Formulação de modelos de programação linear

Maria Antónia Carravilla, José Fernando Oliveira

U. PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA E GESTÃO INDUSTRIAL

2012/2013

Índice


ELLE
BRASIL
www.elle.com.br
EXCLUSIVO! PREVIEW DO VERÃO 2013
GUIA DE ESTILO
DICAS DE MULHERES SUPERCHICS
ESSENCIAIS DO CLOSET
ACHADOS DE NOSSAS EDITORAS
ESPECIAL PERFUMES
OS MAIS GRIFADOS E OS MAIS DESEJADOS
HOT HITS
ROCKMANIA
VELUDO GLAM
MAXITRICÔS
BEAUTY
TUDO PARA VOCÊ TER PELE DE MODELO
SÃO PAULO

- Dado um enunciado com a descrição de um problema:
  - Descrever por palavras quais são as variáveis de decisão, as restrições e o objetivo do problema.
  - Calcular o número de de variáveis de decisão e de restrições do problema e explicar como chegou a esses números.
  - Represente matematicamente as variáveis de decisão, as restrições e a função objetivo numa forma linear para este problema.
- Dado um enunciado com a descrição de um problema e um seu modelo de Programação Linear, descrever o que significam e fazem um conjunto de restrições, no contexto de um problema concreto.
- Dada uma descrição de um problema, classificá-lo dentro de um conjunto de modelos clássicos, e formulá-lo de acordo com o modelo tipo.

- Dado um enunciado com a descrição de um problema:
  - Descrever por palavras quais são as variáveis de decisão, as restrições e o objetivo do problema.
  - Calcular o número de de variáveis de decisão e de restrições do problema e explicar como chegou a esses números.
  - Represente matematicamente as variáveis de decisão, as restrições e a função objetivo numa forma linear para este problema.
- Dado um enunciado com a descrição de um problema e um seu modelo de Programação Linear, descrever o que significam e fazem um conjunto de restrições, no contexto de um problema concreto.
- Dada uma descrição de um problema, classificá-lo dentro de um conjunto de modelos clássicos, e formulá-lo de acordo com o modelo tipo.

NÃO É OBJETIVO DESTA AULA

Modelação — Os 10 princípios

1. Não criar um modelo complicado quando um simples é suficiente.
2. Não moldar o problema à técnica de resolução que se pretende utilizar.
3. Resolver rigorosamente o modelo encontrado. Só assim se saberá se hipotéticas inconsistências das soluções do modelo com a realidade têm origem no próprio modelo ou não.
4. Validar os modelos antes de os implementar.
5. O modelo não deve ser tomado literalmente pois nunca é a realidade.
6. O modelo não deve ser forçado a fazer, ou ser criticado por não fazer, aquilo para que não foi criado.
7. Não sobrestimar os modelos.
8. Uma das principais vantagens da modelação é o processo de desenvolvimento do modelo.
9. Um modelo não pode ser melhor do que a informação usada na sua construção.
10. Os modelos nunca substituem os agentes de decisão.

Formulação de Modelos de Programação Linear[1]

Passo I — Determinar, no problema concreto, aquilo que é fixo e não pode ser alterado *(dados)* e aquilo que se pode decidir *(variáveis de decisão)*. Representar as *variáveis de decisão* de uma forma algébrica.

Passo II — Identificar as *restrições* do problema, isto é, aquilo que limita as decisões, e representá-las como igualdades ou desigualdades em função apenas das *variáveis de decisão*.

Passo III — Identificar o(s) *objetivo(s)* do problema e representá-lo(s) como uma função das *variáveis de decisão*, que deve ser minimizada ou maximizada.

Para todos os problemas que se seguem...

1. Decisões
   1. Descreva por palavras quais são as variáveis de decisão para o problema.
   2. Diga quantas são as variáveis de decisão para o problema?
   3. Represente matematicamente as variáveis de decisão para esse problema.
2. Restrições
   1. Descreva por palavras as restrições para esse problema.
   2. Diga quantas são as restrições para o problema?
   3. Represente matematicamente restrições para esse problema na forma linear.
3. Objectivo
   1. Descreva por palavras a função objetivo.
   2. Represente matematicamente essa função objetivo na forma linear. Se necessário represente as restrições e variáveis de decisão adicionais necessárias para que a função objetivo seja linear.

