem ser capaz de diferenciação entre elas.	$a \sim a' \Leftrightarrow a \neq a'$ Simétrica
Preferência ( $\phi$ )	Corresponde à existência de razões claras e objetivas que justifiquem a preferência estrita ou a preferência fraca em favor de uma (identificada) das duas ações e, portanto, consolida as situações de preferência estrita e preferência fraca, sem, no entanto, ser capaz de diferenciação entre elas.	$a \phi a' \Leftrightarrow a \neq a'$ Assimétrica
J – Preferência	Corresponde à existência de razões claras e positivas que justifiquem a preferência fraca, sem se preocupar o quanto fraca em favor de uma (identificada) das duas ações, ou no limite, a indiferença entre elas, mas sem que nenhuma separação significativa seja estabelecida entre as situações de preferência fraca e de indiferença.	$a J a' \Rightarrow a \neq a'$ Nem simétrica, nem assimétrica
K – Preferência	Corresponde à existência de razões claras e positivas que justifiquem a preferência estrita em favor de uma (identificada) das duas ações, ou a incomparabilidade entre elas, embora não exista nenhuma divisão significativa estabelecida entre as situações de preferência estrita e incomparabilidade.	$a K a' \Rightarrow a \neq a'$ Nem simétrica, nem assimétrica
Sobreclassificação (Outranking)	Corresponde à existência de razões claras e objetivas que justifiquem tanto a preferência como a J-preferência em favor de uma (identificada) das duas ações, embora não exista nenhuma divisão significativa estabelecida entre as situações de preferência estrita, preferência fraca e indiferença.  Diz-se que uma ação $a$ sobreclassifica $a'$ ( $aSa'$ ) se $a$ é considerada ao menos tão boa quanto $a'$	$a S a' \Rightarrow a \neq a'$ Nem simétrica, nem assimétrica

Adaptado de Roy (1996)

## B - Critério

Segundo Vincke (1992), critério é uma função  $g$ , definida em um conjunto  $A$ , que toma valores em um conjunto totalmente ordenado, representando as preferências do decisor sob determinado ponto de vista.

De acordo com a estrutura de preferência verificada, os critérios classificam-se em: critério verdadeiro, pseudocritério, semicritério e critério de intervalo (Roy, 1996; Vincke, 1992). Neste trabalho, são consideradas as noções de critério verdadeiro e pseudocritério, que têm as seguintes características:

- Critério verdadeiro: se a estrutura de preferência é uma estrutura de preordem completa, na qual qualquer diferença implica uma preferência estrita, conforme Figura 2.5.

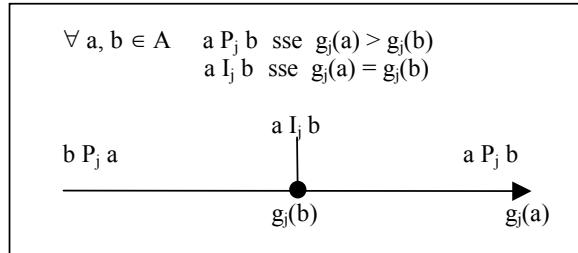


Figura 2.5. - Exemplo da estrutura de preferência com verdadeiros critérios

- **Pseudocritério:** se a estrutura de preferência é uma estrutura de pseudo-ordem - modelo com duplo limiar -, quando se evita uma passagem repentina entre a indiferença e a preferência estrita, existindo uma zona de hesitação, representada pela preferência fraca, conforme Figura 2.6 (Modelo com limiar duplo).

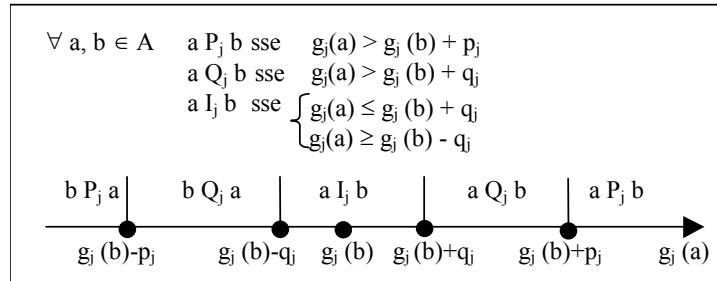


Figura 2.6. - Exemplo da estrutura de preferência com pseudocritérios

Dentro dessa visão, um problema de decisão multicritério é uma situação em que tendo sido definido um conjunto  $A$  de ações e uma família consistente de critérios  $F = \{g_1, \dots, g_j, \dots, g_n\}$ , procede-se a uma (ou mais) das três problemáticas: Escolha (P.  $\alpha$ ), Ordenação (P.  $\beta$ ) ou Classificação (P.  $\delta$ ), descritas no item 2.1.2 (Vinke, 1992).

### C – Relação de dominância

Dadas duas ações  $a$  e  $b$  de  $A$ ,  $a$  domina  $b$  ( $a D b$ ), se e somente se:

$g_j(a) \geq g_j(b)$ ,  $j=1, 2, \dots, n$ , em que pelo menos uma das inequações é estrita, ou seja, em pelo menos um critério de  $j$   $g_j(a) > g_j(b)$ .

## D – Ação eficiente

A ação  $a$  é *eficiente* se, e somente se, nenhuma outra ação do conjunto  $A$  a domina. Em problemas de decisão multicritério, há interesse por esse conjunto de ações eficientes, em que a relação de dominância é vazia. Também conhecido como o ótimo de Pareto.

### 2.2.3 Visão Geral da Teoria da Utilidade Multiatributo - MAUT

A teoria da utilidade multiatributo é baseada na teoria da utilidade, envolvendo, nesse caso, vários atributos a serem estudados num problema de decisão.

Segundo Campello de Souza (2002), a teoria da utilidade quantifica a desejabilidade do decisor pelos bens que poderá obter, associando aos bens um valor que represente um critério de escolha por parte do decisor. O conceito de utilidade é derivado a partir de determinados axiomas de comportamento (propostos por Neumann e Morgenstern (1947)) e aplicável ao caso de escolhas em situações de risco.

A teoria da utilidade multiatributo envolve vários atributos a serem estudados num problema de decisão. Podem haver vários atributos num mesmo problema, sendo muitos destes conflitantes. Nesse caso, o conceito central é o da compensação. O objetivo do decisor é encontrar a *função utilidade multiatributo*, que agrupa as preferências do decisor por cada um dos critérios. Encontrada essa função, aplica-se o conceito de utilidade esperada para encontrar a melhor alternativa

Na teoria da utilidade multiatributo é preciso aplicar os conceitos de independência em utilidade e independência aditiva (Keeney e Raiffa, 1976). A independência em utilidade é um processo que permite simplificar a determinação da função utilidade multiatributo e possibilita uma melhor estruturação do problema.

Quando o decisor atender à condição de independência aditiva, a função utilidade pode ser representada na forma de uma função aditiva. A função aditiva permite adicionar as contribuições dos dois atributos, encontrando mais facilmente a utilidade total  $u(y,z)$  ( Keeney e Raiffa, 1976).

A função aditiva assume a forma do tipo:

$$u(y,z) = k_y u_y(y) + k_z u_z(z), \quad \text{Onde } k_y \text{ e } k_z \text{ são constantes de escala} \quad (2.3)$$

Obtemos a transformação da escala de utilidade de um único atributo para utilidade multiatributo.

Vale salientar que se dois atributos possuem a forma da função aditiva então implica que estes são mutuamente independentes em utilidade, mas ser mutuamente independentes em utilidade não significa que a função utilidade seja aditiva.

Quando a independência aditiva não for atendida pode-se recorrer ao uso da utilidade multilinear.

Um procedimento para educação da função utilidade multiatributo pode ser descrita em cinco etapas. Essas etapas intensificam os aspectos importantes do problema. As etapas são:

1. Preparação do decisor para o processo de educação
2. Identificar as independências entre os atributos
3. Avaliação das funções de utilidades condicionais dos atributos
4. Avaliação das constantes de escala
5. Checar os resultados através de uma análise de consistência

#### 2.2.4 Método ELECTRE

A família ELECTRE possui métodos que buscam eliminar alternativas dominadas de acordo com um conjunto de pesos atribuídos pelo decisor para cada objetivo do problema

Os métodos ELECTRE são denominados métodos de sobreclassificação (“*outranking*”). Tais métodos baseiam-se na construção de uma relação de sobreclassificação que incorpora as preferências estabelecidas pelo decisor diante dos problemas e das alternativas disponíveis.

Segundo Roy (1996), esses métodos baseiam-se no estudo de sobreclassificação em uma lógica não compensatória, com poder de veto usando as noções de concordância e de discordância. As relações de sobreclassificação são construídas de tal forma que uma alternativa é tão boa quanto outra alternativa, nas seguintes condições: Uma maioria suficiente de critérios, considerando as suas importâncias, apóia esta proposição (princípio da concordância) e a oposição da minoria não é considerada forte o suficiente para discordar desta proposição.

O método ELECTRE (Roy, 1996) é uma metodologia originada na escola francesa (no contexto de decisão multicritério, por vezes chamada escola européia), representando uma sigla (na língua francesa) que significa: Algoritmo de tradução de eliminação e escolha.

O estudo dos métodos baseados na relação de Sobreclassificação teve início na década de 1960, por R. Benayoun e B. Roy, apresentando o método ELECTRE. Na década de 1980, aproximadamente, foram desenvolvidos novos métodos baseados na relação de Sobreclassificação (Zak, 2001).

#### 2.2.4.1 ELECTRE I

O ELECTRE I é um método que busca eliminar alternativas superadas de acordo com um conjunto de pesos atribuídos pelo decisor a cada objetivo do problema. O método foi construído para problemas de escolha, ou seleção (P.α), e busca obter um subconjunto N de ações de tal forma que qualquer ação que não estiver em N é sobreclassificada por pelo menos uma ação de N. Esse conjunto N de ações é o conjunto que contém as ações mais satisfatórias à luz dos critérios estabelecidos (Vincke, 1992).

Segundo Olson, o ELECTRE I busca reduzir o conjunto de ações (alternativas) A para o menor possível, por meio de índices de concordância e discordância que medem a vantagem e desvantagem relativa par a par entre as alternativas.

A cada critério é atribuído um peso  $p_j$  que cresce em função da importância relativa do critério e, em seguida, as relações de sobreclassificação são obtidas par a par entre alternativas por meio dos índices de concordância  $C(a, b)$  e discordância  $D(a, b)$  e dos seus respectivos limiares de concordância  $c$  e discordância  $d$ .

O índice de concordância  $C(a, b)$  é obtido em função dos pesos dos critérios, tomando valores entre 0 e 1. Assim, esse índice indica uma medida, em proporção de pesos, no qual a alternativa  $a$  supera a alternativa  $b$ , isto é, mede a força dos argumentos em favor da afirmativa  $aSb$  (lê-se  $a$  sobreclassifica  $b$ ).

O índice de concordância pode ser calculado pela fórmula abaixo (Vincke, 1992):

$$C(a, b) = \frac{1}{P} \sum_{j: g_j(a) \geq g_j(b)} p_j, \quad \text{onde} \quad P = \sum_{j=1}^n p_j \quad (2.4)$$

Geralmente, os pesos dos critérios são definidos de forma que a soma seja igual a 1. Fazendo isto, o denominador na fórmula do índice de concordância reduz-se a 1, facilitando os cálculos.

Por outro lado, o índice de discordância  $D(a, b)$  mede a força dos critérios em favor de  $b$ , calculando a maior distância relativa entre as alternativas  $a$  e  $b$ , onde  $b$  é preferível a  $a$ . Em

outras palavras, o índice de discordância mede a desvantagem relativa entre duas alternativas "a" e "b", sendo definido como a máxima razão para cada critério (critério diferença onde "b" é preferível a "a" dividido pela distância do possível critério diferença). Assim, esse índice toma valores entre 0 e 1, e cresce na medida que a preferência de *b* sobre *a* venha a ser grande para pelo menos um critério.

O índice de discordância pode ser calculado pela fórmula abaixo (Vincke, 1992):

$$D(a, b) = \begin{cases} 0 & \text{se } g_j(a) \geq g_j(b), \forall j \\ \frac{1}{\delta} \max_j [g_j(b) - g_j(a)], n.c. & \text{onde } \delta = \max_{c, d, j} [g_j(c) - g_j(d)] \end{cases} \quad (2.5)$$

$g_j(c)$  = maior avaliação no critério *j*

$g_j(d)$  = menor avaliação no critério *j*

As diferenças  $[g_j(b) - g_j(a)]$  são comparadas entre os critérios, em que  $g_j(b) > g_j(a)$ , escolhendo-se, dentre os critérios, a diferença  $[g_j(b) - g_j(a)]$  de maior valor. Quando possível, normaliza-se os dados de entrada das alternativas, de forma que variem entre 0 e 1.

Este índice pode, também, ser escrito como:

$$d_j(a, b) = [g_j(b) - g_j(a)]/[g_j(c) - g_j(d)]$$

em que  $d_j(a, b)$  representa o índice de discordância parcial, para o critério *j*.

$$D(a, b) = \max d_j(a, b)$$

Para encontrar as relações de sobreclassificação, o decisor deve estabelecer um valor para os limiares de concordância *p* e discordância *q*, para construir as relações de sobreclassificação:

$$aSb \quad \text{sse} \quad \begin{cases} C(a, b) \geq c \\ D(a, b) \leq d \end{cases} \quad (2.6)$$

Como os índices de concordância e discordância variam entre 0 e 1, os limiares *c* e *d* também devem ser definidos nesse intervalo.

O limiar de discordância *d* tem a característica de veto, ou seja, veta a sobreclassificação de *a* sobre *b*, quando para, pelo menos em um critério,  $d_j(a, b) \leq d$ .

Passada a etapa de construção do modelo, segue-se a etapa de investigação, quando as relações de sobreclassificação são utilizadas com vista a uma recomendação: seleciona-se um conjunto  $N$  de alternativas com o melhor compromisso. Esse conjunto  $N$ , também chamado de *kernel*, é encontrado de tal forma que qualquer ação que não estiver em  $N$  é sobreclassificada por, pelo menos, uma ação de  $N$ , e as ações de  $N$  são incomparáveis. Para isso, procede-se da seguinte forma:

1. Obtém-se o circuito de sobreclassificação com a definição dos parâmetros e seleciona-se um conjunto  $N'$  de alternativas que não foram sobreclassificadas por nenhuma outra.
2. Dentro desse conjunto  $N'$ , determina-se o conjunto  $N$  de alternativas que não foram sobreclassificadas por  $N'$ . Esse conjunto  $N$  é então o conjunto de alternativas com o melhor compromisso, também chamado de *kernel*.

Uma das formas de encontrar o conjunto  $N$  é fazer uma análise mais refinada das ações do *kernel*, ou seja, uma análise de sensibilidade, mediante variações nos pesos dos critérios e nos limiares de concordância e discordância do modelo ( $p_j$ ,  $c$  e  $d$ ) para verificar sua robustez (Vincke, 1992).

#### 2.2.4.2 ELECTRE II

O ELECTRE II, análogo ao seu antecessor, utiliza os conceitos de concordância e discordância para ordenar um conjunto de alternativas da melhor para a pior, sendo desenvolvido para resolver problemas de ordenação (P.β). Através de duas preordens construídas a partir das relações de sobreclassificação forte e fraca, obtém-se a ordenação das alternativas.

O objetivo do método ELECTRE II consiste em ordenar um conjunto de alternativas não dominadas, perfazendo uma ordem de precedência entre as alternativas.

Assim como no ELECTRE I, o ELECTRE II utiliza os índice de concordância e discordância, com seus respectivos limiares  $c$  e  $d$ , para encontrar as relações de sobreclassificação. Entretanto, no ELECTRE II são definidos dois limiares de concordância:  $c_1$  e  $c_2$ , em que  $c_1 > c_2$ , e dois limiares de discordância,  $d_1$  e  $d_2$ , em que  $d_1 < d_2$ , estabelecendo-se duas relações de sobreclassificação: uma forte ( $S^F$ ) e uma fraca ( $S^f$ ) (Roy e Bertier, 1971; Roy e Bertier, 1973).

Os índices de concordância e discordância são os mesmos calculados no ELECTRE I, em que  $C(a,b)$  representa a proporção de peso para que a alternativa  $a$  seja preferível a  $b$ , e  $D(a,b)$  mede a desvantagem relativa entre a alternativa  $a$  em relação a  $b$ .

São utilizados limiares de concordância e discordância forte e fraco:  $c1$ ,  $c2$ ,  $d1$ ,  $d2$ , respectivamente, para encontrar as relações de sobreclassificação forte  $S^F$  e fraca  $S^f$ . Essas relações são calculadas pelas fórmulas abaixo:

$$aS^F b \text{ sse } \begin{cases} C(a,b) \geq c1 \\ D(a,b) \leq d1 \\ \sum_{j: g_j(a) > g_j(b)} p_j > \sum_{j: g_j(a) < g_j(b)} p_j \end{cases} \quad (2.7)$$

$$aS^f b \text{ sse } \begin{cases} C(a,b) \geq c2 \\ D(a,b) \leq d2 \\ \sum_{j: g_j(a) > g_j(b)} p_j > \sum_{j: g_j(a) < g_j(b)} p_j \end{cases} \quad (2.8)$$

No cálculo das relações de sobreclassificação forte e fraca de  $a$  sobre  $b$ , verifica-se também se a soma dos pesos dos critérios em que  $a$  é preferível a  $b$  é maior do que a soma dos pesos dos critérios em que  $b$  é preferível a  $a$ . Ao inserir essa nova condição, obtém-se mais consistência nas relações de sobreclassificação.

Construído o modelo e encontradas as relações de sobreclassificação, passa-se à etapa de investigação: ordenação das alternativas da melhor para pior. A ordenação das alternativas é encontrada a partir de duas preordens completas:  $\text{Rank}_1$  e  $\text{Rank}_2$ .

Para se encontrarem os elementos da primeira posição da preordem 1 ( $\text{Rank}_1$ ), são seguidos os passos abaixo:

1 – Obtém-se o circuito de sobreclassificação forte pela fórmula 2.7 e seleciona-se um conjunto  $B$  de alternativas que não foram sobreclassificadas fortemente por nenhuma outra.

2 – Dentro desse conjunto  $B$ , o circuito de sobreclassificação fraco é obtido (fórmula 2.8), e é então determinado um conjunto  $A$  de alternativas que não são sobreclassificadas fracamente por nenhuma ação de  $B$ .

3 – O conjunto  $A$  forma a primeira posição da ordenação, no qual estão as alternativas com o melhor compromisso.

O procedimento é repetido com as alternativas restantes para se encontrar a segunda classe da ordenação e assim por diante, até que todas as alternativas sejam ordenadas.

A segunda preordem ( $\text{Rank}_2$ ) é construída a partir da pior classe de alternativas, aquelas que não sobreclassificam nenhuma outra, e termina na melhor classe de alternativas. No final, sua ordem é invertida (Vincke, 1992). A preordem final  $\text{Rank}_M$  é obtida pelas médias das duas preordens iniciais, de tal forma que:

$$\text{Rank}_M = (\text{Rank}_1 + \text{Rank}_2)/2 \quad (2.9)$$

Geralmente, as ordenações  $\text{Rank}_1$  e  $\text{Rank}_2$  não são iguais. Ao se construírem estas duas preordens, é possível detectar alternativas problemáticas. Por exemplo, se uma alternativa não sobreclassificar nenhuma outra e, ao mesmo tempo, não for sobreclassificada por nenhuma, então ela aparecerá como primeira colocada no  $\text{Rank}_1$  e em ultima posição no  $\text{Rank}_2$  (Vincke, 1992).

Como no ELECTRE I, é recomendável fazer uma análise de sensibilidade, variando-se os pesos dos critérios e os limiares de concordância e discordância ( $p_j$ ,  $c$  e  $d$ ) para se verificar a robustez do modelo.

O ELECTRE II utiliza duplo limiar de concordância e discordância. É mais refinado que o ELECTRE I, já que esse último foi o primeiro método da família ELECTRE. O procedimento usado para encontrar a ordenação das alternativas é semelhante ao procedimento usado no ELECTRE I para selecionar as “melhores” alternativas. Um ponto interessante do método ELECTRE II é fato de ordenar as alternativas a partir das duas preordens, obtendo mais informação e permitindo realizar uma melhor análise das alternativas.

#### 2.2.4.3 ELECTRE III

Os métodos ELECTRE I e ELECTRE II envolvem apenas critérios-verdade. Com o desenvolvimento de novos tipos de modelagem de preferências, foi construído o método ELECTRE III, que insere na sua estrutura modelagens de preferências mais refinadas (Vincke, 1992, Roy, 1978).

O ELECTRE III é destinado a problemáticas de ordenação, utilizando a idéia de pseudo-critério. São consideradas três relações: Preferência estrita (P), Preferência fraca (Q) e indiferença (I). É introduzida a idéia dos limiares de preferência  $p_i(\cdot)$  e indiferença  $q_i(\cdot)$  na modelagem, levando a uma zona de hesitação Q. Com isso, o ELECTRE III incorpora

maiores sensibilidades do decisor na sua estrutura de preferências (Roy, 1996; Roy e Bouyssou, 1986).

Vincke (1992) afirma que a peculiaridade do ELECTRE III está em sua relação de sobreclassificação valorada, cuja propriedade, com respeito a uma relação ordinária, é menos sensível às variações dos dados e aos parâmetros do problema.

ELECTRE III considera que a relação de sobreclassificação valorada  $S$ , é válida ou inválida para a afirmação de que  $aSb$  e  $(bSa)$ , cujo significado é “ $a$  é ao menos tão bom quanto  $b$ ”. As preferências restritas de cada critério são definidas mediante um pseudo-critério, em que os limiares de preferência e indiferença ( $p_j(b)$  e  $q_j(b)$ ) constituem as informações de preferência intra- critérios:

- $q_j(b)$  especifica a maior diferença  $g_j(a)-g_j(b)$ , que preserva a indiferença entre  $a$  e  $b$  no critério  $g_j$ ;
- $p_j(b)$  representa a menor diferença  $g_j(a)-g_j(b)$ , compatível com uma preferência em favor de  $a$  no critério  $g_j$ .

Para validar a afirmação  $aSb$  devem ser verificadas duas condições: concordância - para uma sobreclassificação  $aSb$  ser aceita, a maioria dos critérios devem estar a favor da afirmação  $aSb$ ; e não- discordância - quando a condição de concordância não for atendida, nenhum dos critérios deve opor-se à afirmação  $aSb$ .

Dois tipos de parâmetros de preferências intervêm na construção de  $S$ :

- conjunto de coeficientes pesos ( $k_1, k_2, \dots, k_m$ ), usado no teste de concordância quando é computada a importância relativa dos critérios a favor da afirmação  $aSb$ ;
- conjunto de limiares voto ( $v_1(b), v_2(b), \dots, v_m(b)$ ), usado no teste de discordância.  $v_j(b)$  representa a menor diferença  $g_j(b) - g_j(a)$ , incompatível com a afirmação  $aSb$ .

Esse método considera a relação de sobreclassificação valorada mediante o cálculo do índice de credibilidade  $\sigma(a, b)$ . Esse índice é um indicador de “ordem de magnitude” da afirmação de que uma alternativa sobreclassifica a outra. Desse modo, o índice de credibilidade  $\sigma(a, b) \in [0,1]$  ( $\sigma(b, a)$ , resp.) representa o grau de credibilidade da afirmação  $aSb$ .

O índice de credibilidade  $\sigma(a, b)$  é definido em função dos índices de concordância e discordância, calculados a seguir:

Índice de concordância  $c(a, b)$ :

$$c(a, b) = \frac{\sum_{j \in F} k_j c_j(a, b)}{\sum_{j \in F} k_j} \quad (2.10)$$

em que  $c_j(a, b)$  é chamado de índice de concordância parcial é definido como:

$$c_j(a, b) = \begin{cases} 0 & \text{if } g_j(b) - g_j(a) \geq p_j(b) \\ 1 & \text{if } g_j(b) - g_j(a) \leq q_j(b) \\ \frac{p_j(b) + g_j(a) - g_j(b)}{p_j(b) - q_j(b)} & \text{n.c} \end{cases} \quad (2.11)$$

Por essa condição tem-se que:

- $a$  é pelo menos tão bom quanto  $b$  (de acordo com o critério  $j$ ) se não há, sequer, uma fraca preferência de  $b$  por  $a$ .
- De outro lado, se  $b$  é estritamente preferível a  $a$  (em  $j$ ) então  $a$  definitivamente não sobreclassifica  $b$  (de acordo com o critério  $j$ ), isto é,  $c(a, b) = 0$ .

Quando a alternativa  $b$  é fracamente preferível, mas não estritamente preferível a  $a$ , então a evidência fica ambígua, e o valor do índice de concordância fica entre 0 e 1.

A Figura 2.7 ilustra melhor a definição do índice de concordância  $c_j(a, b)$ .

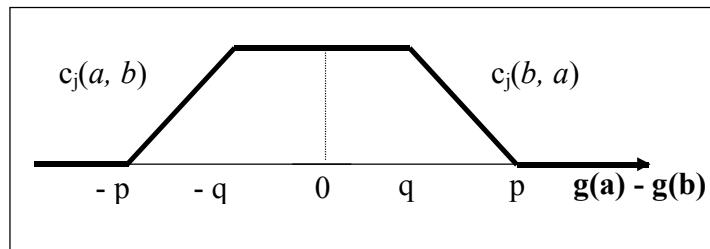


Figura 2.7. - Definição do índice de concordância

O modelo de pseudocritério utiliza dois limiares (preferência e indiferença), o que leva a uma zona de preferência fraca ( $Q_g$ ) entre os pontos  $[g_j(a) + q_j(g_j(b))]$  e  $[g_j(a) + p_j(g_j(b))]$ .

Índice de discordância  $d_j(a, b) \forall j \in F$ :

$$d_j(a, b) = \begin{cases} 0 & \text{if } g_j(b) - g_j(a) \leq p_j(b) \\ 1 & \text{if } g_j(b) - g_j(a) > v_j(b) \\ \frac{g_j(b) + g_j(a) - p_j(b)}{v_j(b) - p_j(b)} & \text{n.c} \end{cases} \quad (2.12)$$

Por essa condição, a sobreclassificação de  $b$  por  $a$  é vetada ( $a$  não S  $b$ ) se a performance de  $b$  exceder a de  $a$  por uma quantidade maior que o limiar de voto.

A Figura 2.8 ilustra a definição do índice de discordância  $d_j(a, b)$ :

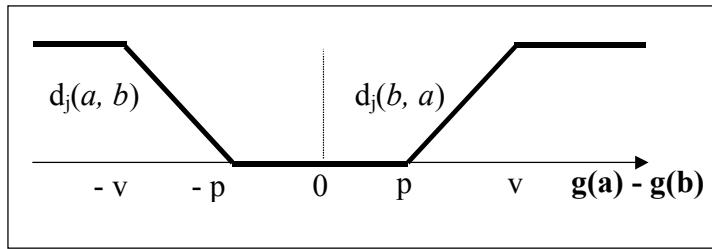


Figura 2.8. - Definição do índice de discordância

Índice de credibilidade  $\sigma(a, b)$ :

$$\sigma(a, b) = c(a, b) \cdot \prod_{j \in \bar{F}} \frac{1 - d_j(a, b)}{1 - c(a, b)} \quad (2.13)$$

, onde  $\bar{F} = \{j \in F : d_j(a, b) > c(a, b)\}$

Construído o modelo, passa-se à etapa de investigação: ordenação das alternativas da melhor para a pior. A ordenação é feita mediante um processo de destilação ascendente e um descendente.

O processo de destilação não é estático, isto é, o processo se reinicia a cada posicionamento das alternativas. Para tal, são calculadas as qualificações das alternativas a cada posicionamento.

A qualificação de uma alternativa  $a$  é dada pela diferença entre sua força e sua fraqueza. A força de  $a$  é representada pelo número de alternativas que  $a$  sobreclassifica. A fraqueza de  $a$  é calculada pelo número de alternativas que sobreclassificam  $a$ .

A qualificação inicial de cada uma das alternativas é calculada usando-se a relação de sobreclassificação forte (diferença entre a força e a fraqueza de uma alternativa em relação às demais).

Na destilação descendente, o conjunto das alternativas que tiver a maior qualificação é chamado de primeira destilação, D1. Se D1 tem mais de um membro, repete-se o processo no conjunto D1 até que todas alternativas tenham sido classificadas, nesse caso, usando a relação de sobreclassificação fraca. Então, continua-se com o conjunto original menos D1, repetindo esse processo até que todas as alternativas tenham sido classificadas.

As destilações ASCENDENTE e DESCENDETE são obtidas da mesma forma, exceto pelo fato de que na ASCENDENTE escolhem-se as alternativas com MENOR QUALIFICAÇÃO para ocupar a última posição no ranking, seguida da penúltima até chegar na primeira posição.

#### 2.2.4.4 ELECTRE IV

O objetivo do ELECTRE IV é ordenar as ações sem introduzir qualquer ponderação nos critérios, ou seja, admite-se que não haja informação suficiente ou perfeita a respeito das importâncias relativas entre os critérios (Vincke, 1992). Trata de problemas que são modelados por uma família de pseudocritério.

Esse método possui um tratamento diferente dos descritos acima, pois não utiliza pesos entre os critérios. Assim, o ELECTRE IV é destinado a problemáticas de ordenação em que não há informação da importância relativa (pesos) dos critérios. Em alguns problemas de decisão, é difícil estabelecer os pesos dos critérios, seja pelo fato de existirem vários atores envolvidos no processo de decisão, e nesse caso não se poder impor apenas o sistema de valor de um decisor, seja, por outro lado, não haver razões científicas de se considerar uma forma de dar pesos aos critérios.

De acordo com Roy e Hugonnard (1984), no ELECTRE IV nenhum dos critérios joga uma regra predominante; e cada critério pode modificar a ordem de prioridade das alternativas de forma que, sem ele, tal prioridade derivaria apenas dos outros critérios.

O objetivo do método é de estabelecer uma ordenação parcial (puramente ordinal) sendo um ponto inicial para decidir na priorização das alternativas, que naturalmente deve ser uma preordem completa.

A relação de sobreclassificação é definida por referência direta às performances das alternativas (comparadas duas a duas). Após a comparação das alternativas, a técnica de ordenação é similar à feita no ELECTRE III, isto é, por processo de destilação.

São definidas duas relações de sobreclassificação: forte -  $aS^Fb$  e fraca -  $aS^Fb$ . Entre duas alternativas **a** e **b**, podem acontecer 6 casos (Figura 2.9):

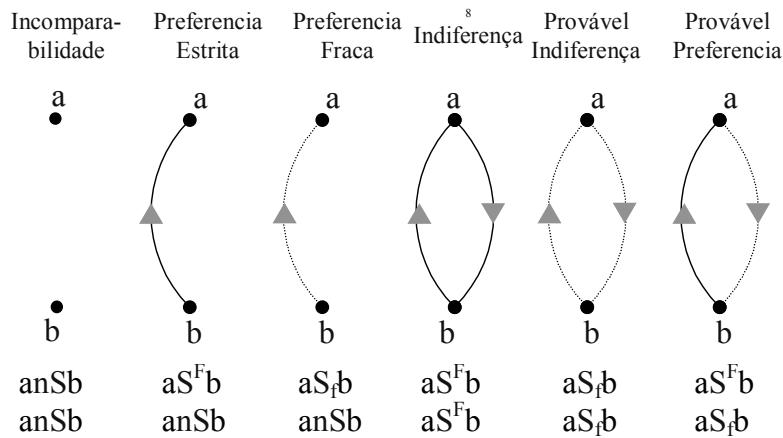


Figura 2.9. - Relações de sobreclassificação no ELECTRE IV

### 1- Sobreclassificação Forte - $aS^Fb$

Para que uma alternativa **a** sobreclassifique fortemente **b** é preciso que:

Caso 1: Para TODOS os critérios não haja **bPa** nem **bQa**

Caso 2: (i) Para TODOS os critérios não haja **bPa** e;

(ii) **bQa** pode ocorrer, mas o conjunto de critérios em que ocorre **aQb** ou **aPb** (conjunto K) deve ser maior ou igual ao conjunto de critérios em que ocorra **bQa** (conjunto J)  $\rightarrow K \geq J$ .

Assim, caso haja a relação **bPa** não ocorre a sobreclassificação forte de **a** por **b**, isto é, se **bPa**  $\rightarrow$  não  $aS^Fb$ .

### Sobreclassificação Fraca - $aS^Fb$

Para que uma alternativa **a** sobreclassifique fracamente **b** é preciso que:

Caso 1: A situação no caso 2 de  $aS^Fb$  não seja atendida (nesse caso, sempre que ocorrer  $aS^Fb$ , ocorrerá  $bS^Fb \rightarrow$  será contrabalanceado).

- Caso 2: (i) Em APENAS UM critérios haja **bPa** e;
- (ii) No critério, em que haja **bPa** a diferença de **b** por **a** for menor que o voto ( $v = 2p$ ) e;
- (iii) Pelo menos metade dos critérios considerados tiverem **aPb**.

Assim, se apenas UM **bPa** → pode acontecer **aSb**.

Como no ELECTRE III, a etapa de investigação que é a ordenação das alternativas da melhor para pior é feita mediante um processo de destilação ascendente e de um descendente.

É usado o conceito de qualificação, baseado na relação de sobreclassificação FORTE, para definir as duas preordens. A qualificação de uma alternativa *a* é definida pelo número de alternativas sobreclassificadas por *a* (**força**) MENOS o número de alternativas que sobreclassificam *a* (**fraqueza**).

O processo de destilação ascendente consiste em escolher a alternativa com maior qualificação para ocupar a primeira posição no *ranking*. A segunda posição é encontrada retirando-se do processo as alternativas que ocupam a primeira posição e, em seguida, as qualificações são recalculadas. Nesse segundo conjunto, a maior qualificação ocupa o segundo lugar. As posições seguintes são encontradas de forma semelhante.

Por outro lado, o processo de destilação ascendente escolhe as alternativas com menor qualificação para ocupar a ultmo posição no *ranking*. Assim como na destilação descendente, as posições seguintes são definidas retirando-se do processo as alternativas já posicionadas.

A relação de sobreclassificação FRACA é usada para distinguir os casos em que há classes equivalentes, isto é, quando duas ou mais alternativas são colocadas na mesma ordem.

#### 2.2.4.5 ELECTRE TRI

O ELECTRE TRI é um método multicritério de classificação (P.β), isto é, um método que aloca alternativas em categorias pré- definidas. A alocação de uma alternativa *a* resulta da comparação de *a* com perfis definidos de limites das categorias (Mousseau e Slowinski, 1998).

Dado um conjunto de índices de critérios  $\{g_1, \dots, g_i, \dots, g_m\}$  e um conjunto de índices de perfis  $\{b_1, \dots, b_h, \dots, b_p\}$ , definem-se  $(p+1)$  categorias, em que  $b_h$  representa o limite superior da categoria  $C_h$  e o limite inferior da categoria  $C_{h+1}$ ,  $h=1,2,\dots,p$ . (Figura 2.10).

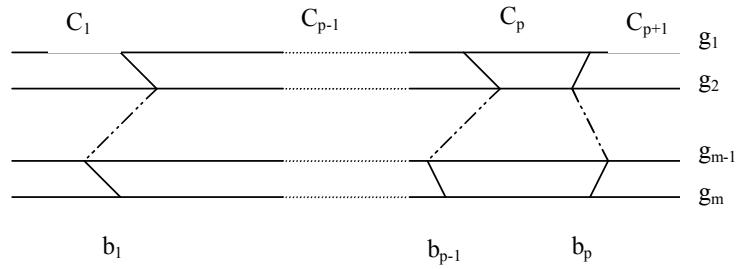


Figura 2.10. - Definição das categorias usando os perfis (Mousseau e Slowinski, 1998)

O ELECTRE TRI é derivado do ELECTRE III, isto é, constrói relações de sobreclassificação valorada  $S$ , validando ou invalidando a afirmação de que  $aSb_h$  e  $(b_hSa)$ . As preferências restritas de cada critério são definidas mediante um pseudocritério.

O índice de credibilidade é obtido de forma semelhante ao do ELECTRE III. Assim,  $\sigma(a, b_h) \in [0,1]$  ( $\sigma(b_h, a)$ , resp.) representa o grau de credibilidade da afirmação  $aSb_h$ ,  $\forall a \in A, \forall h \in B$ . (nesse caso, o grau de sobreclassificação é estabelecido entre uma alternativa e um perfil e vice-versa). A afirmação  $aSb_h$  é considerada válida se  $\sigma(a, b_h) \geq \lambda$  ( $\sigma(b_h, a) \geq \lambda$ ).  $\lambda$  inicia um nível de corte tal que  $\lambda \in [0.5,1]$ .

Os valores de  $\sigma(a, b_h)$ ,  $\sigma(b_h, a)$  e  $\lambda$  determinam as situações de preferência entre  $a$  e  $b_h$  (Mousseau, 2000):

- $\sigma(a, b_h) \geq \lambda$  e  $\sigma(b_h, a) \geq \lambda \rightarrow aSb_h$  e  $b_hSa \rightarrow a$  é indiferente a  $b_h$ .
- $\sigma(a, b_h) < \lambda$  e  $\sigma(b_h, a) \geq \lambda \rightarrow aSb_h$  e não  $b_hSa \rightarrow a$  é preferível a  $b_h$ .
- $\sigma(a, b_h) \geq \lambda$  e  $\sigma(b_h, a) < \lambda \rightarrow$  não  $aSb_h$  e  $b_hSa \rightarrow b_h$  é preferível a  $a$ .
- $\sigma(a, b_h) < \lambda$  e  $\sigma(b_h, a) < \lambda \rightarrow$  não  $aSb_h$  e não  $b_hSa \rightarrow aRb_h$  e  $b_hRa \rightarrow a$  é incomparável a  $b_h$ .

Dois procedimentos de atribuições podem ser avaliados:

*1- Procedimento pessimista:*

- comparar  $a$  sucessivamente com  $b_i$ , para  $i = p, p-1, \dots, 0$ ;
- $b_h$ , começando pelo primeiro perfil, tal que  $aSb_h$ , afirma a  $a$  para categoria  $C_{h+1}$  ( $a \rightarrow C_{h+1}$ ).

*2- Procedimento otimista:*

- comparar  $a$  sucessivamente com  $b_i$ , para  $i = 1, 2, \dots, p$ ;

- $b_h$ , começando pelo primeiro perfil, tal que “ $b_h$ , seja preferível a  $a$ ”, afirma  $a$  para a categoria  $C_h$  ( $a \rightarrow C_h$ ).

O ELECTRE TRI tem sido aplicado em diversas áreas do conhecimento, tais como: recursos hídricos, tratamento de esgoto, agricultura, irrigação, sistemas de informação geográfica, educação, dentre outras (Arondel e Girardin, 2000; Dias e Climaco, 2000; Joerin, 2001; Mousseau *et al*, 2001; Raju, 2000, Miranda e Adiel, 2003).

#### 2.2.4.6 Comentário sobre os métodos ELECTRE

Os métodos ELECTRE I, II, III E IV trabalham, respectivamente, em problemática de escolha ( $P.\alpha$ ), problemática de ordenação ( $P.\gamma$ ) com critério verdade, problemática de ordenação ( $P.\gamma$ ) com pseudocritério e problemática de ordenação ( $P.\gamma$ ) com pseudocritério sem ponderação intercritérios.

Os resultados da aplicação dos métodos fundamentados na teoria da utilidade multiatributo, são ricos com respeito às relações de dominância, levando-se a uma função que permite ordenar todas as ações, da melhor para a pior.

Considerando-se um problema de escolha, por exemplo: sabendo-se que uma ação  $a$  é melhor do que  $b$  e  $c$ , torna-se irrelevante analisar as preferências entre  $b$  e  $c$ . Estas duas ações podem perfeitamente permanecer incomparáveis, sem degenerar o procedimento de suporte à decisão. Todavia, a solução desse tipo de problemas é um processo temporal, no qual as preferências podem ser modificadas, em razão de novas informações que se incorporam ao longo do processo. Portanto é importante, pois trabalhar com conceitos que possibilitem a modelagem de novas situações, durante o processo decisório, isto é, quando algumas ações ainda permanecem incomparáveis (Vincke, 1992).

#### 2.2.5 Visão geral do método PROMETHEE

O PROMETHEE (*Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations*) foi desenvolvido para lidar com problemas multicritérios utilizando informações intercritério - o grau de relativa importância entre os critérios - e informações intracritério - uma diferença é observada entre as duas alternativas, em um determinado critério, sendo importante saber quão importante ela é para o decisor (Brans e Vincke, 1985; Brans and Mareschal, 1998 ).

O método tem inicio com o desenvolvimento de critérios de escala para identificar a intensidade de preferência de uma alternativa por outra, convertendo o nível de preferência para uma escala de 0 a 1. O método desenvolveu seis diferentes critérios generalizados de acordo com a Figura 2.11.

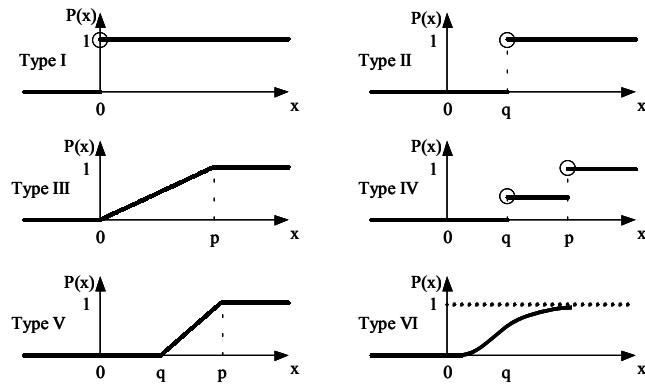


Figura 2.11. - Tipos de critérios generalizados

Um índice multicritério é definido para todos os pares de alternativas. Esse índice agrupa as preferências levando em consideração os pesos atribuídos pelo decisor para os diferentes critérios:

$$\pi(a, b) = \frac{1}{w} \sum w_j F_j(a, b) \rightarrow w = \sum w_j \quad (1)$$

Para cada alternativa  $a$ , a média das intensidades de preferência sobre todas as outras alternativas é definida como  $\phi^+(a)$  – fluxo de saída ou positivo. Por outro lado, a média das intensidades de preferência de todas as outras alternativas sobre a alternativa  $a$  é definida como  $\phi^-(a)$  – fluxo de entrada ou negativo. O fluxo líquido  $\phi(a)$  é definido como  $\phi^+(a) - \phi^-(a)$ . Ele exprime, respectivamente, a força e a fraqueza de uma ação em relação as  $n-1$  outras (Olson, 1996).

