

COPPEAD/UFRJ

RELATÓRIO COPPEAD Nº 5

"ASPECTOS RELEVANTES NO
PLANEJAMENTO, PROGRAMAÇÃO E CONTROLE
DE PROJETOS DE GRANDE PORTE".

Por
Jorge A. Garcia Gomez*

Junho 1977

* Doutor em Produção pela Universidade Federal do Rio de Janeiro e Professor Adjunto do Programa de Mestrado em Administração.

O autor agradece o Suporte financeiro dado pela FINEP para elaboração desta pesquisa.

I. INTRODUÇÃO

A aplicação de técnicas científicas para resolver problemas empresariais data de poucos anos atrás. Embora alguns críticos discordem, a ciência tem feito importantes contribuições à gestão empresarial, ainda que esta não seja completamente científica.

Nos últimos anos, novas técnicas de planejamento, programação e controle tiveram um rápido desenvolvimento, sendo o nosso objetivo a explicação destas técnicas a partir de seus conceitos básicos até sua mais sofisticada, embora elementar, aplicação em um sistema de controle computarizado. Uma das mais úteis, mais discutidas e menos compreendida destas técnicas, é a conhecida sob a sigla PERT-CPM (Program Evaluation and Review Technique - Critical Path Method).

O PERT e o CPM têm sido empregados numa ampla gama de dimensões e complexidades nos mais variados projetos, indo do planejamento de peças teatrais ou da construção de um super mercado, ao desenvolvimento do programa de construção do célebre projeto polaris.

Em poucas palavras, CPM é um método de planejamento, replanejamento, programação e avaliação do progresso, com a finalidade de melhor controlar a execução de um projeto.

O CPM foi desenvolvido em 1957 por uma equipe do departamento de projetos da DU PONT nos Estados Unidos e o PERT em 1958 pelo departamento de projetos especiais da Marinha dos Estados Unidos, Este último, como veremos posteriormente, é fundamentado no CPM.

É conveniente que os engenheiros, economistas, organizadores, empreiteiros, consultores e, em geral, todas as pessoas que tenham responsabilidades na elaboração e no controle de programas, possam apreciar as possibilidades oferecidas pelo método do caminho crítico.

Tanto nos Estados Unidos como na França e Inglaterra, verifica-se a importância que é dada a esta técnica de planejamento, através dos inúmeros artigos que têm aparecido recentemente nas revistas especializadas em assuntos referentes à gestão científica. Na França, por exemplo, as grandes empresas que realizam os mais diversos estudos e projetos no campo da Engenharia, possuem departamentos especiais dedicados à sua aplicação.

Nos Estados Unidos o seu emprego atingiu uma tal amplitude, que as grandes administrações públicas exigem, no momento de uma concorrência, uma cláusula especial do contrato, em que os fornecedores se comprometam a aplicar o sistema

PERT ou CPM. Eles estimam ter assim as melhores garantias na execução dos trabalhos dentro dos prazos previstos.

A utilização deste novo método, apesar dos extraordinários sucessos alcançados em grandes projetos, ainda encontra uma certa resistência, sem dúvida devido à idéia errônea, mas infelizmente bastante difundida, de que estas técnicas não estão no nível das empresas médias ou pequenas, nem dos projetos de importância modesta.

Para muitas empresas, estas técnicas parecem altamente matemáticas. Efetivamente, elas nasceram da matemática dita moderna, notadamente da teoria dos grafos, necessitando na sua aplicação em projetos de vulto e grande complexidade, recorrer à matemática, algumas vezes elevada. Mas na grande maioria dos casos, acontece que, na média e pequena empresa, a colocação em prática do método de análise através de redes é uma técnica fácil, exigindo somente experiência e organização.

Este relatório é dirigido então, a todos aqueles que têm ouvido falar sobre o método do caminho crítico (CPM) e que desejam saber com precisão o que é, porém, mais especificamente àqueles que têm interesse na aplicação desta técnica em qualquer indústria. Objetivamente, dirige-se para:

- a. fornecer bases e conceitos sobre a análise de redes por meio do CPM aplicado à qualquer indústria.
- b. conscientizar os chefes de projeto sobre as vantagens das técnicas atualizadas no planejamento, programação e controle de programas de produção.
- c. racionalizar a tomada de decisões.
- d. apresentação de técnicas e métodos possíveis de serem submetidos a um sistema de controle digital.

Nesta pesquisa discutiremos unicamente a técnica de CPM como ferramenta de análise de projetos, pois tem sido amplamente demonstrado (8) que essa técnica é a mais apropriada para gerenciar projetos cujas atividades possuam tempo de execução determinístico. A situação que levou a marinha dos E.U. a desenvolver o PERT, com o auxílio de firma de consultoria Booz Allen & Hamilton, foi completamente diferente da situação que levou a DU PONT a desenvolver o CPM. No caso do PERT, a marinha dos E.U. desejava planejar, programar e controlar o projeto Polaris que era um projeto de pesquisa e desenvolvimento, onde os tempos de execução da maioria das atividades que formavam o projeto eram atividades de pesquisa, e esta, por definição, não tem um tempo de execução que possa ser considerado como determinístico.

II. ASPECTOS GERAIS DA TEORIA DE REDES

i) O método do Caminho Crítico (CPM)

Este método é, antes de tudo, uma ferramenta de direção. O princípio fundamental do CPM é o tratamento do planejamento e da programação em separado, pois os mesmos exercem funções distintas. Assim, antes de se examinar um calendário e de se proceder a um cálculo qualquer de custo, um projeto deve ser planejado de modo a tornar evidente sua estrutura lógica. Isto é conseguido através do estabelecimento de um diagrama, em forma de grafo ou rede, resumindo-se as diversas operações a efetuar e destacando-se as suas interdependências. A rede também mostra a ordem na qual as operações deverão ser completadas, as tarefas que podem ser feitas conjuntamente e as atividades que deverão ser seguidas por outras. Quando a rede é resolvida, o analista estima quanto tempo levará na execução de cada uma das tarefas. Obviamente, o tempo para o término de todo o projeto não é a soma das durações individuais das tarefas, dado que algumas delas poderão ser feitas ao mesmo tempo. Em todo o projeto existe um pequeno número de operações que controlam a terminação do programa. Estas operações são chamadas críticas, e formam uma cadeia delas através da rede chamada "caminho crítico", daí o nome do método.

Conhecer o caminho crítico é de grande importância, pois seus usuários têm encontrado respostas concisas para perguntas fundamentais no planejamento e programação de projetos, tais como:

- a. Qual a duração estimada do projeto? Poderemos cumprir com a data de entrega do mesmo?
- b. Se existir um atraso em uma operação, o projeto inteiro atrasar-se-á? Assim sendo, quanto tempo?
- c. Qual a maneira mais econômica de apressurar o projeto?
- d. Como poderemos saber se o projeto está em ritmo? Será necessária uma ação corretiva?
- e. Como poderemos programar a nossa disponibilidade de mão-de-obra para evitar necessidades excessivas da mesma, sem precisar aumentar o prazo de duração do projeto?
- f. Como poderemos programar as entregas de materiais por parte de nossos fornecedores para manter continuidade de operação sem pagar custos de armazenagem muito altos?

Passar ao estágio da programação consiste em estimar a duração normal de cada operação e calcular a época (tempo) mais rápida (cedo) e a época (tempo) mais re

mota (tarde) em que cada operação pode começar e deve terminar, a fim de que o projeto total tenha duração mínima.

A margem de tempo ou folga encontrada sobre os caminhos não-críticos será determinada e distribuída na realização das operações, que constituem estes caminhos, a fim de otimizar o emprego de recursos produtivos de toda natureza.

A determinação da lógica do planejamento, a importância atribuída às operações chaves, o respeito ao princípio de economia dos meios, o rigor no controle da execução, a clareza das ações, são vantagens inestimáveis deste método.

ii) Representação gráfica das redes de CPM

Para proceder à exposição deste tema, será necessário enunciar as seguintes definições:

Programa: É um conjunto de operações ou atividades que concorrem para a realização de um determinado objetivo, de tal modo que se conhece a duração de cada operação (determinística ou aleatória) e as relações de ordem entre estas operações (anterioridade obrigatória).

Este programa, assim definido, pode ser representado por um grafo, chamado "Grafo do Programa" ou "Grafo de Ordenação de Operações".

Operação ou atividade: É a execução efetiva de uma tarefa, que consome tempo e recursos.

Evento: Um programa, constituído por um conjunto de operações tem como eventos os vértices desse grafo. Eles não constituem a execução real da operação. São marcos significativos no programa e não consomem tempo nem recursos.

O estabelecimento de um grafo para representar uma rede de caminho crítico necessita, para cada operação, o conhecimento das operações que a precedem imediatamente. O grafo traduz portanto, as relações de ordem existentes num conjunto de operações.

Existem dois tipos de nomenclatura (simbologia) das atividades em uma rede de CPM:

- a. Método Americano: representação das atividades nos arcos (flechas) limitadas por eventos.
- b. Método Francês: representação das atividades nos nodos (vértices) do grafo.

No seguinte exemplo, põe-se em evidência estas simbologias ou nomenclaturas.

Tabela II.1

MÉTODOS FRANCÊS		MÉTODOS AMERICANOS		
(atividades nos vértices)		(atividades nos arcos)		
Atividade	Requisitos (relação de ordem)	Eventos	Atividade	Requisitos (relação de ordem)
A	-	1-2	A	-
B	-	1-3	B	-
C	A	2-4	C	1-2
D	A	2-5	D	1-2
E	A,B	3-5	E	1-2,1-3
F	C,D,E	5-6	F	2-4,2-5,3-5

a. Nomenclatura pelo método francês:

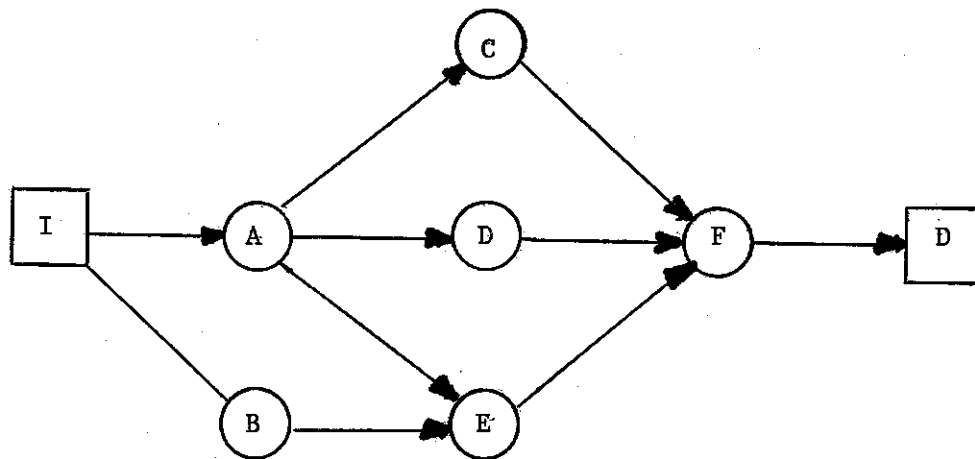


Fig. II.1

b. Nomenclatura pelo método americano

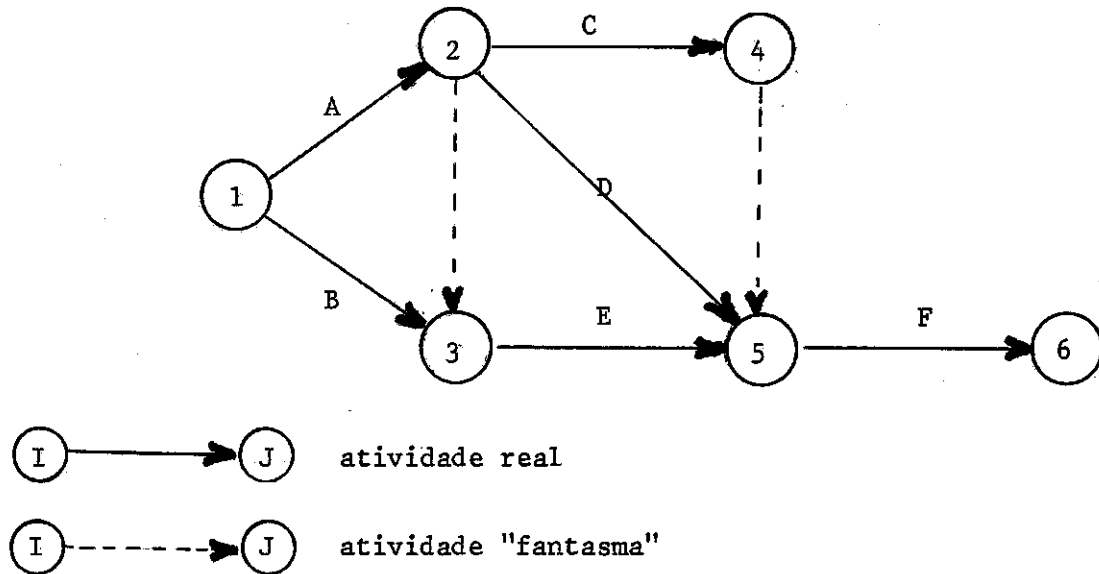


Fig. II.2

Por meio do exemplo anterior podem-se tirar conclusões sobre as vantagens que o sistema de representação francês tem sobre o sistema de notação americano:

- . facilidade muito maior na definição inicial das atividades.
- . não necessita do auxílio de atividades fantasmas, implicando isto em uma redução na quantidade de cálculos e complexidade da rede.
- . menor quantidade de memória utilizada no computador.

Possivelmente, a primeira destas vantagens seja suficiente para justificar a preferência pelo método francês para representar redes de CPM e, por esta razão, no que resta do manuscrito, todas as redes citadas serão representadas por este método.

iii) Obtenção das características de tempo em uma rede de CPM

Cada atividade que forma uma rede de CPM, está caracterizada por 6 estimativas de tempo para sua execução. A abreviação assim como sua definição são as seguintes:

- TPI_i = tempo primeiro de Iniciação da atividade(i)
- TPT_i = tempo primeiro de Terminação da atividade(i)
- TUI_i = tempo último de Iniciação da atividade(i)
- TUT_i = tempo último de Terminação da atividade (i)
- FT_i = folga total da atividade (i)
- d_i = duração da atividade (i)

Como cada atividade está caracterizada por estas 6 estimativas de tempo, devemos adotar uma simbologia que permita identificá-las rapidamente na rede, sem que por isso a notação se complique. Com este propósito, utilizaremos a seguinte simbologia:

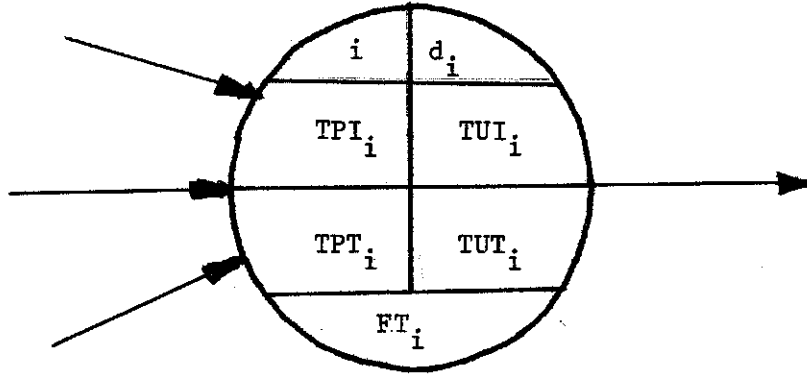


Fig. II.3

Na realidade existe muita informação neste tipo de notação, pois sabemos que:

$$TPT_i = TPI_i + d_i$$

$$TUT_i = TUI_i + d_i$$

$$FT_i = TUI_i - TPI_i$$

Em outras palavras, a notação anterior poderá ser substituída pela seguinte, sem problemas e com a mesma informação de forma mais eficiente.

