

Aldo Dórea Mattos

PLANEJAMENTO e CONTROLE de OBRAS

2ª edição

oficina de textos

Copyright © 2019 Oficina de Textos

Grafia atualizada conforme o Acordo Ortográfico da Língua Portuguesa de 1990, em vigor no Brasil desde 2009.

Conselho editorial Arthur Pinto Chaves; Cylon Gonçalves da Silva;
Doris C. C. K. Kowaltowski; José Galizia Tundisi;
Luis Enrique Sánchez; Paulo Helene;
Rozely Ferreira dos Santos; Teresa Gallotti Florenzano

Capa e projeto gráfico Malu Vallim

Diagramação Tereza Kikuchi

Foto capa Andrej Lišakov (www.unsplash.com)

Preparação de figuras Victor Azevedo

Preparação de textos Hélio Hideki Iraha

Revisão de textos Natália Pinheiro Soares

Impressão e acabamento

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Mattos, Aldo Dórea

Planejamento e controle de obras / Aldo Dórea

Mattos. -- 2. ed. -- São Paulo : Oficina de Textos,
2019.

Bibliografia.

ISBN 978-85-7975-345-9

1. Canteiros de obras - Controle de qualidade
2. Canteiros de obras - Planejamento
3. Construção civil - Planejamento I. Título.

19-31273

CDD-690

Índices para catálogo sistemático:

1. Obras : Planejamento e controle : Construção civil 690

Maria Paula C. Riyuzo - Bibliotecária - CRB-8/7639

Todos os direitos reservados à **Editora Oficina de Textos**

Rua Cubatão, 798

CEP 04013-003 São Paulo SP

tel. (11) 3085-7933

www.ofitexto.com.br

atend@ofitexto.com.br

agradecimentos

Agradeço ao grande amigo Sérgio Motta de Lima, pelo incentivo, comentários, sugestões e revisão dos originais.

A Jim Zack, pela gentileza de escrever a apresentação da primeira edição.

A Fábio Andrade, pela leitura atenta dos originais e inestimável ajuda na correção do texto.

A Alexinaldo Esteves Souza, pela orientação teórica e prática.

Aos participantes do grupo de discussão E-Plan, em especial a Alonso Soler, Luiz Antônio Pinheiro Silva, Farhad Abdollahyan, Peter Mello, Ricardo Delarue e Ricardo Vargas, pela fertilíssima troca de ideias.

A Aldo José, meu pai, por ter me aconselhado a fazer um curso de PERT/CPM no Clube de Engenharia da Bahia em 1987.

A Ivan Moreira de Castro, professor daquele curso.

A Marcos Melo, que em 1970 presenteou meu pai com a ótima obra de Henrique Hirschfield (o primeiro livro de planejamento que li).

A Daniele, minha esposa, por compreender minha ausência nas tantas horas dedicadas a esta obra.

À equipe da Pini, que colaborou para este livro ir para o prelo em sua primeira edição.

E à equipe da Oficina de Textos, que tornou possível esta segunda edição.

apresentação

DA 1ª EDIÇÃO

País cuja economia atualmente é a segunda maior das Américas e a nona do mundo, o Brasil emergiu da recente crise econômica em condições melhores do que muitas outras nações do globo. A economia brasileira parece estar no rumo certo para dar continuidade ao exitoso crescimento que se verificou na última década. Essa continuidade, contudo, requer planejamento, projeto e construção de numerosos empreendimentos de infraestrutura, educação, habitação popular, transportes e indústria, só para citar algumas áreas. Ainda por cima, o Brasil sediará a Copa do Mundo de 2014 e os Jogos Olímpicos e Paraolímpicos de 2016, com investimentos da ordem de 27,7 bilhões de reais. As oportunidades para o Brasil são grandes, mas igualmente grandes são os riscos associados.

O sucesso na realização de todos esses projetos de capital pressupõe que eles sejam concluídos no prazo pactuado e dentro do orçamento aprovado, razão pela qual dependem inevitavelmente da contribuição de planejadores qualificados e experientes. *Mas o que realmente é um planejador?* Minha experiência pessoal de 38 anos na indústria da construção civil me leva a concluir que um planejador é um indivíduo com um conjunto singular de habilidades, com um papel de destaque na equipe de gerenciamento do projeto. *É um profissional que, munido de um conjunto de plantas e especificações técnicas, pode se trancar em uma sala por alguns dias e dela emergir com um plano de como construir a obra, incluindo a estrutura analítica do projeto, a relação de atividades necessárias para se cumprir o escopo, a duração de cada atividade, uma rede de dependência lógica e a lista de recursos requeridos para a execução da obra dentro do prazo contratual.* Ele pode ainda ser capaz de introduzir todos esses dados em um programa de computador, porém, em minha opinião, esse não é um requisito que caracterize um bom planejador. Com minha vivência, posso afirmar que encontrar alguém que maneje bem um *software* de planejamento é mais fácil do que encontrar um indivíduo que saiba como planejar e acompanhar propriamente uma obra.

É justamente para prover a capacitação de novos profissionais de planejamento e para ajudar a solidificar os fundamentos daqueles já praticantes que Aldo Dórea

Mattos traz à luz seu oportuno livro *Planejamento e controle de obras*. Seja para fins de fazer carreira no planejamento de obras, seja para aplicar os ensinamentos nas funções de gerente de projeto, as informações contidas neste livro certamente tornarão o leitor um membro mais valioso em qualquer equipe.

James G. Zack Jr.
Ex-presidente da Association for the Advancement of
Cost Engineering (AACE International)
Aliso Viejo, Califórnia (EUA)
Janeiro de 2010

prefácio

A construção civil é uma atividade que envolve grande quantidade de variáveis e se desenvolve em um ambiente particularmente dinâmico e mutável. Gerenciar uma obra adequadamente não é um dos trabalhos mais fáceis, e, no entanto, muito de improvisação ainda tem lugar nos canteiros por todo o mundo.

O *planejamento* da obra é um dos principais aspectos do gerenciamento, conjunto de amplo espectro, que envolve também orçamento, compras, gestão de pessoas, comunicações etc. Ao planejar, o gerente dota a obra de uma ferramenta importante para priorizar suas ações, acompanhar o andamento dos serviços, comparar o estágio da obra com a linha de base referencial e tomar providências em tempo hábil quando algum desvio é detectado.

A deficiência do planejamento pode trazer consequências desastrosas para uma obra e, por extensão, para a empresa que a executa. Um descuido em uma atividade pode acarretar atrasos e escalada de custos, assim como colocar em risco o sucesso do empreendimento.

Lamentavelmente, não são poucas as obras tocadas sem qualquer tipo de planejamento, valendo-se o engenheiro apenas de sua capacidade de administrar os assuntos concomitantemente com o desenrolar da obra. Essa não é, contudo, a maneira mais aconselhável de se proceder. Planejar é pensar, aplicar, controlar e corrigir a tempo. O planejamento envolve várias etapas que não podem ser descartadas por falta de tempo ou por excesso de confiança na própria experiência.

Afirmamos sem medo de errar que *quem um dia tem a oportunidade de trabalhar em uma obra planejada nunca mais se acostuma a trabalhar de outra maneira*. O que empolga em planejamento é que, ao conhecer e dominar os fundamentos teóricos, o planejador se pergunta: “Por que não pensei nisso antes?”.

Neste livro, não pretendemos esgotar o assunto, que, aliás, é bastante vasto. O que buscamos, sim, é apresentar de maneira didática todos os passos do planejamento de uma obra típica. Recorremos a exemplos práticos para mostrar que PERT/CPM não é apenas um exercício teórico dissociado da realidade. Os passos são absolutamente intuitivos e de fácil compreensão, embora por vezes sejam des-

prezados pelas empresas e pelos profissionais autônomos que coordenam obras. Planejar uma obra grande ou uma pequena reforma segue o mesmo roteiro – o que muda é a escala.

sumário

- 1 IMPORTÂNCIA DO PLANEJAMENTO – 19
 - 1.1 Benefícios do planejamento – 20
 - 1.2 Deficiência das empresas – 23
 - 1.3 Causas da deficiência – 23

- 2 CICLO DE VIDA DO PROJETO – 27
 - 2.1 Obra como projeto – 27
 - 2.2 Estágios do ciclo de vida do projeto – 28

- 3 CICLO PDCA – 31
 - 3.1 Planejar (P) – 33
 - 3.2 Desempenhar (D) – 33
 - 3.3 Checar (C) – 34
 - 3.4 Agir (A) – 35
 - 3.5 Mecânica do PDCA – 35

- 4 ROTEIRO DO PLANEJAMENTO – 37
 - 4.1 Identificação das atividades – 37
 - 4.3 Definição da precedência – 40
 - 4.4 Montagem do diagrama de rede – 41
 - 4.5 Identificação do caminho crítico – 42
 - 4.6 Geração do cronograma e cálculo das folgas – 45

- 5 ESTRUTURA ANALÍTICA DO PROJETO – 47
 - 5.1 Escopo do projeto – 47
 - 5.2 Estrutura analítica do projeto – 49
 - 5.3 Propriedades da EAP – 58
 - 5.4 Benefícios da EAP – 58

