CAPÍTULO 7

TÉCNICAS GRÁFICAS DE PLANEAMENTO

7.1. Interesse

Da fase anterior de planificação do projecto resulta uma lista de tarefas a executar, sua calendarização e recursos necessários (incluindo humanos).

Pode-se fazer o escalonamanto ("scheduling") das diversas actividades e recorrer aos gráficos de Gantt ou às redes PERT/CPM para estudar o planeamento.

As redes PERT/CPM são muito úteis, e não só para projectos grandes.

O seu traçado implica a resolução prévia de dois problemas fundamentais no planeamento:

- que actividades se irão realizar
- que preferência, ou que precedências, existem entre as diversas actividades

Outras vantagens:

- comprova se o plano é ou não tecnicamente coerente
- mostra se alguma actividade foi esquecida
- ajuda a compreender a lógica interna do projecto
- é um excelente guia para a execução do projecto
- clareza e facilidade de compreensão para os clientes e outros interessados
- produz impacto psicológico positivo para a negociação contratual.

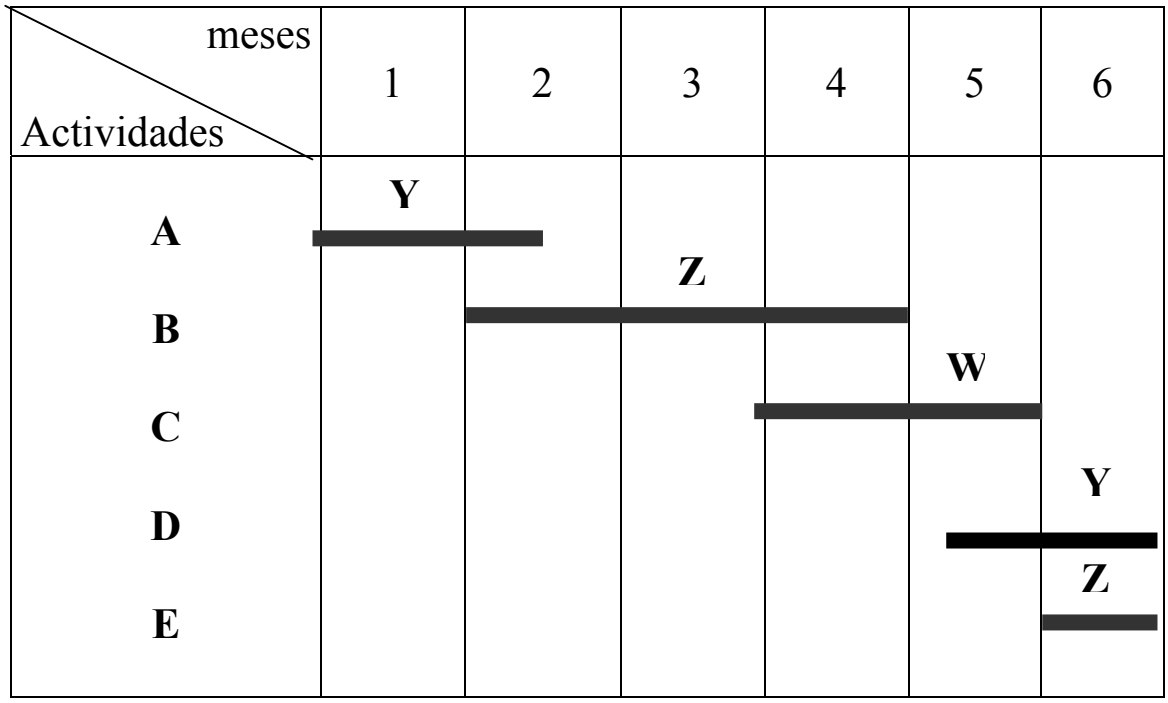
7.2. **Gráfico de Gantt** (de actividades/tarefas):

- ilustra graficamente a sequência das tarefas.

Exemplo (adaptado de Brand, 118)

Quadro de tarefas e recursos de um projecto :

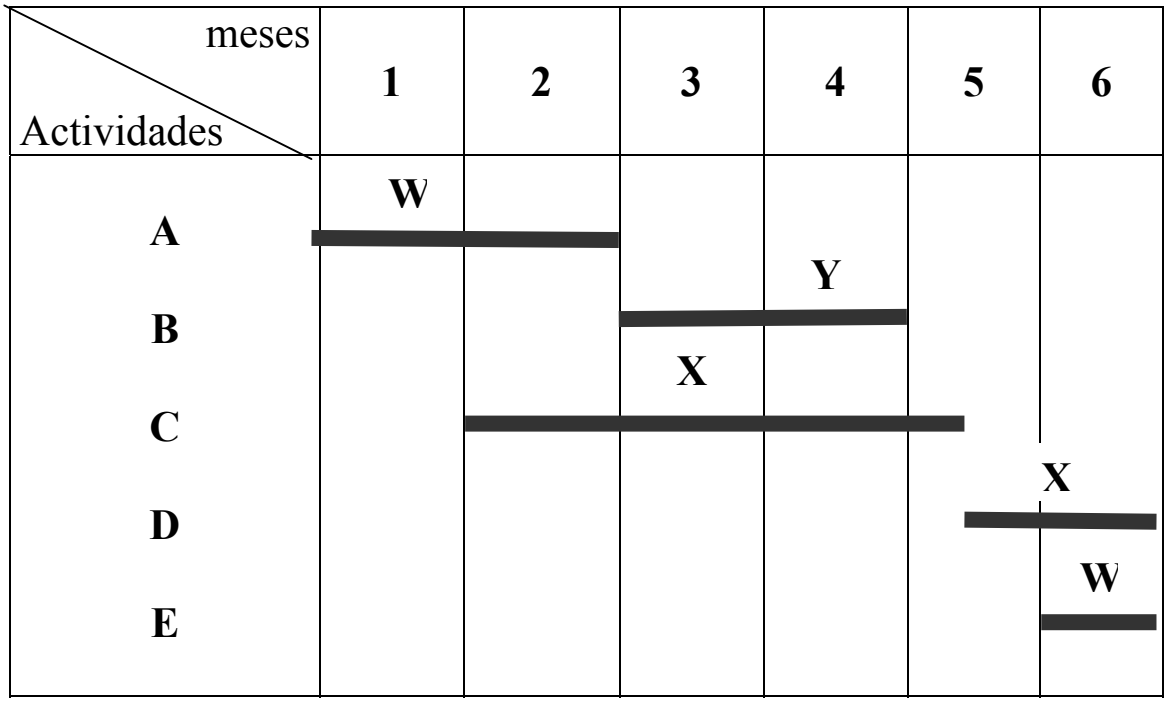
Tarefa/ actividade	calendarização (meses)	recursos n.º
A	0 a 1,5º	Y
B	2º 2 4º	Z
C	4º e 5º	W
D	4,3º a 6º	Y
E	6	Z