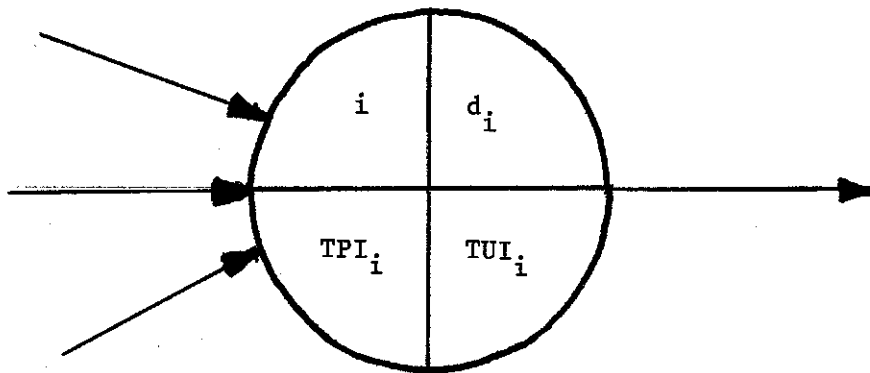


Fig. II.4

As relações matemáticas que nos permitem conhecer as incôgnitas TPI_i e TUI_i em qualquer rede, são as seguintes:

$$TPI_i = \text{Max}_{j \in S} \{TPT_j\} = \text{Max}_{j \in S} \{TPI_j + d_j\}$$

S = conjunto de atividades que precedem a atividade (i)

$$TUI_i = \text{Min}_{j \in K} \{TUI_j\} - d_i$$

K = conjunto de atividades que seguem a atividade (i)

A seguir mostramos um exemplo numérico para aplicar as fórmulas e nomenclatura expostas. Suponha para tal efeito as informações da rede dadas pela tabela II.2

Tabela II.2

Atividade	Requisitos	Duração
A	-	5
B	-	6
C	A	2
D	A	8
E	A,B	4
F	C,D,E	3

É útil referir a rede a um início e a um fim, quando esta tem várias atividades, iniciando e/ou terminando o projeto assim:

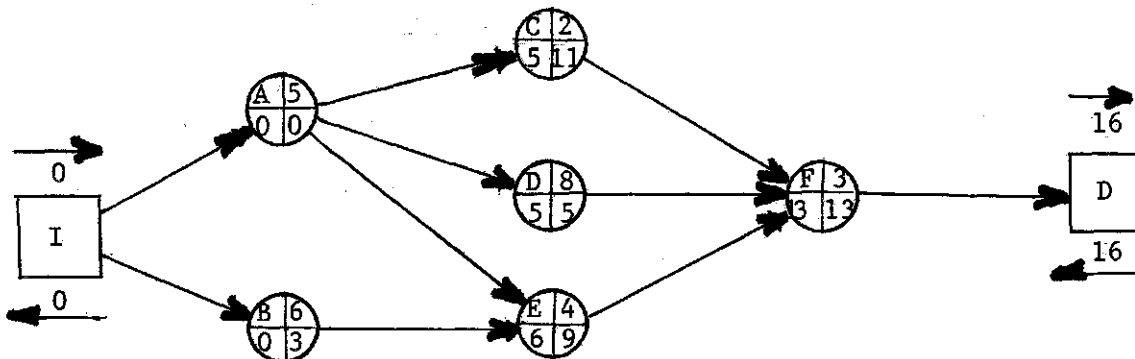


Fig. II.5

Nesta forma vemos que a duração total do projeto é de 16 unidades de tempo, com as atividades A, D e F como críticas.

iv) Obtenção do gráfico de GANTT associado a uma rede de CPM

O gráfico de GANTT é uma técnica utilizada principalmente para o controle de projetos ou atividades de produção. Alguns estudiosos consideram o gráfico como a primeira ferramenta de controle fornecida pela administração científica, e é possivelmente a única técnica que não tem sofrido modificações radicais desde sua invenção.

Inicialmente, foi desenvolvido o gráfico com o objetivo de planejar, programar e controlar projetos ou atividades de produção na ausência de outras técnicas. Com o decorrer do tempo, comprovou-se sua ineficiência para planejar e programar, mas o mesmo foi a semente que originou a idéia para a invenção de técnicas sofisticadas da teoria de redes como são o CPM e suas variantes.

O gráfico de GANTT é um gráfico de atividades de produção vs. tempo, indicativo do avanço ou atraso das atividades com respeito a um padrão pré-estabelecido.

Para mostrar a construção do gráfico de GANTT associado a uma rede de CPM, tomaremos a rede gerada pelo exemplo fornecido na tabela II.2 e cuja rede é dada na figura II.5.

O gráfico de GANTT do exemplo é:

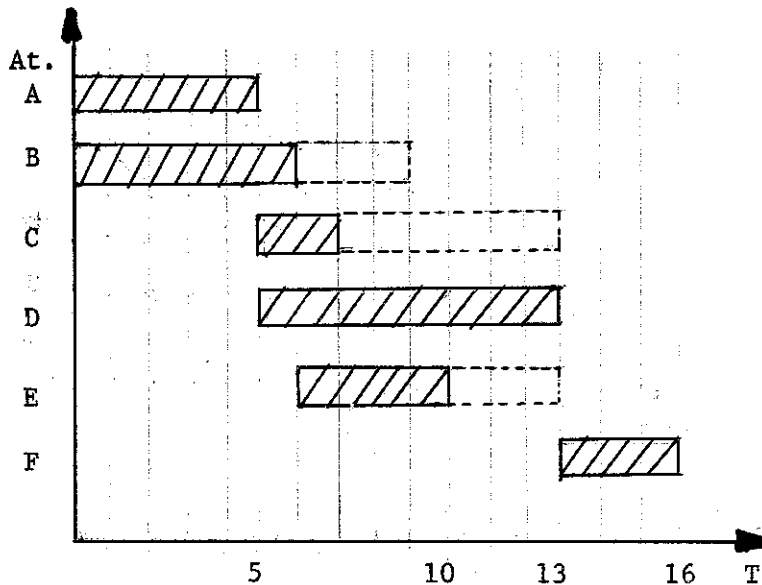
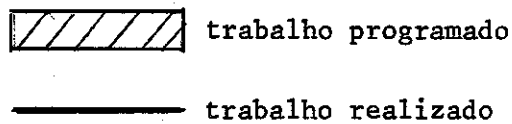


Fig. II.6

- . note como as atividades críticas não têm folga (atividades A, D e F)
- . a atividade B pode se atrasar até 3 unidades de tempo, sem que por isto, a data de conclusão do projeto seja alterada. O mesmo ocorre com a atividade E.
- . a atividade C pode se atrasar até 6 unidades de tempo.

No gráfico pode-se observar perfeitamente as relações de precedência entre as atividades, como também a característica crítica e não-crítica delas. As atividades são representadas sem folga depois de seus TPT's, sendo, portanto, as atividades A, D e F críticas e as demais não críticas.

Para controlar projetos, o método do gráfico de GANTT é de importância fundamental, pois nenhuma das técnicas da teoria de redes (CPM, PERT, CPS, PEP, etc) proporciona a informação necessária com tanta facilidade e de forma instantânea. Para exemplificar seu uso em controle, definimos a simbologia da seguinte forma:



Tomemos o gráfico de GANTT apresentado na figura II.6 e suponhamos que estamos no início do décimo dia:

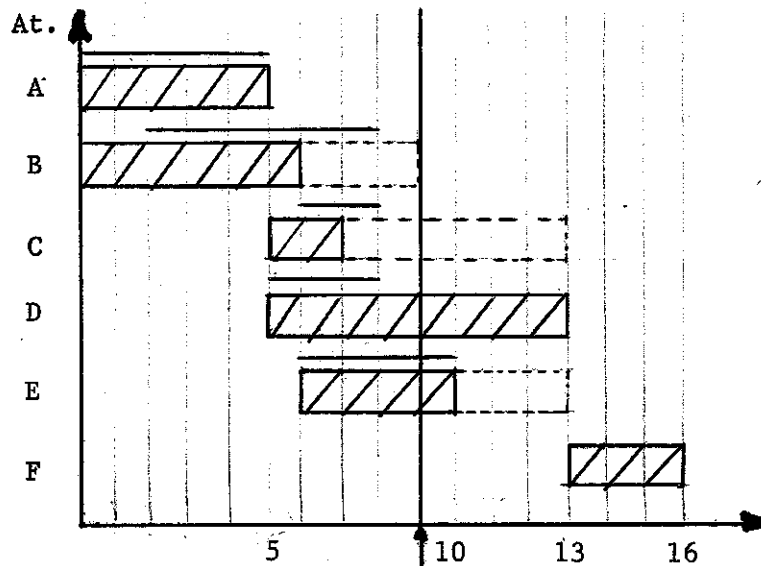


Fig. II.7

Análise do gráfico por atividades:

- . a atividade A não apresenta problemas, pois o trabalho programado já foi realizado em tempo.
- . houve um atraso de dois dias no início da atividade B, mas esse atraso foi absorvido pela folga de três dias da mesma atividade.
- . a atividade C, atrasou-se no seu primeiro dia de trabalho, mas o atraso foi absorvido pela folga da própria atividade.
- . a atividade D apresenta um atraso de um dia, e, pelo fato de ser atividade crítica, poderá atrasar a data de conclusão do projeto.
- . a atividade E já foi terminada, e isto indica que teve um adiantamento de um dia de trabalho.
- . a atividade F é extemporânea

Nesta forma obtém-se uma informação completa e compacta do estágio do projeto, dia a dia, e pelo mesmo, poder-se-á exercer um controle estrito sobre aquelas atividades que apresentem problemas.

v) Vantagens do CPM sobre o gráfico de GANTT

O princípio essencial que conduz à sua vantagem principal e afirma a superioridade do método, notadamente sobre o diagrama de GANTT no que se refere a planejamento e programação das operações num projeto, está na análise das interdependências e das seqüências lógicas das operações ou tarefas elementares, quaisquer que sejam seu número e grau de interdependência. Estas são registradas sem erro e aparecem claramente, como pode ser verificado, no próprio desenho da rede.

Fácil de desenhar, a rede que antes de mais nada fornece a lógica do planejamento, é sucessivamente valorizada em duração de tempo, depois otimizada e, finalmente, programada em calendário, podendo ser ainda considerados outros recursos (crédito, mão de obra, materiais, etc.)

vi) Exemplos

- a. Para os seguintes dados, desenhe a rede de CPM, utilizando o método francês e o método americano.

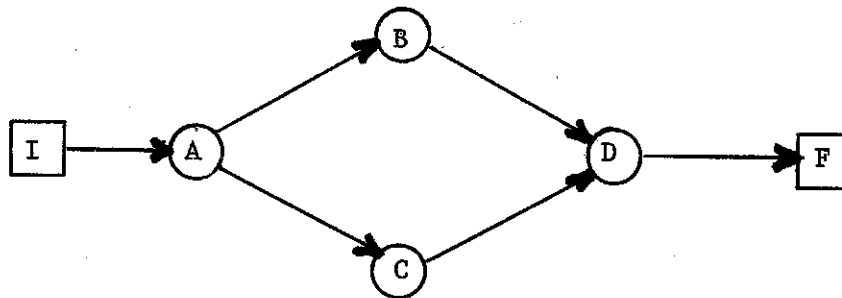
Primeiro exercício

- . atividade A precede a B e C
- . atividade D segue-se às B e C

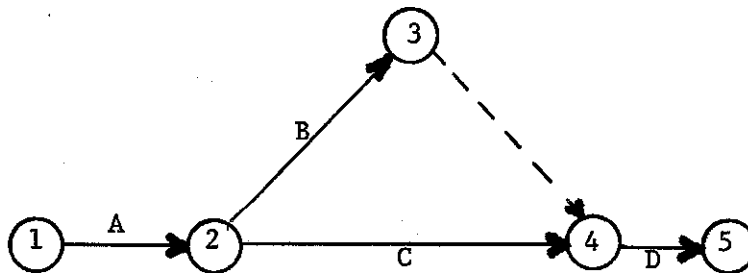
Em forma de tabela

Atividade	Requisitos
A	-
B	A
C	A
D	B,C

. método francês



. método americano

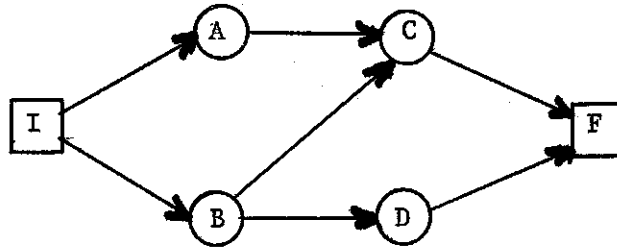


Segundo exercício

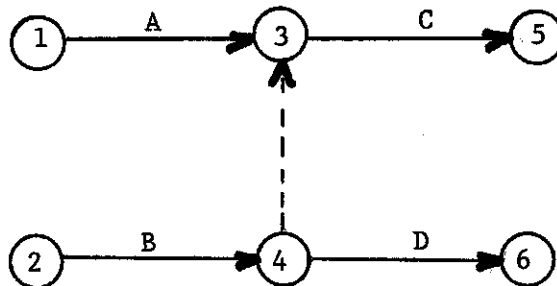
Em forma de tabela

Atividade	Requisitos
A	-
B	-
C	A,B
D	B

. método francês

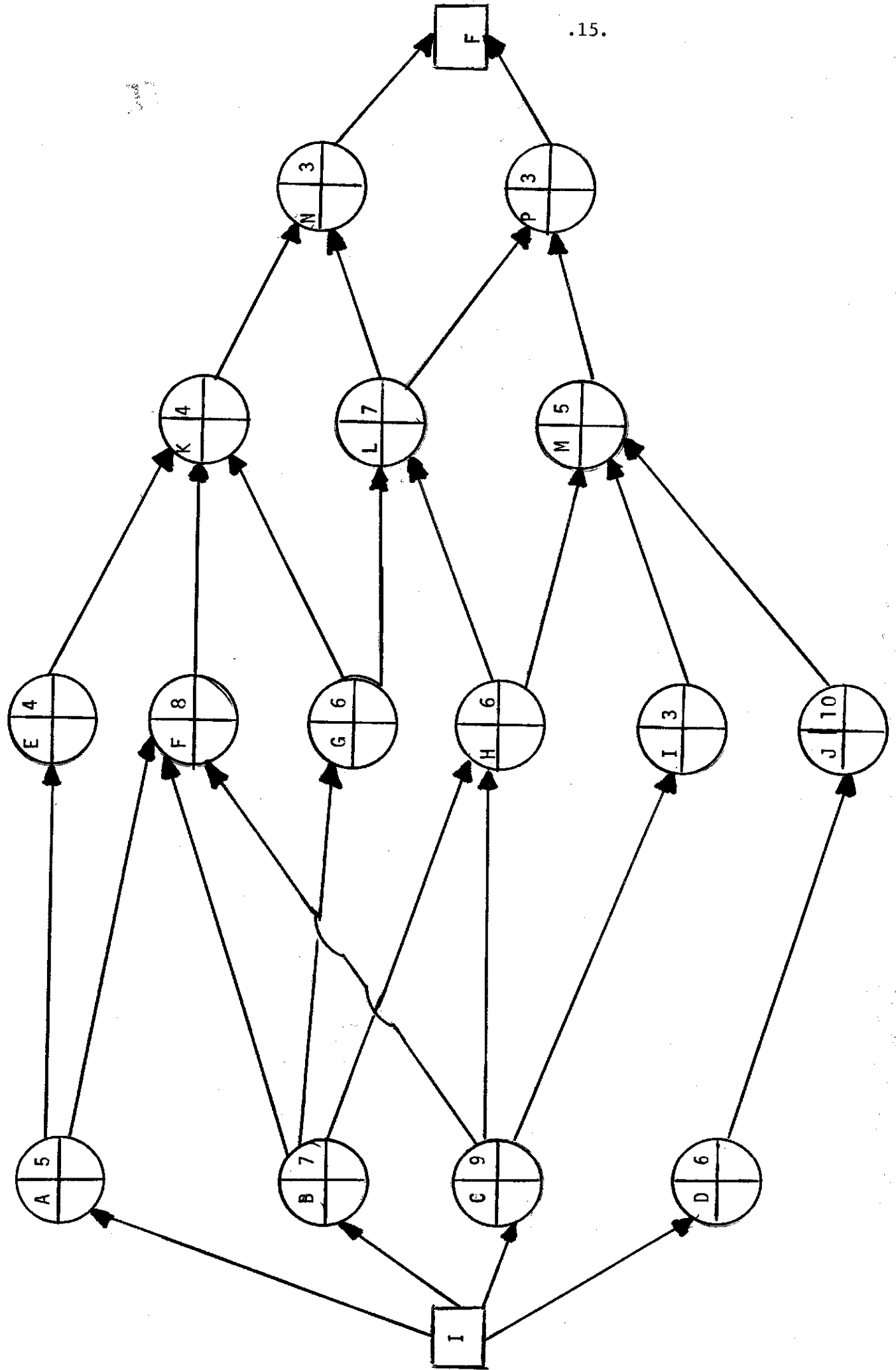


. método americano



- b. As seguintes operações são necessárias para trocar o pneu furado de um carro. Desenhe a rede do projeto "troca de pneu", mostrando as operações na sua própria seqüência. (não considere limitação no número de pessoas disponíveis para ajudar).

OP.	DESCRIÇÃO	REQUI	d _i	TPI	TPT	TUI	TUT	HT
		SITOS						
	Sacar Macaco, acessórios e step							
	Levantar carro com macaco							
	Tirar a calota							
	Afrouxar parafusos							
	Tirar parafusos							
	Tirar pneu furado							
	Colocar step no lugar do pneu furado							
	Descer o carro							
	Apertar parafusos e colocar calota							
	Guardar pneu furado							
	Guardar macaco na mala							
	Guardar ferramenta na mala							



c. Quais as características de tempo da rede apresentada?

III. OBTENÇÃO DOS PARÂMETROS DE UMA REDE

i) Característica duração - custo direto das atividades de um projeto

Quase todas as atividades de um projeto apresentam uma forte correlação entre o tempo necessário para a execução e o custo da mesma, sendo comum encontrar-se menor duração a um custo maior de execução de uma atividade, isto é, a duração de uma operação é uma função inversa do custo da mesma.

