

Eliége T. Brum*

Paulo Sérgio Carvalho Abreu*

Yeda Maria Malheiros de Oliveira*

SUMMARY

The objective of the present article is to demonstrate the methodology of application of network-theory (PERT/CPM) in planning forest activities.

1. NATUREZA E CONCEITOS BÁSICOS

1.1. Conceitos básicos

PERT/CPM — Estas siglas representam respectivamente a abreviação de “Program Evaluation and Review Technique” — “Critical Path Method” (Técnica de Avaliação e Controle de Programas — Método do Caminho Crítico).

O PERT serve como instrumento para o administrador definir e coordenar cada etapa de um empreendimento, a fim de atingir com sucesso o objetivo do mesmo. Auxilia na tomada de decisões, sem todavia fornecer o melhor resultado.

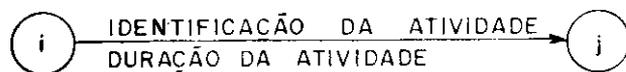
Problemas de coordenação, cujo objetivo é determinar as atividades críticas que controlam o tempo de execução de um projeto, podem ser tratadas pelo PERT/CPM. Este leva em conta as incertezas que ocorrem sob condições especiais na duração das atividades, não se ocupando do controle direto das mesmas.

Apesar de algumas limitações esta técnica é largamente usada para uma série de problemas. O planejamento por meio do PERT/CPM traz melhores resultados quando aplicado em empresas com nível técnico e planejamento bem desenvolvidos.

1.2. Apresentação gráfica:

O PERT/CPM é uma sequência de atividades representadas graficamente como uma rede de planejamento (diagrama). Representa-se o início e a conclusão de um evento e a atividade que é a execução do trabalho. Ambos serão relacionados em ordem de prioridade tecnológica, definindo-se para cada atividade a que lhe segue e a que lhe precede imediatamente.

Na representação gráfica pode-se fazer uso do método Americano ou o Francês. No 1º caso representa-se as atividades por linhas orientadas (setas, flechas, arcos) e os eventos por círculos (nós ou vértices).



i = evento inicial

j = evento final

Fig. 1

* Mestrandos em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

Por evento inicial entende-se, por exemplo, o início das operações de preparo do terreno para o plantio e o evento final poderia ser o término do preparo do terreno. A atividade que uniria os dois eventos seria o preparo do terreno.

No método Francês as atividades são representadas por blocos e as linhas orientadas representam a ordem de execução.

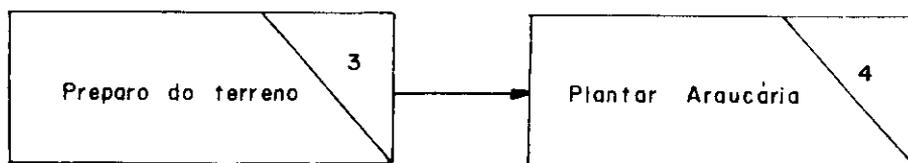


Fig. 2

A duração de cada atividade é colocada no bloco da atividade.

2. ESTRUTURA FUNCIONAL

2.1. Diagramas:

Em uma rede PERT/CPM as atividades podem ser executadas em série ou em paralelo. Para se economizar tempo deve-se executá-las em paralelo. Geralmente quanto maior o número de partes em paralelo tanto menor será o tempo total de execução das tarefas.

As atividades A e B e a atividade C são executadas em paralelo.

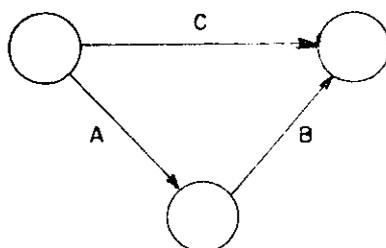


Fig. 3

As atividades A, B, e C são executadas em série.

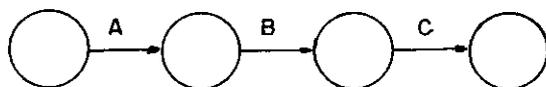


Fig. 4

Para estabelecer uma rede pode-se usar o Método de Progressão, onde é estabelecida uma ordem temporal de execução; ou então começa-se com o evento final, chamando-se a este Método de Regressão.

A enumeração dos eventos segue uma ordem da esquerda para a direita e de cima para baixo.

Um evento só poderá ser considerado atingido quando todas as atividades que a ele concorrem forem concluídas, bem como nenhuma atividade poderá ser levada a termo antes que seu evento inicial tenha ocorrido.