-
- 6 DURAÇÃO DAS ATIVIDADES – 59
 - 6.1 Conceito de duração – 60
 - 6.2 Regras práticas – 61
 - 6.3 Fatores que afetam a duração – 62
 - 6.4 Estimativa paramétrica – 63
 - 6.5 Quadro duração-recursos – 69
 - 6.6 Banco de dados de produtividade – 73

 - 7 PRECEDÊNCIA – 83
 - 7.1 Predecessoras e sucessoras – 83
 - 7.2 Quadro de sequenciação – 85
 - 7.3 Circularidade – 88
 - 7.4 Dependência mandatória – 90
 - 7.5 Dependência preferencial – 90
 - 7.6 Outros tipos de dependência – 91

 - 8 DIAGRAMA DE REDE – 95
 - 8.1 Origens do PERT/CPM – 95
 - 8.2 Tipos de diagrama de rede – 96
 - 8.3 Método das flechas – 97
 - 8.4 Método dos blocos – 113
 - 8.5 Comparação entre os métodos – 123

 - 9 CAMINHO CRÍTICO – 125
 - 9.1 Método das flechas – 125
 - 9.2 Método dos blocos – 145
 - 9.3 Outros tipos de dependência – 155
 - 9.4 Prazo imposto – 156
 - 9.5 Características do caminho crítico – 159

 - 10 FOLGAS – 161
 - 10.1 Datas cedo e tarde da atividade – 161
 - 10.2 Relação entre as folgas – 172

-
- 11 CRONOGRAMA – 175
 - 11.1 Cronograma de Gantt – 175
 - 11.2 Cronograma integrado Gantt-Pert/CPM – 177
 - 11.3 Marcos – 177
 - 11.4 Dias úteis e dias corridos – 178
 - 11.5 Vantagens e desvantagens do cronograma – 182

 - 12 ABORDAGEM PROBABILÍSTICA – 183
 - 12.1 Durações probabilísticas – 183
 - 12.2 Caminho crítico probabilístico – 191
 - 12.3 Probabilidade de um prazo qualquer – 194

 - 13 RECURSOS – 199
 - 13.1 Alocação de recursos – 200
 - 13.2 Relação recurso-duração – 200
 - 13.3 Histograma de recursos – 201
 - 13.4 Curva S e curva banana – 204
 - 13.5 Nivelamento de recursos – 210
 - 13.6 Limitação de recursos – 216
 - 13.7 Limitação de recursos financeiros – 221

 - 14 CURVA S – 225
 - 14.1 Curva S de trabalho – 227
 - 14.2 Curva S de custo – 229
 - 14.3 Curva S padrão – 231
 - 14.4 Benefícios da curva S – 247
 - 14.5 Resumo do capítulo – 248

 - 15 ACOMPANHAMENTO – 249
 - 15.1 Razões para o acompanhamento – 249
 - 15.2 Linha de base – 250
 - 15.3 Etapas do acompanhamento – 251
 - 15.4 Progresso das atividades – 252
 - 15.5 Linha de progresso – 253

- 15.6 Atualização do planejamento – 258
- 15.7 Alteração do caminho crítico – 264

- 16 PROGRAMAÇÃO DE SERVIÇOS – 271
 - 16.1 Programação – 271
 - 16.2 Metodologia PPC – 277

- 17 ACELERAÇÃO – 283
 - 17.1 Fundamentos da aceleração – 284
 - 17.2 Tipos de custo – 284
 - 17.3 Curvas tempo-custo direto – 286
 - 17.4 Custo marginal de aceleração – 291
 - 17.5 Curvas tempo-custo indireto – 294
 - 17.6 Custo casual – 294
 - 17.7 Curvas tempo-custo total – 295
 - 17.8 Aceleração racional – 301

- 18 VALOR AGREGADO – 309
 - 18.1 Valor previsto – 311
 - 18.2 Valor agregado – 312
 - 18.3 Custo real – 312
 - 18.4 Variação de custo – 313
 - 18.5 Variação de prazo – 314
 - 18.6 Índice de desempenho de custo – 315
 - 18.7 Índice de desempenho de prazo – 316
 - 18.8 Orçamento no término – 318
 - 18.9 Estimativa para o término – 318
 - 18.10 Estimativa no término – 319
 - 18.11 Variação no término – 320
 - 18.12 Índice de desempenho de custo de recuperação – 322
 - 18.13 Equivalência de siglas – 323
 - 18.14 Resumo – 323
 - 18.15 Representação gráfica – 325

19 CORRENTE CRÍTICA – 331

19.1 Origem da corrente crítica – 332

19.2 Teoria das restrições – 332

19.3 Corrente crítica – 334

19.4 Passos do CCPM – 336

19.5 Pulmões – 339

20 LINHA DE BALANÇO – 343

20.1 Representação gráfica – 345

20.2 Serviços em direções opostas – 346

20.3 Previsto × realizado – 348

20.4 Balanceamento das operações – 349

20.5 Dimensionamento da linha de balanço – 357

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS – 365



IMPORTÂNCIA DO PLANEJAMENTO

A indústria da construção tem sido um dos ramos produtivos que mais vem sofrendo alterações substanciais nos últimos anos. Com a intensificação da competitividade, a globalização dos mercados, a demanda por bens mais modernos, a velocidade com que surgem novas tecnologias, o aumento do grau de exigência dos clientes – sejam eles os usuários finais ou não – e a reduzida disponibilidade de recursos financeiros para a realização de empreendimentos, as empresas se deram conta de que investir em gestão e controle de processos é inevitável, pois sem essa sistemática gerencial os empreendimentos perdem de vista seus principais indicadores: o prazo, o custo, o lucro, o retorno sobre o investimento e o fluxo de caixa. Informação rápida é um insumo que vale ouro.

Nesse contexto, o processo de planejamento e controle passa a cumprir papel fundamental nas empresas, na medida em que tem forte impacto no desempenho da produção. Estudos realizados no Brasil e no exterior comprovam esse fato, indicando que *deficiências no planejamento e no controle estão entre as principais causas da baixa produtividade do setor, de suas elevadas perdas e da baixa qualidade de seus produtos.*

Atualmente, mais do que nunca, planejar é de certa maneira garantir a perpetuidade da empresa pela capacidade que os gerentes ganham de dar respostas rápidas e certeiras por meio do monitoramento da evolução do empreendimento e do eventual redirecionamento estratégico.

dois

CICLO DE VIDA DO PROJETO

Um empreendimento de engenharia precisa necessariamente obedecer a uma sequência lógica de desenvolvimento do produto final. As fases do ciclo de vida do empreendimento precisam ser desempenhadas com tempo suficiente para que seus objetivos sejam atingidos. Cada fase gera produtos que serão os dados de entrada para as fases subsequentes.

2.1 OBRA COMO PROJETO

No mundo da construção, o termo *projeto* geralmente vem associado ao plano geral de uma edificação ou de outro objeto qualquer, compreendendo o conjunto de plantas, cortes e cotas necessários à construção – projetos arquitetônicos, estruturais, de instalações elétricas e sanitárias, entre outros (seria o equivalente a *design*, em inglês). Neste livro, contudo, utilizamos o termo *projeto* em sua acepção gerencial (seria o equivalente a *project*, em inglês): “um esforço temporário empreendido para criar um produto, serviço ou resultado exclusivo” (Project Management Institute, 2017).

Dessa definição podemos tirar algumas características importantes de um projeto de construção:

- * *Temporário*: significa que o projeto tem um alcance no tempo, uma duração finita, com início e fim bem definidos. O fim acontece quando os objetivos estabelecidos forem alcançados.
- * *Produto único*: a unicidade se traduz pela concretização do produto físico e material, que representa a

três

CICLO PDCA

Com o desenvolvimento das técnicas de gestão, no final da década de 1980, alguns princípios fundamentais passaram a nortear o gerenciamento das obras. Um desses princípios, o da melhoria contínua, prega que todo processo deve ter um controle permanente que permita a aferição do desempenho dos meios empregados e promova uma alteração de procedimentos de tal modo que seja fácil alcançar as metas necessárias.

O princípio da melhoria contínua é bem ilustrado pelo ciclo PDCA. Essa representação gráfica mostra que o trabalho de planejar e controlar é uma constante ao longo do empreendimento. Não se pode pensar em planejamento inicial que não seja atualizado com o passar das semanas.

O ciclo PDCA foi desenvolvido originalmente por Walter Shewhart, na década de 1920, mas ganhou notoriedade com Edwards Deming na década de 1950. Deming é autor dos famosos princípios do Gerenciamento da Qualidade Total (TQM). Alguns deles são:

- * deve haver constância de propósitos para a melhoria do produto e do serviço;
- * a qualidade do produto nasce no estágio inicial;
- * as pessoas devem trabalhar em equipe, sem barreiras entre os departamentos, de modo que possam prever problemas e soluções;
- * o processo de melhoria é de competência de todos.

quatro

ROTEIRO DO PLANEJAMENTO

O planejamento de uma obra segue passos bem definidos. É quase uma receita de bolo. Em cada passo, coletam-se elementos dos passos anteriores e a eles se agrega algo. O trabalho de elaboração progressiva é bastante lógico. Para fazer a reforma de um casarão ou construir uma usina hidrelétrica, obras que têm feições distintas quanto ao tipo de construção, prazos, quantidade de recursos e complexidade, é obedecido o mesmo roteiro.

O roteiro do planejamento apresentado a seguir será detalhado nos próximos capítulos. O objetivo é que o leitor entenda a elaboração gradual do planejamento, pois, à medida que é construído, ficam mais claros sua relevância e os benefícios que advêm dele.

