

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

ACELERAÇÃO DE PROJETOS NA CURVA DE TEMPO-CUSTOS:  
UMA IMPLEMENTAÇÃO COMPUTACIONAL

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE  
MESTRE EM ENGENHARIA



01741361

JOSÉ SEVERINO FAVERO

FLORIANÓPOLIS - BRASIL

MAIO DE 1989

ACELERAÇÃO DE PROJETOS NA CURVA DE TEMPO-CUSTOS:  
UMA IMPLEMENTAÇÃO COMPUTACIONAL

JOSÉ SEVERINO FAVERO

ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA  
PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE

"MESTRE EM ENGENHARIA"

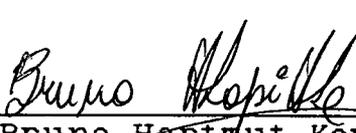
ESPECIALIDADE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, E APROVADA  
EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO.



---

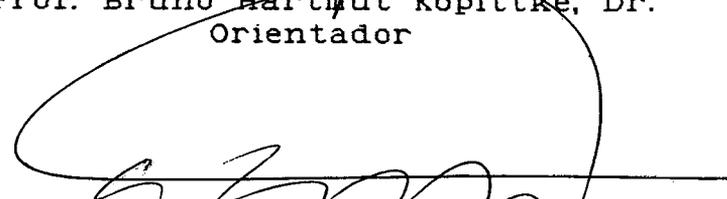
Prof. Ricardo Miranda Barcia, Ph.D.  
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:



---

Prof. Bruno Hartmut Kopittke, Dr.  
Orientador



---

Prof. Nelson Casarotto F., M.Eng.  
Co-orientador



---

Prof. João E. E. Castro, M.Eng.

Aos meus pais,  
Severino e Zaira

## AGRADECIMENTOS

Aos professores Casarotto, Castro e Kopittke, pela orientação, críticas e sugestões recebidas.

Aos professores, alunos e funcionários do DEPS, pelo convívio fraternal durante a realização deste trabalho.

A CAPES, pelo auxílio financeiro.

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	VIII
LISTA DE QUADROS.....	X
RESUMO.....	XI
ABSTRACT.....	XII

### 1. INTRODUÇÃO

1.1. Considerações gerais.....	1
1.2. Objetivos do trabalho.....	5
1.3. Importância do trabalho.....	5
1.4. Limitações do trabalho.....	6
1.5. Organização do trabalho.....	7

### 2. CARACTERIZAÇÃO DO AMBIENTE DE PROJETOS

2.1. Introdução.....	9
2.2. Projetos.....	10
2.2.1. Considerações gerais.....	10
2.2.2. Tipos de projetos.....	11
2.2.3. Hierarquia de projetos.....	16
2.2.4. A abordagem de sistemas em projetos.....	18
2.3. Empresas de projetos.....	23
2.3.1. Considerações gerais.....	23
2.3.2. Estruturas organizacionais.....	25
2.3.2.1. Gerência de projetos em staff.....	27
2.3.2.2. Organização de projeto pura.....	28
2.3.2.3. Organização matricial.....	29
2.3.3. Modalidades de contratação.....	31
2.3.3.1. Preço global.....	33
2.3.3.2. Preço unitário.....	34
2.3.3.3. Administração.....	35
2.3.3.4. Administração com remuneração fixa.....	37
2.3.3.5. Remuneração horária.....	37

2.3.3.6.	Empreitada global.....	38
2.3.3.7.	Outras modalidades contratuais.....	39
2.3.4.	Custos em empresas de projetos.....	40
2.3.4.1.	Divisão e classificação dos custos.....	41
2.4.	Planejamento e controle de projetos.....	45
2.4.1.	Considerações gerais.....	45
2.4.2.	Planejamento e controle técnico.....	48
2.4.3.	Ferramentas básicas para o PCA.....	49
2.4.3.1.	WBS.....	49
2.4.3.2.	PERT/CPM.....	51
2.4.3.3.	Cronogramas.....	55
2.4.3.4.	Orçamentos.....	56
2.4.4.	Planejamento e controle administrativo.....	58
2.4.4.1.	Planejamento e controle de tempo.....	59
2.4.4.2.	Planejamento e controle de custos.....	61
2.4.4.3.	Planejamento e controle de recursos....	64
2.4.4.4.	Sistema de informações e documentação..	66
3.	<b>ACELERAÇÃO DE PROJETOS NA CURVA DE TEMPO-CUSTO</b>	
3.1.	Introdução.....	69
3.2.	Caracterização do modelo de aceleração de projetos.....	70
3.2.1.	Considerações sobre as curvas de custos diretos.	74
3.2.2.	As curvas de custos indiretos e totais.....	76
3.2.3.	A curva de multas e prêmios.....	79
3.2.4.	Benefícios decorrentes da análise de aceleração.	80
3.3.	Algumas metodologias para a aceleração de projetos.....	81
3.3.1.	Método da força bruta.....	84
3.3.2.	Método tabular.....	89
3.3.3.	Métodos de programação matemática.....	93
3.3.4.	Comentários sobre as metodologias.....	98
3.4.	A metodologia implementada.....	99
3.4.1.	Introdução à teoria do fluxo em redes.....	99
3.4.2.	Fluxo em redes PERT/CPM.....	101
3.4.3.	O algoritmo do fluxo para PERT/CPM.....	106
3.4.4.	Exemplo.....	109
4.	<b>IMPLEMENTAÇÃO COMPUTACIONAL DO MODELO DE ACELERAÇÃO</b>	
4.1.	Introdução.....	117
4.2.	Entrada de dados.....	118

4.2.1. Entrada de dados da rede PERT/CPM.....	122
4.2.2. Entrada de dados das atividades.....	122
4.2.3. Entrada de dados dos custos indiretos.....	124
4.3. Alteração de dados.....	125
4.3.1. Alteração de dados de atividades.....	125
4.3.2. Alteração de dados de custos indiretos.....	126
4.4. Aceleração de projetos.....	128
4.4.1. Rede PERT/CPM.....	128
4.4.2. Algoritmo do fluxo para PERT/CPM.....	129
4.5. Relatórios.....	130
4.6. Análise de sensibilidade.....	143
4.6.1. Custos diretos.....	143
4.6.2. Custos indiretos.....	145
<b>5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES</b>	
5.1. Conclusões.....	150
5.2. Recomendações.....	151
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>153</b>
<b>ANEXO.....</b>	<b>156</b>

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 01 - Relacionamento entre áreas de projeto.....	17
FIGURA 02 - Representação de um sistema realimentado.....	20
FIGURA 03 - Fases de um projeto.....	20
FIGURA 04 - O desenvolvimento em espiral dos projetos.....	22
FIGURA 05 - Nível de atividade típico em empresas de regime permanente.....	24
FIGURA 06 - Nível de atividade típico em um projeto.....	24
FIGURA 07 - Nível de atividade desejável em empresas de projetos.....	25
FIGURA 08 - Gerencia de projetos em staff.....	28
FIGURA 09 - Organização de projeto pura.....	29
FIGURA 10 - Organização matricial.....	30
FIGURA 11 - O processo de planejamento e controle.....	46
FIGURA 12 - Níveis de planejamento e controle.....	47
FIGURA 13 - Exemplo de WBS.....	50
FIGURA 14 - Exemplo de rede PERT/CPM.....	52
FIGURA 15 - Exemplo de cronograma.....	55
FIGURA 16 - Incerteza na orçamentação do projeto.....	57
FIGURA 17 - Curva "S" de custos acumulados.....	62

FIGURA 18 - Distúrbios na curva de custos planejados.....	63
FIGURA 19 - Curvas de custos acumulados e a análise de capital de giro.....	66
FIGURA 20 - O sistema integrado de informações ideal.....	68
FIGURA 21 - Curva teórica de tempo-custo direto da atividade i, j.....	71
FIGURA 22 - Curva teórica acumulativa de custos indiretos do projeto.....	72
FIGURA 23 - Linearização da curva teórica de tempo- custo direto da atividade i, j.....	73
FIGURA 24 - Casos especiais de curvas de tempo- custo direto.....	77
FIGURA 25 - Curvas teóricas de custos diretos, indiretos e totais do projeto.....	78
FIGURA 26 - Variação no custo indireto do projeto.....	79
FIGURA 27 - Multas e prêmios contratuais.....	80
FIGURA 28 - Rede PERT/CPM do exemplo de Stanger.....	82
FIGURA 29 - Curvas de tempo-custos do exemplo de Stanger.....	83
FIGURA 30 - Método da força bruta aplicado ao exemplo de Stanger.....	86
FIGURA 31 - Rede PERT/CPM do exemplo de Stanger, com os canais duplos do algoritmo do fluxo.....	105
FIGURA 32 - Algoritmo do fluxo para CPM aplicado ao exemplo de Stanger.....	111
FIGURA 33 - Fluxograma do ADP.....	119
FIGURA 34 - Fluxograma do algoritmo do fluxo para CPM.....	120
FIGURA 35 - Tela do menu principal.....	121

FIGURA 36 - Tela de entrada de dados da rede .....	121
FIGURA 37 - Tela de entrada de dados das atividades.....	123
FIGURA 38 - Tela de entrada de dados de custos indiretos.....	123
FIGURA 39 - Tela de alteração de dados de custos indiretos - valor individual.....	127
FIGURA 40 - Tela de alteração de dados de custos indiretos - valor em grupo.....	127
FIGURA 41 - Relatórios PERT/CPM sem aceleração.....	131
FIGURA 42 - Relatórios PERT/CPM com aceleração.....	133
FIGURA 43 - Relatório resumo de aceleração.....	142
FIGURA 44 - Análise de sensibilidade - custos diretos.....	144
FIGURA 45 - Exemplo de acréscimo percentual nos custos indiretos.....	146
FIGURA 46 - Gráfico comparativo das curvas de custos do projeto com e sem um acréscimo de 20% nos custos indiretos.....	147
FIGURA 47 - Exemplo de simulação de multas e prêmios nos custos indiretos.....	148
FIGURA 48 - Gráfico comparativo das curvas de custos do projeto com e sem multas e prêmios.....	149

#### LISTA DE TABELAS

TABELA 01 - Dados básicos e custos marginais de aceleração das atividades do exemplo de Stanger.....	82
TABELA 02 - Método tabular aplicado ao exemplo de Stanger.....	92

## RESUMO

A análise de aceleração de projetos tem por objetivo reduzir a duração total de um projeto ao menor custo possível pela aplicação adicional de recursos apenas nas atividades que proporcionam, como contrapartida, a redução esperada na duração total. Apesar de ser eficiente e bastante conhecida, não vem sendo utilizada em larga escala devido a dificuldade em realizá-la por meio de métodos manuais. No entanto, isto pode ser contornado com a adoção de recursos computacionais adequados.

A recente popularização do uso de microcomputadores e a inexistência de software comercial com esta característica levaram ao desenvolvimento do ADP, um programa que efetua a aceleração de projetos pelo algoritmo do fluxo para CPM de Ford-Fulkerson e que permite - por meio de relatórios impressos e de várias opções de alteração de dados - uma rápida análise de sensibilidade quanto aos resultados obtidos.

Este trabalho descreve o ambiente de projetos, o modelo de aceleração e as características do programa, através de um exemplo simplificado.

## ABSTRACT

The analysis of projects crashing has as its objective to reduce the total duration of a project at the lowest possible cost through the additional application of resources only to the activities that offer, as compensation, the expected reduction in the total duration. Despite being efficient and well known, it has not been used on a large scale due to the difficulty of accomplishing it through manual methods. Nevertheless, that can be solved with the use of the adequate computer resources.

The recent popularization of the microcomputers utilization and the lack of commercial software with this characteristic led to the development of ADP, a program that executes the projects crashing by the flow algorithm to CPM of Ford-Fulkerson and that allows - by means of printed reports and of various options of data change - a fast analysis of sensitivity related to the obtained resources.

This study describes the projects environment, the crashing model and the program characteristics, through a simplified example.

## CAPÍTULO I

# INTRODUÇÃO

### 1.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

A complexidade das empresas modernas, fruto do elevado nível de competitividade e de avanços tecnológicos recentes, provocou um aumento considerável na quantidade e complexidade das decisões administrativas. Princípios tradicionais de administração, desenvolvidos após a revolução industrial, hoje são insuficientes para resolver os problemas de decisão com que os administradores se defrontam. Além disso, se por um lado as conquistas tecnológicas podem ser assimiladas através de um esforço técnico, por outro lado as técnicas gerenciais modernas exigem um maior nível de adaptação, de forma a se adequarem ao ambiente socioeconômico em que são aplicadas, o qual, por sua própria natureza, é extremamente dinâmico.

Este ambiente dinâmico da empresa moderna requer uma valorização das funções administrativas de planejamento e controle para o seu gerenciamento eficaz, reduzindo a incerteza e avaliando riscos. Oliveira [21] define planejamento como sendo um processo desenvolvido pela empresa para o alcance de uma situação desejada, de um modo mais eficiente e efetivo, com a melhor concentração de esforços e recursos disponíveis, e que pressupõem a necessidade de um processo decisório que ocorrerá antes, durante

e depois de sua elaboração e implementação. Assim, o planejamento é uma atividade complexa que visa a determinação de estados futuros desejados e a avaliação de ações alternativas para que tais estados sejam alcançados, dentro de um contexto ambiental interdependente e mutável. Nota-se aqui o íntimo relacionamento existente entre planejamento e controle. Controlar é medir, avaliar e corrigir ações para garantir que os estados futuros planejados sejam efetivamente alcançados.

Segundo Russel L. Ackoff, citado por Oliveira [21], é possível identificar três tipos de filosofias de planejamento:

Filosofia de satisfação: Designa os esforços para atingir um mínimo de satisfação, mas não necessariamente para excedê-lo. O nível que define a satisfação é aquele que o tomador de decisões está disposto a fixar, e freqüentemente é o mínimo necessário.

Filosofia de adaptação: Também chamada de Homeostase, procura o equilíbrio interno e externo da empresa, após a ocorrência de um distúrbio.

Filosofia de otimização: Caracteriza-se pela adoção de técnicas matemáticas e estatísticas e de modelos de simulação. Os objetivos são formulados em termos quantitativos, reduzidos a uma escala comum e combinados em uma medida geral e ampla de desempenho, a ser otimizada por meio de modelos matemáticos.

Um importante conceito tornou-se uma base para a moderna administração científica, com ampla repercussão às funções de planejamento e controle. Trata-se do conceito sistêmico que, em termos gerais, é o simples reconhecimento de que qualquer organização pode ser considerada como um sistema composto por partes, cada uma com suas próprias metas. Para se alcançar as metas globais da organização é necessário que se visualize todo o sistema,

procurando-se compreender e medir as inter-relações entre as partes, e integrando-as de uma forma eficiente. Isto requer um processo de planejamento e controle que leve em conta as interações entre os vários subsistemas que constituem o sistema global, bem como a influência de variáveis externas à empresa.

As funções de planejamento e controle, por sua vez, requerem a análise de uma grande quantidade de informações, nem sempre disponíveis na empresa com a precisão e rapidez necessárias para fazer frente ao seu ambiente complexo e mutável. Com o surgimento do computador este problema foi em parte minimizado. Sistemas de informação computadorizados hoje são uma realidade nas empresas, e permitem a obtenção quase instantânea de informações gerenciais, que seriam impraticáveis por meio de métodos manuais de coleta e análise.

Partindo-se destes pressupostos, e da constatação de que as técnicas modernas de administração estão disponíveis também aos seus competidores, não resta outra alternativa às empresas senão investir na sua modernização, não só a nível técnico, mas também a nível administrativo. A forma e a intensidade com que isto é feito depende do tipo, porte e área de atuação da empresa. E neste sentido que se identifica um tipo de atividade empresarial - o desenvolvimento de projetos - que, dadas as suas peculiaridades, exige esforços administrativos redobrados para o seu gerenciamento eficaz.

Um projeto, por envolver a execução de um conjunto de atividades interdependentes em um determinado período de tempo, e por ser único, possui um elevado grau de risco e incerteza quanto ao seu sucesso como empreendimento.

As empresas que lidam com projetos fazem parte de um ambiente ainda mais complexo e dinâmico do que o das empresas tradicionais. Conseqüentemente, a administração destas empresas é mais problemática, exigindo uma abordagem específica, usualmente denominada de Administração de Projetos, e que se caracteriza pela utilização de formas organizacionais especiais e técnicas avançadas de planejamento e controle, sob o enfoque sistêmico.

A administração de projetos surgiu no período de grande expansão industrial do pós-guerra, e adquiriu sua maioridade com os projetos de grande porte da indústria bélica e aeroespacial americana, responsáveis ainda hoje pelo estado da arte nesta área da administração. Com o passar do tempo, as técnicas de administração de projetos começaram a ser utilizadas também em outros setores industriais e de prestação de serviços, de modo que hoje são consideradas essenciais para o sucesso no desenvolvimento de um projeto. Isto pode ser notado em um comentário de Cleland & King [12], referindo-se à situação nos Estados Unidos:

"Cada vez mais, durante a última década, os empreiteiros que trabalham para o governo tem estabelecido escritórios especiais, cada um dos quais se preocupa com a administração de um único projeto. Os administradores de projetos e as técnicas de administração de projetos tornaram-se tão bem aceitas que muitas autoridades agora acreditam que uma companhia organizada somente em linhas funcionais não pode manipular com sucesso mais do que um grande projeto por sua vez. Onde se conduzem múltiplos projetos, é necessário alguma reorientação da organização funcional. Esta modificação da estrutura industrial para formar forças de tarefas temporárias cria relações únicas. As pessoas de várias funções diferentes - tanto de linha quanto de staff - são reunidas para alcançar um objetivo comum. Esta postura organizacional em mudança é um produto de nosso ambiente tecnológico dinâmico."

Uma técnica de planejamento e controle muito conhecida, porém pouco utilizada é a de aceleração de projetos na curva de tempo-custos. Trata-se de um modelo matemático de otimização, seguindo a filosofia de planejamento para a otimização de Ackoff, apresentada anteriormente. O modelo visa a determinação da combinação ótima de tempo e custos/recursos para cada atividade componente do projeto, de modo a minimizar o custo e a duração total do projeto.

A utilização da técnica de aceleração não resolve todos os problemas gerenciais encontrados no desenvolvimento de um projeto, e limita-se apenas à otimização a nível do projeto e não da empresa como um todo. No entanto, a análise das várias alternativas possíveis para cada duração total possibilita uma avaliação

da qualidade do planejamento, fornecendo subsídios à tomada de decisão quanto a determinação do tempo de execução de uma atividade e o seu custo correspondente, além de permitir análises adicionais.

## **1.2. OBJETIVOS DO TRABALHO**

Este trabalho tem como objetivo propor e analisar uma abordagem computacional ao modelo de aceleração de projetos na curva de tempo-custos, através da implementação de uma metodologia de aceleração. Procurou-se dotar o programa resultante de recursos tais que o caracterizassem como uma ferramenta de análise e apoio à decisão no planejamento e controle de projetos, de forma a compatibilizar as características peculiares do ambiente de projetos com as necessidades atuais de racionalização de tempo e custos nas empresas.

## **1.3. IMPORTÂNCIA DO TRABALHO**

A técnica de aceleração de projetos, apesar de bastante conhecida e presente na maioria dos textos sobre gerência de projetos, não vem sendo utilizada em larga escala nas empresas devido à dificuldade de se efetua-la através de métodos manuais.

Por outro lado, tem-se notado nos últimos anos um espetacular progresso na área de informática, com o lançamento de produtos cada vez mais poderosos e baratos, notadamente no que se

refere aos microcomputadores do tipo PC, hoje ao alcance até mesmo das micro e pequenas empresas.

Desta maneira, entende-se que a importância principal deste trabalho encontra-se no momento oportuno de seu desenvolvimento, propiciando uma plataforma de testes para o processo de aceleração de projetos em microcomputadores, e também para a análise dos resultados, possíveis graças a eficiência do método adotado na implementação computacional e da disponibilidade de relatórios de aceleração.

#### 1.4. LIMITAÇÕES DO TRABALHO

Sendo o ADP (Acelerador de Projetos) um programa desenvolvido apenas para testes e avaliação da aplicabilidade do modelo, algumas limitações naturais do seu desempenho podem ser notadas:

- A estrutura de dados adotada é convencional, não utilizando alocação dinâmica de variáveis, ou variáveis ponteiros.
- O compilador utilizado (Turbo Pascal 3.01) gera programas com extensão .COM, que usa apenas os primeiros 64 kbytes da memória RAM.
- Para liberar o máximo possível de memória, utilizou-se muito da manipulação de arquivos em disco. Assim, para que o programa não se torne excessivamente lento, é interessante rodá-lo em um disco virtual em RAM, ou definir no arquivo autoexec.bat um número de buffers superior a 12.

- Não foram implementadas algumas funções disponíveis em gerenciadores de projeto comerciais, como por exemplo o desenho de redes PERT/CPM.
- O ADP não permite a utilização de coeficientes variados de custos marginais para cada atividade, nem a sumarização de redes de subprojetos.
- O ADP aceita apenas redes topologicamente ordenadas, ou seja, com eventos  $i < j$ .
- Finalmente, não se efetuou um teste prático do ADP em uma empresa real, durante todo o ciclo de vida de um projeto, pois isto demandaria muito tempo.

## 1.5. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O trabalho foi estruturado em 5 capítulos, sendo que o primeiro corresponde a esta Introdução, onde se pretende dar uma visão global do trabalho.

No Capítulo 2 analisa-se o ambiente de projetos e suas características peculiares, as quais exigem técnicas gerenciais e formas de organização específicas. O capítulo culmina com uma breve apresentação das técnicas de planejamento e controle, e introduz a necessidade de ferramentas auxiliares de análise para a programação de tempo-custos/recursos das atividades.

O modelo geral de aceleração de projetos é apresentado no Capítulo 3, juntamente com as várias metodologias conhecidas, notadamente a de fluxo em redes, que gerou o algoritmo do fluxo

para CPM de Ford-Fulkerson, utilizado na implementação computacional do modelo.

O Capítulo 4 apresenta a implementação computacional, sendo também um manual de utilização do ADP. Além de apresentar as características do programa, comenta-se algumas possibilidades de análise de sensibilidade que o sistema oferece, através de um exemplo.

Finalmente, o Capítulo 5 apresenta as conclusões e recomendações para trabalhos futuros. Segue-se a Bibliografia e um Anexo, com o código-fonte do ADP.

## CAPÍTULO II

# CARACTERIZAÇÃO DO AMBIENTE DE PROJETOS

### 2.1. INTRODUÇÃO

Projetos são executados em todos os setores da economia. Alguns, dado o seu porte, representam um conjunto de esforços complexos interdependentes, exigindo um elevado esforço de gerenciamento. As técnicas usuais de administração se revelam insuficientes nesta área. Administrar projetos é muito diferente de administrar organizações estáveis. A complexidade, a dinâmica e a incerteza inerentes a um projeto exigem enfoques particulares e ferramentas adequadas para o seu gerenciamento eficaz.

Este capítulo tem por objetivo analisar as características peculiares do ambiente de projetos e das empresas que lidam com projetos, bem como as técnicas gerenciais necessárias para a sua administração.

## 2.2. PROJETOS

### 2.2.1. Considerações gerais

O termo projeto não possui um significado único, sendo geralmente relacionado com o conjunto de planos, especificações e desenhos de engenharia. Este conjunto chamaremos de projeto de engenharia.

Num sentido mais amplo, o qual adotaremos, define-se projeto como sendo um conjunto de atividades interdisciplinares, interdependentes, finitas, não repetitivas e que visam a um determinado objetivo, com cronograma e orçamento pré estabelecidos. Note-se que o desenvolvimento de um projeto de engenharia constitui, também, um projeto.

Para um melhor entendimento do conceito de projeto, algumas considerações adicionais se fazem necessárias:

Atividade: É um conjunto mínimo de esforços para os quais é possível definir responsabilidades, alocar recursos e controlar custos, de forma a gerenciar a sua execução.

Atividades interdisciplinares: Um projeto envolve a execução de atividades especializadas em várias áreas do conhecimento humano, exigindo o emprego de recursos humanos com capacitação técnica compatível com o nível de especialização requerido. A necessidade de especialização faz de um projeto um ponto de convergência de várias ciências, como Engenharia, Economia, Matemática, Direito, Sociologia, Administração, etc.

Atividades interdependentes: As atividades componentes de um projeto não possuem unicamente uma relação linear na ordem de execução, ou seja, não são executadas apenas em série, mas também em paralelo. Além disso algumas atividades, para que possam ser iniciadas, necessitam que outras que as antecedem já tenham sido iniciadas ou estejam concluídas. As relações de interdependência entre atividades são exclusivas de um determinado projeto, e delas depende o cronograma de execução.

Atividades finitas, não repetitivas: As atividades possuem um início e um fim bem definidos no tempo, e não se repetem. Isto caracteriza o comportamento dinâmico de um projeto, bem como a existência de um ciclo de vida.

O projeto visa a um determinado objetivo: Attingir um objetivo previamente delineado requer um grande esforço de planejamento e controle, para que o cronograma e o orçamento sejam cumpridos.

### 2.2.2. Tipos de projetos

Há uma grande variedade de empreendimentos públicos e privados que atendem a definição de projeto. Será apresentado a seguir uma lista dos principais, adaptada de Jones [19] e Gerhard [16], e classificada em três áreas: prestação de serviços, indústria e infra-estrutura.

#### a) Prestação de serviços.

**Assistência técnica:** Serviços associados à solução de problemas de engenharia que compreendem a coleta, interpretação e análise de dados e informações,

seguidos de preparação de relatório com conclusões e recomendações. Compreende vistoria, laudos e pareceres, avaliações, perícias, etc.

**Estudos técnicos:** Serviços associados ao aperfeiçoamento e/ou desenvolvimento de tecnologias ou de outros estudos, inclusive os de natureza multidisciplinar, cuja finalidade seja a de definir a viabilidade técnica e/ou econômica de uma tecnologia ou de um empreendimento. Compreende estudos e investigações em escala semi-industrial, estudos preliminares de engenharia, perfis industriais, estudos de pré-viabilidade e de viabilidade técnica e econômico-financeira, escolha e localização de áreas industriais, planos diretores e respectiva implementação, etc.

**Projetos de engenharia:** Serviços associados à elaboração de um conjunto de documentos, constituído de especificações, lista de materiais, desenho de detalhes que indicam, esclarecem e justificam todos os critérios de dimensionamento, hipóteses de cálculos técnicos de execução e custos de uma utilidade física (unidade ou sistema). No caso de grandes projetos dividem-se em quatro níveis diferentes, conforme seu detalhamento:

- Anteprojeto preliminar (plano sumário). Consiste em reunir as informações necessárias para descobrir se existe pelo menos um caminho que conduza à consecução do objetivo visualizado. Estas informações, postas ou não num documento, permitirão tomar a decisão de investir ou não no projeto. No caso de se pretender o financiamento de um órgão bancário, o anteprojeto preliminar é o instrumento básico para uma consulta prévia.
- Anteprojeto definitivo (Estudo de viabilidade). Consiste no estabelecimento de alternativas que permitam alcançar o objetivo visado, acompanhadas

de seus respectivos orçamentos. E o instrumento básico para a tomada de decisão quanto ao prosseguimento do projeto, escolhendo uma ou nenhuma das alternativas.

- Projeto básico (de engenharia, definitivo). Caracteriza-se pela adoção da alternativa indicada no anteprojeto definitivo e o seu desenvolvimento a nível de aprovação pelo organismo financiador e órgãos públicos, fornecendo elementos seguros para uma boa estimativa de custos (precisão de 15% a 30%). Deve indicar claramente o que deverá ser obrigatoriamente seguido e o que poderá ser modificado no projeto executivo, além de fornecer elementos técnicos suficientes que consolidem os dimensionamentos e esquemas principais do projeto.

- Projeto executivo (detalhado, de implantação, de execução). Destina-se a fornecer os elementos indispensáveis à construção e montagem. Nem sempre o projeto executivo toma a forma de um volume compacto, como acontece com o projeto básico. Geralmente os documentos que o constituem vão sendo produzidos à medida em que a implantação se desenvolve.

**Compras técnicas (Procurement):** Compreende o cadastramento de fabricantes e fornecedores; seleção de equipamentos, máquinas, componentes, materiais de construção, etc; preparação de documentos de licitação (Editais, critérios de seleção, carta-convite, etc.); coleta e avaliação de propostas; contratação e efetivação de compras; expedição e armazenamento no canteiro; obtenção, registro e recuperação de catálogos, desenhos, dados de desempenho, etc.

**Construção e montagem:** Atividades associadas à execução propriamente dita de obras civis, instalações e montagem industrial.

**Gerência de projetos:** Mediante planejamento e controle efetivos, permite que todas as fases de execução do empreendimento sejam realizadas de modo que sejam atingidos os objetivos quanto à qualidade, funcionalidade e segurança dos respectivos projetos, dentro do cronograma e orçamento previsto. Abrange normalmente as seguintes atividades: Supervisão dos estudos preliminares, gerência de contratos, planejamento e controle da execução do projeto, assessoria jurídica, gerência de projetos de engenharia, gerência de construção e montagem, gerência de suprimentos, gerência de pré-operação e posta em marcha, gerência de garantia de qualidade, etc.

**Serviços especiais:** Aerofotogrametria, Geomorfologia e Geodésia, Topografia e Batimetria, Oceanografia, Geotecnia, Hidrotecnia, etc.

**Desenvolvimento de software:** Compreende atividades referentes à análise, projeto(design), codificação e teste de programas de computador.

**Pesquisa e desenvolvimento:** Compreende atividades referentes a pesquisa e desenvolvimento de novos produtos, processos e tecnologias, em instituições públicas ou privadas.

**Pesquisas de mercado:** Serviços associados à determinação da demanda de um produto por segmentos do mercado.

**Campanhas publicitárias:** Serviços associados à elaboração, desenvolvimento e execução de campanhas publicitárias de lançamento de um produto ou serviço, em agências de publicidade, explorando o segmento de mercado a que se destina.

**Outros****b) Indústria**

**Implantação, reforma e ampliação:** Compreende atividades tais como projetos de engenharia, compras técnicas, construção e montagem, gerenciamento de projetos, etc.

**Manutenção de máquinas, equipamentos e sistemas:** Serviços associados a manutenção corretiva ou preventiva, efetuados de maneira programada.

**Lançamento de novos produtos:** Compreende atividades de pesquisa de mercado, estudos de engenharia, projeto de produto, compras técnicas, campanha publicitária, fabricação e montagem, etc.

**Produção sob encomenda:** Compreende atividades de compras técnicas, fabricação e montagem de produtos conforme especificações, prazo e preço previamente determinado.

**Desenvolvimento e implantação de software:** Compreende atividades de análise, design, codificação, testes e implantação de programas de computador, executadas em departamentos de processamento de dados.

**Pesquisa e desenvolvimento:** Compreende atividades de pesquisa e desenvolvimento de novos produtos, processos e tecnologias, executadas em departamentos de P & D.

**Outros****c) Infra-estrutura**

**Água e esgoto:** Redes de distribuição ou captação, estações de tratamento, estações de recalque, emissários oceânicos, etc.

**Edificações:** Hospitais, terminais de transporte, silos de armazenagem, conjuntos habitacionais, etc.

**Transporte:** Aeroportos, portos e terminais, rodovias, ferrovias, túneis, pontes, etc.

**Planejamento urbano e regional:** Estudos locais, sistemas de transporte, recursos naturais, distritos industriais, núcleos habitacionais, etc.

**Energia:** Geração convencional (hidro, termo e nuclear); geração não convencional (biomassa, solar, eólica, etc.); subestações; transmissão e distribuição; etc.

**Comunicações:** Sistemas de transmissão (rádio, TV, telex, dados, etc.); centrais de comutação (telefone, telex, dados); redes telefônicas (cabos e dutos), etc.

**Outros**

### 2.2.3. Hierarquia de projetos

Analisando a lista apresentada anteriormente, percebe-se que alguns projetos podem necessitar de outros. A fig. 1 identifica o relacionamento possível entre projetos de áreas distintas, porém isto ocorre também entre projetos de uma mesma área. Assim, uma usina hidrelétrica (área infra-estrutura) pode necessitar de projetos da área de prestação de serviços (projetos

de engenharia) e também da área industrial (equipamentos sob encomenda). Já um projeto de lançamento de um novo produto (área industrial) necessita de projetos de pesquisa de mercado, pesquisa e desenvolvimento, campanha publicitária de lançamento e outros mais, que podem ser desenvolvidos na própria indústria ou por empresas especializadas, através de contratos de prestação de serviços.

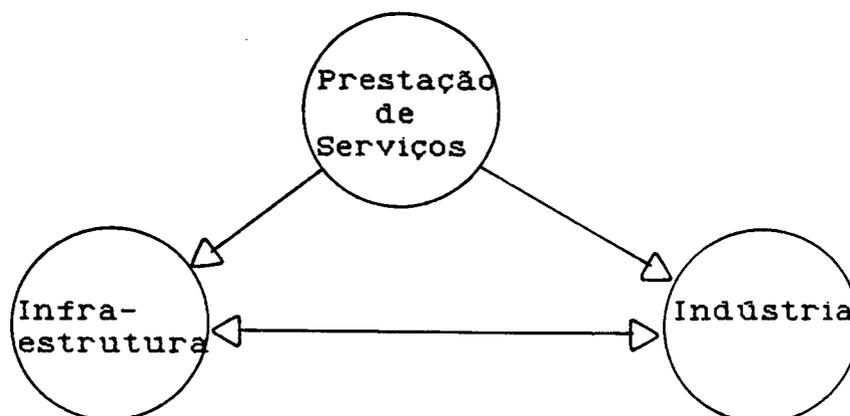


Figura 1 - Relacionamento entre áreas de projetos

Isto ocorre devido a existência de níveis hierárquicos de projetos. Note-se que na definição de atividade, limitamos apenas inferiormente a quantidade de trabalho que a representa, sem nos preocuparmos com o limite superior. Desta maneira, as atividades componentes de um projeto, dependendo do nível de detalhamento em que se encontram, podem ser consideradas como subprojetos integrados a um projeto maior, sendo então geralmente denominadas de macroatividades.

O processo de detalhamento de um projeto por meio de refinamentos sucessivos, até atingir ao nível operacional das atividades é realizado durante o planejamento, e será discutido com maiores detalhes no item seguinte, quando trataremos da aplicação da abordagem de sistemas a projetos. No entanto, diferentes níveis hierárquicos de projetos são utilizados também no gerenciamento da execução, de acordo com o nível de detalhamento das informações requeridas pelos vários níveis de decisão da empresa. Voltaremos a este assunto mais adiante, ao discutirmos o ambiente das empresas de projetos.

#### 2.2.4. A abordagem de sistemas em projetos

A natureza dinâmica e interdisciplinar de um projeto traz sérias dificuldades para o seu gerenciamento, quando são utilizados métodos tradicionais de administração. O trabalho do INPE [18] lista alguns dos problemas que geralmente ocorrem:

Efetividade limitada: Normalmente os projetos, por falta de controle de qualidade técnica, bem como de planejamento integrado, chegam ao fim com sistemas de qualidade bastante pobres e aquêm dos requisitos exigidos.

Resultados não relacionados com as necessidades reais

A preocupação excessiva dos participantes do projeto com a solução do problema sob o ponto de vista técnico muitas vezes desvincula o sistema resultante dos objetivos que se pretendia atingir, por falta de uma definição clara do problema, e de controle e avaliação convenientes.

Atrasos sérios nos cronogramas: Em virtude da falta de um sistema conveniente de controle de progresso, os projetos atrasam e se alongam, muitas vezes tornando-se obsoletos.

Custos excessivos: A falta de uma estrutura adequada de estimativa e controle de custos leva os projetos a superarem, em muito, seus orçamentos iniciais.

Mã direção: Com a inexistência de um sistema de informações conveniente, o gerente de projetos não dispõem em tempo útil dos dados necessários às ações no andamento das atividades.

A solução para contornar os problemas citados está na adoção de uma metodologia para a administração de projetos, que

leve sempre em conta seus objetivos e que mantenha um controle efetivo, tanto do ponto de vista técnico quanto administrativo. A aplicação da Teoria de Sistemas à administração de projetos permite que se chegue a tal metodologia.

Define-se um sistema como sendo um conjunto de partes individuais (subsistemas) que interagem entre si formando um todo global, segundo um plano ou princípio, para atingir um determinado fim. Note-se a semelhança com a definição de projeto comentada anteriormente. Na verdade, um projeto é, em essência, um sistema, e como tal deve ser considerado.

A Teoria de Sistemas surgiu da necessidade de se ter uma visão global dos problemas, a qual vinha sendo prejudicada pela especialização crescente do conhecimento humano. Desta forma, "... a Teoria de Sistemas tem por objetivo a criação de um corpo de conhecimentos, leis e equações matemáticas, que expliquem fatos comuns às várias ciências, às várias disciplinas, utilizando-se da abordagem de sistemas, que nada mais é do que um modo de pensar, uma maneira lógica de se desenvolver o raciocínio quando trabalhamos em problemas amplos, nos quais necessitamos de uma visão global" (Reis [23]). A abordagem de sistemas, ao disciplinar o bom-senso e a intuição através deste processo lógico de análise do problema, permite estudá-lo como um todo, por meio de uma linguagem comum às diversas equipes interdisciplinares.

De acordo com o INPE, a abordagem de sistemas, quando aplicada à administração de projetos, pode ser descrita como:

"Desenvolvimento lógico e coordenado de cada unidade elementar do projeto, usando a mais recente metodologia em termos de procedimentos e técnicas para o planejamento, estruturação e controle. O resultado do uso desta abordagem será a obtenção de solução que atenda aos seus objetivos, dentro das limitações planejadas de custo e tempo."

Um sistema pode ser caracterizado como uma "caixa preta" onde se processam os recursos vindos de uma entrada, gerando

então uma saída de resultados. Se acrescentarmos a este modelo o caracter interativo e de avaliação permanente da abordagem de sistemas, teremos também um laço de realimentação, que avalia os resultados da saída, comparando-os segundo um determinado critério, e que atua sobre a entrada, de forma a modificá-la (fig. 2).

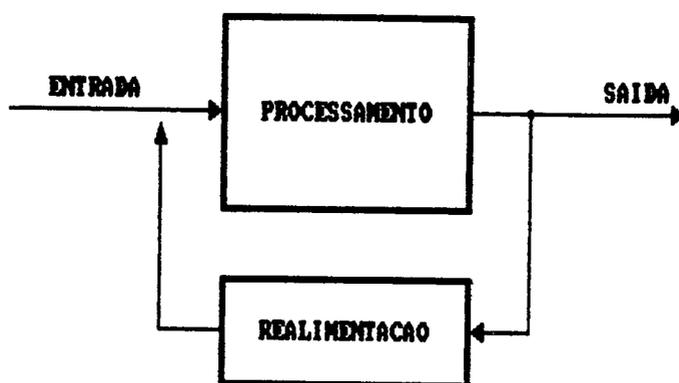
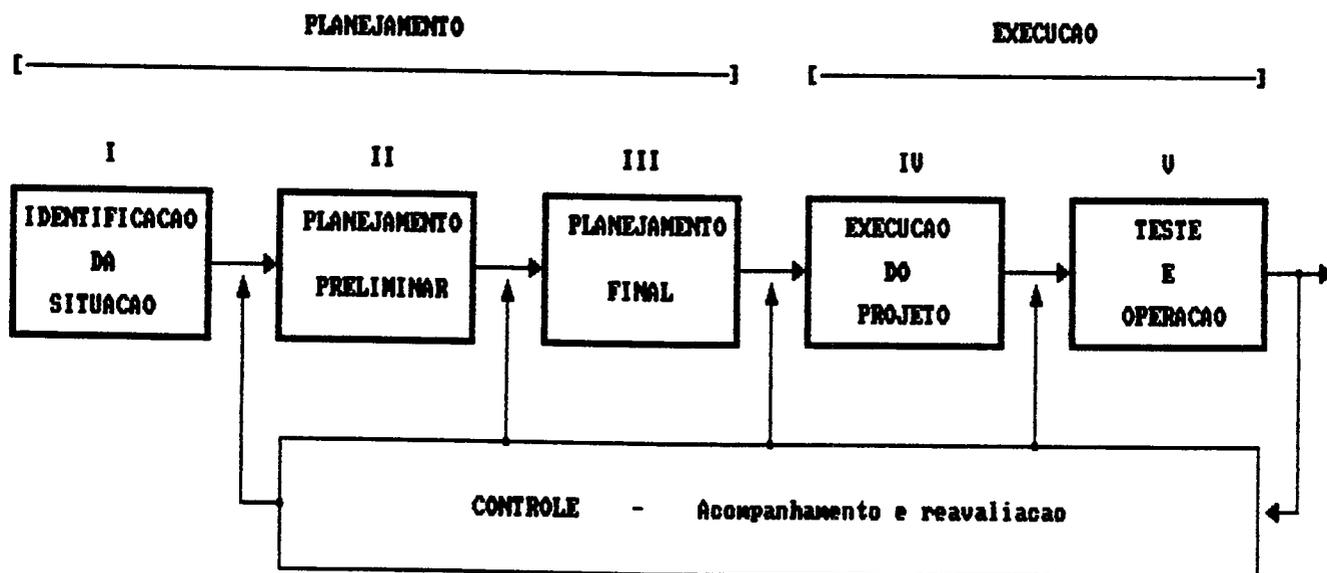


Figura 2 - Representação de um sistema realimentado.

Este modelo simplificado pode ser melhor elaborado a fim de apresentar as várias etapas no desenvolvimento de um projeto, de acordo com o que preconiza a abordagem de sistemas. A fig. 3 mostra um exemplo típico de fases de um projeto genérico, as quais podem ser descritas da seguinte forma, segundo Reis [23]:



Fonte: Jose Reis et alli.

Figura 3 - Fases de um projeto.

Fase 1: Identificação do problema - Levantamento de informações, de modo a permitir a perfeita definição do escopo do projeto, análise do meio ambiente e a delimitação da área de atuação. Com estes dados desenvolvem-se alternativas para a solução do problema.

Fase 2: Planejamento preliminar - Faz-se o planejamento preliminar das alternativas, estimando-se, para cada uma, os custos, tempos e benefícios. Com estes dados, seleciona-se a melhor alternativa, segundo critérios definidos na fase anterior.

Fase 3: Planejamento final - Definida a melhor alternativa, procede-se ao planejamento final, repetindo-se as operações da fase anterior, porém em um nível maior de precisão e detalhamento.

Fase 4: Execução do projeto - As atividades planejadas anteriormente para a obtenção do sistema entram em execução e os procedimentos de controle são iniciados.

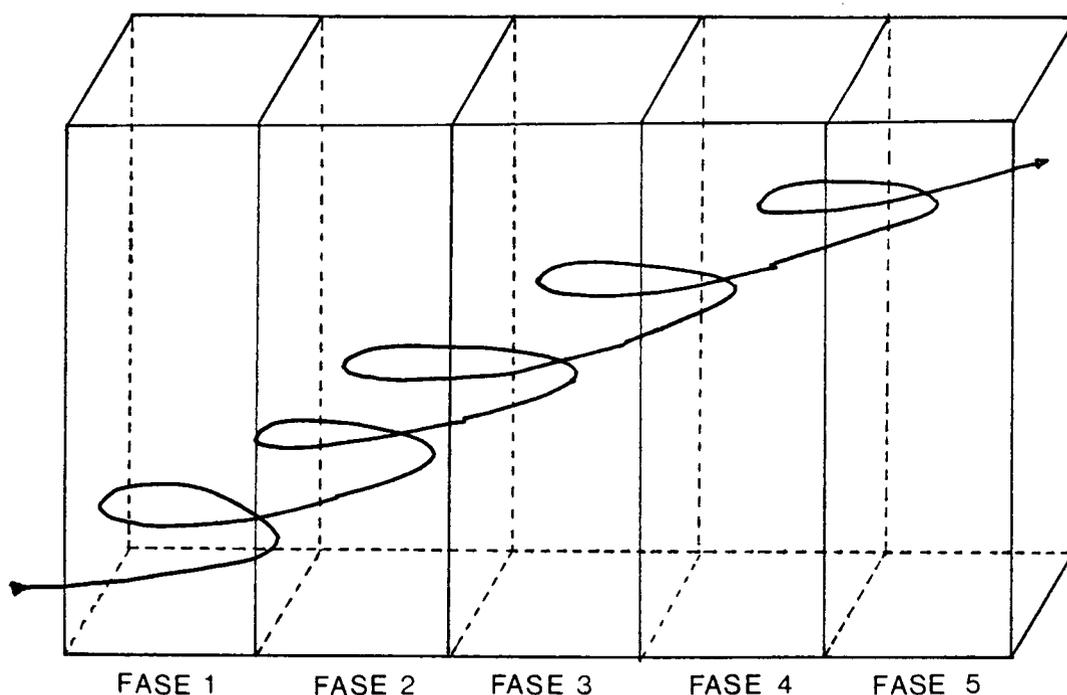
Fase 5: Teste e operação - O sistema é testado e avaliado, para que sejam detectadas e corrigidas possíveis falhas de planejamento, tanto no dimensionamento quanto na dinâmica de operação.