De acordo com o anterior, podemos concluir, então, que uma atividade pode ter diferentes durações, dependendo dos métodos empregados para a execução da mesma e/ou da quantidade de recursos disponíveis para sua realização.

Como exemplo, suponhamos que uma certa atividade na construção de uma estrada seja o transporte de um material, e que os métodos alternativos para realizá-la, sejam:

MÉTODO	DURAÇÃO	CUSTO DIRETO
avião	2 dias	CR\$500/ton
caminhão	5 dias	CR\$200/ton
trem	8 dias	CR\$100/ton
barco	10 dias	CR\$ 50/ton

Se fizermos um gráfico de custo direto contra duração dos métodos anteriores, aparecerá como:

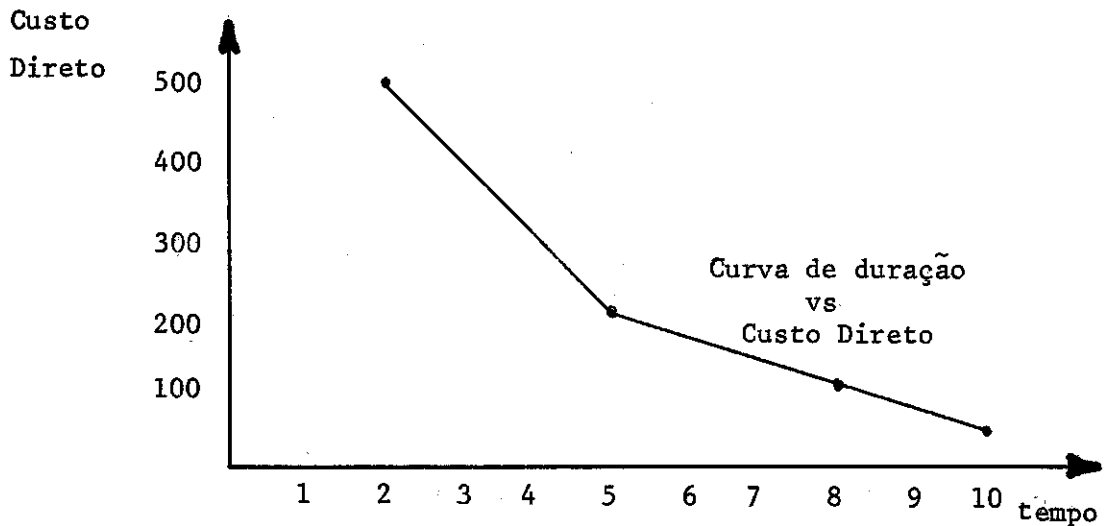


Fig. III.1

É de grande importância o estudo das curvas de duração vs custo direto, comumente chamadas curvas DCD, porque aportam uma flexibilidade incrível na estrutura da rede do caminho crítico de um projeto, pois tradicionalmente leva-se em consideração uma duração e o custo direto associado a ela para cada atividade, sendo que é possível um número infinito de combinações destas características, gerando nesta forma uma visão mais completa das alternativas de solução de um projeto. Por esta razão, apresenta-se na continuação o estudo detalhado de tal conceito.

ii) Construção das curvas duração - custo direto (curvas DCD)

O procedimento para a obtenção das curvas de duração-custo direto das atividades que formam uma rede de CPM é o seguinte:

- a. Selecione vários métodos por meio dos quais uma atividade pode ser realizada.
- b. determine a duração (tempo) da atividade por cada método e o custo direto associado a estas durações.
- c. faça um gráfico da curva DCD com os dados do passo (b).
- d. conecte os pontos com linhas retas para cima e para a esquerda como segue: desde o ponto de menor custo direto, trace uma reta ao próximo ponto (para a esquerda) que permita a linha reta com mínima pendente. Desse segundo ponto, trace uma linha reta ao próximo ponto (para a esquerda) que permita uma linha reta com mínima pendente. Continue nesta forma até que o último ponto seja conectado.

Para ilustrar o procedimento, suponhamos que uma certa atividade possa ser realizada por 6 métodos diferentes:

MÉTODO	DURAÇÃO	CUSTO DIRETO (CR\$)
A	2	800
B	2	700
C	3	600
D	4	575
E	5	500
F	7	700

O gráfico da curva DCD para esta atividade é o seguinte:

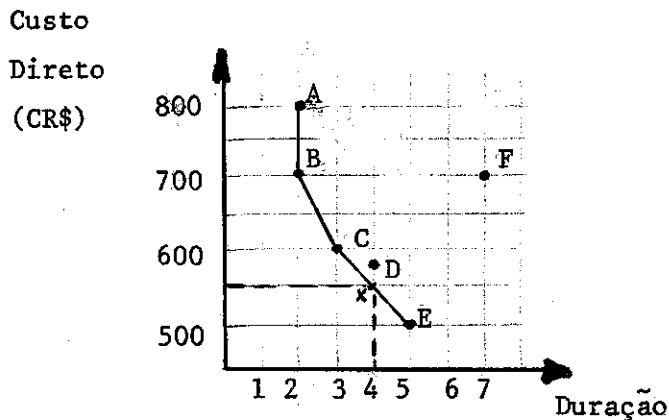


Fig. III.2

O ponto x indica que o custo direto mínimo necessário para realizar tal atividade em 4 dias é de CR\$550, no entanto, também indica que ela não pode ser executada em tal duração com um método somente. Este problema pode ser contornado, realizando-se tal atividade por meio da combinação dos métodos que limitam o segmento de reta C-E.

Por meio da conhecida propriedade geométrica dos "triângulos semelhantes" poderemos encontrar o tempo que cada um dos métodos limitantes C e E trabalharão, na seguinte forma:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{custo por dia de trabalho} \\ \text{utilizando o método C} \end{array} \right\} = \frac{\text{CR\$600}}{3 \text{ dias}} = 200 \frac{\text{CR\$}}{\text{dia}}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{custo por dia de trabalho} \\ \text{empregando o método E} \end{array} \right\} = \frac{\text{CR\$500}}{5 \text{ dias}} = 100 \frac{\text{CR\$}}{\text{dia}}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{tempo de trabalho do} \\ \text{método E} \end{array} \right\} = \frac{4-3}{5-3} \left[\text{duração pelo método E} \right] = \frac{1}{2} \cdot [5 \text{ dias}] = 2,5 \text{ dias}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{tempo de trabalho do} \\ \text{método C} \end{array} \right\} = \frac{5-4}{5-3} \left[\text{duração pelo método C} \right] = \frac{1}{2} \cdot [3 \text{ dias}] = 1,5 \text{ dias}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{duração da atividade} \\ \text{no ponto x} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} \text{tempo de trabalho} \\ \text{do método C} \end{array} \right\} + \left\{ \begin{array}{l} \text{tempo de trabalho} \\ \text{do método E} \end{array} \right\} = \{2,5 \text{ dias}\} + \{1,5 \text{ dias}\} = 4 \text{ dias}$$

$$\begin{aligned}
 \left\{ \begin{array}{l} \text{custo direto da atividade} \\ \text{no ponto x} \end{array} \right\} &= \left[\left(\begin{array}{l} \text{tempo de trabalho do} \\ \text{m\u00e9todo E} \end{array} \right) \cdot \left(\begin{array}{l} \text{custo unit\u00e1rio do} \\ \text{m\u00e9todo E} \end{array} \right) \right. \\
 &+ \left. \left(\begin{array}{l} \text{tempo de trabalho do} \\ \text{m\u00e9todo C} \end{array} \right) \cdot \left(\begin{array}{l} \text{custo unit\u00e1rio do} \\ \text{m\u00e9todo C} \end{array} \right) \right] \\
 &= \left[(2,5 \text{ dias}) 100 \frac{\text{CR}\$}{\text{dia}} + (1,5 \text{ dias}) (200 \frac{\text{CR}\$}{\text{dia}}) \right] = \\
 &= \text{CR}\$550
 \end{aligned}$$

A curva DCD foi desenhada unindo primeiro os pontos E e C; o ponto E \u00e9 o de menor custo direto e unindo-o a C, fornece a reta com m\u00ednima pendente (unindo o ponto E com D obt\u00eam-se uma pendente maior que E-C). Depois unem-se os pontos C e B, pois unindo-se os pontos C e A obt\u00eam-se uma pendente maior que C-B.

Os pontos extremos de uma curva DCD recebem nomes especiais. O tempo de termina\u00e7\u00e3o de uma atividade com custo direto m\u00ednimo \u00e9 chamado TEMPO NORMAL ou DURA\u00c7\u00c3O NORMAL da atividade em quest\u00e3o, e o custo associado a este ponto chama-se CUSTO NORMAL. O ponto da curva DCD com dura\u00e7\u00e3o m\u00ednima chama-se DURA\u00c7\u00c3O FOR\u00c7ADA e o custo associado a este ponto, CUSTO FOR\u00c7ADO.

No nosso exemplo, a dura\u00e7\u00e3o normal \u00e9 de 5 dias com custo normal de CR\$500 e a dura\u00e7\u00e3o for\u00e7ada \u00e9 de 2 dias com custo for\u00e7ado de CR\$700.

iii) Dura\u00e7\u00e3o associada \u00e0 combina\u00e7\u00e3o de m\u00e9todos de realiza\u00e7\u00e3o de uma atividade.

\u00c9 comum encontrar projetos nos quais uma atividade precisa ser realizada numa certa dura\u00e7\u00e3o que n\u00e3o corresponde a um m\u00e9todo determinado. Somente pontos espec\u00edficos como B, C e E da figura III.2 est\u00e3o associados a m\u00e9todos concretos. Ent\u00e3o, pontos sobre a linha reta que une dois m\u00e9todos espec\u00edficos n\u00e3o podem ser associados a um m\u00e9todo em particular, Portanto para realizar uma atividade com dura\u00e7\u00e3o que n\u00e3o coincide com um m\u00e9todo espec\u00edfico, dever-se-\u00e1 fazer as atividades combinando os m\u00e9todos extremos \u00e0 dura\u00e7\u00e3o pretendida.

Como exemplo, consideremos a curva DCD mostrada na figura III.2, e suponha que por alguma raz\u00e3o \u00e9 necess\u00e1rio realizar tal atividade em 4 dias, como se mostra na figura III.3.

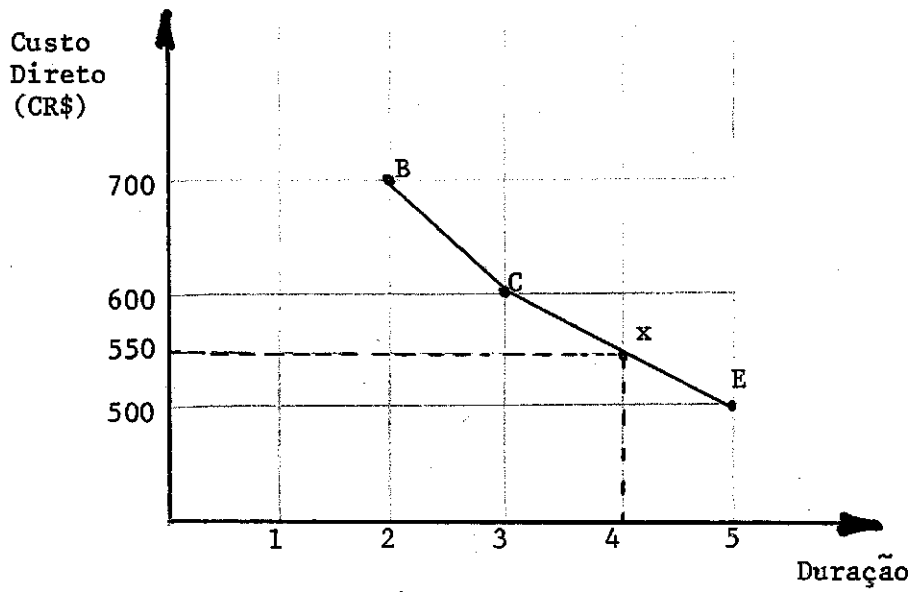


Fig. III.3

iv) Formas aceitáveis de curvas DCD

Serão aceitas para cálculo somente as curvas DCD, obtidas pelo método anteriormente exposto. Estas curvas se apresentarão da seguinte forma:

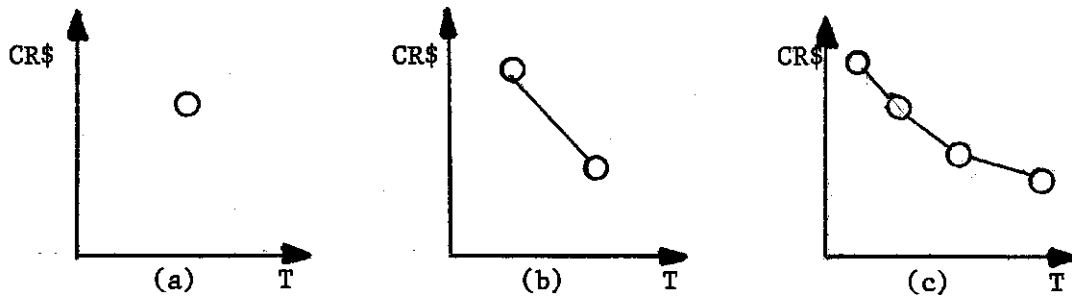


Fig. III.4

- . no diagrama (a) mostra-se a curva DCD de uma atividade que pode realizar-se por um método somente.
- . no diagrama (b) têm-se a curva DCD de uma atividade que pode ser realizada por dois métodos diferentes ou por qualquer combinação desses métodos.
- . o diagrama (c) apresenta a curva DCD de uma atividade que pode realizar-se por 4 métodos diferentes ou por qualquer combinação destes em pares selecionados.

v) Formas não aceitáveis de curvas DCD

Algumas das formas não aceitáveis de curvas DCD estão representadas na figura III.5, ou seja, todas aquelas cuja construção de alguma de suas etapas não procede com a metodologia anteriormente descrita.

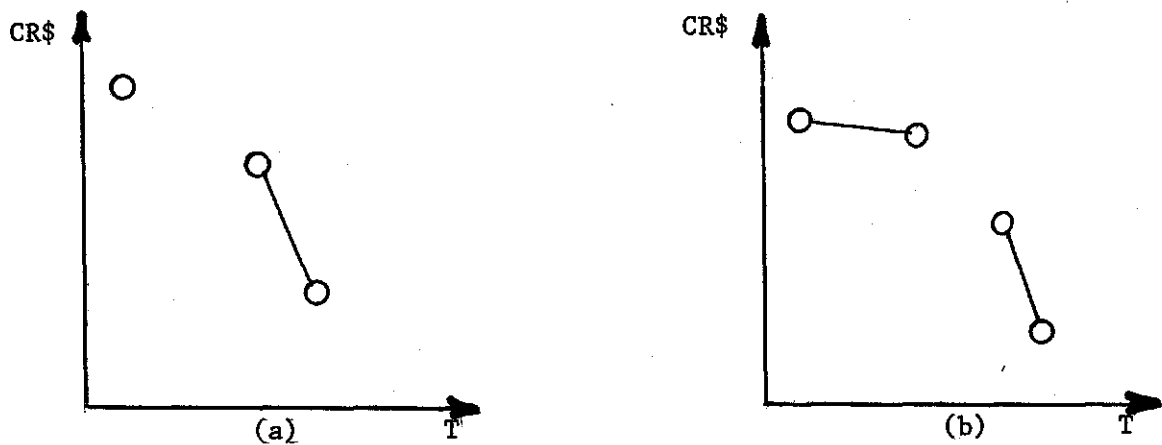


Fig. III.5

- vi) Determinação da pendente de custos reais de uma atividade e faixa de possíveis durações.

Das curvas DCD, os dados mais importantes que podem ser extraídos para cada atividade são sua pendente de custos reais e sua faixa de possível duração; dados necessários para poder aplicar as técnicas de redução de projetos.

A seguir, apresentamos a forma de se obter os dados acima mencionados.

Seja uma curva DCD de uma atividade como a representada na figura III.6:

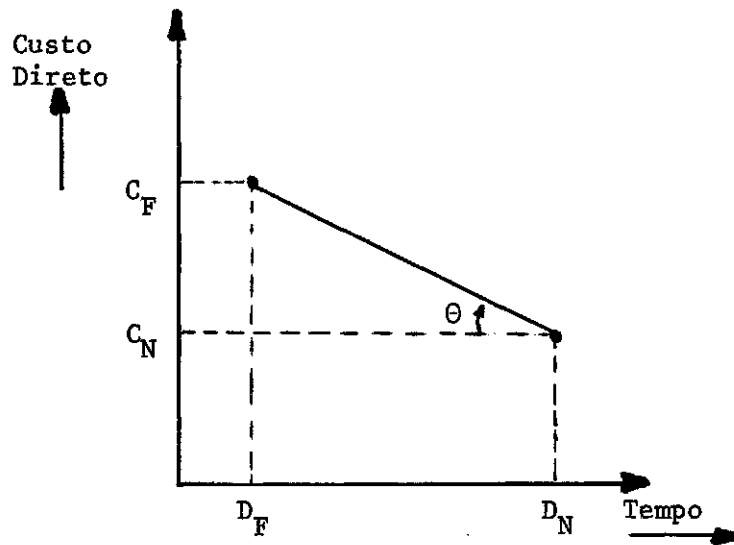


Fig. III.6

$$\{\text{pendente de custos reais}\} = \theta = \frac{C_F - C_N}{D_F - D_N}$$

onde:

C_F = Custo direto da duração forçada

C_N = Custo direto da duração normal

D_F = Duração forçada

D_N = Duração normal

A pendente de custos reais (θ) é, matematicamente, a razão do câmbio unitário dos custos diretos de uma atividade, dado um incremento na duração da mesma.