Se houver um outro projecto (Projecto 2) com a tabela de tarefas

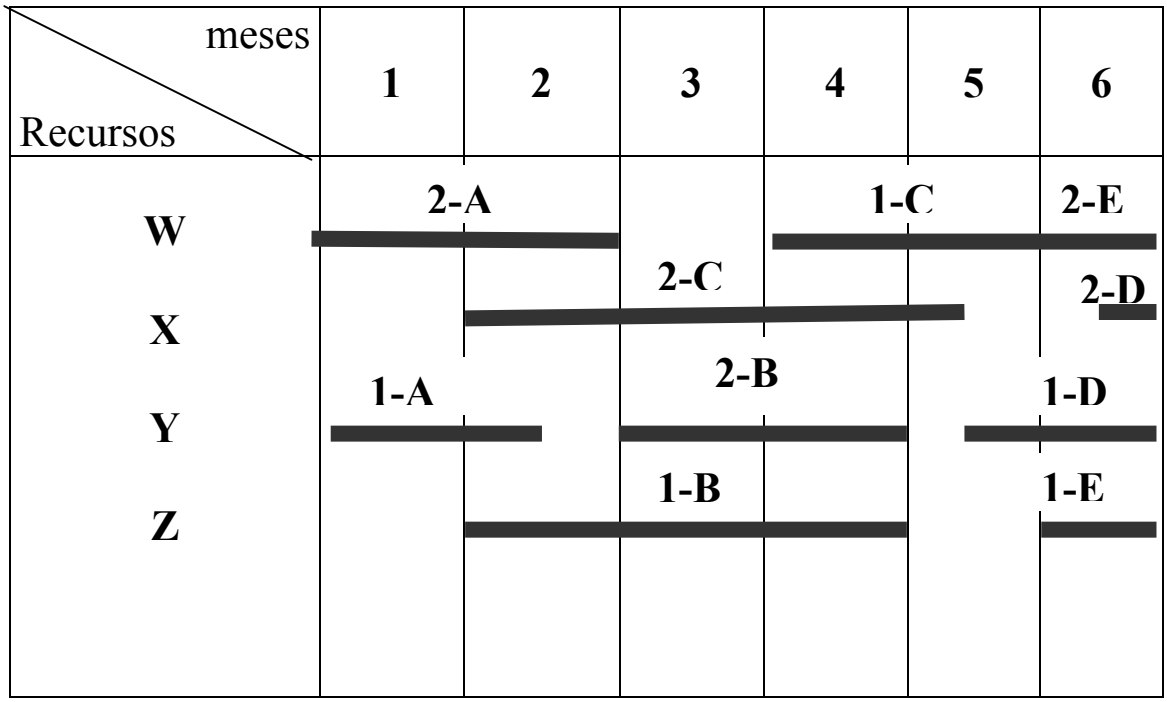
Tarefa/ actividade	calendarização (meses)	recursos n º
A	1 a 2	W
B	3 a 4	Y
C	2 a 4,5	X
D	5,5 a 6	X
E	6	W

o seu gráfico de Gantt será



A partir dos dois gráficos de Gantt de tarefas, extrai-se o gráfico de Gantt de recursos, que evidencia a cronologia de afectação de recursos.

Gráfico de Gantt dos recursos



Quando há conflitos na utilização de recursos

- ou se refaz o escalonamento das tarefas
- ou se procuram e obtêm mais recursos.

Limitações dos gráficos de Gantt:

- não permitem representar as inter-relações entre as actividades (embora algumas extensões, como no *Project*, o permitam fazer para casos relativamente simples).
- não é fácil apresentar as actividades em termos de uma lógica sequencial com tempo e recursos necessários às tarefas

Vantagens:

- é uma ferramenta de comunicação muito boa, por ser facilmente inteligível por não especialistas em gestão de projectos.

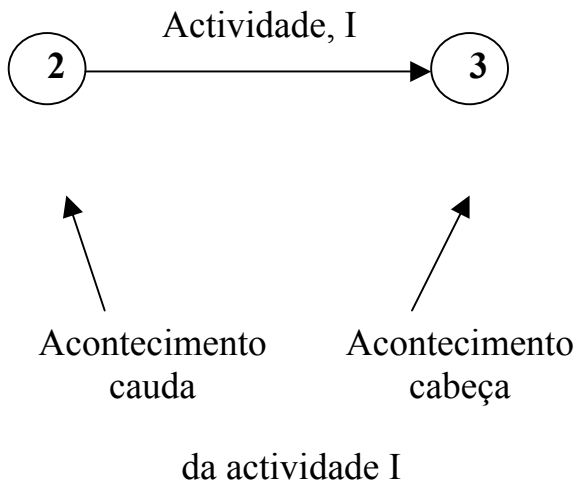
7.3. Redes PERT

7.3.1. Introdução às redes PERT/CPM

As redes PERT (Program Evaluation and Review Technique) evidenciam relações de precedência (obrigatória) entre tarefas, e permitem também fazer cálculos probabilísticos sobre o êxito do projecto. As redes CPM são iguais às PERT, excepto que são determinísticas (não permitem cálculos probabilísticos).

Uma rede PERT é um grafo (ou rede) orientado.

vértice, ou ***nó¸*** do grafo: cada um dos pontos do grafo
arco **(ou** ***aresta)*** do grafo: ligação orientada entre um vértice (origem) e outro vértice (destino).



Uma actividade que dependa de uma outra emerge da cabeça da actividade de que depende.

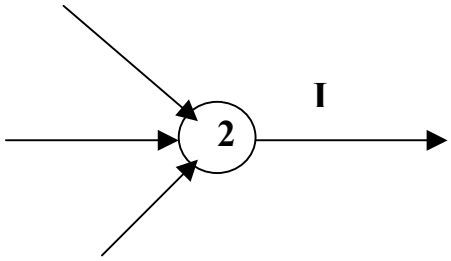
Representa-se o projecto em forma de rede resolvendo dois dos problemas imprescindíveis em toda a planificação:

- quais as actividades a realizar, enumerando-as por exemplo por A, B, ..., ou dando-lhe nomes
- por que ordem devem ser feitas as actividades/tarefas, isto é, qual a relação de preferência entre as diversas actividades.

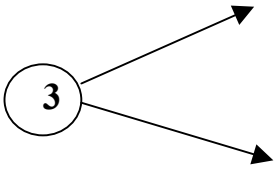
Tem também as vantagens de clareza e facilidade de compreensão, podendo provocar um impacto psicológico importante no cliente.

Propriedades das redes PERT

- um acontecimento não está realizado enquanto todas as actividades que conduzem a ele não estiverem completas.



- uma actividade só se pode iniciar após a realização do acontecimento da sua cauda.