Fase 6: Controle - O controle não é uma fase cronológica, pois age continuamente<sup>1</sup> em todas as fases do projeto, procurando detectar desvios de planejamento e atuando para corrigi-los.

---

<sup>1</sup> O controle contínuo é, neste caso, um ideal impossível de ser alcançado. Deve, porém, se aproximar deste ideal de modo a neutralizar os distúrbios que surgem durante o desenvolvimento do projeto, e que tendem a afastá-lo do rumo planejado.

Cabe ressaltar que a ordem cronológica das fases não é absolutamente serial, existindo sobreposição entre o final de uma fase e o início da fase subsequente. Este fato, demonstrado por Archibald [4], aliado ao efeito do controle contínuo em todas as fases, levam ao conceito de desenvolvimento em espiral de Gane & Sarson [15], originalmente concebido para projetos de sistemas de informação, mas que é aplicável à maioria dos projetos. A fig. 4 mostra a idéia da espiral adaptada às cinco primeiras fases do projeto apresentadas anteriormente, e caracteriza muito bem a introdução de refinamentos sucessivos, pela interação entre as diversas fases.



Fonte: Chris Gane e Trish Sarson (Adaptado)

Figura 4 - O desenvolvimento em espiral dos projetos.

Um outro fato, que também pode ser notado na fig. 4, é que não existe pontos definidos para início e fim de cada fase, a não ser que haja um motivo para isto, como um contrato de prestação de serviços com uma empresa de consultoria de engenharia, por exemplo. Neste caso existe uma correspondência entre os produtos das três primeiras fases do projeto, referentes ao planejamento, e os vários níveis de projetos de engenharia, que não é mera coincidência, mas fruto da padronização ocorrida com a aplicação da abordagem de sistemas também ao desenvolvimento destes.

## 2.3. EMPRESAS DE PROJETOS

### 2.3.1. Considerações gerais

Projetos ocorrem em muitas áreas da atividade humana. Aqui nos referiremos especificamente aos projetos desenvolvidos por empresas, entendendo-se por empresa a organização estruturada segundo as leis e regulamentos da região onde esta se encontra, e que tem por finalidade o lucro. As peculiaridades inerentes a um projeto fazem com que as empresas que lidam exclusivamente com projetos sejam, também, peculiares. Baseado neste enfoque, podemos identificar dois tipos de empresas:

- a) Empresa de regime permanente - É a empresa comum, comercial, industrial ou de prestação de serviços, que tem um ciclo contínuo, ou próximo disto, definido apenas pelo ano fiscal. Neste tipo de empresas, os insumos e o pessoal envolvido são praticamente constantes ao longo do exercício fiscal, as tarefas e funções desempenhadas pelos seus funcionários são bem definidas, e os custos, conseqüentemente, são facilmente determinados.
  
- b) Empresa de projetos - É a empresa que lida com projetos. Mesmo quando segue o ciclo fiscal anual, o seu ciclo real não é definido, dependendo de sua carteira de projetos. A interrupção na contratação de novos projetos causa uma queda abrupta no nível de atividade da empresa. Os insumos e o pessoal envolvido variam de projeto para projeto, e também de acordo com as fases de um mesmo projeto. A natureza dinâmica e não-repetitiva de um projeto eleva o nível de incerteza, dificultando a determinação prévia com precisão dos custos. Frequentemente os riscos não são avaliados

corretamente, provocando flutuações nos resultados esperados.

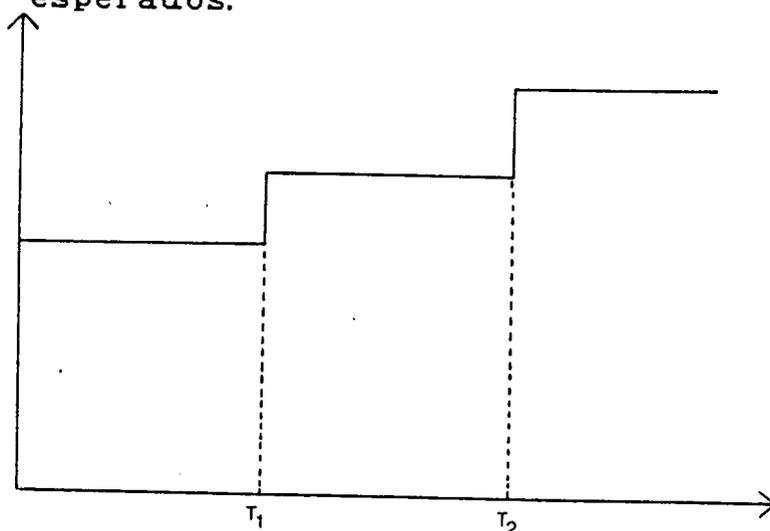


Figura 5 - Nível de atividade típico em empresas de regime permanente

A fig. 5 mostra, de forma simplificada, o nível de atividade<sup>2</sup> em uma empresa de regime permanente, ao longo do tempo. Este gráfico, elaborado por Archibald [4], não leva em conta possíveis variações durante o exercício fiscal, decorrentes de sazonalidades ou da dinâmica do mercado. Desta forma, o conceito de regime permanente não é real, porém é próximo da realidade, se comparado com o comportamento extremamente dinâmico do nível de atividade em um projeto, mostrado na fig. 6.

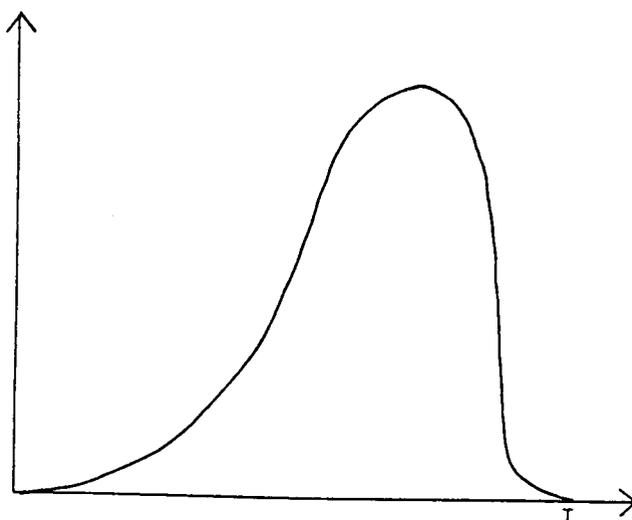


Figura 6 - Nível de atividade típico em um projeto.

<sup>2</sup>Entende-se por nível de atividade, a quantidade de trabalho em execução na empresa ou no projeto em um determinado momento, podendo ser medido também em termos de custos, horas-homem, etc.

Para uma empresa que lida exclusivamente com projetos, a preocupação básica é manter o nível de atividade constante, próximo ao limite de capacidade, por meio do gerenciamento eficiente de sua carteira de projetos, conforme a fig. 7.

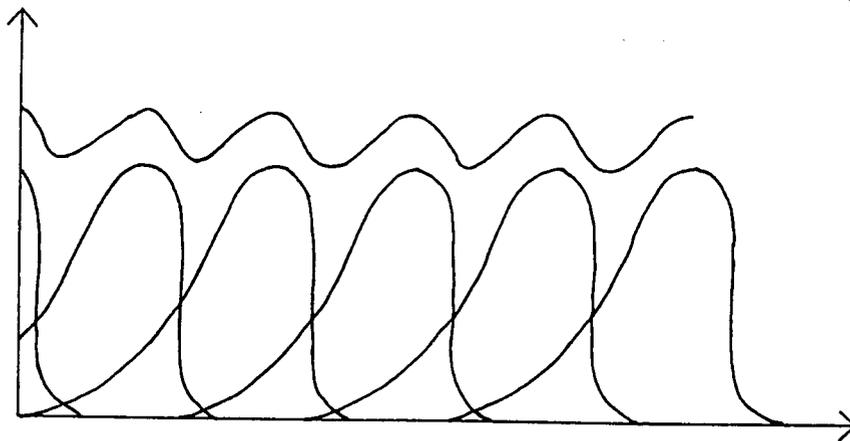


Figura 7 - Nível de atividade desejável em empresas de projetos.

Entre os dois extremos apresentados, existem outros tipos de empresas que lidam simultaneamente com projetos e produção contínua, como as empresas industriais de regime permanente que mantêm um departamento de projetos especiais para a produção sob encomenda. Há também empresas de regime permanente que desenvolvem projetos apenas esporadicamente, sendo este o caso mais comum. No gráfico da fig. 5, por exemplo, os patamares alcançados no final de cada período fiscal podem ser considerados, na realidade, projetos de expansão, ampliação ou reforma, executados pela empresa com os recursos obtidos em sua atividade de regime permanente, ao longo do exercício. Mesmo para estas empresas, as técnicas, métodos e procedimentos discutidos neste trabalho são aplicáveis, as vezes com pequenas alterações de modo a adequá-las, e a nível de departamento de projetos. Algumas peculiaridades das empresas de projetos serão discutidas a seguir.

### 2.3.2. Estruturas organizacionais básicas

A estrutura organizacional de uma empresa de projetos deve ser suficientemente dinâmica e flexível para ir de encontro às

necessidades de um ambiente em continua mudança. Fatores tais como o número e complexidade dos projetos, tipos de contratos usualmente empregados e a fase do ciclo de vida dos projetos são processos dinâmicos que contribuem para este ambiente em mudança.

A forma de organização deve atender também aos diversos níveis hierárquicos de decisão da empresa, que possuem níveis distintos de autoridade e responsabilidade, exigindo portanto níveis distintos de detalhamento das informações. Basicamente podemos definir três níveis de decisão, segundo Oliveira [219]:

Nível estratégico - Estabelece o rumo a ser seguido pela empresa, tendo em vista a otimização do relacionamento da empresa com o seu ambiente. Compreende os escalões mais altos da empresa, e necessita de informações altamente sumarizadas de todos os projetos em desenvolvimento ou em estudos, fornecidas pelos gerentes.

Nível gerencial - Procura otimizar apenas os resultados das áreas sob sua responsabilidade, procurando a utilização eficiente dos recursos disponíveis para a consecução dos objetivos, segundo uma estratégia predeterminada. Necessita de informações mais detalhadas a respeito de progresso e custos, coletadas no nível operacional, e gera informações sumarizadas à nível de subprojetos ou departamentos funcionais, além de preocupar-se com as exceções existentes ou por vir.

Nível operacional - Executa as atividades planejadas. Exige uma grande quantidade de informações para definir perfeitamente os serviços a serem executados. Isto faz com que a tomada de decisão por parte do pessoal operacional envolva unicamente uma pequena dose de julgamento sobre o que deve ser feito

Um tipo clássico de organização, utilizada em empresas de regime permanente, é a estrutura funcional pura, que agrupa os recursos humanos conforme a área técnica a que pertencem, de modo a possibilitar a formação de equipes altamente especializadas e uma eficiente utilização dos recursos humanos e materiais. No entanto, dado o caráter multidisciplinar dos projetos, esta estrutura se revela altamente deficiente para a empresa, pois não há um mecanismo eficaz de integração entre os vários especialistas. No desenvolvimento de novas formas organizacionais, específicas ao ambiente de projetos, surgiram algumas estruturas básicas, atualmente amplamente adotadas e que diferem entre si pelo grau de autoridade com que são investidos os gerentes. Serão comentadas a seguir três estruturas básicas, de acordo com a classificação de Cleland & King [12].

### 2.3.2.1. Gerência de projetos em staff<sup>3</sup>

Trata-se de uma variação da estrutura funcional pura onde o gerente de projetos não tem controle direto sobre o trabalho executado nos departamentos funcionais (Fig. 8). As decisões são tomadas pela gerência geral e pelas chefias de departamentos, que possuem autoridade de linha. Compete ao gerente de projetos manter a equipe integrada e direcionada aos objetivos, utilizando unicamente a sua capacidade de persuasão e motivação. Como não possui uma posição hierárquica de linha, pode dirigir-se a todas as pessoas envolvidas no projeto, sem provocar choques com a autoridade dos chefes de departamentos, relatando à gerência geral uma visão sistêmica do projeto, seus problemas e possíveis soluções; poupando-a, assim, de se ocupar de todos os detalhes. No entanto, a viabilidade desta forma de organização depende inteiramente das qualidades pessoais do gerente de projetos.

---

<sup>3</sup>Segundo Cleland & King [12], staff é a função de assessoramento às relações de linha de uma organização. Em gerência de projetos, esta função pode ser extrapolada, variando entre a investigação, pesquisa, análise, recomendação, coordenação, comunicação, integração e o comando dos assuntos relativos ao projeto.

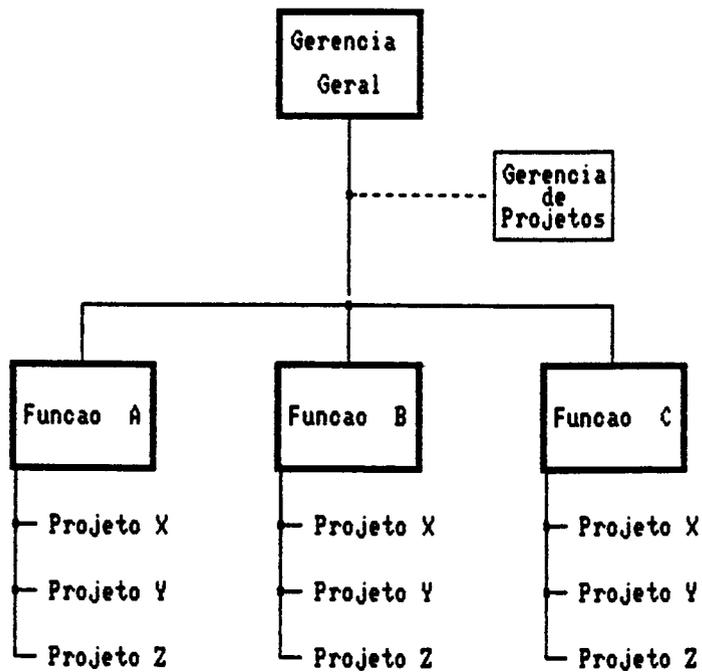


Figura 8 - Gerência de projetos em staff.

#### 2.3.2.2. Organização de projeto pura

A organização de projeto pura (Fig. 9) permite uma autoridade linear completa sobre o projeto, pois os participantes trabalham diretamente para o gerente do projeto. Isto facilita enormemente os procedimentos de controle de tempos e custos, e evita o surgimento de conflitos de autoridade. No entanto, para a empresa, o custo de manutenção desta estrutura tende a ser proibitivo, devido a duplicidade de esforços e facilidades entre os projetos. Além disso, uma vez que não existe um reservatório de especialistas em um departamento funcional, não há condições adequadas para a especialização técnica dos recursos humanos da empresa.

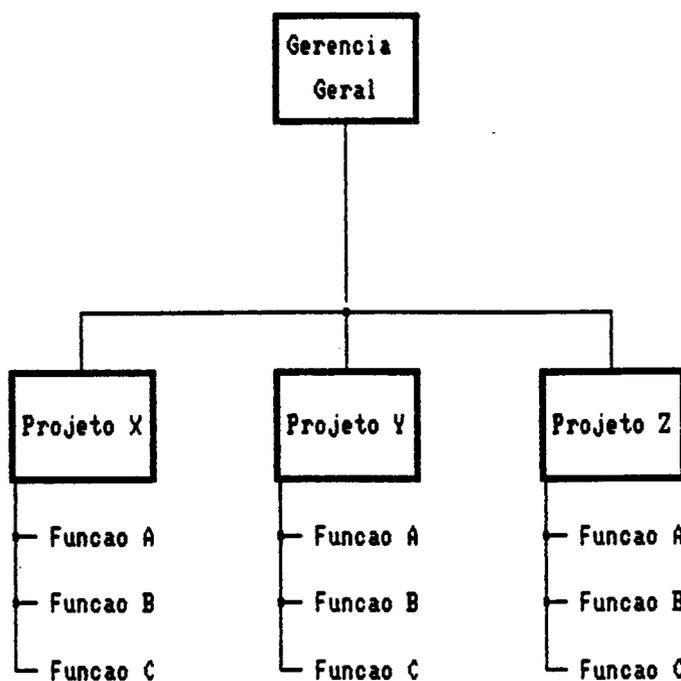


Figura 9 - Organização de projeto pura.

### 2.3.2.3. Organização matricial

Esta é a mais importante das formas básicas de organização para projetos, e vem sendo utilizada com sucesso por inúmeras empresas. Os comentários a seguir foram adaptados do trabalho de Vasconcellos [26].

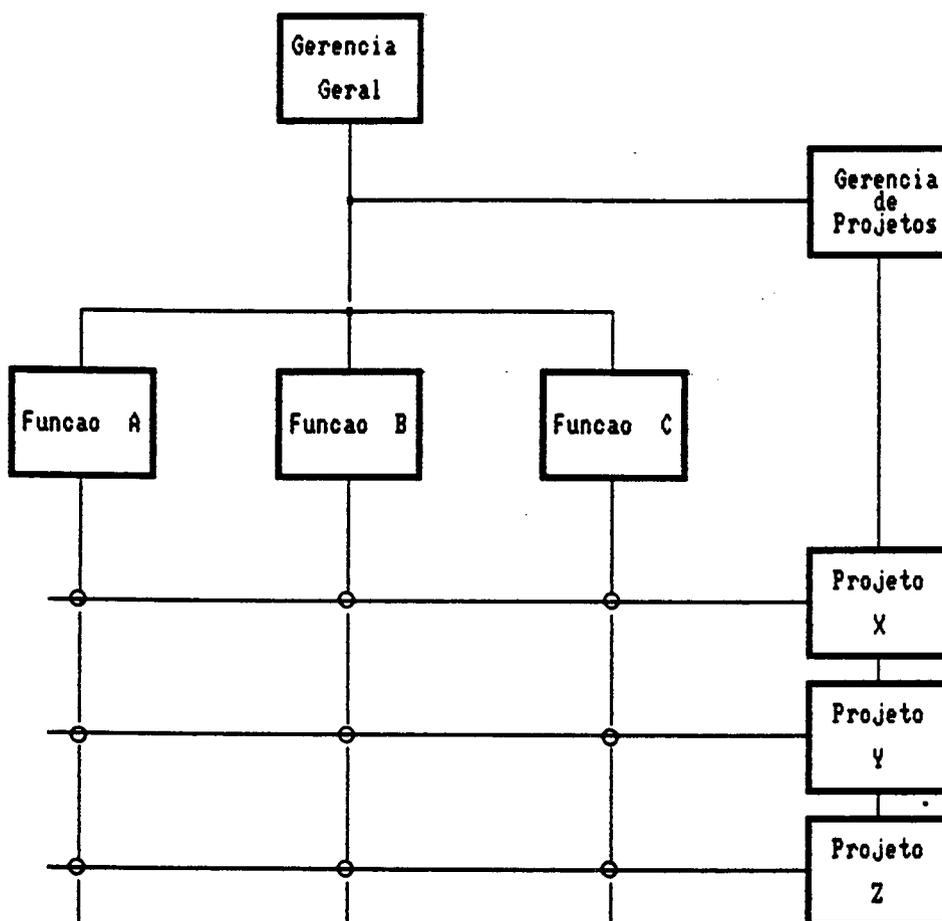


Figura 10 - Organização matricial.

A organização do tipo matricial (Fig. 10) proporciona condições de flexibilidade e funcionalidade adequadas para atender as mudanças de ambiente e a dinâmica dos projetos, permitindo alcançar padrões desejados de custos, cronograma e desempenho, através de uma combinação de estruturas projeto e funcional. Os departamentos funcionais representam as colunas da matriz (autoridade e responsabilidade funcional) e os projetos as linhas (autoridade e responsabilidade de projeto).

Os chefes de departamentos cuidam do aprimoramento técnico das suas equipes, coordenam suas atividades a fim de evitar a duplicidade de esforços e são responsáveis pela alocação de especialistas aos vários projetos. Quando os recursos humanos são pouco treinados, o chefe de departamento presta assistência técnica à equipe, cabendo a ele a aprovação da qualidade dos trabalhos executados pelo seu pessoal.

O gerente de projetos negocia com os chefes de departamentos os recursos humanos e o uso dos equipamentos necessários para a execução do projeto, ainda na fase preliminar de planejamento. Após o início do projeto a equipe fica sob as ordens do gerente do projeto até o seu término, quando então são alocados a outros projetos. Durante a execução do projeto o gerente coordena as atividades dos diversos especialistas e mantém o relacionamento com o cliente, no caso de serviços contratados.

Desta forma, a especialização e o uso eficiente dos recursos são garantidos pelas unidades funcionais e, simultaneamente, a gerência de projetos assegura o cumprimento de prazos e orçamentos, o atendimento ao cliente e a integração entre os diversos especialistas. No entanto, a existência de dupla ou múltipla subordinação aumenta o nível de conflitos, pois o gerente funcional quer distribuir seus funcionários pelos vários projetos nas datas que lhe proporcionam uma melhor utilização dos recursos, enquanto que o gerente de projetos quer os melhores funcionários para trabalhar no seu projeto, nas datas que melhor lhe convém para cumprir o cronograma e o orçamento. Cabe ressaltar, porém, que este conflito não é necessariamente uma desvantagem da estrutura matricial, e sim inerente a ela; e decorrente da tentativa simultânea de maximizar os resultados dos projetos e das áreas funcionais. Assim, a determinação clara e precisa da autoridade e responsabilidade do gerente de projeto e gerente funcional, além da preparação eficaz dos recursos humanos através de um programa de treinamento, são questões críticas para a viabilização deste tipo de organização.

### **2.3.3. Modalidades de contratação**

Alguns projetos, dado o seu porte e complexidade, exigem para a sua execução a participação de empresas especializadas em determinados setores, os quais podem ser considerados como subprojetos. A empresa proprietária deve então providenciar a

contratação destes serviços, geralmente através de um processo de pré-qualificação e concorrência.

Para uma empresa de projetos, cuja atividade produtiva é executar projetos sob contrato, a concorrência é uma etapa crítica, vital para a sua sobrevivência, e que requer uma estratégia gerencial para a cotação de preços, assunto este que é amplamente discutido por Borges [10].

Vencida a concorrência, a empresa é chamada para negociar o contrato, o qual deverá regulamentar a prestação dos serviços, de forma a satisfazer à ambas as partes. Assim, um contrato deve dispôr sobre itens tais como:

- Organização e escopo dos serviços
- Forma de remuneração
- Condições de pagamento
- Prazos
- Impostos e taxas
- Garantias e responsabilidades

Desta maneira, o contrato define também o "modus operandi" da empresa de projeto, bem como o seu relacionamento com a contratante.

Sendo fruto de uma negociação entre as partes, contratos para projetos semelhantes podem diferir consideravelmente entre si, pela inclusão de cláusulas específicas para determinadas situações. No entanto, de uma forma genérica, identifica-se algumas modalidades de contratação que podem ser consideradas como padrões, dada a sua ampla aceitação internacional. A escolha da modalidade de contratação é prerrogativa da parte contratante, e resultado da análise de fatores como:

- Grau de abrangência e detalhe do escopo
- Natureza do serviço a ser executado
- Tipo de informações de controle requeridas

- Porte do projeto ou atividade a ser contratado
- Duração
- Experiência e capacitação de ambas as partes
- Custo do controle

Serão apresentados a seguir algumas modalidades de contratação mais conhecidas, conforme Jones [19], Valle [25], Laugeni [20] e Wongtschowski [28, 29]; onde procurou-se salientar as vantagens e desvantagens de cada uma, para ambas as partes envolvidas.

#### 2.3.3.1. Preço global (Lump Sum).

A contratada recebe um valor fixo previamente estabelecido, o que não impede o estabelecimento de cláusulas de correção monetária. Como são freqüentes as modificações de escopo, geralmente incluem-se no contrato cláusulas que regulam a prestação de serviços adicionais, bem como a forma de remuneração. Também conhecido como Empreitada, ou Preço Fixo.

Aplicação: Quando é possível caracterizar perfeitamente o escopo, em termos de qualidade, quantidade e valor. Geralmente utilizado no fornecimento de produtos sob encomenda e de materiais em quantidade predeterminada, serviços de montagem industrial, etc.

#### Vantagens:

- Exige menores custos de administração
- Oferece maiores garantias comerciais à contratante.
- Permite melhor comparação entre propostas concorrentes

### Desvantagens:

- Obriga a definição prévia do projeto e escopo antes da concorrência
- Pode implicar em preços mais altos para refletir fatores de segurança
- Os riscos envolvidos podem reduzir o número de concorrentes qualificados
- A elaboração da proposta é mais demorada
- Nem sempre favorece uma melhor qualidade
- Tende a gerar conflitos e disputas entre as partes, a respeito da abrangência do escopo

### 2.3.3.2. Preço unitário (Unit price)

A contratada recebe um valor pré-fixado por unidade de produção, de acordo com medições periódicas dos serviços concluídos. A condição fundamental para a correta aplicação desta forma contratual é a definição precisa, com prévio acordo entre as partes, dos métodos de medição a serem adotados.

Em alguns casos adota-se uma tabela de preços unitários decrescentes em função do volume crescente de serviços, permitindo com isto a recuperação mais rápida do investimento inicial da contratada na implantação do canteiro de obras.

Aplicação: Quando o projeto está definido qualitativamente, mas não se conhecem as quantidades envolvidas. Geralmente é utilizado em serviços de terraplenagem, pavimentação, estaqueamento, estudos de solo, serviços topográficos, construção civil, etc.

**Vantagens:**

- Permite a contratação antes de se ter o projeto completamente definido.
- Elimina a necessidade de definição detalhada das quantidades nos serviços a serem realizados.
- Permite antecipar o início da obra.
- O contrato é fácil de ser administrado.

**Desvantagens:**

- Exige mais rigor nas medições dos diversos serviços.
- Exige bom conhecimento prévio de todos os itens de serviços que constarão da lista de preços unitários.
- Durante a avaliação, torna difícil a comparação das várias propostas, devendo-se utilizar valores ponderados para julgar itens em conjunto.
- Facilita mudanças excessivas.
- Não permite garantia prévia de custos totais.
- Não existe incentivos para a contratada minimizar prazos e custos.

**2.3.3.3. Administração (Cost plus)**

O contratado é reembolsado por todas as despesas incorridas, mais um percentual para cobrir as despesas indiretas e o lucro.

Aplicação: Quando não é possível a determinação acurada da duração e escopo dos serviços, ou quando há interesse em se contratar a obra numa fase preliminar de planejamento. Geralmente utilizado no desenvolvimento dos projetos básico e executivo, obras de construção com escopo e/ou volume a definir, etc.

### Vantagens

- Permite a contratação num estágio preliminar de definição do escopo.
- Flexibilidade na utilização da contratada.
- Protege o contratante contra honorários muito altos.
- Assegura à contratada uma remuneração condizente.
- Minimiza tempo e custos de negociação contratual.

### Desvantagens

- Não permite a definição prévia do custo total dos serviços.
- Necessita de maiores cuidados na administração e supervisão do contrato.
- Não incentiva a contratada a reduzir prazos ou despesas.
- Facilita mudanças ou alterações excessivas.

#### 2.3.3.4. Administração com remuneração fixa (Cost plus, fixed fee)

A contratada é reembolsada por todas as despesas incorridas, mais um montante fixo para cobrir despesas indiretas e o lucro.

Aplicação: Análoga à do contrato por administração, porém a contratante deve ter experiência no tipo de serviços contratados, podendo exercer controle sobre sua duração.

##### Vantagens

- Incentiva a contratada a reduzir prazos contratuais.
- Elimina suspeitas de que os custos poderão ser acrescidos para beneficiar a contratada.

##### Desvantagens

- Obriga a definição do escopo dos serviços com maior detalhe.
- A contratada tende a delimitar o escopo e prazo dos serviços, bem como estipular sua remuneração fixa com folga, para cobrir contingências.

#### 2.3.3.5. Remuneração horária (Time basis)

A contratada é remunerada pelo pagamento das horas efetivamente trabalhadas, multiplicadas por uma tarifa horária definida para cada categoria profissional, já incluídos os custos indiretos e honorários.

Aplicação: Em situações onde o escopo não está bem definido e o tempo de duração possa ser facilmente medido e controlado, como é o caso dos serviços de consultoria técnica.

#### Vantagens

- Elimina a necessidade de se ter uma definição completa das quantidades dos serviços a serem realizados.

#### Desvantagens

- Exige maior rigor nas medições dos diversos serviços.

### 2.3.3.6. Empreitada global (Turn-key)

A contratante delega à contratada toda a responsabilidade sobre o projeto, a qual providencia a elaboração do projeto de engenharia, processamento das compras, construção e montagem, gerenciamento, etc.

Aplicação: Na implantação de unidades industriais dominadas por equipamentos, onde a tecnologia e serviços de engenharia estão embutidas no fornecimento global da planta.

#### Vantagens

- Permite maior racionalização administrativa, sem implicar em perda de controle sobre o projeto por parte da contratante.

#### Desvantagens

- A participação da empresa contratante limita-se ao acompanhamento e fiscalização dos serviços em execução.

### **2.3.3.7. Outras modalidades contratuais**

A experiência internacional tem criado inúmeras formas contratuais diferentes, ou variações das formas clássicas, das quais podemos citar as seguintes:

**Guarda-chuva (Umbrella)** - Nesta modalidade estabelece-se apenas as regras gerais para a execução dos serviços, tais como a forma de remuneração. Através de ordens de serviço, expedidas quando necessário, é que se detalha o que fazer, como fazer, quem fará, quando e por quanto. Desta maneira, o contrato guarda-chuva caracteriza apenas uma intenção, entrando em execução por meio das ordens de serviço.

**Pacote (Package deal)** - Trata-se de uma variação do contrato por empreitada global onde, além da execução dos serviços, a contratada fornece também o financiamento para o projeto.

**Empreitada global parcial (Partial Turn-key)** - Outra variação do contrato por empreitada global, utilizada quando o contratante não tem condições de gerenciar o projeto. Neste caso, o contratante delega a função de gerenciamento à empresa contratada, à qual caberá contratar serviços com terceiros em nome e por conta do cliente. A forma de remuneração é normalmente ajustada à base de uma taxa de administração sobre o contrato por ela administrado.

**Conversível** - Inicia com um tipo de contrato e posteriormente converte-se para outro tipo. Exemplo: Cost plus para Preço global.

#### 2.3.4. Custos em empresas de projetos

O custo - juntamente com o tempo - é uma variável de controle por excelência, um denominador comum para as variáveis que atuam sobre o projeto, permitindo quantificá-las e analisá-las conjuntamente, com o objetivo de formular medidas de desempenho, tanto para o projeto quanto para a empresa.

O sistema de custos de uma empresa de projetos deve ser suficientemente avançado para permitir um planejamento e controle eficaz dos custos, de modo a reduzir os riscos inerentes ao ambiente de projetos. Deve também ser suficientemente flexível para se moldar a uma estrutura organizacional dinâmica e para atender as peculiaridades de cada tipo de contrato usualmente utilizado pela empresa. O desenvolvimento de um sistema de custos com as características mencionadas requer uma integração muito grande de todas as áreas da empresa, especialmente a de planejamento e controle, suprimentos, finanças, administração de contratos e sistema de informação e documentação. As necessidades de flexibilidade, sofisticação e integração exigem o emprêgo de recursos computacionais para serem atendidas, de forma a adequar o sistema de custos às características dinâmicas do ambiente de projetos.

O tipo básico de sistema de custos geralmente adotado nas empresas de projetos é o sistema por ordens específicas. Isto se deve às características do produto oferecido, que pode ser considerado como prestação de serviços complexos especializados, executados de forma intermitente e bem definidos por meio das atividades.

Dadas as limitações de escopo deste trabalho, não se entrará em detalhes quanto ao desenvolvimento de um sistema de custos. No entanto, para uma melhor caracterização do ambiente de projetos, serão analisados a seguir alguns elementos de um sistema de custos genérico para empresas de projetos.

#### 2.3.4.1. Divisão e classificação dos custos

Em projetos é usual a divisão de custos em diretos e indiretos. Entende-se por custos diretos todos os custos que podem ser diretamente alocados às atividades. Os custos indiretos representam os custos decorrentes da estrutura administrativa e de apoio necessárias para que a empresa alcance os seus objetivos.

É importante que se faça uma distinção entre custos indiretos da empresa e custos indiretos do projeto. Geralmente os projetos necessitam de uma estrutura de apoio auxiliar à da empresa para a sua execução, principalmente quando distante da sede. Esta estrutura auxiliar compreende todos os serviços necessários para dar suporte ao projeto, e é dimensionada de acordo com o porte e a duração do projeto.

Além dos custos decorrentes da estrutura auxiliar, existem outros custos ou despesas que, sob o ponto de vista da empresa, são diretamente alocáveis ao projeto. Porém, sob o ponto de vista do projeto, são considerados como custos indiretos pois o beneficiam de uma forma global, e portanto não podem ser alocados a uma atividade específica. Este é o caso, por exemplo, dos seguros do projeto e viagens de técnicos.

Tal divisão dos custos é particularmente interessante quando se utiliza a estrutura matricial, ou funcional com gerência de projetos a nível de staff e funções de coordenação e controle. Em ambos os casos, na estrutura auxiliar a autoridade formal deve ser exercida pelo gerente de projetos.

Dentro deste princípio, alguns procedimentos para a alocação de recursos da empresa para o projeto e vice-versa, se fazem necessários:

- Todos os recursos da empresa devem pertencer a um plano de contas do sistema de custos, de forma a permitir a adequada contabilização.
- Todos os recursos da empresa, quando alocados a um projeto, passam a ser considerados custos diretos ou indiretos do projeto, conforme a facilidade de atribuição.
- Os recursos da empresa não alocados à projetos são considerados custos indiretos da empresa, e são distribuídos aos projetos através de taxas de rateio adequadas.
- Os recursos diretamente alocados às atividades do projeto, quando liberadas devem ser realocadas à empresa. No caso de liberação momentânea decorrentes de condições climáticas adversas ou qualquer outro motivo semelhante, devem ser consideradas como recursos ociosos, ou custos indiretos do projeto, de maneira a não penalizar desnecessariamente uma atividade.

Desta forma, a seguinte classificação de custos, adaptada de Borges [10], poderá ser utilizada:

#### a) CUSTOS INDIRETOS DA EMPRESA

##### a.1) Imóveis (sede e filiais)

- depreciação
- aluguel
- manutenção e conservação

- vigilancia
- impostos, taxas e seguros

a.2) Pessoal administrativo, de apoio e gerência

- salários e encargos

a.3) Comunicações

a.4) Transportes

a.5) Equipamentos e materiais de escritório

- depreciação
- aluguel e leasing
- manutenção
- material de expediente

a.6) Máquinas e equipamentos não alocados à projetos

- depreciação
- manutenção e conservação
- impostos, taxas e seguros

b) CUSTOS INDIRETOS DO PROJETO

b.1) Imóveis (alojamentos, depósitos, etc.)

- depreciação
- aluguel
- manutenção e conservação
- vigilancia
- impostos, taxas e seguros

b.2) Pessoal de gerência, PCP, supervisão e chefia

- salários e encargos

b.3) Comunicações

b.4) Transportes

b.5) Equipamentos e materiais de escritório

- depreciação

- aluguel e leasing

- manutenção

- material de expediente

b.6) Viagens e representação

b.7) Seguros do projeto

b.8) Armazenamento de materiais

### c) CUSTOS DIRETOS DO PROJETO

c.1) Pessoal de produção

- salários e encargos

c.2) Máquinas & Equipamentos

c.3) Materiais

## 2.4. PLANEJAMENTO E CONTROLE DE PROJETOS

### 2.4.1. Considerações gerais

O ambiente dinâmico e de elevado grau de incerteza dos projetos requer, para o seu gerenciamento eficaz, procedimentos avançados de planejamento e controle, resultantes do processo de abordagem de sistemas. A execução destes procedimentos é de competência do pessoal subordinado diretamente ao gerente de projetos, ao qual chamaremos de grupo de planejamento e controle. Neste item serão apresentadas as funções e ferramentas básicas deste grupo, adaptadas do trabalho do INPE [18], que o divide em duas equipes distintas, mas que agem integradamente: planejamento e controle técnico (PCT) e planejamento e controle administrativo (PCA).

A fig. 11 mostra os produtos gerados por estas equipes, no decorrer das fases de planejamento, e o laço de atuação e controle nas fases de execução do projeto. Convém ressaltar novamente que o efeito do controle contínuo dificulta a representação gráfica exata do processo de planejamento e controle. Desta maneira, subentende-se que exista, também nas fases de planejamento, um controle contínuo de resultados, possibilitando um desenvolvimento através de refinamentos sucessivos, como preconiza a abordagem de sistemas.

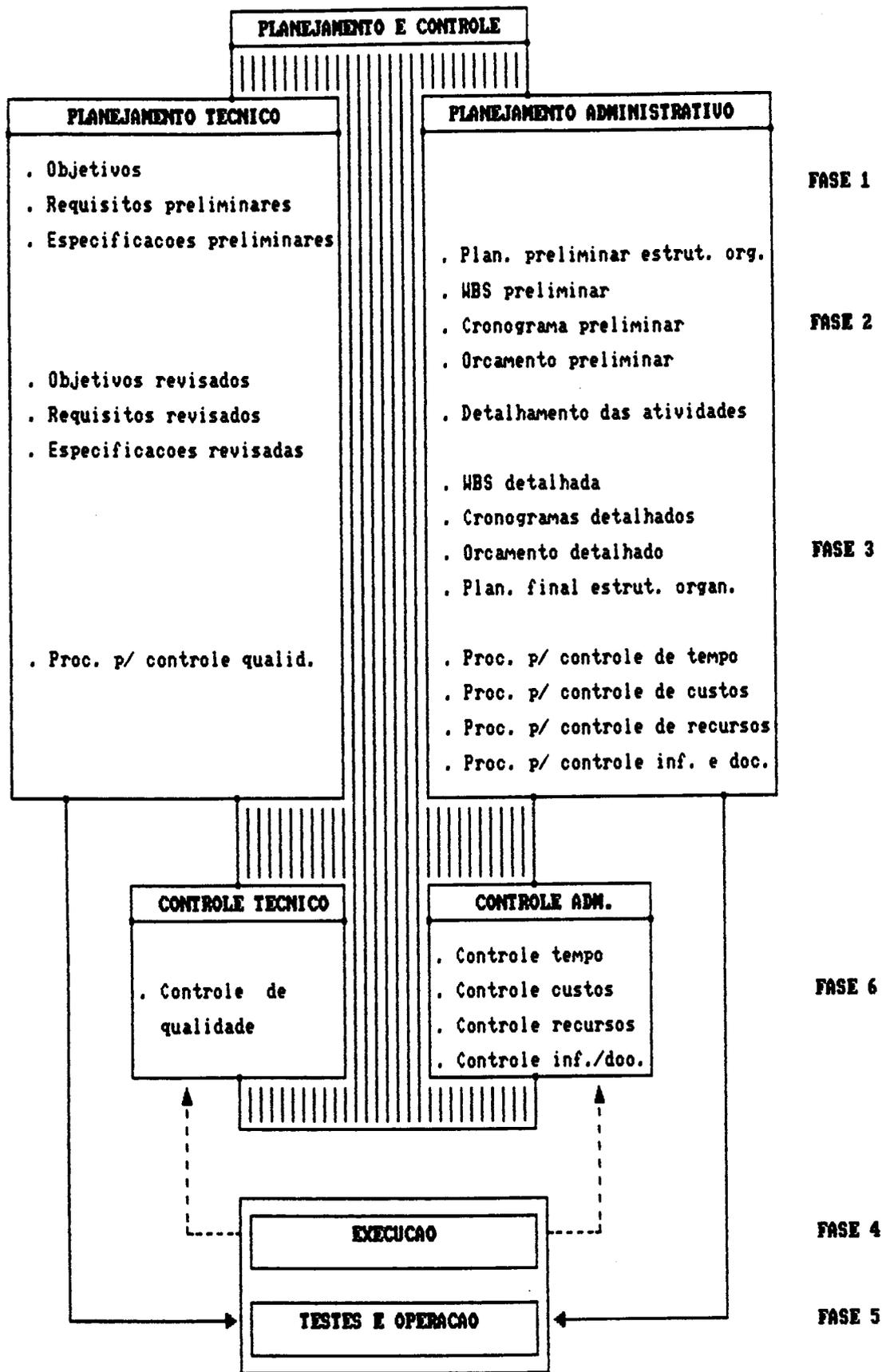


Figura 11 - O processo de planejamento e controle.

Sob o ponto de vista dos níveis de decisão da empresa, distingue-se também os níveis de planejamento e controle estratégico, gerencial e operacional. A fig. 12 mostra o relacionamento existente entre estes níveis e a hierarquia funcional da empresa.

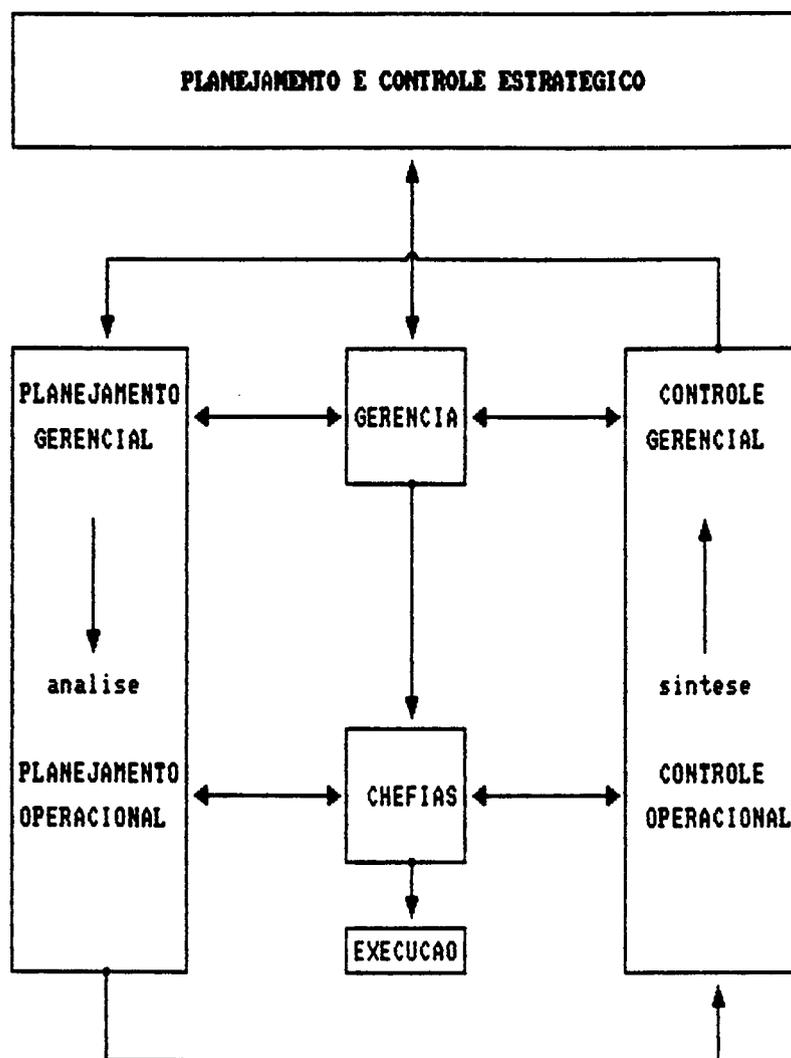


Figura 12 - Níveis de planejamento e controle.

Um outro aspecto importante é a íntima relação existente entre planejamento e controle. Não é possível controlar algo que não tenha sido previamente planejado e, por outro lado, de nada adianta planejar se não houver um controle eficaz. Assim, planejamento e controle devem ser considerados conjuntamente.

#### 2.4.2. Planejamento e controle técnico (PCT)

A equipe de PCT, subordinada ao gerente de projetos, tem sob sua responsabilidade o planejamento e integração do projeto global, do ponto de vista sistêmico.

O PCT trata da definição do problema e seleção da melhor alternativa, estabelecendo os objetivos, requisitos e especificações do projeto, os quais vão sendo aperfeiçoados no decorrer das fases de planejamento. Trata também da coordenação técnica das equipes funcionais, de modo a haver uma perfeita compatibilidade entre elas. Desta forma, a equipe de PCT age nas fases iniciais de planejamento para definir as características técnicas do projeto, e nas fases de execução e de teste e operação, controla e revê tecnicamente estas atividades (controle de qualidade).