Esse roteiro contém os seguintes passos:

- * identificação das atividades;
- * definição das durações;
- * definição da precedência;
- * montagem do diagrama de rede;
- * identificação do caminho crítico;
- * geração do cronograma e cálculo das folgas.

4.1 IDENTIFICAÇÃO DAS ATIVIDADES

Consiste na identificação das atividades que integrarão o planejamento, ou seja, das atividades que comporão o cronograma da obra. É uma etapa que envolve grande atenção, uma vez que, se algum serviço não for contemplado, o cronograma ficará inadequado e futuramente o gerente estará às voltas com atrasos na obra.

A Tab. 4.1 apresenta a duração da atividade *alvenaria* de acordo com o número de pedreiros na equipe.

Tab. 4.1 Duração da atividade *alvenaria* em função da equipe

Trabalho (Hh)	Equipe	Duração da atividade (horas)	Duração da atividade (dias)
80	1 pedreiro	80	10
80	2 pedreiros	40	5
80	3 pedreiros	26,66	3,33
80	4 pedreiros	16	2

Cabe ao planejador definir a relação prazo/equipe mais conveniente e adotá-la na montagem do cronograma. Esse passo é de suma importância porque amarra as produtividades estabelecidas no orçamento com as durações atribuídas no planejamento. A obra passa a contar com uma *integração orçamento-planejamento*.

Para nossa casa, optamos inicialmente por designar uma equipe de dois pedreiros para a tarefa, o que então define a duração da atividade *alvenaria* como igual a cinco dias.

Por motivo de simplicidade didática, para as demais atividades atribuímos durações sem maiores detalhes (Tab. 4.2).

Trataremos do assunto com mais detalhes no Cap. 6, quando abordaremos a questão das produtividades/índices, entre outras particularidades. No Cap. 12, aprofundaremos o assunto com a abordagem probabilística das durações, que preconiza a atribuição de três durações para cada atividade: a mais provável, a otimista e a pessimista.

4.3 DEFINIÇÃO DA PRECEDÊNCIA

Consiste na sequenciação das atividades. A precedência é a dependência entre as atividades (“quem vem antes de quem”), com base na metodologia construtiva da obra. Analisando-se a particularidade dos serviços e a sequência executiva das

Tab. 4.2 Duração das atividades

Quadro de sequenciação		
	Atividade	Duração
Fundação		
A	Escavação	1 dia
B	Sapatas	3 dias
Estrutura		
C	Alvenaria	5 dias
D	Telhado	2 dias
E	Instalações	9 dias
Acabamento		
F	Esquadrias	1 dia
G	Revestimento	3 dias
H	Pintura	2 dias

cinco

ESTRUTURA ANALÍTICA DO PROJETO

O primeiro passo do roteiro do planejamento consiste em identificar as atividades que serão levadas em consideração pelo planejador e que irão compor o cronograma geral do projeto.

Essa etapa de identificação das atividades requer especial atenção, pois é nela que se decompõe o escopo total do projeto em unidades de trabalho mais simples e de manuseio mais fácil. Aquilo que não for identificado e relacionado sob a forma de atividade não integrará o cronograma.

A identificação das atividades não deve ser trabalho de uma única pessoa. É preciso que haja a contribuição e a participação de todos os envolvidos no projeto. A omissão de uma atividade ou de uma série delas é um problema que pode assumir proporções gigantescas no futuro. Se uma parte do escopo não for contemplada no cronograma, a obra poderá ter atraso e aumento de custo.

Desmembrar o projeto em atividades não é trabalho dos mais simples. Invariavelmente, exige leitura cuidadosa de desenhos e plantas, entendimento da metodologia construtiva a ser empregada e capacidade de representar as tarefas de campo sob a forma de pacotes de trabalho pequenos e compreensíveis.

5.1 ESCOPO DO PROJETO

Dá-se o nome de *escopo* ao conjunto de componentes que perfazem o produto e os resultados esperados do projeto. Em outras palavras, é a abrangência, o alcance do projeto como um todo.

atividades do subcontratado na rede é uma maneira de envolvê-lo no esforço global de planejamento e garantir que as atividades estarão identificadas no cronograma, o que permitirá um melhor monitoramento desses subcontratados.

Dica para o planejador

Uma recomendação importante é avaliar até que ponto o desmembramento do serviço em atividades menores melhora o acompanhamento da obra.

Um exemplo clássico é a execução de um telhado: um planejador pode desmembrar o serviço *telhado* em *madeiramento* e *telhas*, enquanto outro planejador pode crescer o nível de detalhe até *colocação da telha 1, colocação da telha 2... colocação da telha 1.258*. Será que esse preciosismo agregaria valor ou apenas criaria uma enorme dor de cabeça para quem fosse atualizar a rede?

Observação: é conhecido um caso em que, para cada porta de uma grande edificação, o planejador havia subdividido o serviço em *batente, dobradiça superior, dobradiça inferior, folha da porta* e *alizes*. Esse é o tipo de desmembramento desnecessário, pois envolve atividades pequenas e rápidas, que poderiam muito bem estar agrupadas sem prejuízo do acompanhamento.

É interessante perceber também que, à medida que a EAP se aperfeiçoa, a equipe adquire mais segurança com relação à obra, fica mais confiante quanto aos prazos estipulados, e o planejador pode reduzir a contingência de tempo a ser incorporada ao cronograma.

Dica para o planejador

Várias especificações técnicas de órgãos americanos impõem que a *duração mínima* seja de *1 dia*, e a *máxima*, o *dobro da periodicidade da atualização da rede* – se a atualização for semanal, a duração máxima será de duas semanas (10 dias); se for quinzenal, 30 dias, e assim por diante.

Preferimos teorizar como $1 \text{ dia} < d < 10 \text{ dias}$:

- * se uma atividade identificada tiver $d < 1$ dia, ela será considerada pequena demais e deverá ser fundida a outra(s) para formar uma atividade mais longa;
- * se uma atividade tiver $d > 10$ dias, ela deverá ser desmembrada em pacotes menores (*fase I e fase II* etc.).

EAP analítica

Outro formato possível para a EAP é a listagem *analítica* ou *sintética*. Esse é o formato com que os principais *softwares* de planejamento trabalham.

A essência é simples: cada novo nível da EAP é “indentado” em relação ao anterior, isto é, as atividades são alinhadas mais internamente. Tarefas de um mesmo nível têm o mesmo alinhamento. Quanto mais indentadas forem as atividades, mais baixo será o nível a que pertencem.

seis

DURAÇÃO DAS ATIVIDADES

Seguindo nosso roteiro, uma vez identificadas as atividades do planejamento, que são aquelas tarefas que integrarão o cronograma do projeto, o planejador deve partir para determinar a *duração* de cada uma delas.

Definir a duração de uma tarefa é de extrema importância, pois constitui o dado numérico de tempo em função do qual o cronograma será gerado. Ela é, portanto, uma das responsáveis pela obtenção do prazo da obra e dos marcos intermediários. Durações mal atribuídas podem corromper totalmente o planejamento, distorcendo-o e tornando-o inexecutável ou sem utilidade prática para quem irá gerenciar a obra.

É importante ressaltar que, por mais criterioso e analítico que seja o planejador, a duração é sempre uma estimativa, e por isso mesmo está sujeita a uma margem de erro, que pode ser menor para as atividades repetitivas, costumeiras e bem conhecidas, ou maior para os serviços novos ou para os quais o construtor não dispõe de dados históricos em que se pautar.

Como decorrência da incerteza que cerca as atividades, é necessário não somente *planejar* – quadrante A do ciclo PDCA –, mas também *controlar* – quadrante C –, para avaliar as eventuais discrepâncias e poder ajustar o cronograma para o restante do projeto.

O real valor de um planejamento e a confiança que se pode depositar nele residem basicamente em dois parâmetros:

Exemplo 6.2

Nas duas composições a seguir, identificar o índice que comanda o serviço e a produtividade da equipe.

1. Serviço: fôrma de chapa compensada para estruturas em geral, resinada, $e = 12$ mm, três reaproveitamentos (Tab. 6.2). Unidade: m^2 .

Tab. 6.2 Composição de fôrma

Insumo	Unidade	Índice (ou coeficiente)
Ajudante de carpinteiro	h	1,20
Carpinteiro	h	1,20
Chapa compensada	m^2	0,43
Desmoldante	L	0,10
Prego 18×27	kg	0,25
Pontaleta $3'' \times 3''$	m	2,00
Sarrafo $1'' \times 4''$	m	1,53
Tábua $1'' \times 12''$	m	1,40

2. Serviço: escavação mecanizada de vala, com transporte para bota-fora a 800 m de distância (Tab. 6.3). Unidade: m_c^3 (metro cúbico medido no corte).