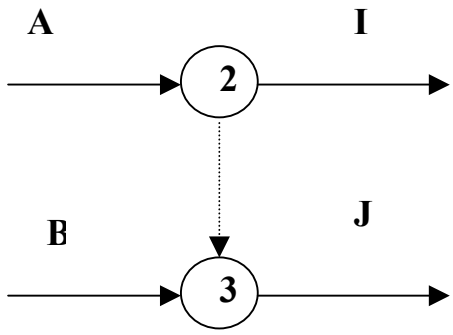


Em consequência nenhuma actividade se pode iniciar até que todas as actividades precedentes na mesma cadeia estejam completas.

Actividades fictícias
(não consomem recursos, consomem tempo)

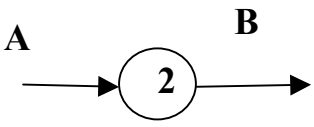
Necessário introduzir (por vezes)

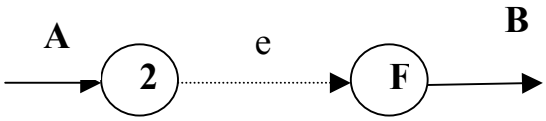
- para estabelecer precedências (a tracejado)



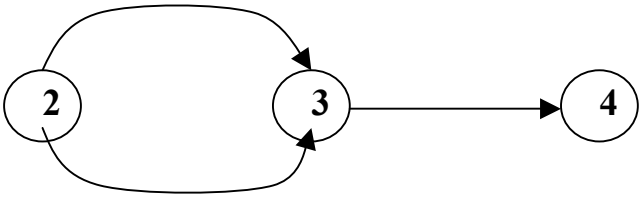
J depende de A e B; I depende de A..

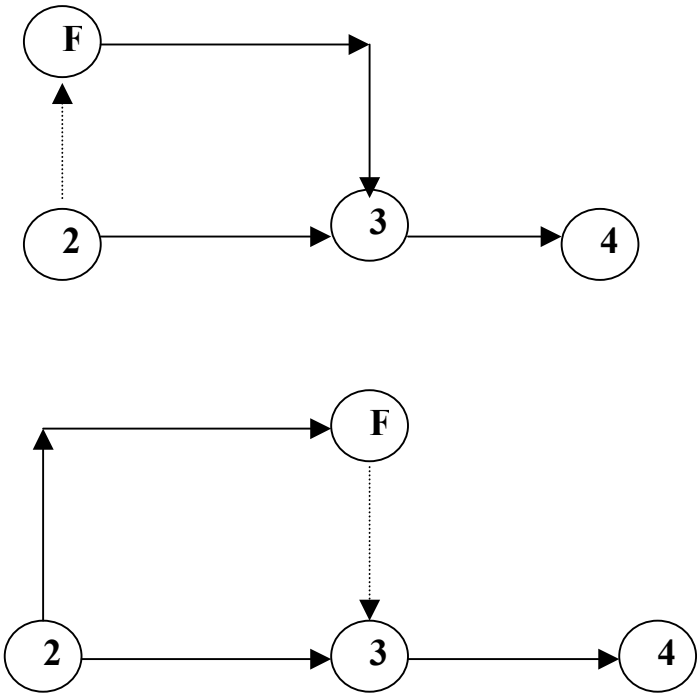
- para representar trânsito de tempo : B depende de A mas só se pode iniciar e dias após conclusão de A





- eliminar paralelismos (actividades fictícias de identidade): entre dois acontecimentos sucessivos só pode haver um arco.





7.3.2. Desenvolvimento da rede para o projecto

Exemplo (de E. Barros, 43).

Suponhamos o projecto de informatização de uma biblioteca. A lista das actividades a realizar é a seguinte (incluindo os marcos, *milestones,* que são pontos de referência para a gestão, geralmente a data de fim das actividades):

Código	Lista de tarefas	Tipo
01	Início do projecto	Acontecimento/marco
02	Determinação das necessidades de equipamento	Actividade/marco
03	Selecção do fornecedor	Actividade/marco
04	Redesenho das instalações	Actividade/marco
05	Transformação das instalações	Actividade/marco
06	Escolha do sistema de informatização	Actividade/marco
06	Encomenda do sistema	Actividade/marco
08	Instalação do sistema	Actividade/marco
09	Instalação da biblioteca completa (informatizada)	Acontecimento
10	Treino de operadores	Actividade/marco
11	Teste do sistema	Actividade/marco
12	Finalização do projecto	Acontecimento

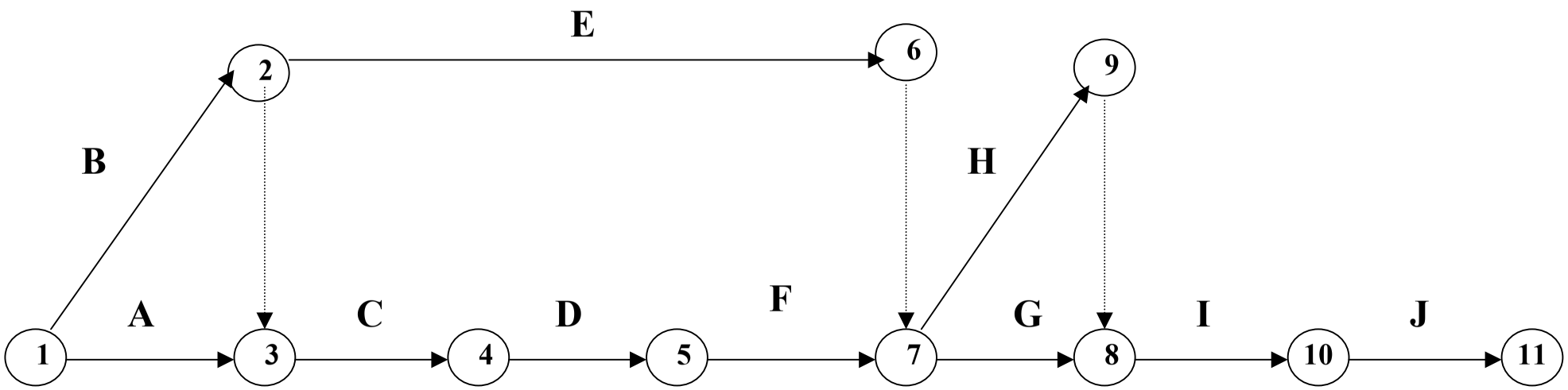
Após análise, estabelece-se a seguinte sequência de execução das actividades (a actividade X precede a actividade Y se Y só se puder iniciar após conclusão de X):

Actividades código	descrição	Actividades precedentes	Duração (dias)
A	Escolha do sistema de informatização		3
B	Determinação das necessidades de equipamento		2
C	Obtenção das propostas dos fornecedores	A, B	6
D	Selecção do fornecedor	C	1
E	Reformulação das instalações	B	15
F	Encomenda do sistema	D	1
G	Transformação das instalações para as adequar aos novos equipamentos	E, F	15
H	Instalação do sistema	E, F	3
I	Treino dos operadores	G, H	5
J	Ensaio final	H	15

Estamos agora em condições de construir o gráfico PERT/CPM do projecto.