De acordo com o exposto, as seguintes funções e procedimentos são desempenhados pela equipe de PCT:

Determinação dos objetivos - Consiste no estabelecimento das metas a serem alcançadas.

Determinação dos requisitos - Consiste na definição qualitativa e, quando possível, quantitativa das características do projeto para que se atinjam os objetivos estabelecidos. São, portanto, derivados a partir dos objetivos.

Determinação das especificações - Consiste na definição das características do projeto da forma como foram concebidas para serem executadas.

Procedimentos para controle técnico - Ao final do planejamento a equipe de PCT deve definir os procedimentos de controle de qualidade a serem adotados durante a execução do projeto, os quais dependem do tipo e porte do projeto e do tipo e escopo do contrato. Estes procedimentos tem por finali-

dade garantir que os objetivos sejam atendidos, de acordo com as especificações estabelecidas. Em muitos projetos que necessitam de projetos de engenharia para a sua execução, estes substituem as listas de objetivos, requisitos e especificações. Desta maneira, o controle de qualidade toma como parâmetro os projetos básico e executivo, que foram elaborados de modo a atender às referidas listas.

### 2.4.3. Ferramentas para o PCA

#### 2.4.3.1. WBS<sup>4</sup>

Esta é uma ferramenta básica para o planejamento e controle, notadamente quando se utilizam recursos computacionais, pois pode servir como estrutura para a armazenagem de dados do projeto (Fig. 13). Será apresentado a seguir uma breve descrição da WBS, segundo Archibald [4].

---

<sup>4</sup>Work Breakdown Structure. Também conhecida como Program Breakdown Structure (PBS). Alguns autores brasileiros a denominam de Estrutura Analítica do Projeto (EAP) ou Estrutura de Divisão do Trabalho (EDT). Neste trabalho adotou-se a sigla WBS por ser a mais usual na literatura internacional.

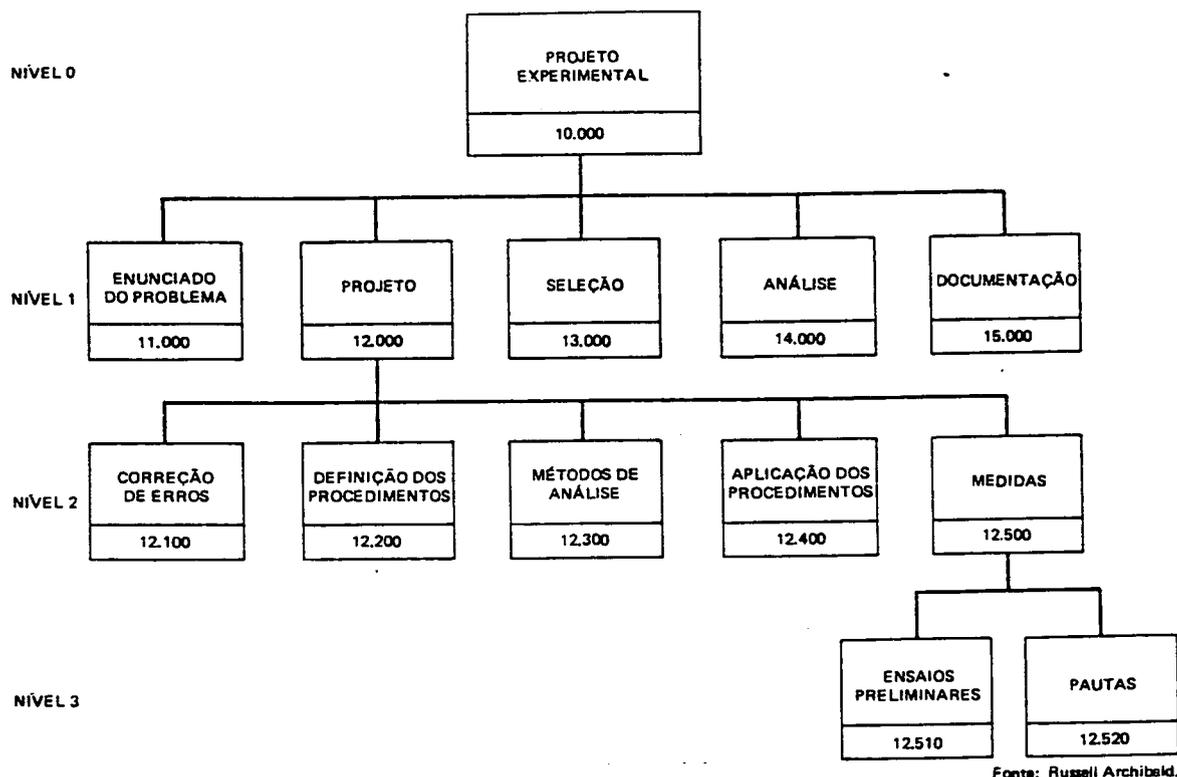


Figura 13 - Exemplo de WBS.

A WBS é uma descrição gráfica do projeto, explodida em níveis até o grau de detalhamento necessário para permitir um planejamento e controle eficaz, considerando-se os seus produtos finais (máquinas e equipamentos, serviços, manuais, relatórios, etc.) e também as atividades funcionais que devem ser executadas para a obtenção destes produtos. A vantagem da WBS, como ferramenta de planejamento e controle, está na sua forma estruturada, hierárquica, que permite a visualização do projeto todo e de suas partes componentes.

O desenvolvimento da WBS inicia-se pelo elemento principal, que identifica o projeto total. Este é então quebrado em seus elementos naturais (subsistemas, facilidades, categorias de produtos finais), gerando um nível inferior. Cada um destes elementos é então subdividido em seus elementos componentes, gerando outro nível inferior. A quebra continua, nível após nível, reduzindo o escopo, complexidade e custo de cada elemento, até se

chegar a um nível tal em que a identificação completa do produto final seja obtida. Estes serão então subdivididos nas atividades (ou macroatividades) funcionais que devem ser executadas para a obtenção do produto final em questão. O processo continua até se chegar às atividades operacionais mínimas que possam ser gerenciadas e cujas responsabilidades pela execução possam ser delegadas a uma pessoa. Para cada atividade inclui-se informações sobre tempos, custos, recursos, etc., que serão sumarizadas para os níveis superiores.

A utilização correta do WBS no planejamento e controle do projeto produz alguns benefícios importantes. No processo de quebra do projeto o gerente de projetos, seu pessoal de suporte e os gerentes funcionais envolvidos, são forçados a mentalizar o projeto levando-se em conta todos os seus elementos constituintes, o que reduz a possibilidade de omissões e permite a identificação e eliminação de problemas potenciais, além de melhor definir o escopo do trabalho designado a cada gerente funcional.

#### 2.4.3.2. PERT/CPM<sup>5</sup>

O método PERT foi elaborado em 1958 pela marinha americana e utilizado inicialmente no planejamento e controle do projeto Polaris. O método CPM é atribuído a James Kelley Jr., da Remington Rand, e Morgan Walker, da Dupont de Nemours, que o desenvolveram em 1957.

Ambos os métodos são considerados técnicas de redes baseados na Teoria dos Grafos, e classificados como modelos pictóricos de pesquisa operacional (Fig. 14). Diferem entre si basicamente pela forma como é tratado o tempo: O CPM utiliza valores determinísticos, enquanto que o PERT utiliza três estimativas de

---

<sup>5</sup>Program Evaluation and Review Technique / Critical Path Method.

tempo e a distribuição Beta para a determinação do tempo mais provável, sendo portanto um modelo probabilístico.

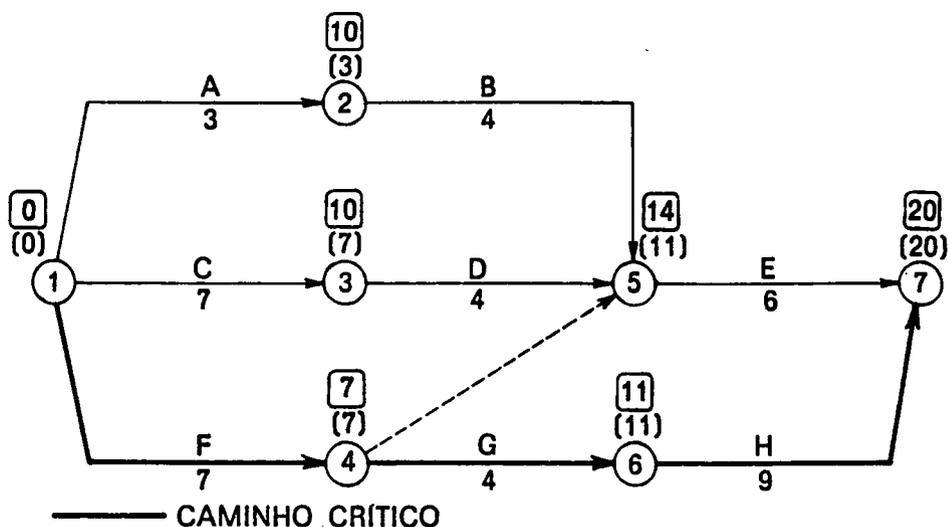


Figura 14 - Exemplo de rede PERT/CPM.

Tanto o PERT quanto o CPM são ferramentas úteis em problemas de coordenação de atividades que devem ser executadas numa determinada ordem. A interdependência entre as atividades de um projeto implica em que algumas atividades devam ser executadas em série (ou sequencialmente) enquanto outras devam ser executadas em paralelo (ou simultaneamente). O PERT e o CPM possibilitam uma visualização das relações de interdependência das atividades, através da rede, e também a determinação do tempo total de duração e a magnitude e tipo das folgas entre as atividades.

Nas empresas de projetos, onde o fluxo de trabalho é bem definido e as atividades podem ser estimadas em termos de tempo e custos com precisão razoável, é comum a utilização da técnica CPM, determinística. Pressupõem-se, acertadamente, que a incerteza inerente a este ambiente de projetos seja perfeitamente gerenciável através de procedimentos eficazes de controle. A técnica PERT restaria então projetos onde existam atividades de pesquisa e desenvolvimento em grande número, e com elevado nível de incerteza quanto a tempos e custos.

Este trabalho apresenta somente aplicações da técnica CPM no planejamento e controle de projetos. No entanto, na maioria dos casos, a utilização de uma ou outra técnica é indiferente,

sendo por isso referida genericamente como PERT/CPM, termo este que na literatura especializada tornou-se sinônimo de técnica de redes. A distinção entre as técnicas será feita apenas quando necessária. Um outro aspecto que se levou em conta é que, no decorrer dos últimos 30 anos, surgiram inúmeras obras sobre PERT e CPM tratando do assunto com profundidade, tornando desnecessária a apresentação, neste trabalho, de seus princípios matemáticos e das metodologias para a confecção da rede de atividades. Sugere-se aos leitores interessados a consulta às obras indicadas na Bibliografia, notadamente Stanger [24] e Archibald & Villoria [5]. Existem, porém, alguns elementos do PERT/CPM, utilizados na implementação computacional do modelo de aceleração, que serão aqui definidos:

Atividade - Trata-se do pacote mínimo de trabalho, já definido anteriormente, e que é obtido dos níveis inferiores da WBS. Na rede, é representada por uma flecha<sup>6</sup>.

Atividade fantasma - É uma atividade que não consome tempo nem recursos, utilizada apenas para definir relações de interdependência.

Evento - Representa o início ou o fim de uma atividade, e é representado na rede PERT/CPM por um círculo.

Evento marco - É um evento da rede que indica o início ou o fim de uma ou mais atividades que, dada a importância destas atividades, deve ter sua data de início ou conclusão controlada.

---

<sup>6</sup>Existe uma técnica de rede denominada Método dos Potenciais, desenvolvida na mesma época que o PERT/CPM pelo professor B. Roy, da Universidade de Sorbonne, que representa as atividades por círculos e os eventos por flechas, gerando redes PERT/CPM graficamente duais.

Tempo mais cedo ( $t_k$ ) - Para um evento  $k$ , é o tempo necessário para que seja alcançado, se não ocorrerem atrasos nas atividades que o antecedem.

Tempo mais tarde ( $tt_k$ ) - Para um evento  $k$ , é a data limite para a sua realização, além da qual o tempo total de execução das atividades será alterado.

Primeira data de início (PDI) - É a primeira data de início de uma atividade, ou tempo mais cedo da atividade.

Última data de início (UDI) - É a última data possível para se iniciar uma atividade sem alterar a programação.

Primeira data de término (PDT) - É a primeira data possível para o término da atividade.

Última data de término (UDT) - É a última data possível para a conclusão da atividade sem alterar a programação.

Folga total (FT) - É o atraso máximo em uma atividade sem alterar o prazo máximo para o seu término.

Folga livre (FL) - É o atraso máximo em uma atividade sem alterar a data mais cedo de início da atividade seguinte.

Caminho crítico (CC) - É um caminho formado por atividades com folga nula, entre o evento inicial e o final, e representa o menor tempo possível para a execução do projeto.

### 2.4.3.3. Cronogramas

O cronograma é a representação gráfica do tempo planejado, ou estimado, para que uma determinada atividade seja executada, tendo a forma de uma escala de tempo, onde se indica por meio de barras a duração e o período de tempo para a qual a atividade foi programada, sendo por isso também denominado de cronograma de barras (Fig. 15).

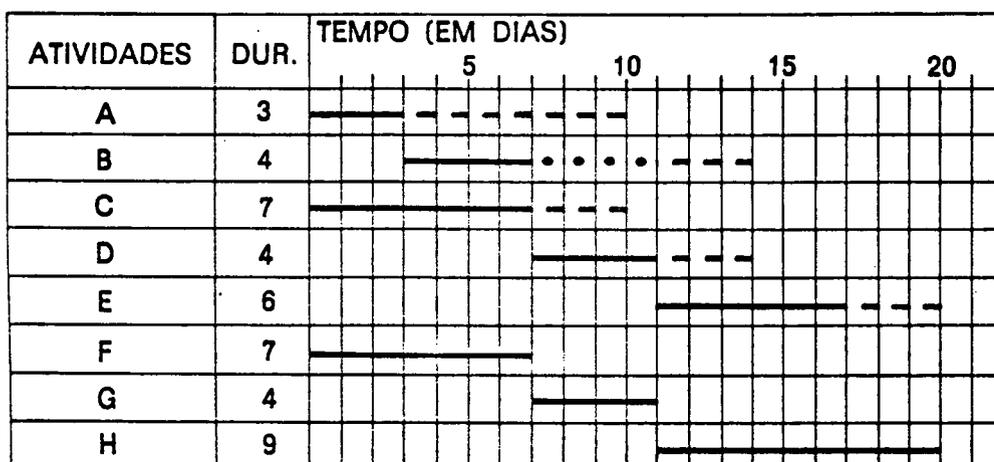


Figura 15 - Exemplo de cronograma.

Trata-se de uma técnica de planejamento e controle que permite uma visão geral do andamento das atividades. No entanto, não permite a identificação perfeita das relações de interdependência entre as atividades. Para suprir esta falha, usa-se o cronograma juntamente com o PERT/CPM. Esta união permite refinar ainda mais o cronograma, pela representação também das folgas e datas das atividades além dos eventos marcos do projeto.

E usual dividir-se o cronograma em dois tipos, segundo o nível de detalhamento das atividades:

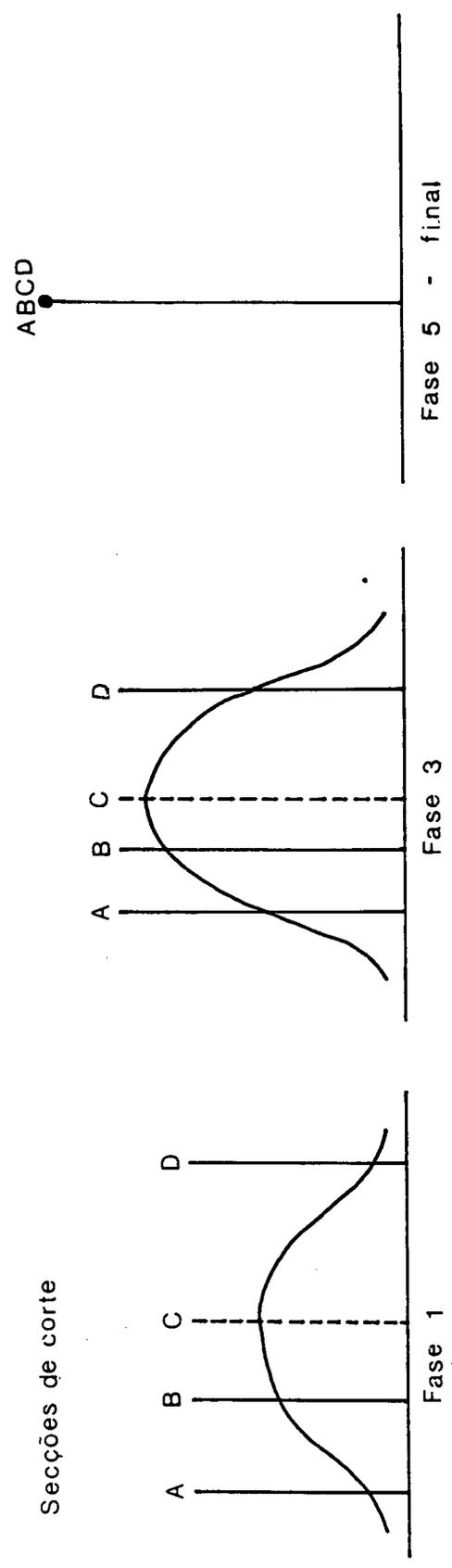
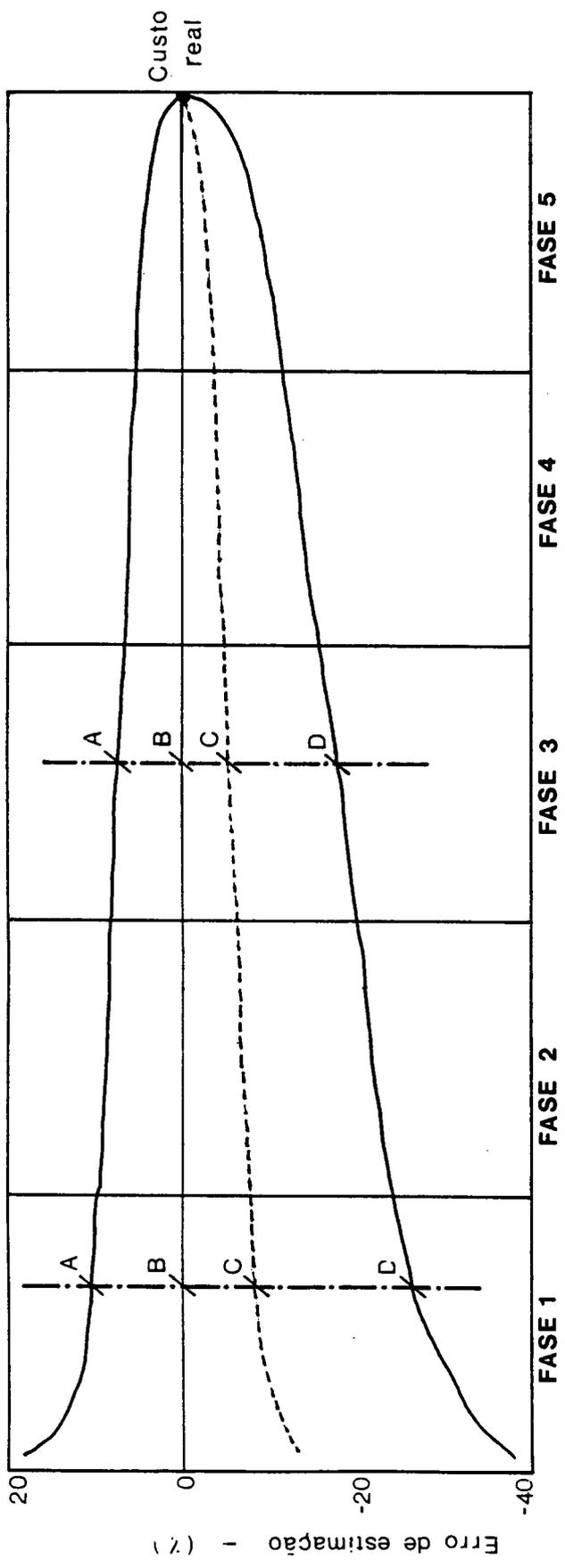
- Cronograma mestre: Relaciona todos os subprojetos, abrangendo todo o período de desenvolvimento do projeto. A escala de tempo geralmente usada é de meses ou anos, possibilitando uma visão geral do projeto.

- Cronogramas parciais: Relacionam as atividades de um determinado subprojeto, abrangendo apenas o seu período de desenvolvimento. Cada subprojeto deve ter o seu cronograma parcial. A escala de tempo geralmente usada é dias, semanas ou meses.

#### 2.4.3.4. Orçamentos

O orçamento de um projeto é semelhante ao orçamento operacional de uma empresa de regime permanente. A diferença fundamental é que, nesta, é usual a utilização de uma base anual, enquanto que o orçamento de um projeto cobre todo o seu ciclo de vida. Além disso, as características de um projeto fazem com que as estimativas orçadas tenham um nível de incerteza maior. Isto é demonstrado por Barnes [7], no gráfico da fig. 16. Neste gráfico, percebe-se que a incerteza quanto ao custo é muito grande nas fases iniciais de planejamento, e vai sendo reduzida a medida em que o projeto se desenvolve. Percebe-se também neste gráfico que há uma tendência natural à superestimação dos valores orçados, como forma de se resguardar de contingências.

O início da elaboração do orçamento ocorre ainda na fase preliminar de planejamento, através de estimativas de custos. A medida que o projeto vai sendo desenvolvido, através de um processo de refinamentos sucessivos, também o orçamento vai sendo aperfeiçoado, até chegar ao nível operacional de execução das atividades. Durante a execução do projeto deve-se dispor de orçamentos individualizados para os diversos níveis hierárquicos do projeto, de acordo com os níveis de decisão da empresa, que necessitam destas informações. Os níveis hierárquicos de orçamentos são obtidos pelo somatório de custos correspondentes aos subprojetos ou macroatividades.



Fonte: Martin Barnes (Adaptado)

Figura 16 - Incerteza na orçamentação do projeto

Para efeitos de controle, o orçamento é dividido em direto e indireto. O orçamento indireto compreende as estimativas de custos que não podem ser diretamente alocadas às atividades, e são quantificadas para o projeto todo, de forma global. O orçamento direto, ou orçamento das atividades, compreende as estimativas de custos para a execução das atividades, e permite um maior grau de precisão. O orçamento total do projeto é uma combinação dos orçamentos direto e indireto, incluindo também uma projeção dos resultados.

Dada a sua magnitude, o orçamento das atividades é uma peça fundamental do orçamento do projeto, e um cuidado especial deve ser dispensado à sua elaboração, notadamente no que diz respeito à íntima relação existente entre custos e tempos de execução, para a qual a análise de aceleração pode vir a ser uma importante ferramenta de apoio à decisão. A dificuldade na determinação da combinação ótima de tempos, recursos e custos requer um esforço conjunto dos responsáveis pela execução das atividades com o gerente do projeto, de modo a desenvolver simultaneamente, com os recursos disponíveis, o cronograma e o orçamento das atividades.

Um outro aspecto que deve ser ressaltado é que o orçamento deve ser considerado como um documento de uso interno, que representa a visão da empresa a respeito dos custos reais esperados. Desta maneira, o orçamento será uma base confiável para a cotação dos preços da proposta quando da contratação dos serviços, e um importante instrumento de controle na fase de execução.

#### **2.4.4. Planejamento e controle administrativo (PCA)**

O PCA consiste de um conjunto de funções inter-relacionadas que tem como objetivo planejar e controlar um projeto nos aspectos de progresso, custos e documentação. Estas funções são im-

portantes pois, dada a sua complexidade, para que o projeto alcance seus objetivos não é suficiente reunir os especialistas, equipamentos e recursos financeiros necessários. O elemento técnico geralmente dedica a sua atenção apenas ao desempenho técnico do projeto, esquecendo-se das componentes administrativas de tempo e custos na execução do plano estabelecido. O tempo, os custos e a documentação são melhor administrados com o estabelecimento de uma equipe, subordinada ao gerente de projetos, a qual, com a aplicação das ferramentas de planejamento e controle apresentadas anteriormente, produz relatórios gerenciais de progresso e custos, aliviando o gerente da atividade pesada de análise de informações a nível operacional.

Serão analisadas a seguir as funções e procedimentos típicos da equipe de PCA.

#### **2.4.4.1. Planejamento e controle de tempo**

Esta função compreende, nas fases de planejamento, a preparação do PERT/CPM e dos cronogramas mestre e parciais, os quais permitem a definição precisa do tempo disponível para cada tarefa a ser executada, e uma visualização do projeto no decorrer da execução. Durante as fases de planejamento, a medida em que informações mais detalhadas se tornam disponíveis, estas vão sendo incorporadas a ambos.

Ao final da fase de planejamento, deve-se dispor destas ferramentas para os vários níveis hierárquicos do projeto, de acordo com os níveis de atividades da WBS.

No controle do tempo devem ser empregados alguns procedimentos para medir e acompanhar o progresso do projeto, isto é, coordenar a ação de todas as partes do mesmo, de acordo com o plano estabelecido:

Levantamento da situação - Periodicamente o PCA deve procurar saber qual a situação em que se encontra o projeto, no que diz respeito a datas de conclusão de atividades. Isto é feito através de relatórios escritos, contatos verbais ou observação direta.

Registro e análise da situação - Uma vez levantada a situação do projeto, atualizam-se os diagramas, indicando-se quais as atividades que foram concluídas no tempo planejado, quais não foram, e as novas datas de conclusão destas últimas. Segue-se, então, a análise da situação, com a verificação das atividades atrasadas e, se possível, a causa destes atrasos. Relatórios são então enviados ao gerente de projetos, contendo os problemas existentes em virtude das atividades em atraso, suas possíveis causas e possíveis soluções.

Ações corretivas - Com base nas informações do relatório, o gerente identifica as áreas críticas e não-críticas do projeto e providencia as ações corretivas, que deverão ser aplicadas pela equipe de PCA. Neste procedimento se identifica o processo de tomada de decisão, isto é, a determinação da ação adequada para solucionar o problema. A mudança no tempo de execução de uma atividade tende a se propagar a todo o projeto, devido ao alto grau de interdependência entre as atividades. A análise de aceleração permite ao gerente avaliar também a alternativa de acelerar o projeto para manter a duração total planejada, porém incorrendo em custos adicionais. Isto é particularmente interessante em contratos onde a duração do projeto é fixada pela parte contratante.

#### 2.4.4.2. Planejamento e controle de custos

A ferramenta básica para o planejamento de custos é o orçamento, comentado anteriormente. A sua utilização também no controle de custos requer algumas considerações adicionais.

Para um controle efetivo dos custos do projeto é necessária a contabilização dos custos reais ocorridos, que representam o parâmetro básico de comparação com os custos planejados no orçamento. Sempre que desvios sejam detectados, devem ser analisadas as causas, as conseqüências para o restante do projeto e as possíveis soluções.

Uma ferramenta auxiliar muito eficiente no controle de custos é a curva "S" de custos acumulados do projeto em função do tempo de execução. Esta curva, assim denominada devido ao seu formato característico, permite uma visualização gráfica da situação dos custos reais e planejados. A fig. 17 mostra um exemplo de curva S planejada e a curva de custos reais até a data atual. Neste exemplo, à primeira vista, pode parecer que o projeto será concluído com um custo bastante inferior ao planejado. No entanto, pode ter ocorrido atrasos na execução dos serviços, transferindo-se para o futuro os seus custos correspondentes. A curva de custos extrapolados, mantidos os orçamentos e cronogramas originais, poderia indicar então uma situação onde o custo total e a duração do projeto ultrapassariam os valores planejados, devido ao efeito encadeado gerado pelas relações de interdependência entre as atividades. Neste caso, a análise do problema ocorrido permite que se faça o replanejamento do projeto, de modo a adequá-lo a esta nova situação. Como mostra a figura, é pouco provável que se consiga alcançar novamente a curva planejada, pois na data atual não se dispõem mais das condições iniciais. O replanejamento possibilita apenas a reotimização do projeto, minimizando os efeitos do distúrbio no planejamento inicial.

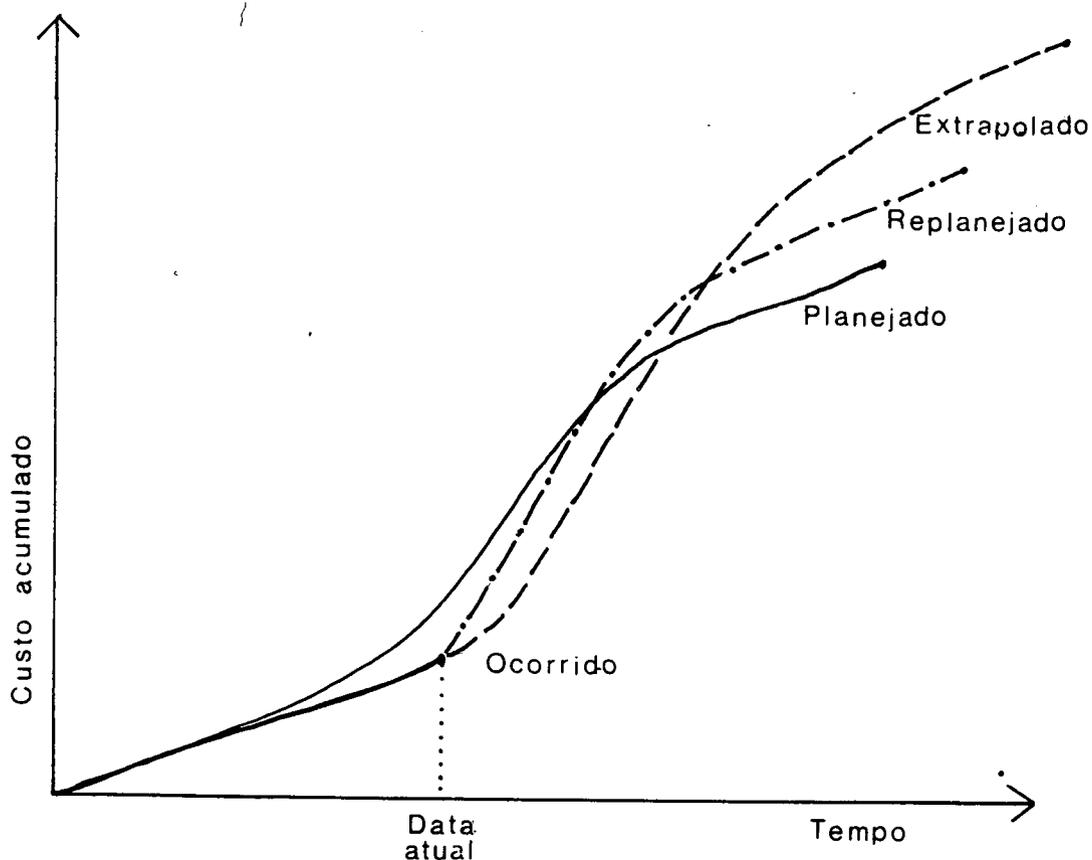
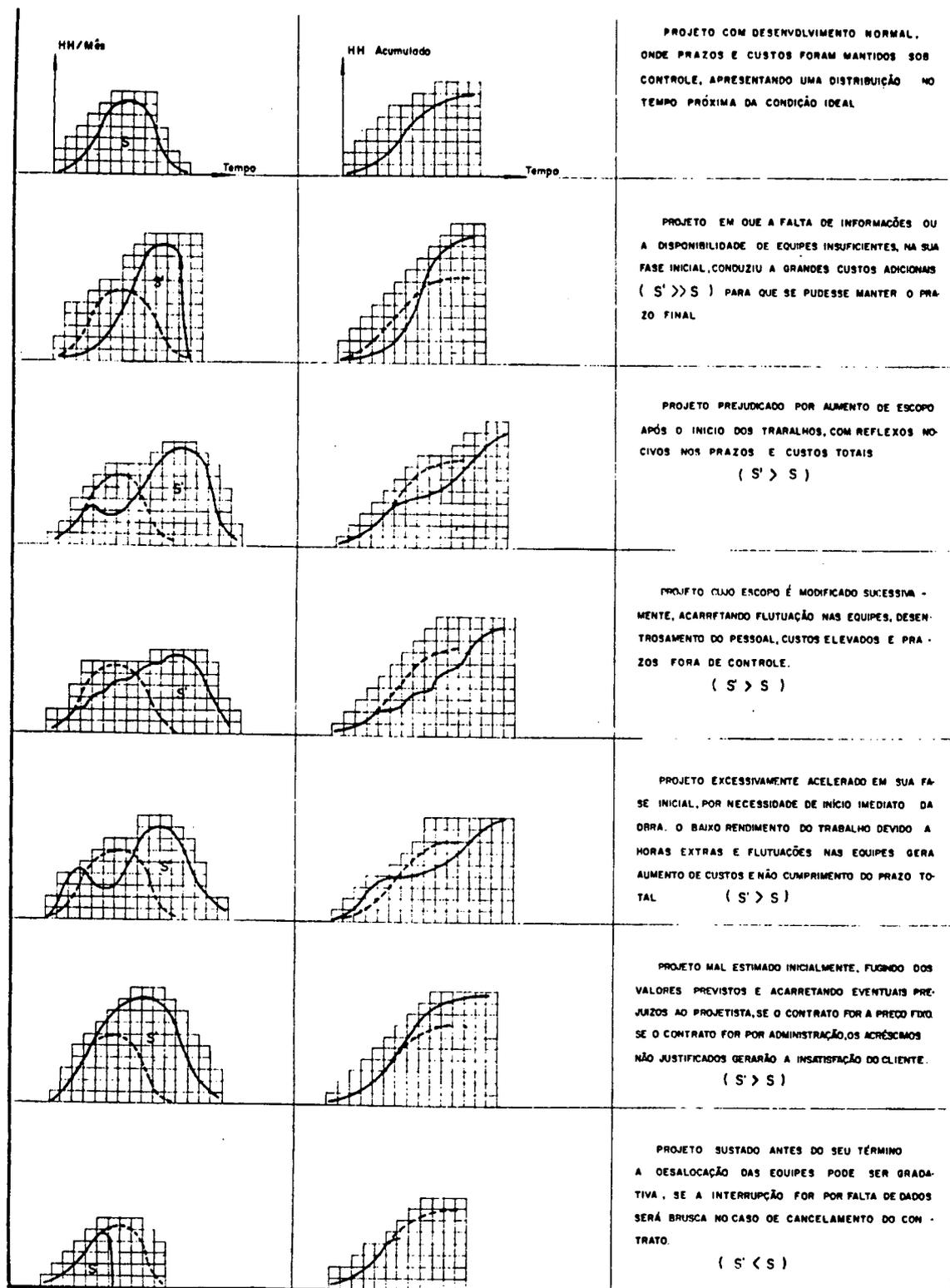


Figura 17 - Curva "S" de custos acumulados.

Desta maneira, também no controle de custos a análise de aceleração se revela uma importante ferramenta, permitindo a realocação de recursos ociosos em algumas atividades para outras que os necessitam, de modo a racionalizar o replanejamento em termos de tempo e custos. O tempo de análise, porém, tende a ser um fator limitante quando aplicado através de métodos clássicos, pois é incompatível com a dinâmica do projeto.

Existem infinitas variações possíveis em torno da curva de custos planejados. A fig. 18 mostra as mais comuns, e também as suas causas mais prováveis.



Fonte: Cyro E. do Valle

Figura 18 - Distúrbios na curva de custos planejados.

#### 2.4.4.3. Planejamento e controle de recursos

Em termos de recursos humanos e materiais necessários para o desenvolvimento do projeto, a primeira providência a ser tomada pela equipe de PCA é estimar o dimensionamento da estrutura organizacional do projeto, ainda no início do planejamento. No decorrer das fases de planejamento, a medida que informações mais detalhadas se tornam disponíveis, esta vai sendo refinada, de modo que ao final do planejamento se tenha uma definição quanto ao porte da estrutura organizacional a ser utilizada na execução do projeto.

Vimos anteriormente que o custo é um denominador comum para as variáveis que atuam sobre o projeto. Os recursos humanos e materiais necessários para a execução das atividades podem ser definidos em termos de seus custos correspondentes, desde que tempo, custos e recursos sejam tratados conjuntamente. Isto, no entanto, dificulta o uso racional dos recursos limitados disponíveis na empresa.

Este trabalho não aborda técnicas de otimização de recursos, porém a análise de aceleração pode ser utilizada como ferramenta auxiliar no planejamento de recursos, de várias formas:

- Para cada duração total do projeto, obtida no processo de aceleração na curva de tempo-custo direto, as atividades com folga podem ser deslocadas no tempo ( tendo-se em mente o cronograma) de modo a evitar picos desnecessários na utilização de determinados recursos limitados da empresa.
- No processo de aceleração, ao invés de se usar o custo direto das atividades, pode-se usar a quan-

tidade de um determinado recurso escasso, obtendo-se então uma curva otimizada da quantidade deste recurso para cada duração total possível para o projeto. Neste caso, a duração limite seria a que igualasse a quantidade disponível. Evidentemente, este processo se torna extremamente trabalhoso para a análise de vários tipos de recursos.

- O próprio processo de aceleração na curva de tempo- custo direto age no sentido de encontrar os limites em termos de recursos, pois baseia-se na redução do tempo de execução provocado pelo suprimento adicional de recursos à determinadas atividades. Além disso, as atividades não aceleradas tem as suas folgas reduzidas.

Quanto aos recursos financeiros, uma preocupação constante nas empresas de projetos é o nível de capital de giro necessário para a execução do projeto. Esta preocupação é explicável pelas características inerentes a um projeto, onde o investimento inicial para a sua execução é significativo, e as receitas, dependendo do tipo de contrato adotado, podem ser recebidas algum tempo após a prestação dos serviços. A análise de aceleração possibilita à empresa simular os vários níveis de capital de giro requeridos para cada duração total possível do projeto, de acordo com as características do contrato. A fig. 19 mostra um exemplo desta simulação, através das curvas "S" de custos acumulados para duas durações possíveis de um projeto. As curvas em escada mostram as receitas, segundo um contrato tipo administração, onde os serviços faturados no final do mês são recebidos no mês seguinte, acrescidos da taxa de administração estipulada no contrato. Nota-se na figura que, neste caso, quanto menor a duração, maior a necessidade de capital de giro por parte da empresa contratada.

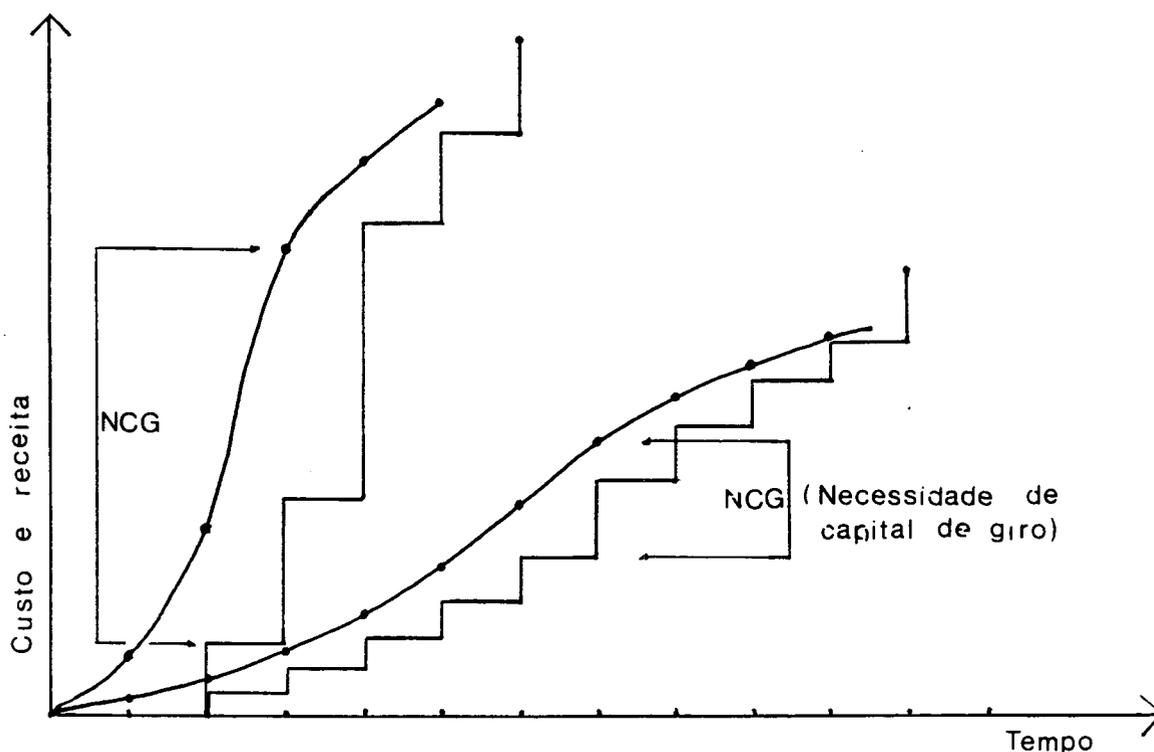


Figura 19 - Curva "S" e a análise de capital de giro.

#### 2.4.4.4. Sistema de informações e documentação

Dada a grande quantidade de informações necessárias para o gerenciamento eficaz de um projeto, e a rapidez com que estas são modificadas pela atuação dos procedimentos de controle quase contínuos, a utilização de recursos computacionais no sistema de planejamento e controle é hoje uma necessidade imprescindível.

Um sistema de informações orientado a projetos deve possuir algumas características básicas:

- Interligação das informações da WBS, PERT/CPM, cronogramas e orçamentos, de modo que a alteração de uma determinada informação por meio de uma das ferramentas citadas seja sentida também nas demais. Desta maneira, iniciando-se o planejamento

do projeto pela WBS, subdividindo-o em vários níveis de subprojetos, produtos e atividades, gera-se também as atividades e macroatividades da rede PERT/CPM. A introdução do elemento tempo no PERT/CPM, levando-se em conta o seu íntimo relacionamento com o custo - através da análise de aceleração - gera então informações para os vários níveis de cronogramas e orçamentos.

- Sumarização das informações do nível operacional para os níveis superiores, gerando relatórios de controle com detalhamento compatível com os níveis de decisão a que se destinam.
  
- Armazenamento das informações referentes aos documentos do projeto, como contratos, ordens de compras, ordens de serviço, especificações, e outros; utilizando-se da estrutura hierárquica WBS, de acordo com o nível do projeto a que se referem.

Também importante é a integração do sistema de planejamento e controle do projeto com outros sistemas administrativos da empresa, como Contabilidade, Finanças, Suprimentos, etc. Isto faz com que o sistema resultante seja desenvolvido de acordo com as necessidades e características específicas de cada empresa, tendo um alto custo e complexidade. A fig. 20 mostra, de forma simplificada, um sistema idealizado com estas características, onde os dados são armazenados em um banco de dados centralizado, e utilizados por todos os subsistemas administrativos da empresa.