A faixa de possível duração da atividade é o conjunto de durações viáveis de ocorrer para ela. Matematicamente é expressada como o conjunto de valores possíveis contido em $(D_N - D_F)$. Assim, para o nosso exemplo, a faixa de durações possíveis é $(D_N - D_F)$.

vii) Exemplos

O capítulo seguinte permitirá resumir os conceitos enunciados no presente capítulo.

Determinada atividade de um projeto pode ser realizada de acordo com os métodos, durações e custos diretos apresentados na tabela III.1, pede-se calcular:

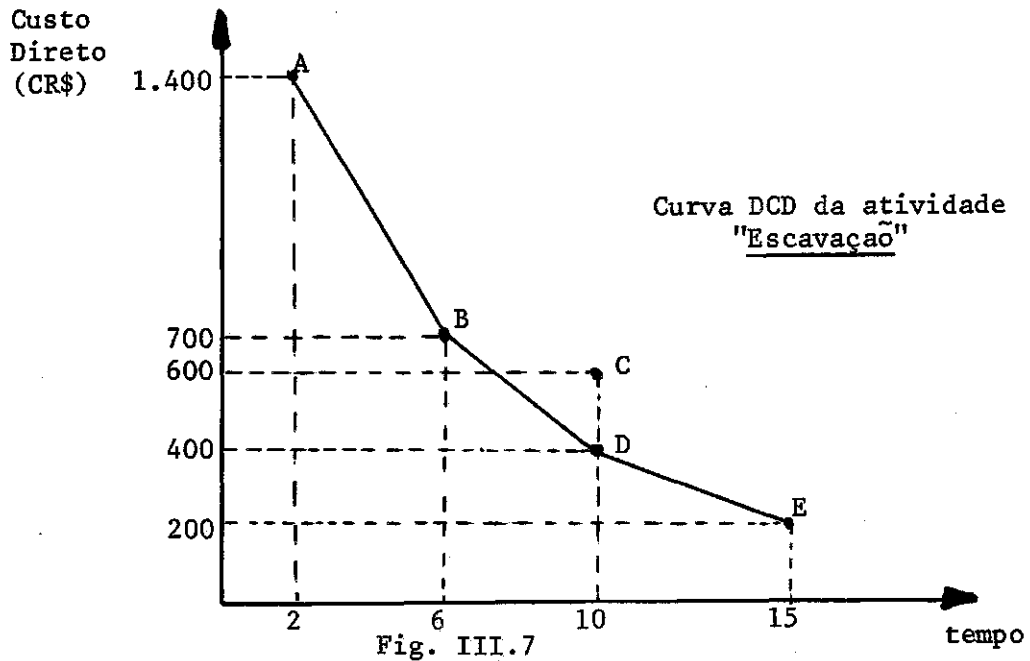
- a. a curva DCD da atividade
- b. a pendente de custos reais
- c. a faixa de possíveis durações
- d. os métodos selecionados, assim como o custo direto resultante da realização da atividade em 5 dias.

Tabela III.1

ATIVIDADE: ESCAVAÇÃO			
METODO	DESCRIÇÃO	DURAÇÃO (DIAS)	CUSTO DIRETO CR\$
A	duas escavadeiras	2	1400
B	uma escavadeira	6	700
C	três turmas de operários	10	600
D	duas turmas de operários	10	400
E	uma turma de operários	15	200

Solução do exemplo:

- a. a curva DCD da atividade "Escavação"



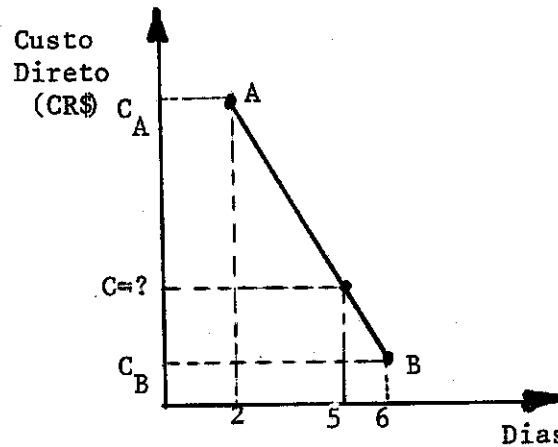
b. Dado que a curva DCD da atividade consta de vários trechos e eficientes, é necessário calcular para cada um deles suas pendentes de custos reais. Assim,

$$\begin{aligned} \text{Trecho A-B} \quad \theta_{A-B} &= \frac{C_A - C_B}{D_B - D_A} = \frac{1400 - 700}{6 - 2} = 175 \frac{\text{CR\$}}{\text{dia}} \\ \text{Trecho B-D} \quad \theta_{B-D} &= \frac{C_B - C_D}{D_D - D_B} = \frac{700 - 400}{10 - 6} = 75 \frac{\text{CR\$}}{\text{dia}} \\ \text{Techo D-E} \quad \theta_{D-E} &= \frac{C_D - C_E}{D_E - D_D} = \frac{400 - 200}{15 - 10} = 40 \frac{\text{CR\$}}{\text{dia}} \end{aligned}$$

c. A faixa de possíveis durações da alternativa é:

2, 3, 4,, 15 dias

d. Dado que se deseja realizá-la em 5 dias, os métodos limitantes para esta duração são A e B. Isolando o trecho A-B da figura III.7, obtemos:



$$\{\text{custo por dia do método A}\} = \frac{1400}{2} = 700 \frac{\text{CR\$}}{\text{dia}}$$

$$\{\text{custo por dia do método B}\} = \frac{700}{6} = 116,6 \frac{\text{CR\$}}{\text{dia}}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{tempo de execução} \\ \text{pelo método A} \end{array} \right\} = \frac{6-5}{6-2} \cdot \left[\begin{array}{l} \text{duração do} \\ \text{método} \end{array} \right] = \frac{1}{4} \cdot \left[\begin{array}{l} 2 \text{ dias} \end{array} \right] = \frac{1}{2} \text{ dia}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{tempo de execução} \\ \text{pelo método B} \end{array} \right\} = \frac{5-2}{6-2} \cdot \left[\begin{array}{l} \text{duração do} \\ \text{método} \end{array} \right] = \frac{3}{4} \cdot \left[\begin{array}{l} 6 \text{ dias} \end{array} \right] = 4,5 \text{ dias}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{custo total da} \\ \text{atividade a 5 dias} \end{array} \right\} = (0,5)(700) + (4,5)(116,6) = 350 + 524,70 = \text{CR\$}874,70$$

IV. TÉCNICAS EMPREGADAS PARA A REDUÇÃO DE UM PROJETO

O fato de que uma atividade possa ser realizada por diversos métodos, origina uma faixa de possíveis durações por atividade e não uma duração rígida, sem flexibilidade alguma, como tradicionalmente se supõe ao aplicar-se a técnica do caminho crítico. Nesta forma, dado o infinito número de possíveis durações de uma atividade, são gerados também um número infinito de possíveis durações de um projeto, que por sua vez, reportam uma quantidade igual de custos diretos do mesmo. Neste capítulo, trataremos de mostrar como se obtém a faixa de durações viáveis de um projeto e o custo associado a tais durações viáveis (possíveis).

Graficamente, todo o projeto apresenta a seguinte configuração de duração - custo direto:

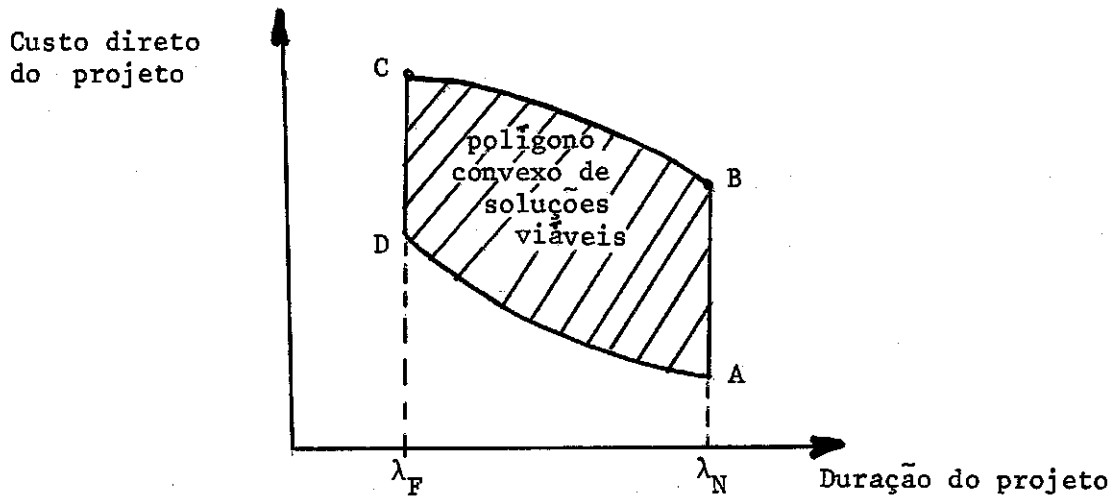


Fig. IV.1

λ_N = duração normal do projeto total

λ_F = duração forçada do projeto total

onde o polígono curvo ABCD representa o polígono convexo de soluções viáveis em durações e custo direto de um projeto, isto é, qualquer ponto contido no polígono é uma possível solução em duração e custo direto do projeto. Os pontos extremos deste polígono representam as características em duração e custo direto do projeto com:

- A. atividades críticas e não críticas à duração normal
- B. atividades críticas à duração normal e as não críticas à duração forçada
- C. atividades críticas e não críticas à duração forçada
- D. atividades críticas à duração forçada e as não críticas à duração normal.

A duração λ_N , é o tempo mais remoto no qual se pode realizar um projeto determinado, levando em consideração que não existirão causas de força maior que possam servir de obstáculo em tal programação. A redução máxima que pode ser feita na programação é:

$$\lambda_N - (\lambda_N - \lambda_F)$$

ou seja, até sua duração forçada (λ_F), porém cada redução na duração programada do projeto refletirá um aumento nos custos diretos do mesmo por tal conceito.

Conhecendo as possíveis alternativas em duração e custo direto, é nosso problema planejar e programar as atividades de um projeto em tal forma que sua solução sempre se encontre sobre uma linha curva inferior do polígono, como a linha D-A da figura IV.1, a qual se costuma chamar 'curva de custos diretos mínimos de um projeto', esquecendo por completo as combinações convexas que podem ser geradas por qualquer conjunto de pontos extremos do polígono convexo de soluções viáveis.

Uma vez obtida esta curva de duração-custo direto do projeto, poderemos passar para o cálculo da curva de duração - custos Totais do projeto. Esta informação é de fundamental importância para o chefe do projeto podendo ser obtida da seguinte forma:

É de conhecimento da contabilidade geral que:

$$CT = CD + CI \quad (1)$$

onde:

CT = custos totais

CI = custos indiretos

CD = custos diretos

A curva de custos indiretos de um projeto, geralmente tem a seguinte forma por ser linear:

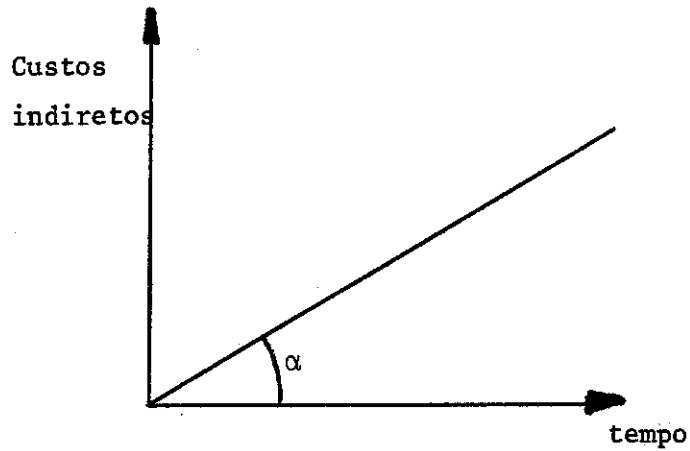


Fig. IV.2

onde o coeficiente angular α que determina a declividade da reta de custos indiretos depende da magnitude e característica da empresa em questão.

Se isolarmos a curva de custos diretos mínimos de um projeto da fig. IV.1, teremos a seguinte curva:

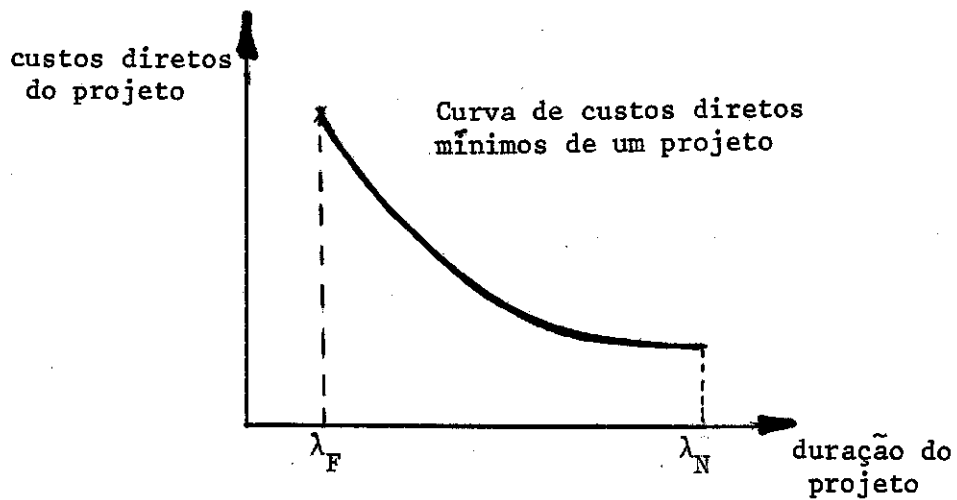


Fig. IV.3

Somando ambas as curvas, para cumprir com a equação (1), obter-se-á a curva de custos totais de um projeto, que possui o seguinte formato:

Custos diretos
do projeto

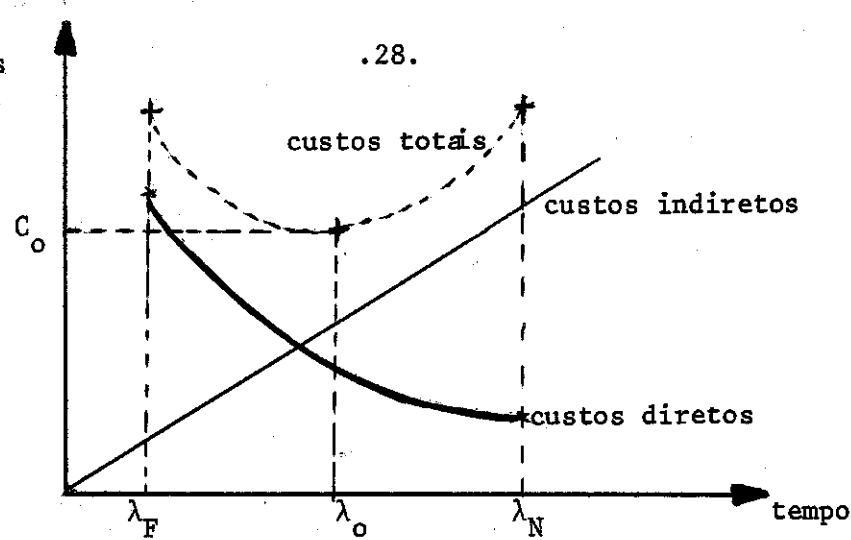


Fig. IV.4

Nesta forma, tabelando os valores de (λ_i, C_i) contidos na faixa (λ_N, λ_F) se obtêm a informação necessária no que se refere à "panorâmica" de durações e custos totais de realização de um projeto; corresponde ao ponto (λ_0, C_0) o ponto ótimo de realização do mesmo.

i) Solução empregando programação linear

O problema de redução de projetos empregando a técnica de programação linear é o seguinte: dada uma duração determinada pelo chefe do projeto, precisa-se saber:

- a. qual o custo direto mínimo do projeto à duração pré-determinada (λ) .
- b. que duração deve ser programada para cada atividade do projeto para se obter a duração λ .

Matematicamente nosso problema será expressado da seguinte forma:

Construção da função objetivo: a função objetivo estará formada pela minimização dos custos diretos de todas as atividades que formam o projeto, assim:

$$\text{Minimizar CTP} = \text{Min} \{ \text{custos diretos do projeto} \}$$

mas, os custos diretos do projeto são todos os custos diretos das atividades (n) que formam parte do projeto, precisando-se portanto, da expressão matemática que representa o custo direto da atividade (i) em função da duração da mesma. Definamos então:

$$C_i = \text{custo direto da atividade } (i)$$

$$X_i = \text{duração da atividade } (i)$$

$$\theta_i = \text{pendente de custos reais da atividade } (i)$$

k_i = interseção da reta de custos reais com seu eixo.

