

Balanceamento de uma Linha de Produção

Uma linha de produção consiste num conjunto de PT (PT) cuja posição é fixa e cuja sequência é ditada pela lógica das sucessivas operações a realizar e descritas na gama operatória. Recorde-se que um PT pode ser constituído por um único operador ou por vários operadores realizando operações manuais eventualmente assistidas por ferramentas ou pequenos equipamentos.

O balanceamento de uma linha de produção consiste em distribuir a carga das várias operações o mais uniformemente possível pelos vários PT.

Quando se inicia a fabricação de um novo produto, a Engenharia de Processo começa por estudar todas as operações necessárias executar, estima a sua duração e, tendo em conta as relações de precedência entre todas as operações, procede ao chamado balanceamento da linha que se vai constituir para fabricar aquele produto.

O balanceamento de uma linha constituída por muitas operações para processamento de um produto consiste em encontrar a solução para uma das duas seguintes alternativas:

- Dado um tempo de ciclo, determinar o número mínimo necessário de PT;
- Dado um número de PT, determinar o tempo de ciclo mínimo possível.

Cada PT apresentará sempre algum tempo ocioso, já que na prática não se consegue uma eficiência de 100%.

Num problema de balanceamento consideram-se tipicamente os seguintes símbolos e definições:

- N - Número de PT existentes na linha. Normalmente um PT é ocupada por um único operador o qual pode realizar uma ou mais operações. Contudo, um PT pode ter mais do que um operador, ou um operador pode intervir em mais do que um PT;
- T_c - Tempo de ciclo. Tempo decorrido entre a fabricação de duas unidades sucessivas à saída da linha, ou seja o tempo máximo de desempenho permitido a cada PT;
- t_i - Tempo médio correspondente à operação de ordem i ;
- $\sum t_i$ - Tempo total necessário para produzir uma unidade, ou soma das durações de todas as operações.

Entre estas variáveis existem as seguintes relações:

$$N_{\min} = \frac{1}{T_c} \sum_1^n t_i$$

Em que N_{\min} representa o número mínimo de PT necessários à linha (o resultado deve ser arredondado para a unidade imediatamente superior)

$$\varepsilon = \frac{1}{N.T_c} \cdot \sum_1^n t_i$$

Em que ε representa a eficiência do balanceamento da linha.

$$f = N.T_c - \sum_1^n t_i$$

Em que f representa a folga do conjunto das operações.

Não existe nenhum método exacto para o cálculo do balanceamento de uma linha de produção. Na prática utilizam-se métodos heurísticos, entre os quais, o mais popular é o do "tempo de operação mais longo".

Consideremos o seguinte exemplo:

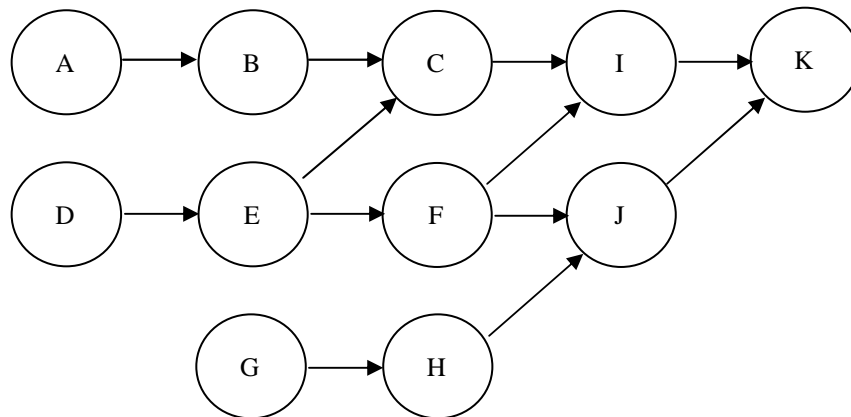
A montagem de um produto requer 11 operações. Os tempos médios de cada operação e as suas precedências são as seguintes:

Operações	Durações (minutos)	Precedências
A	1,10	-
B	1,50	A
C	0,30	B, E
D	1,30	-
E	1,70	D
F	0,50	E
G	0,70	-
H	0,20	G
I	0,50	C, F
J	1,10	F, H
k	0,40	I, J

A produção necessária é 180 unidades por turno de 8 horas. O tempo de produção disponível é de 450 minutos.

Pretende-se especificar uma linha com uma quantidade mínima de PT e determinar quais as operações que se podem agrupar em cada PT. Os tempos de movimentação do produto entre cada dois PT podem considerar-se desprezáveis face aos tempos de operação, pois os PT encontram-se muito próximos uns dos outros.