Problema da refinaria de petróleo

Uma refinaria de petróleo pode misturar 3 tipos de crude para produzir gasolina normal e super. A refinaria de petróleo tem duas unidades de mistura, uma unidade mais antiga e uma outra mais recente.
Para cada ciclo de produção, a unidade mais antiga usa 5 barris de crude A, 7 barris de crude B e 2 barris de crude C para produzir 9 tanques de gasolina normal e 7 de gasolina super. A unidade de mistura mais recente usa, para cada ciclo de produção, 3 barris de crude A, 9 de B e 4 de C para produzir 5 tanques de gasolina normal e 9 de super.
Devido a contratos já assinados, a refinaria tem que produzir, pelo menos, 500 tanques de gasolina normal e 300 tanques de gasolina super.
Para essa produção existem em armazém 1500 barris de crude A, 1900 de crude B e 1000 de crude C.
Por cada tanque de gasolina normal produzida, a refinaria ganha 6 unidades monetárias e, por tanque de super, 9 unidades monetárias.
Pretende-se saber como utilizar as reservas de crude e as duas unidades de mistura, de forma a maximizar o lucro da refinaria respeitando os compromissos assumidos.

Variáveis de decisão

x_1 — nº de ciclos de produção a realizar na unidade antiga
x_2 — nº de ciclos de produção a realizar na unidade nova

Restrições

$$
\begin{array}{llcccccc}
\textbf{Crude disponível:} & \text{Tipo A:} & \overbrace{5x_1}^{\text{gasto na unidade antiga}} & + & \overbrace{3x_2}^{\text{gasto na unidade nova}} & \leq & 1500 \\
 & \text{Tipo B:} & 7x_1 & + & 9x_2 & \leq & 1900 \\
 & \text{Tipo C:} & 2x_1 & + & 4x_2 & \leq & 1000 \\
\textbf{Contratos assinados:} & \text{Gasolina normal:} & \overbrace{9x_1}^{\text{produzido na unidade antiga}} & + & \overbrace{5x_2}^{\text{produzido na unidade nova}} & \geq & 500 \\
 & \text{Gasolina super:} & 7x_1 & + & 9x_2 & \geq & 300 \\
\textbf{... e ainda:} & & x_1 & , & x_2 & \geq & 0
\end{array}
$$

Função objectivo

$$
\max \ \text{LUCRO} = \overbrace{6 \times (\underbrace{\underbrace{9}_{\text{nº de tanques por ciclo}} \quad \underbrace{x_1}_{\text{nº de ciclos}}}_{\text{unidade antiga}} + \underbrace{5x_2}_{\text{unidade nova}})}^{\text{gasolina normal}} + \overbrace{9 \times (7x_1 + 9x_2)}^{\text{gasolina super}}
$$

A companhia de aviação Benvoa vai comprar aviões a jato de passageiros, para viagens longas, médias e curtas, denominados de A_l, A_m e A_c, respetivamente.
Os custos unitários, em milhões de euros são, respetivamente, de 5 000, 3 800 e 2 000. A administração da companhia aprovou um orçamento máximo de 112 000 milhões de euros para esse efeito.
Admite-se que os lucros anuais com cada um dos tipos de avião A_l, A_m e A_c, sejam de 310, 230 e 200 milhões de euros respetivamente.
Há pilotos suficientes para pilotar, no máximo, 30 aviões novos.
Se apenas fossem comprados aviões A_c, os serviços de manutenção seriam capazes de garantir a manutenção de 40 aviões novos. Contudo, do ponto de vista do esforço de manutenção, cada avião A_m equivale a $4/3$ de um avião A_c e cada avião A_l a $5/3$ de um avião A_c.
A direção técnica é ainda de opinião que, por cada avião A_c que seja comprado, se comprem também pelo menos um avião A_l ou um avião A_m.
Por outro lado, selecionado um avião A_l para comprar, também deverão ser comprados pelo menos 8 aviões A_c ou A_m.
Com estes dados, a gestão da empresa deve decidir a quantidade de aviões de cada tipo a comprar, de modo a maximizar o lucro.
Formule este problema com um modelo de programação linear.