O perfil das alternativas é obtido pelo seu fluxo líquido unicritério. Ele mostra em cada critério seu caráter sobreclassificador e sobreclassificado com relação a todas as outras alternativas. A Figura 2.12 ilustra essa situação.

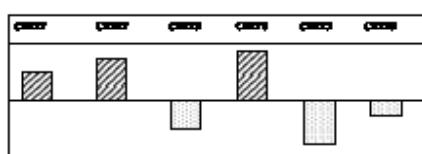


Figura 2.12. - Fluxo líquido

O PROMETHEE I fornece um gráfico de sobreclassificação incluindo possíveis incomparabilidades.

O PROMETHEE II fornece um completo ordenamento.

O PROMETHEE III fornece uma ordem de intervalo, inserindo uma noção de índice de indiferença entre duas alternativas  $a$  e  $b$ , em relação ao fluxo líquido.

O PROMETHEE GAIA é um método de visualização geométrica interativa que permite descrever e interpretar os dados. O método GAIA completa e prolonga harmoniosamente os resultados obtidos por PROMETHEE II (Brans *et al*, 1984). Os procedimentos do PROMETHEE I e II são muito prescritivos - o espaço de liberdade do decisor não é preservado. Já o plano GAIA mostra o desempenho das alternativas nos diferentes critérios.

O PROMETHEE VI não requer completa informação sobre o conjunto de pesos dos critérios. Alguma tolerância deve ser alocada aos pesos - um limite superior e inferior entre os quais o peso pode variar.

Diferente do método ELECTRE, O PROMETHEE pode incorporar 6 tipos de função de intensidade de preferência, chamada de  $P_i(a,b)$  ou  $F_i(a,b)$  → critério generalizado. O critério 5, “critério linear” equivale ao modelo incorporado no ELECTRE III, de forma que a função de intensidade de preferência  $F_i(a,b)$  do PROMETHEE é igual a 1 menos o Índice de concordância parcial do ELECTRE III. As Figuras 2.13 e 2. 14 ilustram essa equivalência.

$$F(a,b) = 1 - c(b,a)$$

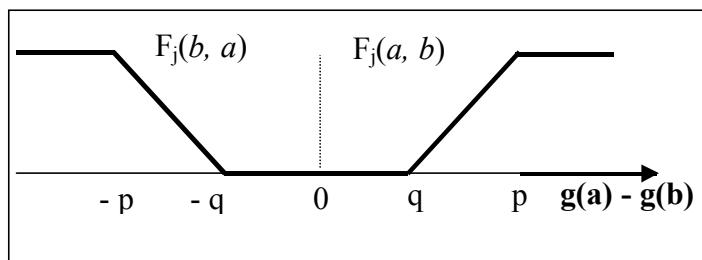


Figura 2.13. - Critério generalizado 5 do PROMETHEE

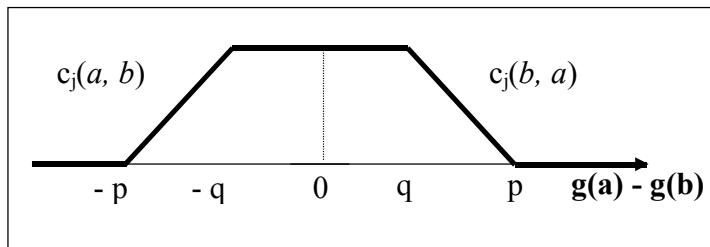


Figura 2.14. - Índice de concordância parcial do ELECTRE III

### 2.2.6 Ponderação dos Critérios

Quando se trabalha com multicritério, é importante entender alguns aspectos de interação intercritérios. Esses aspectos são: compensação e os pesos dos critérios.

A compensação entre critérios, em um método multicritério, é a possibilidade de se contrabalancear a desvantagem de um critério com a vantagem de outro (Vincke, 1992).

Um exemplo de método multicritério compensatório muito comum é o método da média ponderada. Nesse método, é preciso assumir que todos os critérios são expressos na mesma unidade e que as diferenças entre os valores dos critérios são comparáveis, para que essas diferenças possam ser compensadas umas com as outras.

Um ponto importante nesse método é que, além de os critérios serem expressos em uma mesma unidade, eles devem representar aspectos diferentes de uma mesma característica global para poderem ser totalmente compensatórios, ou seja, que uma grande diferença em um critério possa ser compensada por pequenas diferenças em outros critérios. Nesse método são favorecidas as ações menos balanceadas, aquelas ações que são muitos boas em um critério, porém sofribeis em outros.

Um método compensatório mais sofisticado é o Modelo Aditivo da Teoria da Utilidade Multiatributo, no qual são analisadas as hipóteses de independência entre os critérios e as diferentes unidades dos critérios são corrigidas pelo uso das constantes de escala. Nesse caso, as constantes de escala representam o fator de taxa de substituição do método.

Exemplos de métodos não-compensatórios são os métodos de Sobreclassificação. Eles requerem como informação intercritério a importância relativa entre os critérios e um conjunto de discordância. Nesses métodos, são favorecidas as ações “bem balanceadas” (ações que possuem uma melhor performance média) (Vincke, 1992).

A forma de agregação dos critérios implica um tipo de ponderação dos vários critérios. A ponderação dos critérios pode ser feita com o estabelecimento de taxas de substituição, como nos métodos que criam uma função de síntese baseados no conceito de compensação, como também pode ser feita por meio do estabelecimento da importância relativa dos critérios, como nos métodos não-compensatórios, a exemplo dos métodos de Sobreclassificação, baseados nos conceitos de concordância e discordância.

Nos métodos multicritérios, é muito comum chamar a ponderação dos critérios de “pesos”, porém, é importante destacar a diferença entre o significado desses pesos para o tipo de método a ser usado. Nos métodos compensatórios, que utilizam os pesos como taxa de substituição, eles são de fato constantes de escala, em que, se houver uma mudança de unidade na qual o critério é expressado, os pesos também mudam. Assim, a taxa de substituição permite que as preferências relativas dos diferentes critérios sejam expressas na mesma escala (Vincke, 1992).

A importância relativa dos critérios, usada nos métodos não-compensatórios, tem significado de “mais importante que” entre os critérios, ou seja, dados os critérios  $g_1$  e  $g_2$ , é possível dizer que  $g_1$  é mais importante que  $g_2$ , ou o inverso.

Na teoria da utilidade multiatributo, o processo de ponderação dos critérios é feito em uma das etapas do processo de Educação da Função Utilidade Multiatributo. As avaliações das constantes de escala são determinadas a partir de um conjunto de perguntas sobre as preferências do decisor, às quais estão associados resultados teóricos que levam aos valores com base nos axiomas.

No caso dos métodos de sobreclassificação, não há um procedimento obrigatório a ser utilizado para determinar os pesos dos critérios (importância relativa). No caso do ELECTRE I e II, por exemplo, esses pesos podem ser vistos como o número de votos em um procedimento de votação (Vincke, 1992).

Alguns métodos, como o ELECTRE IV, por exemplo, consideram os pesos como imprecisos e trabalham como se não tivessem informação sobre as importâncias relativas entre os critérios (Hugonnard e Roy, 1984).

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE PLANEJAMENTO E GESTÃO DE PROJETOS E MÉTODOS MULTICRITÉRIOS

Este estudo está relacionado ao processo de planejamento e gestão de empreendimentos com avaliação multicritério atendendo a múltiplos critérios, envolvendo prazos, custos e aspectos relacionados ao desempenho futuro de uma empresa. O estudo aborda o problema de planejamento e gestão de empreendimentos da forma como é visualizado na literatura, como sistema de produção do tipo grandes projetos (Gaither e Frazier, 2001; Slack *et al*, 1995).

O processo de planejamento e gestão de empreendimentos ou de projetos é tratado de forma muito ampla na literatura. Os métodos mais básicos para o tratamento desse problema são o PERT e o CPM, os quais são largamente apresentados na literatura, especialmente em livros textos básicos (Davis *et al*, 2001; Gaither e Frazier, 2001; Moreira, 1993; Slack *et al*, 1995). Artigos mais recentes tratam desses métodos incorporando novos aspectos aos mesmos.

A maioria dos textos em gestão de projetos preocupa-se com o tratamento de um único projeto com uma determinada meta de prazo e/ou orçamento a ser cumprido. A estrutura básica dos métodos PERT/CPM é baseada nesse contexto. Lova *et al* (2000) apresentam um estudo relacionado à alocação de um *pool* compartilhado de recursos no gerenciamento de vários projetos. Métodos heurísticas com base de análise multicritério são utilizados para o tratamento desse problema multiprojeto. Nessa visão, existem *softwares*, como o P3, que podem dar suporte a empresas que têm vários projetos com apenas um *pool* de recursos a ser alocado. (Anonymous, 2000)

Dentre os principais problemas de decisão existentes no processo de planejamento e gestão de projetos, Mian e Dai (1999) apresentam: alocação de recursos, seleção de projetos, escolha de gerentes, avaliação de orçamento, seleção de vendedores. Este estudo se concentra no processo de planejamento e gestão dos projetos. Um destaque é dado ao uso de métodos de apoio multicritério a decisão (AMD), os quais permitem o tratamento de problemas com vários objetivos a serem atendidos (Gomes *et al*, 2002), embora relativamente poucos estudos façam uso dessa abordagem.

A seguir é apresentada uma pesquisa bibliográfica associada ao tema deste trabalho, comentando-se os trabalhos encontrados.

### 3.1 Revisão da Literatura sobre Planejamento e Gestão de Projetos

A seguir apresenta-se um comentário sobre os artigos encontrados sobre esse tema, organizados da maneira seguinte:

- Relatos de experiências, que trazem a descrição de empreendimentos desenvolvidos, sem destaque para estrutura metodológica. Nesse tópico há dois segmentos:
  - Experiências de natureza geral, que podem trazer uma contribuição mais geral, e
  - Experiências de projetos específicos, portanto, geralmente sem grande contribuição que permita a generalização para outros problemas.
- Modelos estruturados para tratar problemas relacionados com a gestão de projetos
- Ferramentas computacionais e uma visão de recursos de *software* disponíveis e suas tendências.

#### 3.1.1 Relatos de Experiências

Em geral os artigos encontrados relatam experiências vivenciadas por equipes de gerenciamento e, muitas vezes, oferecem poucas possibilidades de generalização para uma utilização mais ampla. Entretanto, observam-se algumas exceções (Pitagorsky, 2001; Lim, 2000). Outros artigos são apresentados para registro, mas oferecem menor contribuição de natureza mais geral.

##### 3.1.1.1 Relatos com Resultados mais Gerais

Pitagorsky (2001) apresenta a experiência como executivo com implicações mais gerais, demonstrando uma base de conhecimento mais sólida. Esse artigo mostra aspectos de natureza mais global e não uma experiência específica. Destaca as organizações centradas em projetos (empreendimentos), em que há uma integração do topo até a base, com repercussões claramente estratégicas. Mostra que a motivação das pessoas é um fator estratégico de destaque, argumentando também que a educação de executivos e gerentes seniores, em gestão de projetos é cada vez mais imprescindível e avança de modo crescente nas organizações.

Lim (2000) aborda a questão de problemas recorrentes em construção de subestações elétricas. Por meio de entrevistas não-estruturadas, explora as possíveis razões para esses problemas. Quatro fatores foram observados: falta de cuidados na gestão, problemas não tratados nas fases precedentes do projeto, as percepções de sucesso dos projetos não eram as mesmas, e de qualquer forma sabe-se que os projetos são concluídos. Ressalta que se deve investigar alguns aspectos, como o critério de sucesso do projeto.

Howell (2001) apresenta uma visão geral sobre a gestão de projetos, destacando as dificuldades de comunicação das equipes de gestão. Destaca os recursos atualmente disponíveis de troca de informações via internet para projetos que envolvem descentralização geográfica da equipe. Alternativamente para equipes concentradas em uma organização mais integrada, existe o recurso equivalente de intranet. Esse processo reduz custos, incluindo obtenção, produção e distribuição de documentos, além de melhorar a velocidade e a atualização da comunicação entre as equipes de gerentes. A ênfase do artigo está nas recomendações para implantação desse tipo de processo.

Greek e Pullin (1999) apresentam a experiência de um executivo em gestão de projetos, o qual afirma que “gestão de projeto é negócio caracterizado por falha”. Destaca que a maioria dos gerentes não focaliza os aspectos críticos dos projetos. Isso leva a falhas por duas razões: incerteza de natureza técnica e falhas de julgamento sobre a urgência do projeto. Destaca que pesquisas sobre gestão de projetos mostram que menos de um terço consegue cumprir os prazos e orçamento planejados. Destaca, também, que grandes projetos que contêm elementos de alto risco devem ter essas partes gerenciadas como projetos próprios dentro do grande projeto.

Lawton (2000) apresenta a visão de algumas empresas de energia elétrica na gestão de projetos, destacando a necessidade de ser usada uma ferramenta computacional. Destaca, também, que devem ser tomados alguns cuidados na implantação de uma ferramenta, pois a falta de treinamento adequado dos gerentes pode levar a uma série de erros no processo de planejamento.

Durocher (1999) discute as tendências que estão influenciando as decisões gerenciais relacionadas à energia elétrica, incluindo a gestão de projetos na decisão da construção, dentre outros. Destaca que nos últimos 50 anos a indústria visualizou a energia elétrica como um componente necessário para produzir um produto de qualidade, mas, nos próximos 50 anos, a liderança na indústria vai ver a produção e o consumo de energia como um fator estratégico, aprendendo novas caminhos para lidar com esse recurso.

Abudayyeh *et al* (2001) afirmam que muitos projetos sofrem com um controle ineficaz devido ao ineficiente fluxo de informações. Vargas (2002) complementa salientando haver necessidade de que as informações cheguem aos interessados no prazo devido, garantindo assim uma comunicação eficaz.

Os trabalhos apresentados, em geral, destacam a necessidade de educação em gestão de projetos para toda a equipe, além de uma boa comunicação entre eles. No entanto, falta ainda um modelo estruturado para tratar esses problemas. Os modelos de gestão propostos neste trabalho, por sua vez, requerem essa visão educacional e de integração das equipes.

### 3.1.1.2 Relatos com Resultados Específicos

Brady (1991) descreve um processo envolvendo o contrato de gestão de projetos. O trabalho envolveu várias atividades que são apresentadas em seus vários estágios: projeto, aquisição, programação e construção.

Bommer *et al* (2002) descrevem um problema de gestão de projetos, envolvendo um processo com os seguintes aspectos: aderência clara à missão do projeto, esforço intenso de planejamento, análise crítica das necessidades dos clientes, envolvimento prévio dos fornecedores, envolvimento da equipe.

Kayton (1997) ressalta que há uma relação muito próxima entre gestão de projetos, engenharia de sistemas, preparação de propostas e estimativa de custos. O artigo descreve algumas situações de planejamento de projetos com exemplos, alertando para os riscos de condução da gestão de projetos por pessoal não-qualificado tecnicamente.

Rowe *et al* (2002) apresentam um estudo do impacto das novas estratégias de aquisição nos negócios de construção civil na Inglaterra, ao verificar como o gerenciamento efetivo de uma rede organizacional é um fator crucial para o sucesso de um projeto. Devido às rápidas transformações nas organizações e novos programas de financiamento, os projetos de construção passaram de ser focados na entrega (liberação) de bens no mais rápido tempo e menor custo para um foco em serviço, priorizando o projeto operacional e o gerenciamento em sua vida útil.

Chua *et al* (1997) identificaram os atributos-chave associados ao custo na gestão de projetos, usando uma abordagem de redes neurais. Esses fatores são: (1) o número de níveis organizacionais entre o gerente do projeto e os trabalhadores de base; (2) a quantidade de

detalhes do projeto definidas no momento em que se inicia um projeto; (3) o número de reuniões durante a fase de execução do projeto; (4) o número de orçamentos atualizados; (5) a implementação de um programa de exceção da construção; (6) a jornada de trabalho da equipe; (7) a quantidade de dinheiro envolvida no controle do projeto, e (8) a experiência técnica do gerente do projeto.

Schimmoller (2000) apresenta o resultado de uma mesa-redonda com vários especialistas em desenvolvimento de projetos de geração de energia. Vários são os aspectos abordados relacionados a questões de tecnologia e de gerenciamento e implementação do projeto. Em relação à implementação, destacam-se preocupações com as equipes de gerenciamento e execução, envolvendo também seu desenvolvimento e treinamento.

Norfolk (1996) descreve a parte do sistema de serviços elétricos do projeto de implantação de planta de gás, cuja previsão inicial era de oito anos. Smith (2001) descreve uma experiência de construção de planta de geração de 870 MW na América Central, incluindo a linha de transmissão de Honduras até El Salvador.

Os trabalhos encontrados tratam basicamente de projetos de construção civil e de energia. Ambos os projetos apresentam dificuldades semelhantes e necessidade de integração de equipe, embora os setores tenham características técnicas bastante diferentes. Os relatos, entretanto, não destacam o uso de modelos de gestão específicos, sendo apenas discutidas as dificuldades encontradas na gestão de projetos.

### 3.1.2 Modelos estruturados para tratar problemas relacionados com a gestão de projetos

Os trabalhos encontrados apresentam, em geral, propostas metodológicas para o processo de planejamento e controle de projetos. Até há poucos anos atrás, a maioria dos trabalhos relacionados com a fase de planejamento de projetos, mais especificamente a etapa programação, preocupavam- se com o desenvolvimento de procedimentos de otimização para a geração de uma programação de base do projeto, assumindo-se um ambiente determinístico e conhecedor de todas as informações necessárias.

Há poucos anos, essa visão tem dado lugar ao estudo do ambiente incerto dos projetos, sendo levadas em consideração as diferenças entre o que foi planejado e o que foi executado. Percebe-se, também, a importância dos sistemas computacionais desenvolvidos para apoiar o processo de gestão de projetos, sendo esse tema bastante explorado nos trabalhos encontrados.

Herroelen e Leus (2004) apresentam uma comparação entre os vários procedimentos para a programação de projetos permitindo identificar a metodologia apropriada para os diferentes ambientes/contexto de programação de projetos. O trabalho apresenta ainda uma visão atual dos procedimentos de programação proativa-reativa, incluindo a proteção de quebra da programação e os procedimentos de revisão para os casos de ocorrência de eventos inesperados. Tais procedimentos são usados em projetos inseridos num contexto de alta incerteza.

Os procedimentos de programação *proativa* propõem proteger a programação de base contra os problemas *previstos* que podem ocorrer durante a execução do projeto. Já os procedimentos de programação *reativa* revisam (ou reotimizam) a programação de base quando eventos inesperados ocorrem (Herroelen e Leus, 2003).

Considerando o ambiente incerto dos projetos, Fernandez *et al* (1996) explicam como escrever um problema de otimização em sua forma geral em um problema de programação multiestágio estocástico equivalente. O modelo estocástico não cria uma programação de base. Visualiza o problema de programação de projetos como um problema de alocação de recursos restritos e lógica de precedência. Em outro estudo, Tavares *et al* (1998) estudam o risco de um projeto como uma função da incerteza da duração e do custo de cada atividade e da programação adotada.

Outra forma de tratar a incerteza na programação de projetos é por meio da programação do caminho crítico/gerenciamento de buffers (termo em inglês: *Critical Chain scheduling/Buffer Management* (CC/BM)). Essa é uma forma de aplicação direta da teoria da restrição em problemas de gestão de projetos (Herroelen *et al*, 2002).

Chapman e Ward (2003) também abordam o problema da incerteza na gestão de projetos, porém sua preocupação está no gerenciamento dos riscos do projeto. É proposta uma estrutura composta por nove fases para gerenciar os riscos – vistos como ameaças e oportunidades – em projetos.

Carr e Tah (2001) descrevem uma estrutura hierárquica capaz de representar um modelo formal para o estabelecimento de riscos qualitativos em projetos de construção. O modelo utiliza uma abordagem de aproximação fuzzy para identificar e quantificar as relações entre as fontes de risco e suas consequências em projetos. A contribuição desse trabalho é permitir que o gerenciamento de riscos seja uma tarefa comum no ambiente de projetos de construção.

O tratamento da incerteza no planejamento e gestão de projetos tem sido alvo de várias pesquisas, como apresentado acima. Os modelos apresentados possuem características qualitativas e quantitativas.

Os modelos, entretanto, não focalizam os aspectos críticos do problema. Esses aspectos variam de projeto para projeto e devem ser avaliados de forma a identificar as atividades que apresentam maior chance de causar falhas na execução do projeto. São elas as atividades críticas. Por outro lado, devido ao longo período de vida dos projetos, a incerteza torna-se ainda mais difícil de tratar. O monitoramento, por meio da identificação das atividades críticas, e replanejamentos necessários durante a execução dos projetos podem contribuir de forma mais realista para o tratamento da incerteza na gestão de projetos.

Considerando-se o caso da indústria da construção civil, devido ao seu caráter artesanal, o uso de modelos de gestão baseados na identificação de atividades críticas (em relação a fatores como, custo e mobilização de recursos, além da folga) podem ser mais eficazes no tratamento da incerteza.

Com o conceito de *World Wide Web* (www) e suas tecnologias associadas, o gerenciamento de projetos tem seguido uma nova tendência, chamado de Sistema de Gestão de Projetos Baseado em *Web*. Trata-se de um sistema de gestão de projetos conduzido pela internet. Segundo Skibniewski e Nitithamyong (2002), esses sistemas prometem melhorar o processo de controle e documentação da gestão de projetos e revolucionar a forma como as equipes transmitem as informações entre si.

Lam e Tse-Yung (2002) apresentam um sistema de informação gerencial baseado na *Web* para o gerenciamento de projetos de construção em que as informações de todos os projetos ficam centralizadas numa base de dados, ao invés de serem distribuídas entre as diferentes localidades durante o ciclo de vida dos projetos. Na mesma linha de pensamento, Cohen *et al* (2001) descrevem aplicações de gestão de projetos, com dados disponíveis via *Web*, desenvolvidos com o apoio de *software* da SAS.

Os sistemas de gestão de projetos baseados na *Web* permitem ainda que a companhia apresente sua programação com fornecedores e/ou empresas terceirizadas de forma contínua, esperando que esses terceiros utilizem essa informação para oferecer a entrega de produto/material em tempo hábil.

Os trabalhos encontrados ainda destacam como um avanço na gestão de projetos a visualização de todos os projetos de uma empresa como uma única entidade. A idéia de

gestão multiprojetos deve ser, pelo menos, avaliada quando há vários projetos sendo desenvolvidos ao mesmo tempo dentro de uma organização e quando é possível a divisão de recursos. Nkasu e Leung (1997) apresentam uma metodologia para o gerenciamento de recursos dentro de um ambiente de multiprojetos. A metodologia incorpora diferentes aspectos da gestão de projetos, incluindo componentes de priorização de projetos, programação dos projetos e alocação de recursos entre os projetos, todos integrados.

Al-jibouri (2002) analisa os efeitos do gerenciamento de recursos na programação de projetos com o uso de um modelo computacional que simula realisticamente o progresso de um projeto. Segundo o autor, a eficiência do processo de alocação de recursos depende do tipo de organização empregada no projeto. Pode-se concluir que, quando o projeto tem suas partes consideradas de forma independente o desempenho do projeto diminui, e cresce quando o gerenciamento do projeto é particionalizado, sendo possível, porém, a cooperação entre as partes.

Klein (2000) estuda o processo de programação de projetos com restrições de recursos sedo examinadas as diferentes regras de prioridades baseadas em uma heurística e propõe um procedimento de busca-tabu mais apropriado para o problema.

Alguns critérios de seleção de contratos e seus efeitos nos fatores de sucesso do projeto em termos de tempo, custo e qualidade, têm sido determinados como pre-qualificadores nos estágios de avaliação de propostas. Como exemplos de critérios de seleção de contratos, pode-se citar: falhas ocorridas no passado, estado financeiro, estabilidade financeira, taxas de credito, experiência, habilidade, gerenciamento de pessoal, gestão do conhecimento, segurança, performance passadas, gestão de projetos organizacional, capacidade e equipamentos (Hatush and Skitmore, 1997).

Jüngen e Kowalczyk (1995) afirmam que, pelo menos na indústria da construção civil, sistemas de programação de projetos interativos oferecem ao usuário um suporte bem melhor do que sistemas completamente automatizados, que restringem o papel do usuário. Nesse sentido, os autores apresentam um sistema de apoio a decisão genérico, baseado em Inteligência Artificial, para lidar com problemas de gestão de projetos.

Love e Irani (2002) apresentam um sistema para gerenciar o custo da qualidade em projetos de construção. O sistema é utilizado para determinar o custo e as causas do retrabalho que ocorrem em projetos. Esse sistema fornece informações sobre as falhas ocorridas no projeto e as formas de prevenir sua ocorrência futura, sugerindo, também, melhorias nas

iniciativas de qualidade, de forma a se obter uma significativa redução no custo. A dificuldade desse sistema está na grande quantidade de informação requerida pelos usuários. Outro sistema para gerenciar os custos da qualidade é apresentado por Low e Yeo (1998), com o intuito de quantificar o custo da qualidade na indústria da construção civil.

Os problemas de gestão de projetos, que envolvem as etapas de planejamento e controle necessitam de suporte computacional por serem atividades complexas, em que o papel do gerente é de fundamental importância. Percebe-se, também, que os sistemas de apoio a decisão são adequados para esse tipo de problema, enfatizando a alta interatividade com o usuário/decisor nas diversas etapas do processo de tomada de decisão.

Neste trabalho é apresentado, também, um sistema de apoio a decisão para a gestão de projetos. Esse sistema busca selecionar um conjunto de atividades que foram consideradas críticas mediante critérios como custo, duração, segurança, além da folga. O processo de seleção é realizado por meio do método ELECTRE I. Esse sistema é aplicado em dois momentos em estudo: no primeiro, para se ter uma visão geral do problema; no segundo, para selecionar as atividades críticas durante a execução do empreendimento.

O sistema inclui uma das etapas mais importantes do processo de decisão, que é a análise de sensibilidade. O resultado dessa análise pode, ainda, ser exportado para o *Microsoft Excel* para a elaboração de futuros relatórios.

### 3.1.3 Ferramentas computacionais

Existem várias ferramentas e sistemas computacionais desenvolvidos para dar suporte ao planejamento e gestão de projetos. Dentre os principais destacam-se na literatura os que utilizam como base os conceitos de PERT/CPM.

Tatum e Korman (2000) apresentam resultados iniciais sobre ferramenta computacional para dar suporte a projetos complexos, envolvendo sistemas com várias tecnologias (mecânica, elétrica, etc.).

O estudo de Riggs *et al* (1994) apresenta uma descrição de técnicas baseadas em ferramenta computacional para integrar aspectos técnicos, de custo e de riscos na gestão de projetos, usando o método de AMD.

Kumar e Sarma (1996) apresentam o projeto de um sistema de apoio a decisão, construído para lidar com problemas semi-estruturados na gestão de projetos. O Sistema apóia desde a fase de planejamento do projeto até a etapa de controle da execução. As atividades são planejadas levando-se em consideração as restrições de recursos e de tempo.

Com o advento da internet de alta velocidade, vários sistemas de apoio à gestão de projetos têm sido desenvolvidos para trabalhar em ambiente virtual. Cohen *et al* (2001) descrevem aplicações de *software* da SAS com diversos aplicativos baseados em *Web*, dentre os quais análise estatística, pesquisa operacional e mineração de dados, utilizados em gestão de projetos. Em outro trabalho, Lam e Tse-Yung (2002) propõem um sistema de informação gerencial baseado em *Web*, centralizando as informações do projeto em uma base de dados, ao invés de serem distribuídas entre as diferentes localidades.

Jüngen e Kowalczyk (1995) apresentam a estrutura de um sistema de apoio a decisão genérico, baseado em Inteligência Artificial, para o desenvolvimento de sistemas complexos, tais como a gestão de projetos. O sistema é implementado com o uso de diversos módulos, como alocação de recursos e controle, usando bases de conhecimento para a rede do projeto e uma biblioteca de projetos já realizados. Outros sistemas têm sido desenvolvidos por meio de módulos, tal como o trabalho de Nkasu e Leung (1997), que apresentam diversos módulos, sendo cada um responsável por uma etapa no processo de gestão de projetos.

Outro artigo destaca o uso de *software* para a gestão de projetos, argumentando que o gerente pode reduzir os custos globais no projeto ao avaliar diferentes cenários, tais como jornadas de trabalho normal ou mais intensa. Enfatiza que os dois principais *softwares* são o *MS Project* e o Primavera *Project Planner* (P3), tendo esse último grande flexibilidade para grandes projetos. O *MS Project* é fácil para iniciantes e tem baixo custo inicial. A tendência do P3 é está na abordagem integrada, pois em geral as empresas têm vários projetos com apenas um *pool* de recursos a serem alocados. O *MS Project* tem a facilidade de permitir o acesso e a atualização via internet. Como recomendação geral, alerta para a necessidade de um programa de treinamento para evitar que o pessoal utilize a ferramenta sem entender claramente o que está fazendo (Anonymous, 2000).

No estudo de Lova *et al* (2000), são utilizados quatro *softwares* de gerenciamento de projetos, citados como os mais conhecidos e de preços mais populares: *CA-SuperProject*, *MS-Project*, *Project Scheduler*, e o *Time Line*.

Schafter (2001) apresenta o resultado de uma análise de três softwares para gestão de projetos: *SureTrak Project Manager*, *MS Project*, e *Turbo Project Professional*. O estudo apresenta características chaves e requisitos para as ferramentas. As seguintes características das ferramentas são destacadas:

1 - *SureTrak Project Manager*:

- Estrutura para *brainstorming* e antecipação dos problemas com o *Project Kickstart Wizard*
- Códigos de atividades para agrupamentos, filtros e sumário de atividades baseados em localização, responsabilidade, recursos, dentre outros códigos customizados.
- Customização de telas e relatórios.
- As telas e relatórios podem ser salvos em HTML para publicação na Web.

2 - *MS Project 2000*:

- Tarefas e informações sobre os recursos podem ser categorizadas e visualizadas em qualquer agrupamento.
- Indicadores gráficos podem examinar os dados para resolver problemas potenciais.
- Tabelas/gráficos gerenciam tarefas de vários membros da equipe por meio de múltiplos projetos.
- O caminho crítico, para um projeto individual ou para todos os projetos inseridos, pode ser calculado para ver um simples caminho crítico para o projeto mestre global.

3 - *Turbo Project Professional*:

- É compatível para dividir informação com usuários do *Microsoft Project 98*.
- Usuários podem carregar, distribuir, visualizar, imprimir e dividir arquivos de projetos com os membros da equipe via Internet.

- Telas e relatórios podem ser salvos em HTML para publicação na Web.
- Recursos podem ser agrupados por hierarquia e/ou critérios, tais como: departamento, categoria, habilidade e descrição de trabalho.
- Dados podem ser exportados diretamente para o *Microsoft Excel*.

Lawton (2000) apresenta a necessidade de se utilizar uma ferramenta computacional, com base na visão de algumas empresas de energia elétrica na gestão de projetos. Alguns comentários são apresentados sobre duas ferramentas: Primavera *Project Planner* (P3) e *MS Project*.

### **3.2 Revisão da Literatura sobre Métodos de Apoio a Decisão para a Gestão de Projetos**

A seguir apresenta-se um comentário sobre os artigos encontrados nesse tema, organizados conforme segue:

- Uso de Métodos de Apoio Multicritério a Decisão na Gestão de Projetos
- Outros Métodos e Tratamento de Incertezas na Gestão de Projetos

#### **3.2.1 Uso de Métodos de Apoio Multicritério a Decisão na Gestão de Projetos**

No estudo de Mian e Dai (1999), vários problemas de decisão existentes no processo de planejamento e gestão de projetos são discutidos, analisando-se como métodos de apoio multicritério a decisão (AMD) podem ser aplicados. O método AHP (*Analytical Hierarchy Process*) é exemplificado como ilustração, usando o *Expert choice*.

O estudo de Riggs *et al* (1994) apresenta a integração de aspectos técnicos, de custo e de riscos na gestão de projetos. Nesse estudo, são utilizadas funções utilidade de gerentes para as variáveis técnicas de custo e de riscos. Essas funções são integradas no método AHP de AMD. O procedimento indica a alternativa com maior valor de utilidade.

Wong *et al* (2000) utilizam um método de AMD, baseado na teoria da utilidade multiatributo (MAUT), incorporando a lógica difusa (fuzzy) para problemas de seleção de

projetos. Vários critérios são utilizados na análise dos projetos, incluindo aspectos de riscos e variações aleatórias nos critérios.

Lova *et al* (2000) apresentam um estudo com o uso de métodos multicritérios para o tratamento desse problema multiprojeto. O estudo aborda de forma lexicográfica dois tipos de critérios. O primeiro está relacionado a o tempo, duração ou atraso do projeto. O outro não está relacionado ao tempo mas envolve aspectos tais como: interferência entre projetos, estoques, nivelamento de recursos, recursos ociosos. O procedimento adotado consiste em heurística baseada em regras de prioridades. São utilizadas as regras de maximização do conteúdo de trabalho total (MAXTWK) para a abordagem mulitprojeto e minimização do tempo de conclusão mais tarde (MINLFT) para a abordagem projeto único.

Al-Harbi (2001) apresenta o potencial de tratamento de gestão de projetos com base em AMD, usando o método AHP. Apresenta como exemplo o problema de pré-qualificação do contratante, sobre o qual apresenta uma revisão da literatura. Alguns procedimentos são utilizados com base em AMD, dentre os quais: pesos dimensionais, estratégia de dimensão abrangente. Apresenta o problema como ordenação da lista de contratantes, abordando a decisão em grupo. O AHP é implementado, no exemplo, com o apoio do software *Expert choice*.

Paquin *et al* (2000) utilizam AMD para avaliar a qualidade final de um projeto. Assim, o gerente do projeto pode avaliar e controlar a qualidade do produto ao longo do ciclo de vida do projeto. Propõem o método de qualidade obtida (EQM), que é baseado em duas hipóteses básicas: a qualidade é um conceito mensurável, e a qualidade se acumula progressivamente durante o ciclo de vida do projeto. Os atributos de qualidade são monitorados durante a implementação do projeto, de modo a avaliar os desvios em relação ao nível de qualidade previsto no planejamento. O método EQM utiliza a agregação aditiva para os atributos, considerando a independência em preferência. Equivale ao uso de MAUT aditivo, incluindo as funções valor ou utilidade para cada critério.

Siddiqi (2000) utiliza a análise de decisões (Raiffa, 1970) e a teoria de preços para avaliar projetos de alto risco em sistemas de energia elétrica. O problema é formulado com base na maximização da função utilidade esperada, sujeito a restrições de natureza operacional e financeira. Utiliza a hipótese de independência aditiva para riscos no fluxo de caixa, aplicando o MAUT aditivo.

Climaco *et al* (1990) trata o problema de planejamento energético com o uso de modelos de programação matemática multiobjetivo. São considerados diferentes objetivos para avaliar políticas de expansão de sistemas produtores de energia elétrica, tais como: fatores econômicos, tecnológicos, ambientais e de viabilidade.

Bana e Costa *et al* (1999) segue uma abordagem multicritério para recomendar a melhor solução compromisso para o problema da construção de uma nova linha de metro em Lisboa. A abordagem multicritério é baseada no método MACBETH com o intuito de agregar os sistemas de valor dos atores envolvidos no problema. São considerados aspectos relacionados ao impacto ambiental, a integração com o sistema de transporte, a complexidade da construção e ao custo.

Roulet *et al* (2002) utiliza um modelo de decisão multicritério para ordenar projetos de construção de um edifício, para uma organização, de acordo com os seguintes critérios: energia usada para aquecimento, impacto ambiental, qualidade interior e custo. Segundo o autor, a metodologia mais apropriada para o problema deveria considerar um procedimento de agregação parcial.

Seydel e Olson (2001) apresentam um processo de estabelecimento de proposta orçamentária de projetos considerando múltiplos objetivos como: maximização do volume de projetos e minimização do arrependimento do licitante embora, relativamente, poucos trabalhos têm levado em consideração outros critérios no processo de estabelecimento de proposta orçamentária, além do critério maximização do lucro.

Na literatura não são encontrados muitos modelos multicritérios para o tratamento de problemas de planejamento e gestão de projetos. Alguns se restrigem a seleção de contratos ou avaliação de proposta orçamentária em projetos, como no caso de Seydel e Olson (2001).

Atualmente, os estudos sobre métodos multicritérios têm enfatizado a construção de modelos com informação parcial (Dias e Clímaco, 1999; Dias *et al*, 2002; Jacquet-Lagreze e Siskos, 2001; Mousseau e Dias, 2004). Esses modelos são justificados pela dificuldade, por parte do decisor, de se estabelecerem os pesos dos critérios. Nesses casos, o decisor precisa estabelecer, pelo menos, uma ordenação dos critérios. Esses modelos permitem análises mais refinadas do problema.

Esses modelos com informação parcial são, em sua maioria, baseados na construção da relação de sobreclassificação (ou subordinação). Ressalta-se o algoritmo *VIP Analysis*, proposto por Dias e Clímaco (2000), que considera uma agregação aditiva dos critérios. Nesse

caso específico, deve-se tomar cuidado ao estabelecer a ordenação inicial dos pesos, pois os pesos, nos modelos aditivos, têm a noção de taxa de substituição, representando a compensação entre os critérios.

Por outro lado, os modelos com informação parcial com base nos métodos de sobreclassificação, geralmente, são mais complexos devido à sua característica não-compensatória. Nesses casos, a verificação da discordância não é considerada, ou a discordância é considerada como uma aproximação da definição inicial.

O método ELECTRE IV, por sua vez, foi desenvolvido para tratar casos em que não se pode definir os pesos dos critérios, nem mesmo é considerada uma ordenação deles. Sua estrutura é diferente, pois não calcula índices de concordância e discordância. As relações de sobreclassificação são estabelecidas por referência direta às alternativas. Dessa forma, esse método permite o uso de escalas puramente ordinais.

Um problema o ELECTRE IV está relacionado a sua estrutura rígida com relação ao estabelecimento das relações de sobreclassificação. O decisor não pode escolher o nível de exigência para formar essas relações.

Considerando a dificuldade do processo de estabelecimento dos pesos dos critérios, e a rigidez do ELECTRE IV, este trabalho apresenta uma proposta nova de modelo multicritério. Esse modelo proposto é baseado no método ELECTRE IV, e sendo, então, chamado de ELECTRE IV-H. Ele tem o objetivo de ordenar as alternativas sem ser necessário estabelecer os pesos dos critérios, provendo mais flexibilidade ao decisor por meio de um limiar para estabelecer a sobreclassificação entre os pares de alternativas. O modelo é aplicado para o problema de gestão de projetos, mas pode ser aplicado em outros contextos.

### 3.2.2 Outros Métodos e Tratamento de Incertezas na Gestão de Projetos

No trabalho de Prueitt e Park (1997), o processo decisório inclui a avaliação de inovação tecnológica. O estudo concentra-se no uso da Abordagem Bayesiana para a avaliação de estimativas de tempos na implementação de projetos que envolvem a substituição ou expansão de capital. A Abordagem Bayesiana é aplicada no contexto das três estimativas típicas de tempo no processo de planejamento PERT. Em outro estudo, Herath *et al* (1995) abordam problemas de investimento, baseado em controle de fluxo de caixa, considerando incertezas por meio da Abordagem Bayesiana. A ênfase do estudo concentra-se

na monitoração de projetos, incluindo três estudos de caso nesse contexto. Ainda nessa visão, Holt, M. (2000) trata do problema de estimativas para o orçamento de projetos elétricos no contexto de gerenciamento de projetos e gestão de contratos.

Wong *et al* (2000) utilizam a teoria da utilidade multiatributo (MAUT) integrada com lógica difusa (*fuzzy*) na seleção de projetos. O uso da abordagem *fuzzy* permite a não-utilização de distribuições de probabilidade para modelar as incertezas. O método é comparado com a abordagem baseada no uso de distribuição de probabilidade, com utilidade esperada. A incerteza sobre os atributos é baseada na abordagem clássica em PERT, com três estimativas: otimista, mais provável e pessimista.

Hanna *et al* (1999) utilizam métodos de análise de regressão e testes de hipóteses para avaliar os efeitos de mudanças de pedido sobre a eficiência de pessoal em projetos de construção no sistema elétrico. Em outro trabalho, Hanna *et al* (2002) descrevem que essas mudanças estão relacionadas a modificações no escopo original do projeto, tais como: tempo de execução, custos de trabalho. Dentre os métodos estatísticos utilizados para a análise ressalta, o uso de regressão logística para predizer a probabilidade de um projeto sofrer impactos.

Cohen *et al* (2001) descrevem as aplicações de gestão de projetos, com dados disponíveis via Web, desenvolvidos com o apoio de *software* da SAS. SAS é um pacote tradicional de ferramentas de pesquisa operacional e estatística.