Não pode haver circuito na rede, pois do contrário uma atividade daria origem a si mesma. Exemplo:

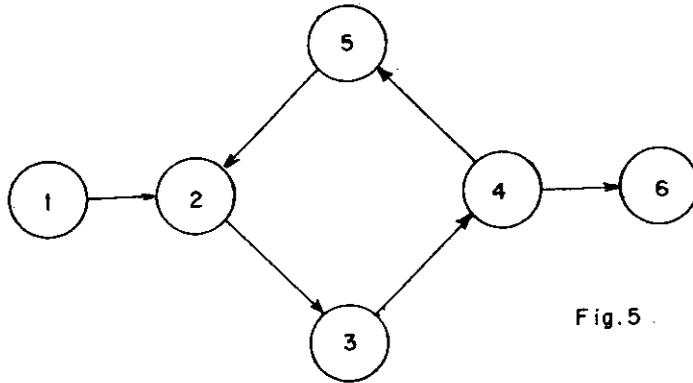


Fig.5

Antes da confecção de qualquer rede de setas deve-se ter o objetivo do projeto. Para se elaborar uma rede é imprescindível saber:

1. que atividade deve preceder a esta?
2. que atividade deve seguir a esta?
3. quais atividades podem ser feitas ao mesmo tempo?

Exemplo: (Bonini, 1971)

Quadro I

Atividades	Duração (semanas)	Precedentes
A	3	—
B	6	—
C	2	—
D	4	A
E	2	A
F	7	A
G	4	B e D
H	3	C e E

O diagrama de flechas será:

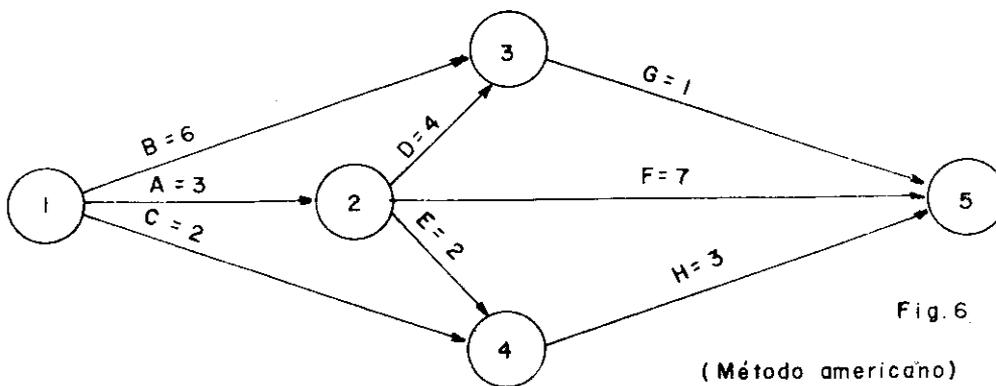


Fig.6

(Método americano)

2.2. Utilização de matrizes

O cálculo de tempo PERT pode ser resolvido em computadores através do método matricial.

Inicialmente constrói-se uma matriz que represente a informação contida no diagrama. Os números iniciais, i , na coluna da esquerda, e na linha de cima, j , os números finais das tarefas. A duração das atividades é colocada na intercessão da linha e coluna correspondente. Assim, no exemplo, a tarefa (2,3) tem duração igual a 4.

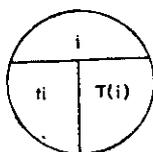
Se houver tarefas com duração zero, indica-se 0 (zero). Casas em branco significam que não há ligação entre os nós.

Para o cálculo das primeiras datas coloca-se uma coluna à esquerda, correspondente aos nós iniciais e adiciona-se uma linha em baixo para o cálculo das últimas datas, correspondente aos nós finais.

Exemplo:

Obs. Para uma melhor elucidação do cálculo matricial tornou-se necessário o uso de algumas representações do PERT tempo, cujos conceitos fundamentais serão vistos em capítulos seguintes. Sugere-se, então, ao leitor reler este capítulo após a compreensão dos capítulos posteriores.