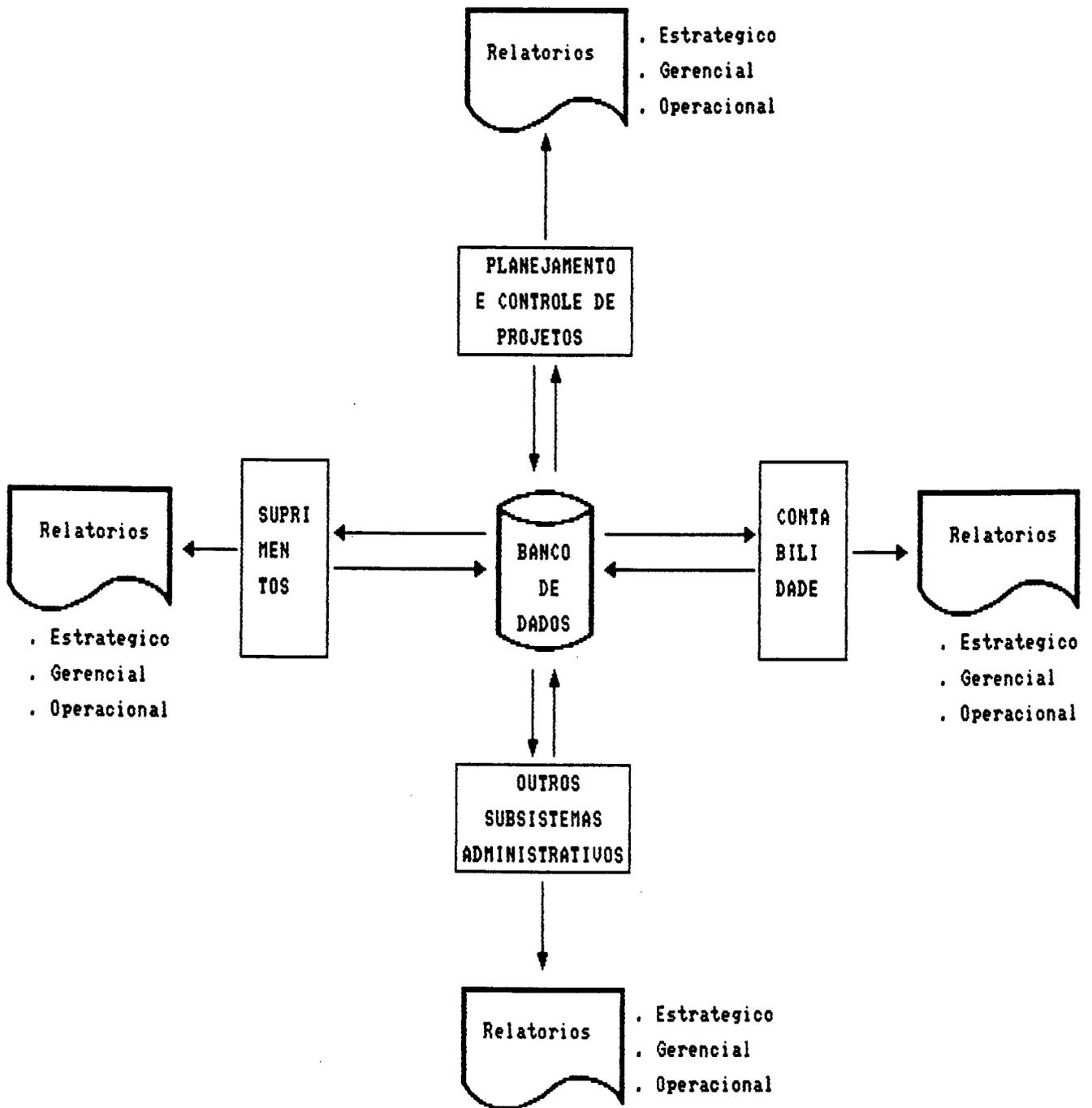


FIGURA 20 - O sistema integrado de informações ideal.

## CAPÍTULO III

# ACELERAÇÃO DE PROJETOS NA CURVA DE TEMPO-CUSTOS

### 3.1. INTRODUÇÃO

As atividades de um projeto podem ser executadas por diferentes combinações de tecnologias, equipamentos, tamanho de equipes, turnos e horas de trabalho. O custo direto e a duração destas atividades - e conseqüentemente do projeto - é função destas combinações de tempos, recursos e tecnologias, de uma forma não necessariamente proporcional. Os fatores que influenciam a seleção destas combinações são vários. Alguns, como a disponibilidade de recursos por parte da empresa, são fatores restritivos. Outros, relacionados à estratégias de mercado ou condições climáticas, são de difícil quantificação por não serem conhecidos a priori. Os fatores principais, no entanto, podem ser o custo, o tempo ou ambos. Se o tempo não é importante, cada atividade poderá ser planejada de forma a minimizar o custo direto. Se o custo direto não é importante cada atividade poderá ser planejada de forma a minimizar a duração, com a aplicação intensiva de recursos. Entre estes dois extremos existem, para cada atividade, um grande número de relações diferentes entre custo direto e tempo de execução. Para o projeto todo, devido à interdependência entre as atividades - que torna o problema de natureza combinatorial - a análise caso a caso é impraticável, exigindo para tanto o emprego de modelos matemáticos.

Neste capítulo será abordado o modelo geral de aceleração de projetos e algumas metodologias conhecidas, notadamente o algoritmo do fluxo para CPM de Ford-Fulkerson, utilizado na implementação computacional do modelo.

### 3.2. CARACTERIZAÇÃO DO MODELO DE ACELERAÇÃO DE PROJETOS

Em todas as atividades que compõem um projeto existem duas espécies de custos que devem ser analisados:

- a) Custo direto. O custo direto depende diretamente da execução da atividade e é composto pelos custos de materiais, mão-de-obra e utilização de máquinas e equipamentos. O comportamento dos custos diretos em função do tempo é mostrado na fig. 21. Vemos que, dentro de um intervalo realista de tempo de execução, o custo direto é decrescente<sup>1</sup>, ou seja, reduzindo-se o tempo de execução ocorre um acréscimo no custo direto devido à maior aplicação de recursos, necessários para aumentar a velocidade de execução da atividade. A duração para a qual o custo direto é mínimo chamamos de duração normal da atividade ( $D_{ij}$ ). Além deste ponto a curva tende a ser crescente, devido à aplicação irracional de recursos. Ao limite superior do intervalo válido, onde o custo direto é máximo e a duração é mínima chamamos de duração acelerada ou de máxima aceleração ( $d_{ij}$ ). Além deste ponto, qualquer acréscimo nos recursos não obterá a contrapartida na redução do tempo de

---

<sup>1</sup>Em geral o comportamento é não-crescente, pois na análise de aceleração não são admissíveis atividades onde o custo direto diminui com a redução do tempo de execução.

execução devido às limitações tecnológicas do processo de execução adotado.

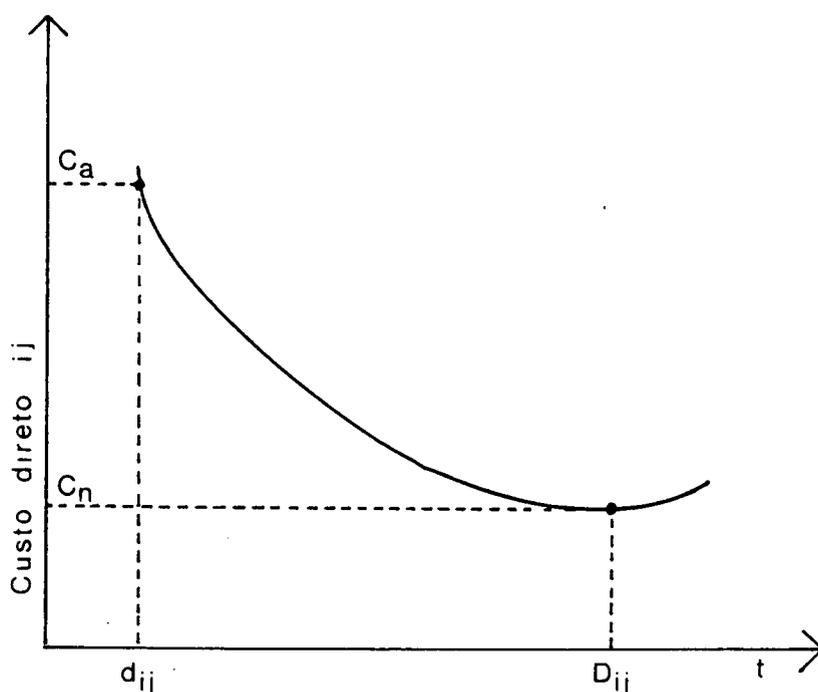


Figura 21 - Curva teórica de tempo-custo direto da atividade i,j.

- b) Custo indireto. Representam todos os custos não diretamente relacionados com a execução da atividade, como por exemplo os custos decorrentes da estrutura administrativa de apoio. Ao contrário dos custos diretos, os custos indiretos do projeto crescem sempre com o aumento do tempo de execução, como mostra a fig. 22. O custo indireto refere-se geralmente ao projeto todo, e não às suas atividades constituintes. No entanto isto não impede que, se necessário, seja rateado de forma conveniente entre as atividades, para um melhor controle dos custos. Para a análise de aceleração, porém, considerar-se-á apenas o custo indireto total.

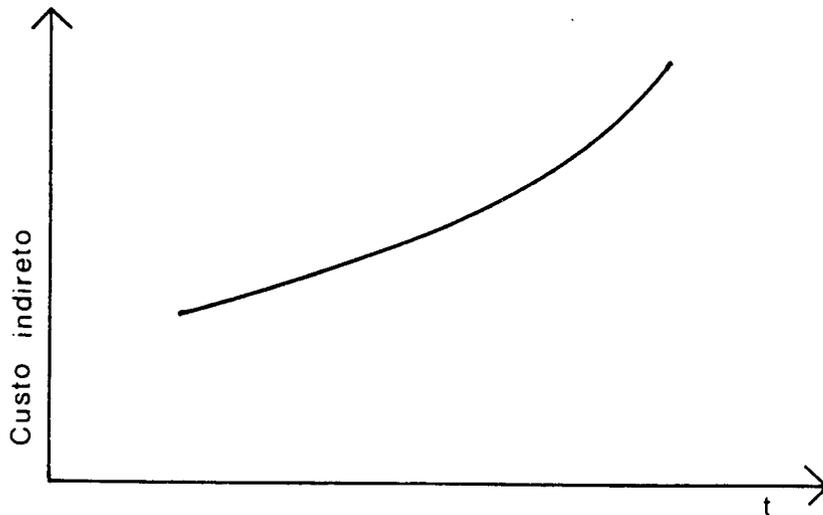


Figura 22 - Curva teórica acumulativa de custos indiretos do projeto.

Voltemos agora à curva de custos diretos das atividades (fig. 21). Nota-se que a variação instantânea do custo direto em função do tempo<sup>2</sup> é dada por

$$a_{ij} = \frac{d}{dt} CD_{ij}$$

Onde  $CD_{ij}$  é a curva de custo direto da atividade  $i,j$  plotada para durações totais do projeto limitadas pelas durações normal e acelerada.

Para analisarmos o comportamento dos custos diretos das atividades desta maneira, teríamos que levantar as curvas exatas de cada atividade do projeto, o que seria impraticável. Além disso, na verdade as curvas reais não são contínuas e sim discretas, cujos pontos representam combinações fisicamente possíveis de tempos e recursos.

---

<sup>2</sup>Também chamado de coeficiente angular de custo, ou custo marginal de aceleração, o qual denotaremos por  $a_{ij}$ , referente à atividade compreendida entre os eventos  $i$  e  $j$  da rede CPM. Indica a razão de variação do custo direto da atividade  $(i,j)$  com a redução de sua duração.

Podemos, no entanto, introduzir uma simplificação no modelo real desconsiderando a curva e tomando apenas os seus pontos extremos, ligados entre si por uma reta (fig. 23). O custo marginal de aceleração seria dado agora por:

$$a_{ij} = (Ca_{ij} - Cn_{ij}) / (D_{ij} - d_{ij})$$

Onde  $Ca_{ij}$  é o custo direto da atividade i,j que corresponde à duração de máxima aceleração ( $d_{ij}$ ); e  $Cn_{ij}$  é o mesmo custo correspondente à duração normal ( $D_{ij}$ ).

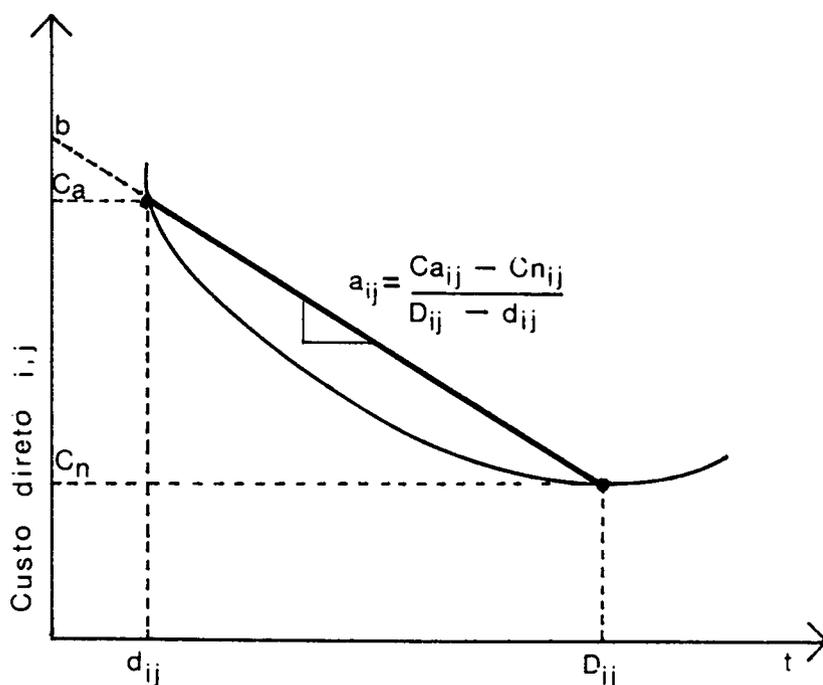


Figura 23 - Linearização da curva teórica de tempo-custo direto da atividade i,j.

A linearização das curvas de custo direto permite que, através de um processo sistemático de análise, se verifique a viabilidade ou não da aceleração de cada atividade. Pelo suprimento adicional eficiente de recursos humanos e de máquinas e equipamentos a partir da solução normal ( $D_{ij}$ ), uma série de pontos é obtida sobre a curva, mostrando como cada incremento (embora represente aumento do custo direto) reduz o tempo de execução do projeto. Esta troca (trade-off) de um acréscimo no custo por uma redução no tempo de execução é a essência do modelo de aceleração de projetos. Evidentemente a troca deverá ocorrer

somente se a atividade pertencer a um caminho crítico, e será válida somente se o custo marginal de aceleração da atividade considerada for igual ou inferior ao custo marginal das outras atividades que compõem o caminho crítico.

Desta forma, a aceleração de projetos compreende a seleção de atividades críticas que possam ser aceleradas individualmente ou em grupos, ao menor custo por unidade de tempo, até que se alcance suas respectivas durações de máxima aceleração, ou até que surjam caminhos críticos adicionais na rede CPM, quando então outras atividades críticas com custos marginais maiores se habilitam a sofrer aceleração. O processo termina quando todas as atividades críticas alcançam suas durações de máxima aceleração. Assim, cada etapa de aceleração gera um ponto na curva de custos diretos totais do projeto, e este ponto representa o mínimo custo direto possível para a sua duração total correspondente, considerando-se o modelo linear adotado.

### 3.2.1. Considerações sobre as curvas de custos diretos

A linearização das curvas de tempo- custo direto no modelo apresentado introduz algumas distorções na solução obtida. Pode ocorrer casos em que, dada a grande curvatura da curva real de custos diretos, a diferença entre o valor real e o do modelo seja bastante significativa. Também pode ocorrer que um determinado ponto obtido através do modelo não represente uma combinação de tempo-recursos fisicamente possível. Torna-se necessário então que, após o processo de aceleração, se examine as atividades que efetivamente sofreram redução em sua duração no sentido de levantar suas curvas reais, comparando-as com os resultados obtidos com o modelo. No caso de haver diferenças significativas o processo de aceleração deverá ser repetido, com as alterações necessárias.

Alguns casos especiais de curvas de tempo-custo merecem ser analisados:

- a) Várias tecnologias - Curva descontínua. Existem casos em que uma atividade pode ser executada por diversos processos diferentes, com custos e durações distintas. O exemplo mais comum, comentado por Boiteaux [9], é o de um processo manual passando para mecanizado, onde geralmente ocorre uma descontinuidade na curva de tempo-custo direto, devido a grande diferença de eficiência e custos entre os dois processos (fig. 24a). Se no modelo de aceleração definirmos os pontos  $m$  e  $q$  como pontos extremos da reta, e o processo de aceleração nos der um ponto situado no intervalo de descontinuidade, deveremos repetir a análise, caso seja necessário uma solução precisa. Para tanto, devemos antes escolher o trecho da curva desejado, se  $mn$  ou  $pq$ .
- b) Várias tecnologias - Curvas superpostas. Quando os processos construtivos não diferem muito entre si ocorre a superposição das curvas de tempo-custo direto. A fig. 24b ilustra este caso com dois processos, A e B, conforme Antill & WoodHead [2]. Se quisermos acelerar esta atividade de  $x_u$  a  $x_r$ , estes valores devem ser definidos como sendo a duração normal e acelerada, respectivamente. No entanto, a curva real da atividade será composta pelos pontos  $ut'sr$ , representando os segmentos das curvas que apresentam os menores custos diretos. Se quisermos uma maior precisão, o processo de aceleração deverá ser realizado individualmente para cada curva de tecnologia de construção, considerando-se os seus respectivos intervalos de duração. Da comparação das curvas de custos diretos do projeto assim obtidas é possível avaliar-se as implicações da escolha de uma ou outra tecnologia.
- c) Curvas com trechos convexos. As atividades de um projeto, quando planejadas em um baixo nível de

detalhamento tendem a gerar curvas de tempo-custo muito complexas, pois necessitam de vários tipos de mão-de-obra com remuneração e eficiência diferentes, vários tipos de máquinas e equipamentos e até mesmo vários tipos de processos de construção interagindo simultaneamente. Segundo Antill & WoodHead [2], nestas condições pode ocorrer a utilização ineficiente de recursos, gerando trechos convexos indesejáveis na curva de tempo-custo (fig. 24c). Assim, se durante o processo de aceleração obtivermos pontos que na curva real situam-se sobre os trechos convexos, estes deverão ser evitados, usando-se apenas trechos selecionados da curva. Desta forma obteremos um planejamento mais racional das atividades.

- d) Curvas de múltiplos estágios. As atividades que apresentam curvas de custos diretos com grande concavidade podem dificultar a análise de aceleração devido à imprecisão dos resultados obtidos. Neste caso, é possível subdividir-se a curva em vários trechos lineares, com custos marginais diferentes (fig. 24d). A aceleração de curvas de múltiplos estágios ocorre em cada subintervalo de duração da curva, considerando-se os seus respectivos custos marginais.

### 3.2.2. As curvas de custos indiretos e totais

A curva real de custos indiretos de um projeto pode diferir bastante da curva teórica da fig. 22, além de ser de difícil previsão. No entanto, dada a sua importância, deve ser planejada com o maior nível de precisão possível.

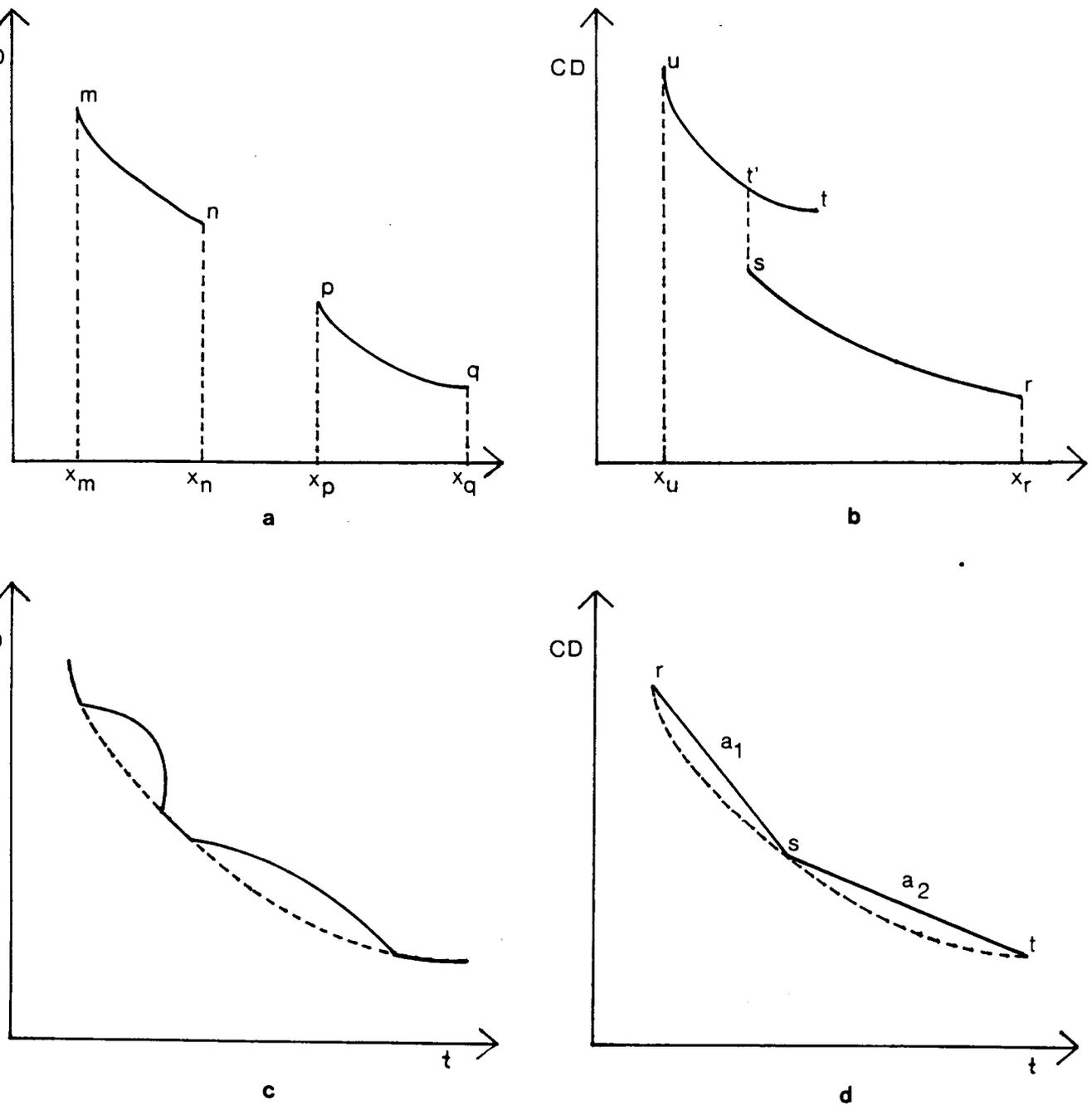


Figura 24 - Casos especiais de curvas de tempo-custo direto.

- a) Várias tecnologias - curvas descontínuas.
- b) Várias tecnologias - curvas superpostas.
- c) Curvas com trechos convexas.
- d) Curvas com múltiplos estágios.

Se à curva de custos diretos acrescentarmos a curva planejada de custos indiretos, somando-as ponto a ponto, obteremos a curva de custos totais do projeto (fig. 25). Temos agora condições de encontrar a duração do projeto para a qual o custo total é mínimo. Esta informação é importante para o planejamento do projeto, porém não deve ser considerada conclusiva, haja visto que o comportamento de outras variáveis externas ao projeto podem ter preponderancia sobre os custos, como as estratégias de mercado e políticas da empresa.

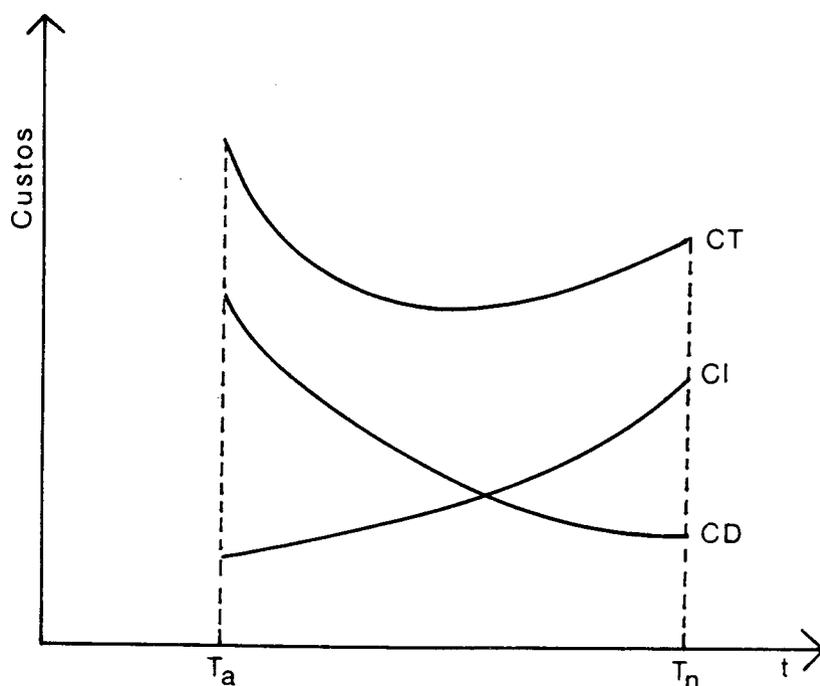


Figura 25 - Curvas teóricas de custos diretos, indiretos e totais

Sendo a curva de custos indiretos de difícil previsibilidade, poderá a empresa achar necessária uma análise de sensibilidade em torno dos valores planejados, para verificar o efeito de uma variação dos custos indiretos sobre a curva de custos totais e o ponto de duração ótima. O assunto é abordado por Boiteaux [9], e esta análise pode ser facilmente realizada de forma gráfica, somando-se à mesma curva de custos diretos, várias curvas diferentes de custos indiretos (fig. 26a), resultando então diferentes curvas de custos totais e seus respectivos pontos de duração ótima (fig. 26b).

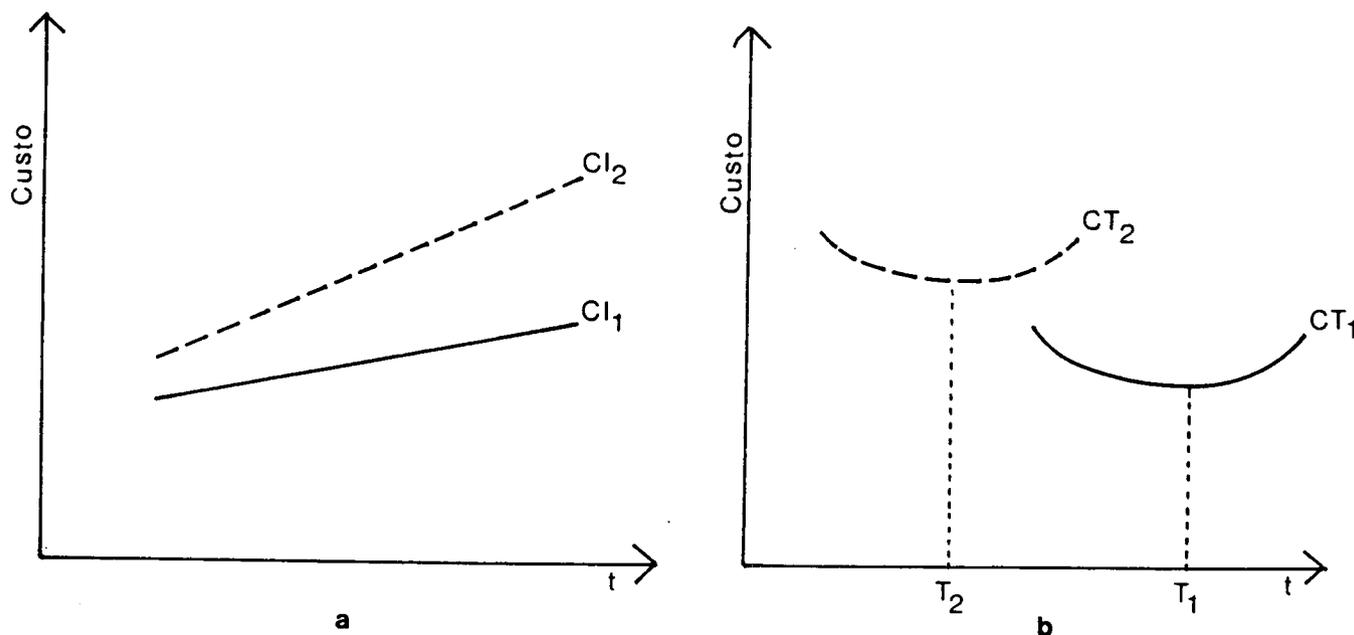


Figura 26 - Variação no custo indireto do projeto.

- a) Efeito de um acréscimo no custo indireto mensal do projeto.
- b) Deslocamento do ponto ótimo na curva de custos totais.

### 3.2.3. A curva de multas e prêmios

Em alguns projetos, para se resguardar de possíveis atrasos na execução da obra, a parte contratante impõem cláusulas de multas por atraso, prêmios por antecipação, ou ambas. Isto é comum notadamente em projetos de implantação industrial pois, dada a sua natureza multidisciplinar e grande porte, exigem vários contratos de subempreitada com empresas especializadas, as quais mantêm entre si relações de interdependência, de forma que a duração total planejada do projeto somente é alcançada quando os vários subprojetos que o constituem são executados em suas durações planejadas.

As multas por atraso crescem com o tempo, a partir da duração planejada definida no contrato ( $T_c$ ). Os prêmios por

antecipação representam um custo negativo, e crescem (em módulo) com a redução do tempo, também a partir da duração contratual (fig. 27a). As multas e prêmios agem no sentido de aumentar ou reduzir o custo indireto do projeto para uma determinada duração, podendo com isto provocar um deslocamento no ponto de duração ótima para custo total mínimo (fig. 27b). Da análise da magnitude deste deslocamento, a empresa poderá se decidir pela conveniência ou não de uma modificação no seu planejamento inicial.

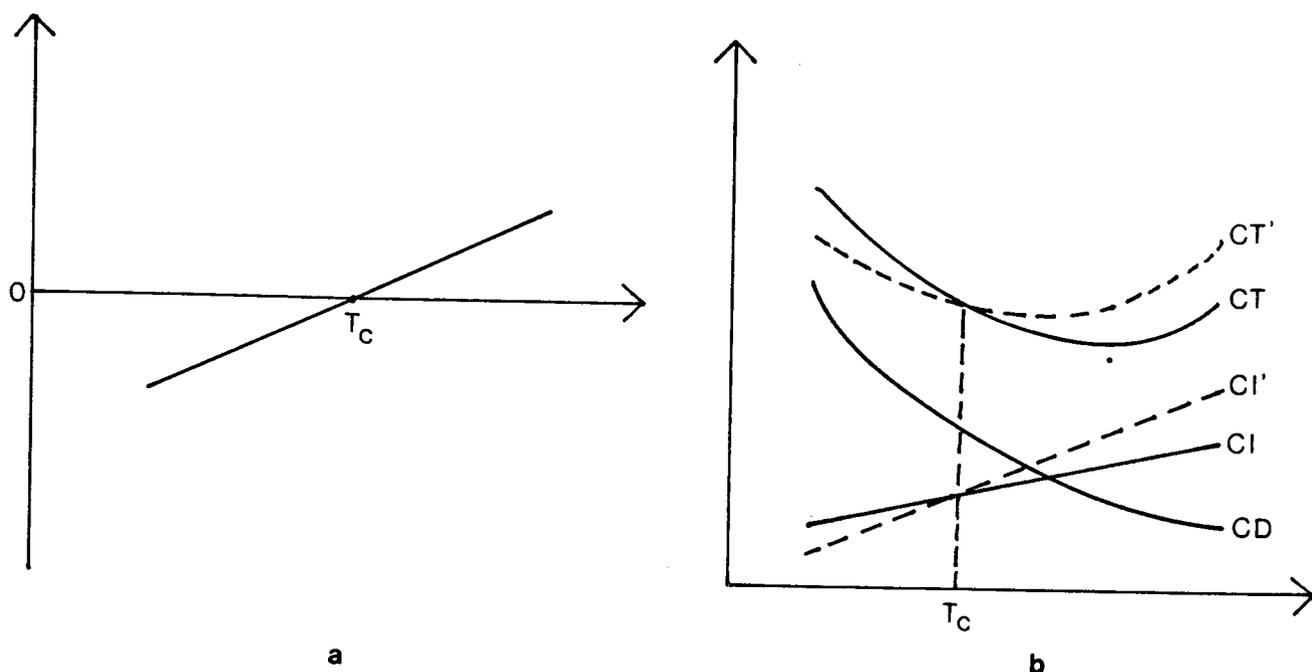


Figura 27 - Multas e prêmios contratuais.

a) Curva de multas e prêmios.

b) Repercussão na curva de custos indiretos e totais do projeto.

#### 3.2.4. Benefícios decorrentes da análise de aceleração

Do acima exposto, podemos destacar os seguintes benefícios imediatos da análise de aceleração:

a) Obtenção do menor custo direto para cada duração possível do projeto. Esta informação é de vital

importância para a definição e manutenção de um planejamento racional.

- b) Obtenção da duração ótima do projeto, considerando-se a curva de custos totais. Trata-se de uma informação adicional obtida da análise de aceleração e que auxilia a tomada de decisão na escolha da duração do projeto.
- c) Possibilita analisar o efeito de uma variação nos custos indiretos sobre a curva de custos totais. Tendo-se a curva otimizada de custos diretos pode-se simular variações nos custos indiretos com a finalidade de analisar os deslocamentos do ponto ótimo.
- d) Permite analisar o efeito de multas e prêmios sobre a curva de custos totais do projeto e o conseqüente deslocamento do ponto ótimo.
- e) Possibilita ao analista um profundo conhecimento das atividades do projeto, principalmente das atividades críticas que efetivamente sofreram aceleração, que são as mais importantes.

### 3.3. ALGUMAS METODOLOGIAS PARA A ACELERAÇÃO DE PROJETOS

Comentaremos a seguir as metodologias mais conhecidas para a aceleração de projetos. A lista não pretende ser exaustiva, haja visto que alguns métodos permitem inúmeras variações. Para exemplificar cada método utilizaremos a rede CPM resumida proposta por Stanger [24] para a construção de uma usina hidrelétrica (fig. 28). Na tabela 1 encontram-se os dados básicos

das atividades da rede, e na fig. 29 as curvas de tempo-custo resultantes, considerando-se custos indiretos fixos de 100 u.m. e mensais constantes de 15 u.m..

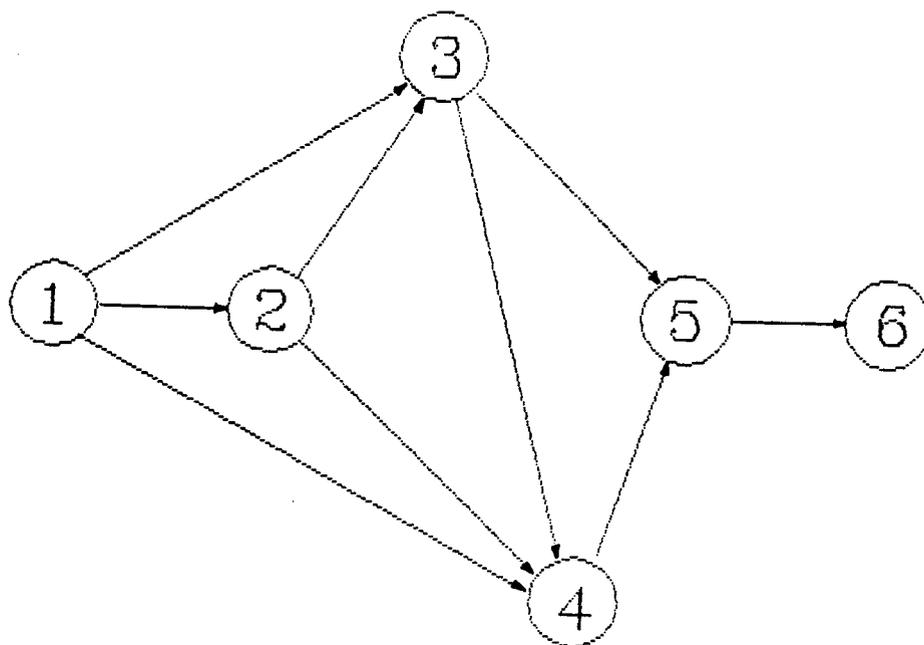


Figura 28 - Rede PERT/CPM do exemplo de Stanger.

EVENTOS	ATIVIDADES	NORMAL		ACELERADO		CUSTO MARGINAL a(i,j)
		Dur.	Custo	Dur.	Custo	
1 - 2	Construcao de caminhos de acesso	4	5	2	15	5
1 - 3	Construcao de cidade p/ administracao	4	3	2	11	4
1 - 4	Especificacao de material eletrico	12	150	9	180	10
2 - 3	Preparacao de pedreiras e fundacoes	6	11	5	30	19
2 - 4	Construcao de galerias e canais de fuga	7	18	6	30	12
3 - 4	Construcao da usina	10	10	8	20	5
3 - 5	Construcao da barragem e diques	24	147	19	212	13
4 - 5	Montagem da usina e condutos	10	4	7	25	7
5 - 6	teste de funcionamento	3	2	2	5	3

<b>TOTAIS:</b>	<b>37</b>	<b>350</b>	<b>28</b>	<b>528</b>
----------------	-----------	------------	-----------	------------

Tabela 1 - Dados básicos das atividades e custos marginais de aceleração.

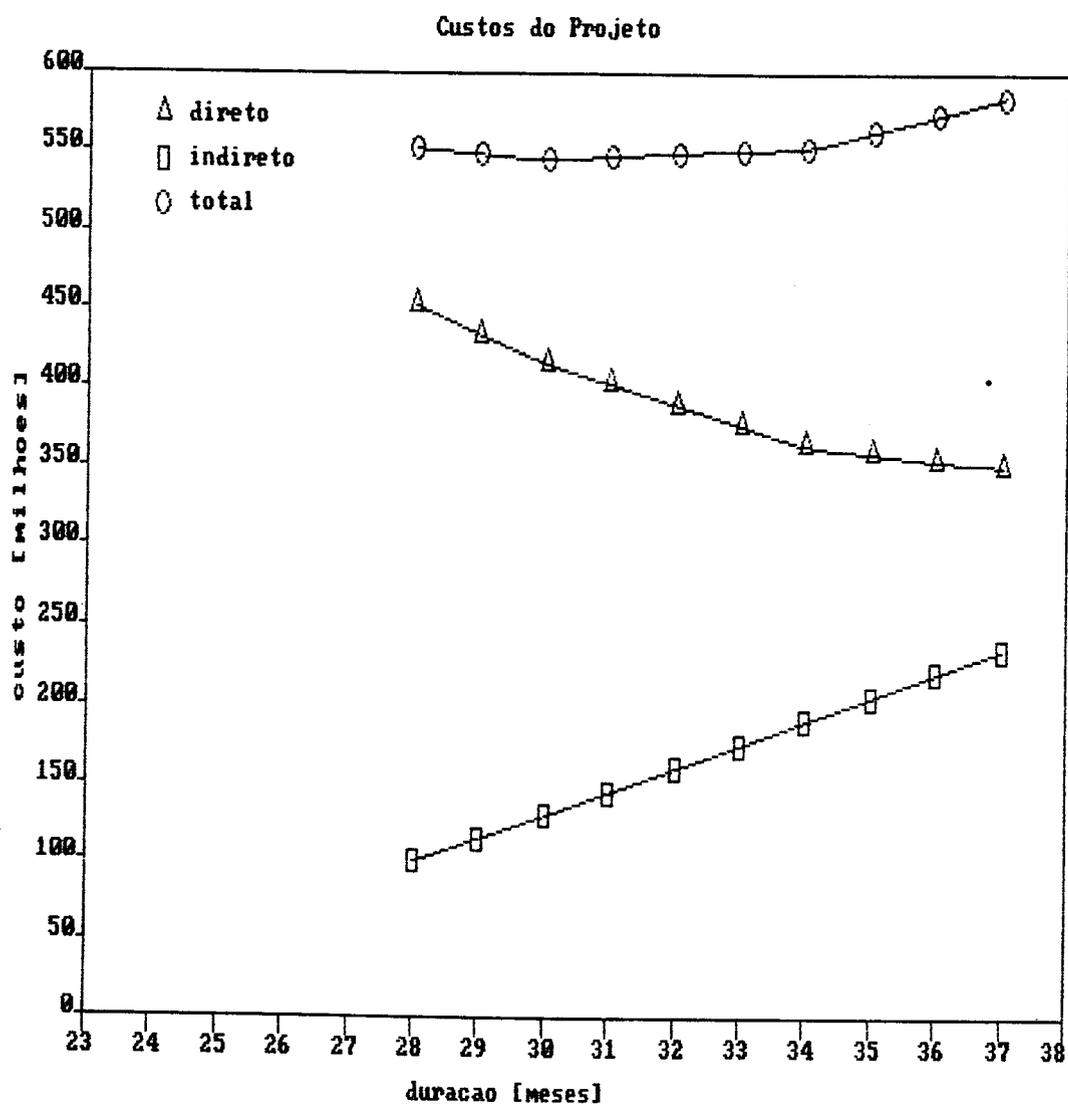


Figura 29 - Curvas de tempo-custos do exemplo de Stanger (A curva de custos diretos é mínima).

### 3.3.1. Método da força bruta

É o método mais conhecido, abordado por diversos autores entre os quais Antill & WoodHead [2], Boiteaux [9], Battersby [8] e WhiteHouse [27], do qual se originou a denominação adotada (brute force method).

O método é simples, porém manual, demorado, enfadonho e sujeito a erros, o que o torna inadequado para grandes projetos. Constitui-se dos seguintes passos:

- 1) Escolhe-se a atividade com menor custo marginal de aceleração.
- 2) Acelera-se esta atividade de uma unidade de tempo.
- 3) Calcula-se o novo custo direto do projeto após esta aceleração, somando-se ao custo inicial o custo marginal de aceleração.
- 4) Recalculam-se as datas da rede CPM para verificar-se se a redução de uma unidade de tempo na duração da atividade acelerada não modificou o caminho crítico.
- 5) Repete-se as etapas 2,3 e 4 até que a duração da atividade considerada seja igual à sua duração de máxima aceleração ( $d_{1j}$ ), ou até que surja um novo caminho crítico na rede.
- 6) No caso de surgir um novo caminho crítico teremos, evidentemente, dois caminhos críticos em paralelo.

Assim, para reduzir a duração do projeto em mais uma unidade de tempo, é necessário a aceleração simultânea das atividades críticas com menor custo marginal de cada caminho crítico. Com isto duas parcelas estarão sendo somadas ao custo do projeto. É necessário verificar-se se a soma de seus custos marginais é menor do que o custo marginal de outra atividade crítica ainda não acelerada.

O método da força bruta aplicado ao exemplo tem, segundo Stanger, o seguinte desenvolvimento.

Com os dados básicos das atividades calcula-se o custo marginal de aceleração de cada atividade (tabela 1).

Na rede CPM da fig. 30a vemos que o caminho crítico se compõem das atividades 1-2, 2-3, 3-5 e 5-6 as quais, pelo cronograma normal, deverão consumir 37 meses, com um custo direto total de 350 u.m..

O máximo de redução no tempo total de execução seria obtido se as atividades críticas fossem aceleradas ao máximo, ou seja, se as atividades fossem executadas com a duração acelerada, o que nos daria uma duração total de 28 meses, a um custo direto total de 528 u.m..

Se desejamos reduzir a duração total do projeto, devemos nos concentrar sobre as atividades críticas. Destas, a que possui o menor custo marginal de aceleração é a atividade 5-6. Assim, esta atividade será acelerada em uma unidade, alcançando sua duração de máxima aceleração (fig. 30b).

Para ganharmos mais um mês, deveremos acelerar agora a atividade 1-2, pois é a que possui o menor custo marginal (5 u.m.), conforme a fig. 30c.