Começa-se por desenhar o diagrama de seqüências operatórias:



O tempo de ciclo necessário atingir é:

$$T_c = 450 \text{ min/dia} / 180 \text{ unid/dia} = 2,5 \text{ min/unidade}$$

O número mínimo de PT será então:

$$N = \text{Tempo de processamento} / \text{Tempo de ciclo} = \sum t_i / T_c = 8,9 / 2,5 = 3+$$

O que significa que, pelo menos, 4 PT são necessários.

Começamos com uma operação de cada vez. Notemos que as operações A, D e G iniciam o processo (não têm precedentes).

Escolhemos a operação mais longa de entre este grupo (operação D) e inscrevêmo-la no Quadro adiante. O PT 1 fica assim com 1,20 minutos de folga. As operações seguintes são agora A, G e E. A operação mais longa de entre estas é E com 1,70 minutos, mas não serve pois é mais longa do que a folga de 1,20 minutos existente. Portanto, escolhemos A com uma duração de 1,10 minutos (que é mais longa do que os 0,70 minutos da operação G). Juntamos a operação A no Quadro, restando agora 0,10 minutos à Estação 1. As operações G, E e B podem iniciar-se. Como a duração de qualquer destas operações é superior à folga de 0,10 minutos, temos de iniciar um novo PT.

Começamos com E, pois é a operação mais longa entre G, E e B. Restam 0,8 minutos no PT 2 e F pode iniciar-se. Entre G, B e F, B é a operação mais longa com 1,50 minutos mas não cabe. Escolhemos a operação imediatamente inferior, ou seja G com 0,7 minutos restando 0,10 minutos de folga. H pode agora iniciar-se. O conjunto das operações B, F e H têm uma duração superior a 0,10 minutos, pelo que temos de optar por outro PT.

O PT 3 inicia-se com B (operação mais longa), restando 1,00 minutos e a operação C pode iniciar-se. Entre F, H e C, F é a mais longa com 0,50 minutos, restando 0,50 minutos. Restam H e C (I e J não podem iniciar-se ainda pois têm também como precedentes C e H).

Entre C e H escolhemos C com 0,30 minutos. Restam 0,20 minutos e já pode iniciar-se I. A operação H dura exactamente 0,20 minutos pelo que completa a folga.

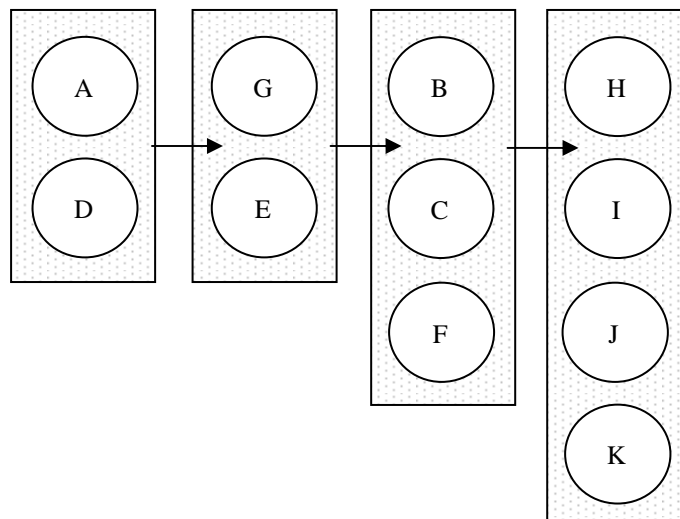
Junta-se novo PT (o quarto). Entre J e I escolhemos a operação J por ser a mais longa, deixando 1,40 minutos de folga onde cabe a operação I com 0,50 minutos. Por último temos a operação k com 0,40 minutos, restando 0,50 minutos. E o balaceamento do sistema estará terminado com 4 PT, conforme pretendido.