Do desenho de uma curva DCD, pode-se tirar a relação que existe entre o custo direto de uma atividade e a sua duração, isto é:

$$C_i = k_i - \theta_i X_i \quad (2)$$

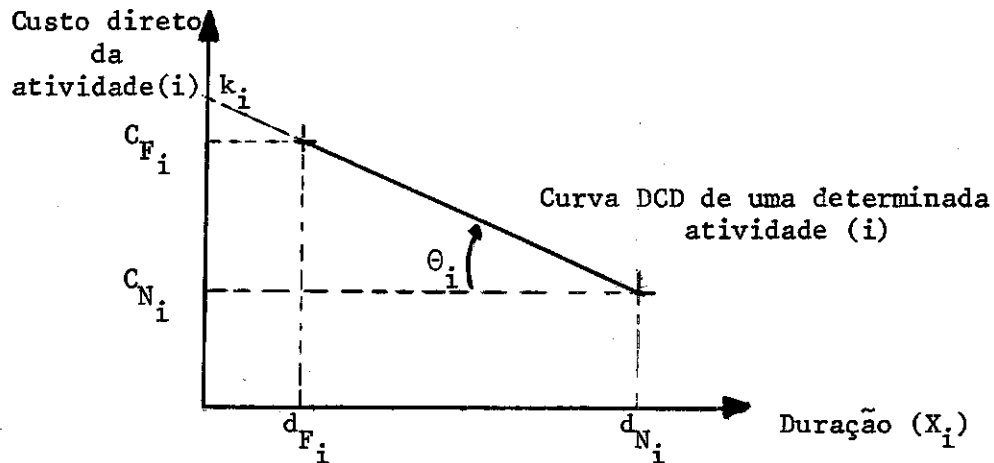


Fig. IV.5

A expressão matemática (2) é a equação da reta de custos diretos da atividade (i).

Substituindo a expressão (2) na expressão da função objetivo, temos:

$$\text{Minimizar \{CTP\} = Minimizar \left\{ \sum_{j=1}^n C_j \right\} = \text{Min} \left\{ \sum_{j=1}^n (k_j - \theta_j X_j) \right\}$$

mas,

$$\sum_{j=1}^n k_j = \text{constante} = K$$

então:

$$\text{Min \{CTP\} = Min} \left\{ \sum_{j=1}^n (K - \theta_j X_j) \right\}$$

ou seja,

$$\text{Min \{CTP\} = Max} \left\{ \sum_{j=1}^n \theta_j X_j \right\}$$

então, a função objetivo do problema será:

$$Z_{\text{Max}} = \sum_{j=1}^n \theta_j X_j$$

sujeita às seguintes restrições:

- . a duração da i -ésima atividade deverá estar contida dentro de sua faixa de durações viáveis.

$$X_i \geq d_{F_i}$$

e

$$X_i \leq d_{N_i}$$

- . deverão ser respeitadas as relações de precedência da rede do caminho crítico, ou seja:

$$TPI_i + X_i - TUT_i \leq 0$$

- . como se deseja o projeto a uma duração pré-determinada, devemos expressar isto, também, como uma restrição tecnológica.

$$TUT_N - TPI_1 = \lambda$$

- . não podem ser aceitas durações negativas.

$$X_i \geq 0 \quad ; \quad i = 1, 2, 3, \dots, n$$

Em resumo, o modelo matemático será:

$$Z_{\text{Max}} = \sum_{j=1}^n \theta_j X_j$$

Sujeita a:

$$TPI_i + X_i - TUT_i \leq 0$$

$$X_i \leq d_{N_i}$$

$$X_i \geq d_{F_i}$$

$$TUT_N - TPI_1 = \lambda$$

$$X_i \geq 0; \quad i = 1, 2, \dots, n$$

Vantagens do método : A única vantagem deste método é a obtenção por este modelo matemático de uma solução ótima diferenciando-se portanto, de outros métodos utilizados atualmente que não garantem tal solução.

iii) Solução empregando o método de SAM (Siemens Approximation Method)

O método de SAM para a redução de projetos é bastante recente e, portanto, desconhecido (fevereiro de 1971).

A grande vantagem oferecida pelo método de SAM é sua flexibilidade de aplicação (redes grandes ou pequenas), sua rapidez, simplicidade e não precisa de computador, embora possa ser programado. A única desvantagem do método é ser heurístico, mas têm-se feito estudos de otimização e a margem de erro de suas soluções com relação às soluções ótimas é bastante pequena.

Para mostrar o método e sua aplicação, utilizaremos o seguinte exemplo: suponhamos que devemos construir uma barragem e equipar um conjunto hidrelétrico. Tomando como unidade de tempo, o mês e, como unidade de custos, milhões de cruzeiros, deveremos executar as seguintes atividades:

- a. construção de caminhos de acesso ao local onde a barragem será instalada, à usina e aos locais de obtenção dos materiais rochosos:

$$T_N = \text{tempo normal} = 4 \text{ meses}$$

$$C_N = \text{custo normal} = 5 \text{ milhões}$$

$$T_F = \text{tempo forçado} = 2 \text{ meses}$$

$$C_F = \text{custo forçado} = 15 \text{ milhões}$$

- b. preparação das pedreiras e das fundações

$$T_N = 6$$

$$C_N = 11$$

$$T_F = 5$$

$$C_F = 30$$

- c. construção de uma mini-cidade para a administração e para o pessoal em geral

$$T_N = 4$$

$$C_N = 3$$

$$T_F = 2$$

$$C_F = 11$$

- d. especificação e pedido do material elétrico e hidráulico (geradores, turbina, etc.)

$$T_N = 12$$

$$C_N = 150$$

$$T_F = 9$$

$$C_F = 180$$

e. construção da usina

$$T = 10$$

$$C_N = 10$$

$$T_F = 8$$

$$C_F = 20$$

f. construção da barragem, diques e sangradouros superficiais

$$T_N = 24$$

$$C_N = 147$$

$$T_F = 19$$

$$C_F = 212$$

g. construção de galerias e canais de fuga

$$T_N = 7$$

$$C_N = 18$$

$$T_F = 6$$

$$C_F = 30$$

h. montagem da usina e dos condutos

$$T_N = 10$$

$$C_N = 4$$

$$T_F = 7$$

$$C_F = 25$$

i. teste de funcionamento

$$T_N = 3$$

$$C_N = 2$$

$$T_F = 2$$

$$C_F = 5$$

Os custos indiretos da construtora são de 10 milhões de cruzeiros por mês. Os requisitos tecnológicos entre as atividades, assim como os dados de tempo e custo de cada uma delas podem ser resumidos na tabela a seguir.

Tabela IV.1

OP.	DESCRIÇÃO	REQUI-SITO	DURAÇÃO		CUSTOS		Θ	Δ
			N	F	N	F		
A	Construção de caminhos de acesso ao local	-	4	2	5	15	5	2
B	Preparação de pedreiras e fundações	A	6	5	11	30	19	1
C	Construção da cidade	-	4	2	3	11	4	2
D	Pedido do material elétrico e hidráulico	-	12	9	150	180	10	3
E	Construção da usina	C,B	10	8	10	20	5	2
F	Construção da barragem, diques e sangradouros	C,B	24	19	147	212	13	5
G	Construção de galerias e canais de fuga	A	7	6	18	30	12	1
H	Montagem da usina e dos condutos	D,E,G	10	7	4	25	7	3
I	Teste de funcionamento	F,H	3	2	2	5	3	1

Θ = pendente de custos reais Δ = faixa de redução

O MÉTODO SAM

1º) Obtenção da duração e custo direto normais do projeto

Para isto, precisamos resolver a rede de CPM do projeto com todas as atividades em duração normal, dado que todas as atividades do proje-

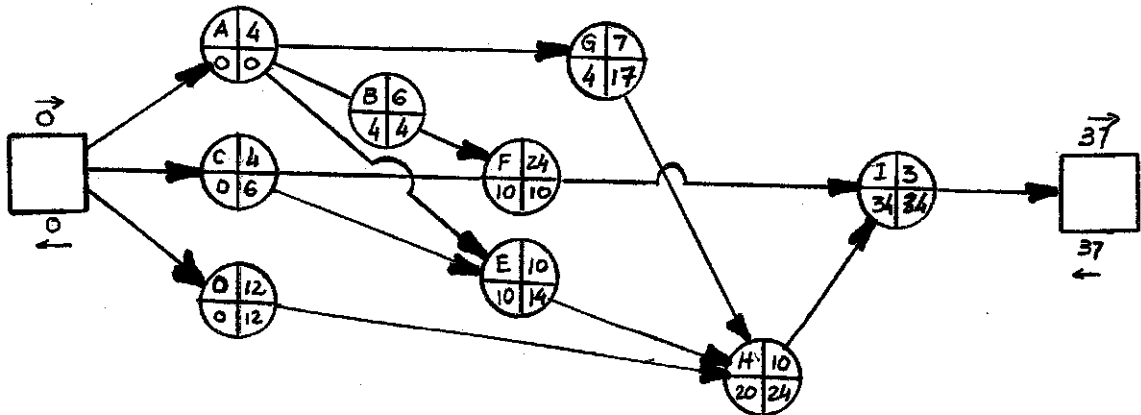


Fig. IV.6

to, são programadas à duração normal, o custo direto normal do projeto será a soma dos custos diretos normais de todas as atividades que participam:

Então,

$$\{\text{custo direto normal do projeto}\} = \text{CR\$350 milhões}$$

$$\{\text{duração normal do projeto}\} = 37 \text{ meses}$$

A duração de 37 meses e o custo de CR\$350 milhões correspondem (definim) o ponto de custo mínimo da curva de custos diretos mínimos do projeto.

29) Definição da data de conclusão desejada para o projeto

A data desejada pelo chefe do projeto para a nova duração do programa, deverá ser maior ou igual à data mínima (duração) possível do mesmo.

A mínima duração possível de um projeto é facilmente obtida, substituindo-se na rede do projeto a duração forçada das atividades, analisando ou resolvendo a rede para tais características. No nosso exemplo, a duração forçada do projeto é de 28 meses.

$$\{\text{Duração forçada do projeto}\} = 28 \text{ meses}$$

O custo forçado do projeto não pode ser calculado como a soma dos custos forçados das atividades.

39) Obtenção da demanda de encurtamento de todos os caminhos atuantes da rede

Entende-se por caminhos atuantes da rede todos aqueles que comunicam o início com o final do projeto.

A demanda de encurtamento de um caminho é definida como a diferença entre sua duração normal do caminho e a data pré-determinada na qual se deseja a nova duração do projeto. Em nosso exemplo, desejamos saber qual o custo direto do projeto em sua duração forçada (28 meses).

Caminhos	Duração	Demanda de Encurtamento
AGHI	24	0
ABFI	37	9
ABEHI	33	5
CFI	31	3
CEHI	27	0
DHI	25	0

49) Resolução com os dados obtidos em 1, 2, e 3 da matriz de encurtamento do método SAM.

- Preparação da matriz de encurtamento

A matriz de encurtamento está formada pelos caminhos da rede que demandam encurtamento como colunas, e por filas, contendo as atividades que participam de tais caminhos. Complementa-se a referida matriz com as duas últimas colunas, representando o custo marginal (pendente de custos reais θ) por atividade e a faixa de possíveis durações (Δ) respectivamente.

A matriz de encurtamento do nosso exemplo está representada na figura IV.7, onde são eliminados os registros da matriz que correspondem a atividades que não participam de determinados caminhos. Este é o caso das atividades A e B na terceira coluna, que não fazem parte do caminho CFI, sendo portanto, eliminadas. A atividade C deve, pela mesma razão, ser eliminada das duas primeiras colunas e assim por diante.

As quantidades colocadas na parte superior esquerda dos registros da matriz, são chamadas de "a pendente efetiva de custos", cujo valor é dado pela fórmula:

$$\delta_i = \frac{\theta_i}{NCE_i}$$

onde: δ_i = pendente efetiva de custos da atividade (i)

θ_i = pendente de custos reais da atividade (i)

NCE_i = número de caminhos que precisam ser encurtados e dos quais participa a atividade (i)

OP.	CAMINHOS QUE DEMANDAM ENCURTAMENTO			θ	Δ
	ABFI	ABEHI	CFI		
A	2.5	2.5	 	5	2
B	9.5	9.5	 	19	1
C	 	 	4	4	2
E	 	5	 	5	2
F	6.5	 	6.5	13	5
H	 	7	 	7	3
I	1	1	1	3	1
DE	9	5	3		

Fig. IV.7

- Uma vez preparada a matriz de encurtamento, procede-se à aplicação do método

- . escolhe-se o caminho que demanda maior quantidade de unidades de tempo para encurtar (o caminho ABFI com 9 meses para encurtar); em caso de empate, escolhe-se o caminho que contém a atividade com mínima pendente efetiva de custos, e em caso de permanência do empate, escolhe-se o caminho que contém a atividade que participa do maior número de caminhos por encurtar.
- . escolhe-se então a atividade com mínima pendente efetiva de custos (δ_i); em caso de empate, escolhe-se a atividade que participa de maior número de caminhos por encurtar.
- . uma vez escolhidos caminho e atividade, a quantidade a encurtar dependerá da faixa possível de encurtamento da atividade selecionada e das demandas de encurtamento dos caminhos nos quais essa atividade participa, evitando quando possível, encurtamentos excessivos.

- . caso a demanda de encurtamento de um dos caminhos tenha atingido sua mínima expressão, elimina-se esse caminho e atualiza-se as pendentas efetivas de custo; ao eliminar um caminho por ter sido completamente encurtado, as expressões das pendentas efetivas de custo são incrementadas.
- . estando os registros da matriz atualizados, após cada encurtamento, volta-se então ao início e procede-se como antes, até eliminar todas as demandas de encurtamento.

A aplicação do método de SAM ao nosso exemplo, é apresentada passo a passo na figura IV.8, e a seguir daremos uma breve explicação da transição de figura a figura.

- Figura IV.8 (a)

AT	ABFI	ABEHI	CFI	Θ	Δ
A	2.5	2.5	X	5	2
B	9.5	9.5	X	19	1
C	X	X	4	4	2
E	X	5	X	5	2
F	6.5	X	6.5	13	5
H	X	7	X	7	3
I	1	1	1	3	1
	8	4	2		

- . o caminho que demanda mais unidades de tempo para encurtar, é o ABFI
- . neste caminho a atividade com δ mínima é (I)
- . a máxima quantidade de encurtamento, neste caso, é uma (1) unidade (mês), diminuindo nesta quantidade a demanda de encurtamento dos caminhos ABFI, ABEHI e CFI, que contêm a atividade I.

- Figura IV.8 (b)

AT	ABFI	ABEHI	CFI	Θ	Δ
A	2.5	2.5	X	5	2
	2	2			
B	9.5	9.5	X	19	1
C	X	X	4	4	2
E		5	X	5	2
F	6.5	X	6.5	13	5
H	X	7	X	7	3
I	1	1	1	3	1
	1	1	1		
	6	2	2		

- . depois do primeiro corte feito na figura (a), atualiza-se a matriz de encurtamento, como indica na figura (b), gerando as novas demandas de encurtamento e eliminando a atividade (I) pelo fato da mesma não dispor de unidades para encurtamento.
- . o caminho ABFI é o que tem maior demanda de encurtamento.
- . neste caminho a atividade com δ mínima é (A).
- . a máxima quantidade de encurtamento neste caso, são duas (2) unidades (meses), diminuindo nesta quantidade a demanda de encurtamento dos caminhos ABFI e ABEHI, que contêm a atividade (A).

- Figura IV.8 (c)

AT	ABFI	ABEHI	CFI	Θ	Δ
A	2.5 2	2.5 2	2.5 2	5	2
B	9.5	9.5	9.5	19	1
C	6.5 2	2.5 2	4	4	2
E	6.5 2	5	6.5 2	5	2
F	6.5 2	2.5 2	6.5 2	13	5
H	6.5 2	7	6.5 2	7	3
I	1 1	1 1	1 1	3	1
	6 4	2	2 0		

- . depois do segundo corte feito na figura (b), atualiza-se a matriz de encurtamento, como se indica na figura (c) gerando as novas demandas de encurtamento (6, 2, 2) e eliminado a atividade (A) por não dispor de unidades para futuros cortes (encurtamentos)
- . o caminho ABFI é o que tem maior demanda de corte.
- . neste caminho a atividade δ mínima é (F)
- . a máxima quantidade de encurtamento, neste caso, é duas (2) unidades (meses) pois o caminho CFI ao qual (F) também pertence, somente precisa de duas unidades de corte e não é desejável encurtá-lo demais.
- . os caminhos ABFI e CFI portanto, são encurtados em duas unidades de tempo.
- . como a atividade (F) ainda possui (3) unidades disponíveis para corte, não é eliminada da matriz como nos casos anteriores.
- . dado que a demanda do caminho CFI já foi satisfeita, ele é eliminado da matriz e, pelo mesmo, são atualizadas as pendentes e fetivas de custos, como se mostra na figura (d).