**LEGENDA**

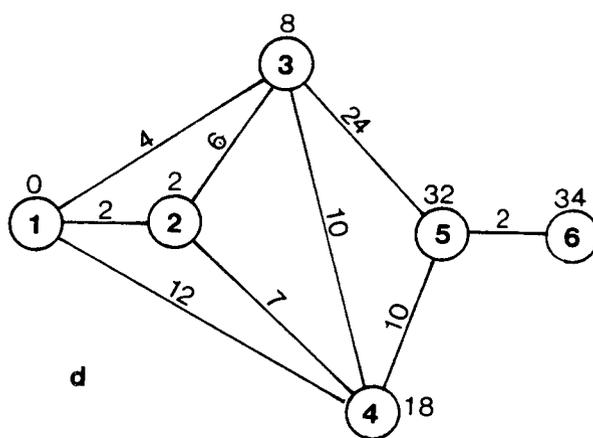
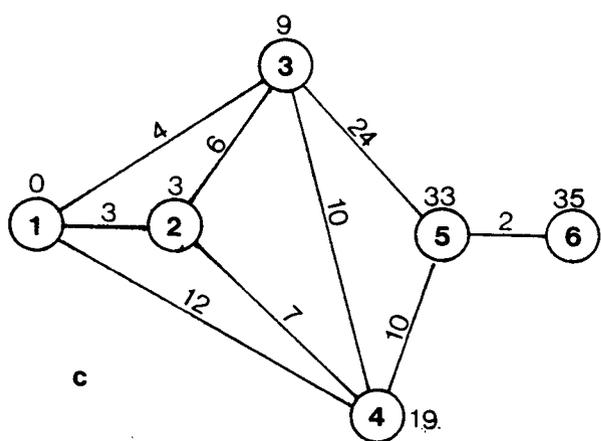
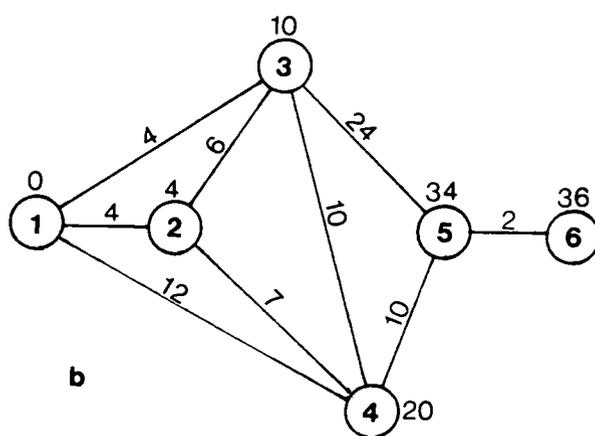
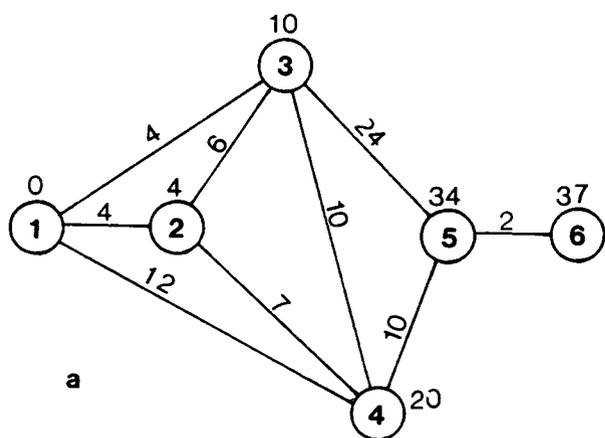
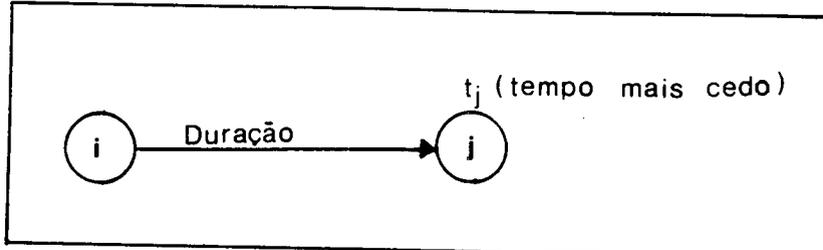


Figura 30 - Método da força bruta aplicado ao exemplo de Stanger.

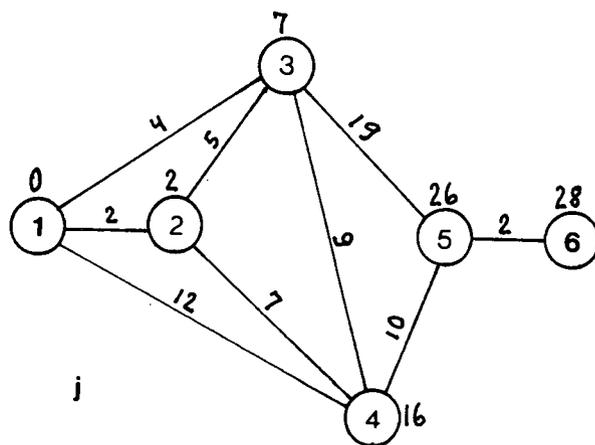
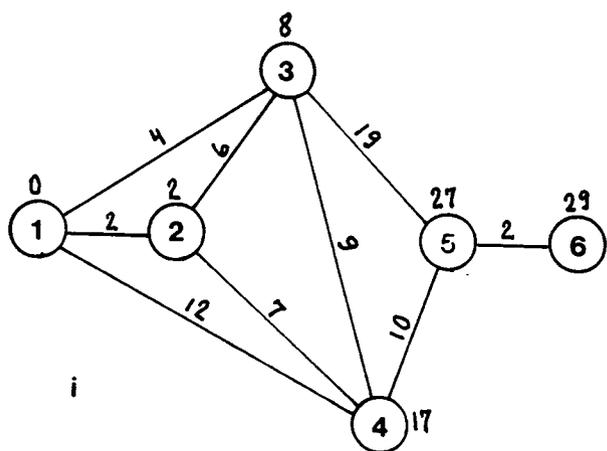
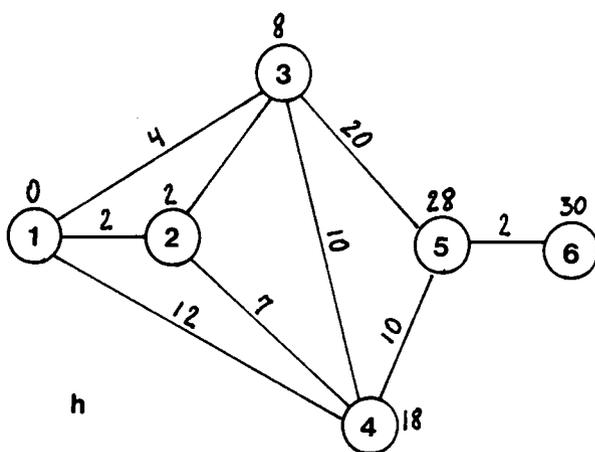
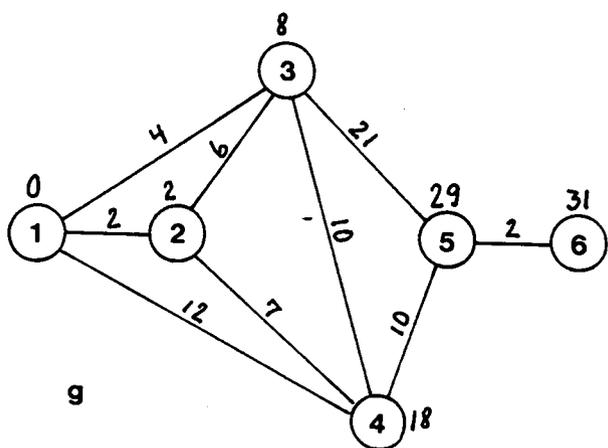
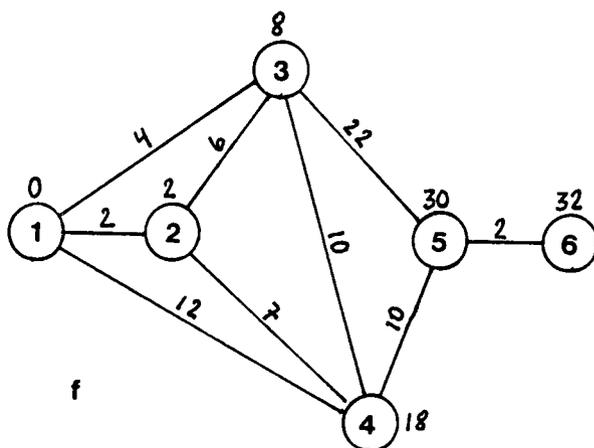
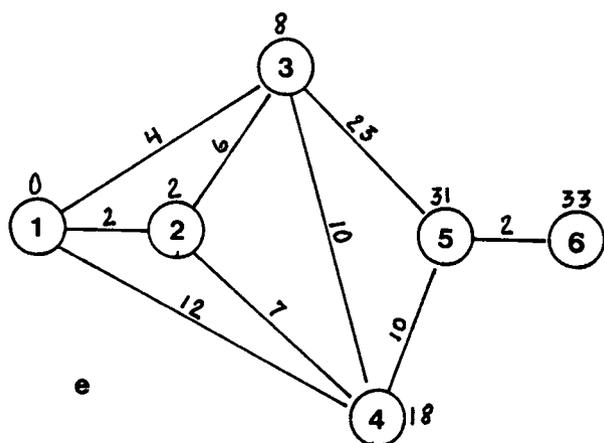


Figura 30 - Continuação.

Podemos reduzir a duração do projeto em mais uma unidade acelerando novamente a atividade 1-2, quando então alcançará sua duração de máxima aceleração (fig. 30d).

A atividade crítica com menor custo marginal é agora 3-5. Acelerando-se esta atividade em uma unidade consecutivamente, obtemos os resultados das fig. 30e, f, g, h.

Na figura 305h vemos que, na aceleração da atividade 3-5 de 21 para 20 meses surgiu, como consequência, um novo caminho crítico, ou seja, 1-2, 2-3, 3-4, 4-5, e 5-6. Analisando esta rede, verificamos que uma nova aceleração somente será viável se agirmos sobre os dois caminhos críticos ao mesmo tempo. Poderíamos reduzir a duração do projeto acelerando as seguintes atividades:

3-4 com um custo de 5 u.m.	
3-5 com um custo de <u>13 u.m.</u>	
Custo total:	18 u.m.

Outra possibilidade seria a aceleração de uma atividade crítica comum aos dois caminhos, ou seja, a atividade 2-3, com um custo de 19 u.m.. Logo, a primeira alternativa é a mais indicada (fig. 30i).

Finalmente, para reduzirmos o tempo de execução para 28 meses (mínima duração total), só poderemos acelerar a atividade 2-3, pois é a única alternativa que resta (fig. 30j).

### 3.3.2. Método tabular

Este método, proposto por Ackoff [1], é idêntico ao anterior, exceto por não necessitar da rede CPM durante os cálculos. Uma tabela sintetiza as informações mais importantes da rede, facilitando o trabalho manual e o controle dos caminhos críticos. No entanto, as datas de eventos da rede devem ser calculadas separadamente quando necessárias.

Também o método tabular não é adequado a grandes projetos, pois exige o levantamento de todos os caminhos críticos da rede. Porém pode ser uma alternativa viável para projetos de pequeno porte, principalmente quando se dispõem de software de CPM para auxiliar os cálculos.

Os passos necessários para resolver o exemplo de Stanger serão descritos a seguir e os resultados encontram-se na tabela 2.

- 1) Encontre todos os caminhos possíveis entre os eventos inicial e final da rede. São eles: 1-2-3-5-6, 1-2-3-4-5-6, 1-2-4-5-6, 1-3-5-6, 1-3-4-5-6, 1-4-5-6.
- 2) Faça uma tabela com as atividades ao longo da linha superior e os seis caminhos na primeira coluna. Debaxo de cada atividade ponha o custo marginal de aceleração ( $a_{ij}$ ), se a atividade fizer parte do caminho representado pela linha ; caso contrário deixe o espaço em branco. Adicionar uma última linha (1:) mostrando as possíveis reduções nas durações das atividades ( $D_{ij} - d_{ij}$ ).
- 3) Na primeira coluna da direita (1) insira as durações totais das atividades ao longo de cada caminho. Pelo menos uma delas será  $T_n$  (duração do caminho crítico para programação normal). Qualquer redução do tempo total (T) deve vir da redução das

durações do caminho mais longo. No exemplo, o caminho A pode ser reduzido de até 4 unidades, quando igualará o caminho B. Para se obter maior redução de T será necessário reduzir as durações de ambos os caminhos, A e B. Vemos que o menor custo de redução da duração de uma atividade é 3 por unidade para a atividade 5-6, e esta poderá ser reduzida de até 1 unidade. Então, se  $36 \leq T \leq 37$ , a redução de duração  $T_n - T$  será obtida pela aceleração da atividade 5-6 a um custo de  $3(T_n - T)$ . Teremos então

$$f(T) = 3(T_n - T) = 3(37 - T)$$

para  $T = 36$  teremos  $f(T) = 3$  u.m.

Isto é mostrado na coluna 2, inserindo-se as durações dos caminhos quando é feita a redução máxima em  $x_{5,6}$ . É claro que somente os caminhos que incluem 5-6 serão afetados. Inserimos também uma outra linha (2:) para mostrar as reduções ainda possíveis nas durações das atividades.

- 4) O caminho A pode ainda ser reduzido em até 4 unidades, quando se tornará igual ao caminho B. Agora a redução mais barata é na atividade 1-2, cujo custo marginal é de 5 por unidade. Vemos que 2 unidades de 1-2 estão disponíveis, e podem reduzir  $x_{1,2}$  em até 4 unidades. Na faixa de duração  $32 \leq T \leq 36$  temos que

$$f(T) = 3 + 5(36 - T)$$

Para  $T = 34$  o custo será  $f(T) = 3 + 10 = 13$

Este resultado é resumido na coluna 3, mostrando os efeitos nas durações dos caminhos quando  $x_{1,2}$  é acelerada em 2 unidades. Outras reduções ainda

possíveis nas durações das atividades são mostradas na linha (3:).

- 5) O caminho crítico continua sendo A, o qual poderá ser reduzido em até 4 unidades para se igualar ao caminho B. A redução mais barata é agora a atividade 3-5, com um custo marginal de 13 por unidade. Na linha 3: vemos que 5 unidades de 3-5 estão disponíveis. Desta forma,

$$f(T) = 13(34 - T), \text{ para } 30 \leq T \leq 34$$

$$\text{Com } T = 30, f(T) = 13 + 52 = 65$$

A coluna 4 atualiza as durações dos caminhos, e a linha 4: atualiza a redução máxima permitida para cada atividade.

- 6) Agora temos dois caminhos críticos, A e B. Para efetuarmos nova redução na duração total do projeto ambos deverão ser acelerados. Para estes caminhos, as atividades com menor custo marginal são 3-4, com 5 por unidade e 3-5, com 13 por unidade. Estas atividades podem ser reduzidas em no máximo 2 e 1 unidades, respectivamente. Assim, reduziremos ambas em 1 unidade:

$$f(T) = 65 + 13(30 - T) + 5(30 - T), 29 \leq T \leq 30$$

$$\text{Sendo } T = 29, \text{ então } f(T) = 65 + 13 + 5 = 83$$

- 7) Após a atualização da planilha na linha e coluna 5, vemos que os caminhos A e B continuam críticos, permitindo uma redução máxima de 3 unidades até se igualar ao caminho F. A única atividade do caminho A que ainda permite redução é 2-3, em 1 unidade. A mesma atividade reduzirá também o caminho B. Desta forma, sendo o custo marginal de 19 por unidade, temos que

$$f(T) = 83 + 19(29 - T), \quad 28 \leq T \leq 29$$

$$\text{Sendo } T = 28, \quad f(T) = 83 + 19 = 102$$

	1-2	1-3	1-4	2-3	2-4	3-4	3-5	4-5	5-6	1	2	3	4	5	6
A: 12356	5			19			13		3	37	36	34	30	29	28
B: 123456	5			19		5		7	3	33	32	30	30	29	28
C: 12456	5				12			7	3	24	23	21	21	21	21
D: 1356		4					13		3	31	30	30	26	25	25
E: 13456		4				5		7	3	27	26	26	26	25	25
F: 1456			10					7	3	25	24	24	26	26	26
1:	2	2	3	1	1	2	5	3	1						
2:	2	2	3	1	1	2	5	3	0						
3:	0	2	3	1	1	2	5	3	0						
4:	0	2	3	1	1	2	1	3	0						
5:	0	2	3	1	1	1	0	3	0						
6:	0	2	3	0	1	1	0	3	0						

	Atividades	Coluna
Caminhos da rede	Custo marginal de aceleracao	Duracao total dos caminhos
Linha	Aceleracao maxima permitida $D(i,j) - d(i,j)$	

Tabela 2 - Método tabular aplicado ao exemplo de Stanger.

Agora, a duração total dos caminhos A e B, mostradas pela coluna 6, é igual a  $T_A$ , indicando que o projeto alcançou a aceleração máxima. Isto pode ser observado também na linha 6:, onde todas as atividades do caminho A foram aceleradas ao máximo. Assim, para uma duração mínima de 28 meses, teremos um acréscimo no custo de 102 u.m.

### 3.3.3. Métodos de programação matemática

Para grandes projetos, os métodos manuais de aceleração se revelam impraticáveis. Para estes casos, a evolução natural da abordagem do problema nos leva à utilização de programação matemática. Serão apresentados a seguir alguns modelos de otimização que usam programação linear. Para isto, assume-se que exista, para todas as atividades, uma relação tempo-custo conforme a fig. 23. Os modelos A, B e C são de autoria de Phillips [22] e os modelos D e E são de WhiteHouse [27]. As seguintes variáveis são utilizadas nos modelos:

- $a_{ij}$  : Custo marginal de aceleração da atividade
- $b_{ij}$  : Ponto de interceptação da curva de custo direto linearizada da atividade com o eixo Y
- $D_{ij}$  : Duração normal da atividade
- $d_{ij}$  : Duração acelerada da atividade
- $t_i, t_j$  : Tempo mais cedo do evento i ou j
- $t_0, t_n$  : Tempo mais cedo do evento inicial - final
- $x_{ij}$  : Duração genérica da atividade i,j
- T : Duração do projeto

Modelo A . Sabendo-se que o projeto deverá ser concluído com uma duração  $T$ , queremos determinar quais as atividades que deverão ser aceleradas para que o custo total de aceleração seja mínimo. Este problema pode ser formulado através de programação linear da seguinte forma:

$$\text{MIN } Z = \sum_{i,j} a_{ij}(D_{ij} - x_{ij})$$

s.a:

$$t_j - t_i \geq x_{ij} \quad \text{para todo } (i,j)$$

$$d_{ij} \leq x_{ij} \leq D_{ij} \quad \text{para todo } (i,j)$$

$$t_n - t_0 \leq T$$

$$t_i \geq 0 \quad \text{para todo } i = 1,2,\dots,n$$

O valor ótimo de  $Z$  nos dá o mínimo custo de aceleração. Do valor ótimo de  $x_{ij}$  podemos determinar quais as atividades aceleradas e quanto foram aceleradas. A primeira restrição assegura que a duração da atividade em questão não ultrapasse a diferença entre os tempos mais cedo dos eventos. A segunda restrição indica que as durações possíveis devem estar compreendidas entre os valores normal e acelerado. A terceira restrição indica que a diferença entre os tempos mais cedo dos eventos final e inicial não pode ultrapassar a duração total do projeto. Finalmente, a quarta restrição assegura que os tempos mais cedo de eventos sejam não-negativos. Para se obter a curva de custos diretos otimizada do projeto, o modelo deve ser repetido para todo o intervalo possível de durações do projeto.

MODELO B. Supondo que exista um orçamento adicional de \$W u.m. disponível para a aceleração das atividades do projeto, queremos determinar quanto destes recursos adicionais deverão ser alocados e

onde deverão ser aplicados, para minimizar a duração total do projeto. O modelo pode ser formulado da seguinte maneira:

$$\text{MIN } Z = t_n - t_0$$

s.a:

$$t_j - t_i \geq x_{ij} \quad \text{para todo } (i,j)$$

$$d_{ij} \leq x_{ij} \leq D_{ij} \quad \text{para todo } (i,j)$$

$$\sum_{i,j} a_{ij}(D_{ij} - x_{ij}) \leq W$$

$$t_i \geq 0 \quad \text{para todo } i = 1, 2 \dots n$$

A solução do modelo nos dá a menor duração total possível para o projeto com a utilização do orçamento adicional  $W$ , as atividades aceleradas e suas respectivas durações. Usando-se este modelo repetidamente, para diversos valores de  $W$ , obtém-se os dados da curva de custos diretos do projeto.

MODELO C. Se os custos indiretos do projeto variam linearmente com a duração, com um valor de  $F$  u.m. por unidade de tempo, podemos então determinar a duração ótima do projeto e das atividades, considerando o custo indireto como sendo  $F(t_n - t_0)$  onde  $(t_n - t_0)$  representa a duração total do projeto. O modelo de programação linear para se obter a duração total do projeto e as durações das atividades, minimizando o custo total tem a seguinte formulação:

$$\text{MIN } Z = F(t_n - t_0) + \sum_{i,j} a_{ij}(D_{ij} - x_{ij})$$

s.a:

$$t_j - t_i \geq x_{ij} \quad \text{para todo } (i,j)$$

$$d_{ij} \leq x_{ij} \leq D_{ij} \quad \text{para todo } (i,j)$$

$t_i \geq 0$  para todo  $i = 1, 2 \dots n$

Neste caso, a solução do problema será o ponto de mínimo na curva de custos totais da fig. 25.

MODELO D. Considerando-se a equação da reta de custos diretos da atividade (i,j) na função objetivo e a duração total do projeto (T) como um parâmetro, podemos formular o seguinte modelo de programação linear, onde  $a_{ij} > 0$ ,  $b_{ij} > 0$  e  $S = \{s_1, s_2 \dots s_n\}$  é o conjunto de todos os caminhos possíveis entre os eventos inicial e final da rede CPM:

$$\text{MIN } Z = \sum_{i,j \in S} (-a_{ij} \cdot x_{ij} + b_{ij})$$

s.a:

$$d_{ij} \leq x_{ij} \leq D_{ij} \quad \text{para todo } (i,j)$$

$$\sum_{s_1} x_{ij} \leq T$$

⋮

$$\sum_{s_n} x_{ij} \leq T$$

MODELO E. Considerando-se a equação da reta de custos diretos da atividade (i,j) como sendo  $(-a_{ij} \cdot x_{ij} + b_{ij})$ , e desde que o termo  $b_{ij}$  é uma constante, podemos transformar o problema de minimização anterior em um problema de maximização. O modelo A, por exemplo, poderia ser reformulado da seguinte maneira:

$$\text{MAX } Z = \sum_{i,j} a_{ij} \cdot x_{ij}$$

s.a:

$$t_1 + x_{1j} - t_j \leq 0 \quad \text{para todo } (i,j)$$

$$x_{1j} \leq D_{1j} \quad \text{para todo } (i,j)$$

$$-x_{1j} \leq -d_{1j} \quad \text{para todo } (i,j)$$

$$t_n - t_0 \leq T$$

Aplicado ao exemplo de Stanger, o modelo teria a seguinte formulação:

$$\begin{aligned} \text{MAX } Z = & a_{12} \cdot x_{12} + a_{13} \cdot x_{13} + a_{14} \cdot x_{14} + a_{23} \cdot x_{23} + \\ & a_{24} \cdot x_{24} + a_{34} \cdot x_{34} + a_{35} \cdot x_{35} + a_{45} \cdot x_{45} + \\ & a_{56} \cdot x_{56} \end{aligned}$$

s.a:

$$t_1 + x_{12} - t_2 \leq 0$$

$$t_1 + x_{13} - t_3 \leq 0$$

$$t_1 + x_{14} - t_4 \leq 0$$

$$t_2 + x_{23} - t_3 \leq 0$$

$$t_2 + x_{24} - t_4 \leq 0$$

$$t_3 + x_{34} - t_4 \leq 0$$

$$t_3 + x_{35} - t_5 \leq 0$$

$$t_4 + x_{45} - t_5 \leq 0$$

$$t_5 + x_{56} + t_6 \leq 0$$

$$x_{12} \leq D_{12} \qquad -x_{12} \leq -d_{12}$$

$$x_{13} \leq D_{13} \qquad -x_{13} \leq -d_{13}$$

$$x_{14} \leq D_{14} \qquad -x_{14} \leq -d_{14}$$

$$x_{23} \leq D_{23} \qquad -x_{23} \leq -d_{23}$$

$$x_{24} \leq D_{24} \qquad -x_{24} \leq -d_{24}$$

$$x_{34} \leq D_{34} \qquad -x_{34} \leq -d_{34}$$

$$x_{35} \leq D_{35} \qquad -x_{35} \leq -d_{35}$$

$$x_{45} \leq D_{45}$$

$$-x_{45} \leq -d_{45}$$

$$x_{56} \leq D_{56}$$

$$-x_{56} \leq -d_{56}$$

$$t_6 - t_1 \leq T$$

### 3.3.4. Comentários sobre as metodologias

Conforme comentado anteriormente, os métodos manuais de aceleração possuem uma importância apenas didática, sendo de difícil aplicação prática. Quanto aos modelos de programação matemática, estes merecem alguns comentários adicionais.

Os modelos A e E são similares, diferindo apenas quanto a forma de apresentação da função objetivo.

No modelo B pressupõem-se a disponibilidade de um certo valor de  $W$  u.m. para se investir na aceleração do projeto. Neste caso, a função objetivo do modelo minimiza a duração total.

O modelo C inclui na função objetivo também os custos indiretos, considerando-se uma variação linear por período de tempo, o que é uma simplificação bastante grosseira. No restante, é idêntico ao modelo A.

Observa-se nestes modelos, notadamente na aplicação do modelo E ao exemplo de Stanger, que a representação das restrições para todas as atividades é uma limitação à utilização prática em redes reais, que podem ter centenas de atividades.

No modelo D, a primeira restrição é a mesma de outros modelos, porém as demais consideram o somatório das durações das atividades em cada um dos caminhos existentes entre os eventos inicial e final da rede, restritas à duração total do projeto. Estes caminhos podem existir em grande quantidade em uma rede real, e são de difícil determinação, a não ser que se utilizem

algoritmos específicos para isto. Assim, também este modelo é muito limitado em termos de aplicação prática.

Há também uma outra limitação importante, comum a todos os modelos: eles encontram apenas um dos pontos da curva otimizada de custos, definida pela duração total ( $T$ ) adotada. Para se encontrar todos os pontos da curva é necessário aplicar estes modelos à todas as durações possíveis entre a duração total normal ( $T_N$ ) e a duração total acelerada ( $T_A$ ). Desta maneira o modelo geral de aceleração compreende, na realidade, uma família de problemas de programação linear, ou um problema de programação paramétrica, se considerarmos a duração total ( $T$ ) como um parâmetro.

### 3.4. A METODOLOGIA IMPLEMENTADA

#### 3.4.1. Introdução à teoria do fluxo em redes

No estudo de redes, um problema comum que surge com frequência é a determinação do máximo fluxo possível entre dois nós quaisquer da rede, ou entre a fonte e o sumidouro. Assim, em redes de comunicações digitais podemos estar interessados no fluxo máximo de informações transmitidas, medido em bits por segundo; em redes de tráfego, podemos estar interessados no fluxo máximo de tráfego, medido em veículos por hora; etc.

Problemas deste tipo podem ser resolvidos através de algoritmos mais eficientes do que a abordagem tradicional por modelos de programação matemática, desde que satisfaçam a seguinte definição de fluxo em rede, segundo Furtado [14]: Consideremos uma rede  $R$  onde  $V$  é o conjunto de vértices,  $A$  é o conjunto de ar-

cos,  $A_{\bar{V}_1}$  é o conjunto de arcos incidentes interiormente ao vértice  $V_1$  e  $A_{V_1}^+$  é o conjunto de arcos incidentes exteriormente a  $V_1$ . Se a cada arco  $(i,j)$  associarmos um valor  $a(i,j)$  denominado capacidade de  $(i,j)$ , podemos definir a função fluxo - a qual denotaremos por  $f$  - caso as seguintes propriedades sejam atendidas:

$$a) f(i,j) \geq 0, \quad \forall (i,j) \in A$$

$$b) f(i,j) \leq a(i,j), \quad \forall (i,j) \in A$$

$$c) \sum_{i,j \in A_{\bar{V}_i}} f(i,j) = \sum_{i,j \in A_{V_i}^+} f(i,j), \quad i = 0, n$$

$$d) \sum_{i,j \in A_{V_0}^+} f(i,j) = \sum_{i,j \in A_{\bar{V}_n}} f(i,j) = f_0$$

Isto significa que o fluxo em cada arco é não-negativo, que não deve exceder a capacidade do arco, que para um determinado vértice que não o fonte ou sumidouro, o fluxo que chega é igual ao fluxo que sai ( existe conservação do fluxo) e que o fluxo total da rede ( $f_0$ ) é o fluxo total introduzido na fonte, o qual é exatamente o que chega ao sumidouro. Desta forma, o fluxo em redes se comporta de maneira análoga à uma rede hidráulica sem perdas, onde os arcos representam a tubulação e os vértices os pontos de derivação.

Para problemas que atendam as propriedades mencionadas, Ford e Fulkerson criaram um algoritmo para a maximização do fluxo que parte dos seguintes pressupostos, ainda conforme Furtado:

Consideremos um conjunto  $Z$  de vértices contendo  $V_n$  e não contendo  $V_0$ . Tomemos o corte<sup>3</sup> definido por  $A_Z$ . Como  $Z$  contém o sumidouro, todo o fluxo que vá de  $V_0$  a  $V_n$  utiliza ao menos um arco de  $A_Z$ . Portanto,  $f(V_n) \leq a(A_Z)$ .

---

<sup>3</sup>Corte é um conjunto de arcos da rede dos quais qualquer caminho entre a fonte e o sumidouro possui ao menos um destes arcos. Este conceito é importante porque o fluxo máximo de uma rede não pode ser maior que a capacidade de seus cortes.

Se existe  $f_0(V_n)$  e um corte  $X$  tal que  $f_0(V_n) = a(X)$  onde  $a(X)$  é a soma das capacidades dos arcos que constituem  $X$ , o fluxo  $f_0(V_n)$  tem valor máximo e o corte  $X$  tem uma capacidade mínima, o que é garantido pelo teorema MIN-CUT, MAX-FLOW:

"Em uma rede o valor máximo do fluxo é igual à capacidade mínima de um corte."

Cabe ressaltar que a teoria de fluxo em redes é de ampla aplicação, mesmo em casos onde não exista correspondência direta com o conceito físico de fluxo. A utilização adequada desta abordagem traz grandes vantagens em termos de eficiência computacional, como veremos a seguir.

### 3.4.2. Fluxo em redes CPM.

O desenvolvimento do algoritmo do fluxo para resolver o problema da aceleração de projetos envolve algumas transformações matemáticas. Será apresentado a seguir alguns passos importantes para a compreensão da teoria do fluxo em redes CPM, segundo Whitehouse [27] e Elmaghraby [13]. Recomenda-se aos leitores interessados em se aprofundar no assunto a leitura dos textos mencionados.

O primeiro passo é obter o dual do modelo E de programação linear apresentado anteriormente. Usa-se diferentes variáveis duais para cada conjunto de equações do modelo primal. As variáveis duais  $f_{ij}$ ,  $v_{ij}$  e  $w_{ij}$  correspondem às três primeiras restrições, respectivamente; e  $y$  é o correspondente dual da quarta restrição. O modelo dual apresenta então a seguinte formulação:

$$\text{MIN } g(f, v, w, y) = Ty + \sum_{i,j} D_{ij} \cdot v_{ij} - \sum_{i,j} d_{ij} \cdot w_{ij}$$

s.a.:

$$\sum_J (f_{iJ} - f_{Ji}) = \begin{cases} y & ; i = 1 \\ 0 & ; i \neq 1, n \\ -y & ; i = n \end{cases}$$

$$f_{iJ} + v_{iJ} - w_{iJ} = a_{iJ} \quad \text{para todo } (i,J)$$

$$f_{iJ}, v_{iJ}, w_{iJ}, y \geq 0 \quad \text{para todo } (i,J)$$

Nota-se que as variáveis são não-negativas, e as igualdades surgiram devido a que as variáveis do modelo primal não são explicitamente restritas em sinal.

Este modelo dual aplicado ao exemplo de Stanger tem a seguinte formulação:

$$\begin{aligned} \text{MIN } Z' = & Ty + D_{12} \cdot v_{12} + D_{13} \cdot v_{13} + D_{14} \cdot v_{14} + D_{23} \cdot v_{23} \\ & + D_{24} \cdot v_{24} + D_{34} \cdot v_{34} + D_{35} \cdot v_{35} + D_{45} \cdot v_{45} \\ & + D_{56} \cdot v_{56} - d_{12} \cdot w_{12} - d_{13} \cdot w_{13} - d_{14} \cdot w_{14} \\ & - d_{23} \cdot w_{23} - d_{24} \cdot w_{24} - d_{34} \cdot w_{34} - d_{35} \cdot w_{35} \\ & - d_{45} \cdot w_{45} - d_{56} \cdot w_{56} \end{aligned}$$

s.a:

$$f_{12} + f_{13} + f_{14} = y$$

$$-f_{12} + f_{23} + f_{24} = 0$$

$$-f_{13} - f_{23} + f_{34} + f_{35} = 0$$

$$-f_{14} - f_{24} - f_{34} + f_{45} = 0$$

$$-f_{35} - f_{45} + f_{56} = 0$$

$$-f_{56} = -y$$

$$f_{12} + v_{12} - w_{12} = a_{12}$$

$$f_{13} + v_{13} - w_{13} = a_{13}$$

$$f_{14} + v_{14} - w_{14} = a_{14}$$

$$f_{23} + v_{23} - w_{23} = a_{23}$$

$$f_{24} + v_{24} - w_{24} = a_{24}$$

$$f_{34} + v_{34} - w_{34} = a_{34}$$

$$f_{35} + v_{35} - w_{35} = a_{35}$$

$$f_{45} + v_{45} - w_{45} = a_{45}$$

$$f_{56} + v_{56} - w_{56} = a_{56}$$

$$f_{ij}, v_{ij}, w_{ij}, y \geq 0$$

Nota-se que o primeiro conjunto de restrições é a interpretação do fluxo. A equação indica que o fluxo entrando pelo nó fonte é igual ao fluxo saindo pelo sumidouro, e todos os nós intermediários possuem conservação de fluxo. Isto a princípio habilita o problema a uma abordagem via fluxo em rede. Porém surgiram duas variáveis,  $v_{ij}$  e  $w_{ij}$ , não definidas mas que podem ser colocadas em termos da variável de fluxo ( $f_{ij}$ ) e da variável de custo marginal ( $a_{ij}$ ), da seguinte forma, considerando-se que o objetivo é minimizar a função  $Z'$  e que, neste caso,  $v_{ij}$  ou  $w_{ij}$  serão iguais a zero:

$$v_{ij} = \text{MAX} \{0, a_{ij} - f_{ij}\} ; \quad w_{ij} = 0$$

$$w_{ij} = \text{MAX} \{0, f_{ij} - a_{ij}\} ; \quad v_{ij} = 0$$

Observa-se que, sendo  $a_{ij}$  constante,  $v_{ij}$  é linear quando  $0 < f_{ij} < a_{ij}$  enquanto que  $w_{ij}$  é linear quando  $f_{ij} > a_{ij}$ .

A variável  $v_{ij}$  representa a capacidade residual do arco (i,j), e  $w_{ij}$  representa a capacidade reversa que excede a capacidade direta do arco (i,j) ( $a_{ij}$ ).

Com as variáveis  $v_{ij}$  e  $w_{ij}$  assim definidas a função objetivo passa a ser a seguinte:

$$\text{MIN } Z' = Ty + \sum_{i,j} D_{ij} \cdot \text{MAX}(0, a_{ij} - f_{ij}) - \sum_{i,j} d_{ij} \cdot \text{MAX}(0, f_{ij} - a_{ij})$$

Vimos anteriormente que as funções  $v_{ij}$  e  $w_{ij}$  são contínuas em intervalos diferentes. o que torna a função objetivo não

linear porém linear por partes, desde que a variável de fluxo seja subdividida nestes intervalos. Desta forma fazemos  $f_{ij} = f_{ij1} + f_{ij2}$ , cujos domínios são os intervalos citados. Podemos agora reescrever a função objetivo da seguinte forma:

$$\text{MIN } Z' = Ty + \sum_{i,j} D_{ij}(a_{ij} - f_{ij1}) - \sum_{i,j} d_{ij} \cdot f_{ij2}$$

Eliminando o somatório de termos constantes da função, teremos:

$$\text{MIN } Z' = Ty - \sum_{i,j} D_{i,j} \cdot f_{ij1} - \sum_{i,j} d_{ij} \cdot f_{ij2}$$

Finalmente,

$$\begin{aligned} \text{Sendo: } a_{ij1} &= a_{ij} & \text{e } a_{ij2} &= \infty \\ d_{ij1} &= D_{ij} & \text{e } d_{ij2} &= d_{ij} \end{aligned}$$

$$\text{Então: } \text{MIN } Z' = Ty - \sum_{ijk} f_{ijk} \cdot d_{ijk}$$

s.a:

$$\sum_{jk} (f_{ijk} - f_{jik}) = \begin{cases} y, & i = 1 \\ 0, & i \neq 1, n \\ -y, & i = n \end{cases}$$

$$0 \leq f_{ijk} \leq a_{ijk} \quad \text{para todo } (i,j,k)$$

$$y \geq 0$$

Este modelo tem a seguinte interpretação de fluxo em rede: Primeiramente acrescentamos à rede original, paralelamente a cada atividade, uma segunda atividade, as quais chamaremos (ij1) e (ij2), respectivamente. A atividade (ij1) tem uma capacidade  $a_{ij}$  e o coeficiente da função objetivo  $d_{ij1} = D_{ij}$ , enquanto que a atividade (ij2) tem uma capacidade infinita e um coeficiente  $d_{ij2} = d_{ij}$ . Desta forma, a rede CPM do exemplo de Stanger teria a forma mostrada na fig. 31.

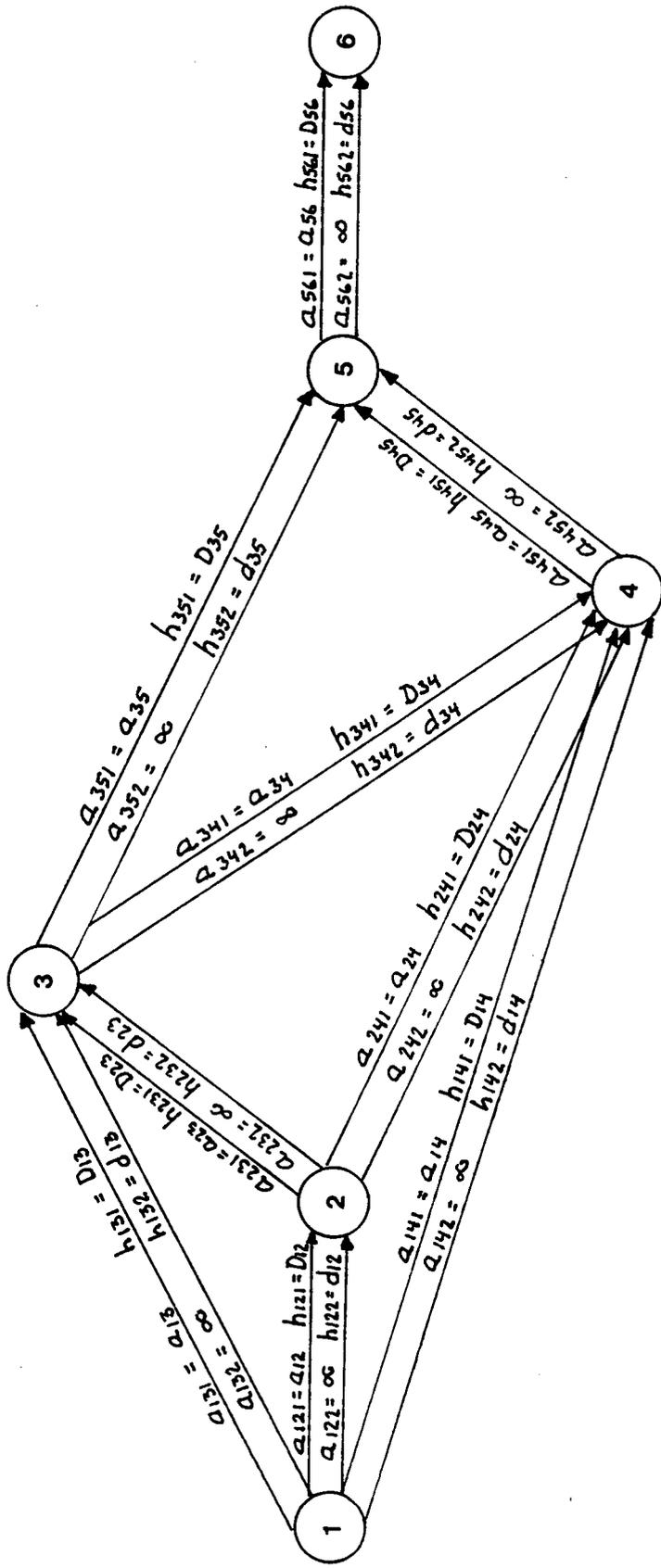


FIGURA 31 - Rede PERT/CPM do exemplo de Stanger, com os canais duplos do algoritmo do fluxo de Ford-Fulkerson.

O problema agora é encontrar o fluxo total y entre os nós inicial e final da rede que minimize a função objetivo, sujeito às restrições de conservação de fluxo. Naturalmente as modificações introduzidas no modelo dual impossibilitam a utilização do algoritmo clássico de Ford-Fulkerson para maximização do fluxo em redes, porém os mesmos autores criaram um algoritmo específico para este caso, o qual será discutido a seguir.

### 3.4.3. O algoritmo do fluxo para CPM

O algoritmo de Ford-Fulkerson para CPM é uma pesquisa sistemática de caminhos entre a fonte e o sumidouro, onde um nó (evento) é considerado em um dos três estados:

- a) Não marcado
- b) Marcado e pesquisado
- c) Marcado e não pesquisado

Uma característica interessante deste algoritmo - que o torna muito eficiente - é que uma vez que um nó tenha sido marcado e pesquisado ele poderá ser ignorado até o final do ciclo de marcação.

A marcação de um nó i corresponde à locação de um caminho da fonte até este nó, o qual pode ser parte do caminho do fluxo que estamos procurando. As marcas guardam informações sobre o fluxo e o caminho, de modo que se o nó final é marcado, a variação de fluxo resultante ao longo do caminho poderá ser determinada. Se não conseguirmos marcar o nó final, então o fluxo através da rede é máximo, e o corte mínimo determina a redução no tempo mais cedo dos eventos, que por sua vez determina a redução na duração do projeto e das atividades individuais. Desta forma,

o incremento no custo direto do projeto poderá ser calculado. Inicialmente façamos:

a)  $T$  = duração do projeto com as atividades programadas para sua duração normal ( $D_{ij}$ ).

b) Todos os  $f_{ijk} = 0$

c)  $h_{ijk} = t_i + d_{ijk} - t_j$

As atividades onde  $h_{ijk} = 0$  são chamadas admissíveis. Nota-se que  $h_{ij1}$  é o negativo da folga total da atividade (i,j) para duração normal, e  $h_{ij2}$  é interpretada de maneira similar para a duração acelerada.

As marcas de eventos são da forma  $[i, k^+ \text{ ou } -, e(j)]$ . A primeira marca (i) indica o nó de onde a marcação está sendo feita. A segunda marca pode ter um dos quatro valores:  $1^+$ ,  $1^-$ ,  $2^+$  ou  $2^-$ . O valor numérico indica o caminho e o sinal a direção do fluxo: positivo de i para j, negativo de j para i. A marca  $e(j)$  representa a maior variação permissível de fluxo ao longo do caminho da fonte até o evento j. O algoritmo compõem-se dos seguintes passos:

### Primeira etapa

P1.1. Atribuir ao nó inicial a marca  $[-, -, \infty]$ .

P1.2. A partir do nó i marcado procurar um nó j não marcado tal que a atividade (i,j,2) seja admissível ( $h_{ij2} = 0$ ), marcando-o com  $[i, 2^+, \infty]$ .

P1.3. Repetir o passo anterior até que o último nó seja marcado, quando termina o processo. Caso se verifique que este nó não pode ser marcado executa-se o passo seguinte.

P2.1. As marcas do primeiro estágio desta etapa são guardadas e todos os eventos revertem para o estado não pesquisado. Quando pesquisamos um evento  $i$  marcado, podemos marcar um evento  $j$  se qualquer das seguintes condições se verificarem:

a) atividade  $(i,j,k)$  é admissível ( $h_{ijk} = 0$ ) e  $f_{ijk} < a_{ijk}$ . O evento  $j$  é marcado  $[i, k^+, e(j)]$ , onde  $e(j) = \text{MIN} [e(i), a_{ijk} - f_{ijk}]$ .

b) Atividade  $(j,i,k)$  é admissível e  $f_{jik} > 0$ . O evento  $j$  é marcado  $[i, k^-, e(j)]$ , onde  $e(j) = \text{MIN} [e(i), f_{jik}]$ . Neste caso  $j < i$ .

P2.2. Repetir o passo anterior. Se o último nó for marcado, passa-se à segunda etapa. Senão, passa-se à terceira etapa.

### Segunda Etapa

Q1. Estando o último nó marcado com  $[j, k^+, e(n)]$ , modificar o fluxo ao longo do caminho como indicado pelas marcas, adicionando ou subtraindo  $e(n)$  até atingir o nó inicial. O procedimento geral para um nó  $p$  é o seguinte: Se  $p$  está marcado com  $[i, k^+, e(p)]$ , somar  $e(n)$  à  $f_{ipk}$ . Se  $p$  está marcado com  $[i, k^-, e(p)]$ , subtrair  $e(n)$  de  $f_{ipk}$ .

Q2. Apagar todas as marcas e voltar à primeira etapa.

### Terceira Etapa

R1. Se não for possível marcar o último nó, identificar os seguintes subconjuntos das atividades que

abrangem o corte mínimo da rede, de acordo com o sinal de  $k$  na marca do evento:

$$S_1 = \{(i,j,k) \mid i \text{ marcado, } j \text{ não marcado, } h_{ijk} < 0\}$$

$$S_2 = \{(i,j,k) \mid i \text{ não marcado, } j \text{ marcado, } h_{ijk} > 0\}$$

$$R2. \text{ Fazer } g_1 = \min_{S_1} [-h_{ijk}]$$

$$g_2 = \min_{S_2} [h_{ijk}]$$

$$g = \min [g_1, g_2]$$

R3. Fazer  $t_j = t_j - g$ , para todos os nós não marcados. Descartar as marcas, recalcular as folgas e retornar à primeira etapa.