Tab. 6.3 Composição da escavação

Insumo	Unidade	Índice (ou coeficiente)
Escavadeira	h	0,0186
Caminhão	h_{prod}	0,0470
	h_{improd}	0,0080
Servente	h	0,0372

Solução:

1. O insumo “carro-chefe” do serviço é o carpinteiro. O índice 1,20 significa 1,20 h/ m^2 , isto é, gasta-se 1,20 h de carpinteiro na execução de 1 m^2 de fôrma. A produtividade é de $1/1,20 = 0,83$ m^2/h . A proporcionalidade na equipe do serviço é de um ajudante para cada carpinteiro (índices iguais).
2. O insumo “carro-chefe” do serviço é a escavadeira. O índice 0,0186 significa 0,0186 h/ m_c^3 , isto é, gasta-se 0,0186 h de escavadeira na escavação de 1 m_c^3 . A produtividade é de $1/0,0186 = 53,8$ m_c^3/h . A equipe é de uma escavadeira e três caminhões [= $(0,0470 + 0,0080)/0,0186$].

6.6 BANCO DE DADOS DE PRODUTIVIDADE

A Tab. 6.9 traz produtividades médias de serviços retiradas de alguns bancos de dados correntes. As produtividades podem servir de referência para o planejador no dimensionamento de durações. Recomendamos sua utilização com cautela, porque a produtividade depende de muitos fatores.

Tab. 6.9 Índice/produtividades de serviços de edificações

Serviço	Índice	Produtividade	Produção dia (8 h)	Equipe básica
Serviços preliminares				
Limpeza de terreno	1,00 h/m ²	1,00 m ² /h	8,00 m ² /dia	
Demolições				
* Alvenaria	0,80 h/m ²	1,25 m ² /h	10,00 m ² /dia	2P + 5S
* Concreto armado	1,60 h/m ³	0,63 m ³ /h	5,00 m ³ /dia	2P + 3S
* Tijolo maciço sem aproveitamento	0,67 h/m ²	1,50 m ² /h	12,00 m ² /dia	2P + 3S
* Tijolo maciço com aproveitamento	1,33 h/m ²	0,75 m ² /h	6,00 m ² /dia	2P + 3S
* Pisos cerâmicos	0,53 h/m ²	1,88 m ² /h	15,00 m ² /dia	2P + 2S
* Telhados	0,32 h/m ²	3,13 m ² /h	25,00 m ² /dia	1P + 1S
* Tesouras de madeira	0,67 h/m ²	1,50 m ² /h	12,00 m ² /dia	1C + 2S
* Forros	0,47 h/m ³	2,13 m ³ /h	17,02 m ³ /dia	1OF + 1S
* Esquadrias	0,20 h/un	5,00 un/h	40,00 un/dia	2P + 1S
* Revestimento	0,72 h/m ²	1,39 m ² /h	11,11 m ² /dia	2P + 2S
* Pisos cimentados	0,80 h/m ²	1,25 m ² /h	10,00 m ² /dia	2S
* Pisos ladrilhados	0,46 h/m ²	2,19 m ² /h	17,51 m ² /dia	2P + 2S
* Pisos tacos	0,80 h/m ²	1,25 m ² /h	10,00 m ² /dia	2C + 2S
* Degraus	0,80 h/m	1,25 m/h	10,00 m/dia	2P + 2S
* Alven./tijolo	0,64 h/m ³	1,56 m ³ /h	12,50 m ³ /dia	2P + 5S
* Alven./pedra	1,00 h/m ³	1,00 m ³ /h	8,00 m ³ /dia	2P + 5S
* Concreto	1,60 h/m ³	0,63 m ³ /h	5,00 m ³ /dia	2P + 4S
* Concreto armado	1,33 h/m ³	0,75 m ³ /h	6,00 m ³ /dia	2P + 3S
* Revestimentos (mg/mf)	0,32 h/m ²	3,13 m ² /h	25,00 m ² /dia	2P + 2S
* Revestimento com argamassa	0,67 h/m ²	1,50 m ² /h	12,00 m ² /dia	2P + 2S
Remoções				
* Manual paralelepípedo	0,90 h/m ²	1,11 m ² /h	8,89 m ² /dia	2S

sete

PRECEDÊNCIA

Agora que as atividades já foram identificadas e contemplam a totalidade do escopo do projeto, o passo que se nos afigura é estabelecer a lógica que coordena essas atividades. É preciso estabelecer a sequência das atividades, a ordem em que elas ocorrem e que tipo de dependência existe entre elas. A sequência lógica das atividades do projeto recebe o nome de *precedência*.

Esse passo do planejamento precisa ser bem executado porque o produto final, que é o cronograma com as datas previstas para cada atividade, é obviamente afetado pela sequência definida. Amarrar uma atividade a outra é uma operação das mais relevantes do planejamento. De nada vale estabelecer uma EAP criteriosa e detalhada e dispor do melhor programa de computador, se o planejador não definir uma sequência executiva lógica, plausível e exequível. Pode-se afirmar que a definição das durações e o estabelecimento da interdependência entre as atividades são os pontos-chave do planejamento.

Uma sequência incorreta de atividades vai gerar um produto sem qualquer aplicabilidade prática – isso será motivo para descrédito do planejamento e do planejador. É importante atentar para o fato de que o melhor computador do mundo não corrigirá uma rede malfeita.

7.1 PREDECESSORAS E SUCESSORAS

Quando a lista de todas as atividades do projeto estiver preparada, passa-se a determinar a relação entre elas, isto é,

oito

DIAGRAMA DE REDE

O *diagrama de rede* é a representação gráfica das atividades, levando em conta as dependências entre elas. Essa etapa do roteiro do planejamento não caracteriza mais entrada de dados – o que se faz agora é transformar as informações de duração e sequenciação em um diagrama, uma malha de flechas ou blocos.

Os diagramas PERT/CPM permitem que sejam indicadas as relações lógicas de precedência (inter-relacionamento) entre as inúmeras atividades do projeto e que seja determinado o caminho crítico, isto é, a sequência de atividades que, se sofrer atraso em alguma de suas componentes, vai transmiti-lo ao término do projeto. Cálculos numéricos permitem saber as datas mais cedo e mais tarde em que cada atividade pode ser iniciada, assim como a folga de que elas dispõem.

A grande vantagem de representar a lógica do projeto sob a forma de um diagrama de rede é que a leitura e o manuseio da rede ficam muito mais simples e fáceis de entender. Basta imaginar o quanto seria trabalhoso descrever apenas com palavras a metodologia e o encadeamento lógico das atividades de um projeto extenso.

8.1 ORIGENS DO PERT/CPM

Em 1957, a indústria química norte-americana E.I. du Pont de Nemours and Co. (DuPont) possuía o computador mais potente da época, o Univac I, produzido pela Remington Rand, porém o utilizava muito pouco. Buscando mais aplicações

Exemplo 8.6

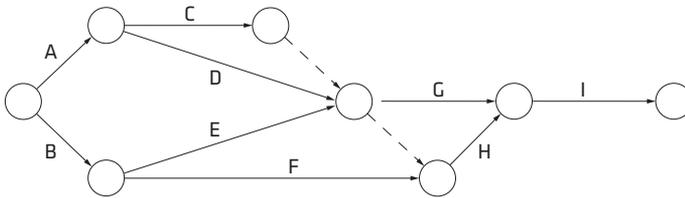
Montar o diagrama de flechas para a rede exposta no Quadro 8.8.

Quadro 8.8 Quadro de sequenciação

Atividade	Predecessoras
A	-
B	-
C	A
D	A
E	B
F	B
G	C, D, E
H	C, D, E, F
I	G, H

Solução:

Há a necessidade de uma atividade-fantasma (Fig. 8.13).

**FIG. 8.13** Diagrama de flechas**Estudo de caso 8.1 – rede de saneamento**

Uma obra de saneamento básico consiste em uma rede coletora de esgotos de 4 km de extensão. Os técnicos da obra definiram que a rede será executada por trechos (ciclos) sucessivos de 1 km, com quatro equipes especializadas: locação, escavação, assentamento de tubo e reaterro. A obra funciona como um “trenzinho”, no qual cada serviço depende de outro dentro do próprio trecho e depois avança para o trecho subsequente: a equipe de escavação entra em cena quando houver 1 km de vala locada; o assentamento dos tubos entra em cena quando houver 1 km de vala escavada; e a equipe de reaterro vem fechando a vala em trechos de 1 km depois de assentada a tubulação.

Atividades (trechos 1, 2, 3, 4)

- * *Locação*: A1, A2, A3 e A4.
- * *Escavação*: B1, B2, B3 e B4.

nove

CAMINHO CRÍTICO

Agora que já temos a rede montada com todas as atividades ligadas entre si, segundo uma lógica racional, e já dispomos da duração de cada atividade, o passo seguinte é calcular o prazo do projeto, ou seja, a duração total da obra.

Se todas as atividades estivessem em série, bastaria somar as durações de todas elas para encontrar a duração total; porém, como há paralelismo de atividades, a coisa não é tão imediata assim.

O leitor deve entender que não estamos falando aqui de prazo *contratual* ou duração *desejada*, mas do prazo total *calculado* de acordo com os dados de entrada do planejamento, que são precedência e durações.

Calcular a duração total impõe realizar algumas comparações entre tempos, como será exposto a seguir. Mais uma vez abordaremos a técnica mostrando os dois métodos de construção do diagrama de rede: método das flechas e método dos blocos. Ambos produzem o mesmo resultado, o que não poderia ser diferente; o que muda são as regras para efetuar os cálculos e a forma de registrar o tempo na rede.

9.1 MÉTODO DAS FLECHAS

No método das flechas, a *duração da atividade é representada na própria flecha*. Para calcular o prazo total da rede, faz-se o cômputo do tempo total gasto até cada evento ser atingido. Por se tratar de uma sequência cronológica, as contas são feitas evento a evento.