Adotando-se a convenção



no exemplo anterior:

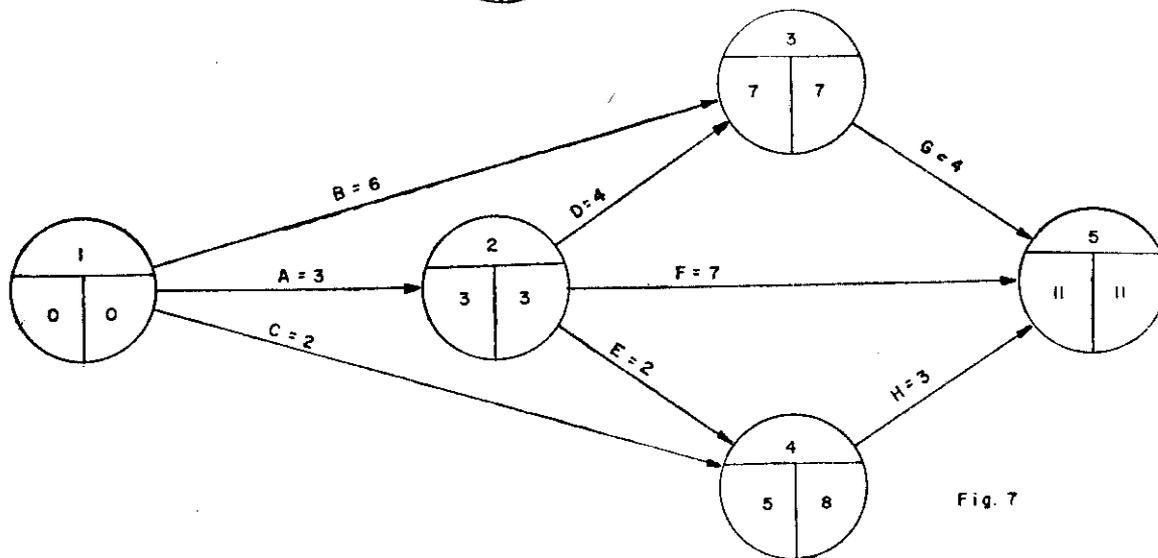


Fig. 7

Q u a d r o I I
C A L C U L O M A T R I C I A L

t(i)	i j	1	2	3	4	5	
t(1)=0			3	6	2		
t(2)=0+3=3				4	2	7	
t(3)=0+6=6 t(3)=3+4=7						4	
t(4)=0+2=2 t(4)=3+2=5							
t(5)=3+7=10 t(5)=7+4=11 t(5)=5+3=8							
		T(1)=8-2=6	T(2)=11-7=4	T(3)=11-4=7	T(4)=11-3=8	T(5)=1	T(i)
		T(1)=7-6=1	T(2)=8-2=6				
		T(1)=3-3=0	T(2)=7-4=3				

3. PROGRAMAÇÃO COM TEMPO DETERMINÍSTICO

3.1. Conceito e notações:

Ocorre quando se conhece as durações das atividades que compõem um determinado projeto.

Para facilitar as explicações posteriores, vamos definir as notações a serem utilizadas.

Adotando o método Americano como representação gráfica, as variáveis ficam definidas do seguinte modo:

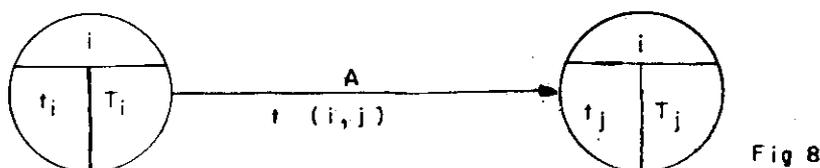


Fig 8

onde,

- t — tempo mais cedo para iniciar uma atividade
- T — tempo mais tarde para iniciar uma atividade
- t — tempo mais cedo para o término da atividade
- T — tempo mais tarde para o término da atividade
- $t(i,j)$ — duração da atividade
- A — atividade.

3.2. Cálculos dos tempos:

Para ficar mais explícito, vamos supor um projeto de reflorestamento de uma área qualquer. Seguindo a metodologia necessária à montagem de uma rede PERT, temos:

3.2.1. Relação das atividades:

1. Levantamento plano-altimétrico da área.
2. Levantamento ecológico (coleta e determinação dos tipos de solos, rios, vegetações, etc.).
3. Mapeamento (demarcação da área, divisão dos talhões/sítios, locações das estradas, viveiro, benfeitorias etc.).
4. Construções de benfeitorias (galpões, sede, alojamentos, oficinas, etc.).
5. Construção do viveiro (nivelamento, demarcação dos canteiros, irrigação, preparo do solo, etc.).
6. Escolha da(s) espécie(s) (de acordo com as características ecológicas da região).
7. Construção de estradas e aceiros.
8. Semeadura.
9. Repicagem.
10. Preparo dos talhões para o plantio (retirada da vegetação, destoca, aração, gradagem, correção/adubação, etc.).
11. Preparo das mudas (aqui entenda-se as atividades efetuadas durante o crescimento: irrigação, limpeza, seleção etc.).
12. Plantio.