- Haverá tantos arcos quantas as actividades
- Cada duas actividades sucessivas serão separadas por um nó
- Dois nós podem ser ligados directamente só por uma actividade.

GRÁFICO PERT/CPM



Notas:

- as actividades a tracejado são fictícias, introduzidas apenas para marcar as relações de precedência
  ou para permitir introduzir um vértice no fim.
- a numeração dos acontecimentos não corresponde à da lista de tarefas anterior

7.3.3.Análise da rede do projecto: determinação do caminho crítico.

Notação e nomenclatura:

CE = (Cedo Evento) data mais cedo possível para um evento (acontecimento)
TE = (Tarde Evento) data mais tarde possível para um evento

Folga de evento: TE-CE, período de tempo durante o qual de pode realizar o evento sem influenciar o términos do projecto.

D = Duração de uma actividade

CI = (Cedo Início) data mais cedo possível de início da actividade

CC = (Cedo Conclusão) data mais cedo possível de conclusão de uma actividade

TI = (Tarde Início) data mais tarde possível para início da actividade

TC = (Tarde Conclusão) data mais tarde possível para a conclusão da actividade.

Pode-se concluir que:

$D = CC - CI$ $CI = CC - D$ $CC = CI + D$

$D = TC - TI$ $TI = TC - D$ $TC = TI + D$

$S_{i,j} = TI_{i,j} - CI_{i,j}$ = Folga da actividade (i, j) entre os nós i e j.

$= TC_{ij} - CC_{ij}$

$= TC_{ij} – CI_{ij} - D_{ij}$
$= TE_j – (CE_i + D_{ij})$

Folga de actividade = período de tempo que uma actividade pode ser atrasada ou adiantada sem afectar a conclusão do projecto.

Um atraso nas actividades precedentes pode induzir um atraso nas procedentes. Se esta situação se verificar num caminho em todas as actividades desde o início até ao fim do projecto, esse caminho é designado **caminho crítico**: ele liga actividades em que um dado atraso numa actividade origina uma atraso na data de conclusão do projecto.

A determinação do caminho crítico faz-se pela:

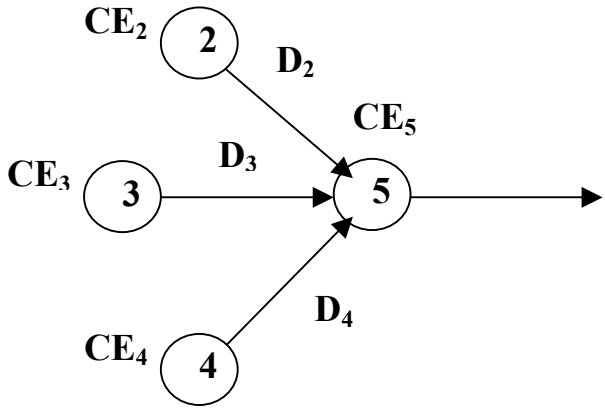
- determinação das datas CE para os eventos
- determinação das datas TE para um evento
- determinação das datas CI das actividades
- determinação das datas CC das actividades
- determinação das datas TC das actividades
- determinação das datas TI das actividades
- determinação das folgas de cada actividade (folga total).

7.3.3.1. Determinação das datas mais cedo CE para os eventos (do princípio para o fim da rede)

O tempo mais cedo CE para um evento é o tempo em que aconteceria o evento se todas as actividades precedentes se iniciassem o mais cedo possível (CI).

regra de cálculo:
calcula-se em que data aconteceria o evento se todos os eventos imediatamente precedentes acontecessem nas suas

datas CE e se as actividades intervenientes durassem exactamente o previsto.



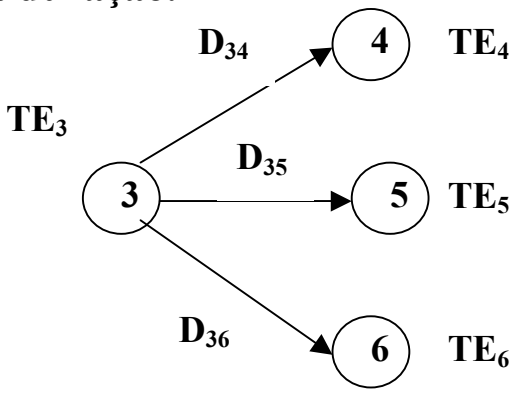
$$CE_5 = \text{máx}\,(CE_2 + D_2\,,\ CE_3 + D_3\,,\ CE_4 + D_4)$$

7.3.3.2. Determinação das datas TE dos eventos (do fim para o princípio da rede)

O tempo mais tarde TE de um evento é o tempo a que o evento pode ocorrer sem retardar a finalização do projecto para além do seu términos mais cedo CE.

O tempo TE do último evento (conclusão do projecto) é assim igual ao seu tempo mais cedo CE.

regra de cálculo (do fim para o princípio):
para cada evento, calcula-se o tempo tardio em que pode ocorrer de modo a que cada evento imediatamente a seguir possa ocorrer no seu tempo tardio TE se cada actividade interveniente consumir exactamente o tempo prevista para a sua duração.



$$TE_3 = \text{mín}\,(TE_4 - D_{34},\ TE_5 - D_{35},\ TE_6 - D_{36})$$

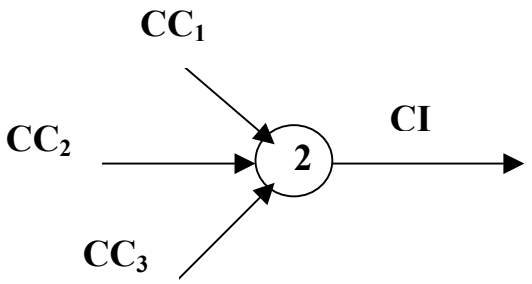
7.3.3.3. Determinação das datas CI das actividades

(percorre-se a rede **do princípio para o fim**)

regra:

a data mais cedo de início de uma actividade (iniciada num certo nó i é igual ao maior valor da data mais cedo de conclusão de entre todas as actividades que entram nesse nó i.