As atividades críticas são aquelas que unem os eventos críticos. A sequência contínua de atividades críticas é o caminho crítico.

Exemplo 9.2

Na rede da Fig. 9.12, calcular os tempos mais cedo e mais tarde e identificar o caminho crítico. Recomenda-se que o leitor tente encontrar a resposta sem olhar a resolução.

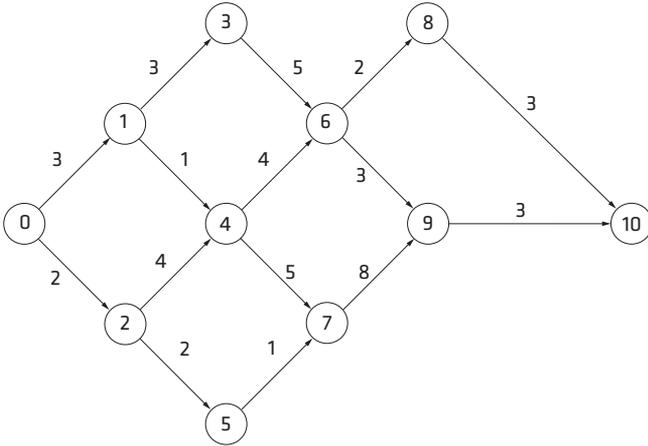


FIG. 9.12 Diagrama de rede

Solução:

Tempo mais cedo dos eventos

$$Tc_0 = 0$$

$$Tc_1 = 0 + 3 = 3$$

$$Tc_2 = 0 + 2 = 2$$

$$Tc_3 = 3 + 3 = 6$$

$$Tc_4 = \text{o maior entre } 3 + 1 = 4 \text{ e } 2 + 4 = 6$$

$$Tc_5 = 2 + 2 = 4$$

$$Tc_6 = \text{o maior entre } 6 + 5 = 11 \text{ e } 6 + 4 = 10$$

$$Tc_7 = \text{o maior entre } 6 + 5 = 11 \text{ e } 4 + 1 = 5$$

$$Tc_8 = 11 + 2 = 13$$

$$Tc_9 = \text{o maior entre } 11 + 3 = 14 \text{ e } 11 + 8 = 19$$

$$Tc_{10} = \text{o maior entre } 13 + 3 = 16 \text{ e } 19 + 3 = 22$$

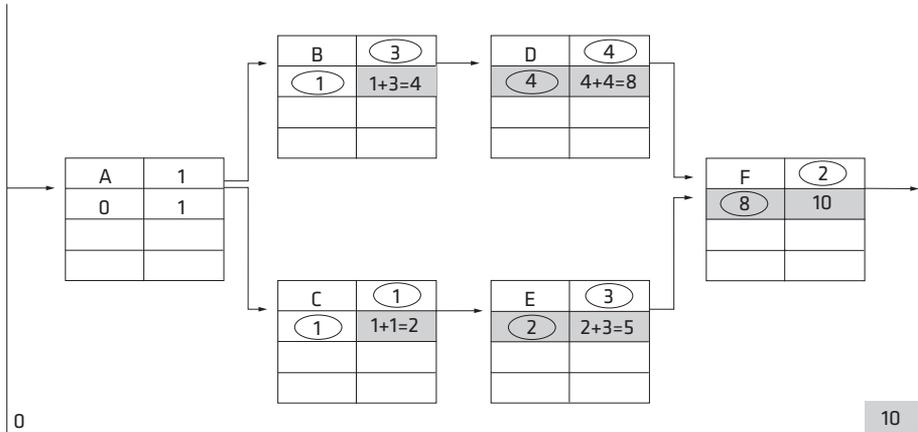


FIG. 9.23 PDI e PDT das atividades

5. *Passada reversa*: atribui-se como término mais tarde do projeto o próprio valor 10, anotando-o na parte superior da barra de fim. Esse valor é transferido para a atividade final F como última data de término (UDT) (Fig. 9.24).

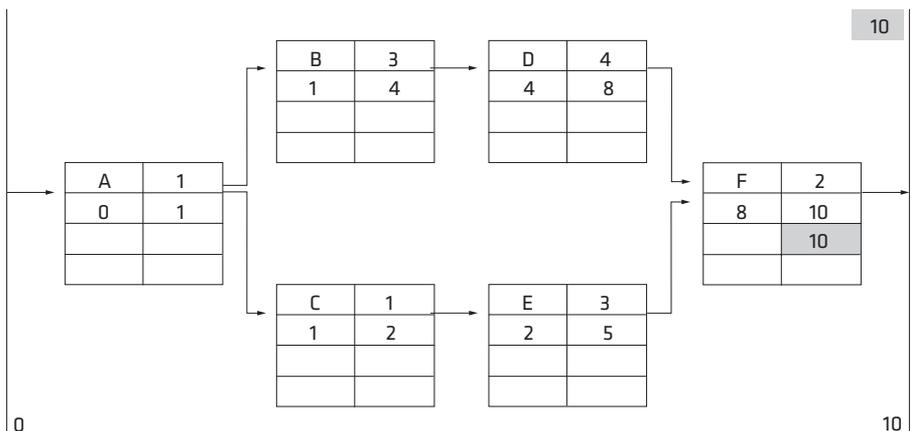


FIG. 9.24 Passada reversa: UDT da atividade final

dez

FOLGAS

Já é plenamente sabido que o caminho crítico reúne aquelas atividades cujo atraso se comunica diretamente com o prazo total do projeto. Já é sabido também que as atividades não críticas possuem alguma margem de tempo que lhes garante determinada flexibilidade. Essa margem é a *folga total* (ou apenas *folga*).

Pelo método das flechas (ADM), as folgas são calculadas posteriormente à identificação do caminho crítico, valendo-se dos tempos cedo e tarde dos eventos. Geralmente a folga não é representada na atividade em si, mas em um quadro à parte.

Pelo método dos blocos (PDM), as folgas são calculadas concomitantemente com o cálculo da rede, sendo o valor registrado no próprio “bloco” da atividade. Os exemplos vistos no Cap. 9 abordaram o cálculo das folgas total e livre.

Neste capítulo, enfatizamos a importância de entender o significado da folga e o proveito que o gerente pode tirar dela na condução diária das atividades de campo. Os exemplos são mostrados em diagrama de flechas, mas o entendimento do assunto vale para ambos os métodos.

10.1 DATAS CEDO E TARDE DA ATIVIDADE

No diagrama de flechas, toda atividade i - j de duração D está limitada entre dois eventos i e j , cada um deles com seu tempo mais cedo (T_c) e mais tarde (T_t) (Fig. 10.1).

A equação da folga independente pode gerar valores negativos. Nesse caso, FI é assumida como igual a zero.

10.2 RELAÇÃO ENTRE AS FOLGAS

O Quadro 10.1 sintetiza o significado das folgas.

Quadro 10.1 Folgas e seu significado

Folga	Significado
Total	Atraso máximo que não altera a data final do projeto.
Livre	Atraso máximo que não altera o cedo das sucessoras.
Dependente	Atraso, a partir do tarde do evento inicial, que não atrasa as sucessoras.
Independente	Atraso, a partir do tarde do evento inicial, que não altera o cedo das sucessoras.

As folgas dependente e independente também podem ser registradas no diagrama de blocos, bastando ao planejador criar mais duas quadrículas na “ficha” da atividade.

Dicas para o planejador

Quando utilizado isoladamente, o termo *folga* geralmente se refere à *folga total*.

A folga livre não pode ser superior à folga total ($FL \leq FT$).

As folgas dependente e independente têm mais interesse acadêmico do que prático. A maior parte dos livros e dos programas de planejamento sequer as contempla.

A relação entre as folgas de uma atividade é apresentada a seguir:

$$\left. \begin{aligned} FT &= Tt_j - Tc_i - D \\ FL &= Tc_j - (Tc_i + D) \end{aligned} \right\} FT - FL = Tt_j - Tc_j$$

$$\left. \begin{aligned} FD &= (Tt_j - Tt_i) - D \\ FI &= (Tc_j - Tt_i) - D \end{aligned} \right\} FD - FI = Tt_j - Tc_j$$

$$\begin{matrix} \nearrow \\ \nearrow \end{matrix} \quad FT - FL = FD - FI$$

Escrita de outra maneira:

$$FT + FI = FL + FD$$

onze

CRONOGRAMA

O cronograma que resulta do planejamento conforme preconizamos é o produto de um método bem definido, e não um conjunto de barras desenhadas a esmo. O cronograma integrado leva em conta as premissas adotadas e materializa graficamente o resultado dos cálculos efetuados segundo o PERT/CPM.

A técnica de planejamento exposta nos capítulos anteriores mostrou que a prática de produzir cronogramas meramente “puxando barras” é errada e repudiável, pois incorpora alta dose de empirismo.

O cronograma é, por excelência, o instrumento do planejamento no dia a dia da obra e é com base nele que o gerente e sua equipe devem tomar as seguintes providências:

- * programar as atividades das equipes de campo;
- * instruir as equipes;
- * fazer pedidos de compra;
- * alugar equipamentos;
- * recrutar operários;
- * aferir o progresso das atividades;
- * monitorar atrasos ou adiantamentos das atividades;
- * replanejar a obra;
- * pautar reuniões.