3.2.2. Ordenação cronológica das atividades (em ordem de ocorrência):

Q u a d r o I I I

Atividades	Duração* (semanas)	Precedente
A Levantamento plano/altim.	2	—
B Levantamento ecológico	3	—
C Mapeamento	1	A,B
D Construção de benfeitorias	12	C
E Construção dos viveiros	2	C
F Escolha da(s) espécie(s)	1	C
G Atividade Fictícia	0	E
H Construções estradas/aceiros	6	E
I Semeadura	1	F,G,E
J Repicagem	4	I
K Preparo dos talhões	12	H
L Preparo das mudas	16	J
M Atividade fictícia	0	D
N Plantio	4	K,L

* tempos estimados.

3.2.3. Diagrama:

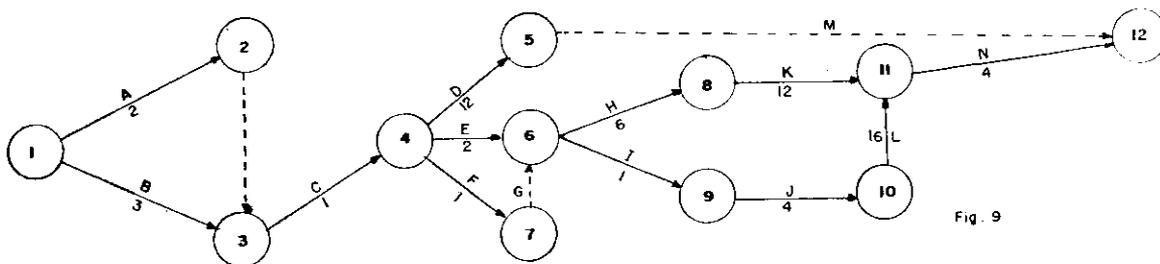


Fig. 9

3.2.4. Cálculo de t (tempo p/ o término mais cedo):

$$t_j = \max_i \left[t_i + t_{(i,j)} \right]$$
 Escolhemos o caminho de maior tempo para o término de uma atividade. Vide figura 10, onde o cálculo para o nó (11), tem como tempo máximo (27) que é o t , dado pelo trecho I,J,L = 6 + (1 + 4 + 16) = 27, segue o mesmo raciocínio para os demais trechos.

3.2.5. Cálculo de T (tempo para o término mais tarde):

$$T_i = \min_j \left[T_j - t_{(i,j)} \right]$$
, o cálculo se faz no sentido inverso (do fim para o início — daí a explicação da fórmula), escolhendo o menor tempo.

Na fig. 10, o cálculo para o nó (6) tem como menor tempo o trecho L, J, I
 $27 - (16 - 4 - 1) = 6$, assim, respectivamente obtém-se os outros T.