Srivastava *et al* (2001) apresentam uma nova abordagem chamada de *RealPlan*, para planejador automatizado estudado em inteligência artificial. Essa abordagem usa a visão clássica de gestão de projetos, tal como foi implementada com a ferramenta *MS Project*, em que o tratamento das fases de planejamento e seqüenciamento são desenvolvidas separadamente, de forma acoplada.

Hardie (2001) argumenta que métodos tais como PERT assumem que as atividades dos projetos são independentes e ocorrem numa seqüência linear. Apresenta um modelo simples para mostrar como Processos de Markov podem representar melhor o comportamento de projetos reais.

Herroelen *et al* (2002) apresentam um modelo baseado na teoria das restrições para formular a programação das atividades do projeto, levando em consideração os conceitos de caminho crítico e gerenciamento de *buffers* .

Jungen e Kowalczyk (1995) apresentam um arcabouço para o desenvolvimento de sistemas de apoio à gestão de projetos. O sistema é baseado no conceito de satisfação de meta de restrições, usando noções básicas de inteligência artificial, tais como: estados, espaço de pesquisa, operadores, mecanismos de revisão e solução de restrições. Mediante a interface gráfica, a abordagem permite uma alta interatividade na análise de problemas de planejamento de redes.

Kim *et al* (2000) apresentam a abordagem de sistemas de apoio a decisão, apropriada para problemas não estruturados, para o tratamento de gestão de projetos. O sistema é baseado em Prolog e permite a integração de módulos não-Prolog, tais como: simulação, base de dados, sistemas de informação geográfica.

Fernandez *et al* (1996) apresentam um modelo de programação multiestágio estocástico para tratar o problema de planejamento de projetos. Esse modelo tem como base o processo de alocação de recursos levando em consideração a lógica de precedência e as restrições de recursos.

Segundo Campello de Souza (2002), o problema de planejamento e gestão de projetos pode ser modelado por meio da teoria da decisão. Essa teoria permite tratar as incertezas do problema por meio de uma abordagem sistemática para a tomada de decisões.

### 3.3 Conclusões da Pesquisa Bibliográfica

Os relatos de experiência em gestão de projetos, em geral, destacam a necessidade de educação em gestão de projetos para toda a equipe associado à uma boa comunicação entre eles. A maioria dos trabalhos encontrados trata basicamente de projetos de construção civil e de energia, no entanto, os resultados das experiências nesses dois contextos apresentam conclusões semelhantes, embora os setores tenham características técnicas bastante diferentes.

Percebe-se, também, a importância dos sistemas computacionais desenvolvidos para apoiar o processo de gestão de projetos, sendo esse tema bastante explorado nos trabalhos encontrados.

As propostas metodológicas para o processo de planejamento e gestão de projetos, até há poucos anos atrás, preocupavam-se com o desenvolvimento de procedimentos de otimização para a geração de uma programação de base do projeto, assumindo-se um ambiente determinístico e conhecedor de todas as informações necessárias. Há poucos anos, essa visão tem dado lugar ao estudo do ambiente incerto dos projetos, embora, essa incerteza

em projetos seja considerada desde tempos memoriais, porém de forma informal, sem o estabelecimento de um modelo matemático.

Grande importância têm sido, então, dada ao tratamento da incerteza no planejamento e gestão de projetos. Os modelos desenvolvidos nesse contexto possuem características qualitativas e quantitativas.

Os modelos, entretanto, não focalizam os aspectos críticos do problema. Esses aspectos variam de projeto para projeto e devem ser avaliados de forma a identificar as atividades que apresentam maior chance de causar falhas na execução do projeto, sendo elas as atividades críticas. Por outro lado, devido ao longo período de vida dos projetos, a incerteza torna-se ainda mais difícil de tratar. O monitoramento, por meio da identificação das atividades críticas, e replanejamentos necessários durante a execução dos projetos podem contribuir de forma mais realista para o tratamento da incerteza na gestão de projetos.

Considerando-se o caso da indústria da construção civil, os modelos de gestão com base na identificação de atividades críticas (em relação a fatores como, custo e mobilização de recursos, além da folga) podem ser bastante eficazes no tratamento da incerteza, devido ao caráter artesanal do setor. Ademais, nesse setor, é típico tratar as incertezas por meio da experiência do gerente em projetos passados.

Nesse sentido, o próximo capítulo (capítulo 4) aborda o problema de planejamento de projetos. Foi desenvolvido um modelo estrutural para o tratamento do problema, aliado à metodologia multicritério. Esse modelo tem o objetivo de escolher a melhor formatação dentre os possíveis planos de programação dos projetos, além de avaliar a abordagem mais apropriada ao problema: visão localizada ou integrada. Na escolha da melhor programação é inserida uma análise dos objetivos de desempenho da organização.

Os capítulos seguintes apresentam modelos para a gestão de projetos. O capítulo 5 trata da problemática de escolha, onde são selecionadas as atividades críticas do projeto por meio da análise dos fatores críticos do projeto. O capítulo 6 trata da problemática de classificação, e o capítulo 7 apresenta o problema de gestão em que se quer ordenar as atividades em função da criticidade.

O capítulo 7 apresenta ainda um novo modelo de decisão multicritério, proposto neste trabalho, e chamado de ELECTRE IV-H, para ordenar alternativas sem ser necessário estabelecer pesos aos critérios.

## **4 MODELO MULTICRITÉRIO PARA O PLANEJAMENTO DE PROJETOS**

Este capítulo aborda o processo de planejamento de projetos (ou empreendimentos) com uma visão multicritério. O planejamento de projetos é um processo interativo e está relacionado à etapa em que várias simulações e avaliações de alternativas diferentes são elaboradas com vista à definição do processo por meio do qual o projeto será desenvolvido. Essa fase ocorre antes de se iniciar o desenvolvimento do projeto.

O processo de planejamento de projetos envolve todas as atividades de iniciação, administrativas e de relação de recursos humanos. São exemplos: estudos de viabilidade, a determinação de requerimentos e restrições do projeto, a orçamentação, o pedido de material, a motivação do pessoal, dentre outros. O planejamento em si consiste em determinar as atividades que devem ser realizadas para atingir determinada meta ou objetivo do projeto e a relação entre elas.

O processo de planejamento de empreendimentos pode ser elaborado em vários níveis, isto é, de forma hierárquica. Esse tipo de planejamento permite iniciar o processo com uma pequena rede de atividades (chamadas de macroprocessos) e poucas relações de precedência. Estando o planejador satisfeito com a programação inicial, esses macroprocessos podem ser refinados, criando um plano hierárquico. Neste trabalho, o planejamento das atividades é desenhado seguindo essa idéia.

Essa forma de planejamento é muito importante pois, uma vez iniciado com um elevado grau de abstração e sendo o plano nesse nível aprovado pela gerência, podem em seguida serem realizados os devidos refinamentos. A programação das atividades, a alocação de recursos, as definições dos objetivos, como, por exemplo, a análise tempo-custo, podem ser elaborados dessa maneira.

Na etapa de planejamento o gerente tem a oportunidade de avaliar certas medidas para melhorar o sistema produtivo. No caso de empreendimentos de construção civil, algumas dessas medidas podem estar relacionadas à estratégia do negócio e às mudanças no processo construtivo, de forma a reduzir os custos e aumentar a produtividade, sem ser necessária a aquisição de novas tecnologias.

Nesse sentido, para aumentar a competitividade dos empreendimentos, foram formuladas algumas estratégias alternativas, segundo as quais as empresas, sem mudarem a base técnica de produção, buscam reduzir os custos e aumentar a produtividade. A modernização, ou progresso técnico, está sendo orientada pela procura de métodos, equipamentos, materiais e procedimentos que favoreçam a racionalização do método construtivo (Vargas, 1983).

Com base nessas questões, este capítulo apresenta uma estrutura para o processo de planejamento de projetos inserindo uma análise multicritério. Um estudo de caso para o problema de construção de uma subestação elétrica é comentado ao final do capítulo.

## 4.1 Setores de aplicação

O modelo de planejamento de projetos, proposto neste trabalho, pode ser aplicado em diferentes setores, são eles: a indústria da construção civil, o setor de energia elétrica e o desenvolvimento de tecnologia da informação - TI.

### 4.1.1 Construção civil

A construção civil é um setor da indústria indutor natural do panorama econômico brasileiro. Sua importância na economia nacional pode ser verificada pela participação no PIB (Produto Interno Bruto), que hoje ultrapassa 10%. Quando se consideram outros indicadores tais como: volume de produção, capital circulante, empregos gerados, utilidade do produto, entre outros, essa importância fica ainda mais evidente. No entanto, esse setor também enfrenta inúmeros problemas, dentre eles a lentidão nas mudanças, o que se deve tanto a fatores culturais quanto a fatores tecnológicos e mercadológicos.

Há que considerar também o elevado percentual de desperdício - cerca de 30% -, registrado por meio de alguns indicadores disponíveis, os elevados níveis de patologias registradas nas edificações, além de uma produtividade menor que a metade praticada nos países desenvolvidos (Picchi, 2001).

As atividades de construção são predominantemente compostas por pequenas e médias empresas que operam com base em processos produtivos e construtivos relativamente tradicionais e atrasados, se comparadas com outras indústrias mais dinâmicas.

O problema é ainda agravado pela falta de um planejamento estratégico que vise resultados no médio e longo prazo, sendo visualizados apenas os resultados imediatos,

comprometendo assim os objetivos inicialmente estabelecidos e acabando por desestimular qualquer processo de mudança que esteja sendo implantado em qualquer um dos seus níveis.

Esse conjunto de falhas sinaliza a necessidade de uma estrutura metodológica para apoiar o processo de planejamento e gestão de empreendimentos de construção civil, a qual minimize a ocorrência dessas falhas na execução do empreendimento.

Na indústria da construção civil, os projetos geralmente possuem alto custo e há uma dificuldade gerencial das empresas, em geral, no planejamento e controle de seus processos. Os projetos possuem características básicas como:

- Alta complexidade
- Unicidade
- Incerteza

Essas características, junto ao longo período de tempo, dificultam o planejamento das atividades. As incertezas em projetos de construção civil estão relacionadas, basicamente, à duração e à orçamentação do projeto. As determinações da duração e da orçamentação do projeto baseiam-se, então, em estimativas. Outra característica está relacionada à grande quantidade de recursos humanos envolvidos no processo, tendo o gerente de programar e controlar inúmeras atividades do projeto que são levadas a cabo por diferentes pessoas com diferentes habilidades.

Na construção civil, é comum haver diferenças entre o planejado e o executado. De acordo com Slack *et al* (1995), as influências externas a organização estão sempre atuando de forma a haver imprevistos. Quando se pensa que nada mais pode dar errado, tudo dá errado. As falhas sempre irão aparecer. Elimina-se uma aparece outra.

#### 4.1.2 Energia elétrica

O setor de energia elétrica, neste trabalho, engloba o processo de construção de linhas de transmissão e subestações elétricas.

No setor de transmissão de energia elétrica, além das características de unicidade, complexidade e incerteza, os projetos exigem um conhecimento técnico-científico mais elaborado pois além do seu produto ser essencial às pessoas, a indisponibilidade dos serviços de energia podem afetar negócios em todos os setores da economia.

Nesse sentido, um planejamento adequado do processo de construção de linhas de transmissão e subestações elétricas é fundamental para garantir uma segurança e qualidade adequados no sistema de transmissão de energia elétrica com tempo de construção e custos compatíveis.

Com o planejamento dos processos de construção de linhas de transmissão e subestações de energia elétrica é possível avaliar opções de projeto em que o custo não é o fator chave, sendo analisado fatores como qualidade e a possibilidade de aumentar a oferta de emprego. Estas variáveis podem ser avaliadas através do apoio multicritério a decisão, entre diferentes alternativas de plano de empreendimento, detalhados através de redes PERT.

## 4.2 Descrição do Modelo

Qualquer processo de planejamento de projetos deve incluir um estudo do contexto do problema e o estado da arte do problema. Para isso, identificado o projeto/empreendimento a ser estudado, a primeira etapa do planejamento é a estruturação do problema. Na etapa de estruturação do problema, verifica-se a complexidade do problema, sua viabilidade, os atores envolvidos, as incertezas do processo, dentre outros fatores. Essa etapa ajuda a minimizar as falhas no processo, sendo avaliados, também, os seguintes aspectos:

1. Compreensão do ambiente
2. Definição dos objetivos do planejamento e suas estratégias
3. Definição de como o projeto será executado
4. Como controlar o projeto

A compreensão do ambiente envolve o tratamento dos fatores internos e externos à organização. Devem-se ser conhecidos seus consumidores potenciais, seus concorrentes, os fornecedores, os recursos disponíveis, a economia, a política e as finanças. Em relação aos consumidores, o projeto deve estar focado para um segmento do mercado específico. Por exemplo, um projeto de construção de prédio residencial pode focar nos consumidores da classe média, que têm necessidades específicas.

Definir os objetivos significa determinar o estado final que se quer atingir. Não é trivial determinar esses objetivos, pois muitos fatores estão relacionados com essa definição. Muitas vezes pode-se resumi-los por meio de uma meta como aumento da competitividade do

negócio ou a obtenção de maiores lucros. Porém, para determinar os objetivos do planejamento devem-se entender as necessidades dos consumidores, o que eles esperam do produto do projeto e que vantagens eles obtêm desse produto.

#### 4.2.1 Definição da abordagem organizacional

Seguindo essa fase de pensamento e definições, o planejamento de projetos passa por uma etapa de estudo do contexto do problema, na qual é definido o tipo de abordagem que deve ser adotada: visão integrada ou visão localizada.

Na visão localizada, cada empreendimento é planejado de forma isolada, sem serem considerados os outros projetos do plano de empreendimentos da empresa. Na visão integrada, os empreendimentos são considerados na visão do conjunto do plano de empreendimentos (isto é, no planejamento, todos os empreendimentos são considerados em conjunto, a serem executados num determinado período).

Na visão integrada, é necessário haver uma interação entre os órgãos/departamentos da empresa. Nesse caso, é possível ter uma visão global de todos os projetos da empresa, visto que as decisões em um projeto podem afetar as decisões em outro. Por exemplo, a mobilização de recursos de mão-de-obra de um projeto não deve sobrepor a de outro projeto, pois poderá haver sobrecarga de trabalho. Faz-se necessário, então, identificar o plano de empreendimentos da empresa, para mediante ele planejar de forma mais adequada cada um dos empreendimentos considerados. A Tabela 4.1 apresenta essa visão.

Tabela 4.1. - Visão geral dos projetos (para um período específico)

Plano de Empreendimentos		
Projeto 1	Projeto 2	Projeto 3 ...
Investimento	Investimento	Investimento
Fluxo de caixa	Fluxo de caixa	Fluxo de caixa
Recursos necessários	Recursos necessários	Recursos necessários

O processo de planejamento na visão integrada ainda é mais complexo que na visão localizada. Na literatura, esse processo de planejamento é chamado de “planejamento de múltiplos projetos” (*mult-project planning*), em que vários projetos são realizados simultaneamente. Hoje em dia, a noção de planejamento de múltiplos projetos está ficando

mais clara e mais aceita, acreditando-se que não se pode tratar um único projeto como uma entidade como um todo.

Após a definição da abordagem organizacional que deve ser avaliada com cautela, uma etapa fundamental para elaborar o processo de planejamento é efetuar um levantamento dos macroprocessos do empreendimento, isto é, estabelecer uma identificação clara dos processos que compõem o empreendimento. Esse levantamento facilita o entendimento do problema, assim como registra o processo. Isso é feito da seguinte forma:

- a. São definidos os macroprocessos do empreendimento. Exemplo: macroprocesso fundação, macroprocesso estrutura, macroprocesso acabamento, etc.
- b. Para cada macroprocesso, são definidos os processos que o compõem e o órgão responsável (Tabela 4.2).
- c. Para cada processo são estabelecidos os insumos e seus fornecedores, bem como os produtos e seus clientes. (entendendo como cliente e fornecedor os órgãos responsáveis – Tabela 4.3).
- d. Em seguida é montado um diagrama do processo global.

Tabela 4.2. - Exemplo do passo 2: definição dos processos

Processo	Órgão responsável	Descrição
Processo 1	Orgão A	Descrição do processo 1
Processo 2	Orgão B	Descrição do processo 2
Processo 3	Orgão C	Descrição do processo 3
...	...	...
Processo n	Orgão Z	Descrição do processo n

Tabela 4.3. - Exemplo do passo 3: definição dos insumos e produtos dos processos

Fornecedor	Insumo	Processo	Produto	Cliente
ORGÃO A	Insumo(1) do processo 2	Processo 2	Produto do processo 2.	ORGÃO C
ORGÃO I	Insumo(2) do processo 2			

As atividades que compõem o empreendimento podem ser representadas pelos processos identificados. As relações de dependência são determinadas a partir dos insumos e produtos de cada um dos processos (lembrando que o produto de um processo pode ser o insumo de outro).

Tendo o gerente identificado os macroprocessos e os processos do empreendimento, pode ser iniciado o processo de programação do empreendimento, que é o plano-base inicial do planejamento. Nesse plano base inicial, o gerente pode visualizar as possíveis alternativas de programação em função da duração do projeto, fluxo de caixa disponível, recursos, tecnologia utilizada, dentre outras.

O uso de ferramentas para o planejamento e controle de projetos é importante para apoiar a construção da programação do empreendimento. As técnicas PERT/CPM são muito utilizadas nessas fases do planejamento e também no controle de projetos, auxiliando no gerenciamento da complexidade do processo. Essa programação inicial determina a janela de tempo em que as atividades do projeto devem ser executadas. Segundo as técnicas de planejamento e programação de projetos, as estimativas de tempo irão fundamentar o processo de tomada de decisão.

No caso da visão localizada, as estimativas de tempo para a rede PERT/CPM são importantes para o estabelecimento mais preciso da duração probabilística das etapas do projeto. No caso da visão integrada, as estimativas de tempo com base na técnica PERT/CPM são importantes para o estabelecimento dos prazos básicos para cada uma das etapas do plano de empreendimentos.

Para estabelecer a programação inicial, devem ser identificadas as limitações da programação. Essas limitações estão relacionadas à disponibilidade de recursos e de tempo. Em seguida, dadas as informações levantadas, faz-se a programação das atividades.

#### 4.2.2 Construção do modelo de decisão

Diversas são as possibilidades de se propor uma programação para um dado empreendimento. A partir da programação inicial, podem surgir muitas propostas variantes, em função de fatores como: menor tempo para a conclusão do projeto, menor custo, uso de novas tecnologias, terceirização de serviços incluindo mão-de-obra, melhor distribuição de recursos. As propostas de programação devem estar de acordo com os objetivos da organização.

Tendo o empreendedor elaborado diversas propostas de projeto, uma metodologia multicritério é necessária para auxiliar o gerente na escolha do processo mais eficiente e eficaz, por meio do qual o projeto será desenvolvido. Para isso, devem ser definidos os critérios relevantes do problema.

#### 4.2.2.1 Definição dos critérios do modelo

A definição dos critérios do modelo envolve um estudo das estratégias do projeto. Essas estratégias definem como a organização irá atingir os objetivos do projeto e os níveis de desempenho relacionados. No caso específico da construção civil, a busca pela melhoria dos processos construtivos tem sido uma das principais estratégias para aumentar a competitividade, já que geralmente necessitam de um custo relativamente baixo de implantação.

A busca pela maior competitividade dos empreendimentos requer das empresas um maior esforço organizacional, de forma que a informalidade do processo de planejamento de empreendimentos seja substituída por um modelo estruturado de planejamento.

Dentro dessa visão, o planejamento de empreendimentos deve envolver os objetivos estratégicos do negócio de forma que haja a garantia de se estar desenvolvendo um projeto que realmente atende às suas necessidades reais e às necessidades de seus clientes.

Para que o planejamento possa assegurar a visão estratégica do empreendimento, é inserida uma análise dos objetivos de desempenho. Os objetivos de desempenho são visualizados, dentro de um contexto de estratégia funcional, considerando-se os seguintes critérios: Custo, Tempo, Qualidade, Credibilidade e Flexibilidade (Hill, 1993).

Esses objetivos são conflitantes, sendo necessário priorizá-los, já que não é possível atender a todos os objetivos ao mesmo tempo. Por exemplo, projetos com alta qualidade geralmente possuem alto custo, ou projetos com prazos estreitos podem perder em credibilidade e/ou aumentar os custos.

Uma metodologia utilizada para priorizar os objetivos de desempenho é a análise das necessidades específicas dos clientes. Ela determina os objetivos de desempenho, distinguindo-os entre critério ganhador de pedido (resultados), critério qualificador e menos importantes (Hill, 1993).

- O critério ganhador de pedido é aquele que influencia diretamente no potencial competitivo da organização. Dessa forma, quando se aumenta o enfoque desses objetivos, aumenta significativamente o benefício competitivo.

- O critério qualificador é aquele no qual os objetivos devem estar dentro de um nível determinado, chamado de nível de qualificação. Abaixo desse nível, a organização terá

prejuízos, pois estará fora de um padrão. Acima, não é interessante, pois apenas irá gastar esforços que não refletirão o aumento da competitividade.

- O critério menos importante representa os objetivos que não são significativos para os consumidores.

Os conceitos desses critérios podem ser visualizados na Figura 4.1.

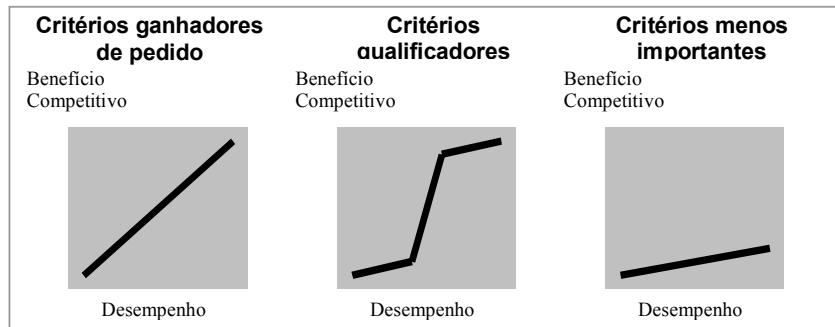


Figura 4.1. - Critérios ganhador de pedido, qualificador e menos importante (Slack et al, 1995)

A análise dos objetivos de desempenho segundo essa abordagem indica que se deve dar uma atenção especial aos critérios ganhadores de pedido, sendo eles os objetivos de desempenho que deverão ser considerados como objetivos do projeto. Os objetivos qualificadores, nesse contexto, têm a tarefa de selecionar os possíveis planos de empreendimentos.

Os objetivos de desempenho no contexto de problemas de empreendimentos de construção civil podem ter os seguintes significados:

- Qualidade: A qualidade dos empreendimentos depende muito da especificação do projeto e reflete a preocupação em manter os padrões de qualidade especificados. A qualidade do projeto inclui tanto a conformidade do projeto acabado com as suas especificações como a adequação das especificações em si.

- Tempo: O objetivo tempo está relacionado com o tempo de entrega de um projeto (sua duração). Incertezas quanto à duração do projeto devem ser consideradas. O prazo mínimo do projeto é determinado a partir do diagrama de rede, visualizando o caminho crítico.

- Credibilidade: As estimativas dos prazos dos projetos devem ser confiáveis. Esse objetivo está relacionado com a imagem da organização e influencia a comercialização do empreendimento. Assim, estimar a duração do projeto não visa apenas ao estabelecimento de uma data, mas ao estudo de um prazo possível de ser cumprido.

- Flexibilidade: A flexibilidade de um empreendimento pode estar relacionada a diferentes tipos de produtos oferecidos aos clientes. No caso de empreendimento de habitação, poderiam ser consideradas diversas opções de planta.

- Custo: Todos os outros objetivos implicam este objetivo. Atualmente, o preço dos produtos é determinado pelo mercado, sendo imprescindível definir um projeto com custo compatível com uma gestão competitiva e real execução.

Mediante a análise dos objetivos de desempenho, é possível determinar os critérios a serem considerados no planejamento de empreendimentos. O estudo dos objetivos de desempenho é avaliado para cada caso particular.

Além dos objetivos clássicos, outros critérios podem também ser inseridos na análise desses tipos de problemas, tais como: segurança, mobilização de recursos, fluxo de caixa, dentre outros. Em algumas situações, outros critérios bem distintos dos objetivos de desempenho estratégicos mostrados acima podem prevalecer no problema, embora deva prevalecer sua característica de ganhador de pedido.

Bommer et al (2002) destacam que na fase de planejamento é preciso haver uma visão clara da missão do projeto além de se fazer uma análise crítica das necessidades dos clientes.

#### 4.2.2.2 Levantamento das alternativas de projeto e aplicação do modelo

Tendo a empresa a opção de diversos projetos de empreendimento, pode-se adotar o uso dos critérios ganhadores de pedido aliado a uma metodologia multicritério para selecionar os projetos a serem desenvolvidos (Miranda et al, 2001).

O levantamento das alternativas de programação é feito com o apoio dos modelos de rede PERT/CPM. No caso da visão localizada, os métodos de apoio a decisão são utilizados para avaliar a melhor formatação dentre as possíveis alternativas para a rede PERT concernente ao projeto. No caso da visão integrada, o modelo de decisão deveria considerar todo o plano de empreendimentos.

Por fim, aplica-se o modelo multicritério e escolhe-se a programação mais eficiente e eficaz no qual o projeto será desenvolvido.

Vale salientar que esse processo de planejamento é interativo. Muitas vezes o gerente precisa voltar às etapas iniciais para redefinir objetivos, avaliar novas alternativas, restrições do ambiente externo, etc.

Baseada nesse contexto, a estrutura proposta para o processo de planejamento de empreendimentos pode ser visualizada no fluxograma da Figura 4.2.

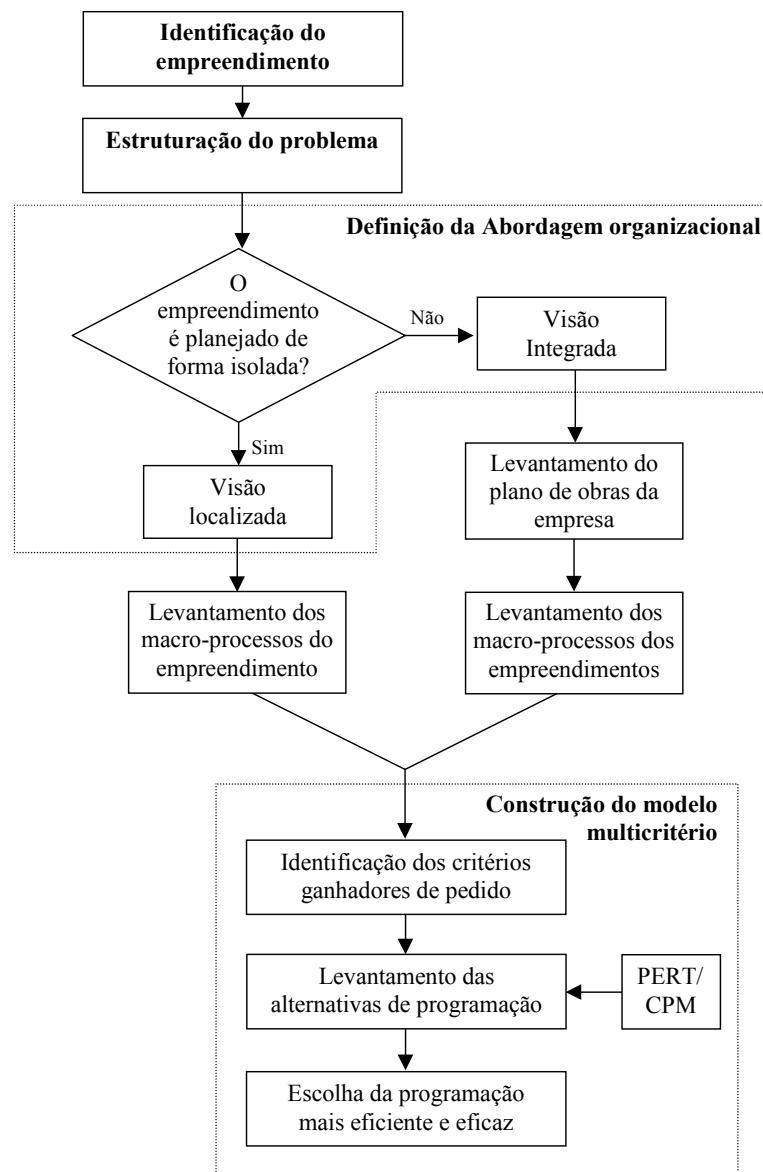


Figura 4.2. - Esquema do processo de planejamento de grandes projetos

#### 4.2.3 Curva ABC como ferramenta de apoio no planejamento de empreendimentos

Outra abordagem para o processo de planejamento de empreendimentos pode ser realizada por meio da análise da Curva ABC. Essa ferramenta é muito utilizada em programas de qualidade, sendo baseada na Lei de Pareto (Ishikawa, 1993; Moreira, 1993).

A aplicação da análise da curva ABC é justificada pelo fato de que planejar todas as atividades de um projeto com o mesmo nível de detalhes pode ser muito dispendioso, obrigando a diferenciar certas atividades.

O uso da curva ABC no planejamento de empreendimentos consiste em classificar as atividades em três classes, segundo um critério previamente definido. É bastante razoável considerar o critério custo para realizar a classificação. Nesse caso, as atividades que demandam maior custo merecem atenção especial, pois qualquer economia nessas atividades irá representar uma economia significativa no projeto geral. Entretanto a curva ABC pode ser aplicada para qualquer critério (sendo um único critério por vez).

As atividades da classe A podem ter o seu planejamento mais detalhado, por contribuirem com a maior parte do custo do empreendimento, e permitindo que os gerentes concentrem seus esforços no planejamento das atividades mais significativas. Nesse caso, é observado que uma pequena parte das atividades é responsável pela maior parte dos custos, isto é, provavelmente menos de 20% das atividades respondem por 70% a 80% do custo total.

A análise de Pareto (curva ABC) identifica as atividades que possuem o custo de execução elevado. Uma segunda análise é necessária para identificar as atividades que influenciam nesses custos. Para representar essa segunda análise é construído um diagrama de influências (CAMPOS, 1990; ISHIKAWA, 1993).

Inúmeras vantagens podem ser relacionadas quanto ao uso de técnicas de planejamento e controle de empreendimentos:

- O empreendimento torna-se mais organizado;
- As equipes adquirem funções mais específicas;
- Há uma diminuição na ociosidade do pessoal;
- Não há admissões e demissões freqüentes, diminuindo os vários custos;
- Diminuem-se os problemas de falta e/ou sobra excessiva de material;

- Podem-se detectar as falhas e aprimorar os processos de planejamento;
- O controle e o planejamento podem proporcionar um aumento na produtividade, aumentando assim a competitividade do empreendimento;
- Permite a melhoria da qualidade e competitividade dos produtos.

### 4.3 Estudo de caso

É apresentado um estudo de caso relacionado ao modelo desenvolvido para o planejamento de projetos. Este estudo foi aplicado em uma empresa brasileira do setor de energia elétrica. Os dados deste estudo são baseados em valores reais, sendo, no entanto, modificada a escala. Este estudo teve início em 2001, por meio da definição de um esboço inicial, sendo o modelo desenvolvido e aplicado nos anos seguintes.

O estudo de caso refere-se ao processo de planejamento de construção de subestações elétricas, atendendo a múltiplos critérios, envolvendo prazos, custos e aspectos relacionados ao desempenho futuro da organização. O estudo envolve uma visão integrada dos empreendimentos da organização, no entanto, para fins de ilustração é apresentado apenas um empreendimento (Almeida, 2003; Miranda e Almeida, 2003; Almeida *et al*, 2001, Miranda *et al*, 2001).

Para o planejamento do empreendimento, verificou-se que a técnica PERT/CPM seria importante para o estabelecimento mais preciso da duração probabilística das etapas do projeto, além de se utilizar a visão de rede de atividades a partir dos processos de um empreendimento. Outras ferramentas de gestão e planejamento foram utilizadas: princípio de Pareto para priorização preliminar, diagrama de influências para associar as etapas que têm implicações futuras nas atividades priorizadas, e a visão de estratégias de produção do empreendimento, considerando os objetivos de desempenho qualificadores e ganhadores de pedidos.

Em geral, o processo de construção de uma subestação elétrica envolve a participação de vários departamentos, tais como o departamento de planejamento, o de operações, o de manutenção, o de automação, o de suprimentos, dentre outros. Esse processo pode, ainda, envolver a participação de outras organizações externas, como um contrato terceirizado para executar parte do empreendimento.

A participação de diversos órgãos no processo de construção desses empreendimentos implica em se fazer um planejamento macro do processo de construção. Para elaborar esse planejamento é preciso definir as etapas de construção e seus responsáveis, tanto na execução quanto na fiscalização. Isso é realizado por meio do levantamento dos macroprocessos do empreendimento.

#### 4.3.1 Estruturação do processo de planejamento de subestações

O levantamento dos macroprocessos foi realizado por meio de entrevistas com o gerente geral do projeto, permitindo construir uma estrutura com uma visão geral do projeto. Após esse primeiro levantamento, as relações entre os processos levantados foram revisadas com o apoio da equipe do projeto, envolvendo os departamentos de planejamento, de operações, de manutenção, de automação e de suprimentos

O levantamento dos macroprocessos e dos processos do empreendimento, segundo a técnica descrita anteriormente, resultou nos seguintes macroprocessos básicos:

- Planejamento da subestação: no planejamento são considerados os aspectos da qualidade do fornecimento de energia, as exigências ambientais, o crescimento do mercado com a previsão de incremento de novos clientes, além de um plano específico de renovação de equipamentos e instalações, em função dos indicadores de qualidade de energia que se deseja assegurar;
- Projeto da subestação: consiste na elaboração de estudos, desenhos executivos, especificações técnicas, listas de materiais e equipamentos, planilha de custos e quantitativos, cronograma físico-financeiro e demais informações que viabilizam a correta execução da obra;
- Construção da subestação: trata-se do processo de execução das obras com base nos projetos executados na etapa anterior. Esta etapa pode ser realizada por terceiros, porém deve ser controlada, periodicamente, mediante a fiscalização da obediência ao projeto executivo e suas especificações, e no que se refere aos aspectos qualitativos, quantitativos e de segurança do pessoal e das instalações
- Comissionamento da subestação: corresponde a etapa final da implantação do empreendimento, quando é verificado o cumprimento integral das especificações técnicas e dos projetos executivos na fase de construção. Ao mesmo tempo, esse processo possibilita que as equipes de operação e manutenção se estruturem

adequadamente para realizar tais serviços, a partir do momento em que as instalações forem efetivamente energizadas.

- Suprimento da subestação: etapa responsável pela contratação de bens e serviços e pela gestão de materiais.

A definição desses processos permitiu a construção do diagrama do processo global da subestação. A Figura 4.3 ilustra o diagrama para o macroprocesso planejamento da subestação.

O levantamento dos macroprocessos deste estudo de caso é genérico o suficiente para abranger qualquer outro projeto de construção de subestações.

#### 4.3.1.1 Geração da rede PERT a partir da visão dos macroprocessos

A geração da rede foi obtida com ajuda da ferramenta *Ms Project*, a partir do diagrama global dos processos básicos. Foram identificadas 36 atividades para representar o processo de construção de subestações elétricas. As durações médias e relações de precedência foram determinadas a partir da visão dos macroprocessos e mediante a aplicação da técnica PERT. Foram consideradas as estimativas de tempo Otimista, Mais Provável e Pessimista.

As estimativas de tempo baseadas na técnica PERT são obtidas por meio de entrevistas com o decisor, sendo definidos os três pontos da distribuição beta que representam, cada um, as estimativas Otimista, Mais Provável e Pessimista. Essas estimativas são baseadas na experiência do gerente.

Tendo as informações sobre as atividades, pôde-se montar o diagrama de rede das atividades. O caminho mais longo está apresentado em negrito e pode ser visualizado na Figura 4.4.

Através da distribuição de probabilidade da duração do projeto de subestações, foi estabelecida a duração de **312** dias úteis, considerando-se a probabilidade de 95% de se terminar o projeto nessa data. A duração média do projeto foi 287 dias e o desvio padrão foi 14,5 dias.

## MACRO-PROCESSO BÁSICO: Planejamento SE.

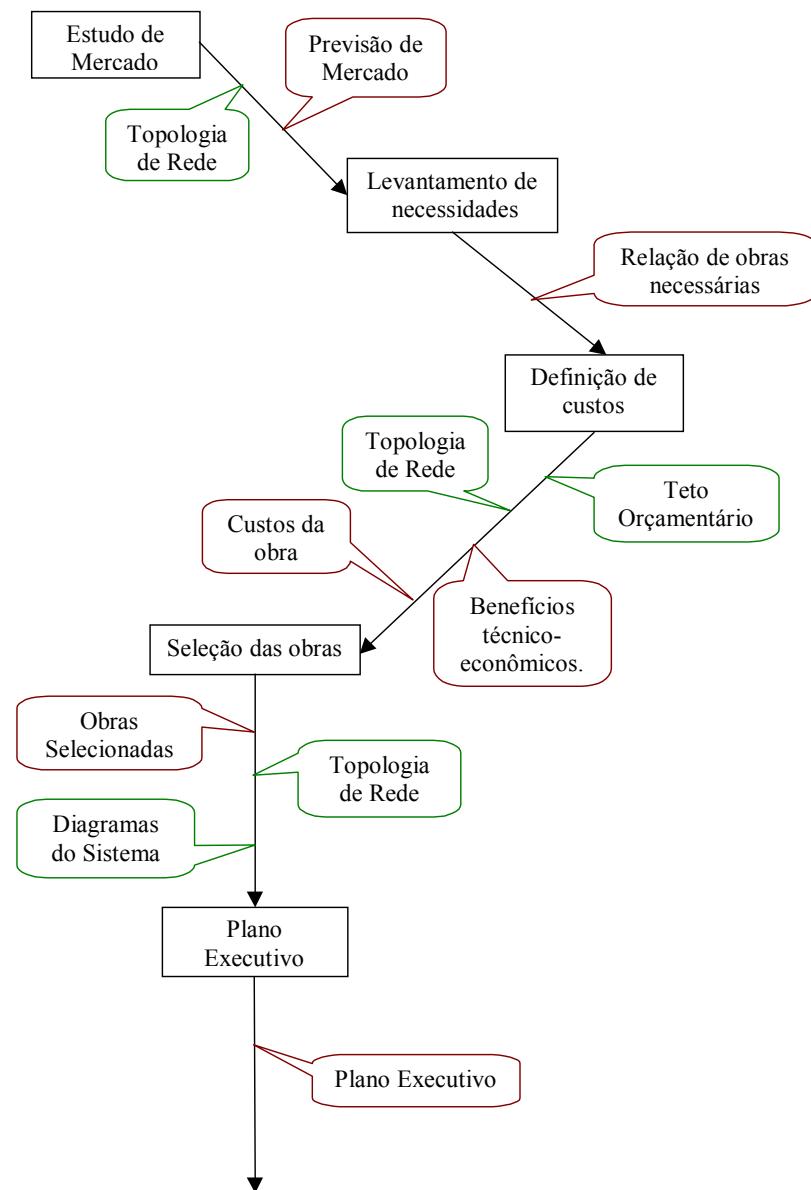


Figura 4.3. - Diagrama do macroprocesso básico planejamento da subestação

Tabela 4.4. - Atividades da subestação, durações e relações de precedência

Atividade	Duração (dias)	Estimativa Otimista	Estimativa Provável	Estimativa Pessimista	Predecessores
<b>A1 Início</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>A2 Planejamento da subestação</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
A3 Estudo do mercado	1	1	1	1	1
A4 Levantamento de necessidades	20,57	13,4	20	30	3
A5 Definição de custos	18,9	3,4	20	30	4
A6 Benefícios técnico-econômicos	18,9	3,4	20	30	4
A7 Seleção das obras	18,9	3,4	20	30	5;6
A8 Plano executivo	10,83	5	10	20	7
<b>A9 Projeto da subestação</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
A10 Relação de compras	30	20	30	40	8
A11 Escolha do terreno	29,97	13,4	26,6	60	8
A12 Projeto básico	22,23	13,4	20	40	8
A13 Aquisição do terreno (negociação)	11,4	5	10	23,4	11
A14 Projeto Exec. Telecomunicação	31,1	26,6	30	40	11
A15 Projeto executivo civil	27,73	20	26,6	40	11;12
A16 Projeto executivo eletromecânico	30	20	30	40	11;12
A17 Projeto executivo MPCC	40,57	23,4	40	60	12
A18 Especificação contrato de serviço	10,57	3,4	10	20	14;15;16;17
<b>A19 Suprimento da subestação</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
A20 Aquisição dos componentes	40,57	23,4	40	60	10
A21 Formalização aquisição do terreno	38,93	20	23,4	120	13
A22 Contratação da construção	38,9	23,4	40	50	18
<b>A23 Construção da subestação</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
A24 Terraplenagem	28,9	20	30	33,4	21;22
A25 Instalação da Malha de terra	20	13,4	20	26,6	21;22
<b>A26 Fim (terraple e malha terr)</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>25;24</b>
A27 Bases	20,57	13,4	20	30	26
A28 Casa de comando	22,77	16,6	20	40	26
A29 Via de acesso	40,57	23,4	40	60	26
A30 Canaletas	38,33	23,4	40	46,6	26
A31 Equipamentos	22,77	16,6	20	40	20;27;28
A32 Montagem do MPCC	26,1	16,6	20	60	20;28;30
A33 Barramentos	17,27	10	13,4	40	20;27
<b>A34 Comissionamento da subestação</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
A35 Comissionamento Malha de terra	3,167	2	3	5	25
A36 Comissionamento equipamentos	5,5	3	5	10	31;35
A37 Comissionamento do MPCC	7,167	5	7	10	32
A38 Comissionamento final	4,333	3	4	7	36;37
<b>A39 Fim</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>38;29;33</b>

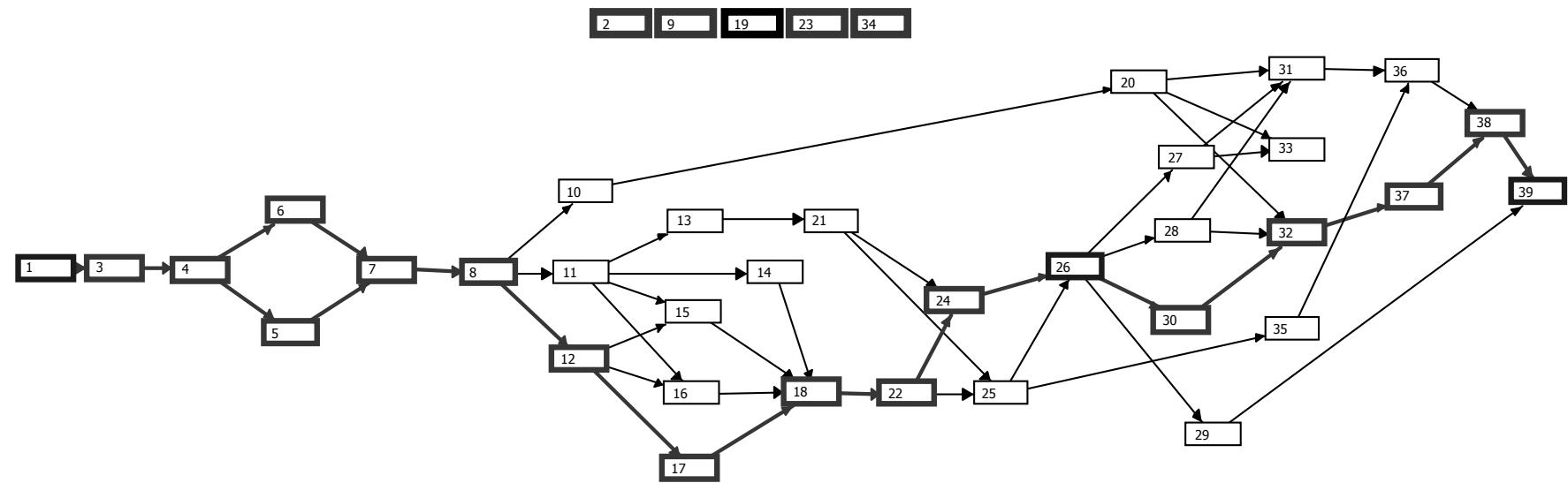


Figura 4.4. - Diagrama de Rede da Construção de Subestações

#### 4.3.1.2 Estudo do processo de planejamento por meio da curva ABC

Parte do estudo do processo de planejamento pode ser efetuado mediante a construção da curva ABC. A curva ABC foi construída para o critério custo, analisando-se as atividades encontradas. A Figura 4.5 apresenta a forma da curva.

