

# 1 Montando Bicicletas

Este exemplo foi inspirado de um exemplo de [1] (que, por sua vez, foi inspirado em um ensaio de Ronald Graham), que escreveu sobre uma linha de montagens de bicicletas fictícia chamada ACME. Segue uma citação de Graham, sobre a linha de montagens:

“As coisas não tem ido bem para a seção de montagem da Companhia de Bicicletas ACME. Pelos últimos seis meses, a seção consistentemente falhou em cumprir sua quota e cabeças estavam começando a rolar. Um novo chefe foi trazido para a seção de montagem para remediar esse triste estado. Ele percebe que essa é sua grande chance de capturar a atenção da alta gerência, de modo que, em seu primeiro dia de serviço, ele arregança as mangas e começa a descobrir sobre tudo o que acontece na seção. A primeira coisa que ele aprende é que o trabalho de montar uma bicicleta é geralmente quebrado em um número de tarefas mais simples:

1. Preparação da armação, que inclui instalação do garfo frontal e de paralamas;
2. Montagem e alinhamento da roda da frente;
3. Montagem e alinhamento da roda de trás;
4. Anexação do descarrilhador à armação;
5. Instalação do conjunto de engrenagens;
6. Anexação da manivela e da corrente da roda à armação;
7. Montagem do pedal direito e do clip do dedo do pé;
8. Anexações finais, que incluem montagem e ajuste do guidão, assento, freis, etc.

Ele também aprende que seus predecessores que partiram recentemente haviam coletado montes de dados sobre quanto tempo (na média, em minutos) cada uma dessas tarefas um montador trinado leva para montar, o que ele tinha convenientemente sumarizado na seguinte tabela:

Tarefas:	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Tempo:	7	7	7	2	2	2	2	8	8	18

Devido a restrições de espaço e de equipamento na loja, os 20 montadores na seção são geralmente separados em pares de 10 times com 2 montadores cada, sendo que cada time montaria uma bicicleta por vez. Ele fez um cálculo rápido: uma bicicleta requer 63 minutos de tempo de montagem, então m time de dois *deveria* requerir 31,5 minutos. Isso significa que em um dia de trabalho de oito horas, cada time montaria 15,23 bicicletas e, com todos os 10 times fazendo isso,

a quota de 152 bicicletas por dia pode ser cumprida. O novo chefe de montagem já pode sentir o gosto de sua promoção no próximo ano.

Entretanto, seu entusiasmo diminui consideravelmente quando ele percebe que bicicletas não podem ser montadas aleatoriamente. Certas tarefas devem ser feitas antes de outras. Por exemplo, é extremamente inadequado montar o garfo frontal à armação de uma bicicleta se o guidão já tiver sido anexada ao garfo. Similarmente, a manivela deve ser montada na armação antes dos pedais serem anexados. Depois de discussões demoradas com vários dos montadores experientes, o novo chefe prepara a seguinte carta mostrando que tarefas devem ser feitas antes das outras durante a montagem:

A, B, C, D, E	deve ser feito antes de	J
D, E, A	deve ser feito antes de	C
D	deve ser feito antes de	E, F
E, F, G	deve ser feito antes de	H, I
F	deve ser feito antes de	G
A	deve ser feito antes de	B

Além dessas restrições mecânicas, existem também duas regras que a gerência requer que sejam observadas:

- **Regra 1:** Nenhum montador ou montadora pode ficar parado(a) se existe alguma tarefa que ele(a) pode fazer;
- **Regra 2:** Uma vez que um(a) montador(a) começa uma tarefa, ele(a) deve continuar trabalhando na tarefa até que ela esteja completa

A ordem de montagem de bicicletas na ACME sempre foi a seguinte:

Tarefas:	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Tempo de início:	1	8	9	1	7	3	5	15	23	16

Com o seguinte gráfico Gantt:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33			
A								B								H								I											
D		F		G		E		C								J																			

O cronograma mostra a atividade de cada montador to time começando no tempo 1 e progredindo até o tempo da montagem completa, chamado *tempo de montagem total*, 33 minutos depois. Apesar de esse cronograma obedecer todas as restrições requeridas, ele permite cada time completar 14,5 bicicletas por dia (na média). Assim, a saída total da seção (de todos os times) é 145 bicicletas por dia, o que é menos do que 152.”

Depois de muito esforço infrutífero para melhorar esse estado, o chefe de seção decide contratar um especialista em CLP. O especialista rapidamente faz

um programa para resolver o problema e retorna ao chefe de seção soluções que minimizam o tempo total de montagem da bicicleta. Uma dessas soluções é como se segue (cada posição na lista corresponde a uma tarefa A, B, ..., J):

Tempo de início	=	[1,8,8,1,3,5,15,17,25,15]
Duração	=	[7,7,7,2,2,2,2,8,8,18]
Tempos de finalização	=	[8,15,15,3,5,7,17,25,33,33]
Fim	=	33
Tempo final	=	32

Infelizmente, além de o tempo de montagem ainda ser maior do que os 31,5 minutos, a regra 1 foi violada, já que existe um tempo inativo de 1 minuto entre as tarefas F e C para o montador 2. A fim de eliminar essa violação, o chefe de seção decide mudar a função objetivo, para minimizar a soma dos tempos finais para cada tarefa. O especialista em CLP fez, obedientemente, as mudanças requeridas ao programa, que origina então a seguinte solução:

Tempo de início	=	[1,8,9,1,3,5,7,15,16,23]
Duração	=	[7,7,7,2,2,2,2,8,8,18]
Tempos de finalização	=	[8,15,16,3,5,7,9,23,24,41]
Fim	=	41
Tempo final	=	40

Depois de várias tentativas infrutíferas, “o chefe decide, com pressa, fornecer a todos os montadores ferramentas elétricas alugadas. Isso diminui o tempo de cada um dos serviços por exatamente um minuto, então o tempo total requerido para todos os serviços é apenas 53 minutos.”

Vendo que essa ação não foi o suficiente, o chefe de seção decide contratar 10 montadores a mais, aumentando o custo de trabalho em 50%. O especialista em CLP avisa ao chefe de seção que 10 montadores a mais não aumentariam a produção, devido às restrições na ordem das tarefas.

## Leituras adicionais

- [1] Niederliński, Antoni, “A gentle guide to constraint logical programming via Eclipse”, 3rd edition, Jacek Skalmierski Computer Studio, Gliwice, 2014