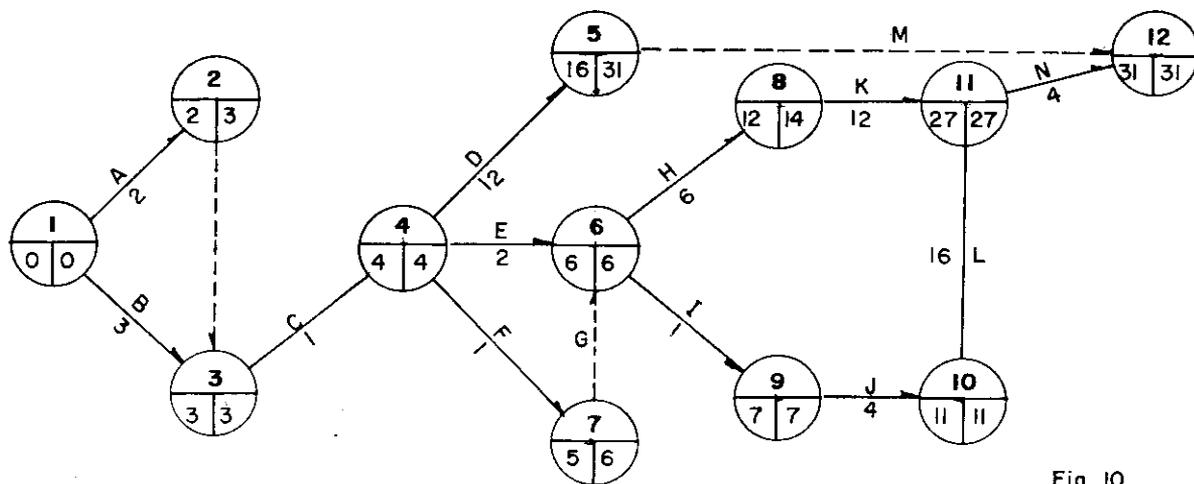


Fig 10

3.3. Folgas:

3.3.1. No sistema PERT há dois tipos de folgas:

1. Folga do nó ou etapa (Fn)
2. Folga da atividade (Fa)

3.3.2. Cálculos:

Voltando ao exemplo anterior, temos para,

1. Folga do nó (Fn):

$$Fn = T(i) - t(i)$$

Q u a d r o I V

Nós	t(i)	T(i)	Fn
1	0	0	0
2	2	3	1
3	3	3	0
4	4	4	0
5	16	16	0
6	6	6	0
7	5	6	1
8	11	14	3
9	7	7	0
10	11	11	0
11	27	27	0
12	31	31	0

Obs. Apenas apanhamos os valores contidos em cada nó da Fig. 10.

2. Folga da atividade (Fa):

$$Fa = T(j) - t(i) - T(i,j)$$

Q u a d r o V

Atividade	(i,j)	T(j)	t(i)	t(i,j)	Fa	Obs.
A	1,2	3	0	2	1	—
B	1,3	3	0	3	0	crítica
C	3,4	4	3	1	0	crítica
D	4,5	31	4	12	15	—
E	4,6	6	4	2	0	crítica
F	4,7	6	4	1	1	—
G	7,6	6	5	0	1	—
H	6,8	14	6	6	2	—
I	6,9	7	6	1	0	crítica
J	9,10	11	7	4	0	crítica
K	8,11	27	11	12	4	—
L	10,11	27	11	16	0	crítica
M	5,12	31	16	0	15	—
N	11,12	31	27	4	0	crítica

3.3.3. No sistema CPM há três tipos de folgas:

1. Folga total (folga da atividade no PERT)
2. Folga livre (F_l)

$$F_l = t(j) - t(i) - t(i,j)$$

3. Folga independente (F_i)

$$F_i = t(i) - T(i) - t(i,j)$$

3.4. Caminho Crítico:

São as atividades que não possuem folga, ou seja, se não forem executadas dentro do tempo determinado, atrasarão o projeto total.

Exemplo: no quadro V, as atividades B, C, E, I, J, L, N são consideradas críticas, estando representadas pelo traço mais acentuado na Fig. 11.

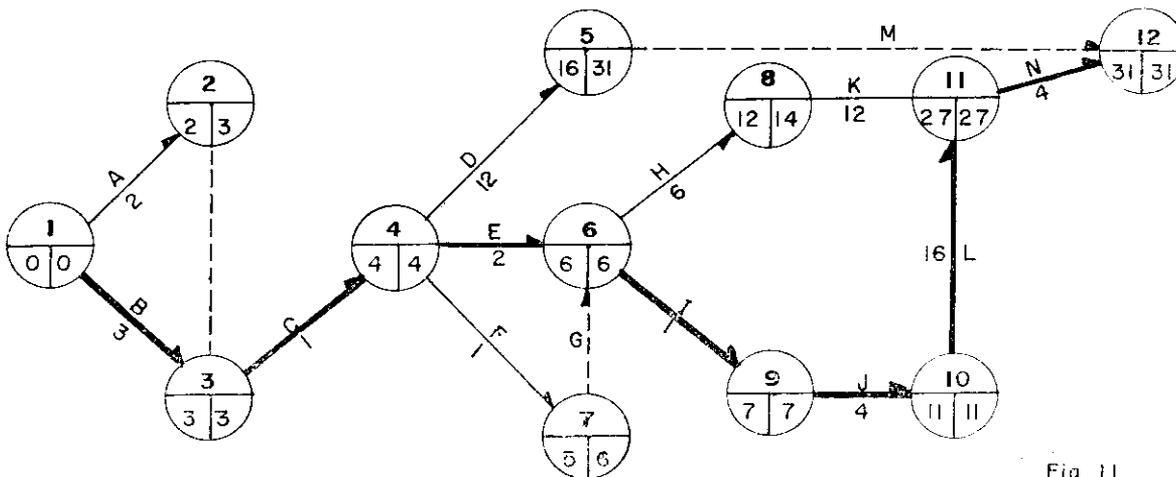


Fig 11

Caminho Crítico: **————**

4. PROGRAMAÇÃO NA INCERTEZA (método PERT)

4.1. Definição:

Quando não se pode precisar a duração das atividades, procura-se estimá-las.