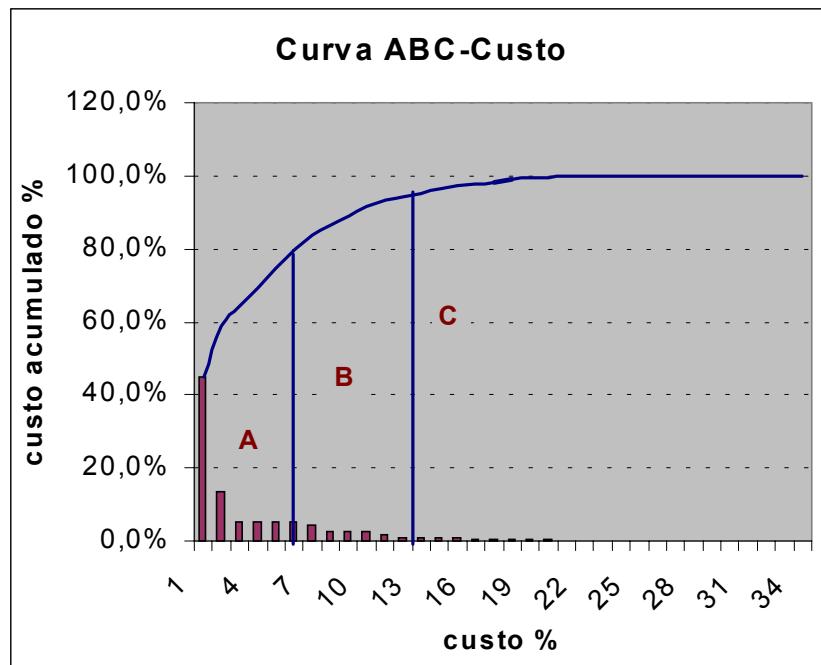


Figura 4.5. - Curva ABC para critério Custo – subestação elétrica

As atividades pertencentes a classe A da curva ABC, podem ter um planejamento mais detalhado, permitindo que os gerentes concentrem seus esforços no planejamento das atividades que têm maior contribuição no custo total do empreendimento. São elas:

Tabela 4.5. - Curva ABC para critério custo – subestação elétrica

- 1- Equipamentos - 69/13,8KV
- 2- Montagem do MPCC - 69/13,8KV
- 3- Casa de comando - 69/13,8KV
- 4- Contratação construção da subestação- 69/13,8KV
- 5- Formalização da aquisição do terreno
- 6- Aquisição do componente SE
- 7- Barramentos - 69/13,8KV

Percebe-se que 22% das atividades contribuem com 83,8% do investimento. Isso o quanto significativas são essas atividades em relação ao custo do projeto.

Analizando o problema mais detalhadamente, procurou-se identificar as atividades que influenciam o custo das atividades de maior custo de execução (identificadas pela curva ABC). Para isso, foi construído um diagrama de influências, que pode ser visualizado na Figura 4.6 abaixo.

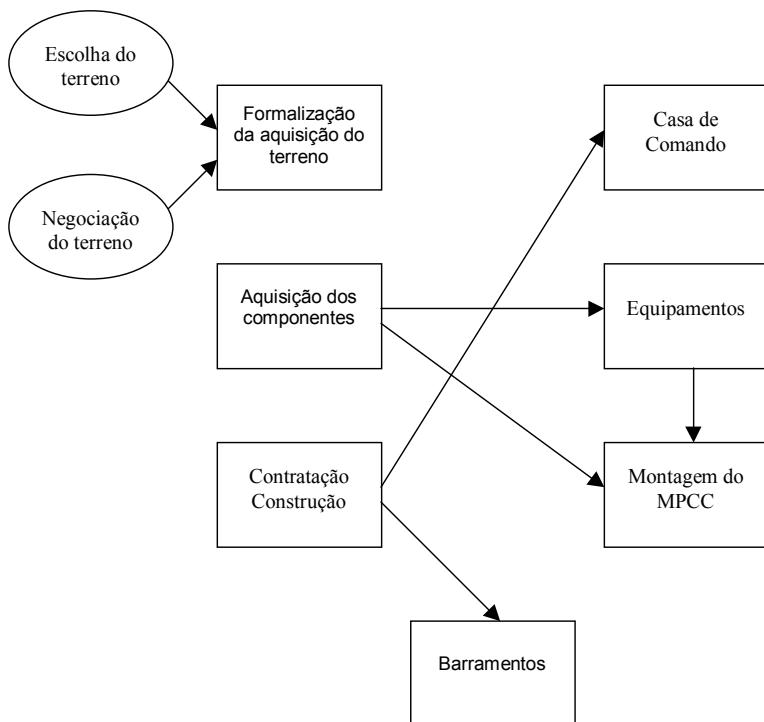


Figura 4.6. - Diagrama de influências de custo das atividades

As atividades no retângulo são as classificadas na classe A da curva ABC, isto é, elas representam as atividades de maior custo do projeto. As atividades representadas na elipse não foram classificadas na classe A da curva ABC custo, porém, elas geram grande influência no custo das atividades da classe A.

A seta representa a influência da atividade. Percebe-se que algumas atividades que já são críticas em relação ao custo, influenciam outras atividades também críticas. Por exemplo, a atividade “Aquisição dos componentes”, além de ser crítica, apresentou duas setas saindo para outras atividades críticas. Isso significa que esta atividade tem grande influência no custo do projeto. Assim, um bom planejamento e controle desta atividade garantem um controle de custos bastante representativo.

As atividades “Aquisição de equipamentos” e “Contratação da construção” são as atividades que têm maior influência no custo de uma subestação. Assim, deve-se dar uma atenção especial a essas duas atividades. A atividade “Construção da subestação”, porém, é um problema da empresa construtora, cabendo a ela detalhar melhor seu planejamento. No entanto, cabe a organização responsável fazer um estudo de contratação de serviços, que execute a atividade de construção de forma satisfatória, isto é, atendendo ao cronograma e as especificações da subestação.

Por outro lado, deve ser dada atenção especial a seleção dos fornecedores. Esses também devem ter um compromisso com a organização, atendendo seus pedidos a um custo satisfatório e dentro do prazo estipulado, para não afetar o cronograma da subestação.

As relações entre o departamento de planejamento e o departamento de suprimentos devem estar bem formadas para que seja possível estabelecer um plano de ações para o problema de fornecimento dos equipamentos, fundamentais na construção da subestação.

Como conclusão, a organização tem como desafio o desenvolvimento de um planejamento integrado envolvendo todos os projetos a serem priorizados a cada ano, o que constitui seu plano de empreendimentos para o ano seguinte. A aplicação apresentada sobre planejamento do empreendimento permite auxiliar no estudo para estabelecimento das metas de cada empreendimento de forma isolada. As técnicas apresentadas permitem uma estruturação dos processos existentes em cada empreendimento, na sua visão macro e a especificação dos tempos e prazos apropriados dentro da visão de cada empreendimento.

Dentro do contexto de planejamento é importante o desenvolvimento de um processo de integração de todas as unidades envolvidas na implementação dos empreendimentos. Ao longo deste estudo, foi observado que há uma dificuldade na integração das informações das diversas unidades, no que se refere à obtenção de informações sobre o *status* de cada atividade do empreendimento num prazo relativamente rápido. Muitas vezes reuniões são requeridas para confirmar e atualizar o estágio de cada empreendimento, em outros casos, é preciso esperar dias para que as informações sejam obtidas.

Essa integração pode ser facilitada através do uso de uma ferramenta computacional integrada em seu sistema de rede computacional. Dentre as ferramentas que poderiam auxiliar esse processo de integração destaca-se a ferramenta *MS Project 2000*. Outras ferramentas mais simples poderiam ser adotadas desde que fossem utilizadas por todos os usuários e integradas em rede.

## 5 MODELO MULTICRITÉRIO NA GESTÃO DE PROJETOS – PROBLEMÁTICA DE ESCOLHA

Este capítulo aborda o processo de gestão de projetos com modelagem multicritério de escolha. A gestão de projetos envolve, além do processo de acompanhamento e controle, um processo de reavaliação e ajustes que implica o replanejamento do projeto ao longo do processo de implementação. O modelo proposto deve apoiar o processo de gestão em duas situações: um pouco antes de se iniciar a execução dos projetos e, na outra situação, periodicamente, durante a execução dos projetos (numa visão integrada dos projetos de uma organização).

Na etapa de gestão, no momento em que é dado início à execução do projeto, a programação das atividades pode ser mais refinada, como na proposta do planejamento hierárquico. Dependendo do contexto do problema, o grau de detalhes da programação das atividades pode ser alto, gerando um problema bastante complexo.

A complexidade do projeto, as incertezas e o grande número de atividades envolvidas tornam o processo de gerenciamento de empreendimentos ainda mais difícil. A maioria das ferramentas disponíveis para tratar desse problema é baseada nos modelos de rede PERT/CPM. A técnica PERT/CPM determina o caminho crítico e, consequentemente, as atividades críticas com base nas folgas visualizadas pela rede. A identificação das atividades críticas e baseiam-se na função do prazo do projeto, sem considerar outros fatores que podem ocasionar falhas no gerenciamento, levando o projeto a um caminho diferente daquele que foi planejado.

De acordo com Greek e Pullin (1999), a maioria dos gerentes não focaliza os aspectos críticos dos projetos. O gerenciamento de projetos é um negócio caracterizado por falhas, e essas falhas são ocasionadas por duas razões: incertezas de ordem técnica e julgamentos incorretos das urgências do projeto. As falhas não estão diretamente ligadas ao abandono, isso pode até acontecer, mas, por exemplo, estão significativamente relacionadas ao tempo ou ao orçamento.

Considerando-se esses fatores, o processo de gestão de empreendimentos pode ser suportado por métodos de apoio multicritério à decisão, envolvendo o estudo dos aspectos críticos do projeto, isto é, programar e gerenciar as atividades em função de outros aspectos

além do tempo, tais como priorizar atividades de baixa segurança, alto custo, dentre outros aspectos que sejam relevantes para o gerente.

A técnica PERT/CPM pode ser utilizada em conjunto com uma metodologia de apoio multicritério à decisão, incorporando os aspectos críticos dos projetos e permitindo tratar o problema de forma mais realista. Nesse caso, as atividades críticas do projeto são determinadas de modo que o gerente possa concentrar seus esforços no controle e acompanhamento das atividades com maior chance de apresentarem problemas ao longo da execução.

Para isso, são determinadas as atividades críticas com relação ao tempo (aplicação da técnica PERT/CPM) e, em seguida, inserem-se os novos critérios alocados ao projeto. As atividades realmente críticas são determinadas mediante a aplicação do método de apoio multicritério à decisão.

## 5.1 Seleção de Atividades Críticas de Empreendimentos

A seleção de atividades que merecem um gerenciamento mais nobre pode ser realizada por meio de métodos multicritérios de apoio a decisão, que consideram mais de um critério simultaneamente. Para a aplicação dos métodos multicritérios, podem ser considerados os critérios: custo, mobilização de recursos, duração, folga, variância (quando se utiliza a estimativa de tempo probabilística), dentre outros relevantes para o gerente (Miranda e Almeida, 2002).

Construídas as redes PERT/CPM e definidos os aspectos críticos do projeto (novos critérios), o método de apoio a decisão multicritério pode então ser aplicado em dois momentos distintos, chamados de Primeiro e Segundo Procedimento.

### 5.1.1 Primeiro Procedimento

Tem como objetivo dar uma visão geral no início do processo de gestão. Nesse caso, um pouco antes de se iniciar a execução do empreendimento, o modelo de gestão pode ser aplicado em duas situações diferentes: quando o caminho crítico tem folga igual a zero e quando a folga é diferente de zero.

Esse modelo de gerenciamento de projetos pode ser visualizado no esquema a seguir (Figura 5.1).

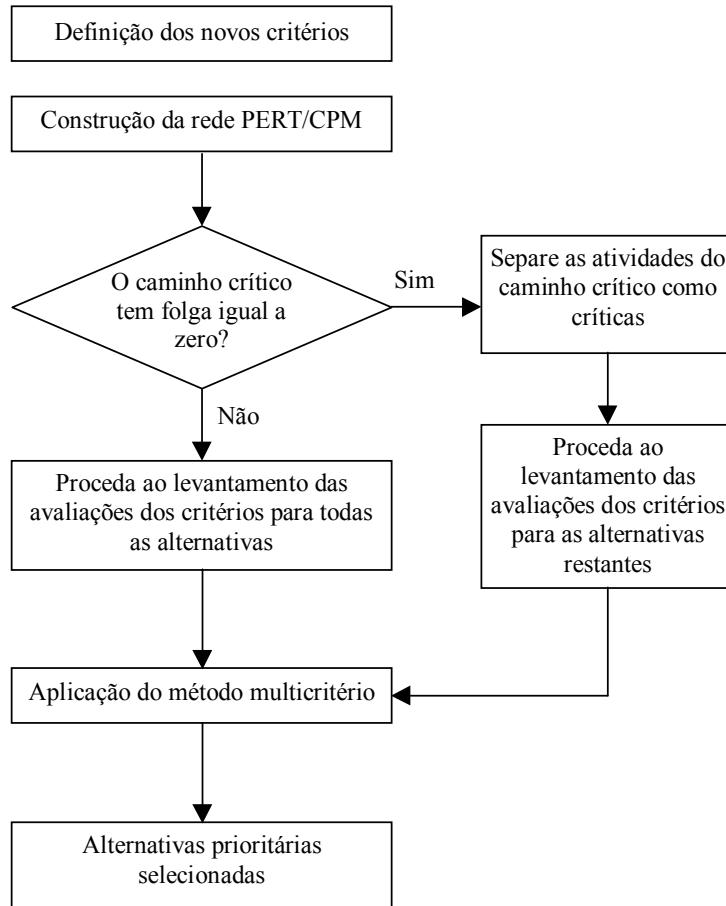


Figura 5.1. - Modelo de Gerenciamento de Projetos – etapa 1

No primeiro caso, quando o caminho crítico do projeto tem folga igual a zero, o projeto está amarrado a uma data de término prevista, sem qualquer flexibilidade de tempo, e as atividades do caminho mais longo não podem sofrer qualquer atraso. Essas atividades do caminho mais longo são consideradas imediatamente críticas, independentemente da aplicação do método multicritério, sendo então retiradas do processo.

As atividades que não fazem parte do caminho mais longo irão compor o modelo multicritério de apoio a decisão. São levantadas as avaliações de cada uma das atividades para cada um dos novos critérios considerados, e então é aplicado o método de decisão multicritério. Aplicado o método, são selecionadas as novas atividades críticas, que devem ser gerenciadas com a maior atenção. Farão parte do conjunto de atividades críticas aquelas que participam do caminho mais longo e as selecionadas com o uso do método multicritério.

No segundo caso, quando o caminho mais longo do projeto tem folga maior que zero, todas as atividades do projeto irão compor o modelo de decisão multicritério. Nesse caso, o critério tempo (representado pela folga das atividades e encontrado com a construção da rede PERT/CPM) participará do conjunto de critérios do modelo de decisão. Serão levantadas as avaliações de todas as atividades para todos os novos critérios e para o critério tempo. Aplicase o método multicritério e selecionam-se as atividades críticas (Gomes *et al*, 2002; Roy, 1996; Vincke, 1992).

### 5.1.2 Segundo Procedimento

Esse procedimento deve ser utilizado periodicamente, conforme seja o momento de estudo (por exemplo, mensal, trimestral, anual). Isso deve ser feito de modo a selecionar as atividades críticas de um período específico e também para que seja possível considerar as mudanças ocorridas durante a execução do empreendimento. Esses acompanhamentos a curto e prazos permitem as correções diárias, semanais, mensais e até anuais. Assim, a cada período as atividades a serem executadas mudam.

Devido às incertezas do processo de planejamento pode ser necessário reprogramar uma parte ou todo o conjunto de atividades do projeto, ou seja, fazer um replanejamento. Esse deve ser feito quando grandes mudanças ocorrem durante o processo de execução do projeto.

Segundo Netto (1988), os replanejamentos executados na fase de controle podem evitar a ocorrência de desvios irrecuperáveis, além de permitir, a todos os envolvidos, o domínio da situação, o encaminhamento das soluções pertinentes e a conscientização em face das estruturas a serem consideradas nas futuras tomadas de decisão. Essa é uma característica interativa do processo de planejamento e gestão de projetos.

O processo de gestão proposto pode ser visualizado no fluxograma da Figura 5.2.

Primeiro é feito o levantamento das atividades em desenvolvimento no período (p) em estudo, o qual pode ser semanal, mensal, trimestral, dependendo das necessidades do gerente e da complexidade do problema. Deve-se considerar também que, caso as atividades do caminho mais longo tenham folga “zero”, elas são imediatamente selecionadas (conforme o procedimento anterior) e são indicadas como críticas.

Identificadas às atividades do período, são levantados os dados referentes a essas atividades. Cabe lembrar que, devido às incertezas do planejamento, pode haver mudanças no

cronograma atual. Nesse caso, algumas atividades que possuíam folga maior que zero, nesse momento, podem apresentar folga zero ou vice-versa. Em outra ocasião, pode ser necessário um replanejamento das atividades devido à inserção de novas informações ou restrições ao processo de execução das atividades.

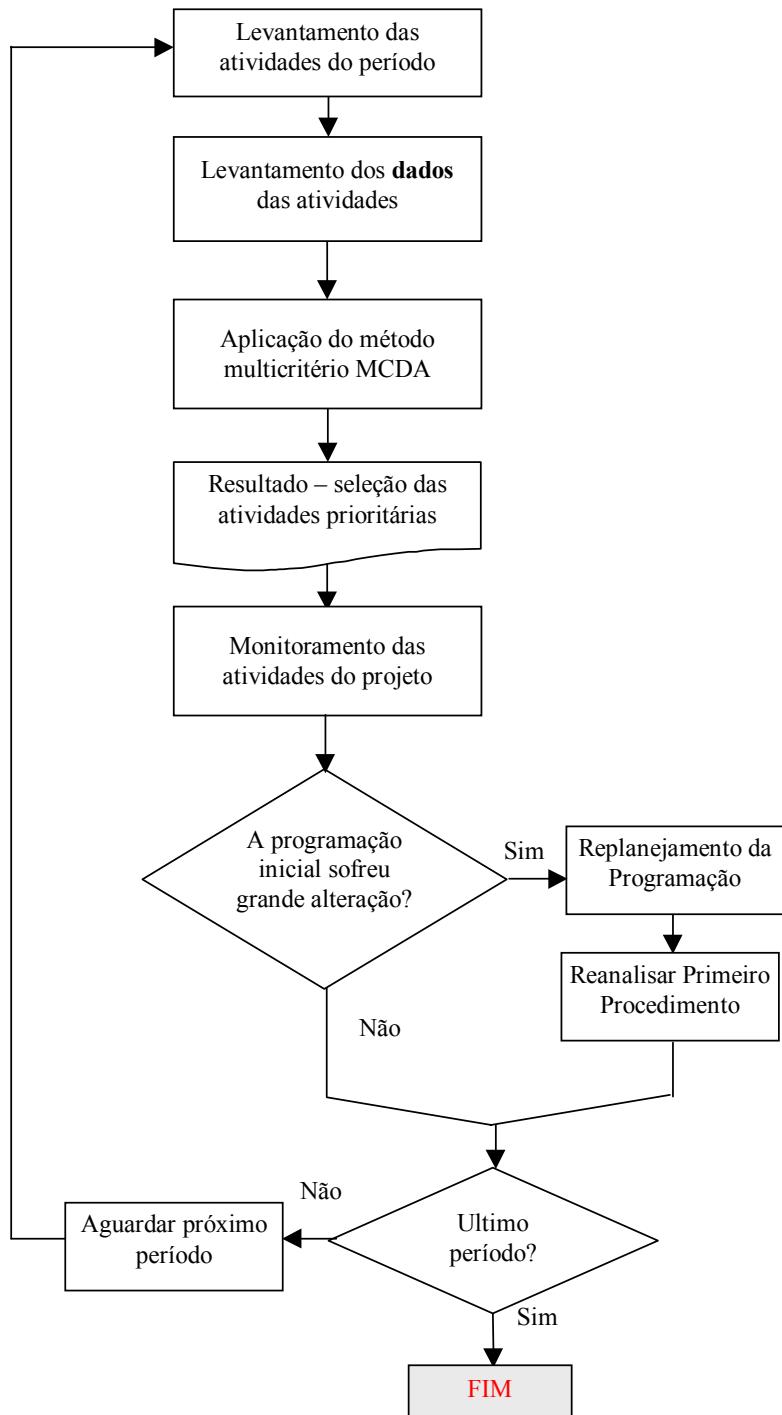


Figura 5.2. - Modelo de Gerenciamento de Projetos – etapa 2

Estabelecidas as atividades e suas respectivas informações, aplica-se o método de apoio multicritério à decisão. Nesse caso, pode ser necessário fazer ajustes no modelo, como mudanças em alguns parâmetros. Como resultado, obtém-se as atividades críticas do período. Essas atividades selecionadas merecem atenção especial.

Em seguida, faz-se o monitoramento do desempenho das atividades executadas. Caso haja uma grande disparidade entre o que foi programado e o que foi executado, é necessário replanejar as atividades. Nesse caso, pode ser necessário reiniciar o procedimento 1, além de gerar uma nova rede de tempo e precedências e redefinir objetivos.

Encontrado o resultado, o modelo é reaplicado no período de estudo a seguir, aguardando uma data próxima à execução (por exemplo, se o período de estudo é mensal, o estudo do próximo período pode ser feito na última semana do período atual). Isso é feito até o último período de estudo. Como foi apresentado anteriormente, a gestão de empreendimentos envolve, além do processo de acompanhamento e controle, um processo de reavaliação e ajustes que implica o replanejamento do projeto ao longo do processo de implementação.

## 5.2 Estudo de casos

O modelo de gestão de projetos com avaliação multicritério será aplicado em dois contextos diferentes: na construção de subestações elétricas e na construção de edifícios residenciais.

O estudo desenvolvido está relacionado ao processo de gestão de empreendimentos com avaliação multicritério, atendendo a múltiplos critérios, envolvendo prazos, custos e aspectos relacionados ao desempenho futuro de uma organização. O problema deve ser analisado numa visão integrada dos empreendimentos, no entanto, para fins de apresentação da metodologia proposta, em ambos os casos, o problema será tratado numa visão localizada (isto é, considerando apenas um empreendimento).

Na etapa de *planejamento* do empreendimento, verificou-se que seria importante usar as estimativas de tempo com base na técnica PERT/CPM para o estabelecimento dos prazos básicos para as etapas de cada projeto. Para a *gestão* do empreendimento são considerados os modelos de rede PERT para estruturação das atividades associados ao método multicritério

para seleção e indicação das atividades mais críticas, a cada período. Neste estudo é adotada uma abordagem macro.

O estudo dos métodos multicritérios, para cada um dos casos analisados, refletiu na mesma conclusão. Precisava-se de uma abordagem simples e de fácil utilização por parte dos gerentes dos empreendimentos.

Foi considerado o método multicritério ELECTRE I devido ao enquadramento da problemática – seleção de um subconjunto de ações –, à característica não-compensatória do método, e à “facilidade” por parte do tomador de decisão (gerente do empreendimento) em trabalhar com os parâmetros do modelo.

### 5.2.1 Modelo de decisão multicritério para o gerenciamento de empreendimentos (Subestações)

Este item apresenta um estudo relacionado ao problema de gestão de projetos para o caso da construção de subestações elétricas. Este estudo foi aplicado em uma empresa brasileira do setor de energia elétrica. Os dados deste estudo são baseados em valores reais, sendo, no entanto, modificada a escala. Este estudo teve início em 2002 e, parte do problema foi aplicada durante os anos seguintes.

O processo de gestão da construção de uma subestação pode ser bastante complexo por envolver a participação de vários departamentos - internos a organização - além da participação de outras organizações externas. Devido ao grande número de atividades e setores a serem gerenciados, é interessante fazer um estudo inicial macro e, então, detalhar aquelas atividades que necessitam de um gerenciamento mais refinado.

As decisões estratégicas do empreendimento, tais como, a qualidade do projeto, exigências ambientais, crescimento do mercado com a previsão de incremento de novos clientes, foram definidos em fase de planejamento.

A análise do processo de construção de subestações elétricas seguiu a proposta apresentada neste trabalho para o planejamento de empreendimentos, por meio do levantamento dos macroprocessos. Esse levantamento foi realizado por meio de entrevistas com o gerente do projeto, permitindo construir uma estrutura com uma visão geral do projeto. As relações entre os processos levantados foram revisadas com o apoio da equipe do projeto, envolvendo os departamentos de planejamento, de operações, de manutenção, de automação e

de suprimentos. Foram levantadas também as estimativas de tempo otimista, mais provável e pessimista.

Foram identificadas 25 atividades que podem ser visualizadas na Tabela 5.1. (outras atividades foram apresentadas no processo de planejamento, mas não foram consideradas no processo de gestão, como por exemplo as atividades: estudo de mercado e topologia de rede).

Tabela 5.1. - Atividades da construção da subestação (duração e relações de precedência)

Atividade	Duração (dias úteis)	Estimativa Otimista	Estimativa Mais Provável	Estimativa Pessimista	Predecessores
<b>A1 Início</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>A2 Projeto da subestação</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
A3 Relação de compras	30	20	30	40	1
A4 Escolha do terreno	29,97	13,4	26,6	60	1
A5 Projeto básico	22,23	13,4	20	40	1
A6 Aquisição do terreno (negociação)	11,4	5	10	23,4	4
A7 Projeto Executivo Telecomunicação	31,1	26,6	30	40	4
A8 Projeto executivo civil	27,73	20	26,6	40	4;5
A9 Projeto executivo eletromecânico	30	20	30	40	4;5
A10 Projeto executivo MPCC	40,57	23,4	40	60	5
A11 Especificação de contrato de serviço	10,57	3,4	10	20	7;8;9;10
<b>A12 Suprimento da subestação</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
A13 Aquisição do componente	40,57	23,4	40	60	3
A14 Formalização da aquisição do terreno	38,93	20	23,4	120	6
A15 Contratação da construção	38,9	23,4	40	50	11
<b>A16 Construção da subestação</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
A17 Terraplenagem	28,9	20	30	33,4	14;15
A18 Instalação da Malha de terra	20	13,4	20	26,6	14;15
A19 Fim (terrapl e malha terr)	0	0	0	0	18;17
A20 Bases	20,57	13,4	20	30	19
A21 Casa de comando	22,77	16,6	20	40	19
A22 Via de acesso	40,57	23,4	40	60	19
A23 Canaletas	38,33	23,4	40	46,6	19
A24 Equipamentos	22,77	16,6	20	40	13;20;21
A25 Montagem do MPCC	26,1	16,6	20	60	13;21;23
A26 Barramentos	17,27	10	13,4	40	13;20
<b>A27 Comissionamento da subestação</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
A28 Comissionamento Malha de terra	3,167	2	3	5	18
A29 Comissionamento de equipamentos	5,5	3	5	10	24;28
A30 Comissionamento do MPCC	7,167	5	7	10	25
A31 Comissionamento final	4,333	3	4	7	29;30
<b>A32 Fim -</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>31;22;26</b>

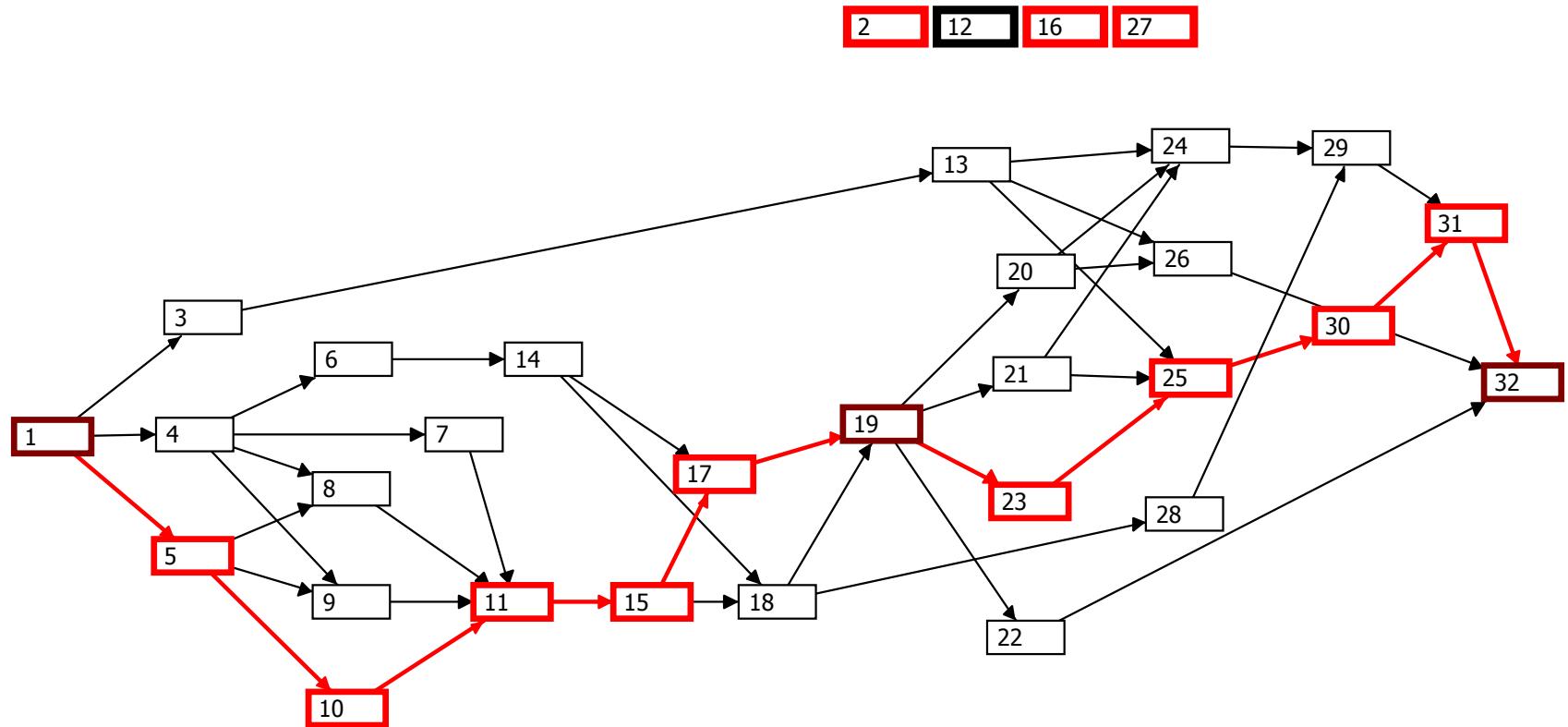


Figura 5.3. - Rede PERT/CPM

As atividades foram rotuladas, variando de A1 a A32. As linhas apresentadas em negrito são apenas marcos. As atividades envolvem aspectos de projeto até o completo comissionamento da subestação. Essas atividades podem ser visualizadas na Tabela 5.1.

A construção da rede PERT/CPM permitiu estabelecer uma data de término do projeto (considerando-se uma probabilidade de 95%). A rede PERT/CPM para o processo de gestão é a mesma do processo de planejamento, porém sem algumas atividades de iniciação e estudo de planejamento. A Figura 5.3 apresenta essa rede de atividades.

A duração média do projeto foi 217,1 dias úteis (probabilidade de 50% para terminar o projeto). Considerando-se uma probabilidade de 95%, a duração do projeto deve ser 238,1 dias úteis.

#### 5.2.1.1 Aplicação do modelo de gestão: Primeiro Procedimento.

Esse procedimento deve ser utilizado para se ter uma visão geral das atividades mais críticas do empreendimento. Deve ser feito momento antes de iniciar a execução das atividades, para destacar as atividades mais críticas do projeto como um todo.

O levantamento dos fatores críticos do projeto foi realizado por meio de entrevistas com a equipe do projeto, envolvendo os departamentos de planejamento, de operações, de manutenção, de automação e de suprimentos. Entretanto, os parâmetros do modelo foram definidos pelo gerente geral do projeto.

Várias metodologias podem ser utilizadas para apoiar o levantamento desses fatores. Exemplos são: sessões de *post-it*, construção de diagramas de causa e efeito, uso de mapas cognitivos, construção de árvores de valor (detalhes sobre essas técnicas podem ser encontradas em Belton e Stewart (2002)).

Analizando o problema de construção da subestação pôde-se levantar os seguintes fatores críticos, os quais são apresentados na Tabela 5.2.

Tabela 5.2. - Fatores Críticos do Projeto SE

Critérios	Descrição	Escala
Folga	A folga das atividades é a margem permitida de atraso da atividade. Quanto menor a folga, mais atenção requer a atividade.	Quantitativa
Mobilização de Recurso	Dificuldade na mobilização de recursos. a facilidade de reunir os recursos necessários a sua execução. Quanto maior o valor na escala, maior dificuldade.	Qualitativa crescente (1;3;5;7;9)
Desvio Padrão	Representa a variância das atividades. Quanto maior a variância maior atenção no gerenciamento. Pode significar que o gerente tem menos informações sobre a atividade.	Quantitativa
Custo	Custo total de execução das atividades. Quanto maior o custo, maior atenção no gerenciamento	Quantitativa
Grau de Impacto	O Grau de impacto no comissionamento representa a possibilidade da atividade apresentar seus problemas na fase de comissionamento. O maior número na escala representa o maior impacto	Qualitativa crescente (1;3;5;7;9)

Os fatores críticos apresentados na Tabela 5.2 irão fundamentar o conjunto de critérios do modelo de decisão. Outros fatores poderiam ser considerados, como por exemplo, segurança, condições climáticas, número de atividades sucessoras (isto é, a quantidade de elementos dependentes, na relação de precedência.). Para este problema, a folga do projeto foi considerada diferente de zero, de forma que todas as atividades irão compor o modelo de decisão.

As avaliações de cada uma das atividades para cada um dos critérios são apresentadas na Tabela 5.3.

Tabela 5.3. - Aspectos críticos do projeto de subestações elétricas

Atividade	Desvio Padrão	Folga	Custo	Mobilização de Recurso	Impacto no Comissiona- mento
<b>A1 Início</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>A2 Projeto da subestação</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
A3 Relação de compras	3,333	129,9	572	3	1
A4 Escolha do terreno	7,767	22,73	1144	3	1
A5 Projeto básico	4,433	21	5720	1	1
A6 Aquisição do terreno (negociação)	3,067	52,97	1144	3	1
A7 Projeto Executivo Telecomunicação	2,233	22,73	11440	3	7
A8 Projeto executivo civil	3,333	26,1	11440	3	1
A9 Projeto executivo eletromecânico	3,333	23,83	11440	3	7
A10 Projeto executivo MPCC	6,1	21	11440	5	9
<b>A11 Especificação de contrato de serviço</b>	<b>2,767</b>	<b>21</b>	<b>1144</b>	<b>3</b>	<b>7</b>
<b>A12 Suprimento da subestação</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
A13 Aquisição do componente	6,1	129,9	114.405	7	5
A14 Formalização da aquisição do terreno	16,67	52,97	114.405	1	1
A15 Contratação da construção	4,433	21	114.405	7	1
<b>A16 Construção da subestação</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
A17 Terraplenagem	2,233	21	57202	3	1
A18 Instalação da Malha de terra	2,2	29,9	57202	7	3
<b>A19 Fim (terraple e malha terr)</b>	<b>0</b>	<b>21</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
A20 Bases	2,767	43,77	57202	3	1
A21 Casa de comando	3,9	36,57	114405	3	1
A22 Via de acesso	6,1	56,37	34321	1	1
A23 Canaletas	3,867	21	11440	1	3
A24 Equipamentos	3,9	41,57	993032	7	9
A25 Montagem do MPCC	7,233	21	302028	9	9
A26 Barramentos	5	59,1	91524	3	3
<b>A27 Comissionamento da subestação</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
A28 Comissionamento Malha de terra	0,5	92,83	22881	1	1
A29 Comissionamento de equipamentos	1,167	41,57	22881	3	1
A30 Comissionamento do MPCC	0,833	21	22881	7	1
A31 Comissionamento final	0,667	21	22881	7	1
<b>A32 Fim -</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

*Aplicação do Método ELECTRE I: Visão geral do processo de gestão:*

Estabelecidos os aspectos críticos da construção subestações, passa-se a aplicação do método multicritério (Primeiro Procedimento). A aplicação da metodologia multicritério, mais especificamente o método ELECTRE I, selecionará um conjunto de atividades críticas, que devem ser gerenciadas com maior atenção. Nessa visão geral são consideradas todas as atividades.

Os valores estabelecidos para os pesos podem ser visualizados na Tabela 5.4. Esses pesos foram definidos pelo gerente geral do projeto.

Tabela 5.4. - Pesos dos Aspectos Críticos – Projeto Subestação

Critérios	Folga	Mob. Recurso	Desvio Padrão	Custo	Grau Impacto	Total
Pesos	0,25	0,125	0,125	0,35	0,15	1

Definidos os pesos, são estabelecidos os níveis limites admitidos para os índices de concordância (c) e de discordância (d). Como análise inicial, foram estabelecidos os valores,  $c = 0,8$  e  $d = 0,3$ , contudo, o gerente está livre para variar esses índices e analisar os resultados. A Tabela 5.5 apresenta as relações de sobreclassificação entre as atividades para esses valores.

Para esses valores dos parâmetros passa-se a etapa de investigação, em que é efetuada a seleção das atividades críticas. As atividades listadas abaixo foram selecionadas como atividades críticas do processo de gestão com um todo.

Atividades Críticas:

- A14 Formalização da aquisição do terreno
- A24 Equipamentos
- A25 Montagem do MPCC

Nessa visão localizada, apenas três atividades foram selecionadas, dentre um conjunto composto de 25 atividades. Essas atividades não são sobreclassificadas por nenhuma outra atividade, sendo então selecionadas como as atividades mais críticas do processo de construção de subestações elétricas.

Tabela 5.5. - Relação de sobreclassificação para  $c = 0,8$  e  $d = 0,3$

As alternativas da linha sombreada são sobreclassificadas pelas alternativas listadas na coluna

Essas atividades selecionadas são as atividades mais críticas do processo de gestão, numa visão geral do empreendimento como um todo. Ao longo do processo de execução, são essas as atividades que podem apresentar um problema para o gerenciamento, de forma que o cronograma pode atrasar ou até aumentarem os custos de execução. No entanto, isso não quer dizer que as alternativas restantes, aquelas não selecionadas como críticas, não podem apresentar problemas; elas podem, mas acredita-se que apresentam uma chance menor de afetar a execução do projeto como um todo.

Com essas atividades selecionadas, é possível se antecipar aos problemas que poderão ocorrer. Assim, se essas atividades têm maior chance de apresentar problemas, podem-se tentar visualizar possíveis complicações e traçar suas soluções, então, quando estiverem sendo executadas suas atividades predecessoras,. Isso pode ser feito mediante a aplicação de uma ferramenta da qualidade conhecida como *Diagrama do processo decisório (PDPC)*. Esse diagrama detecta situações não-previstas, eliminando-as ou diminuindo sua influência no processo.