11.1 CRONOGRAMA DE GANTT

A visualização das atividades com suas datas de início e fim pode ser conseguida lançando-se mão do recurso grá-

doze

ABORDAGEM PROBABILÍSTICA

A teoria do caminho crítico foi construída até este ponto a partir de *durações determinísticas*, que foi como se desenvolveu o CPM. Para cada atividade foi atribuída uma duração única, um valor determinado.

Entretanto, o processo de definição das durações é um exercício de previsão, uma vez que o planejador não conhece de antemão seu valor preciso. Mesmo que ele disponha de dados de obras similares, é inevitável que haja uma margem de erro, uma imprecisão. É para atenuar esse inconveniente que entra em cena o conceito de *duração probabilística*. Foi nessa linha que se construiu o PERT.

12.1 DURAÇÕES PROBABILÍSTICAS

A construção da técnica CPM baseou-se em durações determinísticas – um valor único –, enquanto o PERT foi desenvolvido com base em durações probabilísticas, também chamadas de *estocásticas*. Isso significa assumir que toda duração tem uma margem de variabilidade associada e que arbitrar um valor único não é muito prudente ou confiável.

A abordagem probabilística recorre à noção de três durações: a otimista, a pessimista e a mais provável. É o que se chama de *estimativa de três pontos*.

Ao trabalhar com três durações, a técnica permite ao planejador gerar parâmetros estatísticos para avaliar o grau de confiabilidade do prazo total calculado para o projeto.

treze

RECURSOS

Os gerentes de obra costumam se deparar com situações em que recursos, sejam eles humanos, materiais ou equipamentos, representam uma restrição ao planejamento. Isso ocorre, por exemplo, quando o cronograma mostra duas atividades que acontecem em uma mesma época, mas a quantidade de recursos requeridos não consegue ser suprida para a realização simultânea daquelas atividades. Situações assim são bastante comuns e levam à conclusão de que planejar as atividades considerando apenas o fator tempo nem sempre resolve todos os problemas.

Nos capítulos anteriores, a elaboração do planejamento assumiu implicitamente uma oferta ilimitada de recursos. Neste capítulo, a teoria do PERT/CPM será enriquecida com a alocação de recursos nas atividades. Com a introdução desse elemento na rede, pode-se gerar um histograma que mostra a quantidade de recursos requerida em cada momento do projeto e avaliar se é possível atender a essa demanda. É comum que o histograma apresente oscilação na quantidade de recursos e que haja oscilações com grandes picos e vales, as quais podem ser atenuadas pela noção de nivelamento de recursos, uma interessante operação pela qual algumas atividades são deslocadas dentro do limite de suas folgas, reduzindo o pico de recursos necessários sem alterar o prazo do projeto.

Logicamente, há algumas limitações a essa proporcionalidade por motivos de espaço físico (dificuldade de acomodar muitos recursos na mesma frente de serviço), logística, segurança, capacidade de supervisão etc.

Dicas para o planejador

Na Tab. 13.1, optando-se por alocar três operários à atividade, a duração obtida seria de 6,7 dias. Em casos assim, o planejador deve arredondar para sete dias.

Há quem utilize ½ dia como a menor unidade de tempo – o arredondamento poderia ser, então, para 6,5 dias.

13.3 HISTOGRAMA DE RECURSOS

Seja o cronograma simples ilustrado na Fig. 13.1A, que mostra a rede programada para início mais cedo, com as folgas e a quantidade diária de pedreiro em cada atividade (anotada sob a barra). A linha inferior contém o total acumulado de dias de pedreiro.

O *histograma do recurso* é o gráfico de colunas que representa a quantidade requerida do recurso por unidade de tempo. O histograma correspondente ao cronograma mais cedo é mostrado na Fig. 13.1B. O pico (máximo) é de 11 pedreiros nos dias 5 e 6. A demanda mínima é de um pedreiro entre os dias 7 e 10. O total de dias de pedreiro é 48. O histograma mais cedo apresenta grande oscilação na quantidade requerida do recurso.

Ⓐ

Ativ.	Dia										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0-10	2	2									
10-20			2	2	—	—	—	—			
10-30			6	6	6	6					
20-40					5	5	—	—	—	—	
30-40							1	1	1	1	
40-50											2
Pedreiros	2	2	8	8	11	11	1	1	1	1	2
Acumulado	2	4	12	20	31	42	43	44	45	46	48

 Caminho crítico

FIG. 13.1 (A) Cronograma

catorze

CURVA S

No mundo real, os projetos são longos e contêm muitas atividades, englobando recursos de várias especialidades e consumindo vultosas somas de dinheiro. Para o planejador e para o gerente do projeto, é necessário balizar o avanço da obra ao longo do tempo.

Como fica impraticável somar o andamento das atividades em termos de seus quantitativos (pois não é possível somar metro quadrado de alvenaria com metro cúbico de concreto), deve-se recorrer a um parâmetro que permita colocar o avanço das atividades em um mesmo referencial, por exemplo, *trabalho* (homem-hora) ou *custo* (dinheiro).

A evolução de um projeto, particularmente na construção civil, não se desenvolve de modo linear no que tange à aplicação dos recursos. O comportamento é geralmente lento-rápido-lento.

O nível de atividade de um projeto típico assemelha-se a uma distribuição normal, ou seja, uma *curva de Gauss* (Fig. 14.1): o trabalho executado geralmente começa em ritmo lento, com poucas atividades simultâneas; passa progressivamente a um ritmo mais intenso, com várias atividades ocorrendo paralelamente; e, quando o projeto se aproxima do fim, a quantidade de trabalho começa a decrescer. Esse mesmo aspecto lento-rápido-lento é verificado com o custo ao longo do andamento da obra.

Estudo de caso 14.1 - barragem

Um órgão da Administração Pública está estudando a viabilidade técnica e econômica da construção de uma barragem na Bahia. Primeiramente será desenvolvido o projeto executivo, com valor estimado em R\$ 12 milhões e prazo de 15 meses, com início previsto para agosto de 2009. A obra, orçada em R\$ 400 milhões, deve durar quatro anos, com início previsto para março de 2010. Essa premissa mostra que a obra será iniciada com o projeto avançado, porém ainda não totalmente concluído.

Tendo em vista que o órgão precisa garantir os recursos no orçamento federal para custear a obra, é necessário fazer uma estimativa prévia do custo do empreendimento ano a ano. Ainda não dispondo de um cronograma detalhado, a equipe do estudo de viabilidade decidiu adotar uma distribuição padrão dos custos ao longo da duração do empreendimento.

O projeto executivo dura de agosto de 2009 a outubro de 2010. Há uma pequena simultaneidade de projeto executivo e obra entre os meses de março de 2010 e outubro de 2010.

Projeto executivo (15 meses)

- * 2009 - 1º ao 5º mês (agosto a dezembro) (ver Tab. 14.2):

$$\text{Custo} = 28,5\% \times \text{R\$ } 12\text{M} = \text{R\$ } 3,4\text{M}$$

- * 2010 - 6º ao 15º mês (janeiro a outubro):

$$\text{Custo} = (100\% - 28,5\%) \times \text{R\$ } 12\text{M} = \text{R\$ } 8,6\text{M}$$

Obra (quatro anos = 48 meses)

- * 2010 - 1º ao 10º mês (março a dezembro):

$$\text{Custo} = 13,4\% \times \text{R\$ } 400\text{M} = \text{R\$ } 53,6\text{M}$$

- * 2011 - 11º ao 22º mês:

$$\text{Custo} = (46,1\% - 13,4\%) \times \text{R\$ } 400\text{M} = \text{R\$ } 130,8\text{M}$$

- * 2012 - 23º ao 34º mês:

$$\text{Custo} = (80,3\% - 46,1\%) \times \text{R\$ } 400\text{M} = \text{R\$ } 136,8\text{M}$$

- * 2013 - 35º ao 46º mês:

$$\text{Custo} = (99,5\% - 80,3\%) \times \text{R\$ } 400\text{M} = \text{R\$ } 76,8\text{M}$$

- * 2014 - 47º ao 48º mês:

$$\text{Custo} = (100,0\% - 99,5\%) \times \text{R\$ } 400\text{M} = \text{R\$ } 2,0\text{M}$$

quinze

ACOMPANHAMENTO

O planejamento de uma obra não se esgota na preparação do cronograma inicial. É preciso monitorar o avanço das atividades e averiguar se o cronograma é obedecido ou se há variação entre o que foi previsto e o que vem sendo realizado no campo.

De nada vale planejar uma obra com critério e boa técnica se o planejamento for desprovido do acompanhamento, pois o construtor precisa comparar permanentemente o previsto com o realizado para saber se sua pretensão inicial de prazos está sob controle ou se são necessárias medidas corretivas.

Rememorando o ciclo PDCA, o acompanhamento corresponde ao terceiro quadrante: C – checar (ou controlar). Nessa fase, após determinado período de tempo, afere-se o progresso das atividades e se compara o desempenho planejado com o efetivamente conseguido. Depois do quadrante C vem então o A – atuar (ou agir), quando medidas corretivas e preventivas serão tomadas pelo gerente do empreendimento para recolocar o planejamento de volta nos trilhos – ou mantê-lo, caso não tenham ocorrido grandes distorções.