Variáveis de decisão

$$x_c,\ x_m,\ x_l \quad - \quad \text{n}^{\underline{\text{o}}} \text{ de aviões de cada tipo a comprar}$$

Restrições

$$\begin{array}{lrrrcr}
\text{Dinheiro disponível:} & 5000x_l + & 3800x_m + & 2000x_c & \leq & 112000 \\
\text{Pilotos disponíveis:} & x_l + & x_m + & x_c & \leq & 30 \\
\text{Manutenção:} & \frac{5}{3}x_l + & \frac{4}{3}x_m + & x_c & \leq & 40 \\
\text{Opinião da direcção técnica:} & & x_l + & x_m & \geq & x_c \\
 & & x_c + & x_m & \geq & 8x_l \\
 & x_c, & x_m, & x_l & \geq & 0 \\
 & & & & & \text{e inteiros}
\end{array}$$

Função objectivo

$$\max \ \text{LUCRO} = 310x_l + 230x_m + 200x_c$$

U. PORTO FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA E GESTÃO INDUSTRIAL

Um posto de correios requer, para funcionar, um número diferente de trabalhadores a tempo inteiro em cada dia da semana:

	Nº mínimo de funcionários
Segunda	17
Terça	13
Quarta	16
Quinta	19
Sexta	14
Sábado	16
Domingo	11

As leis laborais impõem que cada funcionário trabalhe 5 dias consecutivos, seguidos de 2 dias de folga. Por exemplo, um funcionário que trabalhe de Segunda a Sexta terá que estar de folga no Sábado e no Domingo. O posto de correios pretende pois satisfazer as necessidades diárias de trabalhadores recorrendo apenas a funcionários a tempo inteiro. O objetivo é minimizar o número de funcionários a tempo inteiro.

Variáveis de decisão

x_i – número de trabalhadores que começarão o seu período de 5 dias de trabalho no dia i, $i = 1 \ldots 7$ (1=Segunda,...,7=Domingo)

Restrições

Em cada dia tem que se ter o número de funcionários mínimo a trabalhar. Note-se que, por exemplo, à Segunda-Feira estão a trabalhar não só os funcionários que iniciam o seu período de 5 dias à Segunda, mas também todos os que iniciaram esse período na semana anterior na Quinta-Feira ou depois.

$$\begin{array}{ccccccccccccccc}
x_1 & & & & & + & x_4 & + & x_5 & + & x_6 & + & x_7 & \geq & 17 \\
x_1 & + & x_2 & & & & & + & x_5 & + & x_6 & + & x_7 & \geq & 13 \\
x_1 & + & x_2 & + & x_3 & & & & & + & x_6 & + & x_7 & \geq & 16 \\
x_1 & + & x_2 & + & x_3 & + & x_4 & & & & & + & x_7 & \geq & 19 \\
x_1 & + & x_2 & + & x_3 & + & x_4 & + & x_5 & & & & & \geq & 14 \\
 & & x_2 & + & x_3 & + & x_4 & + & x_5 & + & x_6 & & & \geq & 16 \\
 & & & & x_3 & + & x_4 & + & x_5 & + & x_6 & + & x_7 & \geq & 11 \\
x_1 & , & x_2 & , & x_3 & , & x_4 & , & x_5 & , & x_6 & , & x_7 & \geq & 0 \text{ e inteiros}
\end{array}$$

Função objectivo

$$\min x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7$$

U.PORTO FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA E GESTÃO INDUSTRIAL

Suponha agora que as necessidades de mão-de-obra podem ser satisfeitas quer por funcionários a tempo inteiro quer por funcionários a tempo parcial. Um funcionário a tempo inteiro trabalha 8 horas por dia, enquanto um funcionário a tempo parcial trabalha 4 horas por dia, mantendo-se as restantes condições laborais. No entanto, acordos com os sindicatos limitam a 25% do total a percentagem de funcionários a tempo parcial. Sabendo que o custo horário de um funcionário a tempo inteiro é de 15 euros e o de um funcionário a tempo parcial é de 10 euros, determine o escalonamento dos funcionários que minimiza o custo global com recursos humanos.