A sigla PDPC corresponde a *Process Decision Program Chart*. Visa prever as ocorrências durante um processo (execução de uma atividade), mediante o planejamento de alternativas para diferentes situações e a escolha da situação desejável: ou prevenção, ou ação antes que situações indesejáveis ocorram. Permite selecionar a melhor alternativa para se atingir um objetivo (ou evitar um resultado indesejável) diante de situações desconhecidas ou particularmente sujeitas a imprevistos. Com a consideração das prováveis seqüências de atividades e da antecipação de ocorrências perturbadoras, torna-se possível efetivar ações preventivas que poderiam impossibilitar atingir o objetivo, bem como efetivar ações de contenção para contornar certos eventos que surjam durante o andamento das atividades. Mais informações sobre como aplicar o Diagrama do Processo Decisório podem ser encontradas em Campos (1990) e Werkema (1995).

### 5.2.1.2 Aplicação do Modelo de Gestão: Segundo Procedimento

Esse procedimento deve ser utilizado periodicamente conforme seja o momento de estudo (mensal, trimestral, semestral ou anual). Foi definido um período trimestral, pois a duração média das atividades é maior que um mês. Assim, o início da aplicação da metodologia consiste em levantar as atividades a serem desenvolvidas nos 3 primeiros meses.

Trimestre 1:

Para efeito de aplicação do modelo, suponha a data inicial 01/04/2005. As atividades executadas nos meses 04, 05 e 06 estão apresentadas na Tabela 5.6 abaixo. Inicia-se o Projeto da subestação (essas informações são obtidas no *Ms Project*, junto ao cronograma).

Tabela 5.6. - Atividades do Trimestre 1

1	Trimestre 1	Duração	Início	Término	Predecessores
A3	Relação de compras	30	09/04	20/05/05	1
A4	Escolha do terreno	29,967	09/04	20/05/05	1
A5	Projeto básico	22,233	09/04	09/05/05	1
A6	Aquisição do terreno	11,4	20/05	05/06/05	4
A7	Projeto ExeTelecomunicação	31,1	20/05	03/07/05	4
A8	Projeto Executivo civil	27,733	20/05	27/06/05	4;5
A9	Projeto Exe eletromecânico	30	20/05	01/07/05	4;5
A10	Projeto executivo MPCC	40,567	09/05	04/07/05	5
A13	Aquisição dos componentes	40,567	21/05	16/07/05	3
A14	Formalização da aquisição do terreno	38,933	05/06	30/07/05	6

As avaliações das atividades para cada critério podem ser vistas na Tabela 5.7.

Tabela 5.7. - Avaliações das atividades do Trimestre 1

Atividade	Desvio	Folga	Custo	Mobilização	Impacto no.
	Padrão			De Recurso	Comissionamento
A3 Relação de compras	3,333	129,9	572	3	0
A4 Escolha do terreno	7,767	22,73	1.144	3	0
A5 Projeto básico	4,433	21	5.720	2	0
A6 Aquisição do terreno (negociação)	3,067	52,97	1144	3	0
A7 Projeto Executivo Telecomunicação	2,233	22,73	11.440	3	7
A8 Projeto executivo civil	3,333	26,1	11.440	3	0
A9 Projeto executivo eletromecânico	3,333	23,83	11.440	3	7
A10 Projeto executivo MPCC	6,1	21	11.440	4	8
A13 Aquisição dos componentes	6,1	129,9	114.405	4	5
A14 Formalização da aquisição do terreno	16,67	52,97	114.405	2	0

Considerando-se os mesmos pesos utilizados na aplicação geral (anterior), porém variando os limiares  $c$  e  $d$  do modelo para  $c = 0,7$  e  $d = 0,4$ , são encontradas as seguintes atividades críticas:

- A4 - Escolha do terreno
- A10 - Projeto executivo MPCC
- A13 - Aquisição dos componentes
- A14 - Formalização da aquisição do terreno

Em resumo, a cada período deve-se analisar as novas atividades que serão executadas e as que foram executadas no período anterior, para atualizar as avaliações e priorizar as atividades de acordo com a realidade do problema (isto é, priorizar a atenção a essas atividades, já que a ordem de execução é uma restrição do processo de planejamento). Cabe lembrar que o gerente está livre para variar os parâmetros do modelo de decisão a cada período, de modo que é possível mudar as prioridades dos critérios relevantes. Por exemplo, quando alguma atividade apresentar um grande atraso, isto irá repercutir sobre suas atividades sucessoras, podendo ser mais interessante, no período seguinte, dar uma maior prioridade ao critério folga.

As Tabelas 5.8 – 5.11 apresentam um resumo da aplicação do modelo para os trimestres de 1 a 4 respectivamente. As atividades sombreadas são as selecionadas como críticas.

Tabela 5.8. - Resumo das atividades do Trimestre 1: atividades críticas

1	Trimestre 1	Duração	Início	Término	Predecessores
A3	Relação de compras	30	09/04	20/05	1
A4	Escolha do terreno	29,967	09/04	20/05	1
A5	Projeto básico	22,233	09/04	09/05	1
A6	Aquisição do terreno	11,4	20/05	05/06	4
A7	Projeto ExeTelecomunicação	31,1	20/05	03/07	4
A8	Projeto Executivo civil	27,733	20/05	27/06	4;5
A9	Projeto Exe eletromecânico	30	20/05	01/07	4;5
A10	Projeto executivo MPCC	40,567	09/05	04/07	5
A13	Aquisição dos componentes	40,567	21/05	16/07	3
A14	Form aquisição do terreno	38,933	05/06	30/07	6

Tabela 5.9. - Resumo das atividades do Trimestre 2: atividades críticas

2	Trimestre 2	Duração	Início	Término	Predecessores
A11	Especificação de contrato de serviço	10,567	04/07	19/07	7;8;9;10
A13	Aquisição dos componentes	40,567	21/05	16/07	3
A14	Formalização aquisição do terreno	38,933	05/06	30/07	6
A15	Contratação da construção	38,900	19/07	12/09	11
A17	Terraplenagem	28,90	12/09	23/10	14;15
A18	Instalação da Malha de terra	20,00	12/09	10/10	14;15

Tabela 5.10. - Resumo das atividades do Trimestre 3: atividades críticas

3 Trimestre 3	Duração	Início	Término	Predecessores
A17 Terraplenagem	28,90	12/09	23/10	14;15
<b>A18 Instalação da Malha de terra</b>	<b>20,00</b>	<b>12/09</b>	<b>10/10</b>	<b>14;15</b>
A19 <i>Fim terraplenagem e malha terra</i>	--	--	--	18;17
A20 Bases	20,567	23/10	20/11	19
<b>A21 Casa de comando</b>	<b>22,767</b>	<b>23/10</b>	<b>22/11</b>	<b>19</b>
<b>A22 Via de acesso</b>	<b>40,567</b>	<b>23/10</b>	<b>18/12</b>	<b>19</b>
A23 Canaletas	38,333	23/10	16/12	19
<b>A24 Equipamentos</b>	<b>22,767</b>	<b>22/11</b>	<b>25/12</b>	<b>13;20;21</b>
<b>A25 Montagem do MPCC</b>	<b>26,100</b>	<b>16/12/05</b>	<b>21/01/06</b>	<b>13;21;23</b>
A26 Barramentos	17,267	20/11	13/12	13;20
A28 Comissionamento Malha de terra	3,167	10/10	15/10	18

Tabela 5.11. - Resumo das atividades do Trimestre 4: atividades críticas

4 Trimestre 4:	Duração	Início	Término	Predecessores
<b>A25 Montagem do MPCC</b>	<b>26,100</b>	<b>16/12/05</b>	<b>21/01/06</b>	<b>13;21;23</b>
A29 Comissionamento de equipamentos	5,500	25/12/05	02/01/06	24;28
A30 Comissionamento do MPCC	7,167	21/01/05	30/01/06	25
A31 Comissionamento final	4,333	30/01/06	06/02/06	29;30
<b>A32 FIM (marco)</b>	<b>0</b>		<b>07/03/06</b>	<b>31;22;26</b>

### 5.2.2 Modelo de decisão multicritério para gerenciamento de empreendimentos (prédios residenciais)

Este tópico apresenta um estudo relacionado ao problema de gestão de projetos para o caso da construção de prédios residenciais do tipo condomínio. Este estudo foi aplicado em uma empresa construtora brasileira. Os dados dessa simulação foram baseados em um edifício residencial com 17 pavimentos tipo. Para este estudo de caso, foram consideradas apenas duas etapas básicas: infra-estrutura e supra-estrutura. Nesse sentido, os dados deste estudo são baseados em valores reais, sendo, no entanto, modificada a escala.

Considerando o caso de uma empresa de pequeno porte, o problema da construção de prédios residenciais envolve apenas o setor de planejamento e execução do empreendimento.

Nesses sistemas, os condôminos têm forte presença em várias fases do processo de tomada de decisão. Por exemplo, eles podem interagir na escolha do tipo de cerâmica a ser utilizada no hall, estando as opções, entretanto, com restrições de custo ou cores. Há também a inclusão de serviços terceirizados no processo construtivo, tais como o uso de concreto usinado e a utilização do gesso ao invés de reboco convencional. No entanto, os condôminos e os serviços terceirizados não influenciam significativamente em mudanças do processo construtivo como um todo.

Devido ao longo prazo do processo de construção é difícil elaborar um planejamento detalhado das atividades de construção. Assim, na etapa de planejamento foi considerado um processo mais macro não havendo o interesse em detalhar cada uma das atividades.

Os dados dessa simulação foram baseados em um edifício residencial com 17 pavimentos tipo, sendo consideradas apenas duas etapas básicas: infra-estrutura e supra-estrutura. A definição dessas atividades foi realizada no processo de planejamento de empreendimentos.

O processo de construção pode ser representado por 203 atividades. No entanto, muitas dessas atividades podem ser resumidas por serem bastante semelhantes, como no caso da supra-estrutura em que se tem a construção de 17 pavimentos tipo. (apenas o primeiro pavimento é diferente). Assim, para o propósito do gerenciamento, foram consideradas as atividades da infra-estrutura e as atividades dos pavimentos 1 e 2 da supra-estrutura. Essas atividades podem ser visualizadas na Tabela 5.12.

O levantamento dos macroprocessos foi obtido mediante entrevistas com o responsável pelo empreendimento. Foram levantadas, também, as estimativas de tempo otimista, mais provável e pessimista. As atividades foram rotuladas, variando de A1 a A35. A Tabela 5.12 e a Figura 5.4 apresentam essas atividades.

Tabela 5.12. - Atividades da construção da subestação (duração e relações de precedência)

<b>Atividade</b>		<b>Duração</b> (dias úteis)	<b>Folga</b> (dias úteis)	<b>Predecessores</b>
<b>A1</b>	<b>Inicio Projeto de Prédio Residencial</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	
<b>A2</b>	<b>Infra-estrutura</b>	<b>91,25</b>	<b>0</b>	<b>1</b>
A3	Fundações em Estacas	20	17,62	2
A4	Escavação manual	22	17,62	3
A5	Arrasamento de Estacas	21	17,62	4
A6	Concreto não estrutural	3,23	17,62	5
A7	Forma (fabricação)	29,41	0	2
A8	Forma (alvoração)	66,67	0	6;7
A9	Aço CA-50 / CA-60 (material)	3,85	78,23	2
A10	Aço CA-50 / CA-60 (armação)	20	0	8;9
A11	Concreto Estrutural 30 MPa (fundação)	12,17	0	10
A12	Fim infra-estrutura	0	0	11
<b>A13</b>	<b>Supra-estrutura 1</b>	<b>19,45</b>	<b>0</b>	<b>12</b>
A14	Armação dos pilares	1,45	0	13
A15	Desmontagem e montagem das formas dos pilares	2,51	0	14
A16	Desmontagem e montagem das formas das vigas	3,33	0	15
A17	Desmontagem e montagem das formas da laje	5,34	0	16
A18	Concretagem dos pilares	1	0	17
A19	Armação de vigas e laje	5,69	0	18
A20	Concretagem das vigas e laje	1,58	0	19
<b>A21</b>	<b>Fim supre-estrutura</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>20</b>
<b>A22</b>	<b>Supra-estrutura 2</b>	<b>290,24</b>	<b>0</b>	<b>21</b>
<b>A23</b>	<b>2 Teto</b>	<b>18,14</b>	<b>0</b>	<b>21</b>
A24	Aço CA-50 / CA-60 (armação) - pilar	2	0	23
A25	Desmontagem de Formas - pilar do piso de baixo	1,42	0	24
A26	Montagem de Formas - pilar	2,08	0	25
A27	Aço (preparação para montagem) - laje e vigas	4	0	26
A28	Desmontagem de Formas - vigas do piso de baixo	1,5	1,92	26
A29	Montagem de Formas - vigas	2,83	0	27,28
A30	Desmontagem de Formas - laje do piso de baixo	2,42	0	29
A31	Montagem de Formas - laje	4,58	0	30
A32	Concreto Estrutural 30 MPa (estrutura) - pilar	0,92	0	31
A33	Aço (montagem) - laje e vigas	2,92	0	32
A34	Concreto Estrutural 30 Mpa (estrutura) - laje e vigas	0,89	0	33
<b>A35</b>	<b>3o. Teto</b>	<b>18,14</b>	<b>0</b>	<b>34</b>

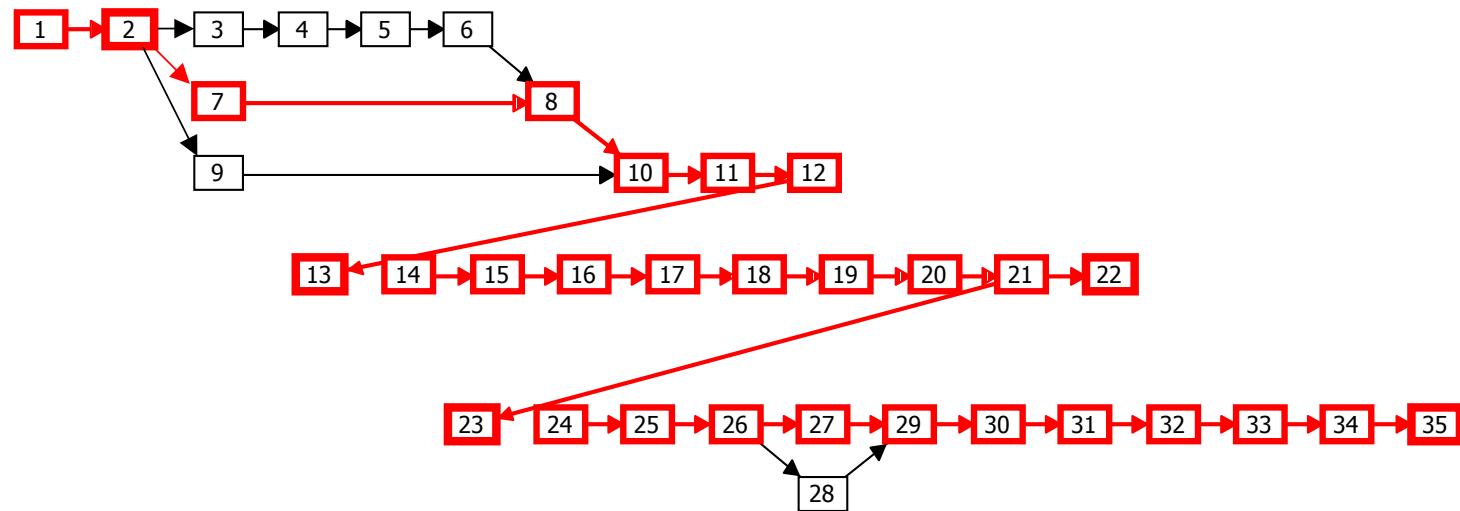


Figura 5.4. - Rede PERT/CPM – Prédio Residencial

### 5.2.2.1 Aplicação do modelo de gestão: Primeiro Procedimento.

A definição dos critérios relevantes para a gestão de prédios residenciais foi realizada por meio de entrevistas com o responsável pela obra.

Os aspectos considerados críticos pelo gerente do empreendimento são apresentados na Tabela 5.13.

Tabela 5.13. - Aspectos Críticos do Projeto

Critérios	Descrição	Tipo da escala
Duração	Quanto maior a duração das atividades mais difícil é de controlá-la.	Quantitativa
Mobilização de Recursos	Quantidade de recursos envolvidos para executar a atividade. Quanto maior, mais atenção requer a atividade	Qualitativa (1;3;5;7)
Desvio Padrão	Representa variância das atividades. Quanto maior a variância maior atenção no gerenciamento pois significa que há menos informações sobre as atividades.	Quantitativa
Custo	Custo total de execução das atividades. Quanto maior o custo maior atenção no gerenciamento	Quantitativa
Segurança	Algumas atividades apresentam maior grau de risco de acidentes, devendo receber maior atenção.	Qualitativa crescente (1;3;5)

O critério Segurança possui escala qualitativa, em que a nota 5 representa o maior grau de risco e a nota 1 o menor grau. O critério folga não foi considerado por não apresentar diferenças significativas entre as atividades, já que a maioria delas possui folga zero.

As avaliações de cada uma das atividades para cada um dos critérios são apresentadas na Tabela 5.14.

Tabela 5.14. - Valor das atividades da construção de predio residencial para os critérios considerados

Atividade	Duração (dias úteis)	Desvio Padrão	Custo	Recursos	Segurança
<b>A1 Inicio Projeto de Prédio Residencial</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	0	<b>0</b>
<b>A2 Infra-estrutura</b>	<b>91,3</b>	<b>0,0</b>	<b>118158,6</b>	0	<b>0</b>
A3 Fundações em Estacas	20,0	25,0	57000,0	3	5
A4 Escavação manual	22,0	0,0	194,2	1	1
A5 Arrasamento de Estacas	21,0	2,8	213,4	1	3
A6 Concreto não estrutural	3,2	4,0	359,6	7	5
A7 Forma (fabricação)	29,4	1,0	15380,2	9	1
A8 Forma (alvoração)	66,7	3,4	1309,5	3	1
A9 Aço CA-50 / CA-60 (material)	3,9	0,1	17061,0	7	1
A10 Aço CA-50 / CA-60 (armação)	20,0	2,3	2608,9	3	1
A11 Concreto Estrutural 30 MPa (fundação)	12,2	2,3	24031,9	5	5
<b>A12 Fim infra-estrutura</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	0	<b>0</b>
<b>A13 Supra-estrutura 1</b>	<b>12,5</b>	<b>0,0</b>	<b>18488,7</b>	0	<b>0</b>
A14 Armação dos pilares	1,5	0,0	1889,2	7	3
A15 Desmontagem e montagem das formas dos pilares	2,5	0,0	337,4	9	1
A16 Desmontagem e montagem das formas das vigas	3,3	0,1	458,4	9	1
A17 Desmontagem e montagem das formas da laje	5,3	0,1	732,5	9	1
A18 Concretagem dos pilares	1,0	0,0	2408,3	7	3
A19 Armação de vigas e laje	5,7	0,0	5203,7	7	3
A20 Concretagem das vigas e laje	1,6	0,0	7459,3	7	3
<b>A21 Fim supre-estrutura</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	0	<b>0</b>
<b>A22 Supra-estrutura 2</b>	<b>290,2</b>	<b>0,0</b>	<b>269089,9</b>	0	<b>0</b>
<b>A23 2 Teto</b>	<b>18,1</b>	<b>0,1</b>	<b>16818,1</b>	0	<b>0</b>
A24 Aço CA-50 / CA-60 (armação) - pilar	2,0	0,0	2432,3	7	3
A25 Desmontagem de Formas - pilar do piso de baixo	1,4	0,0	77,2	5	3
A26 Montagem de Formas - pilar	2,1	0,1	299,5	9	1
A27 Aço (preparação para montagem) - laje e vigas	4,0	0,1	4213,5	7	3
A28 Desmontagem de Formas - vigas do piso de baixo	1,5	0,0	90,9	5	1
A29 Montagem de Formas - vigas	2,8	0,0	352,4	9	1
A30 Desmontagem de Formas - laje do piso de baixo	2,4	0,0	147,9	5	1
A31 Montagem de Formas - laje	4,6	0,1	573,5	9	1
A32 Concreto Estrutural 30 MPa (estrutura) – pilar	0,9	0,0	1966,8	7	5
A33 Aço (montagem) - laje e vigas	2,9	0,0	466,7	3	3
A34 Concreto Estrutural 30 Mpa (estrutura) - laje e vigas	0,9	0,0	6197,4	7	5
<b>A35 3o. Teto</b>	<b>18,1</b>	<b>0,1</b>	<b>16818,1</b>	0	<b>0</b>

### 5.2.2.2 Aplicação do Método ELECTRE I: Visão geral do processo de gestão

A aplicação do modelo - Primeiro Procedimento, irá selecionar um conjunto de atividades críticas, que devem ser gerenciadas com maior atenção.

Os valores dos pesos dos critérios foram definidos pelo gerente (responsável da obra) e podem ser visualizados na Tabela 5.15.

Tabela 5.15. - Pesos dos Aspectos Críticos – Projeto SE

Critérios	Duração (dias úteis)	Desv Padrão	Custo	Recursos	Segurança	Total
Pesos	0,2	0,1	0,35	0,25	0,1	1

Para  $c = 0,8$  e  $d = 0,3$ , tem-se como resultado as seguintes atividades críticas (selecionadas como atividades críticas do processo de gestão com um todo):

#### Atividades Críticas:

- A3 - Fundações em Estacas
- A6 - Concreto não estrutural
- A7 - Forma (fabricação)
- A8 - Forma (alvoração)
- A9 - Aço CA-50 / CA-60 (material)
- A11 - Concreto Estrutural 30 MPa (fundação)
- A19 - Armação de vigas e laje
- A20 - Concretagem das vigas e laje
- A32 - Concreto Estrutural 30 MPa (estrutura) - pilar
- A34 - Concreto Estrutural 30 Mpa (estrutura) - laje e vigas

Ao longo do processo de execução provavelmente serão essas atividades críticas que apresentarão alguma complicação na construção. Essas atividades selecionadas merecem maior atenção.

### 5.2.2.3 Aplicação do Modelo de Gestão: Segundo Procedimento

Esse procedimento deve ser utilizado ao longo do processo de execução para selecionar as atividades críticas do período de estudo. Foi definido um período trimestral, pois a duração média das atividades é maior que um mês. As Tabelas 5.16 a 5.18 apresentam um resumo da aplicação.

Tabela 5.16. - Resumo das atividades do trimestre 1: atividades selecionadas em PR

1	Trimestre 1	Duração	Início	Término	Predecessor
A1	<b>Inicio Projeto de Prédio Residencial</b>	<b>0</b>	<b>28/5/01</b>	<b>28/5/01</b>	-
A2	<b>Infra-estrutura</b>	<b>91,25</b>	<b>28/5/01</b>	<b>2/10/01</b>	<b>1</b>
A3	<b>Fundações em Estacas</b>	<b>20</b>	<b>28/5/01</b>	<b>22/6/01</b>	<b>2</b>
A4	Escavação manual	22	28/5/01	26/6/01	3
A5	Arrasamento de Estacas	21	29/5/01	27/6/01	4
A6	Concreto não estrutural	3,23	7/6/01	12/6/01	5
A7	Forma (fabricação)	29,41	28/5/01	6/7/01	2
A8	Forma (alvoração)	66,67	18/6/01	19/9/01	6;7
A9	Aço CA-50 / CA-60 (material)	3,85	28/5/01	31/5/01	2

Tabela 5.17. - Resumo das atividades do trimestre 2: atividades selecionadas em PR

2	Trimestre 2	Duração	Início	Término	Predecessor
A8	<b>Forma (alvoração)</b>	<b>66,67</b>	<b>18/6/01</b>	<b>19/9/01</b>	<b>6;7</b>
10	Aço CA-50 / CA-60 (armação)	20	3/9/01	1/10/01	8;9
11	<b>Concreto Estrutural 30 MPa (fundação)</b>	<b>12,17</b>	<b>14/9/01</b>	<b>2/10/01</b>	<b>10</b>
12	<b>Fim infra-estrutura</b>	<b>0</b>	<b>2/10/01</b>	<b>2/10/01</b>	<b>11</b>
13	<b>Supra-estrutura 1</b>	<b>19,45</b>	<b>2/10/01</b>	<b>29/10/01</b>	<b>12</b>
14	Armação dos pilares	1,45	2/10/01	3/10/01	13
15	Desmontagem e montagem das formas dos pilares	2,51	2/10/01	4/10/01	14
16	Desmontagem e montagem das formas das vigas	3,33	4/10/01	10/10/01	15
17	<b>Desmontagem e montagem das formas da laje</b>	<b>5,34</b>	<b>10/10/01</b>	<b>17/10/01</b>	<b>16</b>
18	Concretagem dos pilares	1	17/10/01	18/10/01	17
19	<b>Armação de vigas e laje</b>	<b>5,69</b>	<b>18/10/01</b>	<b>26/10/01</b>	<b>18</b>
20	<b>Concretagem das vigas e laje</b>	<b>1,58</b>	<b>26/10/01</b>	<b>29/10/01</b>	<b>19</b>

Tabela 5.18. - Resumo das atividades do trimestre 3: atividades selecionadas em PR

3	Trimestre 3	Duração	Início	Término	Predecessor
A22	<b>Supra-estrutura 2</b>	<b>290,24</b>	<b>29/10/01</b>	<b>9/12/02</b>	<b>21</b>
A23	<b>2 Teto</b>	<b>18,14</b>	<b>29/10/01</b>	<b>22/11/01</b>	<b>21</b>
A24	Aço CA-50 / CA-60 (armação) - pilar	2	29/10/01	31/10/01	13
A25	Desmontagem de Formas - pilar do piso de baixo	1,42	31/10/01	2/11/01	24
A26	Montagem de Formas - pilar	2,08	31/10/01	2/11/01	25
A27	Aço (preparação para montagem) - laje e vigas	4	31/10/01	6/11/01	26
A28	Desmontagem de Formas - vigas do piso de baixo	1,5	2/11/01	6/11/01	26
A29	Montagem de Formas - vigas	2,83	6/11/01	9/11/01	27;28
A30	Desmontagem de Formas - laje do piso de baixo	2,42	9/11/01	13/11/01	29
A31	<b>Montagem de Formas - laje</b>	<b>4,58</b>	<b>9/11/01</b>	<b>16/11/01</b>	<b>30</b>
A32	<b>Concreto Estrutural 30 MPa (estrutura) - pilar</b>	<b>0,92</b>	<b>16/11/01</b>	<b>19/11/01</b>	<b>31</b>
A33	Aço (montagem) - laje e vigas	2,92	19/11/01	21/11/01	32
A34	<b>Concreto Estrutural 30 Mpa (estrutura) - laje e vigas</b>	<b>0,89</b>	<b>21/11/01</b>	<b>22/11/01</b>	<b>33</b>
A35	<b>3 Teto</b>	<b>18,14</b>	<b>22/11/01</b>	<b>18/12/01</b>	<b>34</b>

As atividades em vermelhos foram as selecionadas como críticas.

### 5.3 SAD para a seleção de atividades críticas no gerenciamento de empreendimentos

Foi desenvolvido um Sistema de Apoio a Decisão (SAD) para suportar o processo de gestão de empreendimentos estabelecido acima, com o objetivo de facilitar a aplicação do modelo de gestão de empreendimentos desenvolvido. Esse sistema permite realizar uma análise mais refinada do problema por meio dos módulos de análise de sensibilidade e geração de relatórios (Miranda *et al.*, 2004).

Um Sistema de Apoio a decisão (SAD) é um sistema de informação utilizado para dar suporte a um tomador de decisão em qualquer nível, face a problemas semi-estruturados e não-estruturados (Davis e Olson, 1985; Shim *et al.*, 2002).

Um SAD é composto por uma base de dados – que auxilia o sistema –, uma base de modelos – que provê a capacidade de análise – e o diálogo – que permite a interação entre o usuário e o sistema. Essa é a arquitetura de um SAD (Bidgoli, 1989; Sprague, 1989). A relação entre esses elementos pode ser visualizada na Figura 5.5.

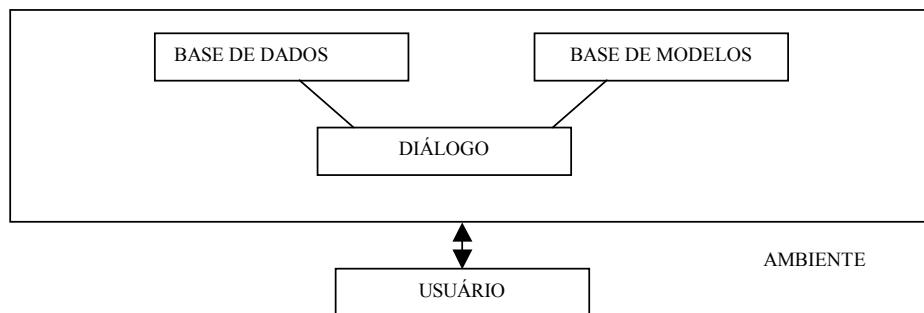


Figura 5.5. - Arquitetura de um SAD

O elemento base de dados é responsável pelo armazenamento, em um local físico, de dados consistentes e de valor significativo para toda a organização. A base de dados do SAD desenvolvido é composta pelos dados provenientes dos projetos em análise, as avaliações das atividades em relação aos critérios considerados e os dados dos parâmetros do modelo, apresentando as preferências do tomador de decisão.

O elemento base de modelos é construído mediante uma série de elementos e suas relações (Smith, 1988). A base de modelos do SAD desenvolvido é composta pelo modelo de decisão multicritério ELECTRE I apresentado no item anterior. Essa base também permite a análise de cenários.

O diálogo é definido como uma combinação de *software*, *hardware* e pessoas que permite uma interação entre o usuário e o SAD. Trata-se do componente mais importante para o usuário, pois, para ele o diálogo é a forma como o sistema opera e funciona. O usuário busca a simplicidade e a funcionalidade da interface; assim, o sistema foi montado a partir do *Microsoft Project 2000*, considerando que o usuário já está bastante familiarizado com *software*. As telas do diálogo e o processo de interação com o usuário são apresentados a seguir.

As principais razões que justificam a construção de um SAD são: a complexidade do processo decisório, a relação interativa existente entre o SAD e o usuário, a atenção do decisor voltada para o problema e não para os métodos de resolução, fornecimento rápido das respostas e possibilidade da geração de cenários, por meio dos quais o usuário poderá analisar as diversas alternativas de solução do problema.

Nesse contexto, o SAD desenvolvido tem o intuito de auxiliar o processo de gestão de empreendimentos, buscando a eficácia da tomada de decisão. Esse sistema foi construído utilizando a linguagem *Visual Basic for Applications* integrada com o *Microsoft Project 2000*, que é uma das ferramentas computacionais mais utilizadas para tratar de problemas de gerenciamento de projetos,

Esse sistema caracteriza-se por uma flexibilidade de operações, com o foco no diálogo direto, o que permite ao próprio decisor operar o SAD. No entanto existe a possibilidade de uma terceira pessoa operar, gerar relatórios e interpretá-los para o decisor, ocorrendo assim um diálogo indireto.

O sistema foi desenvolvido de tal maneira que apóia facilmente os dois procedimentos do processo de gestão de projetos apresentados nos itens acima. A execução do aplicativo permite selecionar as atividades críticas do processo de gestão nos dois momentos em estudo: no primeiro, para se ter uma visão geral do problema; no segundo, para selecionar as atividades críticas durante a execução do empreendimento. A Figura 5.6 apresenta a tela inicial do SAD. Os dados de entrada do modelo (desempenho de cada uma das atividades para cada um dos critérios) são obtidos diretamente do *MS Project*.

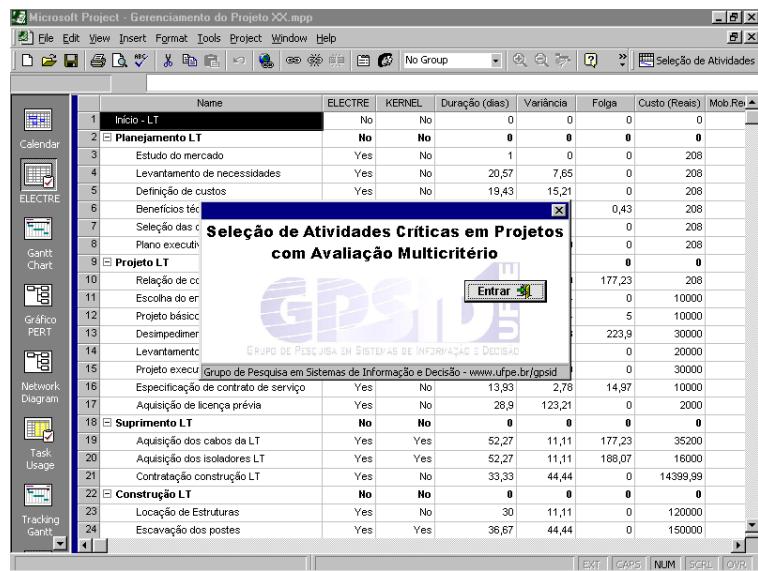


Figura 5.6. - Tela inicial do Sistema de Apoio a decisão

A tela principal de interação com o usuário é apresentada na Figura 5.7. Essa tela exibe um formulário de entrada de dados (valores dos parâmetros do modelo) e saída dos resultados, no qual o usuário entrará com os parâmetros nos campos indicados, dando início ao cálculo da seleção das atividades por meio do método multicritério ELECTRE I. Nesse momento, o usuário poderá visualizar o resultado diretamente no formulário ou numa coluna de uma planilha do *Microsoft Project*.

The figure shows a dialog box titled 'Seleção de Atividades Críticas em Projetos com Avaliação Multicritério'. On the left, there is a 'Parâmetros' section with input fields for 'Peso dos Critérios' (Duração: 75, Variância: 50, Folga: 115, Custo: 125, Mob. Recursos: 60, Imp. Comiss.: 55) and 'KERNEL' (Límitares: p: 0.95, q: 0.12). In the center, there is a 'Calcular' button and a 'Cenários' button. On the right, the 'KERNEL' section displays a list of activities: Desimpedimento da faixa de passagem; Aquisição dos cabos da LT; Aquisição dos isoladores LT; Escavação dos postes; Implantação dos postes; Montagem de Estrutura;. At the bottom, there is a footer with the text 'Grupo de Pesquisa em Sistemas de Informação e Decisão - www.ufpe.br/gpsid - gpsidsup@ufpe.br'.

Figura 5.7. - Formulário de entrada de dados e saída dos resultados

Para uma análise mais detalhada do resultado, o sistema possibilita a geração de cenários, mediante os quais os usuários poderão analisar as alterações ocorridas nas variáveis de saída em função de modificações dos valores dos parâmetros de entrada, isto é, poderão ser analisadas quais as atividades que permanecem ou não críticas quando se fazem alterações nas variáveis de entrada do modelo.

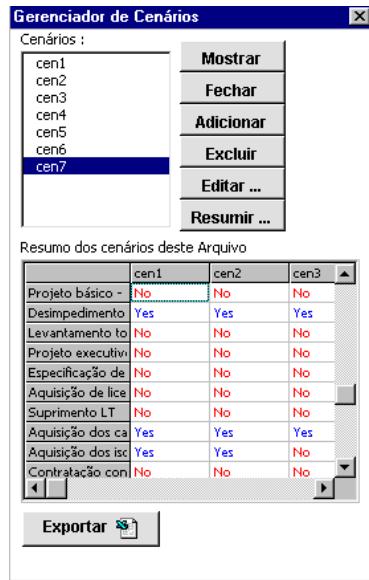


Figura 5.8. - Gerenciador de Cenários

No formulário da Figura 5.8, o usuário pode adicionar, excluir, editar e visualizar os resultados de um cenário no formulário inicial. A opção resumir do sistema apresenta os parâmetros de todos os cenários acompanhados de seus respectivos resultados numa matriz. O *software* possibilita ainda a exportação do resumo para o *Microsoft Excel* para a elaboração de futuros relatórios.

Como resultado desse processo de seleção por meio do método ELECTRE I, obtém-se um conjunto de atividades que foram consideradas críticas mediante critérios como custo, duração, segurança, além da folga. O sistema, no entanto, requer um treinamento prévio dos usuários em relação à metodologia multicritério empregada.

## 6 MODELO MULTICRITÉRIO NA GESTÃO DE PROJETOS – PROBLEMÁTICA DE CLASSIFICAÇÃO

Este capítulo aborda o processo de gestão de projetos com modelagem multicritério de classificação. O processo de gestão de projetos, nesse caso, envolve a classificação das atividades em três formas diferentes de gerenciamento (numa visão integrada dos projetos de uma organização). A seleção das atividades mais críticas ainda é importante, mas tem um sentido diferente.

A etapa de gestão de um projeto, envolvendo todo o processo de acompanhamento, controle e reavaliações, pode ser realizada de diversas formas. Projetos complexos, tais como grandes empreendimentos de construção civil - por exemplo, a construção de um conjunto habitacional – requerem um alto esforço, tanto das questões técnicas quanto das administrativas

Por exemplo, na fase de gestão é preciso organizar a forma como será realizado o pedido de material, estabelecer contratos com os fornecedores, estabelecer como será feita a disponibilização dos equipamentos, a solicitação de permissões especiais junto a órgãos públicos, assim como tomar medidas para executar as atividades dentro do tempo e custo definidos.

As atividades de um projeto, dependendo de suas características, podem requerer uma forma mais refinada de gerenciamento, de tal forma que seja imprescindível aplicar modelos da pesquisa operacional para otimizar sua execução ou resolver conflitos. Tome-se como exemplo a alocação mais detalhada de pessoal para executar uma atividade. Nesse caso, seria importante tomar medidas proativas para resolver possíveis problemas.

Por outro lado, um outro conjunto de atividades mereceria um gerenciamento eficaz, isto é, tomar medidas para desempenhar as atividades de acordo com os objetivos estabelecidos. Nesse caso, o uso de sistemas de informação seria importante para facilitar as tarefas de acompanhamento e controle. Um exemplo seria as atividades de pedido de material, interrelacionadas com os fornecedores, para que os materiais chegassem no tempo certo e a um custo baixo.

Por fim, outro conjunto de atividades poderia ser gerenciado por meio de métodos mais simples, como a maioria das atividades administrativas. Nesse caso, é importante fazer um acompanhamento das atividades de forma a realizá-las no tempo certo.

Na etapa de gestão, no momento em que se inicia a execução do projeto, a programação das atividades pode ser mais refinada, como na proposta do planejamento hierárquico. Dependendo do contexto do problema, o grau de detalhes da programação das atividades pode ser alto, gerando um problema bastante complexo.

A necessidade de haver diferentes formas de gerenciamento em um mesmo projeto é devido à complexidade do projeto, as incertezas e o grande número de atividades envolvidas. Em geral, diferentes formas de gestão, atualmente, são aplicadas implicitamente, sem uma avaliação prévia das atividades ou um estudo do problema, sendo essa tarefa baseada apenas na experiência do gerente. Uma análise dessas questões pode ajudar a tratar cada uma das atividades com métodos adequados de gerenciamento, em função das especificidades das atividades e permitindo usar melhor os conhecimentos do gerente, adquiridos com a sua experiência em projetos anteriores.

As ferramentas de gestão disponíveis não visualizam esse problema, e restringem-se a determinar o caminho crítico com base nas folgas das atividades. A identificação das atividades críticas é baseada em função do prazo do projeto, sem considerar outros fatores que podem ocasionar falhas no gerenciamento.

Para determinar como as atividades devem ser gerenciadas podem-se utilizar as ferramentas de apoio multicritério à decisão, envolvendo um estudo inicial dos aspectos que levam uma atividade a ser gerenciada de maneira mais refinada ou mais simples. Essas características podem variar de projeto para projeto. No entanto, muitas das conclusões são obtidas com o uso dos métodos multicritérios e podem servir de base ou referência para outros projetos.

Cabe ressaltar que a técnica PERT/CPM ainda é importante para a implementação da metodologia proposta. Seu uso se estende desde a fase de planejamento até a fase de gestão, sendo, no entanto, utilizada em conjunto com uma metodologia de apoio multicritério à decisão, incorporando aspectos característicos do projeto e permitindo tratar o problema de forma mais realista.

Nesse caso, as atividades são classificadas em função de suas características em relação a formas de gestão, de modo que os esforços em otimizar a execução das tarefas sejam concentrados naquelas atividades que precisam de uma maior atenção no processo gerencial.

Para determinar a classificação das atividades, é aplicada a técnica PERT/CPM e, em seguida, inserem-se os fatores que fazem diferir as atividades quanto à forma gerencial. A classificação das atividades é determinada mediante a aplicação do método de apoio multicritério à decisão ELECTRE TRI.

## 6.1 Classificação de Atividades para o gerenciamento de empreendimentos

A classificação das atividades em diferentes enfoques gerenciais pode ser realizada por meio de métodos multicritérios de apoio a decisão, os quais consideram mais de um critério simultaneamente. Diversos fatores podem ser considerados para discriminar as categorias, tais como: custo, quantidade de pessoal necessário para executar a atividade, necessidade de habilidades específicas para executar a atividade, uso de novas tecnologias, uso de equipamentos, mobilização de recursos materiais, envolvimento com organizações externas, experiência na execução da atividade, dentre outros que podem influenciar no sucesso do projeto.

O modelo de classificação das alternativas deve ser aplicado em dois momentos distintos: um pouco antes de se iniciar a execução do projeto e, periodicamente, para considerar as variações nas performances das atividades. O segundo momento de aplicação deve ser considerado quando se estão gerenciando projetos de longa duração e que sofrem grande influência de variáveis externas.