- Figura IV.8 (d)

AT	ABFI	ABEHI	CFI	θ	Δ
A	2.5	2.5	 	5	2
	2	2			
B	9.5	9.5	 	19	1
	1	1			
C	 	 	4	4	2
	 	 			
E	 	5	 	5	2
	 	 			
F	13	 	6.5	13	5
	2	 	2		
H	 	7	 	7	3
	 	 			
I	1	1	1	3	1
	1	1	1		
	3	1	0		

- . a única atividade que modificou sua pendente efetiva de custos foi (F); passando de 6,5 a 13, pois agora pertence somente a um só caminho por encurtar
- . o caminho ABFI é o que possui maior demanda de encurtamento.
- . neste caminho a atividade (B) é a que possui δ mínima.
- . somente pode ser encurtada em uma unidade, e pelo mesmo, os caminhos ABFI e ABEHI aos quais ela pertence, são encurtados nesta quantidade.
- . a atividade (B) pelo fato de não dispor mais unidades para encurtar deve ser eliminada da matriz.

- Figura IV.8 (e)

AT	ABFI	ABEHI	CFI	θ	Δ
A	2.5	2.5	 	5	2
	2	2			
B	9.5	9.5	 	19	1
	1	1			
C	 	 	4	4	2
E	 	5	 	5	2
F	13	 	6.5	13	5
	2+3		2+3		
H	 	7	 	7	3
I	1	1	1	3	1
	1	1	1		
	3 0	1	0		

- . uma vez atualizadas as demandas de encurtamento dos caminhos que ainda precisam ser encurtados (3,1,0), o caminho ABFI é o que ainda precisa de maior corte.
- . neste caminho, a atividade (F) é a que tem δ mínima.
- . a atividade (F) atua em dois caminhos (ABFI e CFI). O caminho ABFI precisa de 3 unidades de corte para satisfazer sua demanda, entretanto, ao encurtar 3 unidades do caminho ABFI, também será encurtado o caminho CFI, causando um excesso no corte do caminho CFI, nada podendo-se fazer a respeito.
- . dado que a atividade (F) foi completamente encurtada, ela deve ser eliminada da matriz.
- . como o caminho ABFI foi completamente encurtado, deve-se atualizar as pendentes efetivas de custos das atividades que pertencem a este caminho.

- Figura IV:8 (f)

AT	ABFI	ABEHI	CFI	θ	Δ
A	2.5	2.5	X	5	2
	2	2			
B	9.5	9.5	X	19	1
	1	1			
C	X	X	4	4	2
E	X	5	X	5	2
	X	1			
F	13	X	6.5	13	5
	2+3	X	2+3		
H	X	7	X	7	3
I	1	1	1	3	1
	1	1	1		
	0	1 0	0		

- . o caminho ABEHI é o único que precisa de corte
- . neste caminho, a atividade (E) é a que possui pendente efetiva de custos mínima (δ) e, pelo mesmo é escolhida para ser reduzida.
- . as necessidades de corte do caminho ABEHI são de uma unidade de corte, e, nesta forma o encurtamento do projeto é terminado, com o seguinte saldo de corte e cálculo do custo direto para a duração desejada de 28 meses.

Tabela IV.2

I	II	III	IV	V	VI
ATIVIDADES	UNIDADES DE CORTE	CUSTO MARGINAL θ	CUSTO DO CORTE (II x III)	CUSTO NORMAL C_N	CUSTO DIRETO (IV+V)
A	2	5	10	5	15
B	1	19	19	11	30
C	0	4	0	3	3
D	0	10	0	150	150
E	1	5	5	10	15
F	5	13	65	147	212
G	0	12	0	18	18
H	0	7	0	4	4
I	1	3	3	2	5
CUSTO DIRETO DO PROJETO					452

Agora que temos encontrado os dois pontos extremos do polígono Convexo de Soluções viáveis passamos a calcular o perfil da curva de custo direto mínimo de realização do projeto nas durações intermediárias aos dois pontos já calculados. Aplicando-se sucessivamente o método de SAM para as durações 29, 30, 31, ..., 36 meses, é obtido o custo incremental direto mínimo do projeto como se mostra na figura IV.9.

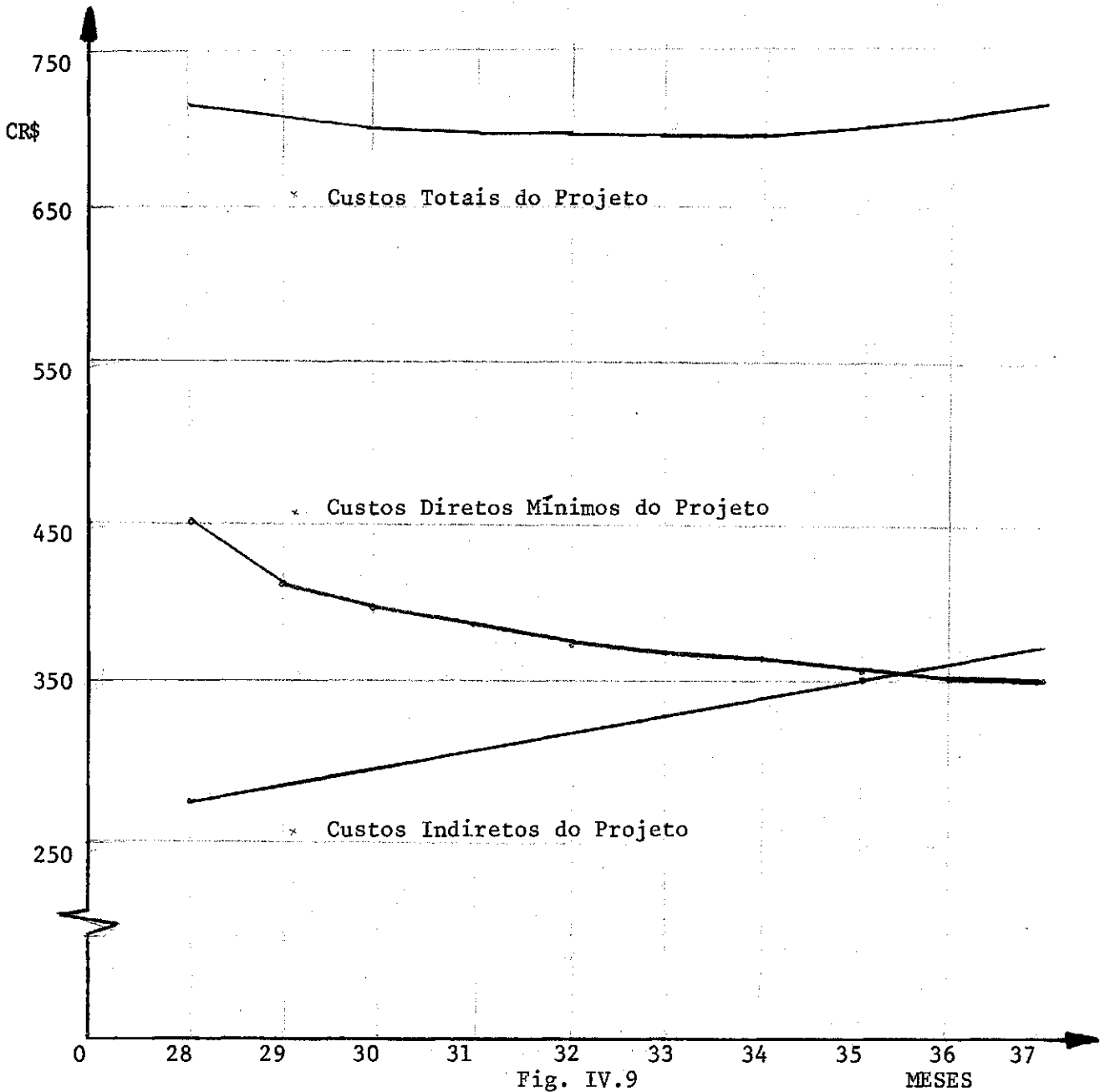


Fig. IV.9

Estipulada a taxa de custos indiretos da empresa em 10 milhões de cruzeiros por mês, a imagem do custo total visto na figura IV.9 é apresentada na tabela IV.3.

.45.
Tabela IV.3

DURAÇÃO DO PROJETO	CUSTO DIRETO (SAM)	CUSTO INDIRETO	CUSTO TOTAL (III + II)
I	II	III	IV
28	452	280	732
29	434	290	724
30	415	300	715
31	402	310	712
32	389	320	709
33	376	330	706
34	363	340	703
35	358	350	708
36	353	360	713
37	350	370	720

v) Problema

Suponha que um determinado projeto está definido pelas atividades (com suas características) apresentadas na tabela IV.4.

Tabela IV.4

AT.	REQ.	DURAÇÃO [†]		CUSTOS [*]		θ	Δ
		NORMAL	FORÇADA	NORMAL	FORÇADO		
A	-	8	3	500	2.500	400	5
B1	-	5	2	750	1.350	200	3
B2	B1	7	5	350	750	250	2
C	-	8	3	700	1.200	100	5
D	A	10	5	800	2.300	300	5
E	A, B2, C	4	1	600	1.200	200	3
F	C	10	5	450	1.950	300	5
G	E	6	2	1.300	2.500	300	4

† duração em meses

* custos em centenas de cruzeiros

Se a taxa de custos indiretos é de CR\$30.000,00/mês, interessa saber deste projeto:

- a duração e custo normais
- qual o custo do projeto a uma duração de 12 meses.

V. NIVELAMENTO DE RECURSOS

i) Antecedentes do problema

Um dos problemas de fundamental importância na análise de uma rede de CPM é a programação e nivelamento dos recursos produtivos disponíveis pela empresa. Todo projeto necessita de recursos produtivos para sua realização, isto é, de capital, mão-de-obra e equipamento.

Quando aplicado o CPM a um projeto, não se leva em consideração os possíveis problemas futuros, causados pela limitação de certos recursos, utilizados por atividades que os requerem ao mesmo tempo, e quando isto acontece, geralmente é tarde demais para uma reprogramação do projeto.

Mão-de-obra é um recurso muito importante em projetos de grande porte, e geralmente, limitado em certo grau. Utilizaremos o conceito de 'nivelamento da mão-de-obra', para ilustrar as variantes do problema.

a. Evitar flutuações

Em qualquer projeto é desejável evitar flutuações nos requisitos de mão-de-obra. Selecionar, contratar e treinar pessoal são atividades que consomem tempo e capital. Uma vez contratada a mão-de-obra, nem sempre é possível despedi-la e, quando necessário, recontratá-la. Isto ocorre quando da realização de uma obra em local distante.

Ainda que desejável, nem sempre é possível manter uma força de trabalho para todo o projeto. Entretanto é viável a obtenção de um amortecimento de tal necessidade como se demonstra na figura V.1.

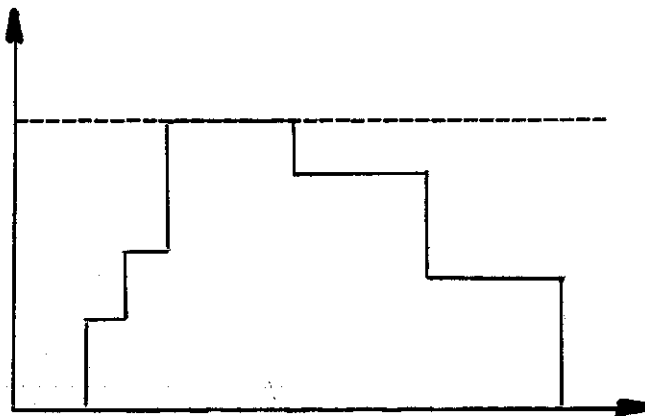


Fig. V.1

b. Recursos limitados

O segundo problema na programação da mão-de-obra (ou qualquer outro recurso) é relacionado com a limitação do número de homens disponíveis (recurso de disponibilidade limitada).

Freqüentemente é necessário realizar um projeto sem exceder um certo número de operários por turno. Isto porque os operários a mais não são disponíveis, o custo para contratar e treinar é muito alto ou a área de trabalho permite apenas um determinado número de operários.

c. Nível fixo de recursos

Uma terceira situação surge quando se deseja realizar um projeto com uma quantidade fixa de operários. Esta situação é comum em empresas que mantêm um número fixo de operários no cadastro de empregados, obviamente se deseja manter estes homens trabalhando tanto tempo quanto possível.

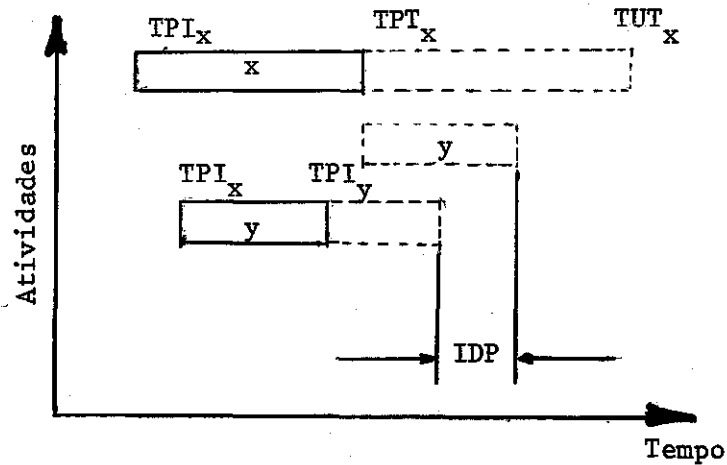
Até a presente data, todos os métodos de solução desenvolvidos para resolver este problema são métodos heurísticos (métodos que geram boas soluções, porém não ótimas), dos quais estudaremos os mais eficientes que são o método de SHAFFER e o método de FONDAHL.

ii) O método de SHAFFER

O método de SHAFFER é na realidade um algoritmo baseado em uma fórmula de recorrência matemática. O procedimento empregado neste método é o que se segue:

Em qualquer período de tempo t , os conflitos gerados por atividades demandando mais recursos que os existentes, são relevados, forçando uma das atividades conflitantes a preceder outra atividade que também requer o recurso, causando o conflito. Estas duas atividades envolvidas nesta manipulação são escolhidas de modo a minimizar o incremento na duração do projeto que resulta deste sequenciamento.

O gráfico de barras apresentado na figura V.2 servirá para explicar a forma de escolher as duas atividades que deverão ser sequenciadas para resolver o problema do conflito e ter um incremento mínimo na duração total do projeto.



IDP = incremento na duração do projeto

Fig. V.2

Sabemos que as atividades x e y são atividades conflitantes por demandarem mais recursos que os disponíveis. Faremos então, a priori, preceder a atividade y a atividade x, como se mostrou na figura acima.

Dado que a atividade x não foi movida de seu lugar, a atividade y será a única a poder produzir um incremento na duração do projeto. Expressando matematicamente o segmento que representa o incremento na duração do projeto (IDP) visto no gráfico, teremos:

$$\begin{aligned}
 \text{IDP} &= \text{TPI}_x + D_x + D_y - \text{TUT}_y \\
 &= \text{TPT}_x + D_y - \text{TUT}_y \\
 &= \text{TPT}_x - (\text{TUT}_y - D_y) \\
 &= \text{TPT}_x - \text{TUI}_y
 \end{aligned}$$

Expressado matematicamente o incremento na duração do projeto por meio de uma fórmula recursiva e, desejando minimizar esta expressão, temos:

$$\text{IDP}_{\text{Min}} = \text{Min} \{ \text{TPT}_x - \text{TUI}_y \}$$

ou seja, devemos escolher x e y do grupo de atividades em conflito, que cumprem com os seguintes requisitos:

- x = atividade com mínimo TPT
- y = atividade com máximo TUI

Escolhendo as atividades x e y desta forma, a expressão de IDP ver-se-á minimizada.

Os valores que realmente podem tomar IDP são dados por:

$$IDP = \left[0, (TPT_x - TUI_y) \right]^+$$

onde,

$$[x, y]^+ = \text{m\u00e1ximo valor positivo entre } x \text{ e } y$$

Sempre que a folga total da atividade y seja suficientemente grande para "absorver" a pr\u00f3pria atividade, ent\u00e3o o IDP ser\u00e1 negativo e, neste caso, logicamente IDP= 0

Existem certos problemas na aplica\u00e7\u00e3o do m\u00e9todo, os quais aparecem dependendo da configura\u00e7\u00e3o da rede. Por meio de um exemplo, trataremos de exp\u00f4-los.