Variáveis de decisão
Teremos agora que considerar também os funcionários a tempo parcial:
x_i – número de trabalhadores a tempo inteiro que começarão o seu período de 5 dias de trabalho no dia i, $i = 1 \ldots 7$ (1=Segunda,...,7=Domingo)
y_i – número de trabalhadores a tempo parcial que começarão o seu período de 5 dias de trabalho no dia i, $i = 1 \ldots 7$ (1=Segunda,...,7=Domingo)

Restrições

As necessidades de mão-de-obra em cada um dos 7 dias da semana terão agora que ser expressas em termos de horas de trabalho e não de número de funcionários. As próximas sete restrições garantem as necessidades para cada um dos dias da semana.

Escalonamento de Recursos Humanos (Parte 2)– Resolução II

$$
\begin{aligned}
8x_1 + 8\sum_{i=4}^{7} x_i + 4y_1 + 4\sum_{i=4}^{7} y_i &\geq 136 \\
8\sum_{i=1}^{2} x_i + 8\sum_{i=5}^{7} x_i + 4\sum_{i=1}^{2} y_i + 4\sum_{i=5}^{7} y_i &\geq 104 \\
8\sum_{i=1}^{3} x_i + 8\sum_{i=6}^{7} x_i + 4\sum_{i=1}^{3} y_i + 4\sum_{i=6}^{7} y_i &\geq 128 \\
8\sum_{i=1}^{4} x_i + 8x_7 + 4\sum_{i=1}^{4} y_i + 4y_7 &\geq 152 \\
8\sum_{i=1}^{5} x_i + 4\sum_{i=1}^{5} y_i &\geq 112 \\
8\sum_{i=2}^{6} x_i + 4\sum_{i=2}^{6} y_i &\geq 128 \\
8\sum_{i=3}^{7} x_i + 4\sum_{i=3}^{7} y_i &\geq 88
\end{aligned}
$$

U. PORTO FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA E GESTÃO INDUSTRIAL

Escalonamento de Recursos Humanos (Parte 2)– Resolução III

A equação seguinte garante a restrição imposta pelos sindicatos, que limitam a 25% do total a percentagem de funcionários a tempo parcial.

$$\sum_{i=1}^{7} y_i - 0.25 \sum_{i=1}^{7} (x_i + y_i) \quad \leq \quad 0$$

$$x_i, y_i \quad \geq \quad 0 \text{ e inteiros } \forall_i$$

Função objectivo

Minimização do custo total das contratações por 5 dias.

$$\min 5 * (15 * 8 * \sum_{i=1}^{7} x_i + 10 * 4 * \sum_{i=1}^{7} y_i)$$

Considere agora que cada funcionário pode fazer um dia de trabalho extraordinário por semana. Por exemplo, a um funcionário cujo turno de trabalho seja de Segunda a Sexta pode ser pedido que trabalhe ainda no Sábado. A remuneração por hora de trabalho extraordinário corresponde a 150% da remuneração base.

Variáveis de decisão
Teremos que juntar agora novas variáveis correspondentes ao número de funcionários que fazem um dia de trabalho extra.
z_i – número de trabalhadores a tempo inteiro que começarão no dia i, $i = 1 \ldots 7$ (1=Segunda,...,7=Domingo), o seu período de 5 dias de trabalho mais um dia de trabalho extra.
w_i – número de trabalhadores a tempo parcial que começarão no dia i, $i = 1 \ldots 7$ (1=Segunda,...,7=Domingo), o seu período de 5 dias de trabalho mais um dia de trabalho extra.