### 6.1.1 Descrição do modelo de classificação – primeiro procedimento

A aplicação inicial do modelo tem como objetivo classificar as atividades em três categorias distintas, em função da necessidade de gerenciamento. Essas categorias são definidas pelo gerente do empreendimento (ou responsável, ou grupo de decisores interessados no projeto). No entanto, algumas características possam servir de padrão para outros projetos.

Para a aplicação do modelo, entende-se que o gerente tem em mãos a rede de atividades, construída por meio da técnica PERT/CPM. A etapa fundamental do modelo é a definição dos

critérios que irão representar os aspectos característicos em relação à forma gerencial e à definição dos limites desses critérios, que determinam uma forma gerencial mais refinada ou não. A classificação das atividades pode então ser realizada por meio da aplicação do método multicritério ELECTRE TRI.

Esse modelo de gerenciamento de projetos pode ser visualizado no esquema a seguir (Figura 6.1).

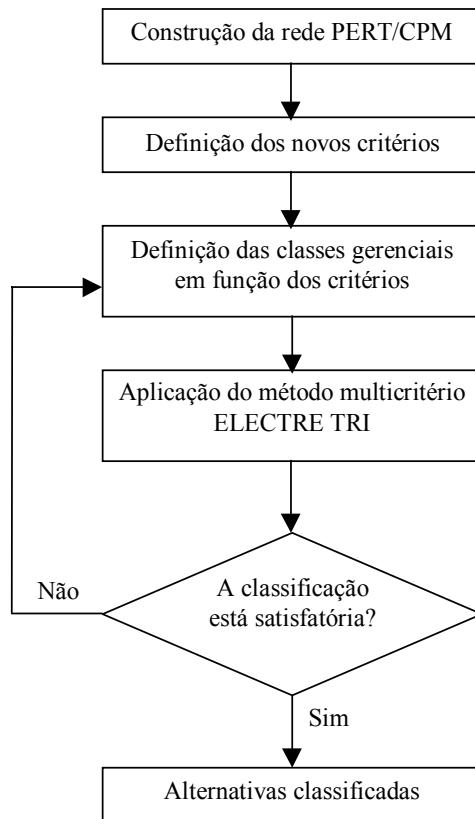


Figura 6.1. - Modelo de Gerenciamento de Projetos – classificação

A definição das classes gerenciais pode ser realizada por meio de um processo interativo. O decisor (gerente ou responsável) pode aplicar o método para diferentes valores dos perfis das classes e verificar a recomendação, tomando-se como ponto inicial do processo a divisão da escala em três classes de tamanhos iguais, para cada um dos critérios.

Vale salientar que a aplicação do modelo proposto ajuda o gerente a entender o problema, a aprender sobre suas prioridades e as prioridades da organização, e a explorar seus valores e objetivos de forma a servir como um guia na identificação de uma recomendação.

Após a definição dos critérios e dos limites das classes, são levantadas as avaliações de todas as atividades para todos os novos critérios. Aplica-se o método multicritério e classificam-se as atividades (Gomes *et al*, 2002; Roy, 1996; Vincke, 1992).

### 6.1.2 Segundo Procedimento

Esse procedimento deve ser utilizado periodicamente, conforme seja a duração do projeto. Nesse caso, entende-se que a atenção gerencial deve ser reavaliada quando acontecem mudanças significativas no processo gerencial, durante a execução do empreendimento.

Devido às incertezas do processo de planejamento pode ser necessário reprogramar parte ou todo o conjunto de atividades do projeto, ou seja, fazer um replanejamento total. Isso é necessário quando grandes mudanças ocorrem durante o processo de execução do projeto. Nesse caso, a classificação das atividades em classes gerenciais não ajudaria a solucionar/diminuir o problema. Seria necessário repensar os objetivos e propor uma nova programação das atividades. Essa é uma característica interativa do processo de planejamento e gestão de projetos. O processo de gestão proposto pode ser visualizado na Figura 6.2.

A idéia desse segundo momento de estudo é a mesma daquela apresentada no capítulo anterior. Faz-se o levantamento das atividades em desenvolvimento no período (p) de estudo, que, nesse caso, deve ser feito para grandes períodos, como trimestral, semestral e até anual, dependendo das necessidades do gerente e da complexidade do problema.

Em seguida, são levantados os dados referentes a essas atividades. Devido às incertezas do planejamento, pode haver mudanças no cronograma atual. Caso não haja mudança nos dados, espera-se manter a mesma classificação realizada no primeiro momento. No entanto, mesmo assim, devido à experiência do gerente na execução das atividades do período passado e à inclusão de novas informações no modelo, pode-se chegar a uma classificação diferente.

Em outra ocasião, quando há uma mudança muito grande na programação das atividades, pode ser necessário um replanejamento geral da programação. Nesse caso, novas informações ou restrições ao processo de execução das atividades são inseridas na programação e/ou pode haver mudanças nos objetivos estratégicos do negócio.

Estabelecidas as atividades e suas respectivas informações, aplica-se o método de apoio multicritério à decisão ELECTRE TRI. Nesse caso, pode ser necessário fazer ajustes no modelo, como mudanças em alguns parâmetros. Como resultado, obtém-se a classificação das atividades.

Em seguida, faz-se o monitoramento do desempenho das atividades executadas. Caso haja uma grande disparidade entre o que foi programado e o que foi executado, é necessário replanejar as atividades. Nesse caso, pode ser necessário reiniciar o procedimento 1 para gerar uma nova rede de tempo e precedências e redefinir objetivos.

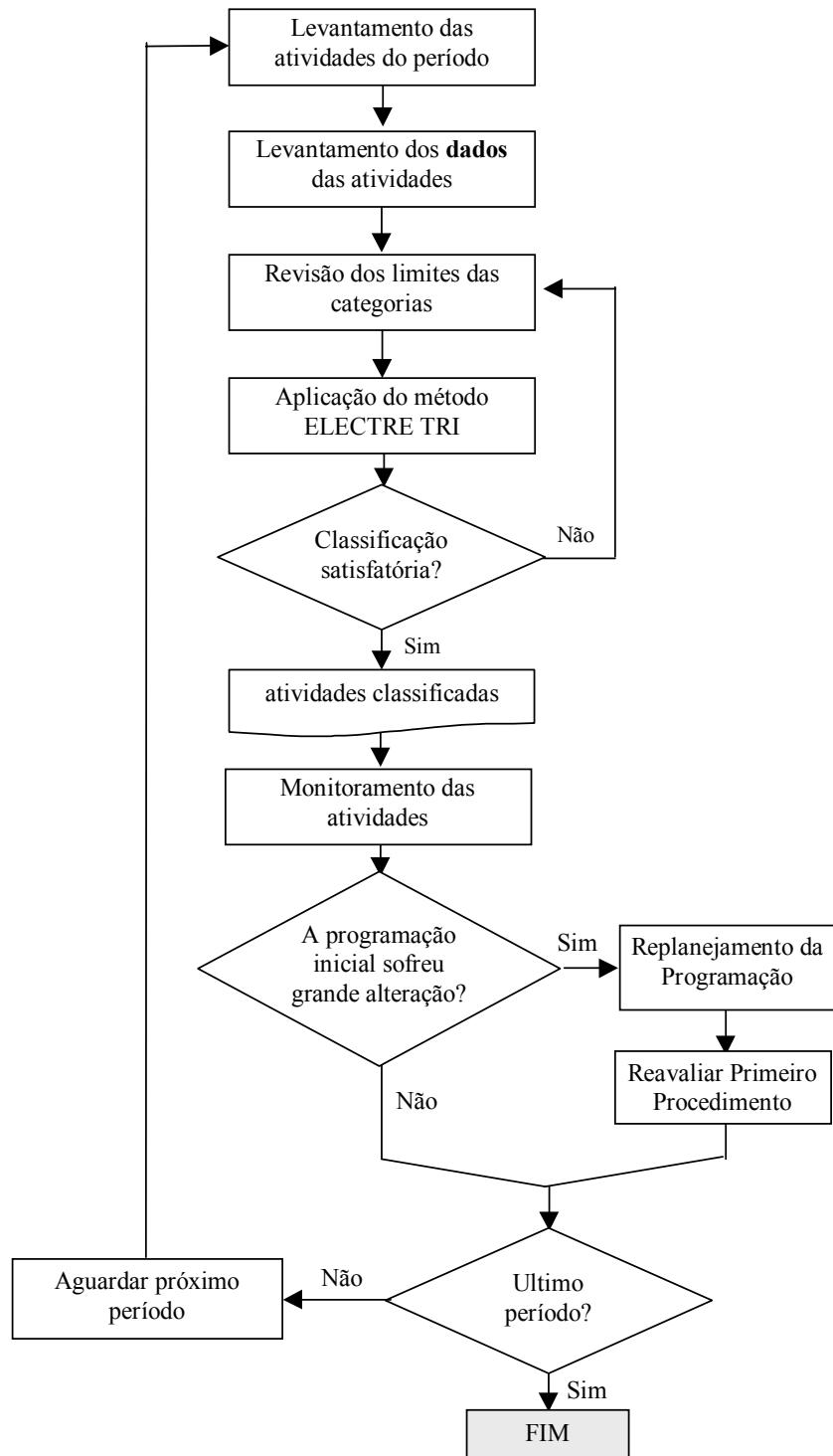


Figura 6.2. - Modelo de Gerenciamento de Projetos – etapa 2

Encontrado o resultado, o modelo é reaplicado no período de estudo a seguir, aguardando uma data próxima à execução. Isso é feito até o último período de estudo. Cabe lembra que em um próximo período as atividades podem ser classificadas em classes diferentes.

No processo de planejamento e gestão de empreendimentos, é comum haver mudanças durante o processo de execução. Isso se deve ao longo período de execução e às incertezas inerentes ao processo. Quanto mais longo o projeto, mais chances há de variar o que foi planejado em relação ao que será executado.

## 6.2 Estudo de caso

O estudo desenvolvido está relacionado ao processo de gestão de empreendimentos com avaliação multicritério, atendendo a múltiplos critérios, envolvendo prazos, custos e aspectos relacionados ao desempenho futuro de uma organização do setor de energia elétrica. O estudo deve envolver todo o plano de empreendimentos dessa organização, numa visão integrada. Porém, a título de visualização da aplicação da metodologia proposta, é apresentado o caso de um único empreendimento – a construção de uma subestação elétrica.

Nesse caso, é apresentada uma simulação da aplicação do modelo de gestão desenvolvido para a classificação das atividades do projeto. Essa simulação é realizada a partir de dados reais.

O processo de gestão da construção de uma subestação pode ser bastante complexo por envolver a participação de vários departamentos - internos a organização - além da participação de outras organizações externas. Devido ao grande número de atividades e setores a serem gerenciados, é interessante fazer um estudo inicial macro e, então, detalhar aquelas atividades que necessitam de um gerenciamento mais refinado.

O estudo inicial do processo de gestão da construção de uma subestação deve ser tratado numa visão macro das atividades do projeto devido à complexidade do problema, que deve envolver a participação de vários departamentos - internos a organização - além da participação de outras organizações externas. O detalhamento das atividades pode ser realizado após a aplicação do modelo de gestão, concentrando-se naquelas atividades que necessitam de um gerenciamento mais refinado.

Foi considerado o método multicritério ELECTRE TRI, especialmente desenvolvido para tratar problemáticas de classificação, finalidade desse problema.

### 6.2.1 Estruturação do problema

Esta simulação refere-se às atividades levantadas nos capítulos 4 e 5 desta tese. Foram identificadas 25 atividades que podem ser visualizadas na Tabela 6.1.

Tabela 6.1. - Atividades da construção da subestação (duração e relações de precedência)

Atividade		Duração (dias úteis)	Estimativa Otimista	Estimativa Mais Provável	Estimativa Pessimista	Predecessores
<b>A1</b>	<b>Início</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>A2</b>	<b>Projeto da subestação</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
A3	Relação de compras	30	20	30	40	1
A4	Escolha do terreno	29,97	13,4	26,6	60	1
A5	Projeto básico	22,23	13,4	20	40	1
A6	Aquisição do terreno (negociação)	11,4	5	10	23,4	4
A7	Projeto Executivo Telecomunicação	31,1	26,6	30	40	4
A8	Projeto executivo civil	27,73	20	26,6	40	4;5
A9	Projeto executivo eletromecânico	30	20	30	40	4;5
A10	Projeto executivo MPCC	40,57	23,4	40	60	5
A11	Especificação de contrato de serviço	10,57	3,4	10	20	7;8;9;10
<b>A12</b>	<b>Suprimento da subestação</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
A13	Aquisição do componente	40,57	23,4	40	60	3
A14	Formalização da aquisição do terreno	38,93	20	23,4	120	6
A15	Contratação da construção	38,9	23,4	40	50	11
<b>A16</b>	<b>Construção da subestação</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
A17	Terraplenagem	28,9	20	30	33,4	14;15
A18	Instalação da Malha de terra	20	13,4	20	26,6	14;15
A19	<i>Fim (terrapple e malha terr)</i>	0	0	0	0	18;17
A20	Bases	20,57	13,4	20	30	19
A21	Casa de comando	22,77	16,6	20	40	19
A22	Via de acesso	40,57	23,4	40	60	19
A23	Canaletas	38,33	23,4	40	46,6	19
A24	Equipamentos	22,77	16,6	20	40	13;20;21
A25	Montagem do MPCC	26,1	16,6	20	60	13;21;23
A26	Barramentos	17,27	10	13,4	40	13;20
<b>A27</b>	<b>Comissionamento da subestação</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
A28	Comissionamento Malha de terra	3,167	2	3	5	18
A29	Comissionamento de equipamentos	5,5	3	5	10	24;28
A30	Comissionamento do MPCC	7,167	5	7	10	25
A31	Comissionamento final	4,333	3	4	7	29;30
<b>A32</b>	<b>Fim -</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>31;22;26</b>

### 6.2.1.1 Aplicação do primeiro procedimento - construção do modelo.

A aplicação inicial do modelo tem como objetivo classificar as atividades em três categorias distintas, em função da necessidade de gerenciamento. Essas categorias são definidas pelo gerente do empreendimento.

A definição dos critérios discriminantes das classes gerenciais é fator fundamental para a construção do modelo. Esses fatores são definidos pelo gerente do empreendimento com a ajuda do analista de decisão, por meio de entrevistas e discussões sobre o problema. Entretanto, outras metodologias podem ser consideradas, como apresentado em Belton e Stewart (2002).

Nesse sentido, inicialmente, foram considerados os seguintes fatores: custo, mobilização de recursos materiais, impacto no comissionamento, qualificação do pessoal, experiência na execução da atividade. Esses fatores foram considerados importantes para alocar cada uma das atividades às classes gerenciais. No entanto, os critérios considerados podem ser reavaliados para representar melhor o problema. A descrição desses critérios é apresentada na Tabela 6.2.

As três classes gerenciais são:

C1 – Classe 1: é destinado àquelas atividades que podem ser gerenciadas por um subordinado, ou por possuírem um padrão já definido para sua execução, não sendo necessário muito esforço para o seu gerenciamento, ou por não serem críticas. Essas atividades devem ser executadas no tempo certo, e de acordo com as especificações atribuídas, de tal forma que não gerem problemas para a rede como um todo.

C2 – Classe 2: esta classe corresponde a uma dúvida entre a classe 1 e a classe 3. Nesse caso, o gerente poderia decidir gerenciar, ele mesmo, a execução das atividades, porém com uma prioridade menor ou, poderia acompanhar a execução dessas, mas delegando a tarefa a um subordinado.

C3 – Classe 3: é destinado àquelas atividades que necessitam de um estudo mais refinado para o processo de gerenciamento. O gerente deve focar sua atenção na execução correta dessas atividades. Nesse caso, acredita-se que a execução dessas atividades é mais complexa, por haver muitos recursos envolvidos, ou devido à quantidade de pessoas (com diferentes habilidades) para serem gerenciadas, por ter um custo elevado ou, por outro lado, por não se ter muita experiência na execução dessa atividade.

Tabela 6.2. - Aspectos Críticos do Projeto SE

Critérios	Descrição	Escala	Objetivo
Pessoal qualificado envolvido	Refere-se à necessidade de envolver pessoal de alta qualificação técnica em diferentes áreas. (O maior valor na escala representa maior necessidade de pessoal.)	Qualitativa 1;3;5;7;9	Maximizar
Mobilização de Recurso	Dificuldade na mobilização de recursos, isto é, de reunir e alocar os recursos necessários à execução da atividade. Quanto maior, mais atenção requer a atividade. (O maior valor na escala representa a maior necessidade de recursos.)	Qualitativa 1;3;5;7;9	Maximizar
Experiência na execução da atividade	Representa a experiência anterior na execução da atividade, ou as informações que existem sobre a atividade. (O maior valor na escala representa a menor experiência.)	Qualitativa 1;3;5;7;9	Maximizar
Custo	Custo total de execução da atividade. Quanto maior o custo, maior a importância a ser dada ao processo gerencial.	Quantitativa	Maximizar
Grau de Impacto no comissionamento	O grau de impacto no comissionamento representa a possibilidade de a atividade apresentar problemas na fase de comissionamento. (O maior valor na escala representa o maior impacto.)	Qualitativa 1;3;5;7;9	Maximizar

A Tabela 6.3 apresenta o valor das atividades para cada um dos critérios de classificação.

Tabela 6.3. - Valor das atividades para cada um dos critérios

Atividade	Experiê- ncia	Pessoal	Custo	Mobilização de recursos	Impacto no comissionamento
<b>A1 Início</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>A2 Projeto da subestação</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
A3 Relação de compras	3	1	580,00	3	1
A4 Escolha do terreno	7	5	1150,00	3	1
A5 Projeto básico	5	9	5800,00	1	1
A6 Aquisição do terreno (negociação)	3	3	1150,00	3	1
A7 Projeto Executivo Telecomunicação	3	9	11550,00	3	7
A8 Projeto executivo civil	3	9	11440,00	3	1
A9 Projeto executivo eletromecânico	3	9	11450,00	3	7
A10 Projeto executivo MPCC	5	9	11500,00	5	9
A11 Especificação de contrato de serviço	3	9	1140,00	3	7
<b>A12 Suprimento da subestação</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
A13 Aquisição do componente	7	1	114400,00	7	5
A14 Formalização da aquisição do terreno	9	5	114450,00	1	1
A15 Contratação da construção	5	5	114395,00	7	1
<b>A16 Construção da subestação</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
A17 Terraplanagem	3	5	57200,00	3	1
A18 Instalação da Malha de terra	1	9	57250,00	7	3
A19 <i>Fim (terraplanagem e malha terra)</i>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
A20 Bases	3	7	57185,00	3	1
A21 Casa de comando	3	7	114425,00	3	1
A22 Via de acesso	5	5	34320,00	1	1
A23 Canaletas	3	9	11440,00	1	3
A24 Equipamentos	3	9	993030,00	7	9
A25 Montagem do MPCC	7	9	302030,00	9	9
A26 Barramentos	5	7	915253,00	3	3
<b>A27 Comissionamento da subestação</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
A28 Comissionamento Malha de terra	1	5	22880,00	1	1
A29 Comissionamento de equipamentos	1	7	22890,00	3	1
A30 Comissionamento do MPCC	1	9	22875,00	7	1
A31 Comissionamento final	1	9	22900,00	7	1
<b>A32 Fim -</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

Tendo levantado o desempenho das atividades para cada um dos critérios, passa-se a definição dos perfis das classes gerenciais. Esses perfis representam o limite inferior e superior da categoria C2. O perfil 1 (b1), representa o limite superior da categoria C1 e o limite inferior da categoria C2, e o perfil 2 (b2), representa o limite superior da categoria C2 e o limite inferior da categoria C3.

A definição inicial dos valores dos perfis das classes pode ser visualizada na Tabela 6.4 abaixo. Esses valores foram definidos de forma que as atividades com maior necessidade de envolver pessoal, maior dificuldade na mobilização de recursos, menor experiência, maior custo e maior grau de impacto no comissionamento fossem classificadas nas categorias mais altas, isto é, C3 seguida de C2. Aquelas atividades com performances contrárias ao estabelecido acima, seriam classificadas na categoria C1, sendo essa classe composta por atividades menos complexas.

Tabela 6.4. - Perfis das classes

Perfil	Experiência	Pessoal	Custo	Mobilização de recursos	Impacto no comissionamento
<b>b1</b>	3	3	10.000	5	3
<b>b2</b>	5	5	50.000	7	7

Os limiares de preferência  $p_j[g(b_h)]$ , indiferença  $q_j[g(b_h)]$  e de voto  $v_j[g(b_h)]$  são apresentados na Tabela 6.5. Para os critérios qualitativos, o limiar de indiferença foi definido de tal forma que são considerados indiferentes apenas as atividades com mesmo valor e a preferência é estabelecida caso haja alguma diferença. O voto também foi desconsiderado para esses critérios. Apenas o critério quantitativo “Custo” teve os limiares definidos.

Tabela 6.5. - Limiares do modelo - Projeto Subestação

Perfil	Experiência	Pessoal	Custo	Mobilização de recursos	Impacto no comissionamento
$p_j[g(b1)]$	2	2	3000	2	2
$p_j[g(b2)]$	2	2	15000	2	2
$q_j[g(b1)]$	1	1	1500	1	1
$q_j[g(b2)]$	1	1	7500	1	1
$v_j[g(b1)]$	2	2	6000	4	2
$v_j[g(b2)]$	4	4	30000	6	6

Os valores estabelecidos para os pesos podem ser visualizados na Tabela 6.6.

Tabela 6.6. - Pesos dos critérios – Projeto Subestação

Critérios	Experiência	Pessoal	Custo	Mobilização de recursos	Impacto no comissionamento	Total
Pesos	0,15	0,15	0,30	0,20	0,20	1

Definidos os pesos, é estabelecido o limite admitido para o grau de sobreclassificação, representado pelo nível de corte  $\lambda$ . Como análise inicial, foi estabelecido o valor,  $\lambda = 0,7$ . No entanto o gerente está livre para variar esse índice (entre 0,5 e 1) e analisar os resultados.

Estabelecidos os parâmetros passa-se a etapa de investigação, em que é realizada a classificação das atividades. A Tabela 6.7, abaixo, apresenta o valor do grau de sobreclassificação  $S(a, b_h)$  e as respectivas classificações das atividades.

Tabela 6.7. - Grau de sobreclassificação e classificação para  $\lambda = 0,7$  – Projeto Subestação

Num	Descrição da atividade	S(a,b <sub>1</sub> )	S(a,b <sub>2</sub> )	Classificação
A3	Relação de compras	0,00	0,00	C1
A4	Escolha do terreno	0,00	0,00	C1
A5	Projeto básico	0,30	0,00	C1
A6	Aquisição do terreno (negociação)	0,00	0,00	C1
A7	Projeto Executivo Telecomunicação	0,80	0,00	C2
A8	Projeto executivo civil	0,55	0,00	C1
A9	Projeto executivo eletromecânico	0,80	0,00	C2
A10	Projeto executivo MPCC	1,00	0,00	C2
A11	Especificação de contrato de serviço	0,00	0,00	C1
A13	Aquisição do componente SE	0,85	0,60	C2
A14	Formalização da aquisição do terreno	0,55	0,55	C1
A15	Contratação construção SE	0,75	0,75	C3
A17	Terraplenagem	0,55	0,40	C1
A18	Instalação da Malha de terra	0,85	0,60	C2
A20	Bases	0,55	0,40	C1
A21	Casa de comando	0,55	0,40	C1
A22	Via de acesso	0,55	0,30	C1
A23	Canaletas	0,80	0,00	C2
A24	Equipamentos	1,00	0,85	C3
A25	Montagem do MPCC	1,00	1,00	C3
A26	Barramentos	0,80	0,55	C2
A28	Comissionamento Malha de terra	0,40	0,15	C1
A29	Comissionamento de equipamentos	0,40	0,15	C1
A30	Comissionamento do MPCC	0,60	0,35	C1
A31	Comissionamento SE	0,60	0,35	C1

Percebe-se que as atividades A24 (Equipamentos), A25 (Montagem do MPCC) e A15 (Contratação da Construção) foram classificadas na classe 3. Essas atividades devem ser gerenciadas pelo próprio gerente, devendo sofrer um processo de gerenciamento mais cuidadoso, envolvendo análises para prevenir a ocorrência de problemas e procurando-se estabelecer uma forma mais adequada para executá-las.

A maioria das atividades foi classificada na categoria C1. Isso mostra que a maioria das atividades pode ser gerenciada por um subordinado, por meio de um processo simples. O gerente deve acompanhar a execução dessas atividades no sentido de atender a prazos e custos. Essas atividades, provavelmente, têm um processo de execução mais repetitivo, o gerente tem mais experiência, possuem baixo custo, e não requerem muito pessoal com alta qualificação para executá-las. .

A categoria C2, por sua vez, resultou em um conjunto de atividades que envolvem um conhecimento mais técnico, tal como as atividades de projeto, e que possuem um custo mediano. O gerenciamento dessas atividades pode ser realizado por um subordinado (um gerente de projeto, por exemplo, alocado um nível abaixo do gerente geral dos empreendimentos). No entanto, o gerente geral deve acompanhar o processo de execução, preocupando-se com a eficiência da execução das atividades.

#### 6.2.1.2 Aplicação do Modelo de Gestão: Segundo Procedimento

Esse procedimento deve ser utilizado ao longo do processo de execução, caso haja mudança na programação das atividades ou nos parâmetros do projeto. Caso não haja mudança, não é necessário aplicar o segundo procedimento, pois a classificação seria a mesma. Porém, quando o projeto é longo, é comum ocorrerem variações. O decisor pode reavaliar suas preferências devido à novas informações ou alterações no ambiente em que o projeto está inserido.

Para ilustração da aplicação do modelo, considere o período de estudo trimestral. Considere também que os pesos dos critérios mudaram, de tal forma que o custo e o impacto no comissionamento tenham menor importância e a mobilização de recursos tenha maior importância. A Tabela 6.8 apresenta as atividades participantes do trimestre 1.

Tabela 6.8. - Resumo das atividades do trimestre 1

1	Trimestre 1	Duração	Início	Término	Predecessores
A3	Relação de compras	30	09/04	20/05	1
<b>A4</b>	<b>Escolha do terreno</b>	<b>29,967</b>	<b>09/04</b>	<b>20/05</b>	<b>1</b>
A5	Projeto básico	22,233	09/04	09/05	1
A6	Aquisição do terreno	11,4	20/05	05/06	4
A7	Projeto ExeTelecomunicação	31,1	20/05	03/07	4
A8	Projeto Executivo civil	27,733	20/05	27/06	4;5
A9	Projeto Exe eletromecânico	30	20/05	01/07	4;5
<b>A10</b>	<b>Projeto executivo MPCC</b>	<b>40,567</b>	<b>09/05</b>	<b>04/07</b>	<b>5</b>
<b>A13</b>	<b>Aquisição dos componentes</b>	<b>40,567</b>	<b>21/05</b>	<b>16/07</b>	<b>3</b>
<b>A14</b>	<b>Formalização da aquisição do terreno</b>	<b>38,933</b>	<b>05/06</b>	<b>30/07</b>	<b>6</b>

As Tabelas 6.9 e 6.10 apresentam o novo conjunto de pesos e a classificação final, respectivamente.

Tabela 6.9. - Novos pesos dos critérios – Projeto Subestação

Critérios	Experiência	Pessoal	Custo	Mobilização de recursos	Impacto no comissionamento	Total
Pesos	0,15	0,15	0,25	0,3	0,15	1

Tabela 6.10. - Classificação das atividades do trimestre 1

1	Descrição da atividade do Trimestre	S(a,b <sub>1</sub> )	S(a,b <sub>2</sub> )	Classificação
A3	Relação de compras	0,00	0,00	C1
A4	Escolha do terreno	0,00	0,00	C1
A5	Projeto básico	0,30	0,00	C1
A6	Aquisição do terreno (negociação)	0,00	0,00	C1
A7	Projeto Executivo Telecomunicação	0,80	0,00	C2
A8	Projeto executivo civil	0,55	0,00	C1
A9	Projeto executivo eletromecânico	0,80	0,00	C2
A10	Projeto executivo MPCC	1,00	0,00	C2
A13	Aquisição dos componentes	0,85	0,60	C3
A14	Formalização da aquisição do terreno	0,55	0,55	C1

A atividade A13 (Aquisição dos componentes) passou para categoria C3. Conclui-se que a atividade A13 envolve uma grande quantidade de recursos, sendo esse fator, nesse momento, considerado o mais importante para se definir a forma como as atividades devem ser gerenciadas.

A completa aplicação desse modelo, nesse segundo momento de estudo, requer que a execução do projeto esteja em fase final. Assim, foi possível, apenas, apresentar uma idéia da

aplicação do modelo. Cabe ressaltar que para aplicação dos modelos de gestão propostos, é necessário contar com o esforço da equipe de gerenciamento para obter os dados e acompanhar a evolução do projeto, verificando possíveis mudanças no processo.

## 7 MODELO MULTICRITÉRIO NA GESTÃO DE PROJETOS – PROBLEMÁTICA DE ORDENAÇÃO

Este capítulo trata o processo de gestão de projetos com modelagem multicritério de ordenação. Nesse caso, o processo de gestão de projetos envolve a ordenação das atividades em função dos aspectos críticos do projeto. Em outras palavras, faz-se uma ordenação das atividades dos projetos em função da criticidade, em que as primeiras colocadas são aquelas mais críticas (numa visão integrada dos projetos de uma organização).

O modelo de gestão de projetos apresentado no capítulo 5 (Modelo Multicritério na Gestão de Projetos – Problemática de Escolha) pode ser adaptado para o caso em que o decisor deseja obter uma ordenação das atividades que compõem os projetos. Para atingir dado objetivo, foi desenvolvido, neste trabalho, um novo método multicritério chamado ELECTRE IV-H. Esse novo método deve ser utilizado em substituição ao método ELECTRE I, aplicado no capítulo 5. O novo método ELECTRE IV-H é baseado no ELECTRE IV (por isso o nome escolhido) sendo destinado a problemas de ordenação com informação parcial.

Esse novo método multicritério ELECTRE IV-H é destinado aos casos em que não se podem definir os pesos dos critérios e, aos casos em que existem critérios com escalas puramente ordinais. Essa proposta tem como objetivo facilitar a aplicação e aumentar a interação do decisor na construção e exploração do modelo.

O problema de se estabelecerem os pesos dos critérios pode ser devido à diversas razões:

- por existirem vários atores envolvidos no processo de decisão, e,
- por não se poder impor apenas o sistema de valor de um decisor;
- os sistemas de valores (as opiniões) de cada um podem ser incompatíveis quantitativamente;
- por outro lado, pode não haver razões científicas para se selecionar uma forma de dar pesos aos critérios quando objetivos políticos estão envolvidos.

Para o problema de gestão de projetos, o método ELECTRE IV-H pode ser aplicado em dois momentos distintos, chamados de Primeiro e Segundo Procedimento. O primeiro, tem o objetivo de ordenar todas as atividades do plano de empreendimentos da organização, com o

intuito de se obter uma visão geral das atividades mais críticas. Para tal, esse procedimento deve ser aplicado no início do processo de gestão. O segundo procedimento deve ser aplicado periodicamente, para considerar as variações nos desempenhos das atividades. Esses modelos de gestão, primeiro e segundo procedimentos, podem ser visualizados nas figuras 5.1 e 5.2, respectivamente, apresentadas no capítulo 5 desta tese.

Este capítulo está organizado da seguinte maneira: são apresentadas revisões sobre os fundamentos de modelagem de preferência, enfatizando a modelagem de pseudo-critério, e sobre o método ELECTRE IV, a fim facilitar a apresentação do novo método proposto. Logo após, é feita a apresentação dos fundamentos do ELECTRE IV-H, destacando suas vantagens em relação ao ELECTRE IV. Em seguida, o item 7.4 apresenta os estudo de casos, em que os métodos ELECTRE IV e ELECTRE IV-H são aplicados ao problema de planejamento urbano, apresentado por Roy e Hugonnarg (1984), sendo comentadas as vantagens da nova proposta. Ao final, o ELECTRE IV-H é aplicado ao caso da construção de subestações elétricas, sendo comparados os resultados obtidos com esse novo método e com o método ELECTRE I, aplicado no capítulo 5.

## 7.1 Revisão dos fundamentos de modelagem de preferência

De acordo com Roy (1996), as preferências do decisor são modeladas por meio de um sistema de relações de preferências, sendo os principais, o sistema básico (BSPR) e o consolidado (CSPR). A Tabela 7.1 apresenta as situações básicas de preferência I, P, Q e R, com suas respectivas propriedades.

Tabela 7.1. - Situações básicas de preferências para comparar duas ações potenciais

RELAÇÃO	DEFINIÇÃO	PROPRIEDADE
Indiferença (I)	Corresponde à existência de razões claras e objetivas que justifiquem a equivalência entre as duas ações	Reflexiva: a I a Simétrica: a I a' e a' I a
Preferência Estrita (P)	Corresponde à existência de razões claras e objetivas que justifiquem uma preferência significativa em favor de uma (identificada) das duas ações	Não Reflexiva Assimétrica: a P a' ou a' P a
Preferência Fraca (Q)	Corresponde à existência de razões claras e positivas que invalidem a preferência estrita em favor de uma (identificada) das duas ações, mas essas razões são insuficientes para se deduzir uma preferência estrita em favor da outra ou uma indiferença entre essas duas ações; portanto, não é possível diferenciar nenhuma das duas situações precedentes.	Não Reflexiva Assimétrica: a Q a' ou a' Q a
Incomparabilidade (R)	Corresponde à ausência de razões claras e positivas para justificar qualquer das três situações precedentes.	Não-reflexiva Simétrica: a R a' e a' R a

Adaptado de Roy (1996)

O sistema consolidado de relações de preferência introduz, além das quatro situações básicas, mais cinco situações de preferência chamadas de situações consolidadas: Não-Preferência (~), Preferência ( $\phi$ ), J-Preferência (J), K-Preferência (K) e Sobreclassificação (S). Dentre estas, estamos interessados na relação de sobreclassificação S, sendo seu significado apresentado na Tabela 7.2.

Tabela 7.2. - Relação de sobreclassificação para comparar duas ações potenciais

RELAÇÃO	DEFINIÇÃO	RELAÇÃO BINÁRIA
Sobreclassificação (Outranking)	Corresponde à existência de razões claras e objetivas que justifiquem tanto a preferência como a J-preferência em favor de uma (identificada) das duas ações, embora não exista nenhuma divisão significativa estabelecida entre as situações de preferência estrita, preferência fraca e indiferença. Diz-se que uma ação $a$ sobreclassifica $a'$ ( $aSa'$ ) se $a$ é considerada ao menos tão boa quanto $a'$	$aS a' \Rightarrow aP a'$ ou $aQ a'$ ou $aI a'$ Nem simétrica, nem assimétrica

Adaptado de Roy (1996)

A relação de sobreclassificação engloba as relações de Preferência Estrita (P), Preferência Fraca (Q) e Indiferença (I). Diz-se que uma ação  $a$  sobreclassifica  $a'$  ( $aSa'$ ) se  $a$  é considerada ao menos tão boa quanto  $a'$ . A família ELECTRE é baseada nesta relação, que é usada como um conceito mais relaxado de dominância.

### 7.1.1 Estrutura de pseudocritério

A modelagem de preferência de pseudocritério considera três relações: Preferência estrita (P), Preferência fraca (Q) e indiferença (I). É introduzida a idéia dos limiares de preferência  $p_j(a)$  e indiferença  $q_j(a)$  na modelagem, evitando uma passagem repentina entre a indiferença e a preferência estrita, levando a uma zona de hesitação Q. Com isso, é possível incorporar maiores sensibilidades do decisor na sua estrutura de preferências (Roy e Bouyssou, 1986; Roy, 1996). A Figura 7.1 apresenta essa estrutura de preferências para o caso em que se têm limiares constantes.

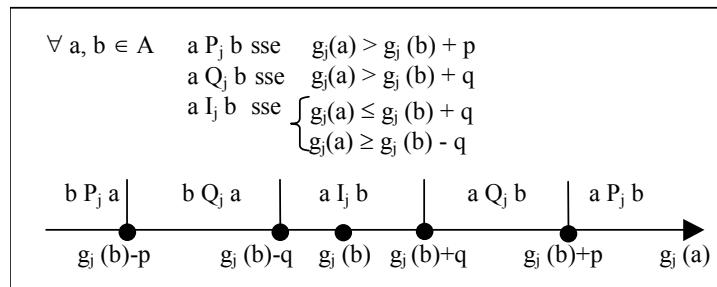


Figura 7.1. - Estrutura de preferências de pseudocritério

As preferências restritas de cada critério são definidas por meio de dois limiares: preferência e indiferença ( $p_j(b)$  e  $q_j(b)$ ), que constituem as informações de preferência intra-critérios:

- $q_j(b)$  especifica a maior diferença  $g_j(a)-g_j(b)$ , que preserva a indiferença entre  $a$  e  $b$  no critério  $g_j$ .
- $p_j(b)$  representa a menor diferença  $g_j(a)-g_j(b)$ , compatível com uma preferência em favor de  $a$  no critério  $g_j$ .

Assim, na modelagem de pseudocritério, entre duas alternativas  $a$  e  $b$ , podemos ter as relações:  $aPb$  ou  $aQb$  ou  $aIb$  ou  $bPa$  ou  $bQa$ . Isto é, elas são exaustivas: para qualquer par de alternativa, pelo menos uma das relações ocorre; e elas são mutuamente exclusivas: para qualquer os par de alternativa, no máximo uma das relações ocorre.

## 7.2 Revisão do ELECTRE IV

O objetivo do ELECTRE IV é recomendar uma ordenação das ações sem introduzir qualquer ponderação nos critérios, ou seja, admite-se que não haja informação suficiente ou perfeita a respeito das importâncias relativas entre os critérios (Vincke, 1992). O objetivo do método é estabelecer uma ordenação parcial (puramente ordinal), sendo um ponto inicial para decidir na priorização das alternativas, a qual naturalmente, deve ser uma preordem completa.

O ELECTRE IV trata de problemas que são modelados por uma família de pseudocritério. No entanto, ele não utiliza o conceito de grau de sobreclassificação, por não haver informação sobre os critérios. A relação de sobreclassificação é definida por referência direta às performances das alternativas, sendo definidas duas relações de sobreclassificação: uma

forte:  $aS^Fb$ , e outra fraca,  $aS_f b$ . Entre duas alternativas  $a$  e  $b$ , podem acontecer 6 casos (Figura 7.2):

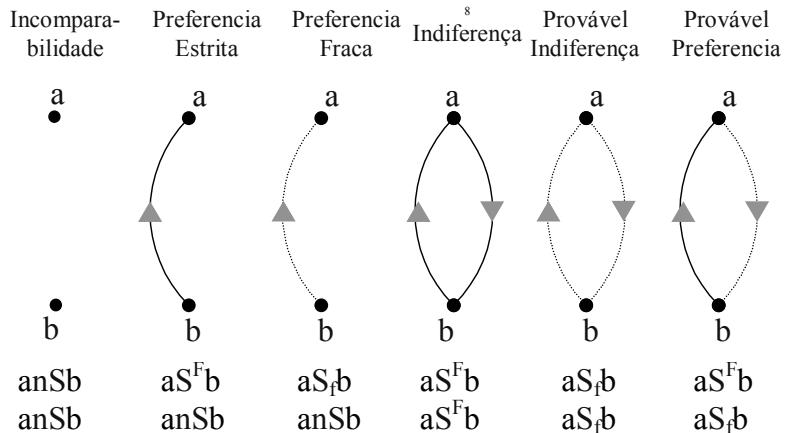


Figura 7.2. - Relações de sobreclassificação no ELECTRE IV

### i - Sobreclassificação Forte - $aS^Fb$

Uma alternativa  $a$  sobreclassifica fortemente  $b$  quando:

- (i) Para TODOS os critérios não haja  $bPa$  e;
- (ii) O conjunto de critérios em que ocorre  $aQb$  ou  $aPb$  (conjunto K) deve ser maior ou igual ao conjunto de critérios em que ocorra  $bQa$  (conjunto J)  $\rightarrow K \geq J$ .

### ii - Sobreclassificação Fraca - $aS_f b$

Uma alternativa  $a$  sobreclassifica fracamente  $b$  quando:

- (i) A situação (ii) de  $aS^Fb$  não seja atendida, ou,
- (ii) Em APENAS UM critério ocorra  $bPa$  e nesse critério a diferença entre  $b$  e  $a$  for menor que o voto ( $v = 2p$ ), e
- (iii) Pelo menos em metade dos critérios considerados houver  $aPb$ .

É usado o conceito de qualificação, baseado nas relações de sobreclassificação forte e fraca, para definir as duas ordenações. A qualificação de uma alternativa  $a$  é definida pelo número de alternativas sobreclassificadas por  $a$  (**força**) MENOS o número de alternativas que sobreclassificam  $a$  (**fraqueza**).

### 7.3 ELECTRE IV-H: Nova proposta baseada no ELECTRE IV

O método ELECTRE IV utiliza menos informações do decisor e, consequentemente, provê menos informação em seu resultado. Seu modelo é mais rígido e não oferece muita interação com o decisor. No entanto, esse método é bastante interessante, pois permite tratar de forma coerente problemas específicos em que não se podem estabelecer os pesos dos critérios e, em outros casos, quando há apenas critérios representados por escalas ordinais.

O novo método ELECTRE IV-H, baseado no ELECTRE IV (motivo da escolha do nome), tem a intenção de modificar a forma como as relações de sobreclassificação são estabelecidas, de modo a oferecer maior flexibilidade e interação do decisor nas etapas de construção e investigação do problema. No entanto, a modificação proposta não foge aos princípios da modelagem da família ELECTRE.