$$\mathbf{CI_{ij} = máx\ CC_{*i}}$$



$$\mathbf{CI = máx\ (CC_1\ ,\ CC_2\ ,\ CC_3)}$$

7.3.3.4. Determinação das datas CC das actividades

As datas CC calculam-se por $\mathbf{CC_{ij} = CI_{ij} + D_{ij}}$

7.3.3.5. Determinação das data TC

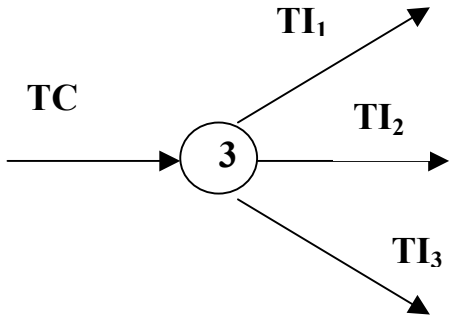
(percorre-se a rede **do fim para o princípio**)

A data TC da última actividade é igual à sua data CC.

regra:

a data mais tarde de conclusão de uma actividade que entra num nó j é igual ao menor valor das datas mais tarde de início de todas as actividades que deixam esse nó.

$$\mathbf{TC_{ij} = mín\ TI_{j*}}$$



$$TC = \text{mín}\ (TI_1, TI_2, TI_3)$$

7.3.3.6. Determinação das datas TI das actividades

As datas TI determinam-se por $\mathbf{TI_{ij} = TC_{ij} - D_{ij}}$

(por definição, para a última actividate tem-se CC=TC, CI=TI)

7.3.3.7. Determinação do caminho crítico

Determinam-se as folgas de todas as actividades.
As actividades sem folga (folga nula) fazem parte do caminho crítico.

Propriedades do caminho crítico:

1. Uma rede de projecto tem sempre um caminho crítico, e pode haver mais do que um;

2. Todas as actividades com folga nula devem pertencer a um caminho crítico e nenhuma actividade com folga não nula pode pertencer a um caminho crítico.

3. Todos os eventos com folga nula devem pertencer a um caminho crítico , e nenhum evento com folga não nula pode pertencer a um caminho crítico.
4. Um caminho ao longo da rede em que os eventos nele existentes têm folga nula não é necessariamente um caminho crítico, porque uma ou mais actividades nesse caminho pode ter folga não nula.

A quantidade de informação contida numa rede de projecto (incluindo os diversos tempos cedo e tarde, as folgas e os caminhos críticos) tem uma importância muito grande para o gestor dos projectos. Permite-lhe investigar o efeito de alterações no projecto (melhorando-o, eventualmente), determinar onde se devem despender esforços reforçados para manter o calendário, e testar o impacto de deslizes no cronograma.

7.3.3.6. Exemplo (informatização da biblioteca)

Cálculo das datas CE

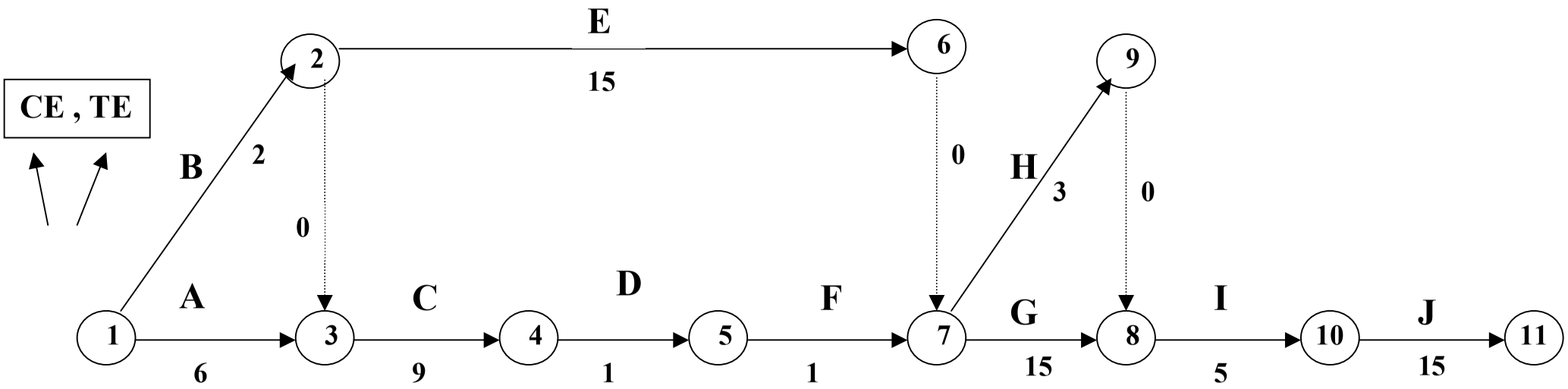
Evento	Evento precedente	CE + duração da actividade	CE do evento
1	-	-	0
2	1	0 + 2	2
3	2 1	2 + 0 3 + 0	máx (2+0, 3+0) = 3
4	3	3 + 6	9
5	4	9 + 1	10
6	2	2 + 15	17
7	5 6	10 + 1 17 + 1	máx (10 + 2, 17 + 1)= 17
9	7	17 + 3	20
8	7 9	17 + 15 20+ 0	máx (17 + 15, 10 + 0)= 32
10	8	32 + 5	37
11	10	37 + 15	52

Cálculo das datas TE e das folgas dos eventos

$TE_{11} = CE_{11} = 52$

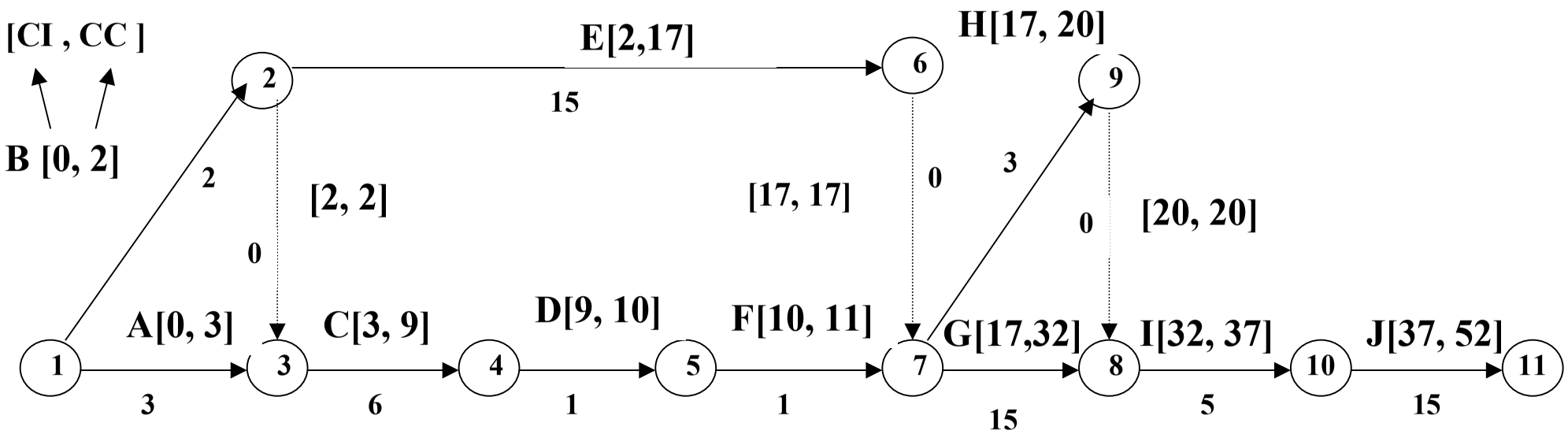
Evento *j*	Evento proceden te, *i*	TE_i- D_{ij}	TE do evento	Folga do evento TE-CE
11	-	-	52	0
10	11	52-15	37	0
8	10	37-5	32	0
9	8	32-0	32	12
7	8 9	32-15 32-3	min (17, 29) = 17	0
6	7	17-0	17	0
5	7	17-1	16	6
4	5	16-1	15	6
3	4	15-6	9	6
2	3 6	9-0 17-15	min (9,2)= 2	0
1	2 3	2-2 9-3	min (0,6) = 0	0