PT	Operações	Durações	Folgas	Operações disponíveis
				A, D, G
1	D	1,30	1,20	A, G, E
	A	1,10	0,10	G, E, B
2	E	1,70	0,80	G, B, F
	G	0,70	0,10	B, F, H
3	B	1,50	1,00	F, H, C
	F	0,50	0,50	H, C
	C	0,30	0,20	H, I
	H	0,20	0,00	I, J
4	J	1,10	1,40	I
	I	0,50	0,90	k
	k	0,40	0,50	
			9,30	

A folga total do sistema é: $f = N.T_c - \sum t_i = 4 \times 2,5 - 9,3 = 0,7 \text{ min}$

E a eficiência do sistema é: $\varepsilon = \sum t_i / N.T_c = 9,3 / (4 \times 2,5) = 0,93 \text{ ou } 93 \%$

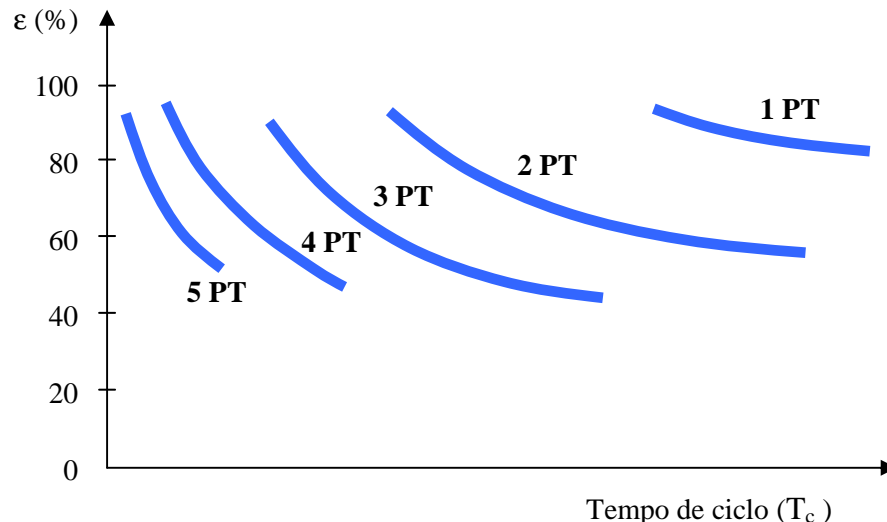
De notar que o PT 3 não possui qualquer folga. Um pequeno alongamento de qualquer das operações B, F, C ou H compromete imediatamente o objectivo de 180 unidades/turno, pelo que uma alternativa mais realista consistiria em retirar a operação H do PT 3 e integrá-la no PT 4. A eficiência da linha manter-se-ia constante.



Para resolver problemas mais complexos, envolvendo até 20 operações e 6 precedências, recomenda-se a utilização de programas em computador.

Sensibilidade da Eficiência a Variações do Tempo de Ciclo

De notar que existe uma relação geral entre eficiência e tempo de ciclo conforme se pode observar na Figura seguinte (PT significa PT).



Quando a necessidade de produção cresce, o tempo de ciclo tem de diminuir (na Figura desloca-se para a esquerda) e a eficiência da linha de produção aumenta.

Quando o tempo de ciclo atinge um certo ponto, verifica-se uma descontinuidade e a quantidade de PT tem de ser incrementada de uma unidade. Em consequência a eficiência da linha diminui.

Se continuarmos a diminuir o tempo de ciclo a eficiência crescerá até que se atinja nova descontinuidade.

Balanceamento de uma Célula de Trabalho

Uma Célula de Trabalho consiste num conjunto de PT cuja posição não é fixa – os Operadores (polivalentes) podem mover-se entre estes e realizar operações em qualquer deles. A disposição física dos vários PT de uma célula é sempre em forma de U. Como resultado, a sequência das sucessivas operações não interessa para efeitos do seu balanceamento. O Exercício 3 permite ilustrar este caso particular.

Exercícios

1. São necessárias 367 unidades de um produto em 440 minutos. Calcular o nº mínimo de PT a constituir na linha de produção bem como o nº mínimo de Operadores e a correspondente eficiência, tendo em conta as operações que o produto tem de receber descritas no Quadro adiante.

Operações	Duração (minutos)	Precedências
1	1,1	-
2	0,4	1
3	0,5	1
4	1,2	1
5	0,3	2, 3
6	0,4	4
7	3,4	5
8	0,8	6
9	0,7	7, 8
10	0,3	9

2. A montagem de um produto requer as operações que se mostram no Quadro seguinte.

Operações	Duração (minutos)	Precedências
A	0,62	-
B	0,39	A
C	0,27	B
D	0,14	C
E	0,56	C
F	0,35	D, E
G	0,28	F