Duração mínima da atividade (estimativa otimista) — (a)

Duração máxima da atividade (estimativa pessimista) — (b)

Duração provável (moda) — (m)

4.2. Determinação dos parâmetros:

4.2.1. Duração média estimada (DE),

$$DE = \frac{a + 4m + b}{6}$$

Como **DE** é um parâmetro médio, e o tempo real só é conhecido após executada a atividade, então no caso de repetirmos infinitamente a atividade temos uma distribuição probabilística (curva normal) do tempo de execução das atividades.

Considerando isto, há necessidade de se calcular a variância (s^2), que indica a probabilidade de acertar em torno da média calculada.

1. Cálculo da variância (s^2)

$$s^2 = \frac{(b - a)^2}{6}$$

2. Cálculo do desvio padrão (s)

$$s = \sqrt{s^2}$$

3. Distribuição probabilística (curva normal).

A medida que (a) e (b) se distanciam, ocorre uma maior variância, e um conseqüente maior risco de não acertar em torno da média. Considerando isso, podemos construir uma distribuição probabilística, usando o fator (Z) de probabilidade, dado pela

$$\text{fórmula, } Z = \frac{X - DE}{s} \quad \text{onde,} \quad \begin{array}{l} X = \text{duração pré-estabelecida} \\ DE = \text{duração média (DE)} \\ s = \text{desvio padrão} \end{array}$$

Daí tem-se a probabilidade de acerto, onde a variação de $\pm 1 s$ em torno da média nós dá uma probabilidade de 68,8% de terminar o projeto em torno do tempo médio estimado (DE); e, $\pm 2 s = 95\%$; $\pm 3 s = 99\%$.

Exemplo: Se o (DE) de uma atividade de plantio fosse 90 dias e o desvio padrão (s) = 40, qual a probabilidade (p) de se efetuar esta atividade em 85 dias?

$$Z = \frac{85 - 90}{40} = -5/4 = -1,2 \quad \text{este valor procurado na tabela}$$

de probabilidade Z fornece uma probabilidade de 11,51%

5. OTIMIZAÇÃO DO TEMPO/CUSTO

O custo genericamente é dado por:

$$C = (c_{ij} + c'_{ij} + c_p + c_a)$$

onde, C = custo total

c_{ij} = custo direto

c'_{ij} = custo indireto

c_p = custo real

c_a = custo vazio

Por outro lado, a interação do custo/tempo é dado pelo gráfico 1, onde à medida que se diminui o tempo aumenta o custo (simplificando utilizaremos a reta como desenvolvimento).

O método CPM oferece a programação do projeto com uma combinação de tempo/custo ótima.

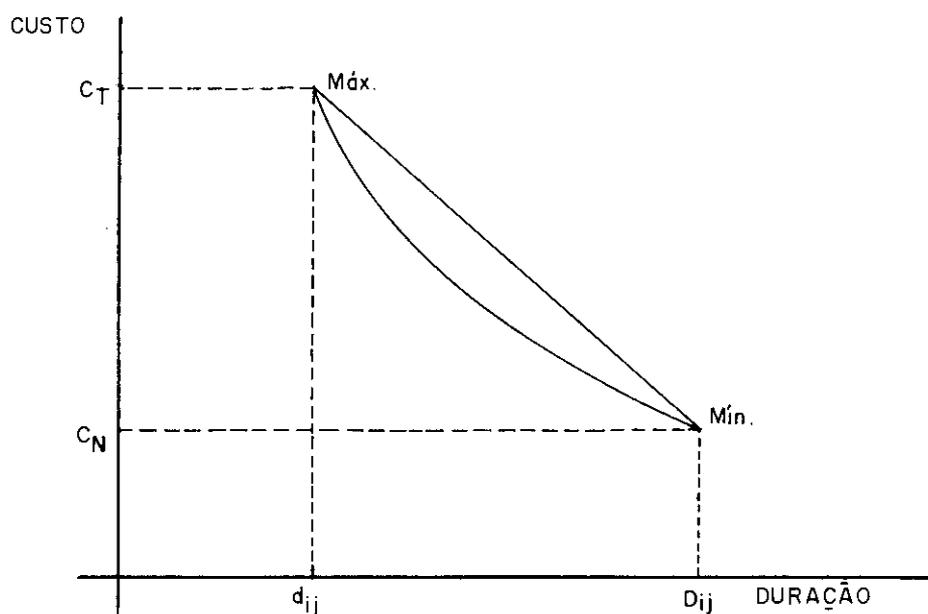


GRÁFICO 1

onde, CT = custo acelerado; CN = custo normal; $d(i,j)$ = duração acelerada; $D(i,j)$ = duração normal.