De acordo com Roy (1996), a família ELECTRE baseia-se numa lógica não-compensatória, com poder de veto, usando as noções de concordância e discordância para estabelecer a relação de sobreclassificação entre duas alternativas. Para validar a afirmação  $aSb$  ( $a$  é pelo menos tão boa quanto  $b$ ), devem ser verificadas duas condições: concordância: para uma sobreclassificação  $aSb$  ser aceita, a maioria dos critérios devem estar a favor da afirmação  $aSb$ ; e não- discordância: quando a condição de concordância não for atendida, nenhum dos critérios deve opor-se à afirmação  $aSb$ .

Na modelagem de pseudocritério, em que existe a preferência fraca (Q), os princípios de concordância e discordância intra-critério são estabelecidos da seguinte forma:

*Índice de concordância parcial no critério  $j$   $c_j(a, b)$ :*

- $a$  é pelo menos tão bom quanto  $b$  (de acordo com o critério  $j$ ) se não há, sequer, uma fraca preferência de  $b$  por  $a$ . O valor do índice de concordância é 1.
- De outro lado, se  $b$  é estritamente preferível a  $a$  (em  $j$ ), então  $a$  definitivamente não sobreclassifica  $b$  (de acordo com o critério  $j$ ), isto é,  $c_j(a, b) = 0$ .
- Quando a alternativa  $b$  é fracamente preferível, mas não estritamente preferível a  $a$ , então a evidência fica ambígua, e o valor do índice de concordância recai entre 0 e 1.

A Figura 7.3 ilustra a definição do índice de concordância  $c_j(a, b)$ , para o caso em que os limiares de preferência  $p$  e indiferença  $q$  são constantes.

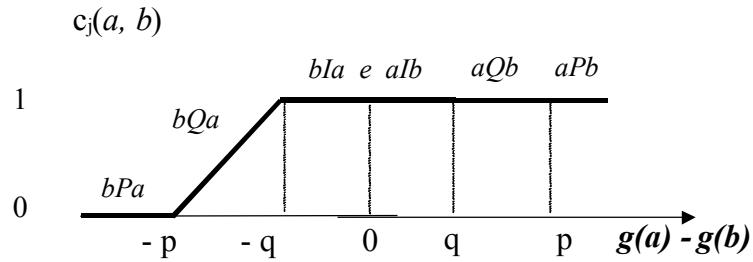


Figura 7.3. - Definição do índice de concordância  $c_j(a, b)$

*Índice de discordância*  $d_j(a, b) \forall j \in F$ : a sobreclassificação de  $b$  por  $a$  é vetada ( $a$  não  $S b$ ) se a performance de  $b$  exceder a de  $a$  por uma quantidade maior que o limiar de voto. Roy e Hugonnard (1984) sugerem que o limiar de voto seja duas vezes o limiar de preferência.

As relações intracritérios são definidas pelos índices de concordância parcial e de discordância. Quando se considera a relação intercritério, o estabelecimento da relação de sobreclassificação deixa de ser trivial.

A construção do ELECTRE IV-H requer a definição das novas relações de sobreclassificação forte e fraca. Essas relações devem estar baseadas nos princípios da concordância e discordância descritos acima. Suponha-se a seguinte notação:

$NP(a, b)$  = número de critérios em que  $aPb$

$NQ(a, b)$  = número de critérios em que  $aQb$

$NI(a, b)$  = número de critérios em que  $aIb$

$N = NP(a, b) + NQ(a, b) + NI(a, b) + NQ(b, a) + NP(b, a)$  = número total de critérios

Segundo a definição do índice de concordância, quando  $bPa$  ocorre em um critério  $j$ , então  $a$  não sobreclassifica  $b$  nesse critério. Por outro lado, quando  $bQa$  ocorre em um critério  $j$ , então a sobreclassificação de  $a$  por  $b$ , no critério  $j$ , fica ambígua. Assim, numa visão mais restritiva e considerando-se o todo o conjunto de critérios, caso ocorra, em pelo menos um critério, a relação  $bPa$ , então  $a$  não sobreclassifica  $b$  e, caso ocorra, em pelo menos um

critério, a relação  $bQa$ , então será necessária mais informação para definir a sobreclassificação de  $a$  por  $b$ .

### *i - Sobreclassificação Forte - $aS^Fb$*

Diante do que foi exposto acima, fica claro que, numa visão mais restritiva da relação de sobreclassificação, a primeira condição para que  $a$  sobreclassifique fortemente  $b$  é que, para todos os critérios, não ocorra  $bPa$ . Isso pode ser escrito da seguinte forma:

$$- aSb \text{ se } NP(b,a) = 0 \text{ (o inverso não é verdade).} \quad (i)$$

Diferente da primeira condição, as condições seguintes para se definir a relação de sobreclassificação forte não podem ser estabelecidas diretamente. Esse é o caso de quando ocorre a relação  $bQa$ . Para estabelecer as regras necessárias para se verificar essa relação, é preciso reanalisar os conceitos de concordância e discordância nos quais a relação de sobreclassificação é baseada.

Pela definição do índice de concordância parcial, a sobreclassificação de  $b$  por  $a$  ( $aSb$ ) é verificada, com certeza, quando existe  $aPb$  ou  $aQb$  ou  $aIb$ , e duvidosa quando existe  $bQa$ . Assim, por essa definição podemos dizer que: os critérios em que existem as relações  $aPb$  ou  $aQb$  ou  $aIb$  contribuem totalmente para validar a afirmação  $aSb$ , os critérios em que existe  $bQa$  podem contribuir para validar a afirmação  $aSb$ , e os critérios em que  $bPa$  existe não validam essa afirmação.

- (1) se  $aPb$  ou  $aQb$  ou  $aIb$   $\rightarrow$  contribuem totalmente para validar  $aSb$
- (2) se  $bQa$   $\rightarrow$  tem pouca contribuição (dúvida) para validar  $aSb$
- (3) se  $bPa$   $\rightarrow$  contribui para não validar  $aSb$

Segundo o princípio da concordância uma maioria dos critérios devem estar a favor da afirmação  $aSb$ . Então, as condições seguintes devem ser atendidas para ocorrer a sobreclassificação de  $a$  por  $b$  ( $aSb$ ):

$$NP(a,b) + NQ(a,b) + NI(a,b) + 0,5 * NQ(b,a) \geq N/2 \quad (ii)$$

Os critérios em que ocorre  $bQa$  são multiplicados por 0,5 pois representam uma dúvida quanto a sobreclassificação de  $a$  por  $b$  (ver figura 7.3).

$$\text{Considerando } S'F(a,b) = \text{NP}(a,b) + \text{NQ}(a,b) + \text{NI}(a,b) + 0,5 * \text{NQ}(b,a)$$

$$S'F(a,b) \geq S'F(b,a) \quad (\text{iii})$$

A relação (iii) verifica se o número de critérios a favor de  $a$  é maior que o número de critérios a favor de  $b$ . Essa relação também é importante para evitar que se formem circuitos entre as duas alternativas  $a$  e  $b$ , geradas por situações de dúvida entre uma fraca preferência de uma identificada das duas alternativas e indiferença entre elas. Assim:

$$\text{NP}(a,b) + \text{NQ}(a,b) + \text{NI}(a,b) + 0,5 * \text{NQ}(b,a) \geq \text{NP}(b,a) + \text{NQ}(b,a) + \text{NI}(a,b) + 0,5 * \text{NQ}(a,b)$$

, é equivalente a:

$$\text{NP}(a,b) + 0,5 * \text{NQ}(a,b) \geq \text{NP}(b,a) + 0,5 * \text{NQ}(b,a) \quad (\text{iv})$$

Como para primeira condição de sobreclassificação forte  $\text{NP}(b,a) = 0$ , então:

$$\text{NP}(a,b) + 0,5 * \text{NQ}(a,b) \geq 0,5 * \text{NQ}(b,a) \quad (\text{v})$$

Considerando-se,  $\text{SF}(a,b) = \text{NP}(a,b) + 0,5 * \text{NQ}(a,b)$ , e  $\text{SF}(b,a) = 0,5 * \text{NQ}(b,a)$

$$\text{SF}(a,b) \geq \text{SF}(b,a) \quad (\text{vi})$$

A relação (v) é mais restritiva que a relação (ii), sendo necessário apenas verificar a relação (v).

Para a relação de sobreclassificação forte, não há necessidade de se verificar a discordância entre os pares de alternativas, isso porque se se considera que não ocorre  $bPa$ , para todos os critérios, então não pode haver discordância.

Em resumo, a sobreclassificação forte de  $a$  por  $b$  ( $aS^Fb$ ) é definida da seguinte forma:

$$\text{NP}(b,a) = 0 \quad (\text{i})$$

$$\text{NP}(a,b) + 0,5 * \text{NQ}(a,b) \geq 0,5 * \text{NQ}(b,a) \quad (\text{v})$$

Também pode ser escrita como:

$$\text{NP}(b,a) = 0 \quad (\text{i})$$

$$\text{SF}(a,b) \geq \text{SF}(b,a) \quad (\text{vi})$$

Devido à ambigüidade e à natureza imprecisa dos dados, quando  $SF(a,b) \geq SF(b,a)$  não necessariamente implicar dizer que a alternativa  $a$  é melhor que  $b$ . Essa conclusão requer que  $SF(a,b)$  seja substancialmente maior que  $SF(b,a)$ . Assim, sugere-se que a condição (vi) necessária para que uma alternativa  $a$  sobreclassifique fortemente uma alternativa  $b$  seja, agora, dada por:

$$SF(a,b) \geq \lambda^F * SF(b,a) \quad (vii)$$

, em que  $\lambda^F$  é definido pelo decisor e deve variar entre  $1 \leq \lambda^F \leq N$ .

$aS^Fb$  ( $a$  sobreclassifica fortemente  $b$ ) se:

$$NP(b,a) = 0 \quad (i)$$

$$SF(a,b) > \lambda^F * SF(b,a), 1 \leq \lambda^F \leq N \quad (vii)$$

*ii - Sobreclassificação fraca –  $aS_f b$*

Diferente da relação de sobreclassificação forte, a relação de sobreclassificação fraca de  $a$  por  $b$  não precisa exigir que não ocorra  $bPa$  para todos os critérios. Assim, seguindo a mesma análise realizada para definir a relação de sobreclassificação forte, é preciso verificar os princípios de concordância e discordância.

Segundo o princípio de concordância, uma maioria dos critérios devem estar a favor da afirmação  $aSb$ . Então, as seguintes condições devem ser atendidas para ocorrer a sobreclassificação fraca de  $a$  por  $b$  ( $aS_f b$ ):

$$NP(a,b) + NQ(a,b) + NI(a,b) + 0,5 * NQ(b,a) \geq N/2 \quad (viii)$$

$$\text{Considerando } S'f(a,b) = NP(a,b) + NQ(a,b) + NI(a,b) + 0,5 * NQ(b,a)$$

$$S'f(a,b) \geq S'f(b,a) \quad (ix)$$

Assim como na análise da relação de sobreclassificação forte, a relação (viii) verifica se o número de critérios a favor de  $a$  é maior que o número de critérios a favor de  $b$ . Assim:

$NP(a,b) + NQ(a,b) + NI(a,b) + 0,5 * NQ(b,a) \geq NP(b,a) + NQ(b,a) + NI(a,b) + 0,5 * NQ(a,b)$ , que é equivalente a:

$$NP(a,b) + 0,5 * NQ(a,b) \geq NP(b,a) + 0,5 * NQ(b,a) \quad (x)$$

Sendo  $Sf(a,b) = NP(a,b) + 0,5 NQ(a,b)$  e  $Sf(b,a) = NP(b,a) + 0,5 NQ(b,a)$ , então:

$$Sf(a,b) \geq Sf(b,a) \quad (xi)$$

É necessário apenas verificar a relação (xi) por esta ser mais restritiva que a (viii).

Assim como na relação de sobreclassificação forte, devido à ambigüidade e à natureza imprecisa dos dados, para que a alternativa  $a$  seja melhor que  $b$ ,  $Sf(a,b)$  deve ser substancialmente maior que  $Sf(b,a)$ . Assim, sugere-se que a condição (xi) necessária para que uma alternativa a sobreclassifique fracamente uma alternativa b seja, agora, dada por:

$$Sf(a,b) \geq \lambda_f * Sf(b,a) \quad (xii)$$

em que  $\lambda_f$  é definido pelo decisor e deve variar entre  $1 \leq \lambda_f \leq \lambda^F$ .

Para estabelecer a relação de sobreclassificação fraca, é necessário verificar também o princípio da discordância. Para duas alternativas  $a$  e  $b$ , caso em apenas um critério, a diferença de avaliação de  $b$  por  $a$  for maior que o voto, então a sobreclassificação de  $a$  por  $b$  é invalidada. A discordância é verificada pela relação (xii), abaixo.

$$\forall j \in C, g_j(b) - g_j(a) < v[g_j(a)] , \text{ em que } C \text{ é o conjunto de critérios} \quad (xii)$$

$aSfb$  ( $a$  sobreclassifica fracamente  $b$ ) se:

$$Sf(a,b) > \lambda_f * Sf(b,a) , 1 \leq \lambda_f \leq \lambda^F \quad (ix)$$

$$g_j(b) - g_j(a) < v[g_j(a)], \forall j \in C \quad (viii)$$

Com essa mudança, o decisor tem maior liberdade para definir uma modelo mais restritivo ou não, por meio da definição dos limiares de sobreclassificação forte -  $\lambda^F$  e fraco -  $\lambda_f$ , estando ainda de acordo com os princípios de sobreclassificação.

Definidas as relações de sobreclassificação forte e fraca, a ordenação das atividades é encontrada por meio do processo de destilação do ELECTRE III. São definidas duas preordens que levam a uma ordem parcial.

Dentro dessa visão, o objetivo do ELECTRE IV-H é propor um ordem parcial que servirá como guia para a ordenação final feita pelo decisor, o que naturalmente deve ser uma preordem completa.

## 7.4 Estudo de Casos

A fim de ilustrar as vantagens do novo modelo, são apresentadas as aplicações do ELECTRE IV e do ELECTRE IV-H para o problema de planejamento urbano, de Roy e Hugonnard (1984), confrontando os resultados das suas aplicações. Em seguida, o ELECTRE IV-H é aplicado ao caso da construção de subestações elétricas.

### 7.4.1 Aplicação 1: Problema de planejamento urbano

O problema apresentado por Roy e Hugonnard (1984) consiste em ranquear (ordenar) 12 possíveis extensões do sistema de metrô de Paris. A Tabela 7.3 apresenta as possíveis alternativas e os critérios de avaliação do problema.

Tabela 7.3. - Valores das alternativas para cada uma dos critérios de avaliação

Alt\crit	G1 População servida (por Km)	G2 Tráfego diário (por Km)	G3 Custo (por Km)	G4 Taxa de retorno	G5 Organização do sistema de transito	G6 Efeito na urbanização
1	82900	26500	270	8,7	1	1
4	32800	11600	180	6,4	9	9
5	12500	7100	110	4,6	2	2
7N	33100	11500	140	14,1	3	7
7s	24000	11200	160	12	8	5
8	17100	4000	40	11,8	12	3
9	14200	3700	130	3,9	7	10
10	29200	7500	120	6	11	12
11	24600	7200	160	3,7	10	11
13b	37650	10400	130	12,2	3	8
13N	17400	4600	170	3,7	5	6
13s	14100	3000	90	5,8	6	4

Os critérios G5 e G6 são puramente qualitativos. O valor das alternativas nesses critérios representa o número na ordenação de 1 a 12, em ordem decrescente de interesse das alternativas.

Os limiares de preferência e indiferença considerados estão apresentados na Tabela 7.4. O limiar de veto é igual a duas vezes o limiar de preferência.

Tabela 7.4. - Limiares de preferência e indiferença

Critério	g1	g2	g3	g4	g5	g6
q (g(a))	0.10*g1(a)	0.15*g2(a)	0.10*g2(a)	1	tab	tab
p (g(a))	0.25*g1(a)	0.30*g2(a)	0.25*g2(a)	2.5	3	3

Tabela de Indiferença
Para <b>g5</b> (1,2,3);(5,6,7);(8,9,10);(11,12)
Para <b>g6</b> (1,2,3);(4, 5,6);(7, 8,9);(10,11,12)

#### 7.4.1.1 Resultado da aplicação com o ELECTRE IV

As Tabelas 7.5 e 7.6 apresentam, respectivamente, as alternativas sobreclassificadas fortemente e fracamente. A Tabela 7.5 apresenta também a qualificação inicial da sobreclassificação forte.

Tabela 7.5. - Alternativas sobreclassificadas fortemente e qualificação inicial

Alternativas	1	4	5	7N	7s	8	9	10	11	13b	13N	13s
	11	9	4	9				11	9	4	9	9
			13s	7S	11					7s		
Alternativas				9		13N				7N		
Sobreclassificadas				10						9		
Fortemente				11						10		
				13N						11		
				13b						13N		
<b>Q<sup>+</sup></b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>7</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>7</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
<b>Q<sup>-</sup></b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>7</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>1</b>
<b>Q = Q<sup>+</sup> - Q<sup>-</sup></b>	<b>0</b>	<b>-1</b>	<b>2</b>	<b>6</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>-7</b>	<b>-1</b>	<b>-4</b>	<b>6</b>	<b>-2</b>	<b>0</b>

Tabela 7.6. - Alternativas sobreclassificadas fracamente

Alternativas	1	4	5	7N	7s	8	9	10	11	13b	13N	13s
	4	11	9	4	9	9		11	9	4	9	9
	11	13N	13s	7S	11	13s			10	7s		
Alternativas	13N		13N	9		13N				7N		
Sobreclassificadas				10		10				9		
Fracamente				11		13s				10		
				13N						11		
				13b						13N		
				5						5		
				13s								

Para o processo de destilação descendente, pela relação de sobreclassificação forte, a primeira colocação vai para as alternativas 7N e 13b, pois elas apresentam a máxima qualificação (6) entre as alternativas. A relação de sobreclassificação fraca é estabelecida para diferenciar esses casos em que existem classes de equivalência, como o caso das alternativas 7N e 13b.

Pela relação de sobreclassificação fraca, vê-se que 7N sobreclassifica 13b ( $7N \succ_f 13b$ ) e 13b sobreclassifica 7N ( $13b \succ_f 7N$ ), o que leva a uma indiferença entre as duas alternativas. Nesse caso, a relação de sobreclassificação fraca não pode ajudar a diferenciar essas duas alternativas.

A segunda posição na ordenação é definida, então, com base nas 10 alternativas restantes. Calculam-se novamente as qualificações das alternativas, sem considerar, agora, as alternativas ordenadas como prioritárias. A Tabela 7.7 apresenta as relações de sobreclassificação forte para as alternativas restantes e a nova qualificação.

Tabela 7.7. - Alternativas sobreclassificadas fortemente e segunda qualificação

Alternativas	1	4	5	7s	8	9	10	11	13N	13s
	11	9	9				11	9	9	9
				13s	11					
Alternativas						13N				
Sobreclassificadas										
fortemente										
$Q^+$	0	1	2	3	0	0	1	1	1	1
$Q^-$	0	0	0	0	0	5	0	3	1	1
$Q = Q^+ - Q^-$	0	1	2	3	0	-5	1	-2	0	0

Pela relação de sobreclassificação forte, a segunda colocação vai para a alternativa 7s, com máxima qualificação (3) entre as alternativas. Como não há equivalência, não há necessidade de se verificar a relação de sobreclassificação fraca. As posições seguintes são estabelecidas da mesma forma, até que se ordenem todas as alternativas.

O processo de destilação ascendente é semelhante ao descendente, sendo, nesse caso (ascendente), escolhidas as alternativas com menor qualificação para compor a última posição na ordenação e, em seguida, a penúltima, até que se chegue à primeira colocação.

O resultado das duas preordens pode ser visualizado na Figura 7.4. A ordenação parcial final é apresentada na figura 7.5.

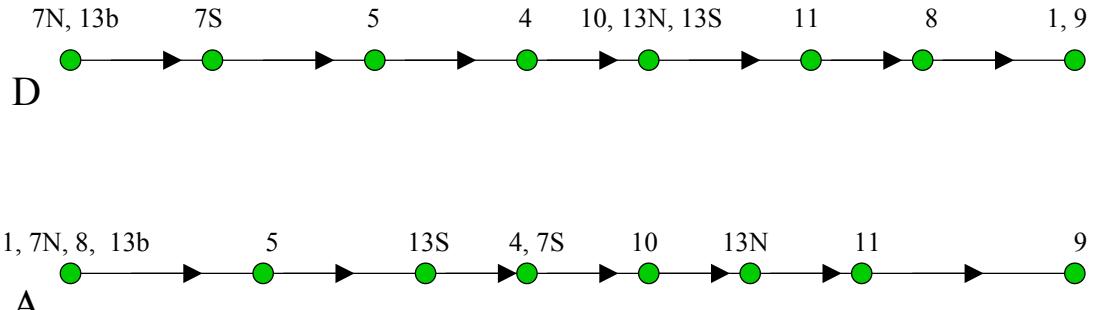


Figura 7.4. - Resultado das destilações descendente – D, e ascendente – A, para o ELECTRE IV

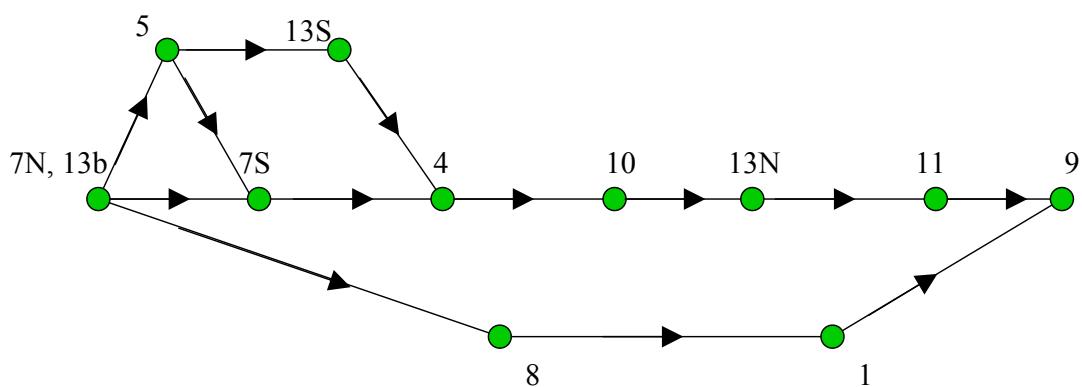


Figura 7.5. - Ordenação parcial final para o ELECTRE IV

A ordenação final considera as ordenações descendente e ascendente, que são uma preordem completa. Tem-se, como resultado final, uma preordem parcial, com a presença de incomparabilidade entre as alternativas. Por exemplo, as alternativas 8 e 1 são incomparáveis com relação às alternativas 5, 13b, 7s, 4, 10, 13n, e 11. Sabe-se apenas que elas são menos prioritárias que 7N e 13b e mais prioritárias que a alternativa 9.

#### 7.4.1.2 Resultado da aplicação com o ELECTRE IV-H

Para a aplicação do novo modelo e cálculo das relações de sobreclassificação fraca, é preciso definir os limiares  $\lambda_F$  e  $\lambda_f$ . Pela definição do modelo  $\lambda_F$  deve ser maior que 1 e menor que o número de critérios, isto é, menos que 6 e  $\lambda_f$  deve ser menor ou igual a  $\lambda_F$ . Para uma avaliação inicial, foi definido  $\lambda_F = \lambda_f = 2$ .

A relação de sobreclassificação forte é muito parecida com a calculada com o ELECTRE IV, sendo retiradas as relações de sobreclassificação entre aqueles pares de alternativas em que ocorrem circuitos. Essa relação de sobreclassificação forte está apresentada na Tabela 7.8. Percebe-se que a qualificação das alternativas no ELECTRE IV-H é a mesma do ELECTRE IV anterior.

Tabela 7.8. - Alternativas sobreclassificadas fortemente e qualificação inicial -  $\lambda F = 2$ 

Alternativas	1	4	5	7N	7s	8	9	10	11	13b	13N	13s
	11	9	4	9				11	9	4	9	9
			13s	7S	11					7s		
Alternativas				9	13N					9		
Sobreclassificadas				10						10		
Fortemente				11						11		
				13N						13N		
$Q^+$	0	1	2	6	3	0	0	1	1	6	1	1
$Q^-$	0	2	0	0	2	0	7	2	5	0	3	1
$Q = Q^+ - Q^-$	0	-1	2	6	1	0	-7	-1	-4	6	-2	0

Assim, para o processo de destilação descendente, as alternativas 7N e 13b são equivalentes, pois ambas apresentam a máxima qualificação (6). A relação de sobreclassificação fraca, que é estabelecida para diferenciar os casos em que existem classes de equivalência, é apresentada na Tabela 7.9 abaixo:

Tabela 7.9. - Alternativas sobreclassificadas fracamente  $\lambda f = 2$ 

Alternativas	1	4	5	7N	7s	8	9	10	11	13b	13N	13s
	4	10	9	4	4	9		11	9	4	9	9
				11	11	7S	9	13s		7s		
Alternativas				13N	13N	9	10			9		
Sobreclassificadas				13s	10	11				10		
Fracamente				11	13N					11		
				13N						13N		

Como na relação de sobreclassificação forte, tem-se  $7NnS_f13b$  e  $7NnS_f13b$ . A relação de sobreclassificação fraca não pode ajudar a diferenciar essas duas alternativas, pois elas devem continuar indiferentes.

A segunda posição na ordenação, definida com base nas 10 alternativas restantes, é a mesma encontrada com o ELECTRE IV. Continuando o processo de destilação descendente, percebe-se que a ordenação final foi idêntica à encontrada no ELECTRE IV.

Diante desse resultado, percebe-se que, para este problema, a definição do limiar  $\lambda = 2$  não é capaz de diferenciar as alternativas equivalentes. O decisor pode então relaxar as relações de sobreclassificação forte e fraca, definindo  $\lambda_F = \lambda_f = 1,5$ , e verificar se as equivalências são desmorchadas.

A relação de sobreclassificação forte para  $\lambda_F = 1,5$  foi igual à anterior, quando  $\lambda_F = 2$ . Já a relação de sobreclassificação fraca, menos rígida, para o caso de  $\lambda_f = 1,5$ , é apresentada na Tabela 7.10.

Tabela 7.10. - Alternativas sobreclassificadas fracamente para  $\lambda_f = 1,5$

Alternativas	1	4	5	7N	7s	8	9	10	11	13b	13N	13s
	4	9	9	4	4	9		11	9	4	9	9
		10	11	5	9	13s		13N		5		11
Alternativas		11	13N	7S	10					7s		
Sobreclassificadas		13N	13s	9	11					9		
Fracamente				10	13N					10		
					11					11		
						13N				13N		
										13s		

O resultado da aplicação do ELECTRE IV-H para  $\lambda_F$  e  $\lambda_f = 1,5$  permitiu desfazer a equivalência entre a alternativa 10 e as alternativas 13N e 13s, para a destilação descendente. Já na destilação ascendente, foi possível desmascarar a equivalência entre as alternativas 4 e 7s, ficando a alternativa 7s em posição prioritária em relação à 4. O resultado das duas preordens pode ser visualizado na Figura 7.6. A ordenação parcial final é apresentada na figura 7.7.

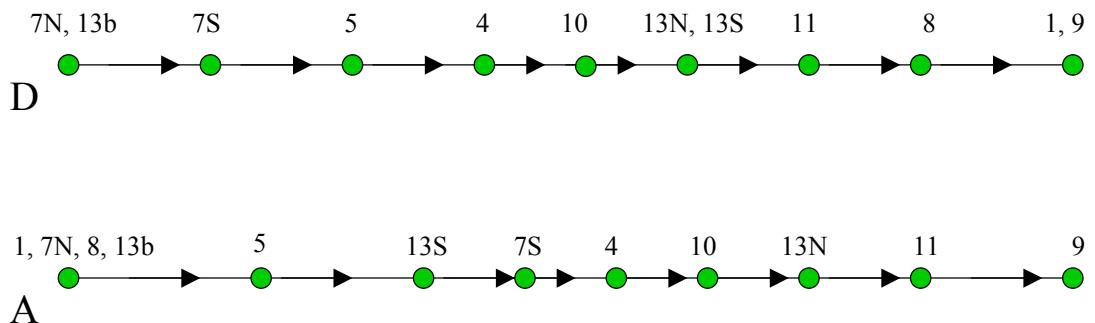


Figura 7.6. - Resultado das destilações descendente – D, e ascendente – A, para o ELECTRE IV-H

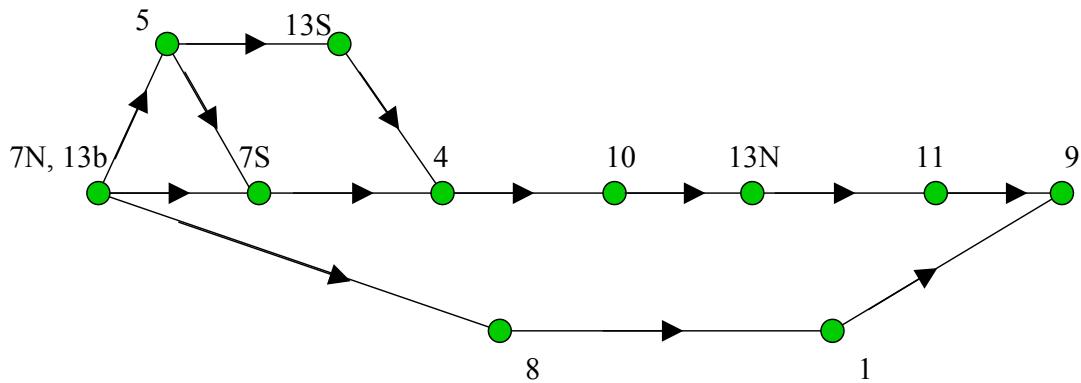


Figura 7.7. - Ordenação parcial final para o ELECTRE IV-H

Ainda se tem como resultado final uma preordem parcial, com a presença de incomparabilidade entre as alternativas. Essa incomparabilidade é percebida quando as alternativas não são capazes de sobreclassificar outras e são sobreclassificadas por poucas. É o caso das alternativas 1 e 8. Assim, esse resultado já era esperado e está coerente com a idéia da metodologia ELECTRE.

Percebe-se que o uso do novo modelo ELECTRE IV-H fornece ao decisor mais informações sobre a ordenação, permitindo relaxar ou restringir a relação de sobreclassificação fraca e com isso analisar melhor o problema.

#### 7.4.2 Problema de gestão de projetos com o ELECTRE IV-H: construção de subestações

Neste item é apresentada uma simulação da aplicação do método ELECTRE IV-H ao problema de construção de subestações elétricas apresentado no capítulo 5.

O ELECTRE IV-H pode substituir o ELECTRE I no processo de gestão de empreendimentos – primeiro procedimento, descrito no capítulo 5, com o intuito de prover uma ordenação das atividades em função dos aspectos críticos dos projetos, em que as primeiras colocadas são àquelas mais críticas.

O uso do ELECTRE IV-H, para o problema de construção de subestações, permite ordenar as atividades do projeto, da melhor para pior, sem definir uma preferência clara entre os critérios considerados, e permitindo visualizar aquelas atividades que são de difícil comparação.

Dessa forma, esse método deve ser usado quando o decisor não é capaz de estabelecer uma relação entre os pesos dos critérios. Isso pode acontecer em situações que existem vários decisores, cada um com um sistema de valor diferente (preferências em relação aos critérios diferentes e quase opostas), e que não seja possível considerar o sistema de valor de apenas um dos decisores.

As atividades que representam o processo de construção de subestações, suas durações e relações de precedência podem ser visualizadas na Tabela 5.1, apresentada no capítulo 5.

Os critérios de análise do problema de construção da subestação são apresentados na Tabela 7.11. Esses critérios são os mesmos considerados na aplicação do capítulo 5 e foram definidos pelo gerente do projeto.

Tabela 7.11. - Aspectos Críticos do Projeto SE

Critérios	Descrição	Escala
Folga	A folga das atividades é a margem permitida de atraso da atividade. Quanto menor, mais atenção requer a atividade.	Quantitativa
Mobilização Recurso	Dificuldade na mobilização de recursos, isto é, de reunir e alocar os recursos necessários à execução da atividade. Quanto maior, mais atenção requer a atividade.	Qualitativa crescente (1;3;5;7;9)
Desvio Padrão	Representa variância das atividades. Quanto maior a variância, maior atenção no gerenciamento, pois significa que há menos informações sobre as atividades.	Quantitativa
Custo	Custo total de execução das atividades. Quanto maior o custo, maior a atenção no gerenciamento	Quantitativa
Grau de Impacto	O grau de impacto no comissionamento representa a possibilidade de a atividade apresentar seus problemas na fase de comissionamento. Quanto maior o valor, maior o impacto.	Qualitativa crescente (1;3;5;7;9)

As avaliações de cada um dos critérios para cada uma das atividades são apresentadas na Tabela 7.2.

Tabela 7.12. - Avaliação das atividades para cada uma dos critérios do projeto – SE

Atividade	Desvio Padrão	Folga	Custo	Mobilização de Recurso	Impacto no. Comissiona- mento
<b>A1 Início</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>A2 Projeto da subestação</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
A3 Relação de compras	3,333	129,9	572	3	1
A4 Escolha do terreno	7,767	22,73	1144	3	1
A5 Projeto básico	4,433	21	5720	1	1
A6 Aquisição do terreno (negociação)	3,067	52,97	1144	3	1
A7 Projeto Executivo Telecomunicação	2,233	22,73	11440	3	7
A8 Projeto executivo civil	3,333	26,1	11440	3	1
A9 Projeto executivo eletromecânico	3,333	23,83	11440	3	7
A10 Projeto executivo MPCC	6,1	21	11440	5	9
<b>A11 Especificação de contrato de serviço</b>	<b>2,767</b>	<b>21</b>	<b>1144</b>	<b>3</b>	<b>7</b>
<b>A12 Suprimento da subestação</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
A13 Aquisição do componente	6,1	129,9	114.405	7	5
A14 Formalização da aquisição do terreno	16,67	52,97	114.405	1	1
A15 Contratação da construção	4,433	21	114.405	7	1
<b>A16 Construção da subestação</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
A17 Terraplanagem	2,233	21	57202	3	1
A18 Instalação da Malha de terra	2,2	29,9	57202	7	3
<b>A19 Fim (terrapl e malha terr)</b>	<b>0</b>	<b>21</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
A20 Bases	2,767	43,77	57202	3	1
A21 Casa de comando	3,9	36,57	114405	3	1
A22 Via de acesso	6,1	56,37	34321	1	1
A23 Canaletas	3,867	21	11440	1	3
A24 Equipamentos	3,9	41,57	993032	7	9
A25 Montagem do MPCC	7,233	21	302028	9	9
A26 Barramentos	5	59,1	91524	3	3
<b>A27 Comissionamento da subestação</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
A28 Comissionamento Malha de terra	0,5	92,83	22881	1	1
A29 Comissionamento de equipamentos	1,167	41,57	22881	3	1
A30 Comissionamento do MPCC	0,833	21	22881	7	1
A31 Comissionamento final	0,667	21	22881	7	1
<b>A32 Fim -</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

#### 7.4.2.1 Aplicação do Método ELECTRE IV-H: Primeiro procedimento

Este procedimento deve ser utilizado para se ter uma visão geral das atividades mais críticas do empreendimento. As atividades são ordenadas da mais crítica para a menos crítica. Em outras palavras, a aplicação do método ELECTRE IV-H permitirá ordenar as atividades

do projeto em função da sua necessidade de maior atenção gerencial, isto é, as atividades posicionadas nas primeiras posições merecem uma atenção especial, podendo ser mais detalhadas as tarefas que compõem essas atividades. Assim, nessa etapa, é interessante que o modelo seja aplicado momento antes de se iniciar a execução das atividades, para que se possam avaliar quais atividades devem ter seu processo de gerenciamento mais diferenciado.

Estabelecidos os aspectos críticos da construção de subestações, e determinado os valores de cada uma das atividades nos respectivos critérios, o método ELECTRE IV-H pode ser aplicado.

O decisor precisa definir os parâmetros do modelo, que são os limiares de preferência  $p[g_j(a)]$ , indiferença  $q[g_j(a)]$  e de sobreclassificação  $\lambda F$  e  $\lambda f$ .

A Tabela 7.13 apresenta os valores dos limiares de preferência  $p[g_j(a)]$ , indiferença  $q[g_j(a)]$ . O limiar de voto é igual a duas vezes o limiar de preferência.

Tabela 7.13. - Limiares de preferência e indiferença

Critério	Desvio Padrão	Folga	Custo	Mobilização De Recurso	Impacto no Comissionamento
$q[g_j(a)]$	$0,1*g_j(a)$	$0,1*g_j(a)$	$0,1*g_j(a)$	1	1
$P[g_j(a)]$	$0,1*g_j(a)$	$0,1*g_j(a)$	$0,1*g_j(a)$	3	3

No caso dos critérios qualitativos (mobilização de recursos e impacto no comissionamento), o decisor poderia definir uma tabela com as atividades consideradas indiferentes e preferíveis.

Como análise inicial, foram estabelecidos os valores,  $\lambda F = \lambda f = 2$ , no entanto o gerente está livre para variar esses índices e analisar os resultados. Definidos os valores dos parâmetros passa-se a etapa de investigação em que é efetuada a ordenação das atividades críticas.

As Tabelas 7.14 e 7.15 apresentam as alternativas sobreclassificadas fortemente e fracamente, respectivamente.



Tabela 7.14. - Alternativas sobreclassificadas fortemente para  $\lambda F = 2$

Tabela 7.15. - Alternativas sobreclassificadas fracamente  $\lambda f = 2$ 

Alternativas	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A13	A14	A15	A17	A18	A20	A21	A22	A23	A24	A25	A26	A28	A29	A30	A31	
Alternativas fracamente sobreclassificadas por. Por exemplo: a alternativa A3 é sobreclassificada pelas alternativas listadas na coluna (A4, A5, ..., A25 e A26)																										
	A4						A4																			
	A5						A5																			
	A6																									
	A7		A7																							
	A8						A8																			
	A9		A9	A9	A9	A9																				
	A10																									
	A11						A11																			
	A13																									
	A14						A14																			
	A15		A15	A15			A15																			
	A17						A17																			
	A18						A18																			
	A20						A20																			
	A21						A21																			
	A22						A22																			
	A23		A23	A23			A23																			
	A24						A24																			
	A25																									
	A26						A26																			
Força - Q+	0	2	2	1	6	4	9	13	2	2	6	16	8	6	4	7	3	5	10	22	6	0	1	2	1	
Fraqueza - Q-	20	2	6	18	3	5	2	1	5	2	0	1	2	5	7	3	6	4	0	0	3	19	13	5	6	
Qualificação	-20	0	-4	-17	3	-1	7	12	-3	0	6	15	6	1	-3	4	-3	1	10	22	3	-19	-12	-3	-5	

Pela relação de sobreclassificação forte, a alternativa com a maior qualificação é a A25 (Montagem do MPCC), com qualificação 22. Percebe-se também que essa alternativa não foi sobreclassificada por nenhuma outra, pois sua fraqueza é 0. Isso mostra que essa alternativa é realmente crítica e merece uma atenção especial no gerenciamento de sua execução. Retirando-se essa alternativa do processo, a segunda colocada é a alternativa A15 (Contratação da construção) e, logo em seguida encontra-se a alternativa A10 (Projeto executivo MPCC), como terceira colocada. A quarta posição é formada pelas alternativas A9 (Projeto executivo eletromecânico), A14 (Formalização da aquisição do terreno), A17 (Terraplanagem) e A24 (Equipamentos). Essa equivalência não se desfez pela análise da relação de sobreclassificação fraca. Em resumo, a ordenação descendente para  $\lambda F = \lambda f = 2$ , pode ser visualizada na Tabela 7.16.

Tabela 7.16. - Ordenação descendente  $\lambda F = \lambda f = 2$ 

Posição	Nome da Alternativa
1º	A25 - Montagem do MPCC
2º	A15 - Contratação construção SE
3º	A10 - Projeto executivo MPCC
4º	A9 - Projeto executivo eletromecânico A14 - Formalização da aquisição do terreno A17 - Terraplanagem A24 - Equipamentos
5º	A20 - Bases
6º	A21 - Casa de comando
7º	A23 - Canaletas A26 - Barramentos
8º	A22 - Via de acesso
9º	A18 - Instalação da Malha de terra
10º	A4 - Escolha do terreno A5 - Projeto básico A8 - Projeto executivo civil A30 - Comissionamento do MPCC
11º	A7 - Projeto Executivo Telecomunicação
12º	A11 - Especificação de contrato de serviço A13 - Aquisição dos componentes SE A29 - Comissionamento de equipamentos A31 - Comissionamento SE
13º	A6 - Aquisição do terreno (negociação)
14º	A3 - Relação de compras A28 - Comissionamento Malha de terra

A ordenação ascendente apresentou um resultado um pouco diferente. Esse resultado pode ser visualizado na Tabela 7.17. As atividades A14 (Formalização da aquisição do terreno), A24 (Equipamentos) e A25 (Montagem do MPCC) foram colocadas na primeira posição, estando as três, consideradas equivalentes para esta ordenação. Em seguida, têm-se as atividades: A4 (Escolha do terreno), A13(Aquisição dos componentes) e A15 (Contratação da construção). As atividades A4 e A13 foram posicionadas no 10º e no 13º lugar, respectivamente, na ordenação descendente. Essas duas atividades são sobreclassificadas fortemente apenas pela atividade A25. A atividade A4 sobreclassifica fortemente duas atividades, e a atividade A13 sobreclassifica apenas uma atividade. Assim, essas atividades foram posicionadas diferentemente nas duas ordenações, por haver poucas relações de sobreclassificação entre essas atividades e as outras.