Cálculo dos tempos dos eventos

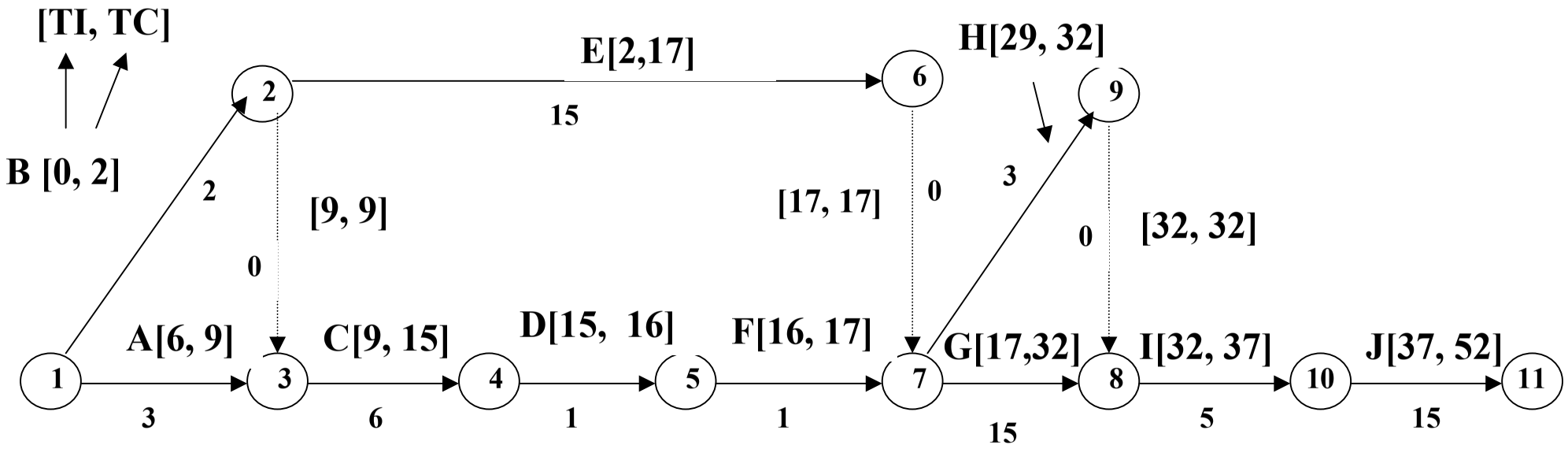


Cálculo das datas CI, CC, Ti e TC das actividades

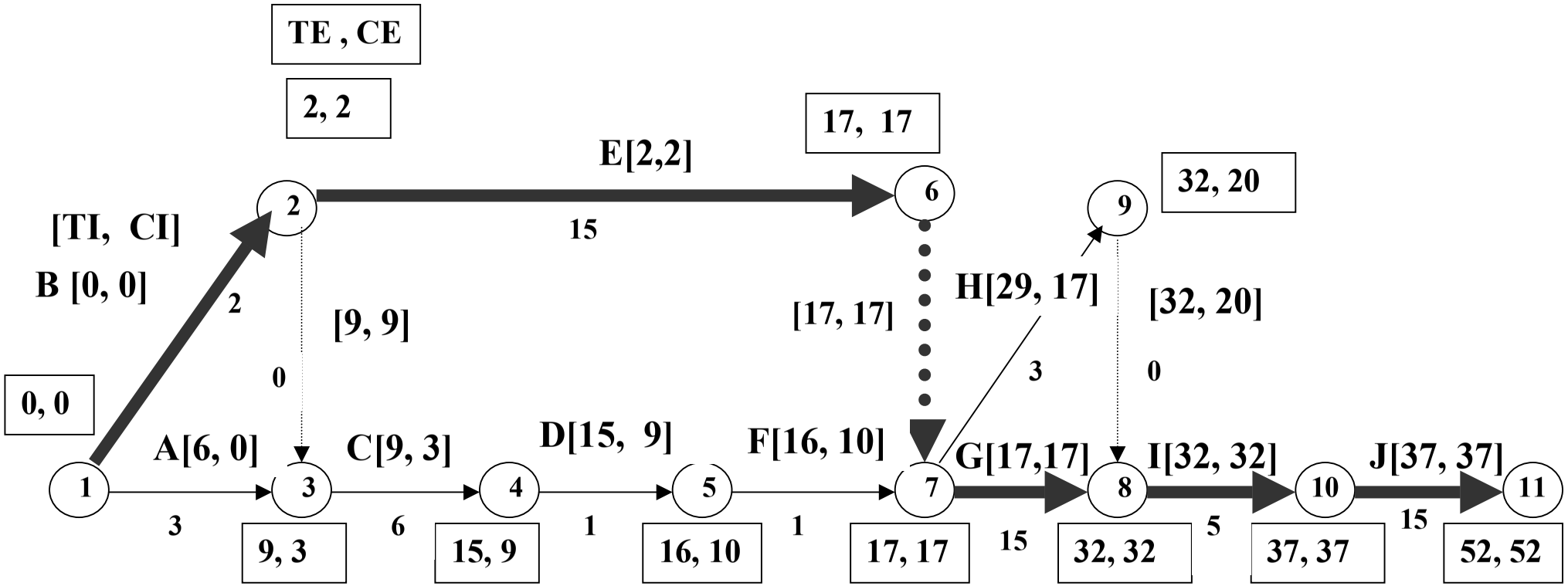
datas cedo (início e conclusão) CI, CC



datas tarde (início e conclusão) TI e TC.