O critério de aceleração do projeto é feito para reduzir o tempo de aceleração daquelas atividades cujos acréscimos de custos por unidade de tempo sejam menores que as outras. O cálculo do custo por unidade de tempo (custo marginal) é dado por:

$$C(i,j) = \frac{CT - CN}{D(i,j) - d(i,j)}$$

Exemplo 1: seja, $(D(i,j) = 50; d(i,j) = 20; CN = 18000$ e $CT = 22000$; então,

$$C(i,j) = \frac{22200 - 1800}{50 - 20} = \frac{4200}{30} = 140 \text{ por unidade de tempo. Isto quer dizer}$$

que se aumentarmos um dia de trabalho o custo aumentará de 140.

Para reduzir a duração do projeto é necessário reduzir o tempo das atividades críticas, e dentro delas selecionar as que com uma diminuição do tempo obtém-se um menor aumento de custo; com isto tem-se a otimização do projeto em relação ao tempo e custo.

Exemplo 2: Voltando à Fig. 11, temos que o caminho crítico é dado pelos nós, 1-3-4-6-9-10-11-12, com uma duração do projeto de 31 semanas.

Para a redução de 3 semanas, a última data do projeto será $31 - 3 = 28$, então a rede terá a seguinte configuração (Fig. 12):

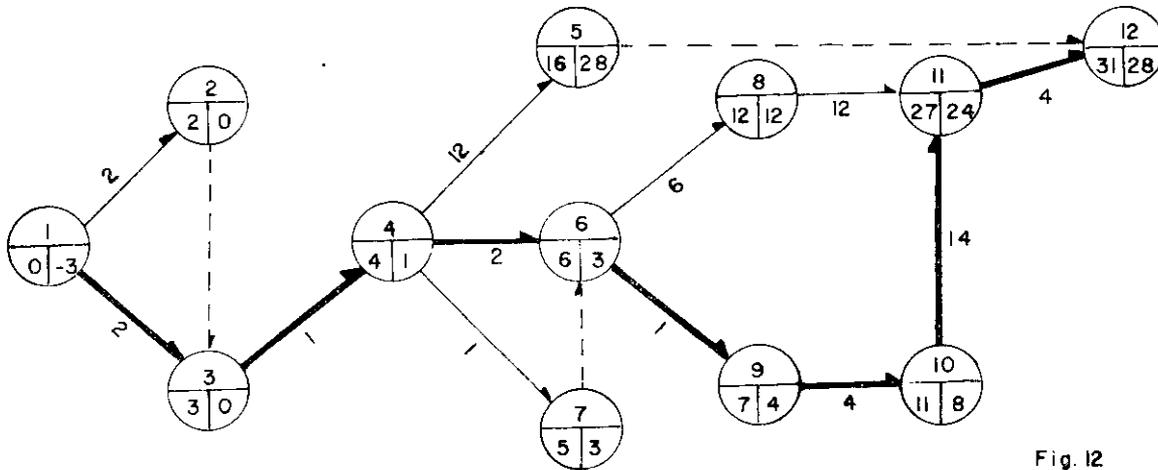


Fig. 12

Supondo que as atividades assumam os valores do quadro VI,

Q u a d r o VI

Atv.	cam. crítico	tempos		*custos		custo marginal $C(i,j)$
		*Acel.	Norm.	Ac.	Norm.	
1-3		2	3	8	3	$(8 - 3) / (3 - 2) = 5$
3-4		1/2	1	6	2	$20/0,5 = 6$
4-6		1	2	30	5	25
6-9		1/2	1	12	2	20
9-10		3	4	20	3	17
10-11		14	16	10	4	3
11-12		3	4	30	10	20

* valores aleatórios

assim, se pudermos arcar com o acréscimo de custos teremos de:

1. reduzir (2) semanas em (10-11) com um acréscimo no custo de (3).
2. reduzir (1) semana em (1-3) com um acréscimo de (5) no custo.

Portanto o custo total do projeto ficará acrescido de (8) unidades de custo, com a duração de 28 semanas e a rede ficará como na figura (13).