Seja o projeto seguinte:

Tabela V.1

OPERA\u00c7\u00c3O	DURA\u00c7\u00c3O	REQUISITOS	RECURSOS		TPI	TPT	TUI
			TIPO 1	TIPO 2			
A	4	-	1	2	0	4	4*
B	2	-	0	3	0	2*	0
C	2	A	2	0	4	6	8
D	8	B	1	0	2	10	2
E	4	B	3	0	2	6	10
F	4	C,D	1	2	10	14	10
TOTAL DISPON\u00cdVEL			4	3			

gerando a rede:

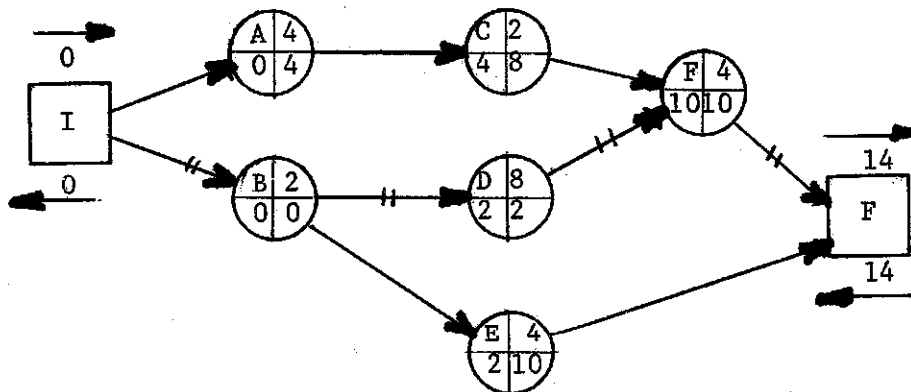


Fig. V.3

cujo gráfico de barras é:

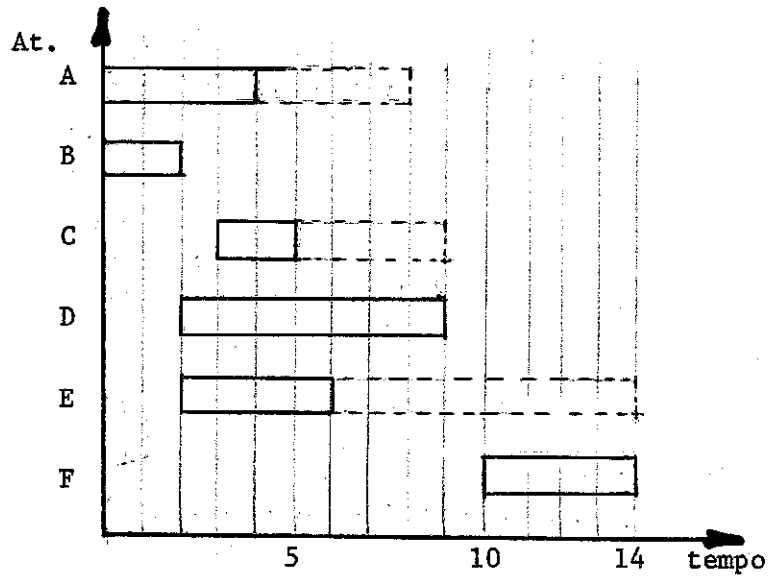


Fig. V.4

O método

- 1º) Analisa-se o primeiro dia de trabalho e verifica-se que as atividades A e B são conflitantes por requerer 5 unidades de recurso tipo 2 e sendo disponíveis somente 3 unidades para o projeto (ver tabela V.1)
- 2º) da tabela V.1 sabe-se que a atividade com máximo TUI é A, e a atividade com mínimo TPT é B; então B será requisito de A.

A nova rede será:

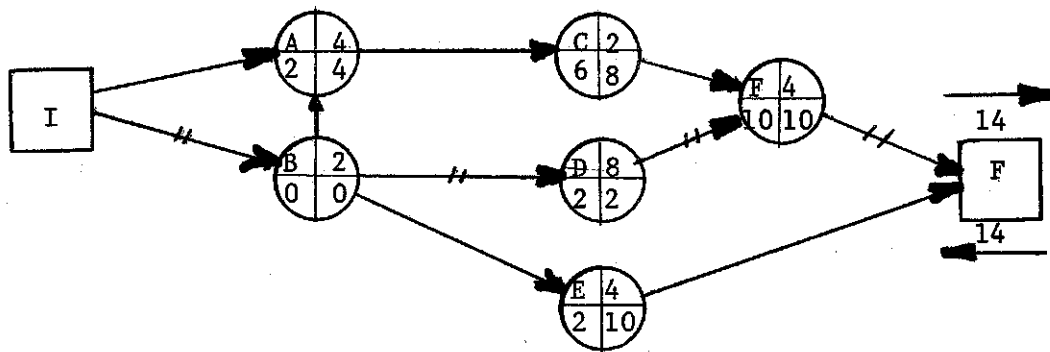


Fig. V.5

tendo a tabela V.2 como resultado dos dados da rede mostrada na figura V.5

Tabela V.2

OPERAÇÃO	DURAÇÃO	REQUISITOS	RECURSOS		TPI	TPT	TUI
			TIPO 1	TIPO 2			
A	4	B	1	2	2	6*	4
B	2	-	0	3	0	2	0
C	2	A	2	0	6	8	8
D	8	B	1	0	2	10	2
E	4	B	3	0	2	6	10*
F	4	C,D	1	2	10	14	10
			4	3			

e cujo novo gráfico de barras é o seguinte:

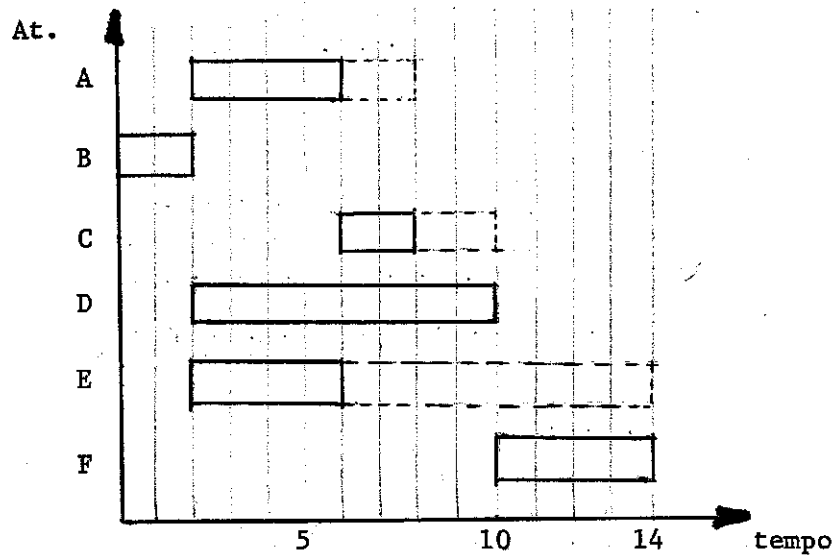


Fig. V.6

. Neste gráfico vemos que os primeiros dois dias de trabalho não têm mais problemas com recursos, pois estamos programando somente a atividade B.

Mas no início do terceiro dia existem 3 atividades em conflito (A), (D) e (E), pois requerem 5 unidades de recurso 1 e dispõe-se somente de 4. Destas 3 atividades, ao selecionar a que possui mínimo TPT, vemos que as atividades (A) e (E) estão empatadas. Nestes casos, procura-se primeiramente a atividade com característica oposta, tratando nesta forma de romper o empate. No exemplo, a atividade com máximo TUI é a atividade (E), e a atividade (A) a que tem, então, mínimo TPT. Sequenciando as atividades (A) como requisito de (E) temos a rede mostrada na figura abaixo:

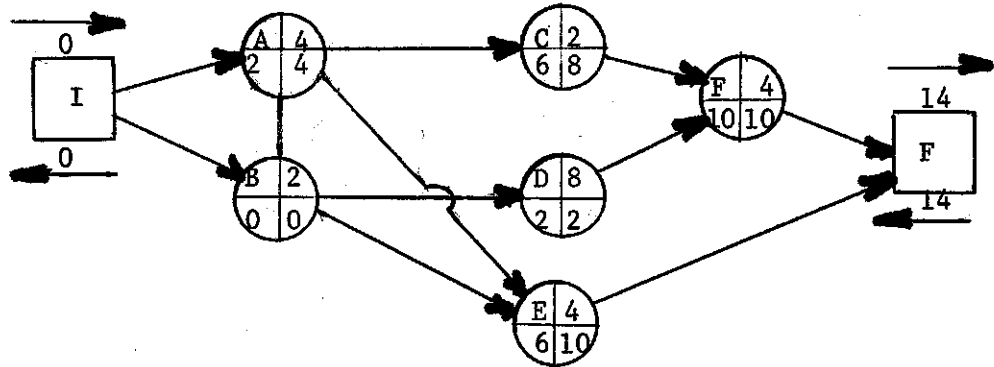


Fig. V.7

gerando com os dados da rede a tabela V.3

Tabela V.3

OPERAÇÃO	DURAÇÃO	REQUISITOS	RECURSOS		TPI	TPT	TUI
			TIPO 1	TIPO 2			
A	4	B	1	2	2	6	4
B	2	-	0	3	0	2	0
C	2	A	2	0	6	8	8
D	8	B	1	0	2	10	2
E	4	A,B	3	0	6	10	10
F	4	C,D	1	2	10	14	10
			4	3			

cujo gráfico de barras é:

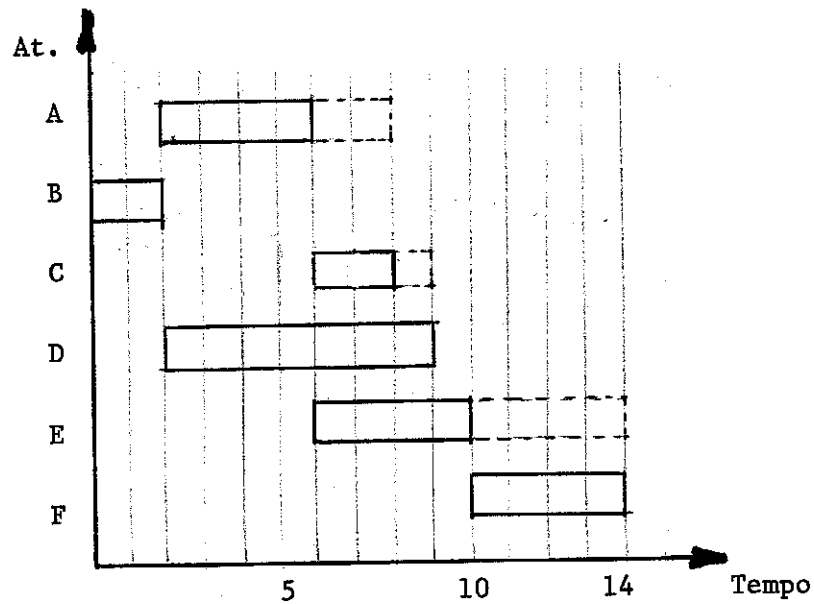


Fig. V.8

Agora, temos retardada a explosão do problema até o início do sexto dia, onde temos as atividades (C), (D) e (E) em conflito. Pela tabela V.3 vemos que a atividade (E) é a que tem máximo TUI e a atividade (C) que tem o mínimo TPT. Nesta forma escolhemos a atividade (C) como o novo requisito da atividade (E), gerando a rede vista na figura V.9

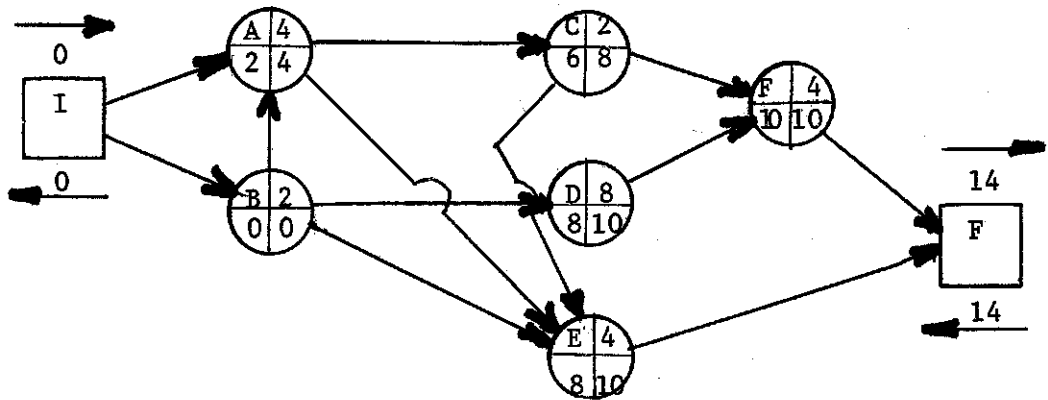


Fig. V.9

A tabela abaixo é formada pelos dados da rede mostrada na figura anterior,

Tabela V.4

OPERAÇÃO	DURAÇÃO	REQUISITOS	RECURSOS		TPI	TPT	TUI
			1	2			
A	4	B	1	2	2	6	4
B	2	-	0	3	0	2	0
C	2	A	2	0	6	8	8
D	8	B	1	0	2	10	2
E	4	A,B ,C	3	0	8	12	10
F	4	C,D	1	2	10	14	10
			4	3			

tendo seu gráfico de barras como se segue:

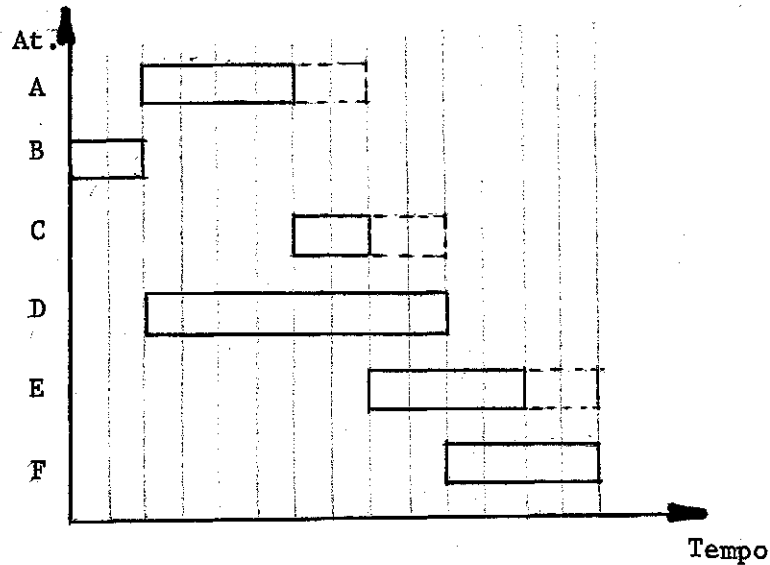


Fig. V.10

A próxima data a revisar é o início do décimo dia, onde as atividades(E) e (F) são programadas ao mesmo tempo, mas esta programação não causa problemas com respeito aos recursos.

Nesta forma, terminamos a programação de recursos deste projeto, empregando o método de SHAFFER , observando que os incrementos parciais na dura-

ção do projeto, foram absorvidos pela folga generosa da atividade (E).

E a rede final do projeto é a mostrada na figura abaixo.

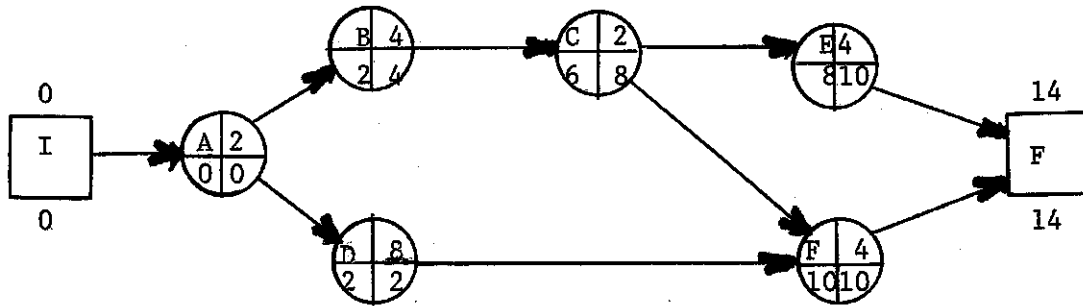
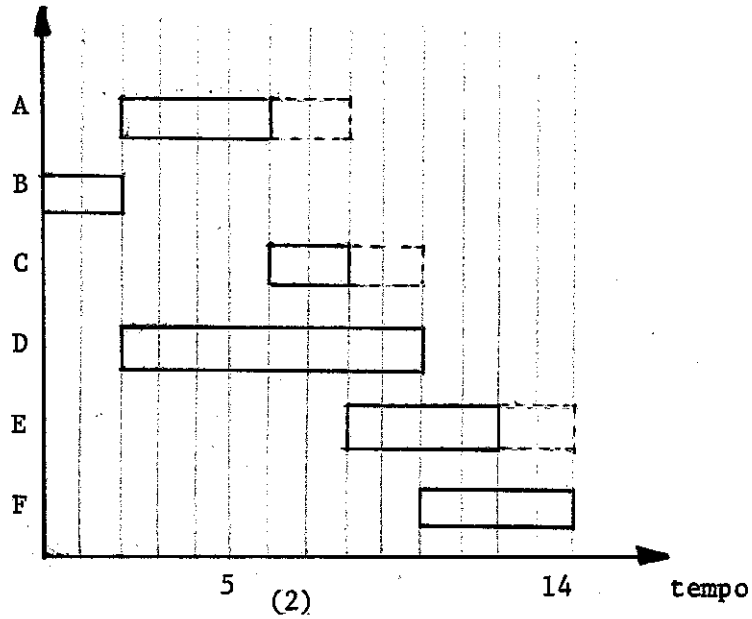
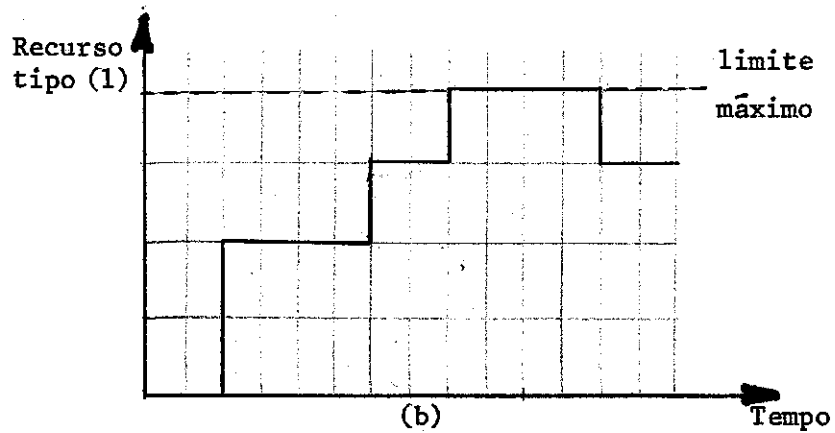


Fig. V.11

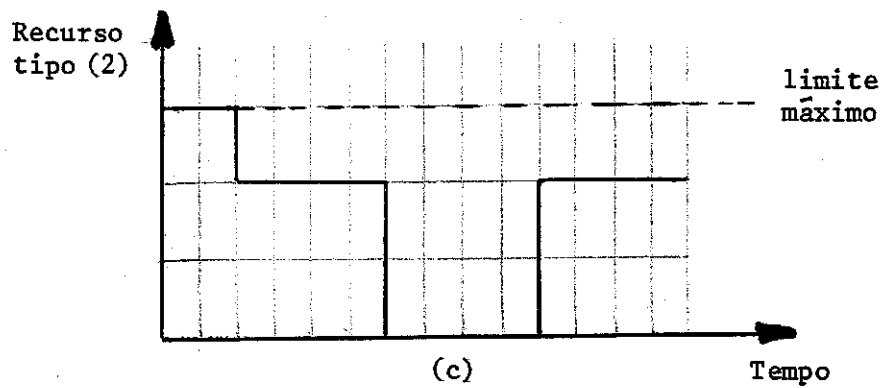
Agora podemos afirmar que esta rede (projeto) não terá problemas de recursos se o programa for controlado devidamente.