O caminho crítico



Nº	Actividade	Duração D	CI	CC	TC	TI	Folga TI-CI
1-3	A	3	0	3	9	6	6
1-2	B	2	0	2	2	0	**0**
3-4	C	6	3	9	15	9	6
4-5	D	1	9	10	16	15	6
2-6	E	15	2	17	17	2	0
5-6	F	1	10	11	17	16	6
7-8	G	15	17	32	32	17	**0**
7-9	H	3	17	20	32	29	12
8-10	I	5	32	37	37	32	**0**
10-11	J	15	37	52	52	37	**0**

7.3.4. Optimização dos custos do projecto

As redes PERT/CPM, numa abordagem determinística, permitem optimizar os custos do projecto, ou pelo menos a relação custo/duração, i.e, a resposta à questão

- **que relação duração/custo de cada actividade se deve usar de modo a realizar o projecto no tempo previsto e a custo mínimo ???**

Pode fazer-se usando a programação linear (ver p. ex. em Hillier e Lieberman, pp 399/404) e parte do pressuposto que há actividades cuja duração de pode diminuir aumentando o seu custo (contratando mais pessoal, horas extraordinárias, mais equipamentos, etc.).

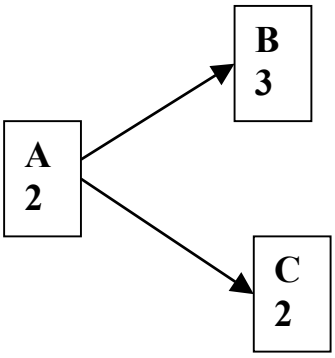
Pode também fazer-se por um procedimento de inspecção e melhoria por etapas (ver p. ex. Barros, 88-100).

7.3.5. As redes de actividades nos nós

As redes PERT (de actividades nos arcos) com toda a informação ficam "confusas" para o utilizador.

As redes de actividades nos nós são mais simples na representação:

São constituídas por **actividades** (nos nós, em geral rectangulares) e por **relações de dependência** definidas pelos arcos.

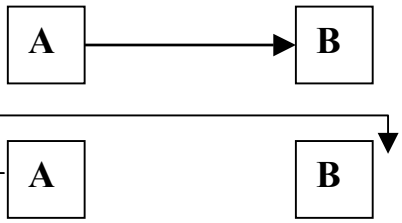


A precede B e C

Duração: 2, 3, 2

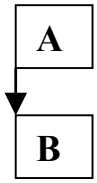
Entre as actividades podem-se estabelecer as seguintes relações de precedência:

Fim → Início

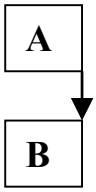


Início → Fim

Início → Início



Fim → Fim



Nota: No *Project* estas quatro ligações são representadas da mesma maneira. Escolhe-se clicando duas vezes com o botão esquerdo sobre a linha do arco.

Têm um nó de **início** e um nó de **fim**, ambos actividades fictícias de duração nula. Também se introduzem actividades fictícias de trânsito de tempo e de identidade.

Por outro lado a informação da rede concentra-se dentro do rectângulo de cada actividade, p. ex.:

Nome	
CI	**TI**
D	**Folga**

Nota: No *Project* depois de abrir a janela do PERT, clicando com o botão direito na área de trabalho aparece uma janela de diálogo na qual se definem as grandezas afectas aos cinco campos do actividade.

Para o exemplo de informatização da biblioteca, o PERT traçado no *Project* tem o aspecto da figura seguinte. Note-se que os Sábados e Domingos não contam (a menos que o autor reconfigure o calendário do *Project*)

7.3.6. Introdução da incerteza (redes PERT)

- quando a duração de uma actividade é uma variável aleatória com uma certa distribuição de probabilidade,

- a informação sobre essa distribuição de probabilidade permite estimar a probabilidade de completar o projecto na data prevista.

- estimativa de três tempos para cada actividade:
    - o mais provável, ***m***
    - o mais optimista (difícil mas possível se tudo correr bem), ***a***
    - o mais pessimista (difícil mas possível se tudo correr mal), ***b***

Admitem-se as seguintes hipóteses:

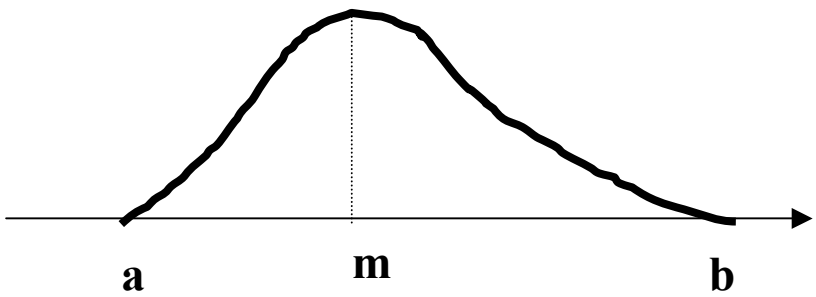
Hipótese 1. A dispersão entre ***a*** (valor optimista) e ***b*** (valor pessimista) é 6 vezes o desvio padrão, $6\sigma = \boldsymbol{b} - \boldsymbol{a}$, donde

$$\sigma^2 = \left(\frac{b-a}{6}\right)^2$$

(Note-se que na distribuição normal, gaussiana, assim como em outras, a esmagadora maioria das realizações situa-se entre $\pm 3\sigma$ em torno da média, e por isso existe uma dispersão de 6σ entre as "caudas" da distribuição; por isso é aceitável assumir aqui o mesmo facto).

Para se calcular o valor esperado, $\boldsymbol{T_e}$, é necessário considerar a forma de distribuição de probabilidades.

Hipótese 2. A distribuição de probabilidade da duração de cada actividade é (pelo menos aproximadamente) a **distribuição beta**



Sob as Hipóteses 1 e 2,

$$T_e = \frac{1}{3}\left[2m + \left(\frac{a+b}{2}\right)\right] = \frac{a+4m+b}{6}$$

A mediana entre ***a*** e ***b*** é ***(a+b)/2***. A duração esperada é a média aritmética ponderada da mediana e do modo (valor máximo), pesando o modo 2/3 e a mediana 1/3.

A escolha da distribuição beta é até certo ponto arbitrária, mas ajusta-se bem ao conceito esperado-pessimista-optimista.

Hipótese 3. Os tempos das diversas actividades são variáveis aleatórias **estatisticamente independentes** (i.e., o facto de a duração de uma actividade se situar num certo ponto da curva beta não influencia a localização da duração de outras actividades na curva beta).

Hipótese 4. O caminho crítico (baseado nos tempos esperados) requer sempre um tempo total maior do que qualquer outro caminho (esta hipótese é uma aproximação; pode haver caminhos que, por haver atrasos substanciais em algumas actividades, tenham uma duração maior; mas é razoável (optimista) porque é o que acontece na maior parte dos casos.