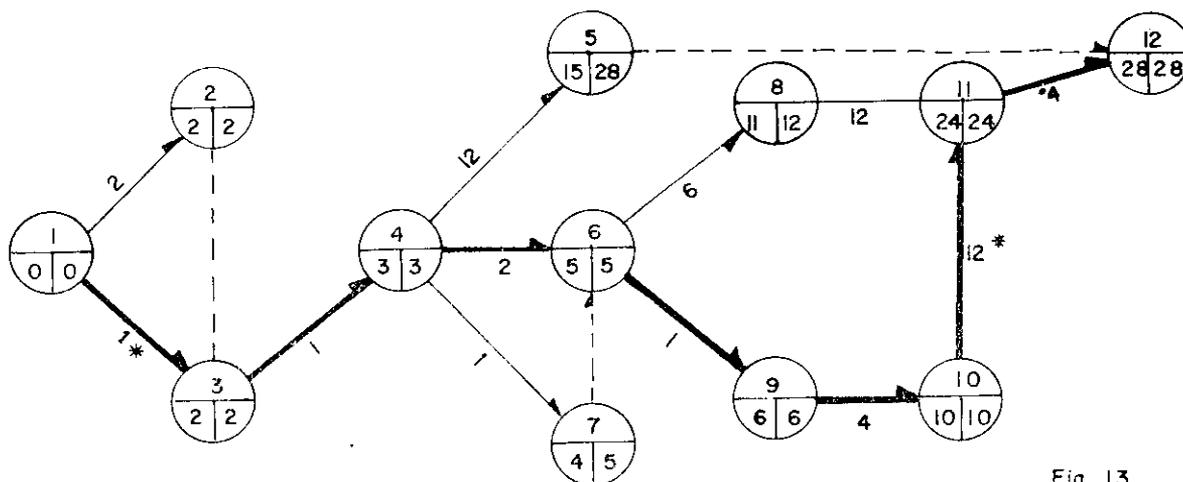


Fig. 13

* valores alterados — 2 para 1
14 para 12

6. APLICAÇÕES DO PERT NO SETOR FLORESTAL

Podemos utilizar o método PERT para o planejamento e controle de diversas atividades no setor florestal, desde o nível do povoamento florestal até o planejamento florestal a nível regional.

6.1. Algumas atividades do setor florestal onde pode-se aplicar o método PERT/CPM:

6.1.1. Planejamento do inventário florestal (inventário piloto, escolha do tipo de amostragem, número de amostras, levantamento dos dados, etc.).

6.1.2. Planejamento na Empresa Florestal:

1. Planejamento da estrutura física (infraestrutura, benfeitorias, máquinas, mão-de-obra, insumos, etc.).

2. Planejamento da produção florestal (manejo dos povoamentos, viveiro, plantio, exploração, etc.).

3. Planejamento financeiro (investimentos, incentivos, empréstimos, custos, rendas, etc. — fluxos de valores dentro e fora da Empresa).

4. Planejamento organizacional, Organogramas, atribuições funcionais,

estruturas: administrativas, técnicas, espacial, etc.).

6.1.3. Planejamento do setor florestal (regional).

1. Planejamento da estrutura de produção florestal (unidades produtoras-empresas, tipos, produtos, escala e integrações industriais-florestais, tipo de insumos, tipos de unidades consumidoras, etc.).

2. Planejamento da estrutura financeira (fluxos de valores entre as unidades consumidoras — indústrias, e as unidades produtoras — empresas florestais, dentro delas próprias e entre o universo regional onde estão localizadas).

3. Planejamento da estrutura organizacional da região (localização das unidades produtoras e consumidoras, transporte, mão-de-obra, recursos físicos e financeiros, etc.).

4. Planejamento da ação governamental (incentivos fiscais, empréstimos, investimentos, etc.).

7. RESUMO

O presente trabalho objetiva apresentar a metodologia de aplicação da rede PERT/CPM no planejamento e controle dos tempos e custos das atividades florestais.

8. LITERATURA

1. ACKOFF, R.L. & SASIENI, M.N. **Pesquisa operacional**. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos, 1975. p. 315-346.
2. BONINI, E.E. **CPM-PERT e outros métodos: técnica do caminho crítico**. São Paulo, 1971. 173 p.
3. FEDERAL ELETRIC CORPORATION. **Pert custo: manual de instrução programada**. São Paulo, Pioneira, 1968. 172 p.
4. **Uma introdução programada ao PERT: avaliação de programa e técnica de revisão**. São Paulo, Pioneira, 1963. 145 p.
5. SPIECKER, H. **Métodos da pesquisa operacional com aplicação em manejo florestal**. Curitiba, Setor de Ciências Agrárias, Curso de Engenharia Florestal, 1975. 146 p.
6. STANGER, L.B. **PERT-CPM: técnica de planejamento e controle**. Rio de Janeiro, Ao Livro Técnico, 1972. 97 p.
7. VALE, A.B. do Análise da rede PERT-CPM: In: SIMPÓSIO FLORESTAL DE MINAS GERAIS, 4.: Viçosa, 1970. **Anais**. Viçosa, Escola Superior de Florestas, 1970. p.13-30.