Cada novo conjunto de tempos mais cedo de eventos ( $t_i$ ) produz um novo ponto na curva tempo-custo do projeto. Para uma duração total  $T$ , o custo direto total do projeto é dado por

$$C(T) = \sum_{i,j} (b_{ij} - a_{ij} \cdot x_{ij})$$

$$\text{onde: } b_{i,j} = Ca_{i,j} + a_{i,j} \cdot d_{i,j}$$

$$\text{então: } C(T) = \sum_{i,j} \{Ca_{i,j} - a_{i,j} (x_{i,j} - d_{i,j})\}$$

$$\text{sendo: } x_{ij} = \min [D_{ij}, (t_j - t_i)]$$

#### 3.4.4. Exemplo

A resolução do exemplo de Stanger pelo algoritmo do fluxo para CPM tem o seguinte desenvolvimento:

Inicialmente os fluxos são igualados a zero e  $t_1$  é calculado assumindo-se a duração normal das atividades. Os dados de  $h_{ijk}$  são obtidos com os valores da tabela 1. Os resultados são mostrados na fig. 32a, dispostos conforme a legenda. Para simplificar a apresentação as figuras mostram apenas um caminho de fluxo para cada atividade, ao invés dos dois caminhos realmente existentes.

O primeiro estágio da primeira etapa de marcação nos permite marcar apenas o nó inicial, pois não existem caminhos com  $h_{1j2} = 0$ . No segundo estágio de marcação podemos marcar o nó 2 a partir da fonte, pois  $h_{121} = 0$ . Pesquisando o nó 2 vemos que é possível marcar o nó 3 e, a partir deste, marcamos também os nós 4 e 5. Do nó 4 não é possível marcar nenhum outro, mas do nó 5 podemos marcar o nó 6, encerrando assim o segundo estágio de marcação. Note que  $e(6) = \text{MIN} [e(5), a_{561} - f_{561}] = \text{MIN} [5, 3-0] = 3$ .

Estando o último nó marcado, passamos à segunda etapa, onde aumentamos o fluxo no caminho indicado pelas marcas, ou seja, 6-5-3-2-1. Vemos na fig. 27b que  $e(6) = 3$  foi somado à  $f_{121}$ ,  $f_{231}$ ,  $f_{351}$  e  $f_{561}$ . As marcas são apagadas e retornamos à primeira etapa.

A fig. 32b mostra as novas marcas. Vemos que do nó 5 não é possível marcar o nó 6 pois, mesmo sendo  $h_{561} = 0$ ,  $f_{561}$  não é menor que  $a_{561}$ . Assim, passamos para a terceira etapa. O corte mínimo para esta figura (em tracejado) inclui apenas a atividade 5-6 pertencente a  $S_1$ , visto que  $S_2$  é um conjunto vazio. Então  $S_1 = \{(5,6,2)\}$  e  $g_1 = \text{MIN} [-( -1)] = g = 1$ . Todos os tempos mais cedo de nós não marcados são reduzidos de  $g$ . Neste caso, apenas o nó 6 não possui marca, sendo então reduzido de 37 para 36. Esta redução provoca um acréscimo de  $g$  em  $h_{561}$  e  $h_{562}$  (que são os negativos das folgas para duração normal e acelerada da atividade do corte mínimo), como mostra a fig. 32c. Com isto, reduzimos a duração do projeto de 37 para 36 meses pela redução da atividade 5-6 de 3 para 2 meses, a um custo de \$3 u.m. Podemos agora descartar as marcas e retornar à primeira etapa para mais um ciclo de aceleração.

LEGENDA

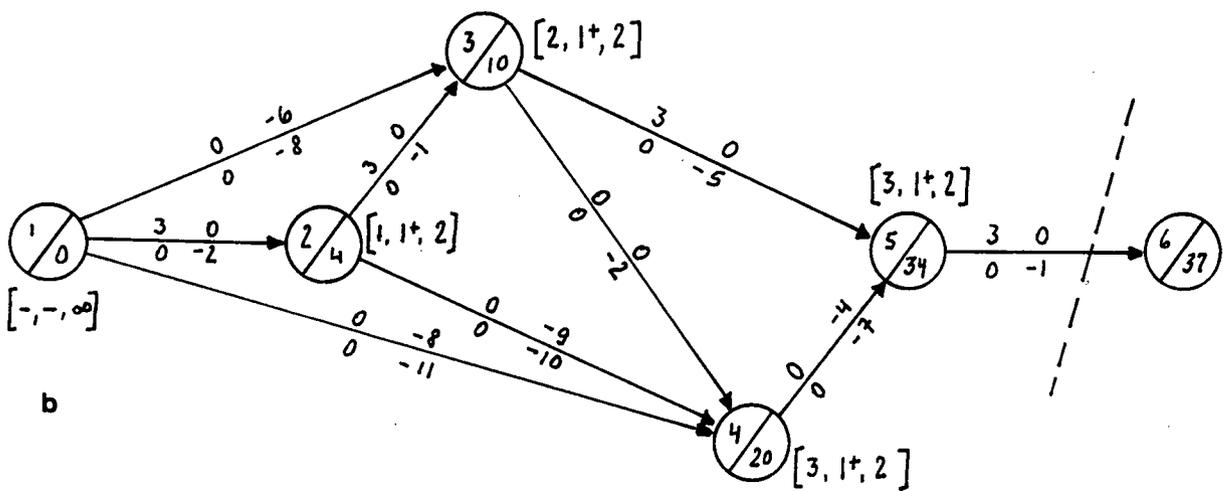
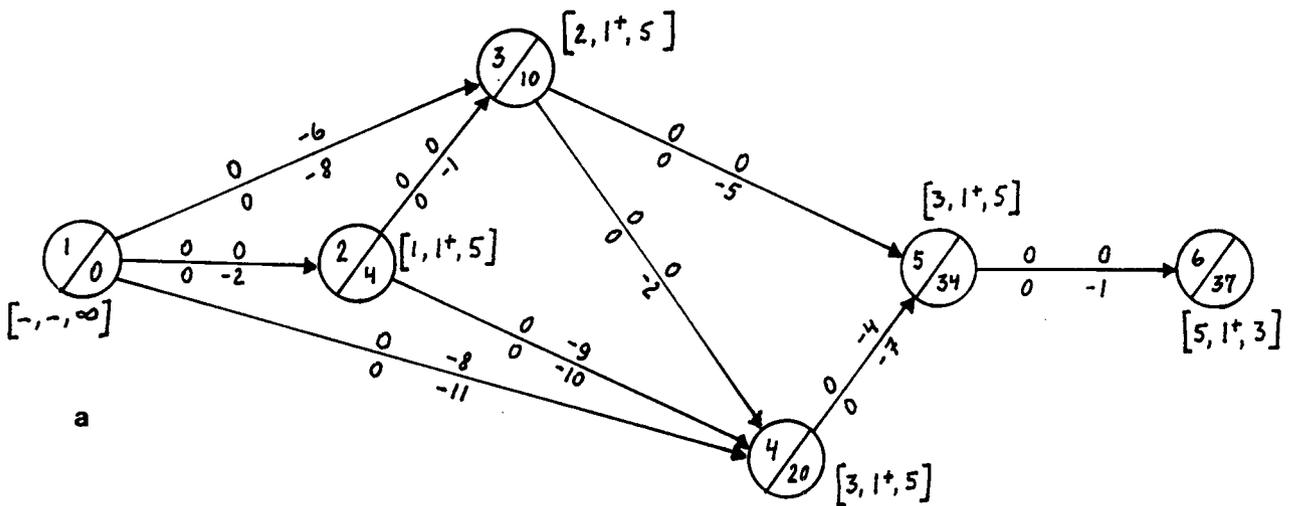
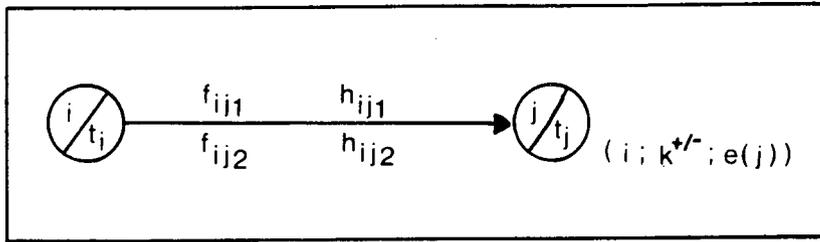


Figura 32 - Algoritmo do fluxo para CPM aplicado ao exemplo de Stanger.

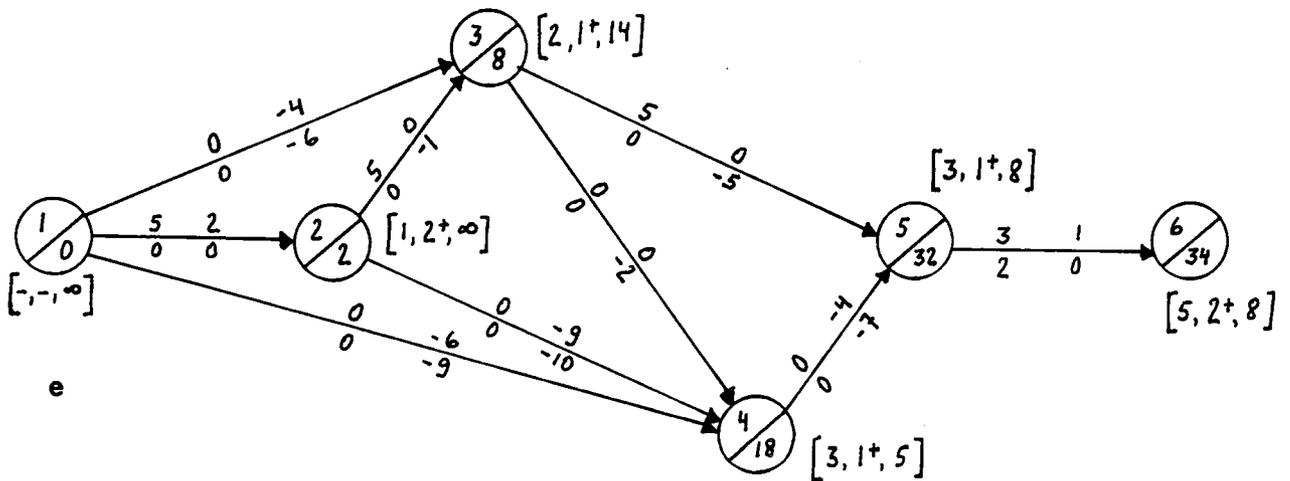
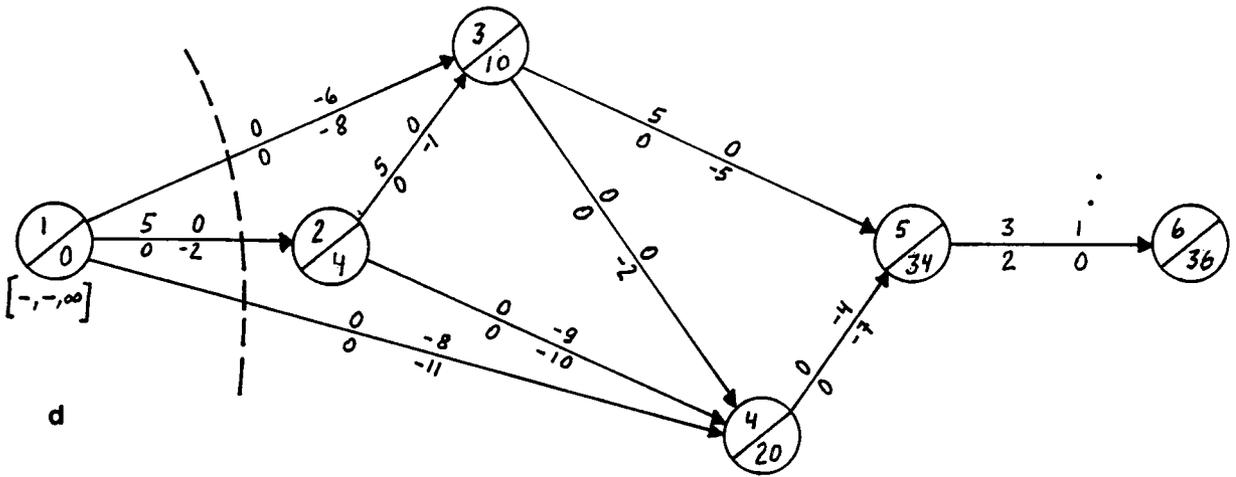
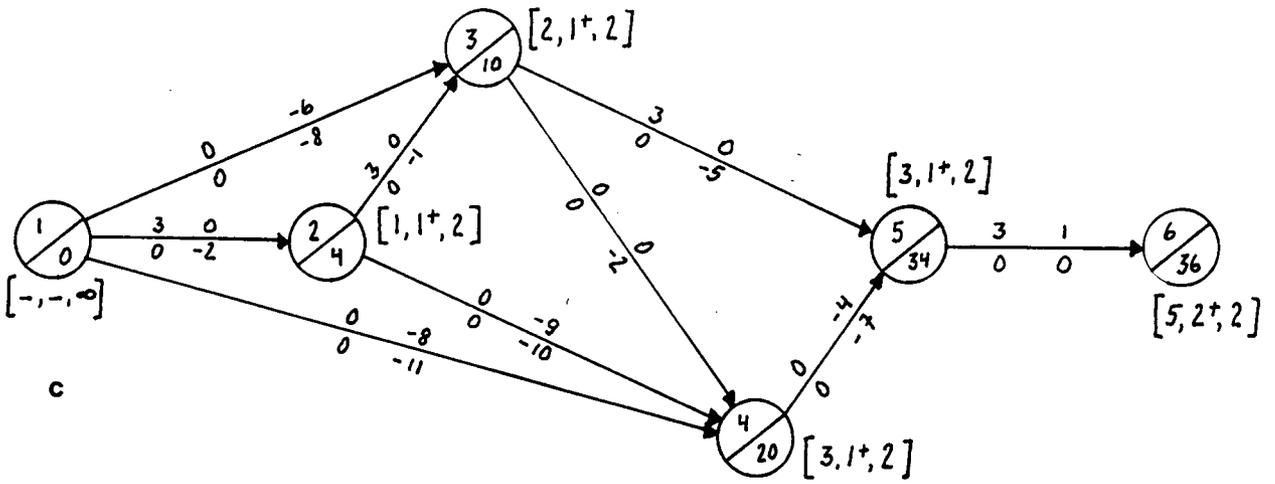


Figura 32 - Continuação.

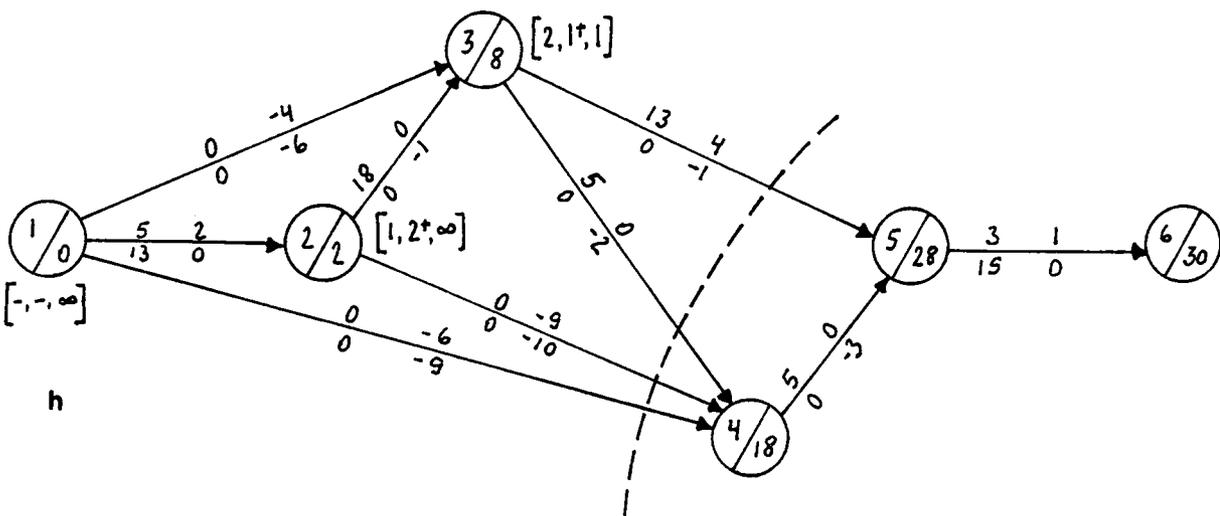
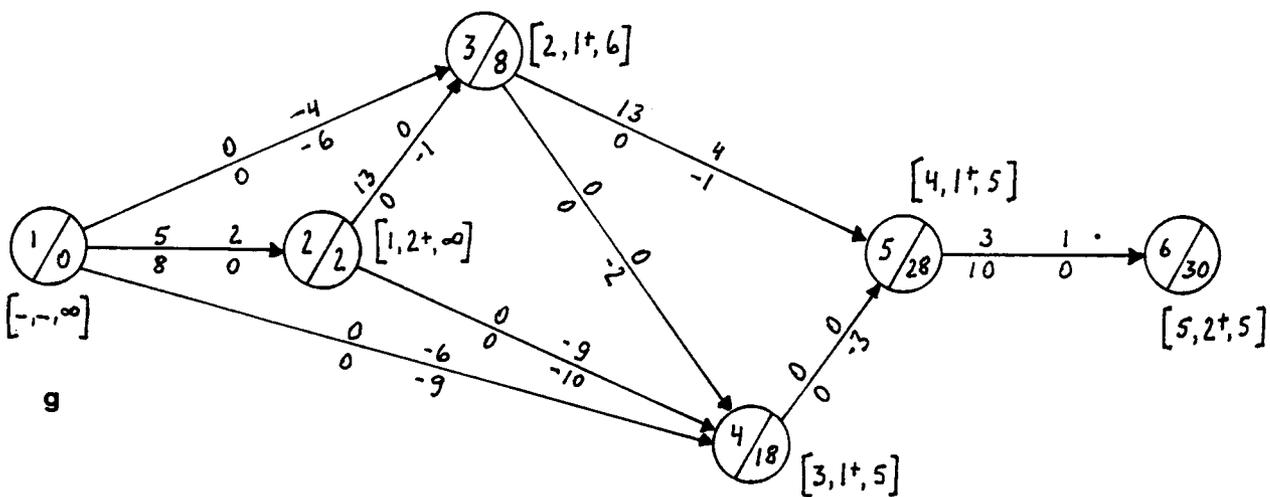
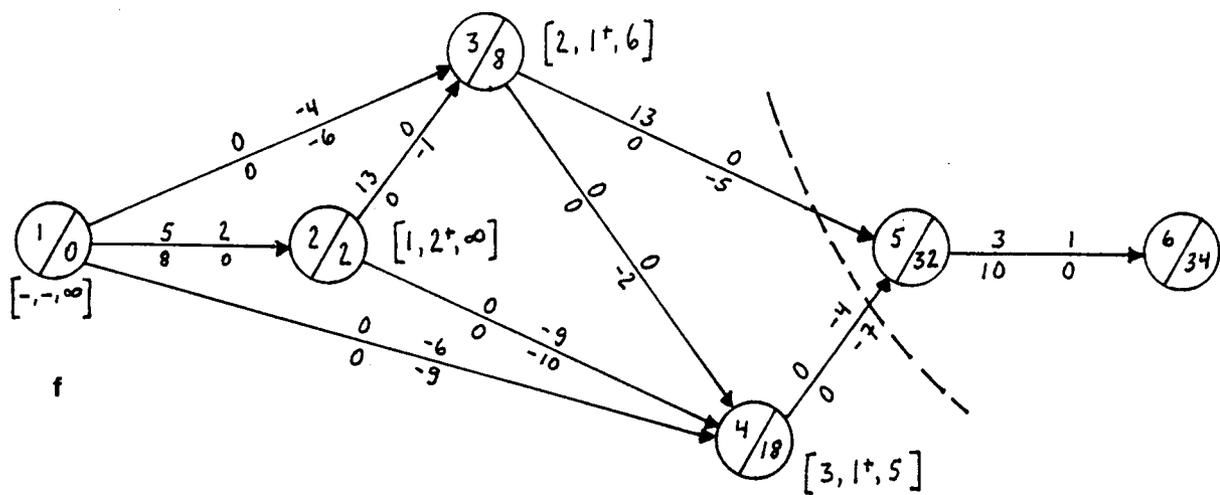


Figura 32 - Continuação.

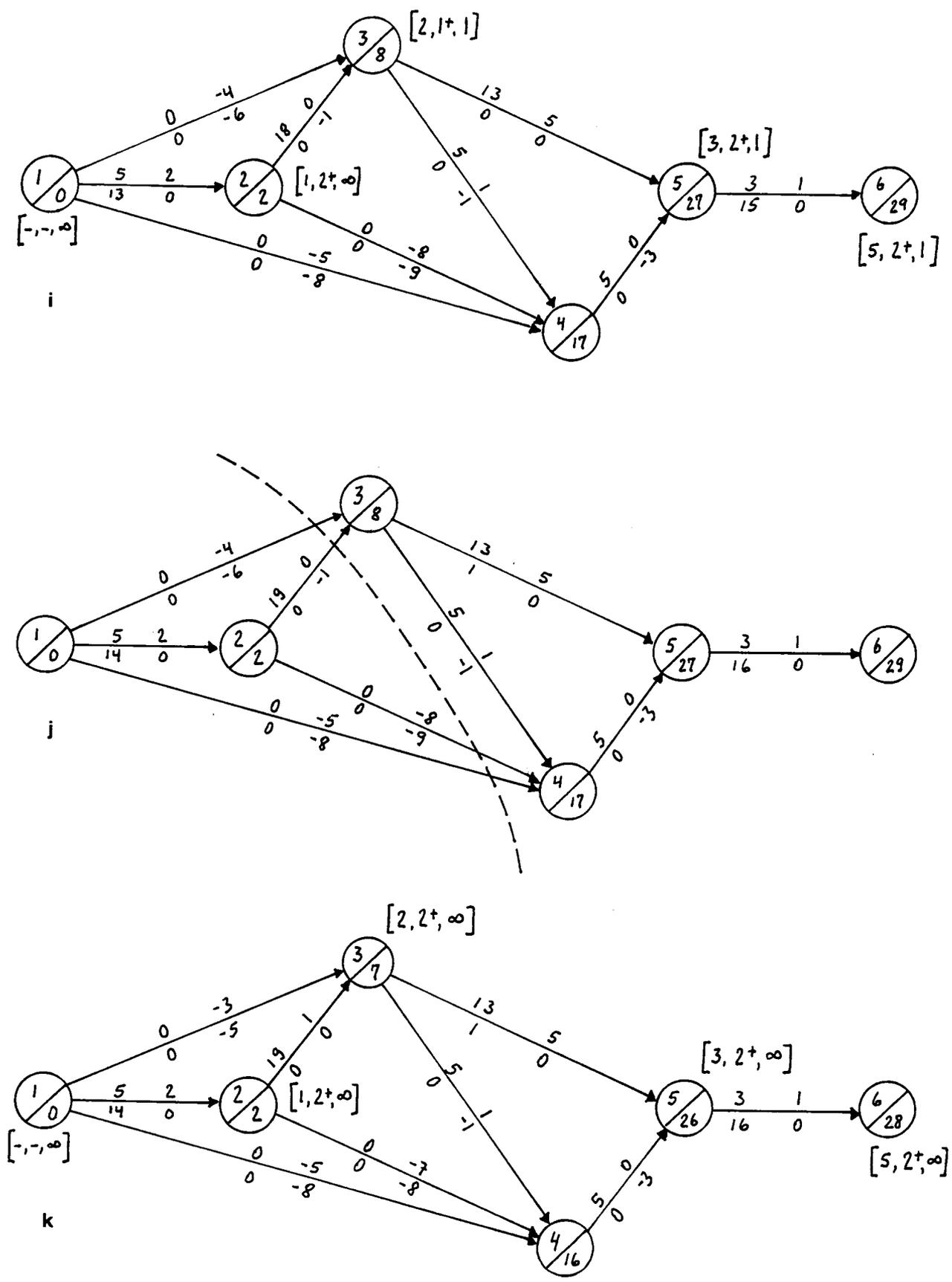


Figura 32 - Continuação.

A fig. 32c mostra as novas marcas. Vemos que o último nó foi marcado com  $e(6) = 2$  pelo mesmo caminho anterior. Aumentando

o fluxo deste caminho e descartando as marcas obtemos a fig. 32d. Nesta mesma figura, voltando ao procedimento de marcação da primeira etapa, vemos que somente o nó inicial pode ser marcado. Passando para a terceira etapa, obtemos o corte mínimo para esta rede:  $S_1 = \{(1,2,2),(1,3,1),(1,3,2),(1,4,1),(1,4,2)\}$ ;  $g_1 = \text{MIN} [2,6,8,8,11] = g = 2$ . Reduzindo  $t_1$  dos eventos não marcados e recalculando as folgas, obtemos então os dados da fig. 32e. Vemos que a atividade 1-2 foi acelerada em 2 meses, a um custo de \$10 u.m.

Descartando todas as marcas e voltando ao procedimento de marcação da primeira etapa, conseguiremos marcar o evento final com  $e(6) = 8$ , no segundo caminho da rede (mesma figura). O corte mínimo agora é composto pelas atividades 3-5 e 4-5, com  $S_1 = \{(3,5,2),(4,5,1),(4,5,2)\}$  e  $g_1 = \text{MIN} [5,4,7] = g = 4$  (fig. 27f). Recalculando novamente o  $t_1$  dos eventos não marcados e as folgas, vemos que a atividade 3-5 sofreu uma aceleração de 4 meses, a um custo de  $4 \times 13 = \$52$  u.m. (fig. 32g).

Na fig. 32g, descartando as marcas anteriores e retornando à primeira etapa de marcação, vemos que é possível marcar o último evento com  $e(6) = 4$ . O caminho registrado pelas marcas é 6-5-4-3-2-1. Aumentando o fluxo ao longo deste caminho e descartando as marcas, obtemos os dados da fig. 32h.

Na mesma figura, voltando à primeira etapa, vemos que só é possível marcar os nós 1, 2 e 3. Neste caso o corte mínimo da rede é composto pelas atividades 1-4, 3-4 e 3-5, com  $S_1 = \{(1,4,1),(1,4,2),(2,4,1),(2,4,2),(3,4,2),(3,5,1),(3,5,2)\}$ . Então  $g_1 = \text{MIN} [6,9,9,10,2,4,1] = g = 1$ . Reduzindo o  $t_1$  dos eventos não marcados e recalculando as folgas, obtemos os dados da fig. 32i. Agora as atividades 3-4 e 3-5 são aceleradas simultaneamente, a um custo de  $13 + 5 = \$ 18$  u.m.

Voltando à primeira etapa de marcação, a fig. 32i mostra que o evento final pode ser marcado  $e(6) = 1$ . Passando então à segunda etapa, atualizamos o fluxo ao longo do caminho e descartamos as marcas (fig. 32j).

Executando novamente a primeira etapa, verificamos que apenas os nós 1 e 2 podem ser marcados. O corte mínimo da rede é formado então pelas atividades 1-3, 1-4, 2-3 e 2-4, com  $S_1 = \{(1,3,1), (1,3,2), (1,4,1), (1,4,2), (2,3,2), (2,4,1), (2,4,2)\}$  e  $g_1 = \text{MIN} [4,6,5,8,1,8,9] = g = 1$ . As novas folgas e tempos de eventos são mostrados na fig. 32k.

Ainda na fig. 32k, na primeira etapa, vemos que é possível marcar o último nó da rede no primeiro estágio de marcação. Isto indica que o processo de aceleração está concluído, estando todas as atividades críticas com duração de máxima aceleração.

## CAPÍTULO IV

# IMPLEMENTAÇÃO COMPUTACIONAL DO MODELO DE ACELERAÇÃO

### 4.1. INTRODUÇÃO

Os benefícios decorrentes da análise de aceleração de projetos, comentados no capítulo anterior, são suficientes para supormos sua ampla utilização nas empresas de projetos. Na verdade, porém, isto não ocorre devido à dificuldade em se fazer este tipo de análise através de métodos manuais. No entanto, com a recente popularização dos microcomputadores, estes se tornaram acessíveis até mesmo às pequenas empresas, possibilitando com isto o emprégo de técnicas computacionais aplicadas aos problemas de gerenciamento de projetos.

Uma pesquisa efetuada no mercado nacional [3] revelou a existência de dezenas de softwares para gerenciamento de projetos em micros e minicomputadores, a maioria com características bastante específicas e voltados a um determinado segmento do mercado, notadamente a construção civil; porém nenhum com a capacidade de acelerar projetos. Com relação ao mercado internacional, Archibald & Villoria [5] comentam a existência de dois sistemas para computadores de grande porte: U.S Air Force PERT/COST e IBM PERT/COST II. Um artigo de Assad e Wasil [6] analisa alguns dos mais conhecidos gerenciadores de projetos para micros existentes, muitos dos quais dotados de características

avançadas, como nivelamento de recursos e capacidade gráfica mas, novamente, nenhum deles com a capacidade de acelerar projetos. Isto se deve talvez à dificuldade de se produzir um software com recursos avançados de otimização e que seja ao mesmo tempo genérico o suficiente para permitir sua utilização em um largo espectro de aplicações, além das conhecidas limitações de memória e sistema operacional dos atuais micros tipo PC/XT.

Tendo em vista as vantagens da utilização da análise de aceleração e a inexistência no mercado nacional de software com tal recurso, decidiu-se pelo desenvolvimento do ADP (Acelerador de Projetos), com características tais que permitissem uma análise rápida e eficiente das alternativas disponíveis para o planejamento das atividades de um projeto. O programa foi desenvolvido em TURBO PASCAL 3.01A e seu código-fonte conta com aproximadamente 38 Kbytes. Para facilitar sua utilização o ADP foi projetado sob uma estrutura de menus, conforme o fluxograma da fig. 33, o qual é complementado pelo fluxograma da figura 34. As diversas opções do programa, acessadas através do menu principal da fig. 35, serão detalhadas neste capítulo.

## 4.2. ENTRADA DE DADOS

E a primeira opção do menu principal do programa, onde se dá a entrada de dados básicos do projeto. Após a escolha desta opção tem-se um menu secundário que nos permite optar entre ler os dados de um projeto previamente gravado em disco ou iniciar um novo projeto. O nome do projeto pode ser qualquer conjunto de até 8 caracteres, sem a extensão de arquivos do MS-DOS. Uma rotina de teste impede que um novo projeto com o nome de outro já existente e armazenado em disco provoque a sobregravação de arquivos e a conseqüente perda das informações. Caso se opte pela inicialização de um novo projeto o programa solicitará então a digitação dos dados em três etapas, conforme descrito a seguir.

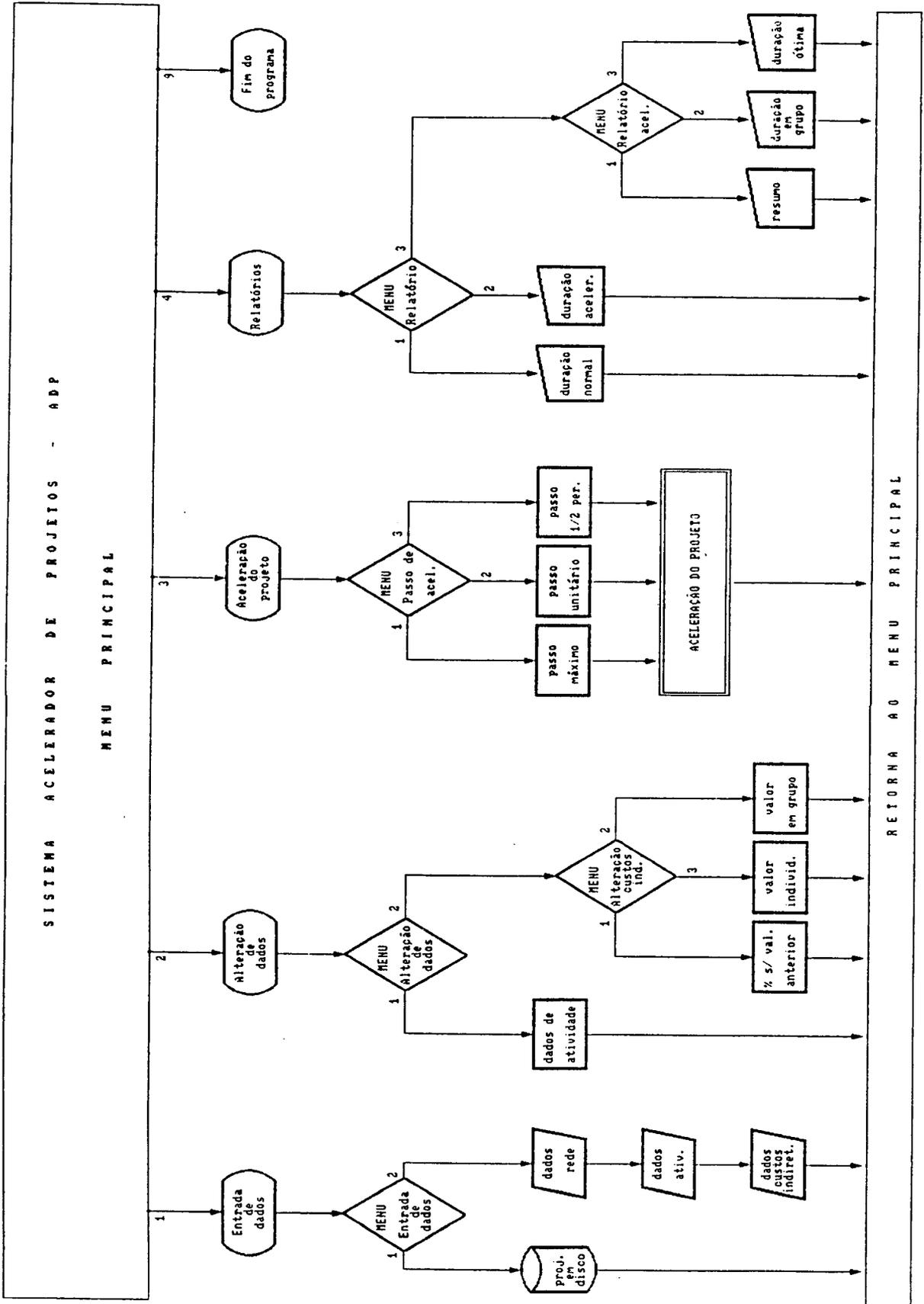


Figura 33 - Fluxograma do ADP

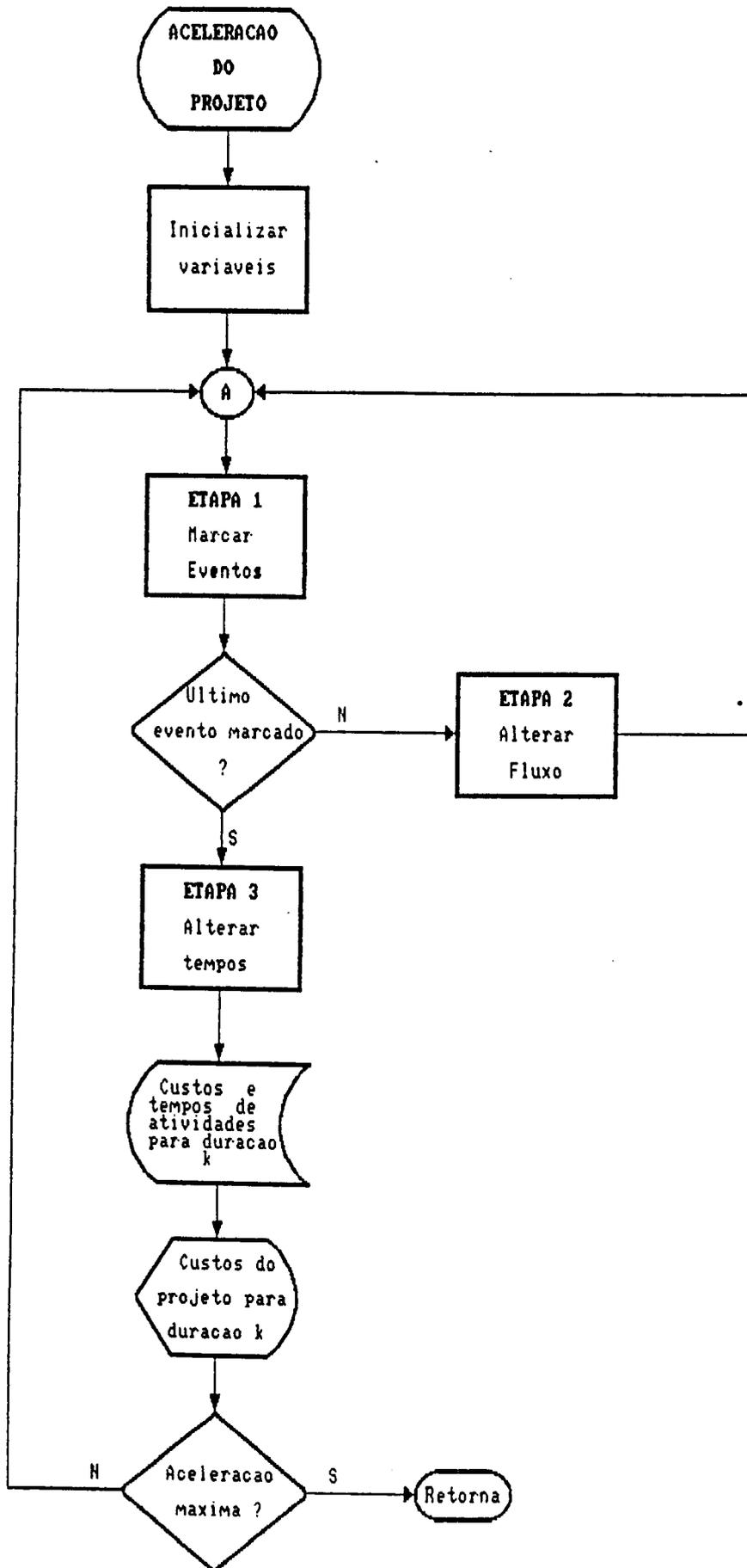


Figura 34 - Fluxograma do algoritmo do fluxo para CPM.

U F S C / D E P S / P P G E P - 1 9 8 8	
Aceleracao de Projetos pelo Algoritmo do Fluxo de Ford-Fulkerson	
M e n u      P r i n c i p a l	
1	- Entrada de dados
2	- Alteracao de dados
3	- Aceleracao do projeto
4	- Relatorios
9	- Fim do programa

Figura 35 - Menu principal

U F S C / D E P S / P P G E P - 1 9 8 8	
Aceleracao de Projetos pelo Algoritmo do Fluxo de Ford-Fulkerson	
L i g a c o e s      e n t r e      e v e n t o s	
1	----> 2 - 3 - 4 -
2	----> 3 - 4 -
3	----> 4 - 5 -
4	----> 5 -
5	----> 6 -

Projeto: Stanger

&lt;ENTER&gt; : novo evento inicial

Figura 36 - Entrada de dados da rede.

#### 4.2.1. Entrada de dados da rede PERT/CPM

Os dados da rede representam as ligações entre eventos, as quais formam a matriz de adjacências do projeto, armazenada no disco em um arquivo com o nome do projeto e a extensão .RED. O programa solicita a introdução dos dados através da tela de vídeo da fig. 36. O número à esquerda da flecha representa o evento  $i$ , e os números à direita todos os eventos  $j$  que possuem ligação com o evento  $i$ . Eventos  $j$  menores que  $i$  são rejeitados, pois o programa aceita apenas redes topologicamente ordenadas.

#### 4.2.2. Entrada de dados das atividades

Os eventos ligados anteriormente são apresentados agora como atividades, numeradas automaticamente. Para cada atividade o programa solicita a digitação do nome e das durações e custos para programação normal e de máxima aceleração, como mostra a fig. 37. Estes dados são armazenados em um arquivo com o nome do projeto e a extensão .ATV.

Deve-se ter o cuidado de introduzir valores compatíveis com o modelo de aceleração, ou seja, duração normal maior que a duração acelerada e custo normal menor que o custo acelerado. As atividades fictícias ou fantasmas são representadas com duração e custo nulos, para programação normal e acelerada. As atividades que não devem ser aceleradas são representadas por custos e durações iguais para ambas as programações.

U F S C / D E P S / P P G E P - 1 9 8 8	
Aceleracao de Projetos pelo Algoritmo do Fluxo de Ford-Fulkerson	
atividade 1	eventos 1 - 2
Nome .....	Construcao de caminhos de acesso
Duracao Normal ....	4
Custo Normal .....	5
Duracao Acelerada :	2
Custo Acelerado ...	15

Projeto: Stanger

Figura 37 - Entrada de dados das atividades.

U F S C / D E P S / P P G E P - 1 9 8 8	
Aceleracao de Projetos pelo Algoritmo do Fluxo de Ford-Fulkerson	
Periodo	C u s t o i n d i r e t o
21	0.00 //
22	0.00 //
23	0.00 //
24	0.00 //
25	0.00 //
26	0.00 //
27	0.00 //
28	0.00 //
29	0.00 // 15
30	15.00 //
31	15.00 //
32	15.00 //
33	15.00 //
34	15.00 //
35	15.00 //
36	15.00 //
37	15.00 //

Projeto: Stanger

Figura 38 - Entrada de dados de custos indiretos.

### 4.2.3. Entrada de dados dos custos indiretos

Após a introdução dos dados da última atividade o programa solicitará a introdução do valor do custo indireto para cada período de duração do projeto, considerando-se as atividades programadas para sua duração normal. Durante o processo de aceleração estes valores serão acumulados para cada duração total do projeto, descartando-se os custos indiretos dos períodos de tempo que ultrapassam a duração do projeto no último ciclo de aceleração. A introdução do custo indireto para um determinado período o torna um valor default para todos os demais períodos. Assim, para introduzir um custo indireto constante basta digitar o valor e pressionar a tecla ENTER até o último período. Isto gerará uma curva linear crescente de custos indiretos acumulados. Para a introdução de custos indiretos periódicos não constantes, estes devem ser digitados um a um, e gerarão uma curva acumulada complexa.

Na fig. 29 do exemplo de Stanger considerou-se custos indiretos fixos de 100 u.m. e periódicos de 15 u.m. a partir do período 29. Para dar entrada a estes valores faz-se o seguinte: Digita-se o valor dos custos indiretos fixos no primeiro período e zero no segundo período, pressionando-se ENTER para aceitá-lo como valor default, até o período 28. No período 29 digita-se 15, pressionando-se ENTER para torná-lo default até o último período (fig. 38).

### 4.3. ALTERAÇÃO DE DADOS

A segunda opção do menu principal permite que se altere os dados básicos das atividades e custos indiretos, não apenas para corrigir erros de entrada, mas também para permitir análises de sensibilidade em torno dos valores obtidos, assunto este que será abordado na seção 4.5. Duas opções de alteração de dados foram implementadas:

#### 4.3.1. Alteração de dados de atividades

Esta opção permite que se altere os dados básicos das atividades do projeto. Inicialmente o programa solicita a introdução dos eventos i-j da atividade que se pretende alterar. Em seguida será mostrado no vídeo os dados atuais desta atividade, seguidos por duas barras paralelas, indicando que estes dados são agora considerados valores default. Assim, para alterar-se o nome ou um valor de custo ou duração da atividade, digita-se o novo valor e tecla-se ENTER. Caso não se queira alterar um determinado nome ou valor, basta teclar apenas ENTER. Este processo deve ser repetido para cada atividade que se queira alterar.

Sempre que uma alteração na duração normal de uma atividade provocar um acréscimo na duração total do projeto (no caso de a atividade pertencer a um caminho crítico), o programa passa automaticamente ao menu de alteração de custos indiretos para que se introduzam os valores periódicos correspondentes ao intervalo de tempo acrescido.