As Hipóteses 3 e 4 permitem afirmar:

- **a duração do tempo do projecto á a soma dos tempos das actividades do caminho crítico (com base nos tempos esperados). O valor esperado da soma das variáveis aleatórias independentes é a soma dos valores esperados de cada uma delas.**

- **a variância do tempo do projecto é a soma das variâncias dos tempos esperados da cada actividade no caminho crítico.**

Hipótese 5. A distribuição de probabilidade do tempo do projecto é (aproximadamente) a distribuição normal (gaussiana).

Esta hipótese é consequência do teorema do limite centra: a soma de um grande número de variáveis aleatórias individuais (neste caso com distribuição beta) segue uma distribuição normal.

Conhecida a média e a variância da duração do projecto, pode-se calcular a probabilidade de que a duração seja um certo valor.

Exemplo (inform. da biblioteca):

Actividade	Duração optimista ***a***	Duração mais provável ***m***	Duração pessimista ***b***	Média T_e	Variância σ^2
A	2	3	4	3	0,11
B	1	2	3	2	0,11
C	5	6	7	6	0,11
D	0,5	1	2	1,1	0,06
E	13	15	18	15,2	1,00
F	0,5	1	3	1,25	0,17
G	12	15	19	15,2	1,36
H	2	3	4	3	0,11
I	4	5	6	5	0,11
J	14	15	16	15	0,11

Caminho crítico: B-E-G-I-J

Duração esperada do projecto: 2+15,2+15,2+5+15=52,4
Variância: 0,11+1,00+1,36+0,11+0,11=2,65

Pode-se agora calcular a probabilidade de o projecto terminar por exemplo

até 55 dias p(x<55)

entre 45 e 55 p (45<x<55)

O *Project* tem uma janela de diálogo para entrar os dados pessimistas, esperados e optimistas .

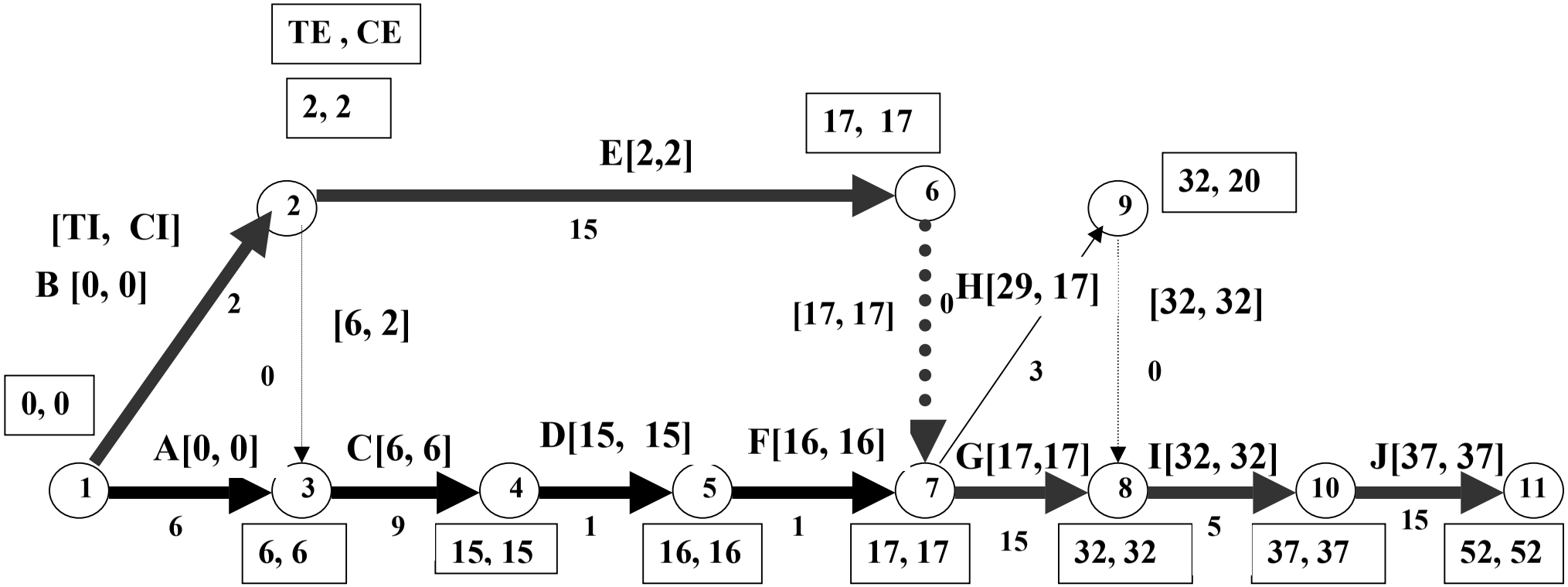
Bibliografia

Barros, Carlos, *Gestão de Projectos*, Ed Sílabo, Lisbos, 1994
J. P. Brand, *Direcção e Gestão de Projectos,* Lidel, 1998.
Kerzner, H., *Project Management: A Systems Approach to Planning, Scgheduling and Control,* 6th Edition, 1998.
Harvard Business School, *Project Management Manual,* October 1997.
Hillier e Lieberman, *Introduction to Operations Research*, McGraw Hill.

Se no exemplo de informatização da biblioteca se alterassem a duração das actividades conforme indicado no quadro seguinte,

Nº	Actividade	Duração D	CI	CC	TC	TI	Folga TI-CI
1-3	A	6	0	6	6	0	0
1-2	B	2	0	2	2	0	**0**
3-4	C	9	6	15	15	6	0
4-5	D	1	15	16	16	15	0
2-6	E	15	2	17	17	2	0
5-6	F	1	16	17	17	16	0
7-8	G	15	17	32	32	17	**0**
7-9	H	3	17	20	32	29	12
8-10	I	5	32	37	37	32	**0**
10-11	J	15	37	52	52	37	**0**

Dois caminhos críticos



FOLGAS

Folga total: TI - CI
Tempo total que uma actividade pode ser atrasada ou antecipada sem perturbar o

- tempo total de duração do projecto

Folga de início de actividade: $(TE - CE)_{cauda}$
Se a actividade começa o mais tarde possível, então a folga total é igual á folga de início.

Folga de fim de actividade: $(TE - CE)_{cabeça}$
Se a actividade se iniciar o mais cedo possível, então a folga total é igual à folga de fim de actividade.

Folga livre: CE (cabeça) - CC
Tempo total que uma actividade pode ser antecipada ou atrasada sem afectar as

- activides sucedentes
- tempo total de duração do projecto

Folga livre = folga total- folga de fim de actividade

$$FL= (TI-CI) - (TE-CE)_{cabeça}$$

Folga independente:
Tempo total que uma actividade pode ser antecipada ou atrasada sem afectar as

- actividades precedentes
- actividades sucedentes
- duração do projecto

Folga independente= folga livre- folga de início de actividade

$$FI= (TI-CI) - (TE-CE)_{cauda}$$

A folga total pode ser igual à folga livre ou não