Restrições

$$
\begin{array}{rcl}
8(x_1+z_1)+8z_3+8\sum_{i=4}^{7}(x_i+z_i)+4(y_1+w_1)+4w_3+4\sum_{i=4}^{7}(y_i+w_i) & \geq & 136 \\
8\sum_{i=1}^{2}(x_i+z_i)+8z_4+8\sum_{i=5}^{7}(x_i+z_i)+4\sum_{i=1}^{2}(y_i+w_i)+4w_4+4\sum_{i=5}^{7}(y_i+w_i) & \geq & 104 \\
8\sum_{i=1}^{3}(x_i+z_i)+8z_5+8\sum_{i=6}^{7}(x_i++z_i)4\sum_{i=1}^{3}(y_i+w_i)+4w_5+4\sum_{i=6}^{7}(y_i+w_i) & \geq & 128 \\
8\sum_{i=1}^{4}(x_i+z_i)+8z_6+8x_7+4\sum_{i=1}^{4}(y_i+w_i)+4w_6+4y_7 & \geq & 152 \\
8\sum_{i=1}^{5}(x_i+z_i)+8z_7+4\sum_{i=1}^{5}(y_i+w_i)+4w_7 & \geq & 112 \\
8z_1+8\sum_{i=2}^{6}(x_i+z_i)+4w_1+4\sum_{i=2}^{6}(y_i+w_i) & \geq & 128 \\
8z_2+8\sum_{i=3}^{7}(x_i+z_i)+4w_2+4\sum_{i=3}^{7}(y_i+w_i) & \geq & 88 \\
\sum_{i=1}^{7}y_i-0.25\sum_{i=1}^{7}(x_i+y_i) & \leq & 0 \\
\forall_i x_i, y_i, z_i, w_i & \geq & 0 \text{ e inteiros}
\end{array}
$$

Função objectivo

$$\min 15*8*5*\sum_{i=1}^{7} x_i + 10*4*5\sum_{i=1}^{7} y_i + 15*8*(5+1.5)\sum_{i=1}^{7} z_i + 10*4*(5+1.5)\sum_{i=1}^{7} w_i$$

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA E GESTÃO INDUSTRIAL

Considere novamente a situação inicial, das necessidades de mão-de-obra serem satisfeitas unicamente por funcionários a tempo inteiro. Considere ainda que o posto de correios tem 25 funcionários contratados. Determine o escalonamento que maximiza o número de folgas em dias de fim-de-semana (Sábado ou Domingo).

Variáveis de decisão
x_i – número de trabalhadores que começarão o seu período de 5 dias de trabalho no dia i, $i = 1 \ldots 7$ (1=Segunda,...,7=Domingo)

Restrições
Em cada dia tem que se ter o número mínimo de funcionários a trabalhar e não se pode ter mais que 25 funcionários a trabalhar. No seu conjunto as escalas têm que incorporar 25 funcionários.

$$
\begin{array}{ccccccccccccccc}
x_1 & & & & & + & x_4 & + & x_5 & + & x_6 & + & x_7 & \geq & 17 \\
x_1 & + & x_2 & & & & & + & x_5 & + & x_6 & + & x_7 & \geq & 13 \\
x_1 & + & x_2 & + & x_3 & & & & & + & x_6 & + & x_7 & \geq & 16 \\
x_1 & + & x_2 & + & x_3 & + & x_4 & & & & & + & x_7 & \geq & 19 \\
x_1 & + & x_2 & + & x_3 & + & x_4 & + & x_5 & & & & & \geq & 14 \\
 & & x_2 & + & x_3 & + & x_4 & + & x_5 & + & x_6 & & & \geq & 16 \\
 & & & & x_3 & + & x_4 & + & x_5 & + & x_6 & + & x_7 & \geq & 11 \\
x_1 & & & & & + & x_4 & + & x_5 & + & x_6 & + & x_7 & \leq & 25 \\
x_1 & + & x_2 & & & & & + & x_5 & + & x_6 & + & x_7 & \leq & 25 \\
x_1 & + & x_2 & + & x_3 & & & & & + & x_6 & + & x_7 & \leq & 25 \\
x_1 & + & x_2 & + & x_3 & + & x_4 & & & & & + & x_7 & \leq & 25 \\
x_1 & + & x_2 & + & x_3 & + & x_4 & + & x_5 & & & & & \leq & 25 \\
 & & x_2 & + & x_3 & + & x_4 & + & x_5 & + & x_6 & & & \leq & 25 \\
 & & & & x_3 & + & x_4 & + & x_5 & + & x_6 & + & x_7 & \leq & 25 \\
x_1 & + & x_2 & + & x_3 & + & x_4 & + & x_5 & + & x_6 & + & x_7 & = & 25 \\
x_1 & , & x_2 & , & x_3 & , & x_4 & , & x_5 & , & x_6 & , & x_7 & \geq & 0 \text{ e inteiros}
\end{array}
$$