### 4.3.2. Alteração de dados de custos indiretos

Ao se escolher esta opção, um submenu apresenta no vídeo três alternativas possíveis para a alteração dos custos indiretos:

- a) Percentual sobre valor anterior. Permite que se acrescente aos valores periódicos de custos indiretos um valor percentual (positivo ou negativo), o qual é solicitado pelo programa, bem como o intervalo de períodos de tempo ao qual este acréscimo se aplica.
- b) Alteração de um valor individual. Permite a alteração do valor do custo indireto de um determinado período ou de um intervalo de períodos. O valor atual, armazenado em disco, é apresentado como default. Desta forma, é possível usar esta opção para listar no vídeo os custos indiretos atuais, sem modificá-los, apenas pressionando ENTER até o último período; ou para alterar os valores um a um. A fig. 39 mostra uma alteração efetuada com esta opção.
- c) Alteração de valores em grupo. Esta opção também lista o valor atual armazenado em disco, porém considera como valor default, apresentado em outra coluna, o custo indireto atual do primeiro período ou o último valor digitado, o que facilita a introdução de valores periódicos constantes. A fig. 40 mostra o retorno aos custos indiretos iniciais, antes da alteração da fig. 39.

U F S C / D E P S / P P G E P - 1 9 8 8			
Aceleracao de Projetos pelo Algoritmo do Fluxo de Ford-Fulkerson			
Periodo	C u s t o i n d i r e t o		
21	0.00	//	
22	0.00	//	
23	0.00	//	
24	0.00	//	
25	0.00	//	
26	0.00	//	
27	0.00	//	
28	0.00	//	
29	15.00	//	11
30	15.00	//	12
31	15.00	//	13
32	15.00	//	14
33	15.00	//	
34	15.00	//	16
35	15.00	//	17
36	15.00	//	18
37	15.00	//	19

Projeto: Stanger

Figura 39 - Alteração de dados de custos indiretos.  
(Valor individual)

U F S C / D E P S / P P G E P - 1 9 8 8			
Aceleracao de Projetos pelo Algoritmo do Fluxo de Ford-Fulkerson			
Periodo	C u s t o i n d i r e t o		
21	0.00	...	0.00 //
22	0.00	...	0.00 //
23	0.00	...	0.00 //
24	0.00	...	0.00 //
25	0.00	...	0.00 //
26	0.00	...	0.00 //
27	0.00	...	0.00 //
28	0.00	...	0.00 //
29	11.00	...	0.00 //
30	12.00	...	15.00 //
31	13.00	...	15.00 //
32	14.00	...	15.00 //
33	15.00	...	15.00 //
34	16.00	...	15.00 //
35	17.00	...	15.00 //
36	18.00	...	15.00 //
37	19.00	...	15.00 //

Projeto: Stanger

Figura 40 - Alteração de dados de custos indiretos  
(Valor em grupo)

#### 4.4. ACELERAÇÃO DE PROJETOS

Esta é a terceira opção do menu principal. Após ser selecionada, o programa solicita o passo de aceleração, que pode ser máximo, unitário ou de meio período. Com o passo máximo o processo de aceleração se faz em intervalos máximos de duração para um mesmo custo marginal, gerando um menor número de pontos na curva de tempo-custo. Os passos unitário e de meio período causam um ciclo de aceleração para um período de tempo e meio período de tempo, respectivamente.

Após a definição do passo de aceleração, inicia-se o processo de aceleração propriamente dito. Cabe ressaltar aqui que o algoritmo do fluxo para PERT/CPM discutido no capítulo anterior não possui vida própria, pois necessita dos algoritmos tradicionais de PERT/CPM para cálculo de tempos de eventos, datas e folgas de atividades, os quais são chamados durante sua execução para a atualização dos dados da rede. Desta forma, os seguintes procedimentos foram implementados para o processamento dos dados de entrada:

##### 4.4.1. Rede PERT/CPM

- a) Tempos de eventos. Os algoritmos para cálculo de tempos mais cedo e mais tarde dos eventos da rede foram implementados tendo por base o trabalho do INPE [18] a respeito, cuja abordagem é clássica. Os resultados dos cálculos são mantidos apenas na memória RAM, pois são acessados com muita frequência.
- b) Datas e folgas de atividades. Do cálculo das datas e folgas resultam informações importantes para o planejamento e controle do projeto, as quais são fornecidas pelo ADP por meio de

relatórios impressos. As seguintes fórmulas foram utilizadas, ainda conforme o INPE:

$$PDI = t_i$$

$$UDI = tt_j - x_{1j}$$

$$PDT = t_i + x_{1j}$$

$$UDT = tt_j$$

$$FT = UDI - PDI$$

$$FL = FT + t_j - tt_j$$

- c) Caminho crítico. E obtido pela determinação do caminho formado pelas atividades com folgas nulas, os quais são indicados por um asterisco ao lado das atividades críticas na primeira coluna dos relatórios impressos (CC).

#### 4.4.2. Algoritmo do fluxo para PERT/CPM

O algoritmo do fluxo foi implementado conforme o fluxograma da fig. 34, sendo que as três etapas que o constituem foram apresentadas no capítulo anterior. Nota-se neste fluxograma que, para cada ciclo de aceleração, gera-se um conjunto de dados com a duração e custo direto de cada atividade, o qual é armazenado no disco em um arquivo temporário ( extensão .TMP), sendo descartado ao se finalizar o programa. Também a cada ciclo de aceleração, é apresentado no monitor de vídeo os resultados de duração, custo direto, custo indireto e custo total, totalizados para o projeto.

#### 4.5. RELATÓRIOS

E através dos relatórios impressos que o programa fornece as informações mais importantes do processo de aceleração, ou seja, a duração e custo direto de cada atividade, individualmente; e o efeito da interdependência das atividades - através das datas e folgas - na rede PERT/CPM.

O menu de relatórios (quarta opção do menu principal) possui três opções, sendo que as duas primeiras fornecem apenas os relatórios PERT/CPM para atividades com programação normal e de máxima aceleração, obtidos com os dados básicos do projeto, sem sofrer aceleração (fig. 41). A terceira opção nos remete ao submenu de relatórios de aceleração, cujas opções são as seguintes:

- a) Relatório resumo. Este relatório é semelhante ao que é apresentado no vídeo duração o processo de aceleração, com informações totalizadas para o projeto, referentes à duração, custo direto, custo indireto e custo total (fig. 43).
- b) Relatórios de atividades aceleradas. Permite a obtenção de relatórios PERT/CPM das atividades do projeto para cada ciclo de aceleração, conforme o passo de aceleração adotado (fig. 42). As atividades que sofreram aceleração em cada ciclo são identificadas pelo sinal ">" ao lado do custo direto. Ao se escolher esta opção, o programa solicita a introdução da duração inicial e final do projeto na curva de tempo-custo, de cujo intervalo deseja-se os relatórios. Também aqui se fez uso de valores default, que para duração inicial é a programação normal das atividades e para duração final é a programação de máxima aceleração. Para aceitar estes valores basta pressionar ENTER, e para modificá-los basta introduzir as durações desejadas, obtendo-se assim relatórios apenas para um subintervalo das durações possíveis

A D P Relatório de atividades para duração normal PROJETO: Stanger DATA: 26/4/89

CC	NUM	EVENTOS	NOME DA ATIVIDADE	DUR	FDI	POT	UDI	UDT	FL	FT	CUSTO
*	1	1- 2	Construção de caminhos de acesso	4.0	0.0	4.0	0.0	4.0	0.0	0.0	5.00
	2	1- 3	Construção de cidade p/ administração	4.0	0.0	4.0	6.0	10.0	6.0	6.0	3.00
	3	1- 4	Especificação de material elétrico	12.0	0.0	12.0	12.0	24.0	8.0	12.0	150.00
*	4	2- 3	Preparação de pedreiras e fundações	6.0	4.0	10.0	4.0	10.0	0.0	0.0	11.00
	5	2- 4	Construção de galerias e canais de fuga	7.0	4.0	11.0	17.0	24.0	9.0	13.0	18.00
	6	3- 4	Construção da usina	10.0	10.0	20.0	14.0	24.0	0.0	4.0	10.00
*	7	3- 5	Construção da barragem e diques	24.0	10.0	34.0	10.0	34.0	0.0	0.0	147.00
	8	4- 5	Montagem da usina e condutos	10.0	20.0	30.0	24.0	34.0	4.0	4.0	4.00
*	9	5- 6	Teste de funcionamento	3.0	34.0	37.0	34.0	37.0	0.0	0.0	2.00

duração total : 37.0 períodos

Custo direto total : Cr\$ 350.00

Figura 41 - Relatórios PERT/CPM sem aceleração

(Atividades com duração normal)

A D P Relatório de atividades para duração acelerada PROJETO: Stanger DATA: 26/4/89

CC	NUM	EVENTOS	NOME DA ATIVIDADE	DIJR	FOI	PDT	UDI	UDT	FL	FT	CUSTO
*	1	2	Construcao de caminhos de acesso	2.0	0.0	2.0	0.0	2.0	0.0	0.0	15.00
	2	3	Construcao de cidade o/ administracao	2.0	0.0	2.0	5.0	7.0	5.0	5.0	11.00
	3	1- 4	Especificacao de material eletrico	9.0	0.0	9.0	10.0	19.0	6.0	10.0	180.00
*	4	2- 3	Preparacao de pedreiras e fundacoes	5.0	2.0	7.0	2.0	7.0	0.0	0.0	30.00
	5	2- 4	Construcao de galerias e canais de fuga	6.0	2.0	8.0	13.0	19.0	7.0	11.0	30.00
	6	3- 4	Construcao da usina	8.0	7.0	15.0	11.0	19.0	0.0	4.0	20.00
*	7	3- 5	Construcao da barragem e diques	19.0	7.0	26.0	7.0	26.0	0.0	0.0	212.00
	8	4- 5	Montagem da usina e condutos	7.0	15.0	22.0	19.0	26.0	4.0	4.0	25.00
*	9	5- 6	Teste de funcionamento	2.0	26.0	28.0	26.0	28.0	0.0	0.0	5.00

duracao total : 28.0 periodos

Custo direto total : Cz\$ 528.00

Figura 41 - Continuação  
(Atividades com duração de máxima aceleração)

A D P Relatório de atividades em aceleração PROJETO: Stanger DATA: 26/4/89

CC	NUM	EVENTOS	NOME DA ATIVIDADE	DUR	PDI	PDT	UDI	UDT	FL	FT	CUSTO
*	1	2	Construcao de caminhos de acesso	4.0	0.0	4.0	0.0	4.0	0.0	0.0	5.00
	2	3	Construcao de cidade o/ administracao	4.0	0.0	4.0	6.0	10.0	6.0	6.0	3.00
	3	4	Especificacao de material eletrico	12.0	0.0	12.0	12.0	24.0	8.0	12.0	150.00
*	4	3	Preparacao de pedreiras e fundacoes	6.0	4.0	10.0	4.0	10.0	0.0	0.0	11.00
	5	2- 4	Construcao de galerias e canais de fuga	7.0	4.0	11.0	17.0	24.0	9.0	13.0	18.00
	6	3- 4	Construcao da usina	10.0	10.0	20.0	14.0	24.0	0.0	4.0	10.00
*	7	3- 5	Construcao da barragem e diques	24.0	10.0	34.0	10.0	34.0	0.0	0.0	147.00
	8	4- 5	Montagem da usina e condutos	10.0	20.0	30.0	24.0	34.0	4.0	4.0	4.00
*	9	5- 6	Teste de funcionamento	2.0	34.0	36.0	34.0	36.0	0.0	0.0	5.00 >

duracao total : 36.0 periodos

Custo direto total : R\$ 353.00

Figura 42 - Relatórios PERT/CPM com aceleração

(Atividades aceleradas de forma otimizada)

A D P Relatório de atividades em aceleração PROJETO: Stanger DATA: 26/4/89

CC	NUM	EVENTOS	NOME DA ATIVIDADE	DUR	PDI	PDT	UDI	UDT	FL	FT	CUSTO
*	1	1- 2	Construção de caminhos de acesso	3.0	0.0	3.0	0.0	3.0	0.0	0.0	10.00
	2	1- 3	Construção de cidade o/ administracao	4.0	0.0	4.0	5.0	9.0	5.0	5.0	3.00
	3	1- 4	Especificação de material elétrico	12.0	0.0	12.0	11.0	23.0	7.0	11.0	150.00
*	4	2- 3	Preparação de pedreiras e fundações	6.0	3.0	9.0	3.0	9.0	0.0	0.0	11.00
	5	2- 4	Construção de galerias e canais de fuga	7.0	3.0	10.0	16.0	23.0	9.0	13.0	18.00
	6	3- 4	Construção da usina	10.0	9.0	19.0	13.0	23.0	0.0	4.0	10.00
*	7	3- 5	Construção da barragem e diques	24.0	9.0	33.0	9.0	33.0	0.0	0.0	147.00
	8	4- 5	Montagem da usina e condutos	10.0	19.0	29.0	23.0	33.0	4.0	4.0	4.00
*	9	5- 6	Teste de funcionamento	2.0	33.0	35.0	33.0	35.0	0.0	0.0	5.00

duracao total : 35.0 periodos

Custo direto total : Cz\$ 358.00

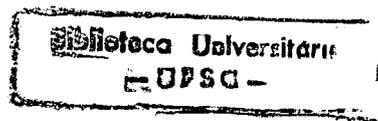


Figura 42 - Continuação

CC	NUM	EVENTOS	NOME DA ATIVIDADE	DUR	PDI	PDT	UDI	UDT	FL	FT	CUSTO
*	1	2	Construcao de caminhos de acesso	2.0	0.0	2.0	0.0	2.0	0.0	0.0	15.00
	2	1- 3	Construcao de cidade o/ administracao	4.0	0.0	4.0	4.0	3.0	4.0	4.0	3.00
	3	1- 4	Especificacao de material eletrico	12.0	0.0	12.0	10.0	22.0	6.0	10.0	150.00
*	4	2- 3	Preparacao de pedreiras e fundacoes	6.0	2.0	8.0	2.0	8.0	0.0	0.0	11.00
	5	2- 4	Construcao de galerias e canais de fuga	7.0	2.0	9.0	15.0	22.0	9.0	13.0	18.00
	6	3- 4	Construcao da usina	10.0	8.0	18.0	12.0	22.0	0.0	4.0	10.00
*	7	3- 5	Construcao da barragem e diques	24.0	8.0	32.0	8.0	32.0	0.0	0.0	147.00
	8	4- 5	Montagem da usina e condutos	10.0	18.0	28.0	22.0	32.0	4.0	4.0	4.00
*	9	5- 6	Teste de funcionamento	2.0	32.0	34.0	32.0	34.0	0.0	0.0	5.00

duracao total : 34.0 periodos

Custo direto total : Cz\$ 363.00

Figura 42 - Continuação

CC	NUM	EVENTOS	NOME DA ATIVIDADE	DUR	PDI	PDT	UDI	UDT	FL	FT	CUSTO
*	1	1- 2	Construção de caminhos de acesso	2.0	0.0	2.0	0.0	2.0	0.0	0.0	13.00
	2	1- 3	Construção de cidade o/ administracao	4.0	0.0	4.0	4.0	8.0	4.0	4.0	3.00
	3	1- 4	Especificacao de material electrico	12.0	0.0	12.0	9.0	21.0	6.0	9.0	150.00
*	4	2- 3	Preparacao de pedreiras e fundacoes	6.0	2.0	8.0	2.0	8.0	0.0	0.0	11.00
	5	2- 4	Construcao de galerias e canais de fuga	7.0	2.0	9.0	14.0	21.0	9.0	12.0	18.00
	6	3- 4	Construcao da usina	10.0	8.0	18.0	11.0	21.0	0.0	3.0	10.00
*	7	3- 5	Construcao da barragem e diques	23.0	8.0	31.0	8.0	31.0	0.0	0.0	160.00 >
	8	4- 5	Montagem da usina e condutos	10.0	18.0	28.0	21.0	31.0	3.0	3.0	4.00
*	9	5- 6	Teste de funcionamento	2.0	31.0	33.0	31.0	33.0	0.0	0.0	5.00

duracao total : 33.0 periodos

Custo direto total : Czs 376.00

Figura 42 - Continuação

A D P Relatório de atividades em aceleração PROJETO: Stanger DATA: 25/4/89

CC	NUM	EVENTOS	NOME DA ATIVIDADE	DUR	PDI	PDT	MDI	UDT	FL	FT	CUSTO
*	1	2	Construção de caminhos de acesso	2.0	0.0	2.0	0.0	2.0	0.0	0.0	15.00
	2	3	Construção de cidade p/ administração	4.0	0.0	4.0	4.0	8.0	4.0	4.0	3.00
	3	4	Especificação de material elétrico	12.0	0.0	12.0	8.0	20.0	6.0	8.0	150.00
*	4	3	Preparação de pedreiras e fundações	6.0	2.0	8.0	2.0	8.0	0.0	0.0	11.00
	5	4	Construção de galerias e canais de fuga	7.0	2.0	9.0	13.0	20.0	9.0	11.0	18.00
	6	4	Construção da usina	10.0	8.0	18.0	10.0	20.0	0.0	2.0	10.00
*	7	3	Construção da barragem e diques	22.0	8.0	30.0	8.0	30.0	0.0	0.0	173.00 >
	8	5	Montagem da usina e condutos	10.0	18.0	28.0	20.0	30.0	2.0	2.0	4.00
*	9	6	Teste de funcionamento	2.0	30.0	32.0	30.0	32.0	0.0	0.0	5.00

duracao total : 32.0 periodos

Custo direto total : Czs 389.00

Figura 42 - Continuação

A D P Relatório de atividades em aceleração PROJETO: Stanger DATA: 25/4/89

CC	NUM	EVENTOS	NOME DA ATIVIDADE	DUR	PDI	PDT	LDI	UDT	FL	FT	CUSTO
*	1	2	Construção de caminhos de acesso	2.0	0.0	2.0	0.0	2.0	0.0	0.0	15.00
	2	3	Construção de cidade p/ administração	4.0	0.0	4.0	4.0	8.0	4.0	4.0	3.00
	3	4	Especificação de material elétrico	12.0	0.0	12.0	7.0	19.0	6.0	7.0	150.00
*	4	3	Preparação de pedreiras e fundações	6.0	2.0	8.0	2.0	8.0	0.0	0.0	11.00
	5	4	Construção de galerias e canais de fuga	7.0	2.0	9.0	12.0	19.0	9.0	10.0	18.00
	6	4	Construção da usina	10.0	8.0	18.0	9.0	19.0	0.0	1.0	10.00
*	7	5	Construção da barragem e diques	21.0	8.0	29.0	8.0	29.0	0.0	0.0	185.00 >
	8	5	Montagem da usina e condutos	10.0	18.0	28.0	19.0	29.0	1.0	1.0	4.00
*	9	6	Teste de funcionamento	2.0	29.0	31.0	29.0	31.0	0.0	0.0	5.00

duracao total : 31.6 periodos

Custo direto total : Cz\$ 402.00

Figura 42 - Continuação

A D P Relatório de atividades em aceleracao PROJETO: Stanger DATA: 26/4/89

CC	NUM	EVENTOS	NOME DA ATIVIDADE	DUR	PDI	PDT	UDI	UDT	FL	FT	CUSTO
*	1	1- 2	Construcao de caminhos de acesso	2.0	0.0	2.0	0.0	2.0	0.0	0.0	15.00
	2	1- 3	Construcao de cidade p/ administracao	4.0	0.0	4.0	4.0	8.0	4.0	4.0	3.00
	3	1- 4	Especificacao de material eletrico	12.0	0.0	12.0	6.0	18.0	6.0	6.0	150.00
*	4	2- 3	Preparacao de pedreiras e fundacoes	6.0	2.0	8.0	2.0	8.0	0.0	0.0	11.00
	5	2- 4	Construcao de galerias e canais de fuga	7.0	2.0	9.0	11.0	18.0	9.0	9.0	18.00
*	6	3- 4	Construcao da usina	10.0	8.0	18.0	8.0	18.0	0.0	0.0	10.00
*	7	3- 5	Construcao da barragem e diques	20.0	8.0	28.0	8.0	28.0	0.0	0.0	199.00
*	8	4- 5	Montagem da usina e condutos	10.0	18.0	28.0	18.0	28.0	0.0	0.0	4.00
*	9	5- 6	Teste de funcionamento	2.0	28.0	30.0	28.0	30.0	0.0	0.0	5.00

duracao total : 30.0 periodos

Custo direto total : Cz# 415.00

Figura 42 - Continuação

A D P Relatório de atividades em aceleração PROJETO: Stanger DATA: 26/4/89

CC	NUM	EVENTOS	NOME DA ATIVIDADE	DUR	FDI	PDT	UDI	UDT	FL	FT	CUSTO
*	1	2	Construção de caminhos de acesso	2.0	0.0	2.0	0.0	2.0	0.0	0.0	15.00
	2	3	Construção de cidade e/ administração	4.0	0.0	4.0	4.0	8.0	4.0	4.0	3.00
	3	4	Especificação de material elétrico	12.0	0.0	12.0	5.0	17.0	5.0	5.0	150.00
*	4	3	Preparação de pedreiras e fundações	6.0	2.0	8.0	2.0	8.0	0.0	0.0	11.00
	5	4	Construção de galerias e canais de fuga	7.0	2.0	9.0	10.0	17.0	8.0	9.0	19.00
*	6	4	Construção da usina	9.0	8.0	17.0	8.0	17.0	0.0	0.0	15.00 >
*	7	5	Construção da barragem e diques	19.0	8.0	27.0	8.0	27.0	0.0	0.0	212.00 >
*	8	5	Montagem da usina e condutos	10.0	17.0	27.0	17.0	27.0	0.0	0.0	4.00
*	9	6	Teste de funcionamento	2.0	27.0	29.0	27.0	29.0	0.0	0.0	5.00

duração total : 29.0 períodos

Custo direto total : Cz\$ 433.00

Figura 42 - Continuação

CC	NUM	EVENTOS	NOME DA ATIVIDADE	DUR	FDI	PDT	UDI	UDT	FL	FT	CUSTO
*	1	2	Construcao de caminhos de acesso	2.0	0.0	2.0	0.0	2.0	0.0	0.0	15.00
	2	1- 3	Construcao de cidade o/ administracao	4.0	0.0	4.0	3.0	7.0	3.0	3.0	3.00
	3	1- 4	Especificacao de material electrico	12.0	0.0	12.0	4.0	16.0	4.0	4.0	150.00
*	4	2- 3	Preparacao de pedreiras e fundacoes	5.0	2.0	7.0	2.0	7.0	0.0	0.0	30.00 >
	5	2- 4	Construcao de galerias e canais de fuga	7.0	2.0	9.0	9.0	16.0	7.0	7.0	18.00
*	6	3- 4	Construcao da usina	9.0	7.0	16.0	7.0	16.0	0.0	0.0	15.00
*	7	3- 5	Construcao da barragem e diques	19.0	7.0	26.0	7.0	26.0	0.0	0.0	212.00
*	8	4- 5	Montagem da usina e condutos	10.0	16.0	26.0	16.0	26.0	0.0	0.0	4.00
*	9	5- 6	Teste de funcionamento	2.0	26.0	28.0	26.0	28.0	0.0	0.0	5.00

duracao total : 28.0 periodos

Custo direto total : Cz\$ 452.00

Figura 42 - Continuação

do projeto. E interessante comparar-se os relatórios do exemplo de Stanger para programação de máxima aceleração, sem aceleração (fig. 41b), com o último relatório de atividades aceleradas da fig. 42. Nota-se que, apesar de a duração total ser a mesma (28 meses), o custo direto do projeto sem aceleração é de 528 u.m., enquanto que após o processo de aceleração é de apenas 452 u.m.. Houve, portanto, uma redução de 76 u.m. (14,4 %), pela racionalização do projeto, ou seja, pela aplicação adicional de recursos apenas nas atividades onde se obteve como contrapartida uma redução na duração total.

A D P      Relatório resumo de aceleracao      PROJETO: Stanger

DURACAO	CUSTO DIRETO	CUSTO INDIRETO	CUSTO TOTAL
36.0	353.00	220.00	573.00
35.0	358.00	205.00	563.00
34.0	363.00	190.00	553.00
33.0	376.00	175.00	551.00
32.0	389.00	160.00	549.00
31.0	402.00	145.00	547.00
30.0	415.00	130.00	545.00
29.0	433.00	115.00	548.00
28.0	452.00	100.00	552.00

Figura 43 - Relatório resumo de aceleração.

- c) Relatório de duração ótima. Este relatório possui o mesmo formato do relatório de atividades aceleradas, porém é único, e apresenta as atividades programadas para a duração do projeto para a qual o custo total é mínimo, levando em consideração os custos diretos e indiretos, de acordo com o relatório resumo da fig. 43.

## 4.6. ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

Como mencionado anteriormente, as opções do menu alteração de dados podem ser utilizadas para se verificar o efeito de uma variação nos valores dos dados de entrada sobre os resultados obtidos pela aceleração do projeto. Considerando-se a incerteza existente em relação à confiabilidade dos dados de entrada, a qual é inerente a um processo de planejamento, pode-se dizer que uma análise de sensibilidade em torno dos resultados é tão importante quanto os próprios resultados. Com o ADP, dois tipos de análise de variação dos dados de entrada podem ser efetuadas:

### 4.6.1. Custos diretos

A linearização das curvas de tempo-custo direto das atividades introduz distorções na solução obtida através do processo de aceleração, haja visto que, para uma determinada duração do projeto, os custos reais podem diferir consideravelmente dos custos no modelo linear adotado. Esta questão foi abordada na seção 3.2.1, à nível teórico. Veremos agora uma forma de minimizar o problema, aproveitando-se dos recursos do menu alteração de dados de atividades do ADP.

Após a aceleração do projeto, a primeira providência a ser tomada é encontrar os custos diretos reais das atividades que efetivamente sofreram aceleração, ou seja, encontrar uma composição de recursos que permita a execução da atividade em questão na duração para a qual ela foi programada. Isto pode ser feito para uma determinada duração total do projeto, caso esta tenha sido previamente definida; ou para todas as durações possíveis, caso se queira uma análise de todas as alternativas disponíveis.

A fig. 44a mostra a curva real de uma atividade genérica (i,j) no intervalo compreendido entre a duração normal ( $P_D$ ) e a duração de máxima aceleração ( $P_d$ ). Conforme o modelo de aceleração adotado, estes pontos extremos definem a curva linear simpli-

ficada que substitui a curva real, da qual não temos conhecimento prévio. Suponhamos agora que o processo de aceleração tenha encontrado para esta atividade a duração e o custo direto correspondentes ao ponto  $P_K$  sobre a reta. A este ponto corresponde o ponto  $Q_K$  sobre a curva real. Se entrarmos agora no menu alteração de dados de atividades e alterarmos os valores de duração e custo acelerados das atividades que sofreram aceleração, para os valores correspondentes ao ponto  $Q_K$  e repetirmos o processo de aceleração, veremos que os resultados obtidos serão diferentes, mais próximos da realidade, pois a aceleração se deu agora sobre a curva  $P_D Q_K$ , com um custo marginal menor.

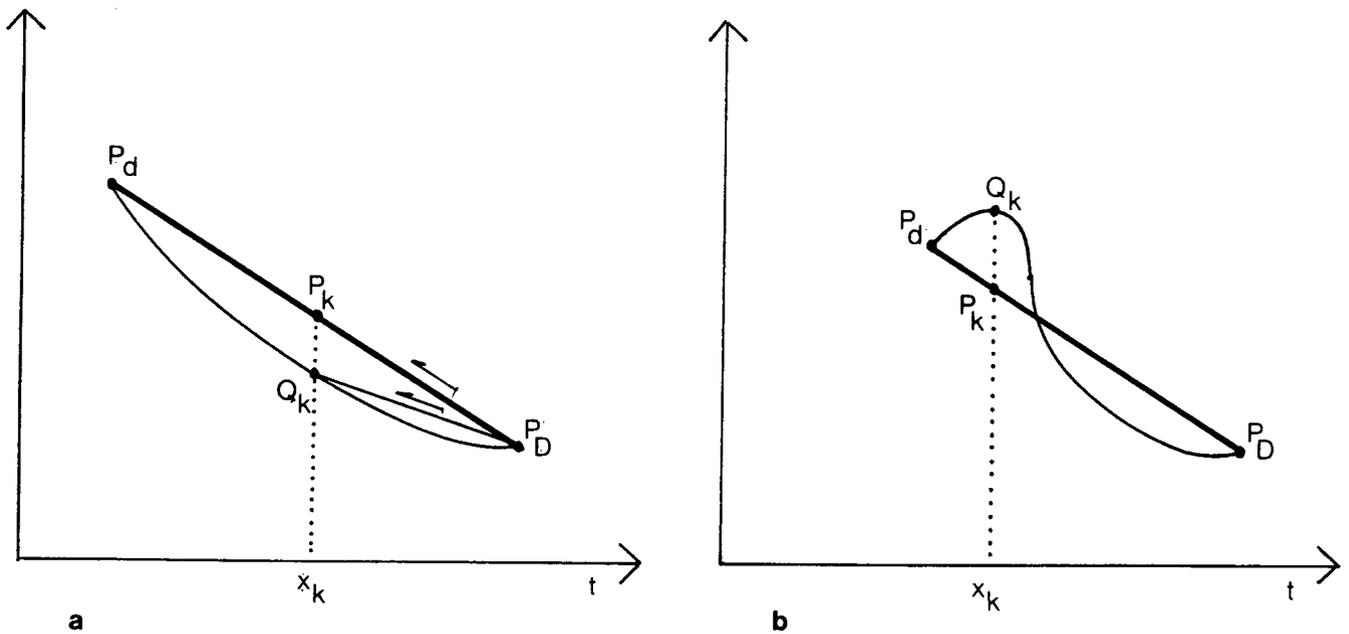


Figura 44 - Análise de sensibilidade - Custos diretos.

- a) Caso geral p/ atividade ij
- b) Curva com trecho convexo

Pode ocorrer que o ponto  $Q_K$  se encontre acima da curva linear, indicando com isto a existência de trechos convexos na curva real, conforme discutido na seção 3.2.1. Neste caso ele deve ser abandonado pois, como se observa na fig. 44b, este ponto representa um acréscimo de custo muito superior à redução correspondente na duração da atividade.

#### 4.6.2. Custos indiretos

Na seção 3.2.2 discutiu-se o efeito de uma variação nos custos indiretos sobre a curva de custos totais do projeto. No ADP esta análise se faz introduzindo-se um acréscimo percentual sobre os custos indiretos e acelerando-se novamente o projeto. Os resultados podem ser vistos no vídeo, durante o processo de aceleração, ou através do relatório resumo. A fig. 45a mostra a tela de vídeo de alteração de custos indiretos do exemplo de Stanger após a introdução de um acréscimo de 20% sobre os valores originais periódicos da fig. 38. Na fig. 45b têm-se a listagem dos novos resultados obtidos no monitor de vídeo. A fig. 46 mostra estes valores em um gráfico, comparando-os aos valores originais.

Também é possível simular-se as curvas de multas e prêmios, discutidas na seção 3.2.3, através da curva de custos indiretos, simplesmente modificando-se os valores de cada período em torno do prazo contratual estipulado. A fig. 47a mostra os custos indiretos do exemplo de Stanger com multas e prêmios de 3 u.m. e -3 u.m. para cada período além ou aquém de 33 meses, respectivamente, e na fig. 47b tem-se os resultados obtidos. No gráfico da fig. 48 nota-se o impacto destas curvas no custo total do projeto.

Os exemplos acima apresentam custos indiretos periódicos constantes, no entanto é importante ressaltar que as três opções do menu alteração de custos indiretos do ADP permitem a criação de curvas complexas, mais próximas da realidade.

U F S C / D E P S / P P G E P - 1 9 8 8  
 Aceleracao de Projetos pelo Algoritmo do Fluxo de Ford-Fulkerson

Duracao	Custo Direto	Custo Indireto	Custo Total
37.0	350.00	247.00	597.00
36.0	353.00	229.00	582.00
35.0	358.00	211.00	569.00
34.0	363.00	193.00	556.00
33.0	376.00	175.00	551.00
32.0	389.00	157.00	546.00
31.0	402.00	139.00	541.00
30.0	415.00	121.00	536.00
29.0	433.00	103.00	536.00
28.0	452.00	85.00	537.00

Pressione qualquer tecla para retornar ao menu.

Projeto: Stanger

b

U F S C / D E P S / P P G E P - 1 9 8 8  
 Aceleracao de Projetos pelo Algoritmo do Fluxo de Ford-Fulkerson

Periodo	C u s t o i n d i r e t o
21	0.00 //
22	0.00 //
23	0.00 //
24	0.00 //
25	0.00 //
26	0.00 //
27	0.00 //
28	0.00 //
29	18.00 //
30	18.00 //
31	18.00 //
32	18.00 //
33	18.00 //
34	18.00 //
35	18.00 //
36	18.00 //
37	18.00 //

Projeto: Stanger

a

Figura 45 - Exemplo de acrescimo percentual nos custos indiretos.

- a) Custos indiretos com acrescimo de 20%  
 b) Novos resultados.

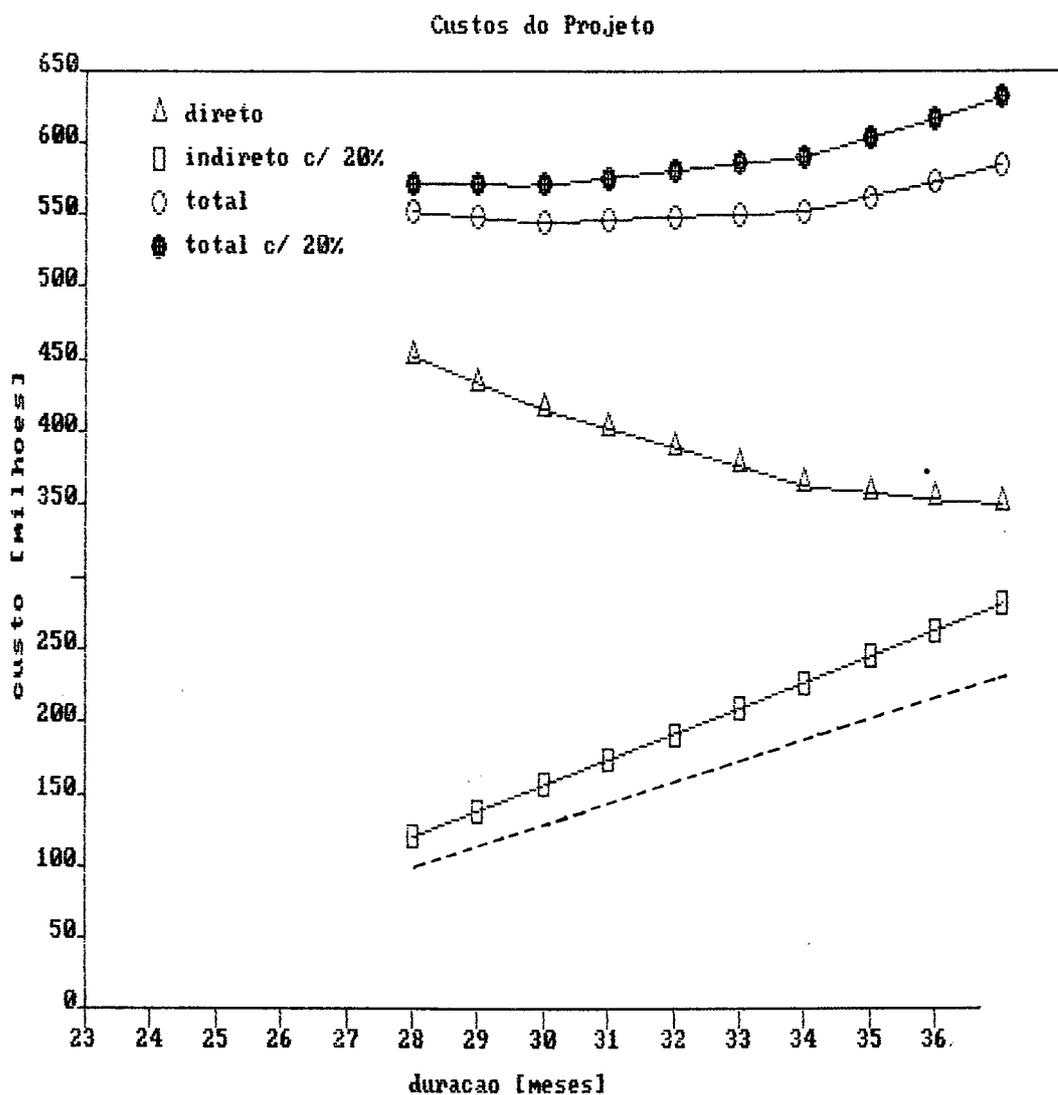


Figura 46 - Gráfico comparativo das curvas de custos do projeto, com e sem um acréscimo de 20% nos custos indiretos.

U F S C / D E P S / P P G E P - 1 9 8 8  
 Aceleracao de Projetos pelo Algoritmo do Fluxo de Ford-Fulkerson

Periodo	C u s t o	i n d i r e t o
21	0.00	//
22	0.00	//
23	0.00	//
24	0.00	//
25	0.00	//
26	0.00	//
27	0.00	//
28	0.00	// -15
29	18.00	//
30	18.00	//
31	18.00	//
32	18.00	//
33	18.00	//
34	18.00	//
35	18.00	//
36	18.00	//
37	18.00	//

Projeto: Stanger

a

U F S C / D E P S / P P G E P - 1 9 8 8  
 Aceleracao de Projetos pelo Algoritmo do Fluxo de Ford-Fulkerson

Duracao	Custo Direto	Custo Indireto	Custo Total
37.0	350.00	282.00	632.00
36.0	353.00	264.00	617.00
35.0	358.00	246.00	604.00
34.0	363.00	228.00	591.00
33.0	376.00	210.00	586.00
32.0	389.00	192.00	581.00
31.0	402.00	174.00	576.00
30.0	415.00	156.00	571.00
29.0	433.00	138.00	571.00
28.0	452.00	120.00	572.00

Pressione qualquer tecla para retornar ao menu.

Projeto: Stanger

b

Figura 47 - Exemplo de simulacao de multas e premios nos custos indiretos.

a) Custos indiretos com multas e premios de -3 e +3 u.m. para periodos alem e aquem de 33 meses.

b) Novos resultados.

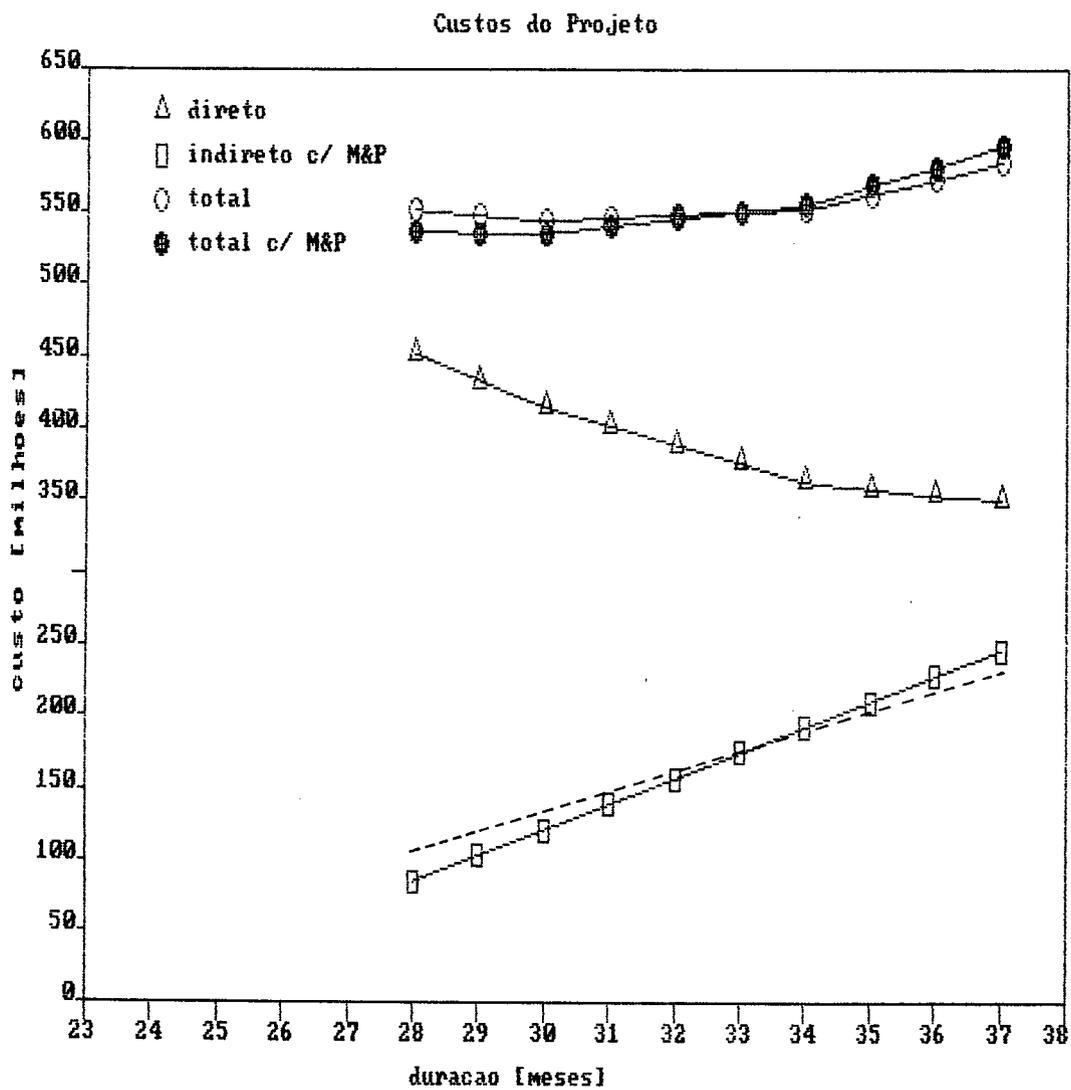


Figura 48 - Gráfico comparativo das curvas de custos do projeto, com e sem multas e prêmios.

## CAPÍTULO V

# CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

### 5.1. CONCLUSÕES

A aplicação principal da técnica de aceleração é na otimização da curva de tempo-custo direto. A análise das alternativas geradas pelo processo de aceleração, para cada duração total do projeto, possibilita a determinação da melhor combinação de tempo-custo/recursos para cada atividade. Estas combinações, quando determinadas por meio de métodos intuitivos e/ou empíricos, não garantem escolhas adequadas que permitam a racionalização do planejamento do projeto.

A otimização do projeto em termos de custos totais tem uma importância secundária, e deve ser analisada de forma conjunta com outros fatores, tais como o planejamento estratégico da empresa, tipo do contrato, experiência anterior e, principalmente, a precisão das estimativas de custos indiretos. Neste caso, uma análise de sensibilidade em torno da duração total do projeto tende a ser mais proveitosa do que a determinação desta duração.

O processo de aceleração, quando efetuado através de métodos manuais, por ser demorado e sujeito a erros, limita-se às

fases iniciais de planejamento, e apenas a nível de subprojetos. A dinâmica e a incerteza, inerentes ao ambiente de projetos, são fatores limitantes ao uso de ferramentas de análise cuja aplicação seja demorada, notadamente durante as fases de execução. Nestas, a grande massa de informações geradas a nível operacional, resultantes do processo de planejamento e controle, exigem o emprego de recursos computacionais adequados, que propiciem uma análise rápida e precisa destas informações, de forma a auxiliar a tomada de decisão.

A utilização de recursos computacionais no processo de aceleração possibilita a sua aplicação também no replanejamento do projeto durante a sua execução, quando da atuação dos procedimentos de controle, ampliando a gama de benefícios da análise. Neste sentido, mesmo sendo apenas uma plataforma de testes, o ADP revela-se uma importante ferramenta de apoio à decisão no planejamento e controle de um projeto.

## 5.2. RECOMENDAÇÕES

O ADP pode ser melhorado em vários aspectos, entre os quais podemos citar:

- Desenvolvimento em outras linguagens, como C ou mesmo Turbo Pascal versão 4, que possibilitam uma melhor utilização da memória disponível em microcomputadores do tipo PC.
- Estrutura de dados mais elaborada, de forma a otimizar o uso da memória, utilizando-se dos recursos de endereçamento dinâmico das linguagens acima mencionadas.

- Uso de vários coeficientes de custo marginal para cada atividade, facilitando o levantamento e análise das curvas reais de custos diretos.
  
- Inclusão de funções comuns em gerenciadores de projetos comerciais, como a estrutura WBS, cronogramas, orçamentos e rede PERT/CPM com sumarização em vários níveis, calendários para a programação das atividades, módulo gráfico para desenhos no vídeo e impressoras, etc.

Refinamentos adicionais não envolvem o processo de aceleração em si, mas o seu relacionamento com outros subsistemas administrativos, de modo a formar um sistema integrado de planejamento e controle. O desenvolvimento de tal sistema, dada a sua abrangência, é possível apenas para uma empresa específica, pois é o software que deve se adaptar ao sistema empresarial, e não o contrário. A este sistema integrado, outros processos de otimização podem ser incluídos, tais como programação de multiprojetos, otimização de recursos limitados e otimização de fluxo de caixa.