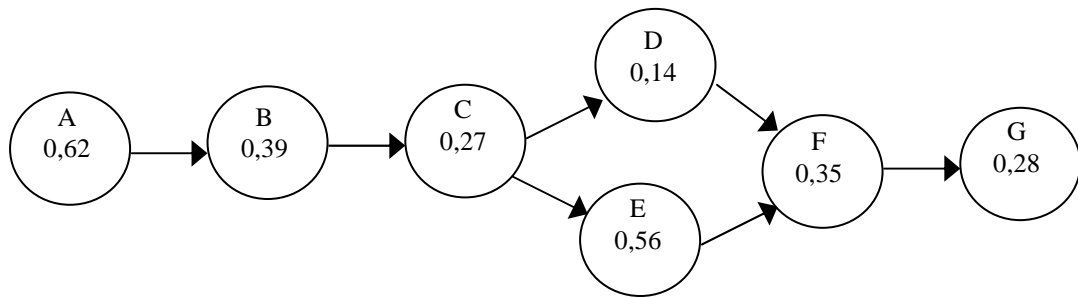
São precisas 600 unidades/dia e a linha de produção a formar pode operar 7 horas/dia. Nestas condições:

- Qual o Tempo de Ciclo?
- Qual o nº mínimo de PT e de Operadores?
- Qual a eficiência do balanceamento assim conseguido?
- Suponha que o tempo necessário para realizar a operação “E” tem de ser, ainda durante algum tempo (processo manual a passar para semi-automático) de 0,9 minutos. Que medida tomaria para cumprir aquele objectivo de produção e para quanto passaria a eficiência do balanceamento?

Supondo que só existem 3 Operadores:

- Qual o Tempo de Ciclo possível conseguir nestas condições?
- Como agrupar as operações de forma a obter a capacidade máxima?
- Qual a produção possível conseguir num dia de 7 horas de trabalho?

Resolução do Caso 2



a) $TAKT = 7 \times 60 / 600 = 0,7$ minutos

b) $N = \frac{\sum T_i}{TAKT} = \frac{(0,62 + 0,39 + \dots + 0,28)}{0,7} = 3 +$

Estação	Operação	Duração	Folga	Operação disponível
-	-	-	-	A
1	A	0,62	0,08	B
2	B	0,39	0,31	C
	C	0,27	0,04	D, E
3	E	0,56	0,14	D
	D	0,14	0,00	F
4	F	0,35	0,35	G
	G	0,28	0,07	-

c)

Eficiência: $\varepsilon = \frac{\sum T_i}{(N)(TAKT)} = \frac{2,61}{(4)(0,7)} \cdot 100 = 93,2\%$

d)

Como o tempo da operação E é superior ao TAKT, temos de reforçar esta operação com mais 1 operador. Logo, a eficiência cai para:

Eficiência: $\varepsilon = \frac{\sum T_i}{(N)(TAKT)} = \frac{2,61 - 0,56 + 0,9}{(5)(0,7)} \cdot 100 = 84,3\%$

e)

$TAKT = 2,61/3 = 0,87$ minutos/peça

f)

Alternativas	Estação 1	Estação 2	Estação 3	TAKT
1	A	B + C	D + E + F + G	
2	A	B + C + D	E + F + G	
3	A + B	C + E	D + F + G	

Ou seja:

Alternativas	Estação 1	Estação 2	Estação 3	TAKT
1	0,62	$0,39 + 0,27 = 0,66$	$0,14 + 0,56 + 0,35 + 0,28 = 1,33$	1,33
2	0,62	$0,39 + 0,27 + 0,14 = 0,80$	$0,56 + 0,35 + 0,28 = 1,19$	1,19
3	$0,62 + 0,39 = 1,01$	$0,27 + 0,56 = 0,83$	$0,14 + 0,35 + 0,28 = 0,77$	1,01

Logo, o melhor agrupamento é o da alternativa 3, pois resulta no menor TAKT possível.

g)

$$\frac{(7\text{horas/dia})(60\text{minutos/hora})}{1,01\text{minutos/unidade}} = 416 \text{ unidades/dia}$$

3. Um certo produto pode ser montado numa Célula de Trabalho a qual integra as 7 operações descritas no Quadro seguinte.

Operações	Duração (minutos)
1	10
2	8
3	5
4	7
5	16
6	12
7	10

Presentemente, existem duas Operadoras com qualificação A e três Operadoras com qualificação B em cada turno. Só as Operadoras com qualificação A podem realizar as operações 6 e 7.

- Quantas unidades podem, no máximo, ser produzidas por hora?
- Se se pretender que a célula opere à sua capacidade plena, como balanceá-la?
- Sendo necessário um PCT = 12 minutos e existindo ainda a disponibilidade de duas Operadoras – uma com qualificação A e outra com qualificação B –, como balancear a célula?

Rui Assis
rassis@rassis.com
<http://www.rassis.com>
Fevereiro/2010