Tabela 7.17. - Ordenação ascendente  $\lambda F = \lambda f = 2$ 

Posição	Nome da Atividade
1º	A14 Formalização da aquisição do terreno
	A24 Equipamentos
	A25 Montagem do MPCC
2º	A4 Escolha do terreno
	A13 Aquisição dos componentes SE
	A15 Contratação construção SE
3º	A10 Projeto executivo MPCC
4º	A9 Projeto executivo eletromecânico
	A17 Terraplanagem
	A26 Barramentos
5º	A7 Projeto Executivo Telecomunicação
	A22 Via de acesso
	A30 Comissionamento do MPCC
6º	A21 Casa de comando
7º	A18 Instalação da Malha de terra
	A23 Canaletas
8º	A5 Projeto básico
	A11 Especificação de contrato de serviço
	A31 Comissionamento SE
9º	A8 Projeto executivo civil
10º	A20 Bases
11º	A29 Comissionamento de equipamentos
12º	A28 Comissionamento Malha de terra
13º	A6 Aquisição do terreno (negociação)
14º	A3 Relação de compras

O resultado da aplicação do modelo de gestão com o método ELECTRE I, para o primeiro procedimento, resultou na seleção das seguintes atividades:

- A14 - Formalização da aquisição do terreno;
- A24 – Equipamentos;
- A25 - Montagem do MPCC;

Comparando-se os resultados, percebe-se que as alternativas selecionadas como as mais críticas pelo ELECTRE I foram as mesmas alternativas posicionadas como primeiro lugar pela ordenação ascendente do ELECTRE IV-H. Isso mostra que o resultado do ELECTRE IV-H oferece mais informação ao decisor, pois além de ordenar todas as atividades, fornece duas preordens, permitindo identificar as atividades de difícil comparação (ou seja, aquelas que não sobreclassificam e que não são sobreclassificadas pelas outras).

No entanto, podemos concluir que a ordenação ascendente encontrada com a aplicação do ELECTRE IV-H está coerente com o resultado encontrado com o uso do ELECTRE I.

#### 7.4.2.2 Análise de sensibilidade

Para verificar o comportamento do modelo, procurou-se variar o valor do limiar de sobreclassificação fraco para verificar se algumas equivalências formadas nas ordenações anteriores poderiam ser desmarchadas.

Variando  $\lambda_f$  de 2 para 1, temos a seguinte ordenação descendente (Tabela 7.18):

Tabela 7.18. - Ordenação descendente  $\lambda_F = 2$  e  $\lambda_f = 1$

Posição	Nome da Alternativa
1º	A25 - Montagem do MPCC
2º	A15 - Contratação construção SE
3º	A10 - Projeto executivo MPCC
4º	A9 - Projeto executivo eletromecânico A14 - Formalização da aquisição do terreno A17 - Terraplenagem A24 - Equipamentos
5º	A20 - Bases

6º -	A21 -	Casa de comando
7º -	A23 -	Canaletas
	A26 -	Barramentos
8º -	A22 -	Via de acesso
9º -	A18 -	Instalação da Malha de terra
10º -	A4 -	Escolha do terreno
	A5 -	Projeto básico
	A8 -	Projeto executivo civil
	A30 -	Comissionamento do MPCC
11º -	A7 -	Projeto Executivo Telecomunicação
12º -	A31 -	Comissionamento SE
13º -	A11 -	Especificação de contrato de serviço
	A13 -	Aquisição dos componentes SE
	A29 -	Comissionamento de equipamentos
14º -	A6 -	Aquisição do terreno (negociação)
15º -	A3 -	Relação de compras
	A28 -	Comissionamento Malha de terra

Para um valor menos exigente do limiar de sobreclassificação fraco, apenas a atividade A31 foi diferenciada das atividades A11, A13 e A29, na ordenação descendente.

Para a ordenação ascendente, variando  $\lambda_f$  de 2 para 1, temos as seguintes diferenças nas equivalências (Tabela 7.19):

Tabela 7.19. - Ordenação ascendente  $\lambda_F = 2$  e  $\lambda_f = 1$

Posição	Nome da Atividade	
1º -	A14	Formalização da aquisição do terreno
	A24	Equipamentos
	A25	Montagem do MPCC
2º -	A4	Escolha do terreno
3º -	A13	Aquisição dos componentes SE
	A15	Contratação construção SE
4º -	A10	Projeto executivo MPCC
5º -	A9	Projeto executivo eletromecânico
	A17	Terraplenagem
	A26	Barramentos
6º -	A30	Comissionamento do MPCC
7º -	A7	Projeto Executivo Telecomunicação
	A22	Via de acesso
8º -	A21	Casa de comando

9º -	A18	Instalação da Malha de terra
10º -	A23	Canaletas
11º -	A11	Especificação de contrato de serviço
12º -	A5	Projeto básico
	A31	Comissionamento SE
13º -	A8	Projeto executivo civil
14º -	A20	Bases
15º -	A29	Comissionamento de equipamentos
16º -	A28	Comissionamento Malha de terra
17º -	A6	Aquisição do terreno (negociação)
18º -	A3	Relação de compras

Para um valor menos exigente do limiar de sobreclassificação fraco, na ordenação ascendente, a atividade A4 se diferenciou das atividades A13 e A15, a A30 não ficou mais equivalente a A7 e A22. As atividades A18 e A23 também não ficaram equivalentes e por fim, A11 se diferenciou de A5 e A31.

A análise do problema de gestão para o problema de construção de subestações com o uso do método ELECTRE IV-H mostrou-se coerente com os resultados esperados. Conclui-se que, as duas ordenações estabelecidas nesse novo método provêem mais informações ao decisor, permitindo identificar as atividades de difícil comparação.

Nesse caso, cabe ao decisor uma análise final para escolher as atividades que devem ser gerenciadas com mais atenção, definindo um limite de atividades consideradas mais críticas. Isso é necessário porque o resultado do problema é uma ordenação das atividades em função da sua criticidade e não uma seleção das atividades mais críticas.

## 8 CONCLUSÕES E FUTUROS TRABALHOS

Será apresentada uma discussão geral que integra as principais conclusões obtidas com o estudo, bem como uma visão para futuros trabalhos.

### 8.1 Conclusões

Neste trabalho, foram apresentados modelos multicritérios para tratar problemas de planejamento e gestão de projetos. Este tema é amplamente discutido por várias associações relacionadas à Engenharia de Produção e às outras áreas do conhecimento.

Os termos planejamento e gestão, neste trabalho, têm um sentido diferente, o que resultou num estudo particular de ambos os casos. Os modelos desenvolvidos estão relacionados ao processo de planejamento e gestão de projetos, atendendo a múltiplos critérios e envolvendo prazos, custos e aspectos relacionados ao desempenho futuro de uma organização.

A literatura, por sua vez, apresenta relativamente poucos estudos relacionados ao uso de uma abordagem multicritério para o tratamento da gestão de projetos. Muitos estudos relatam experiências vividas por equipes de projetos relacionados, basicamente, ao contexto de energia elétrica e de construção civil. De uma maneira geral, esses estudos ressaltam as mesmas questões: a necessidade de educação em gestão de projetos para toda a equipe e de integração da equipe, permitindo uma boa comunicação entre elas.

Os modelos iniciais para o tratamento do problema de planejamento de projetos preocupavam-se com o desenvolvimento de procedimentos de otimização para a geração de uma programação de base do projeto, assumindo-se um ambiente determinístico e conhecedor de todas as informações necessárias. Atualmente, grande esforço tem sido destinado ao estudo do ambiente incerto dos projetos, sendo esse tema alvo de várias pesquisas.

Neste trabalho, as incertezas são tratadas de duas formas: por meio de ações mitigadoras para prevenir falhas e pelo uso da técnica PERT, que insere estimativas de tempos probabilísticas. Isso se deve a carência no setor da indústria da construção na fase de estruturação do problema. A indústria da construção civil, por sua vez, tem um caráter artesanal e necessita de modelos que apóiem o gerente da obra, principalmente, no estabelecimento de um plano-base, por meio do qual o projeto será desenvolvido, além de um apoio contínuo durante todo o ciclo de vida do projeto.

Nesse sentido, foi desenvolvido um modelo estrutural para o tratamento do problema de planejamento de projetos, aliado à metodologia multicritério. Esse modelo tem o objetivo de escolher a melhor formatação dentre os possíveis planos de programação dos projetos, além de avaliar a abordagem mais apropriada ao problema: visão localizada ou integrada. Na escolha da melhor programação é inserida uma análise dos objetivos de desempenho da organização.

A abordagem apresentada de planejamento de projetos, na visão localizada, permite auxiliar o estudo para o estabelecimento das metas de cada empreendimento de forma isolada. As técnicas apresentadas permitem uma estruturação dos processos existentes em cada empreendimento, na sua visão macro, e a especificação dos tempos e prazos apropriados dentro da visão de cada empreendimento.

Na visão integrada o modelo é importante para o estabelecimento dos prazos básicos para cada uma das etapas do plano de empreendimentos. Essa visão deve ser avaliada quando há vários projetos sendo desenvolvidos ao mesmo tempo dentro de uma organização e quando é possível haver a divisão de recursos.

Para a gestão de projetos, foram desenvolvidos modelos com o objetivo de identificar as atividades críticas por meio da análise dos fatores críticos dos projetos, numa visão integrada dos empreendimentos. Foram formuladas as três problemáticas: escolha, classificação e ordenação.

Os aspectos críticos do projeto variam de projeto para projeto e devem ser avaliados de forma a identificar as atividades que apresentam maior chance de causar falhas na execução do projeto, sendo essas as atividades realmente críticas. Devido ao longo período de vida dos projetos, a incerteza torna-se ainda mais difícil de tratar e as falhas tendem a ocorrer com mais freqüência. Dessa forma, o monitoramento, por meio da identificação das atividades críticas, e replanejamentos necessários durante a execução dos projetos podem contribuir de forma mais realista para o tratamento da incerteza na gestão de projetos.

Os modelos desenvolvidos para o planejamento e gestão de empreendimentos requerem o envolvimento de toda a equipe do projeto e uma integração dos órgãos da empresa. A aplicação dos modelos consome muito tempo da equipe e requerem uma grande dedicação para atualizarem as informações e realizarem as constantes avaliações. Nesse sentido, o desenvolvimento de sistemas de apoio a decisão e sistemas de integração para facilitar a comunicação entre as equipes é fundamental para aplicação das técnicas.

### 8.1.1 O uso de sistemas de apoio a decisão em gestão de projetos

O problema de gestão de projetos necessita de suporte computacional por ser uma atividade complexa, em que o papel do gerente é de fundamental importância. Percebe-se que os sistemas de apoio a decisão são adequados para esse tipo de problema, pois enfatizam a interatividade com o usuário/decisor nas diversas etapas do processo de tomada de decisão.

Este trabalho apresenta um sistema de apoio a decisão para a gestão de projetos. Esse sistema busca selecionar um conjunto de atividades que foram consideradas críticas mediante critérios como custo, duração, segurança, além da folga. O processo de seleção é realizado por meio do método ELECTRE I, sendo aplicado em dois momentos em estudo: no primeiro, para se ter uma visão geral do problema; no segundo, para selecionar as atividades críticas durante a execução do empreendimento.

O sistema inclui uma das etapas mais importantes do processo de decisão, que é a análise de sensibilidade. O resultado dessa análise pode, ainda, ser exportado para o *Microsoft Excel* para a elaboração de futuros relatórios. O sistema possibilita a geração de cenários, mediante os quais os usuários poderão analisar as alterações ocorridas nos resultados em função de modificações dos valores dos parâmetros de entrada.

Esse sistema tem o objetivo de facilitar a aplicação do modelo de gestão, no entanto, requer um treinamento prévio dos usuários em relação à metodologia multicritério empregada.

As limitações do sistema referem-se a quantidade de critérios considerados em estudo (máximo de 5 critérios). No entanto, está prevista a flexibilização dessa quantidade, visando aumentar esse limite para 10 critérios.

## 8.2 Uso de métodos de apoio multicritério a decisão com informação parcial

Atualmente, os estudos sobre métodos multicritérios têm enfatizado a construção de modelos com informação parcial (Dias e Clímaco, 1999; Dias et al, 2002; Jacquet-Lagreze e Siskos, 2001; Mousseau e Dias, 2004). Esses modelos são justificados pela dificuldade, por parte do decisor, de se estabelecerem os pesos dos critérios. Nesses casos, o decisor precisa estabelecer, pelo menos, uma ordenação dos critérios. Esses modelos permitem análises mais refinadas do problema.

Esses modelos com informação parcial são, em sua maioria, baseados na construção da relação de sobreclassificação (ou subordinação), apesar da complexidade em formular esses modelos devido à sua característica não-compensatória. Nesses casos, a verificação da discordância não é considerada, ou a discordância é considerada como uma aproximação da definição inicial.

O método ELECTRE IV, por sua vez, foi desenvolvido para tratar casos em que não se pode definir os pesos dos critérios, nem mesmo é considerada uma ordenação deles. Contudo, um problema do ELECTRE IV está relacionado a sua estrutura rígida com relação ao estabelecimento das relações de sobreclassificação. O decisor não pode escolher o nível de exigência para formar essas relações.

Considerando a dificuldade do processo de estabelecimento dos pesos dos critérios, e a rigidez do ELECTRE IV, foi desenvolvida uma proposta nova de modelo multicritério. Esse modelo proposto é baseado no método ELECTRE IV, sendo, então, chamado de ELECTRE IV-H. Ele tem o objetivo de ordenar as alternativas sem ser necessário estabelecer os pesos dos critérios, provendo mais flexibilidade ao decisor por meio de um limiar para estabelecer a sobreclassificação entre os pares de alternativas.

A aplicação desse novo método em problemas de gestão de projetos tem o objetivo de ordenar as atividades do projeto em função da criticidade gerencial. A ordenação permite estabelecer uma comparação mais detalhada das atividades do projeto, detectando aquelas que possuem avaliações muito diversas (muito críticas em alguns critérios e não críticas em outros).

### 8.2.1 Uso dos Métodos ELECTRE em problemas de gestão de projetos

Os métodos da família ELECTRE revelaram grande potencial de aplicação em problemas desse contexto, devido à flexibilidade ao enquadramento das problemáticas. O método ELECTRE I, enquadrado em problemáticas de escolha ( $P.\alpha$ ) com critério verdade, o ELECTRE TRI, destinado a problemáticas de classificação ( $P.\beta$ ) com pseudocritério, e o ELECTRE IV enquadrado em problemáticas de ordenação ( $P.\gamma$ ) com pseudocritério.

Os métodos ELECTRE I e ELECTRE TRI foram considerados para tratar o problema de gestão de empreendimentos, sendo o primeiro destinado a selecionar um subconjunto contendo as atividades mais críticas do projeto. O ELECTRE TRI, por sua vez, foi empregado com a finalidade de classificar as atividades do empreendimento em três categorias distintas,

cada uma representando um modelo gerencial. O novo método proposto ELECTRE IV-H (baseado no ELECTRE IV), foi empregado para ordenar as atividades do plano de empreendimentos de uma organização, da mais crítica para a menos crítica. Os resultados da aplicação de tais métodos mostraram-se coerentes e permitiram analisar de forma mais criteriosa o processo de gestão de empreendimentos.

### 8.3 Sugestões para Futuros Trabalhos

Uma extensão do trabalho seria a visualização dos modelos de planejamento e gestão de projetos com apoio multicritério, em uma abordagem de gerenciamento integrado via intranet ou *Web*.

Em outro caso, poderia ser estruturado um modelo para tratar o problema de gestão de empreendimentos com modelagem de decisão em grupo, tentado agrupar os sistemas de valor dos vários atores do processo de decisão.

Uma continuidade deste trabalho seria o desenvolvimento de um sistema de apoio a decisão para o problema de classificação das atividades em categorias distintas, em função da forma gerencial além dessa idéia para tratar o problema de ordenação. Nesse caso, o decisor poderia escolher a abordagem mais apropriada para o problema (considerando que o sistema atual foi construído apenas para o caso de escolha).

A visão do novo método ELECTRE IV-H, proposto neste trabalho, poderia ser estendida para o caso da classificação de alternativas, sendo desenvolvido o método ELECTRE TRI-H.

Poderia também ser avaliado o uso de outros métodos multicritérios, tomando-se como exemplo o método PROMETHEE GAIA, que apresentaria um resultado com interpretação gráfica visual sobre as atividades do empreendimento, e o MAUT, que tem uma forte estrutura axiomática e permite a compensação entre os critérios.

### 8.4 Comentários finais

O estudo desenvolvido está relacionado ao processo de planejamento e gestão de empreendimentos com avaliação multicritério, atendendo a múltiplos critérios, envolvendo

prazos, custos e aspectos relacionados ao desempenho futuro de uma organização. O problema de gestão deve ser analisado numa visão integrada dos empreendimentos, sendo considerado todo o plano de empreendimentos da organização.

Para a aplicação dos modelos de gestão propostos, é necessário contar com o esforço da equipe de gerenciamento para obter os dados e acompanhar a evolução do projeto, verificando possíveis mudanças no processo. Esse consumo de tempo por parte da equipe gera uma dificuldade na implantação dos modelos desenvolvidos.

A utilização de metodologias multicritérios em problemas de planejamento e gestão de empreendimentos pode alavancar a competitividade do negócio, permitindo avaliar a criticidade das diferentes atividades que compõem o empreendimento. As atividades detalhadas por meio de redes PERT são avaliadas com o auxílio de vários aspectos, tais como: custo, variância das estimativas de tempo, mobilização de recursos, folga, segurança e impacto na qualidade final do empreendimento. Em algumas situações, outros critérios bem distintos daqueles que foram apresentados podem prevalecer no estudo.

Os resultados deste estudo estão direcionados para três diferentes setores de aplicação: a indústria da construção civil, o setor de energia elétrica e desenvolvimento de TI.

## BIBLIOGRAFIA DE REFERÊNCIA

ABUDAYYEH, O; TEMEL, B.; AL-TABTABAI, H.; HURLEY, B. (2001) An Intranet-based cost control system. *Advances in Engineering Software*, v.32, n.2, pp.87-94.

ALENCAR, L.H. (2003) Avaliação e gestão de projeto na construção civil com apoio do método PROMETHEE. Dissertação do Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção da UFPE.

AL-HARBI, K. M.; AL-SUBHI (2001) Application of the AHP in project management, *International Journal of Project Management*, v.19, n.1, pp.19-27.

AL-JIBOURI, SAAD (2001) Effects of Resource Management Regimes on Project Schedule. *International Journal of Project Management*, v.20, pp.271-277.

ALMEIDA, A.T.; COSTA, A.P.C.S. (2003) *Aplicações com Métodos Multicritério de Apoio a Decisão*. Livro Organizado, Ed. Universitária, Recife, v.XIV.

ALMEIDA, A.T. (2002) Processo de Planejamento e Gestão de Empreendimentos com Avaliação Multicritério. Relatório da Aneel/CELPE.

ALMEIDA, A.T. (2003) Processo de Planejamento e Gestão de Empreendimentos com Avaliação Multicritério, Relatório do Projeto RHAE/CNPq - Processo n.610.068/01-6.

ALMEIDA, A.T. de; SANTOS, R.B.; MIRANDA, C.M.G.de. (2001) Choices In Project Management Based On Multicriteria Aid. In: *INFORMS International Conference*, Hawaii.

ANONYMOUS (2000) Find the right software. *Electrical World*; New York, v.214, n.4.

ARONDEL C.; GIRARDIN P. (2000) Sorting cropping systems on the basis of their impact on groundwater quality. *European Journal of Operational Research*, v.127, n.3, pp.467-482.

BANA E COSTA, C. (1988) Introdução Geral à Abordagens Multicritério de Apoio à Tomada de Decisão. *Investigação Operacional*, v.8, n.1, pp.117-139.

BANA E COSTA, C; SILVA, F.N.; VANSNICK, J. (2001) Conflict Dissolution in the public sector: A case Study, *European Journal of Operational Research*, v.130, pp.388-401.

BELTON, V.; STEWART, J. (2002) *Multiple Criteria Decision Analysis – an Integrated Approach*, kluwer Academic Publishers, London.

BERGER, J. O. (1985) *Statistical Decision Theory and Bayesian Analysis*. Springer-Verlag.

- BIDGOLI, H. (1989) *Decision Support Systems - Principle and Practice*. West Publishing Company.
- BOMMER, M; DELAPORTE, R.; HIGGINS, J. (2002) Skunkworks approach to project management, *Journal Of Management In Engineering*, v.18, n.1, pp.21-28.
- BRADY, D.C. (1991) Case-Study Of A Hoisting Facility Upgrading. *Cim Buletinl*, v.84, n.954, pp.31-33.
- BRANS, J.P.; MARESCHAL, B. (1998) *Multicriteria Decision Aid. The PROMETHEE-GAIA Solution*. Vrije Universiteit Brussel. Centrum voor statistiek en operationeel onderzoek – STOOTW, November.
- BRANS, J.P.; VINCKE, P.H. (1985) A preference ranking organization method, the PROMETHEE method for MCDM. *Management Science*, v.31, pp.647-656.
- BRANS, J.P.; VINCKE, P.H. (1985) A preference ranking organization method, the PROMETHEE method for MCDM, *Management Science*, v.31.
- BRANS, J.P.; MARESCHAL, B.; VINCKE, P.H. (1984) PROMETHEE: A new family of outranking methods in multicriteria analysis, *Informs*, pp.477-490.
- BROWN, D.C.; ASHLEIGH, M.J.; RILEY, M.J.; SHAW, R.D. (2001) Optimising the Construction Supply Chain, *Journal of Management in Engineering*, v.17, n.4.
- CAMPELLO DE SOUZA, F.M. (2002) *Decisões Racionais em Situações de Incerteza*, Editora Universitária da UFPE, Recife.
- CAMPOS, V.F. (1990) *Gerencia da Qualidade Total: Estratégia para Aumentar a Competitividade da Empresa Brasileira* Bloch Editora, Rio de Janeiro.
- CARR, V.; TAH, J.H.M. (2001) A Fuzzy Approach to Construction Project Risk Assessment and Analysis: Construction Project Risk Management System, *Advances in Engineering Software*, v.32.
- CHAPMAN, C. (2002) *Managing Project Risk and Uncertainty: A Constructively Simple Approach to Decision Making*, John Wiley and Sons Ltd, Hardcover, August.
- CHAPMAN, C.; WARD, S. (2003) *Project Risk Management - Processes, Techniques and Insights*, Hardcover, September.
- CHUA, D.K.H.; LOH, P.K.; KOG, Y.C.; JASELSKIS, E.J. (1997) Neural networks for construction project success. *Expert Systems With Applications*, v.13, n. 4, pp. 317-28

CLÍMACO, J.N.; ANTUNES, C.H.; ALVES M.J.G. (2003) *Programação Linear Multiobjectivo: do modelo de programação linear multiobjectivo à consideração explícita de várias funções objectivo*. Imprensa da Universidade de Coimbra.

CLIMACO, J.; MARTINS, A. GOMES; DE ALMEIDA, A. (1990) On the use of multicriteria optimisation for electric energy planning, *International Journal of Global Energy Issues*, v.2, n. 3, pp. 194-203.

COHEN, M.D.; KELLY, C.B.; MEDAGLIA, A.L. (2001) Decision support with Web-enabled software. *Interfaces*, v.31, n.2, pp.109-129.

DAVIS, C.B.; OLSON, M.H. (1985) *Management Information Systems: Conceptual Foundations, Structure and Development*. McGraw-Hill.

DAVIS, E.W.; PATTERSON, J.H. (1975) A Comparison of Heuristic and Optimum Solution in Resouce-constrained project scheduling. *Management Science*, v.21, n.8, pp.944-955

DIAS L.C.; CLÍMACO, J. (2000) ELECTRE TRI for groups with imprecise information on parameter values. *Group Decision and Negotiation*, v.9, n.5, pp.355-377.

DIAS, L.C.; CLÍMACO, J.N. (2000) Additive aggregation with variable interdependent parameters: the VIP analysis software, *Journal of the Operational Research Society*, v.51, pp.1070-1082.

DIAS, L.C.; CLÍMACO, J.N. (1999) On computing ELECTRE's credibility indices under partial information, *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, v.8, n.2, pp.74–92.

DIAS, L.C.; MOUSSEAU, V.; FIGUEIRA, J.; CLÍMACO, J. (2002) An aggregation/disaggregation approach to obtain robust conclusions with ELECTRE TRI, *European Journal of Operational Research*, v.138, n.2, pp.332–348.

DUROCHER, D.B. (1999) The top six forces shaping electrical distribution and management. *Tappi Journal*, v.82, n.9.

FERNANDEZ, A.A.; ARMACOST, R.L.; PET-EDWARDS, J. (1996) The role of the nonanticipativity - constraint in commercial software for stochastic project scheduling. *Computers and Industrial Engineering*, v.31, pp.233–236.

GAITHER, N.; FRAZIER, G. (2001) *Administração da produção e Operações*. Editora Pioneira.

GARVIN, D. A. (1992) *Gerenciando a Qualidade*, Qualitymark

GOMES, L.F.A.; GOMES, C.F.S.; ALMEIDA, A.T. (2002) *Tomada de Decisão Gerencial: O Enfoque Multicritério*, Rio de Janeiro. Ed. Atlas, v.1.

- GREEK, D.; PULLIN, J. (1999) *Overrun, overspent, overlooked*. Professional Engineering; Bury St. Edmunds, v.12, n.3, pp.27-28.
- HANNA A.S.; CAMLIC R.; PETERSON, P.A. (2002) Quantitative definition of projects impacted by change orders. *Journal Of Construction Engineering And Management-Asce*, v.128, n.1, pp.57-64.
- HANNA, A.S.; RUSSELL, J.S.; NORDHEIM, E V. (1999) Impact of change orders on labour efficiency for electrical construction. *Journal of Construction Engineering and Management*, v.125, n.4, pp.224-232.
- HARDIE, N. (2001) The prediction and control of project duration: A recursive model. *International Journal of Project Management*; Killington, v.19, n.7, pp.401-409.
- HERATH, H.S.B.; PARK, C.S.; PRUEITT, G.C. (1995) Monitoring projects using cash flow control charts. *The Engineering Economist*, v.41, n.1, pp.27
- HERROELEN, W.; LEUS, R. (2003) Project scheduling under uncertainty – survey and research potentials. *European Journal of Operational Research*, v.38.
- HERROELEN, W.; LEUS, R. (2004) Robust and Reactive Project scheduling: a Review and classification of Procedures, *International Journal of Production Research*, v.42, n 8.
- HERROELEN, W.; LEUS, R.; DEMEULEMEESTER, E. (2002) Critical chain project scheduling: do not oversimplify. *Project Management Journal*, v.33, n.4, pp.48–60.
- HILL, T. (1993) *Manufacturing strategy*. 2. Ed Macmillan.
- HOLT, M.(2000) Don't miss the mark on your next estimate. *Electrical Construction and Maintenance*, v.99, n.5.
- HOWELL, I. (2001) Doing projects online boosts your bottom line. *EC & M; Overland Park*, v.100, n.1, pp.34-39.
- HUGONNARD, J.; ROY, B. (1984) Ranking of suburban line extension projects for the Paris metro system by multicriteria method, *Transportation Research*, v.16, pp.301-312.
- ISHIKAWA, K. (1993) *Controle de Qualidade Total: A Maneira Japonesa*. Editora Campus, Rio de Janeiro.
- JACQUET-LAGREZE, E.; SISKOS, Y. (2001) Preference disaggregation, 20 years of MCDA experience, *European Journal of Operational Research*, v.130, n.2, pp.233–245.
- JOERIN F.; THERIAULT M.; MUSY A. (2001) Using GIS and outranking multicriteria analysis for land-use suitability assessment. *International Journal of Geographical Information Science*, v.15, n.2, pp.153-174.

- JÜNGEN, F. J.; KOWALCZYK, W. (1995) An Intelligent interactive Project Management Support System, *European Journal of Operations Research*, v.84.
- KAYTON, M. (1997) A practitioner's view of system engineering, *IEEE Transactions On Aerospace And Electronic Systems*, v.33, n.2, pp.579-586 Part 2.
- KEENEY, R. L.; RAIFFA, H. (1976) *Decision with Multiple Objectives: Preferences and Value Trade-offs*, John Wiley & Sons.
- KELLEY, J.R (1961) Critical-path planning and scheduling: Mathematical basis, *Operations Research* v.9, n.3, pp.296-320.
- KIM, G.; NUTE, D.; RAUSCHER, H.M. (2000) App Builder for DSS Tools: an application development environment for developing decision support systems in Prolog, *Computers Electronics In Agriculture*, v.27 , n.3, pp.107-125.
- KLEIN, R. (2000) Project scheduling with time-varying resource constrains, *International Journal of Production Research*, v.38, n 16.
- KUMAR, C. D.; SARMA, V.V.S. (1996) Towards building an intelligent decision support system for project management. *Sadhana - Academy Proceedings In Engineering Sciences*, v.21, pp.327-343, Part 3.
- KURTULUS, I.; DAVIS, E.W. (1982) Multi-project scheduling: Categorization of Heuristic Rules Performance. *Management Science*, v.28, n.2, pp.161-172.
- LAM, H.F.; TSE-YUNG; PAUL CHANG (2002) Web-based information management system for construction projects. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, v.17, n 4, p 280-93.
- LAUFER, A.; TUCKER, R.L. (1988) Competence and timing dilemma in construction planning. *Construction Management and Economics*. London, UK, September, v.6, n.5, pp.339-355.
- LAWTON, G. (2000) Project management tools help utilities, *Electrical World*; New York, v.214, n.4, pp.48-50.
- LIM, C.S.; MOHAMED, M.Z. (2000) An exploratory study into recurring construction problems. *International Journal of Project Management*; Kidlington, v.18, n.4, pp.267-273.
- LOVA, A; MAROTO, C; TORMOS, P. (2000) A multicriteria heuristic method to improve resource allocation in multiproject scheduling. *European Journal of Operational Research*; Amsterdam, v.127, n.2, pp.408-424.
- LOVE, P.E.D.; IRANI, Z. (2003) A Project Management Quality Cost Information System for the Construction Industry, *Information & Management*, v.40.

LOW, S.P.; YEO, H.K.C. (1998) A construction quality costs quantifying systems for the building industry, *International Journal of Quality and Reliability Management*, v.15, n.3, pp.329-349.

MAYLOR, H. (2002) *Project Management*, Paperback, July.

MEDEIROS, D.D.; SICZU. A. (2003) *Qualidade e Inovação em Serviços: Contribuições da Engenharia de Produção*, Livro Organizado, Recife, v.XVIII.

MESEGUER, A.G. (1991) *Controle e garantia da qualidade na construção*. São Paulo, Sinduscon – SP/ Projeto/PW.

MIAN, S.A.; DAÍ, C.X. (1999) Decision-making over the project life cycle: An analytical hierarchy approach. *Project Management Journal*, v.30, n.1, pp.40-52.

MIRANDA, C.M.G.de; ALMEIDA, A.T.de (2002) Seleção de Atividades Críticas em Projetos com Avaliação Multicritério. *XXXIV Simpósio Brasileiro De Pesquisa Operacional*, Rio de Janeiro, pp.1-14.

MIRANDA, C.M.G.de.; SANTOS, R.B.; ALMEIDA, A.T.de (2001) Avaliação multicritério no planejamento de empreendimentos. *XXXIII Simpósio Brasileiro De Pesquisa Operacional*, Campos do Jordão - SP, pp.1-12.

MIRANDA, C.M.G.de; ALMEIDA, A.T.de (2003) Gestão De Empreendimentos De Construção Civil Com Avaliação Multicritério. In: *Qualidade e Inovação em Serviços: Contribuições da Engenharia de Produção*. Recife, v.XVIII, pp.23-44.

MIRANDA, C.M.G.de; ALMEIDA, A.T.de (2004) Multicritério da Avaliação de Programas de Pós-Graduação pela Capes - O Caso da Área Engenharias III Baseado nos Métodos ELECTRE II e MAUT. *Gestão & Produção*, São Paulo, v.11, n.1, pp.51-64.

MIRANDA, C.M.G.de; ALMEIDA, A.T.de (2003) Visão Multicritério da Avaliação de Programas de Pós-Graduação pela Capes - O Caso da Área Engenharias III Baseado nos Métodos ELECTRE TRI. *Revista Produção*, São Paulo, v.13, n.3, pp.101-112.

MIRANDA, C.M.G.de; ALENCAR, L.H.; ALMEIDA, A.T.de (2004) Project management based on multicriteria evaluation - selection of critical activities. *Review Of Business Research, Washington*, v.01, pp.01-11.

MIRANDA, C.M.G.de; ALMEIDA, A.T.de; ALENCAR, L.H. (2003) Seleção de Atividades Críticas na Gestão de Projeto na Construção Civil. In: *Aplicações com Métodos Multicritério de Apoio a Decisão*. Recife, v.XIV.

MIRANDA, C.M.G.de; FERREIRA, R.J.; GUSMÃO, A.P.; ALMEIDA, A.T.de (2004) Sistema de apoio a decisão para seleção de atividades críticas no gerenciamento de projetos com avaliação multicritério. *Revista Produção on-line*, pp.1-8.

- MOREIRA, D.L.A (1993) *Administração da Produção e Operações*; ED. Pioneira.
- MOSELHI, O.; HEGAZY, T.; FAZIO, P. (1993) DBID: Analogy-based DSS for bidding in construction, *Journal of Construction Engineering and Management*, v.119.
- MOUSSEAU V.; SLOWINSKI R. (1998) Inferring na ELECTRE TRI Model from Assignment Examples, *Journal of Global Optimisation*, v.12, pp.157-174.
- MOUSSEAU V.; FIGUEIRA J.; NAUX J.P. (2001) Using assignment examples to infer weights for ELECTRE TRI method: Some experimental results, *European Journal of Operational Research*, v.130, n.2, pp.263-275.
- MOUSSEAU, V.; SLOWINSKI, R.; ZIELNIEWICZ, P. (2000) A user-oriented implementation of the ELECTRE-TRI method integrating preference elicitation support, *Computers & Operations Research*, v.27, n.7-8, pp.757-777.
- MOUSSEAU, V.; DIAS, L. (2004) Valued outranking relations in ELECTRE providing manageable disaggregation procedures, *European Journal of Operational Research*, v.156, pp.467-482.
- MUSETTI, M.A. (1998) Planejamento e Controle de Projetos. In *Gerenciamento na Construção Civil*: Editado por Edmundo Escrivão Filho: São Carlos: EES/USP, pp.1-256.
- NETTO, A.V. (1988) *Como gerenciar construções*. São Paulo: Pini.
- NKASU, M.M.; LEUNG, K.H. (1997) A resources scheduling decision support system for concurrent project management, *International Journal of Production Research*, v.35, n 11.
- NORFOLK, JÁ (1996) Drax power station FGD electrical power system - The direct project management approach, *Power Engineering Journal*, v.10, n.6, pp.255-261.
- OLSON, D.L.(1996) *Decision aids for election problems*. Springer.
- PAQUIN, J.P.; COUILLARD, J.; FERRAND, D.J. (2000) Assessing and controlling the quality of a project end product: The earned quality method. *IEEE Transactions on Engineering Management*; New York, v.47, n.1.
- PICCHI, F.A.(2001) Lean Thinking (Mentalidade Enxuta): Avaliação Sistemática do Potencial de Aplicação no Setor de Construção. *Simpósio Brasileiro de Gestão da Qualidade e Organização do Trabalho no Ambiente Construído*. Artigo técnico, Fortaleza – CE.
- PINTO, J. (2002) Project Management, *Ieee Engineering Management Review*. March- april, pp.22-37.
- PITAGORSKY, G. (2001) A scientific approach to project management. *Machine Design*; Cleveland, v.73, n.14.

- PMBoK (2001) *Guide of Project Management Body of Knowledge*, Paperback, January (Project Management Institute – PMI).
- PREMACHANDRA, I.M. (2001) An approximation of the activity duration distribution in PERT. *Computers & Operations Research*, New York, v.28, pp.443-452.
- PRUEITT, G.C.; PARK, C.S. (1997) Phased capacity expansion-using continuous distributions to model prior beliefs. *The Engineering Economist*, v.42, n.2, pp.91-110
- RAIFFA, H. (1970) *Decision Analysis*. Addison-Wesley.
- RAJU, K.S.; DUCKSTEIN, L; ARONDEL, C. (2000) *Multicriterion analysis for sustainable water resources planning: A case study in Spain*. Water Resources Management, v.14, n.6, pp.435-456.
- RIGGS, J.L.; BROWN, S.B.; TRUEBLOOD, R.P. (1994) Integration Of Technical, Cost, And Schedule Risks In Project-Management, *Computers & Operations Research*, v.21, n.5, pp.521-533.
- ROULET, C.; LABBEN, F.; SANTAMOURIS, M.; KORONAKI, I.; DASCALAKI, E.; RICHALET, V. (2002) ORME: A Multicriteria Rating Methodology For Buildings. *Building and Environment*, v.37, pp.579-586.
- ROWE, A.; SMART, P.; CORLEY, J.; TRANFIELD, D.; LEVENE, R.; DEASLEY, P. (2002) New management forms for construction projects, *IEEE International Engineering Management Conference. Proceedings*, v.1, pp. 372-377.
- ROY, B. (1978) ELECTRE III: Algorithme de Classement Basé Sur Une Représentation Floue Des Préférences en Présence de Critères Multiples. *Cahiers du CERO* v.20, n.1, pp.3-24. APUD Vincke (1992).
- ROY, B. (1996) *Multicriteria Methodology Goes Decision Aiding*. Kluwer Academic Publishers.
- ROY, B.; BERTIER, P. (1971) La Méthode ELECTRE II. *Working paper- SEMA*, v.142, APUD Vincke (1992).
- ROY, B.; BERTIER, P. (1973) La Méthode ELECTRE II, Une Application au Média-Planning. *Operations Research*, v.72, pp. 291-302b. APUD Vincke (1992).
- ROY, B; BOUYSSOU, D (1986) Comparison of two decision-aid models applied to a nuclear power plant siting example. *European Journal of Operational Research* v.25, pp.200-215.
- SCHAFTER, A (2001) Software roundup: Project management. *T + D*; Alexandria, v.214, n.4.

- SCHIMMOLLER, B.K. (2000) Evolving power markets challenge project developers. *Power Engineering*; Barrington, v.104, n.9.
- SEYDEL, J.; OLSON, D. (1990) Bids considering multiple criteria, *Journal of Construction Engineering and Management*, v.116, pp.609-623.
- SEYDEL, J.; OLSON, D. (2001) Multicriteria Support for Construction Bidding, *Mathematical and Computer Modelling*, v.34.
- SHADID, S.; FROESE, T. (1998) Project management information control systems. *Canadian Journal of Civil Engineering*, v.25, n.4, pp.735-754.
- SHIM, J.P.; WARKENTIN, M.; COURTNEY, J. F.; POWER, D.J. (2002) Past, present, and future of decision support technology. *Decision Support Systems*, v.33, pp.111-126.
- SIDDIQI, S.N. (2000) Project valuation and power portfolio management in a competitive market. *IEEE Transactions on Power Systems*, v.15, n.1.
- SKIBNIEWSKI, M . NITITHAMYONG, P. (2002) Use of web technologies in construction project management: what are the critical success/failure factors?. *Information Management*, v.15, n 3-4, p 15-16.
- SLACK, N.; CHAMBERS, S.; HARLAND, C.; HARRISON, A.; JOHNSON, R. (1995) *Administração da Produção*, Atlas.
- SMITH, J.Q. (1988) *Decision Analysis - A Bayesian Approach*. Chapman and Hall.
- SMITH, J.I.M. (2001) Bigger is better. *Project Finance*; London, v.219, pp.25-27.
- SPRAGUE, R.H.; WATSON, H.J. (1989) *Decision Support Systems - Putting Theory into Practice*. Prentice-Hall International.
- SRIVASTAVA, B.; KAMBHAMPATI, S.; DO, M.B. (2001) Planning the project management way: efficient planning by effective integration of causal and resource reasoning in Real Plan. *Artificial Intelligence*, v.131, n.1/2.
- TATUM, C.B.; KORMAN, T. (2000) Coordinating building systems: process and knowledge. *Journal of Architectural Engineering* [H.W. Wilson - AST], v.6, n.4, pp.116-121.
- TAVARES, L.V., FERREIRA, J.A.A. ; COELHO, J.S. (1998) On the optimal management of project risk. *European Journal of Operational Research*, v.107, pp.451-469.
- THIERAUF, R.J.(1982) *Decision support systems for effective planning and control - A case study approach*. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, ISBN 0-13-198234-6, New Jersey.

- TURNER, J.R. (1992) *The Handbook of Project Based Management: Improving Processes for Achieving Your Strategic Objectives*. New York: McGraw-Hill.
- TURNER, J.R.; COCHRANE, R.A. (1993) Goals-and-methods matrix: coping with projects with ill-defined goals and/or methods of achieving them. *International Journal of Project Management*, v.11, pp.93–102.
- VARGAS, N. (1983) *Racionalidade e racionalização: o caso da construção habitacional. Organização do trabalho*. Atlas.
- VARGAS, R.V. (2002) *Gerenciamento de projetos: estabelecendo diferenciais competitivos*. Rio de Janeiro: Brasport, 3<sup>a</sup> ed. Isbn 85-7452-088-8.
- VINCKE, P. (1992) *Multicriteria Decision-Aid*. John Wiley & Sons Ltd. ISBN: 0-471-93184-5.
- WILLIANS, T.M. (1995) What are PERT Estimates?, *Journal of Operational Research Society*, v.46, pp.1494-1504.
- WONG, E.T.T.; NORMAN, G.; FLANAGAN, R. (2000) A fuzzy stochastic technique for project selection Construction. *Management and Economics*; London, v.18, n.4.
- ZAK, J. (2001) Gis e Análise Multicritério . *Conferência no XXXII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*, Campos do Jordão - SP.