15.1 RAZÕES PARA O ACOMPANHAMENTO

Se planejamento fosse uma ciência exata, o cronograma inicial seria preciso o bastante para gerenciar a obra, dispensando a tarefa de monitoramento e controle. No entanto, sendo dinâmico por natureza e possuindo uma dose de imprevisibilidade, o planejamento impõe ao planejador o *acompanhamento* da obra.

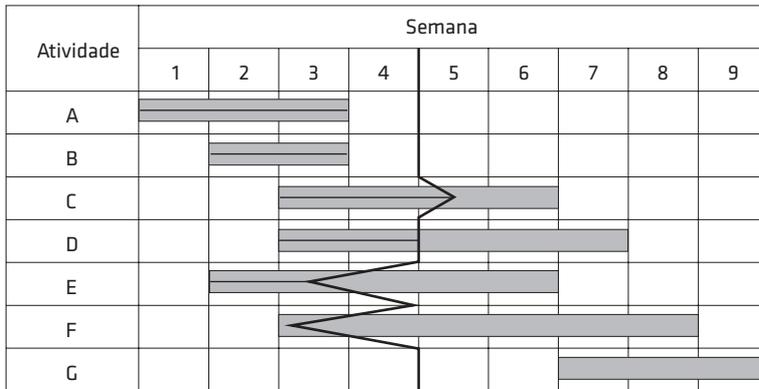


FIG. 15.2 Cronograma com linha de progresso referente à semana 4

No mesmo cronograma, supondo que na semana 6 o progresso seja o mostrado na Tab. 15.2, a linha de progresso terá uma nova configuração, exibida na Fig. 15.3.

Tab. 15.2 Status das atividades na semana 6

Atividade	Realizado	Previsto
A	100%	100%
B	100%	100%
C	100%	100%
D	60%	80%
E	80%	100%
F	83%	67%
G	20%	0

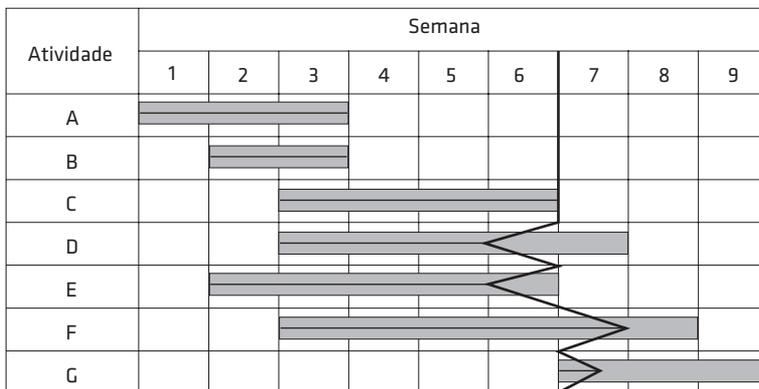


FIG. 15.3 Cronograma com linha de progresso referente à semana 6

dezesseis

PROGRAMAÇÃO DE SERVIÇOS

A técnica PERT/CPM permite gerar cronogramas com grande quantidade de atividades interligadas entre si e com o grau de detalhe que se quer obter, dependendo apenas do nível de detalhamento a que o planejador descer durante a listagem das atividades. É a partir do cronograma geral que a obra deve ser direcionada no campo e gerenciada no dia a dia, e é em função dele que o andamento dos serviços será monitorado.

16.1 PROGRAMAÇÃO

Como o planejamento da obra é complexo e abarca toda a sua duração – que pode ser de meses ou anos –, o cronograma global não se presta como ferramenta de comunicação imediata com as equipes executoras. Se uma obra está prevista para durar três anos, é impraticável que as pessoas manipulem cronogramas gigantescos no dia a dia, com atividades que só serão realizadas um ou dois anos mais tarde. Por isso, apela-se para a *programação*, que contém somente o conjunto de atividades que serão executadas em um período de tempo específico, como uma semana ou uma quinzena.

Pode-se dizer que a programação consiste na aplicação de um filtro no cronograma geral a fim de mostrar só as atividades de determinada “janela” de tempo. Para transferir com mais objetividade o que deve ser feito na próxima semana ou quinzena, o planejador filtra do cronograma integral a parte relativa a um pequeno período futuro. É como se fosse dado um *zoom* em dado intervalo de tempo.

A programação de médio prazo corresponde ao nível *tático* da organização.

A Fig. 16.3 contém um modelo adequado para a programação de médio prazo com um horizonte de cinco semanas. A coluna destinada às restrições é de especial relevância, porque nela se registram as ações técnicas ou gerenciais que devem ser realizadas pela equipe da obra ou por terceiros para possibilitar a execução da atividade – por exemplo: locação de grua até determinada data, detalhamento de um determinado projeto, disponibilização de certos recursos que serão empregados, desobstrução do acesso até o local e testes dos pontos de ar comprimido. Enfim, restrições são fatores que concorrem para a atividade dar errado (não são predecessoras, pois estas são inferidas pelo próprio planejamento).

Programação de médio prazo – 5 semanas																				Engenheiro: Alonso	Nº 8
Edifício Céu Azul																				Mestre: Napoleão	Rev. 0
Serviço	01/03 a 06/03				08/03 a 13/03				15/03 a 20/03				22/03 a 26/03				28/03 a 03/04				Restrições
	S	T	Q	Q	S	S	T	Q	S	S	T	Q	S	S	T	Q	S	S	T	Q	
Estrutura																					
3º pavimento																					
4º pavimento																					Compra adicional de tela de segurança
5º pavimento																					Mobilização da grua
Alvenaria																					
1º pavimento																					
2º pavimento																					
3º pavimento																					Alteração do projeto da suíte
Revestimento interno																					
1º pavimento																					Especificação completa das cerâmicas

FIG. 16.3 Modelo para programação de médio prazo (cinco semanas) ou lookahead planning

Fonte: adaptado de Bernardes (2003).

16.1.3 Programação de curto prazo

A programação de curto prazo consiste no terceiro nível de detalhamento do planejamento. Ela é a programação em nível operacional, feita para os engenheiros de campo, mestres e encarregados. Seu alcance é semanal ou quinzenal e sua função

dezesete

ACELERAÇÃO

As dimensões tempo e custo de um projeto estão intrinsecamente ligadas. É possível perceber que a grandeza custo responde a qualquer alteração que se promova na grandeza tempo. Alterar prazo implica alterar custo e vice-versa. Se for feita uma aceleração no projeto, o custo será afetado em função da necessidade de horas extras e mobilização adicional de pessoal e equipamento. Por outro lado, ao estender o prazo do projeto, o custo é afetado em decorrência da ineficiência que a morosidade traz.

A execução de um projeto está intimamente condicionada aos aspectos financeiros, ou seja, ao custo. Uma atividade, seja qual for, requer a utilização de pessoas, equipamentos, materiais ou pagamentos a terceiros (caso de serviços subcontratados), consumindo dinheiro e determinando o resultado financeiro (e econômico) do projeto.

O aspecto custo foi tratado rapidamente no Cap. 13. Ali, vimos que, tal como ao caminhão ou ao operário, pode-se atribuir um valor monetário às atividades e obter o histograma de custo.

Neste capítulo, será analisada a técnica de *aceleração* (*crashing*) de cronogramas, que parte da noção de custo marginal. Mediante a interpretação dos custos diretos, indiretos e casuais do projeto e de seu comportamento em função do tempo, é possível ao planejador identificar o ponto ótimo, ou seja, o prazo para o qual o custo total do projeto é mínimo.

Exemplo 17.1

A escavação de uma vala de 360 m de extensão pode ser feita manualmente a uma produtividade de 0,5 m/h por um servente, ou de maneira mecanizada com uma escavadeira, a uma produtividade de 5 m/h. Usando os custos unitários a seguir, traçar a curva tempo-custo (adotar 8 h/dia):

- * servente: R\$ 5,00/h (hora normal) e R\$ 7,50/h (hora extra);
- * escavadeira com operador: R\$ 100,00/h (hora normal) e R\$ 105,00/h (hora extra).

Solução:

Pares tempo-custo para escavação manual

- * Horas requeridas = $(360 \text{ m}) / (0,5 \text{ m/h}) = 720 \text{ Hh}$.
- * Usando três serventes, são requeridos $720 / (3 \times 8) = 30$ dias da equipe em horário normal, com um custo total de $720 \times \text{R\$ } 5,00 = \text{R\$ } 3.600,00$.
- * Fazendo uma hora extra por dia, a duração cai para $720 / (3 \times 9) = 26,67$ dias, sendo $26,67 \times 8 \times 3 = 640$ horas normais (= R\$ 3.200,00) e $26,67 \times 1 \times 3 = 80$ horas extras (= R\$ 600,00).

A Tab. 17.2 sintetiza os cálculos.

Tab. 17.2 Custo normal e acelerado da escavação manual

Jornada diária (h)		Duração (dias)	Custo (R\$)		
Hora normal	Hora extra		Hora normal	Hora extra	Total
8	0	30,00	3.600,00	-	3.600,00
8	1	26,67	3.200,00	600,00	3.800,00
8	2	24,00	2.880,00	1.080,00	3.960,00
8	3	21,82	2.618,18	1.472,73	4.090,91

Pares tempo-custo para escavação mecanizada

- * Horas requeridas = $(360 \text{ m}) / (5 \text{ m/h}) = 72 \text{ Hh}$, ou seja, nove dias de escavadeira em horário normal, com um custo total de $72 \times \text{R\$ } 100,00 = \text{R\$ } 7.200,00$.
- * Fazendo uma hora extra por dia, a duração cai para $72 / 9 = 8$ dias, sendo $8 \times 8 = 64$ horas normais e $8 \times 1 = 8$ horas extras.