## BIBLIOGRAFIA

01. ACKOFF, Russel L. & SASIENI, Maurice W. Pesquisa Operacional. Rio de Janeiro, LTC, 1974.
02. ANTILL, James & WOODHEAD, Ronald W. Critical Path Methods in Construction Practice. 3. ed., New York, John Wiley, 1982.
03. ANUARIO CWB DE INFORMATICA 86/87. Rio de Janeiro, Computerworld do Brasil.
04. ARCHIBALD, Russel D. Managing High-Technology Programs and Projects. New York, John Wiley, 1976.
05. \_\_\_\_\_ & VILLORIA, Richard L. Network Based Management Systems (PERT/CPM). New York, John Wiley, 1967.
06. ASSAD, Arjang A. & WASIL, Edward A. Project Management Using a Microcomputer. Computers & Operation Research, vol. 13, n. 213, p. 231-60, 1986.
07. BARNES, Martin. Financial Control of Construction. In: WEARNE, S. H., ed. Control of Engineering Projects. London, Edward Arnold, 1974.
08. BATTERSBY, Albert. Planificación y Programación de Proyectos Complejos. Barcelona, Editorial Ariel, 1973.
09. BOITEAUX, Colbert D. PERT/CPM/ROY e Outras Técnicas de Programação e Controle. Rio de Janeiro, LTC, 1986.
10. BORGES, Paulo S. da Silva. Estratégia de Concorrências: Um Modelo Determinístico. Dissertação de mestrado, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, UFSC, 1986.
11. CAUTELA, Alciney L. & POLLONI, Eurico G. F. Sistemas de Informação - Técnicas Avançadas de Computação. São Paulo, McGraw-Hill, 1982.

12. CLELAND, David I. & KING, Willian R. Análise de Sistemas e Administração de Projetos. São Paulo, Pioneira, 1978.
13. ELMAGHRABY, Salah E. The Design of Production Systems. New York, Reinhold Publishing, 1966.
14. FURTADO, Antonio L. Teoria dos Grafos: Algoritmos. Rio de Janeiro, USP/LTC, 1973.
15. GANE, Chris & SARSON, Trish. Análise Estruturada de Sistemas. Rio de Janeiro, LTC, 1983.
16. GERHARD, Mário. Engenharia de Projeto. In: Curso de Coordenação de Projetos Industriais. Rio de Janeiro, IBP, 1982.
17. HIRSCHFELD, Henrique. Planejamento com PERT/CPM e Análise de Desempenho. São Paulo, Atlas, 1987.
18. INPE. Engenharia de Sistemas: Planejamento e Controle de Projetos. Petrópolis, Vozes, 1980.
19. JONES, Ary M. Marketing de Serviços de Engenharia. Rio de Janeiro, LTC, 1983.
20. LAUGENI, Fernando P. Análise de Projetos de Engenharia. Seminário especial, CELACADE, São Paulo, 1986.
21. OLIVEIRA, Djalma P. R. Planejamento Estratégico. São Paulo, Atlas, 1986.
22. PHILLIPS, Dan T.; RAVINDRAN, A. & SOLBERG, James. Operations Research: Principles and Practice. New York, John Wiley, 1976.
23. REIS, José R. et alli. Manual de Engenharia de Sistemas e Projetos. Petrópolis, Vozes, 1980.
24. STANGER, Luiz B. PERT/CPM - Técnica de Planejamento e Controle. Rio de Janeiro, LTC, 1974.
25. VALLE, Cyro E. do. Implantação de Indústrias. Rio de Janeiro, LTC, 1975.

26. VASCONCELLOS, Eduardo. Como gerir a empresa que lida com inovação. Negócios em Exame, São Paulo, Abril, maio de 1979.
27. WHITEHOUSE, Gary E. Systems Analysis and Design Using Network Techniques. Englewood Cliffs, Prentice-Hall, 1973.
28. WONGTSCHOWSKI, Pedro. Implantação de Projetos Industriais. In: Curso de Coordenação de Projetos Industriais. Rio de Janeiro, IBP, 1982.
29. \_\_\_\_\_ Coordenação de Projetos Industriais. In: Curso de Coordenação de Projetos Industriais. Rio de Janeiro, IBP, 1982.

## ANEXO - Código fonte do ADP (Acelerador de Projetos)

```

program ADP;
{
    UFSC/ DEPS/ PPGEF - 1988
    Sistema Acelerador de Projetos
    Autor: Jose Severino Favero
}
Const
    N=99;
    A=99;

Type
    bit = 0..1;
    matriz = array[1..N,1..N] of bit;
    codvetor = array[1..A] of integer;
    vertice = array[1..N] of real;
    vetorativ = array[1..A] of real;
    vetorsinal = array[1..A] of char;
    regativ = record
        numero : integer;
        nome : string[43];
        durnor,
        custnor,
        durace,
        custace,
        duroti,
        custoti : real;
    end;
    regace = record
        durtotal,
        cdirtotal : real;
        duracao,
        custodireto : vetorativ;
        durasinal : vetorsinal;
    end;
    arqace = file of regace;
    arqativ = file of regativ;
    arqmatriz = file of matriz;
    arqcindi = file of vetorativ;
    nome = string[12];
    mensagem = string[30];

Var
    i, j, k, c, nn, na, op, op1, contareg : integer;
    passo, cinditotal, custototalotimo, duratotalotima : real;
    opchar, opchar1 : char;
    opotima : boolean;
    arquivo : string[8];
    cedo, tarde : vertice;
    atividade : regativ;
    discativ : arqativ;
    cindi : vetorativ;
    codativ : codvetor;
    matradj : matriz;
    discmatradj : arqmatriz;
    discace : arqace;
    aceleracao : regace;
    discocindi : arqcindi;

```

```

procedure bip(frequencia, tempo: integer);
begin
  sound(frequencia);
  delay(tempo);
  nosound;
end;

procedure DataHora(var ano, mes, dia, hora, min, seg : integer);
type
  registros = record
    case integer of
      1: (Ax, Bx, Cx, Dx, Bp, Si, Di, Ds, Es, Flags :
integer);
      2: (Al, Ah, Bl, Bh, Cl, Ch, Dl, Dh : byte);
    end;
var
  a : registros;
begin
  a.ax:=$2c00; MsDos(a);
  hora:=a.ch; min:=a.cl; seg:=a.dh;
  a.ax:=$2a00; MsDos(a);
  ano:=a.cx; mes:=a.dh; dia:=a.dl;
end;

procedure JanelaDupla;
begin
  gotoxy(5,1); write(#201);
  for i:=6 to 74 do write(#205);
  write(#187);
  for i:=2 to 3 do
  begin
    gotoxy(5,i); write(#186);
    gotoxy(75,i); write(#186);
  end;
  gotoxy(5,4); write(#204);
  for i:=6 to 74 do write(#205);
  write(#185);
  for i:=5 to 23 do
  begin
    gotoxy(5,i); write(#186);
    gotoxy(75,i); write(#186);
  end;
  gotoxy(5,24); write(#200);
  for i:=6 to 74 do write(#205);
  write(#188);
end;

procedure InverteCor;
begin
  TextColor(0);
  TextBackground(7);
end;

procedure RetornaCor;
begin
  TextColor(7);
  TextBackground(0);

```

```

end;

procedure EscreveMensagem(c: integer; msg: mensagem);
var x,y : integer;
begin
  x:=whereX;
  y:=whereY;
  window(1, 1, 80, 25);
  gotoxy(c, 25); write(msg);
  window(10, 5, 70, 23);
  gotoxy(x, y);
end;

procedure ApagaMensagem(c: integer);
var x,y : integer;
begin
  x:=whereX;
  y:=whereY;
  window(1, 1, 80, 25);
  gotoxy(c, 25); clrscr;
  window(10, 5, 70, 23);
  gotoxy(x, y);
end;

procedure OpcaoErrada;
begin
  bip(110, 50);
  EscreveMensagem(50, '  Caracter indefinido');
  delay(3000);
  ApagaMensagem(50);
end;

procedure AvisoDeImpressao;
begin
  clrscr;
  gotoxy(23, 9); write('Ligue a impressora');
  gotoxy(23, 11); write('e pressione ENTER');
  repeat until keypressed;
  clrscr;
  gotoxy(25, 10); write('Imprimindo...');
end;

procedure TelaNomeDoPrograma;
begin
  clrscr;
  arquivo:='';
  gotoxy(15, 2);write('U F S C / D E P S / P P G E P -
1 9 8 8');
  gotoxy(8, 3);write('Aceleracao de Projetos pelo Algoritmo do
Fluxo de Ford-Fulkerson');
  lowvideo;
  JanelaDupla;
  window(10, 5, 70, 23);
end;

procedure TelaMenuPrincipal;
begin
  clrscr;
  InverteCor;
  gotoxy(16, 3);write(' M e n u           P r i n c i p a l ');

```

```

RetornaCor;
gotoxy(20,7);write('1 - Entrada de dados');
gotoxy(20,9);write('2 - Alteracao de dados');
gotoxy(20,11);write('3 - Aceleracao do projeto');
gotoxy(20,13);write('4 - Relatorios');
gotoxy(20,15);write('9 - Fim do programa');
gotoxy(20,15);
end;

procedure TelaEntradaDeDados;
begin
  InverteCor;
  gotoxy(16,3);write(' E n t r a d a   d e   d a d o s ');
  RetornaCor;
  gotoxy(18,8);write('1 - Novo projeto');
  gotoxy(18,10);write('2 - Projeto em disco');
  gotoxy(18,12);write('3 - Retorna ao Menu Principal');
end;

procedure TelaAlteracaoDeDados;
begin
  clrscr;
  InverteCor;
  gotoxy(12,3); write(' A l t e r a c a o   d e   D a d o s ');
  RetornaCor;
  gotoxy(17,8); write('1 - Atividades');
  gotoxy(17,10); write('2 - Custos Indiretos');
  gotoxy(17,12); write('3 - Retorna ao menu principal');
end;

procedure TelaMenuAlteracaoCustosIndiretos;
begin
  clrscr;
  InverteCor;
  gotoxy(2,3); write(' A l t e r a c a o   d e   C u s t o s   I
n d i r e t o s ');
  RetornaCor;
  gotoxy(15,8); write('1 - Percentual s/ valor anterior');
  gotoxy(15,10); write('2 - Altera valor individual/ listagem');
  gotoxy(15,12); write('3 - Altera valor em grupo/ listagem');
  gotoxy(15,14); write('4 - Retorna ao menu anterior');
end;

procedure DefinePasso;
begin
  repeat
    clrscr;
    InverteCor;
    gotoxy(12,3); write(' P a s s o   d e   A c e l e r a c a o
');
    RetornaCor;
    gotoxy(19,8); write('1 - Passo maximo');
    gotoxy(19,10); write('2 - Passo unitario');
    gotoxy(19,12); write('3 - Passo de meio periodo');
    read(kbd,opchar1);
    case opchar1 of
      '1': passo:=999;
      '2': passo:=1;
      '3': passo:=0.5;
      else OpcaoErrada;
    end;
  until opchar1 in '123';
end;

```

```

    end;
    until opchar1<='3';
end;

```

```

procedure TelaRelatorios;
begin
    clrscr;
    InverteCor;
    gotoxy(21,3); write(' R e l a t o r i o s ');
    RetornaCor;
    gotoxy(18,8);write('1 - Duracao normal');
    gotoxy(18,10);write('2 - Duracao acelerada');
    gotoxy(18,12);write('3 - Aceleracao do projeto');
    gotoxy(18,14);write('4 - Retorna ao Menu Principal');
end;

```

```

procedure TelaRelatoriosDeAceleracao;
begin
    clrscr;
    InverteCor;
    gotoxy(6,3); write(' R e l a t o r i o s   d e   A c e l e r
a c a o ');
    RetornaCor;
    gotoxy(17,8); write('1 - Resumo');
    gotoxy(17,10); write('2 - Atividades aceleradas');
    gotoxy(17,12); write('3 - Duracao otima');
    gotoxy(17,14); write('4 - Retorna ao menu anterior');
end;

```

```

procedure TelaLeCustoIndireto;
begin
    clrscr;
    write('Periodo          Custo indireto');
    writeln;
    for i:=1 to 60 do write(#196);
    writeln;
    window(10, 7, 70, 23);
end;

```

```

function relaciona(i,j : integer): integer;
var k,l,m : integer;
begin
    k:=0;
    repeat
        k:=k+1;
        l:=codativ[k] div 100;
        m:=codativ[k] mod 100;
    until (i=l) and (j=m);
    relaciona:=k;
end;

```

```

function ExisteArquivo(nomearq:nome): boolean;
var teste: file;
begin
    assign(teste,nomearq);
    {$I-}
    reset(teste);
    {$I+}
    if IOresult=0 then
    begin

```

```

    ExisteArquivo:=TRUE;
    close(teste);
end
else ExisteArquivo:=FALSE;
end;

procedure FimDoPrograma;
begin
    clrscr;
    gotoxy(27,10); write(' Tchau...');
    if existeArquivo(arquivo+'.ACE')=TRUE then erase(discace);
    delay(1000);
    window(1,1,80,25);
    clrscr;
    bip(660,40);
    exit;
end;

procedure GeraCodativ;
var i,j,k : integer;
begin
    fillchar(codativ,sizeof(codativ),0);
    k:=0;
    for i:=1 to N do
    begin
        for j:=i to N do
        begin
            if matradj[i,j]=1 then
            begin
                k:=k+1;
                codativ[k]:=i*100+j;
                nn:=j;
            end;
        end;
    end;
    na:=k;
end;

procedure LeDadosRede;
const EXT='.red';
var i,j,k,nosubs,px,errocod : integer;
    nosubsreal : real;
    nosubstring : string[3];
    nomearq : string[12];
begin
    repeat
        clrscr;
        gotoxy(20,10); write('Nome do projeto : ');read(arquivo);
        nomearq:=arquivo+EXT;
        assign(discmatradj,nomearq);
        if ExisteArquivo(nomearq)=TRUE then
        begin
            writeLn;
            gotoxy(20,12); write('Projeto existente');
            bip(330,50);
            delay(2000);
            op:=0;
        end
    else
        begin

```

```

        rewrite(discmatradj);
        op:=1;
    end;
until op=1;
writeln;
gotoxy(20,12); write('Numero de eventos : ');read(nn);
ApagaMensagem(5);
EscreveMensagem(5,'Projeto residente: '+arquivo);
clrscr;
fillchar(matradj,sizeof(matradj),0);
EscreveMensagem(45,'<ENTER> : novo evento inicial');
gotoxy(7,1); write('L i g a c o e s     e n t r e     e v e n t o
s');
writeln;
for i:=1 to 59 do write(#196);
window(10, 7, 70, 23);
writeln;
k:=1;
for i:=1 to nn-1 do
begin
    writeln;
    write(i,' ----> ');
    repeat
        px:=whereX ;read(nosubstring);
        if nosubstring='' then nosubs:=0
        else
            begin
                val(nosubstring,nosubsreal,errocod);
                nosubs:=trunc(nosubsreal);
            end;
        if (nosubs <= i) or (nosubs > nn) then
            begin
                gotoxy(px,whereY);
                clreol;
                bip(440,30)
            end
        else
            begin
                write(' - ');
                matradj[i,nosubs] := 1;
                k:=k+1;
            end;
    until nosubs = 0;
end;
na:=k;
write(discmatradj,matradj);
close(discmatradj);
ApagaMensagem(45);
end;

```

```

procedure LeDadosAtividades;
const  EXT = '.atv';
var    l,j,k : integer;
        nomearq : string[12];
begin
    k:=0;
    nomearq:=arquivo+EXT;
    assign(discativ,nomearq);
    rewrite(discativ);
    for i:=1 to nn do

```

```

begin
  for j:=i to nn do
    begin
      if matradj[i,j]=1 then
        begin
          clrscr;
          k:=k+1;
          codativ[k]:=i*100+j;
          InverteCor;
          gotoxy(15,4);write(' atividade ',k,'          eventos
',i,' - ',j,' ');
          RetornaCor;
          with atividade do
            begin
              numero:=k;
              gotoxy(10,8) ;write('Nome .....: ');read(nome);
              gotoxy(10,10);write('Duracao Normal ...:
');read(durnor);
              gotoxy(10,12);write('Custo Normal .....:
');read(custnor);
              gotoxy(10,14);write('Duracao Acelerada :
');read(durace);
              gotoxy(10,16);write('Custo Acelerado ...:
');read(custace);
              end;
              write(discativ,atividade);
              b1p(550,20);
            end;
          end;
        end;
      close(discativ);
    end;
  end;

procedure LeRedeDisco;
const  EXT='.red';
var    nomearq : string[12];
begin
  repeat
    clrscr;
    gotoxy(20,10); write('Nome do projeto : '); read(arquivo);
    nomearq:=arquivo+EXT;
    assign(discmatradj,nomearq);
    if ExisteArquivo(nomearq)=FALSE then
      begin
        writeln;
        gotoxy(20,12); write('Projeto inexistente');
        b1p(300,50);
        delay(2000);
        op:=0;
      end
    else
      begin
        reset(discmatradj);
        ApagaMensagem(5);
        EscreveMensagem(5,'Projeto residente: '+arquivo);
        op:=1;
      end;
  until op=1;
  read(discmatradj,matradj);
  close(discmatradj);

```

```

    GeraCodativ;
end;

procedure LeAtividadeDisco(i, j : integer);
const    EXT='.atv';
var      k: integer;
         nomearq: string[12];
begin
    nomearq:=arquivo+EXT;
    k:=relaciona(i, j);
    assign(discativ, nomearq);
    reset(discativ);
    seek(discativ, k-1);
    read(discativ, atividade);
    if atividade.numero<>k then write('erro em LeAtividadeDisco');
    close(discativ);
end;

procedure AbreArquivoCustoIndiretoLeitura;
const    EXT = '.CID';
var      nomearq : string[12];
begin
    nomearq:=arquivo+EXT;
    assign(discocindi, nomearq);
    reset(discocindi);
end;

procedure AbreArqAce;
const    EXT = '.ACE';
var      nomearq : string[12];
begin
    nomearq:=arquivo+EXT;
    assign(discace, nomearq);
    if ExisteArquivo(nomearq)=TRUE then reset(discace);
end;

procedure CalculaCedo(duracod: char);
var i, j, k: integer;
    temp: array[1..N] of real;
    maior: real;
begin
    fillchar(cedo, sizeof(cedo), 0);
    cedo[1]:=0;
    for j:=2 to nn do
    begin
        k:=1; i:=1;
        while i<>j do
        begin
            if MatrAdj[i, j]=1 then
            begin
                LeAtividadeDisco(i, j);
                op:=relaciona(i, j);
                with atividade do
                begin
                    case duracod of
                        'n': temp[k]:=durnor + cedo[i];
                        'a': temp[k]:=durace + cedo[i];
                        'o': temp[k]:=aceleracao.duracao[op] + cedo[i];
                    else write('Erro no seletor de duracod-cedo');
                    end {case}
                end;
            end;
        end;
    end;
end;

```

```

        end;
        k:=k+1;
    end;
    i:=i+1;
end;
maior:=temp[1];
if k>2 then
begin
    for i:=2 to k do
    begin
        if temp[i]>maior then maior:=temp[i];
    end;
    end;
    cedo[j]:=maior;
    fillchar(temp,sizeof(temp),0);
end;
end;
end;

procedure CalculaTarde(duracod : char);
var    i,j,k : integer;
       temp : array[1..N] of real;
       menor : real;
begin
    fillchar(tarde,sizeof(tarde),0);
    Tarde[nn]:=cedo[nn];
    for i:=nn-1 downto 1 do
    begin
        k:=1; j:=nn;
        while i<>j do
        begin
            if matradJ[i,j]=1 then
            begin
                LeAtividadeDisco(i,j);
                op:=relaciona(i,j);
                with atividade do
                begin
                    case duracod of
                        'n' : temp[k]:=tarde[j]-durnor;
                        'a' : temp[k]:=tarde[j]-durace;
                        'o' : temp[k]:=tarde[j]-aceleracao.duracao[op];
                    else write('erro no seletor de duracod-tarde');
                    end;
                end;
                k:=k+1;
            end;
            j:=j-1;
        end;
        menor:=temp[1];
        if k>1 then
        begin
            for j:=2 to k-1 do
            begin
                if temp[j]<menor then menor:=temp[j];
            end;
        end; {if k}
        tarde[i]:=menor;
        fillchar(temp,sizeof(temp),0);
    end;
end;
end;
end;

```

```

procedure LeCustoIndireto;
const  EXT = '.CID';
var    nomearq : string[12];
        ci : string[20];
        errocod : integer;
        customais : real;

begin
  TelaLeCustoIndireto;
  fillchar(cindi, sizeof(cindi), 0);
  CalculaCedo('n');
  nomearq:=arquivo+EXT;
  assign(discocindi, nomearq);
  rewrite(discocindi);
  k:=1;
  write(k:6, '          '); read(cindi[k]);
  writeln;
  for k:=2 to trunc(cedo[nn]) do
  begin
    write(k:6, cindi[k-1]:17:2, ' // '); read(ci);
    if ci <>' ' then val(ci, cindi[k], errocod)
    else cindi[k]:=cindi[k-1];
    writeln;
  end;
  window(10, 5, 70, 23);
  write(discocindi, cindi);
  close(discocindi);
end;

procedure CalculaCustoIndireto;
var    i : integer;
begin
  cinditotal:=0;
  for i:=1 to trunc(acceleracao.durtotal) do
  begin
    cinditotal:=cinditotal+cindi[i];
  end;
end;

procedure AceleraProjeto;
const  cmargdois = 1E+30;
type   vetorativ = array[1..A] of real;
        vetornoreal = array[1..N] of real;
        vetornoint = array[1..N] of integer;
        caminho = array[1..N] of char;      {A:1+, B:2+, C:1-,
D:2-, E:--}
var    folgaum, folgadois,
        fluxoum, fluxodois,
        cmargum : vetorativ;
        marcaum : vetornoint;
        marcadois : caminho;
        marcatres : vetornoreal;
        estado : caminho;
        temp, novafolga, cd, durantiga : real;
        v, w, l : integer;

function Menor(numeroX, numeroY : real): real;
begin
  if numeroX < numeroY then menor:=numeroX
  else menor:=numeroY;
end;

```

```

end;

procedure DiscoAce;
const  EXT = '.ACE';
var    nomearq: string[12];
begin
  nomearq:=arquivo+EXT;
  assign(discace,nomearq);
  rewrite(discace);
end;

procedure VideoDiscoAce;
begin
  CalculaCustoIndireto;
  write(discace,aceleracao);
  with aceleracao do
  begin
    if (custototalotimo>(cdirtotal+cinditotal)) then
    begin
      custototalotimo:=cdirtotal+cinditotal;
      duratotalotima:=durtotal;
    end;
    writeln(durtotal:7:1,'          ',cdirtotal:12:2,'
,cinditotal:12:2,'          ',(cdirtotal+cinditotal):10:2);
  end;
  bip(550,30);
end;

procedure FimAcelera;
begin
  for i:=1 to 60 do write(#196);
  writeln;
  write('Pressione qualquer tecla para retornar ao
menu. ');
  close(discace);
  repeat until keypressed;
  window(10,5,70,23);
end;

procedure PrimeiraEtapa;
  procedure PassoUm;
  begin
    marcaum[1]:=MAXINT;
    marcadois[1]:='E';
    marcatres[1]:=1E+30;
    estado[1]:='Y';
    for i:=1 to nn do
    begin
      for j:=i to nn do
      begin
        if matradj[i,j]=1 then
        begin
          k:= relaciona(i,j);
          if (folgadois[k]=0)and(marcaum[i]<>0)
and(marcaum[j]=0)then
          begin
            marcaum[j]:=i;
            marcadois[j]:='C';
            marcatres[j]:=1E+30;
            if j=nn then

```



```

                                if cmargum[k]=1E+30 then
marcatres[v]:=marcatres[w];
                                end;
                                if (folgadois[k]=0)and(fluxodois[k]>0)
then
                                begin
                                    marcaum[v]:=w;
                                    marcadois[v]:='D';
                                    marcatres[v]:=menor(marcatres[w],
fluxodois[k]);
                                    estado[v]:='Y';
                                end;
                                end;
                                end;
                                end;
                                estado[i]:='Z';
                                end;

begin
    repeat
        eventoi:=0;
        repeat
            eventoi:=eventoi+1;
            until (estado[eventoi]='Y')or(eventoi=nn);
            MarcaEvento(eventoi);
        until eventoi=nn;
    end;

begin
    fillchar(marcaum, sizeof(marcaum), 0);
    fillchar(marcadois, sizeof(marcadois), ' ');
    fillchar(marcatres, sizeof(marcatres), 0);
    fillchar(estado, sizeof(estado), 'X');
    PassoUm;
    PassoDois;
end;

procedure SegundaEtapa;
begin
    j:=nn;
    repeat
        i:=marcaum[j];
        if i<j then w:=relaciona(i, j)
        else w:=relaciona(j, i);
        if marcadois[j]='A' then
            fluxoum[w]:=fluxoum[w]+marcatres[nn];
        if marcadois[j]='C' then
            fluxodois[w]:=fluxodois[w]+marcatres[nn];
        if marcadois[j]='B' then
            fluxoum[w]:=fluxoum[w]-marcatres[nn];
        if marcadois[j]='D' then
            fluxodois[w]:=fluxodois[w]-marcatres[nn];
        j:=i;
    until i=1;
end;

procedure TerceiraEtapa;
var    delta, deltaum, deltadois,
        cdirtot : real;

```

```

begin
  deltaum:=1E+30;
  deltadois:=1E+30;
  cdirtot:=0;
  for i:=1 to nn do
  begin
    for j:=i to nn do
    begin
      if matradj[i,j]=1 then
      begin
        k:=relaciona(i,j);
        if (marcaum[i]<>0)and(marcaum[j]=0)and
(folgaum[k]<0) then
        begin
          temp:= -folgaum[k];
          deltaum:=menor(deltaum,temp);
        end;
        if (marcaum[i]<>0)and(marcaum[j]=0)and
(folgadois[k]<0) then
        begin
          temp:= -folgadois[k];
          deltaum:=menor(deltaum,temp);
        end;
        if (marcaum[i]=0)and(marcaum[j]<>0)and
(folgaum[k]>0) then
        begin
          deltadois:=menor(deltadois,folgaum[k]);
        end;
        if (marcaum[i]=0)and(marcaum[j]<>0)and
(folgadois[k]>0) then
        begin
          deltadois:=menor(deltadois,folgadois[k]);
        end;
      end;
    end;
  end;
  delta:=menor(deltaum,deltadois);
  if delta>passo then delta :=passo;
  for k:=1 to nn do
  begin
    if marcaum[k]=0 then cedo[k]:=cedo[k]-delta;
  end;
  for i:=1 to nn do
  begin
    for j:=i to nn do
    begin
      if matradj[i,j]=1 then
      begin
        LeAtividadeDisco(i,j);
        k:=relaciona(i,j);
        novafolga:=cedo[j]-cedo[i];
        durantiga:=aceleracao.duracao[k];
        aceleracao.duracao[k]:=menor(atividade.durnor,
novafolga);
        if durantiga>aceleracao.duracao[k] then
aceleracao.durasinal[k]:='>'
        else
        begin
          if durantiga<aceleracao.duracao[k] then
aceleracao.durasinal[k]:='<'

```

```

        else aceleracao.durasinal[k]:=' ';
    end;
    with atividade do
    begin
        folgaum[k]:=cedo[i]-cedo[j]+
aceleracao.duracao[k];
        folgadois[k]:=cedo[i]-cedo[j]+durace;
        aceleracao.custodireto[k]:=+custace-cmargum[k]*
(aceleracao.duracao[k]-durace);
        cdirtot:=cdirtot+aceleracao.custodireto[k];
    end;
    end;
    end;
    end;
    aceleracao.durtotal:=cedo[nn];
    aceleracao.cdirtotal:=cdirtot;
    VideoDiscoAce;
end;

begin {AceleraProjeto}
    clrscr;
    custototalotimo:=1E30;
    cd:=0;
    DiscoAce;
    CalculaCedo('n');
    for i:=1 to nn do
    begin
        for j:=i to nn do
        begin
            if matradj[i,j]=1 then
            begin
                LeAtividadeDisco(i,j);
                k:=relaciona(i,j);
                with atividade do
                begin
                    folgaum[k]:=cedo[i]-cedo[j]+durnor;
                    folgadois[k]:=cedo[i]-cedo[j]+durace;
                    if (durnor-durace)=0 then cmargum[k]:=1E+30
                    else cmargum[k]:=(custace-custnor)/(durnor-durace);
                    fluxoum[k]:=0;
                    fluxodois[k]:=0;
                    aceleracao.duracao[k]:=durnor;
                    cd:=cd+custnor;
                end;
            end;
        end;
    end;
    end;
    AbreArquivoCustoIndiretoLeitura;
    read(discocindi,cindi);
    cinditotal:=0;
    for i:=1 to trunc(cedo[nn]) do
    begin
        cinditotal:=cinditotal+cindi[i];
    end;
    write('Duracao      Custo Direto      Custo Indireto      Custo
Total');
    writeln;
    for i:=1 to 60 do write(#196);
    window(10,7,70,23);
    writeln;

```

```

writeIn(cedo[nn]:7:1, ' ', cd:12:2, '
', cinditotal:12:2, ' ', (cd+cinditotal):10:2);
repeat
  PrimeiraEtapa;
  if marcaum[nn]<>0 then SegundaEtapa
  else TerceiraEtapa;
until keypressed;
op:=0;
end;

```

```

procedure relata(duracod : char);
var  tipodur : string[22];
     l,m : integer;
     dur,custo,custotal,pdi,pdt,udi,udt,fl,ft : real;
     sinal : char;

```

```

procedure DefineTipo;
begin
  case duracod of
    'n': begin
          tipodur:='para duracao normal';
          dur:=atividade.durnor;
          custo:=atividade.custnor;
          sinal:=' ';
        end;
    'a': begin
          tipodur:='para duracao acelerada';
          dur:=atividade.durace;
          custo:=atividade.custace;
          sinal:=' ';
        end;
    'o': begin
          if opotima then tipodur:='para duracao otima'
          else tipodur:='em aceleracao';
          dur:=aceleracao.duracao[k];
          custo:=aceleracao.custodireto[k];
          sinal:=aceleracao.durasinal[k];
        end;
  end;
end;

```

```

procedure linha;
var  c : integer;
begin
  writeIn(1st);
  for c:=5 to 127 do write(1st,'-');
end;

```

```

procedure cabecalho;
var  ano,mes,dia,hora,min,seg : integer;
begin
  DataHora(ano,mes,dia,hora,min,seg);
  DefineTipo;
  write(1st,#27,#85,#15,#15,#14,'A D P ');
  write(1st,#20,' Relatorio de atividades ',tipodur);
  write(1st,' PROJETO: ',arquivo);
  write(1st,' DATA: ',dia,'/',mes,'/',ano-1900);
  writeIn(1st); writeIn(1st);

```

```

    Linha;
    writeIn(1st);
    write(1st,'CC   NUM   EVENTOS                NOME DA
ATIVIDADE');
    write(1st,'
    ');
    write(1st,'DUR   PDI   PDT   UDI   UDT   FL
FT');
    write(1st,'
    CUSTO');
    Linha;
end;

begin
custotal:=0;
cabecalho;
for i:=1 to nn do
begin
for j:=i to nn do
begin
if matradj[i,j]=1 then
begin
LeAtividadeDisco(i,j);
k:=relaciona(i,j);
DefineTipo;
pdi:=cedo[i];
udi:=tarde[j]-dur;
pdt:=cedo[i]+dur;
udt:=tarde[j];
ft:=udi-pdi;
fl:=ft+cedo[j]-tarde[j];
custotal:=custotal+custo;
m:=length(atividade.nome);
for l:=1 to 43-m do insert(' ',atividade.nome,m+l);
writeIn(1st);
if ft=0 then write(1st,'* ')
else write(1st,' ');
write(1st,' ',k:3);
write(1st,' ',i:3,'-',j:3);
write(1st,' ',atividade.nome:43);
write(1st,' ',dur:5:1);
write(1st,' ',pdi:5:1);
write(1st,' ',pdt:5:1);
write(1st,' ',udi:5:1);
write(1st,' ',udt:5:1);
write(1st,' ', fl:5:1);
write(1st,' ', ft:5:1);
write(1st,' ',custo:11:2,' ',sinal);
end;
end;
end;
AbreArquivoCustoIndiretoLeitura;
read(discocindi,cindi);
cinditotal:=0;
for i:=1 to trunc(tarde[nn]) do
cinditotal:=cinditotal+cindi[i];
Linha;
writeIn(1st);
write(1st,'duracao total : ',tarde[nn]:5:1,' periodos');
for i:=1 to 55 do write(1st,' ');
write(1st,'Custo direto total : Cz$ ',custotal:12:2);
writeIn(1st);writeIn(1st);writeIn(1st);

```

```

writeIn(lst, #12, #18, #27, #64);
close(discocindi);
end;

procedure CabecResumo;
begin
write(lst, #27, #85, #15, #15, #14, 'A D P ');
write(lst, #20, 'Relatorio resumo de aceleracao PROJETO:
', arquivo);
writeIn(lst); writeIn(lst);
for i:=1 to 87 do write(lst, '-');
writeIn(lst);
write(lst, 'DURACAO CUSTO DIRETO CUSTO
INDIRETO');
write(lst, ' CUSTO TOTAL');
writeIn(lst);
for i:=1 to 87 do write(lst, '-');
writeIn(lst);
end;

procedure RelataResumo;
begin
CalculaCustoIndireto;
write(lst, aceleracao.durtotal:7:1, ');
write(lst, aceleracao.cdirtotal:12:2, ');
', cinditotal:12:2);
write(lst,
', (cinditotal+aceleracao.cdirtotal):12:2);
writeIn(lst);
end;

procedure NovoProjeto;
begin
LeDadosRede;
LeDadosAtividades;
LeCustoIndireto;
end;

Procedure AlteracaoDeDadosCustosIndiretos;
const EXT = '.CID';
var ci : string[20];
nomearq : string[12];
i, errocod, periodoinicial, periodofinal : integer;
taxa, cianterior : real;
discocinditmp : arqcindi;

procedure InicializaAlteracaoCustosIndiretos;
begin
AbreArquivoCustoIndiretoLeitura;
read(discocindi, cindi);
CalculaCedo('n');
end;

procedure FinalizaAlteracaoCustosIndiretos;
begin
nomearq:=arquivo+EXT;
assign(discocinditmp, 'TMP.CID');
rewrite(discocinditmp);
write(discocinditmp, cindi);

```

```

    close(discocindi);
    close(discocinditmp);
    erase(discocindi);
    rename(discocinditmp,nomearq);
    window(10, 5, 70, 23);
end;

procedure CabecalhoAlteracaoCustosIndiretos;
begin
    clrscr;
    write('Periodo          C u s t o   i n d i r e t o');
    writeLn;
    for i:=1 to 60 do write(#196);
    writeLn;
    window(10, 7, 70, 23);
end;

procedure LeTaxaCustoIndireto;
begin
    clrscr;
    gotoxy(20,7); write('Taxa de acrescimo [%] : ');
read(taxa);
    taxa:=taxa/100;
end;

procedure LePeriodoInicialIFinal;
begin
    writeLn;
    gotoxy(20,9); write('Periodo inicial : 1 // ');
read(ci);
    if ci <> '' then val(ci,periodoinicial,errocod)
    else periodoinicial:=1;
    writeLn;
    gotoxy(20,11); write('Periodo final :
',trunc(cedo[nn]),' // '); read(ci);
    if ci <> '' then val(ci,periodofinal,errocod)
    else periodofinal:=trunc(cedo[nn]);
end;

procedure PercentualSobreValorAnterior;
begin
    LeTaxaCustoIndireto;
    LePeriodoInicialIFinal;
    for i:=periodoinicial to periodofinal do
        cindi[i]:=cindi[i]*(1+taxa);
end;

procedure NovoValorPeriodoIndividual;
begin
    clrscr;
    LePeriodoInicialIFinal;
    CabecalhoAlteracaoCustosIndiretos;
    for i:=periodoinicial to periodofinal do
    begin
        write(i:6,cindi[i]:20:2,' // '); read(ci);
        if ci <> '' then val(ci,cindi[i],errocod);
        writeLn;
    end;
    window(10, 5, 70, 23);
end;

```

```

procedure NovoValorPeriodoGrupo;
begin
  clrscr;
  LePeriodoInicialFinal;
  CabecalhoAlteracaoCustosIndiretos;
  for i:=periodoinicial to periodofinal do
  begin
    if i>1 then cianterior:=cindi[i-1]
    else cianterior:=cindi[i];
    write(i:6,cindi[i]:13:2,' ... ',cianterior:13:2,' //
');
    read(ci);
    if ci <> '' then val(ci,cindi[i],errocod)
    else cindi[i]:=cianterior;
    writeln;
  end;
  window(10, 5, 70, 23);
end;

begin
  InicializaAlteracaoCustosIndiretos;
  repeat
    TelaMenuAlteracaoCustosIndiretos;
    read(kbd,opchar);
    case opchar of
      '1': PercentualSobreValorAnterior;
      '2': NovoValorPeriodoIndividual;
      '3': NovoValorPeriodoGrupo;
      '4':
    else OpcaoErrada;
    end;
  until opchar = '4';
  FinalizaAlteracaoCustosIndiretos;
end;

procedure AlteracaoDeDadosAtividades;
const EXT = '.ATV';
var i,j,alterativ : integer;
    cedoanterior : real;
    discativtmp : arqativ;
    nomearq : string[12];

    procedure EfetuaAlteracao(i,j : integer);
    var dadotmp : string[43];
        errocod : integer;
    begin
      with atividade do
      begin
        clrscr;
        InverteCor;
        gotoxy(16,2); write(' Atividade ',atividade.numero,'
Eventos ',i,'-',j,' ');
        RetornaCor;
        gotoxy(1,5); write('Nome : ',nome,' // ');
        gotoxy(1,10); write('Duracao normal .....
',durnor:12:1,' // ');
        gotoxy(1,12); write('Custo normal .....
',custnor:12:1,' // ');

```

```

        gotoxy(1,14); write('Duracao acelerada...:
', durace:12:1, ' // ');
        gotoxy(1,16); write('Custo acelerado.....:
', custace:12:1, ' // ');
        gotoxy(8,6); read(dadotmp);
        if dadotmp<>' ' then nome:=dadotmp;
        gotoxy(40,10); read(dadotmp);
        if dadotmp<>' ' then val(dadotmp, durnor, errocod);
        gotoxy(40,12); read(dadotmp);
        if dadotmp <>' ' then val(dadotmp, custnor, errocod);
        gotoxy(40,14); read(dadotmp);
        if dadotmp <>' ' then val(dadotmp, durace, errocod);
        gotoxy(40,16); read(dadotmp);
        if dadotmp <>' ' then val(dadotmp, custace, errocod);
    end;
end;

```

```

begin
    repeat
        clrscr;
        gotoxy(20,9); write('Evento inicial : '); read(i);
        writeln;
        gotoxy(20,11); write('Evento final : '); read(j);
        until matradj[i,j]=1;
        CalculaCedo('n');
        cedoanterior:=cedo[nn];
        alterativ:=relaciona(i,j);
        k:=0;
        nomearq:=arquivo+EXT;
        assign(discativ,nomearq);
        assign(discativtmp,'tmp.atv');
        reset(discativ);
        rewrite(discativtmp);
        while not eof(discativ) do
            begin
                seek(discativ,k);
                read(discativ,atividade);
                if atividade.numero=alterativ then EfetuaAlteracao(i,j);
                write(discativtmp,atividade);
                k:=k+1;
            end;
        close(discativ);
        close(discativtmp);
        erase(discativ);
        rename(discativtmp,nomearq);
        CalculaCedo('n');
        if cedo[nn]>cedoanterior then AiteracaoDeDadosCustosIndiretos;
    end;

```

```

procedure AlteracaoDeDados;
begin
    clrscr;
    repeat
        TelaAlteracaoDeDados;
        read(kbd,opchar);
        case opchar of
            '1': AlteracaoDeDadosAtividades;
            '2': AlteracaoDeDadosCustosIndiretos;
            '3':
                else OpcaoErrada;

```

```

    end;
    until opchar='3';
end;

procedure AceleracaoDoProjeto;
begin
    DefinePasso;
    if arquivo='' then LeRedeDisco;
    AceleraProjeto;
end;

procedure RelatorioNormal;
begin
    clrscr;
    AvisoDeImpressao;
    CalculaCedo('n');
    CalculaTarde('n');
    Relata('n');
    bip(880, 70);
end;

procedure RelatorioAcelerado;
begin
    clrscr;
    AvisoDeImpressao;
    CalculaCedo('a');
    CalculaTarde('a');
    Relata('a');
    bip(990, 70);
end;

procedure RelatorioResumoDeAceleracao;
begin
    clrscr;
    AvisoDeImpressao;
    CabecResumo;
    contareg:=0;
    AbreArqAce;
    seek(discace, contareg);
    while not eof(discace) do
    begin
        read(discace, aceleracao);
        RelataResumo;
        contareg:=contareg+1;
        seek(discace, contareg);
    end;
    bip(1100, 70);
    for i:=1 to 87 do write(1st, '-');
    writeln(1st, #12);
    close(discace);
end;

procedure RelatorioDeAceleracao;
var    periodoinicial, periodofinal, errocod: integer;
    ci: string[12];

    procedure LePeriodoInicialIFinal;
    begin
        clrscr;

```

```

        gotoxy(18,9); write('Periodo inicial : ',trunc(cedo[nn]),'
// '); read(ci);
        if ci <> '' then val(ci,periodoinicial,errocod)
        else periodoinicial:=trunc(cedo[nn]);
        CalculaCedo('n');
        gotoxy(18,11); write('Periodo final :
',trunc(cedo[nn]),' // '); read(ci);
        if ci <> '' then val(ci,periodofinal,errocod)
        else periodofinal:=trunc(cedo[nn]);
        end;

```

```

begin
  LePeriodoinicialIFinal;
  clrscr;
  AvisoDeImpressao;
  contareg:=0;
  AbreArqAce;
  seek(discace,contareg);
  while not eof(discace) do
  begin
    read(discace,aceleracao);
    CalculaCedo('o');
    if (cedo[nn]<=periodofinal) and (cedo[nn]>=periodoinicial)
  then
    begin
      CalculaTarde('o');
      opotima:=FALSE;
      Relata('o');
    end;
    contareg:=contareg+1;
    seek(discace,contareg);
  end;
  bip(1100,70);
  close(discace);
end;

```

```

procedure RelatorioDuracaoOtima;
begin
  clrscr;
  AvisoDeImpressao;
  contareg:=0;
  AbreArqAce;
  seek(discace,contareg);
  while not eof(discace) do
  begin
    read(discace,aceleracao);
    CalculaCedo('o');
    if (cedo[nn]=duratotalotima) then
    begin
      CalculaTarde('o');
      opotima:=TRUE;
      Relata('o');
    end;
    contareg:=contareg+1;
    seek(discace,contareg);
  end;
  bip(1100,70);
  close(discace);
end;

```

```
procedure EntradaDeDados;
begin
  clrscr;
  repeat
    TelaEntradaDeDados;
    read(kbd, opchar);
    case opchar of
      '1': NovoProjeto;
      '2': LeRedeDisco;
      '3':
        else OpcaoErrada;
    end;
  until opchar<='3';
end;
```

```
procedure RelatorioAtividadesAceleradas;
begin
  repeat
    TelaRelatoriosDeAceleracao;
    read(kbd, opchar);
    case opchar of
      '1': RelatorioResumoDeAceleracao;
      '2': RelatorioDeAceleracao;
      '3': RelatorioDuracaoOtima;
      '4':
        else OpcaoErrada;
    end;
  until opchar='4';
end;
```

```
procedure RelatoriosDoProjeto;
begin
  repeat
    TelaRelatorios;
    read(kbd, opchar);
    case opchar of
      '1': RelatorioNormal;
      '2': RelatorioAcelerado;
      '3': RelatorioAtividadesAceleradas;
      '4':
        else OpcaoErrada;
    end;
  until opchar='4';
end;
```

```
{ Programa Principal }
```

```
BEGIN
```

```
  TelaNomeDoPrograma;
```

```
  repeat
```

```
    TelaMenuPrincipal;
```

```
    read(kbd, opchar);
```

```
    case opchar of
```

```
      '1': EntradaDeDados;
```

```
      '2': AlteracaoDeDados;
```

```
      '3': AceleracaoDoProjeto;
```

```
      '4': RelatoriosDoProjeto;
```

```
      '9': FimDoPrograma;
```

```
      else OpcaoErrada;
```

```
    end;
```

```
  until opchar='9';
```

```
END .
```