É curiosidade de muitas empresas saber a eficiência na utilização de seus recursos, e para isto, utilizaremos o gráfico de barras do projeto final.





$$\text{Eficiência} = \frac{8 + 6 + 16 + 6}{56} \times 100 = 64\%$$



$$\text{Eficiência} = 52,4\%$$

Fig. V.12

Comentários sobre o Método de SHAFFER

- a. O método de Shaffer é um método heurístico.
- b. Não leva em consideração se as atividades escolhidas são críticas ou não, ao serem sequenciadas.
- c. Resolve o problema por estágios, sem ver o mesmo como um todo.
- d. É o método tradicionalmente empregado por algumas empresas que o programam em um computador.

iii)O método de FONDAHL

Quase desconhecido pois não foi publicado em nenhuma revista técnica, o método de FONDAHL é um método especial para a solução manual de projetos curtos e redes pouco complexos. Embora tratando-se de um método heurístico, oferece soluções muito boas.

Os passos necessários para a aplicação do método são os seguintes:

- a. Resolver a rede pelas técnicas tradicionais do CPM (sem levar em consideração o problema de recursos).
- b. Listar as atividades em ordem crescente de seus tempos últimos de iniciação (TUI's)
- c. As atividades com mesmo TUI, colocá-las em ordem crescente de folga total.
- d. Depois de ordenadas as atividades conforme os passos (b) e (c), representá-las nessa ordem em um gráfico de barras, levando em consideração:
 - d.1 - as restrições tecnológicas da atividade em questão.
 - d.2 - o problema de recursos.
- e. Submetidas todas as atividades ao processo do passo (d), obter deste gráfico final a rede associada, levando em consideração as novas restrições geradas.

Para ilustrar o procedimento de FONDAHL tomaremos o mesmo exemplo resolvido pelo método de SHAFFER.

- a. resolver a rede pelas técnicas tradicionais do CPM (sem levar em consideração o problema de recursos).

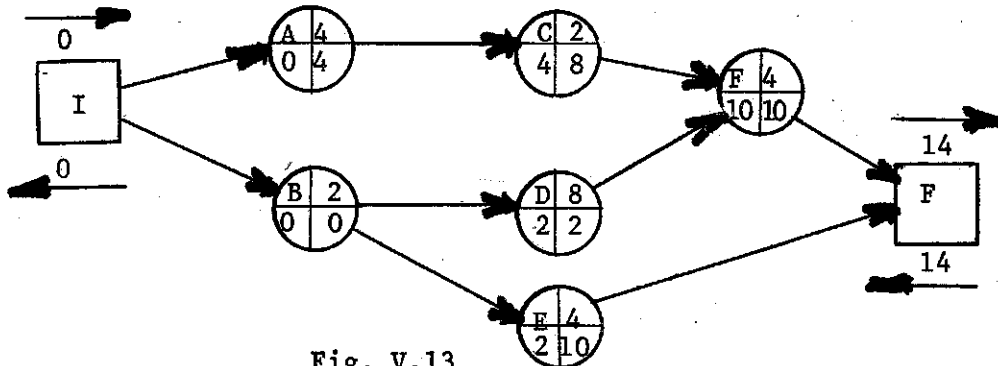


Fig. V.13

gerando a tabela a seguir.

Tabela V.5

OP.	REQ.	DUR.	RECURSOS		TPI	TPT	TUI	TUT	HT
			TIPO 1	TIPO 2					
A	-	4	1	2	0	4	4	8	4
B	-	2	0	3	0	2	0	2	0
C	A	2	2	0	4	6	8	10	4
D	B	8	1	0	2	10	2	10	0
E	B	4	3	0	2	6	10	14	8
F	C,D	4	1	2	10	14	10	14	0
			4	3					

b. listar as atividades em ordem crescente de seus TUI's, isto é,

B, D, A, C, E, F

c. para as atividades com TUI's iguais, recolocá-las em ordem crescente de suas folgas.

B, D, A, C, F, E

d. a gráfico de barras, conforme a lista gerada nos passos (b) e (c), levando em consideração restrições tecnológicas e o problema de recursos, é:

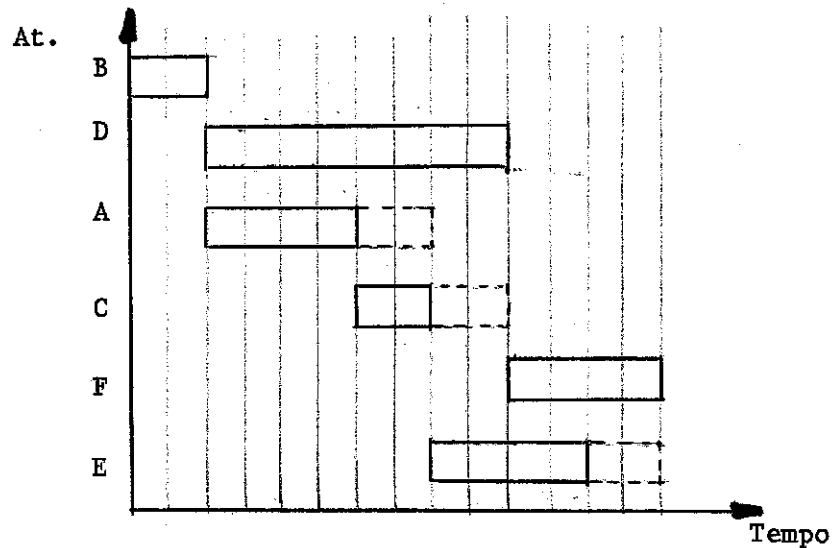


Fig. IV.14

e. a nova rede gerada pelo gráfico de barras é a mostrada na figura abaixo, que é a mesma solução gerada pelo método de SHAFFER.

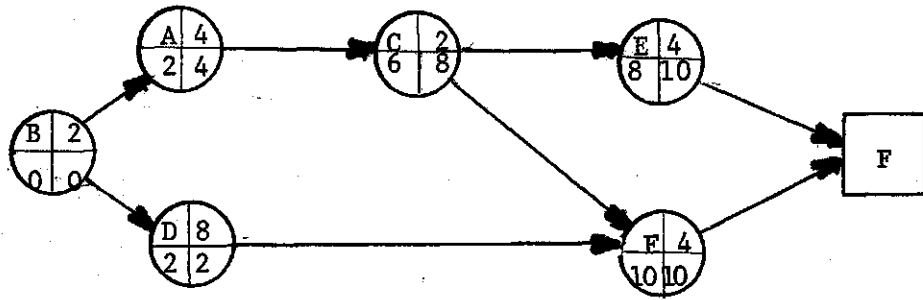


Fig. V.15

iv) Problema

A tabela a seguir mostra as características das atividades que formam um projeto. Não sendo possível a obtenção de mais recursos que os disponíveis, qual a data de conclusão do projeto,

- a. empregando o método de SHAFFER
- b. empregando o método de FONDAHL

Tabela V.6

AT.	REQ.	DUR.	RECURSOS	
			PEDREIROS	ESCAVADEIRAS
A	-	2	4	0
B	A	4	2	2
C	A	1	2	0
D	A	3	2	0
E	B	3	3	0
F	B	2	2	0
G	B,C	6	2	2
H	D	2	0	1
I	F,G	2	1	2
J	E,I	2	1	2
K	H	5	3	1
T O T A I S			4	3

VI. CONVERSÃO DE "DIAS EFETIVOS" A "DIAS CALENDÁRIO"

i) O problema

As unidades comumente usadas na estimativa de parâmetros e características de tempo em uma rede de CPM são dias, semanas ou meses, dependendo da magnitude do projeto e o grau de abstração desejado na análise. Porém, com qualquer uma destas unidades de tempo é necessário, após a terminação dos cálculos do projeto, "traduzir" as unidades efetivas nas quais foi feito o cálculo a unidades calendário para levar em consideração os seguintes fatores:

- a. quantidade de dias feriados existentes dentro do prazo de realização da obra.
- b. condições climáticas da região onde se realizará a obra.

ii) Soluções para o problema

- a. Feriados existentes dentro do prazo de realização da obra.

Trinta dias efetivos da realização de um projeto, como solução obtida na análise de uma rede de CPM, não correspondem a um mês laborável, pois supondo que a empresa em questão trabalhasse com base na semana inglesa, o mês seria de 22 dias. Algumas vezes, pela acumulação de feriados no tempo de realização de um projeto, há erros de cálculo na duração do mesmo. É por isso que deste tipo de análise requer especial atenção por parte do chefe do projeto, dado que a maioria dos contratos de construção contém uma cláusula estipulando uma multa alta, caso não seja terminada a obra no prazo previsto.

- b. Condições climáticas da região onde se realizará a obra.

É bastante conhecido o problema da chuva ou neve na indústria de construção. Dessa forma, deve-se levar em consideração o problema na tradução de dias efetivos a dias calendário da seguinte maneira.

Todos os países ou a maioria deles, têm observatórios meteorológicos que recolhem dados estatísticos de índices pluviométricos, como também da intensidade e frequência das chuvas nas regiões, podendo-se então tirar conclusões valiosas acerca da possível frequência das chuvas em certas épocas do ano.

Suponhamos, a título de demonstração, que um determinado projeto abrange os meses de janeiro e fevereiro, como dias efetivos de trabalho para a execução do mesmo, e que será realizado tal projeto na cidade do Rio de Janeiro.

- a. Para o tipo de construção da empresa, calcular o limite inferior do Índice pluviométrico (H_0) que converte um dia laborável em dia não laborável. O cálculo de (H_0) deverá ser feito da seguinte forma:

Sabe-se que a partir de um certo índice pluviométrico (H_0), certas atividades de um projeto não podem ser realizadas, gerando este fenômeno uma curva do tipo:

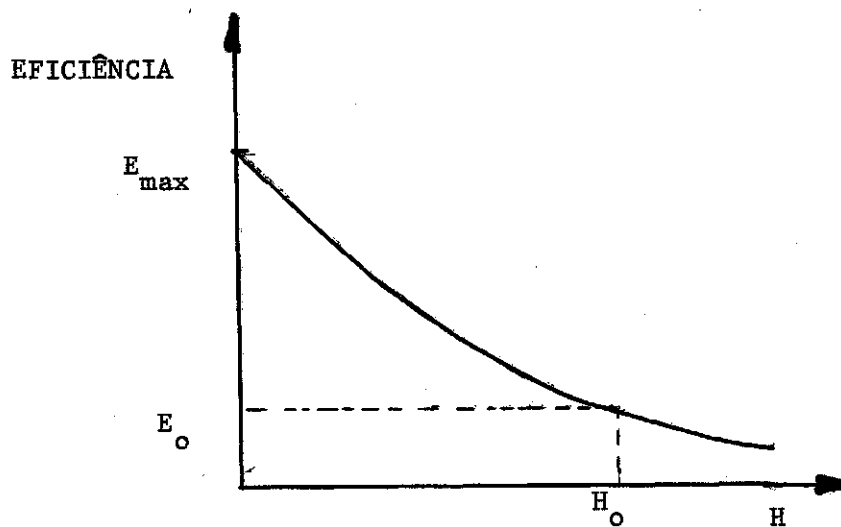


Fig. VI.1

É difícil obter matematicamente o perfil da curva. Porém este perfil não é do nosso interesse, preocupando-nos apenas o valor H_0 que impossibilita as atividades de construção civil.

- b. Registrar a característica chove =1, não chove =0 dos dias, baseando-se no índice calculado no tópico (a) e registrá-lo numa matriz de dados da forma mostrada na tabela VI.1, onde, para um conjunto de n anos (filas) e m dias (colunas) calendário do projeto, registra-se a característica:

$$X_{i,j} = \begin{cases} 1 & \text{- dia em que } H_{i,j} \geq H_0 \\ 0 & \text{- dia em que } H_{i,j} < H_0 \end{cases}$$

Tabela VI.1

MESES	JANEIRO					FEVEREIRO				
DIAS \ ANOS	1	2	3	...	21	22	23	26	...	n
1	X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃	...	X _{1,21}	.	.	.	...	X _{1,m}
2	X ₂₁	X ₂₂	X ₂₃	...	X _{2,21}	.	.	.	...	X _{2,m}
3	X ₃₁	X ₃₂	X ₃₃	...	X _{3,21}	.	.	.	...	X _{3,m}
.
.
n	X _{n1}	X _{n2}	X _{n3}	...	X _{n,21}	.	.	.	...	.
MEDIA	\bar{X}_1	\bar{X}_2	\bar{X}_3	...	\bar{X}_{21}	\bar{X}_{22}	\bar{X}_{23}	\bar{X}_{24}	...	\bar{X}_m

onde a média será calculada como:

$$\bar{X}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_{i,j} = \begin{cases} \text{média de anos em que se observou o índice} \\ \text{pluviométrico } H_{i,j} \geq H_0 \text{ no dia } j \end{cases}$$

c. Calcular a grande média $\bar{\bar{X}}_j$, pela fórmula:

$$\bar{\bar{X}}_j = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \bar{X}_j = \frac{1}{m \cdot n} \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n X_{i,j}$$

onde:

$$\bar{\bar{X}}_j = \text{média de dias do período considerado (m dias calendário)} \\ \text{com índice } H_{i,j} \geq H_0$$

d. Seja NDE a sigla que define o número de dias efetivos de trabalho para um determinado projeto, sem levar em consideração problemas meteorológicos, e NDE_{Real} o número de dias efetivos de execução de um projeto levando em consideração tais problemas.

Então:

$$\begin{aligned} \text{NDE}_{\text{Real}} &= \text{NDE} + \text{NDE} * (\bar{\bar{X}}_j) \\ &= \text{NDE} (1 + \bar{\bar{X}}_j) \end{aligned}$$

VII. BIBLIOGRAFIA

1. FRAY, B.L. Network - type management control system bibliography, Memorandum RM - 3074 - PR, Santa Monica, California, The Rand Corporation, 1963.
2. HOROWITZ, J. Critical path scheduling. The Ronald Press, 1977.
3. REYNAUD, C.B. The critical path scheduling and network analysis applied to building. George Codwin, 1967.
4. MODER, J.J. & PHILIPS, C.R. Project management with CPM and PERT. Reinhold Publishing Corporation.
5. SHAFFER, L.R.; RITTER, J.B.; MEYER. Introuction to the critical path method. Urbana, Illinois, McGraw-Hill, 1963.
6. FRONDAHL, J.W. A non-computer approach to the critical path method for the construction industry. Stanford, California, Departament of civil enginnering, 1962.
7. STANGER, L.B. PERT-CPM técnica de planejamento. Rio de Janeiro, Ao Livro Técnico, 1967.
8. MALCOLM, D.G. et alii. Application of a technique for research and development program evolution. Operations Research, 7 (5) sep./oct. 1959.