A Tab. 17.3 sintetiza os cálculos.

dezoito

VALOR AGREGADO

Entre as várias técnicas de avaliação de desempenho de empreendimentos, a *análise do valor agregado* (*earned value analysis*, ou EVA) destaca-se por fornecer resultados precisos a partir da integração de dados reais de tempo e custo, permitindo ao planejador ter uma clara noção da situação atual do projeto e fazer análises de variância e tendências.

Por meio de indicadores de desempenho, pode-se antever o resultado provável do projeto em termos de custo e prazo. O método EVA compara o valor do trabalho planejado com o do trabalho realmente concluído para avaliar se os desempenhos de custo e programação do empreendimento estão de acordo com o planejado.

Pela relação entre o valor agregado e o valor planejado do trabalho em um dado período, pode-se obter um controle mais preciso que o obtido com base em registros de gastos em prazos isolados.

O valor agregado funciona como um alerta, permitindo ao gerente avaliar se o projeto tem consumido mais dinheiro para realizar determinada tarefa ou se está gastando-o mais rápido porque o projeto está adiantado.

O ponto de partida para a implementação do EVA é o cronograma físico-financeiro, que por sua vez se baseia em uma EAP e gera como subproduto a curva S de custo (Fig. 18.1). É exatamente com essa curva S prevista que o avanço do projeto será cotejado.

Definem-se duas variações: a de custo e a de prazo (ou progresso). Vejamos cada uma delas.

18.4 VARIAÇÃO DE CUSTO

A *variação de custo* (VC) é dada pela diferença entre o valor agregado e o custo real:

$$VC = VA - CR$$

VC representa o desvio entre por quanto o trabalho foi orçado e por quanto ele foi realizado. Dito de outra forma, é a diferença entre quanto deveria ter custado aquilo que foi executado e quanto realmente custou. Ao comparar os valores agregado e realizado, a variação de custo dá uma noção do desempenho de custo do projeto (Quadro 18.1).

Quadro 18.1 Significado da variação de custo

Valores	Significado	Observação
$VA > CR \rightarrow VC > 0$	O projeto gastou menos do que o previsto para realizar o trabalho = <i>abaixo do orçamento</i> .	Razões possíveis: <ul style="list-style-type: none"> * custo real ficou abaixo do orçado em virtude de uma boa negociação de preços e controle de gastos; * economia pode ter sido conseguida por meio de uma má qualidade do serviço ou dos insumos. Medidas: <ul style="list-style-type: none"> * identificar a fonte de ganho; * manter o ritmo do trabalho.
$VA = CR \rightarrow VC = 0$	O projeto gastou exatamente o que foi previsto para realizar o trabalho = <i>no orçamento</i> .	Medida: <ul style="list-style-type: none"> * manter o ritmo do trabalho.
$VA < CR \rightarrow VC < 0$	O projeto gastou mais do que o previsto para realizar o trabalho = <i>acima do orçamento</i> .	Razões possíveis: <ul style="list-style-type: none"> * produtividade real ficou aquém da orçada; * contratemplos encareceram o serviço: mudança de projeto, chuva, paralisação, falta de material etc. Medidas: <ul style="list-style-type: none"> * identificar a fonte de perda; * adotar providências para prevenir futuras perdas e corrigir o ritmo inadequado.

dezenove

CORRENTE CRÍTICA

A abordagem tradicional do planejamento, representada pelo PERT/CPM, parte do pressuposto inicial de que a condicionante dos projetos reside na dimensão tempo. Atribuir duração às atividades e definir a precedência são os passos primordiais do planejamento. É como se implicitamente os recursos (mão de obra, equipamentos, materiais) estivessem disponíveis em abundância, sempre em quantidade suficiente para que a lógica construtiva estabelecida pudesse ser cumprida. Aliás, muitos planejadores sequer carregam a rede com os recursos das atividades, fixando-se apenas no aspecto temporal quando da montagem do cronograma.

No entanto, no mundo real, verifica-se muitas vezes que existem “gargalos” que terminam governando o cronograma. Dentro desse contexto de restrição de recursos, surge o *método da corrente crítica* (*critical chain method* – CCM; *critical chain scheduling* – CCS; ou *critical chain project management* – CCPM), que preconiza que o planejamento sempre deve ser feito levando em conta não somente a sequência das atividades (precedência), mas também a disponibilidade de recursos (restrições físicas).

Mas não é só isso. A forma tradicional de elaboração de cronogramas invariavelmente trabalha com durações que incorporam certa “gordura”, fenômeno que provoca a dilatação do prazo do projeto. O CCPM recomenda uma redução agressiva dessas estimativas individuais a partir da remoção das proteções de tempo. A solução é programar o projeto com durações apertadas e inserir alguns *pulmões* (*buffers*) de con-

vinte

LINHA DE BALANÇO

Na construção, existem projetos em que determinados serviços são repetitivos. Estradas, conjuntos habitacionais e edifícios altos são alguns exemplos de projetos que apresentam características de repetitividade, ou seja, em que um núcleo de atividades é executado sucessivas vezes.

A *linha de balanço* (LDB ou LOB, do inglês *line of balance*), também conhecida por *diagrama tempo-caminho* ou *diagrama espaço-tempo*, é uma técnica de planejamento desenvolvida para esse tipo de obra. Por haver ciclos de produção, os serviços repetitivos podem ser representados por uma reta traçada em um gráfico tempo-progresso. A inclinação da reta mostra o ritmo com que a atividade avança.

Os métodos de rede, como o PERT/CPM, já tiveram bastante êxito no planejamento e no controle de projetos, mas ao fim não são tão adequados em projetos de natureza repetitiva, porque as atividades repetidas em ciclos geralmente têm diferentes produtividades (Arditi; Tokdemir; Suh, 2002).

A fim de ilustrar a essência do método, basta notar que o cronograma simples a seguir (Fig. 20.1A) pode ser redesenhado com uma estrutura de tópicos distinta, agrupando as atividades que se repetem (Fig. 20.1B). O leitor pode constatar que, agrupadas, essas atividades revelam o aspecto geral de evolução do serviço, que pode, inclusive, ser representado por uma reta, cuja inclinação dá a ideia de ritmo.

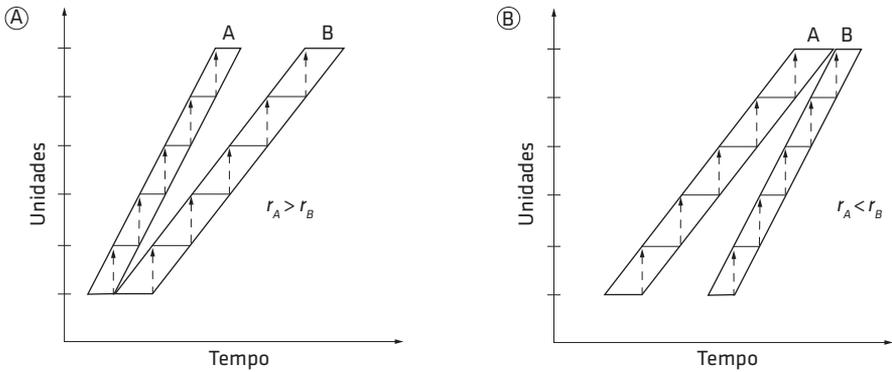


FIG. 20.17 Regra para traçado da linha de balanço para atividades dependentes e com ritmos (r) diferentes: (A) $r_A > r_B$ e (B) $r_A < r_B$

Dicas para o planejador

A linha de balanço trabalha com estimativas de homem-hora e com o tamanho ótimo da equipe para gerar o diagrama. As informações de produtividade e dimensionamento de equipes são geralmente obtidas a partir de dados históricos ou de opiniões abalizadas, levando em conta as particularidades do serviço.

Um cronograma “paralelo”, isto é, com todos os serviços no mesmo ritmo, produz, com frequência, um prazo *menor* que o cronograma balanceado. Entretanto, colocar muitos serviços em ritmo igual é geralmente complicado, porque pode demandar a alocação de equipes com um número despropositado de operários (para menos ou para mais).

Enquanto no cronograma tradicional de barras o parâmetro que governa os cálculos é a *duração*, na linha de balanço é a *produtividade* (ritmo do serviço) que guia o planejamento.

20.5 DIMENSIONAMENTO DA LINHA DE BALANÇO

O exemplo apresentado a seguir mostra como fazer o balanceamento no planejamento com linha de balanço. A obra é a construção de um conjunto de 20 casas iguais (n), com meta de entrega (R_0) de três casas por semana (assume-se semana de cinco dias \times 8 h = 40 h) e ciclo de produção de cinco atividades (Fig. 20.18).

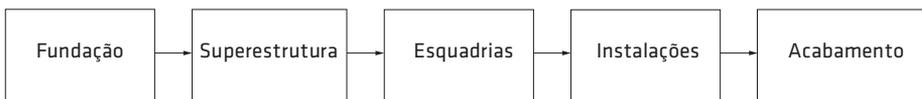


FIG. 20.18 Sequência de serviços da obra