Escalonamento de Recursos Humanos (Parte 4)– Resolução II

Função objectivo

A função objetivo é agora minimizar o número de trabalhadores que pertencem a turnos que trabalhem ao Sábado (dia 6) ou ao Domingo (dia 7), tendo em atenção que alguns turnos são particularmente penalizantes por ocuparem simultaneamente o Sábado e o Domingo.

$$\min x_2 + 2x_3 + 2x_4 + 2x_5 + 2x_6 + x_7$$

Apesar de se ter minimizado o número de trabalhadores com turnos de fim-de-semana, esses turnos existem e têm que ser cobertos. Como resolveria o problema de, ao longo do ano, garantir uma escala justa e equilibrada para todos os trabalhadores em termos de dias de fim-de-semana ocupados?

O problema de escalonamento de recursos humanos aqui resolvido é do tipo estático porque assume que o posto de correios enfrenta a mesma situação semana após semana. No entanto, afectar um funcionário permanentemente a uma escala traduz-se numa situação de injustiça e desiquilíbrio potenciadora de instabilidade laboral e de atritos entre funcionários que em nada contribuem para uma harmoniosa gestão de recursos humanos. A solução passa portanto por fazer os funcionários rodar pelas várias escalas.
Suponha então a seguinte solução para o problema de escalonamento semanal:

x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7
8	6	0	7	0	4	0

Poderíamos agora criar um ciclo de 25 semanas com a seguinte escala:

Semana 1–8	Início à Segunda
Semana 9–14	Início à Terça
Semana 15–21	Início à Quinta
Semana 22–25	Início ao Sábado

Seguindo esta escala, o funcionário 1 começaria na semana 1 da escala, o funcionário 2 começaria na semana 2 e assim sucessivamente. Por exemplo, o funcionário 5 faria 4 semanas o turno que se inicia à Segunda, depois faria 6 semanas o turno que se inicia à Terça, 7 semanas o turno que se inicia à Quinta, 4 semanas o turno que se inicia ao Sábado e, finalmente, 4 semanas o turno que se inicia à Segunda, fechando o ciclo de 25 semanas e recomeçando de novo.
Desta forma todos os funcionários passariam de uma forma equilibrada e justa por todos os turnos.

Meredith Ceh soltou um suspiro de alívio. Finalmente todos os números de que necessitava pareciam estar no sítio correto e a sua folha de cálculo parecia completa. Ela estava confiante de que poderia analisar a situação que John Cox tinha descrito, mas interrogava-se se haveria outros aspectos que devesse considerar na sua resposta.

O senhor Cox, presidente da *Cox Cable and Wire Company*, e neto do fundador da empresa, tinha pedido a Meredith que criasse planos para apoiar o contrato preliminar que ele tinha negociado com a *Midwest Telephone Company*. O contrato previa a entrega de 340 rolos de cabo durante o verão. Ele tinha deixado para o dia seguinte a negociação final do contrato com a *Midwest* e queria ter a certeza que tinha entendido todas as suas implicações.

De acordo com o senhor Cox, ele tinha andado à procura de uma oportunidade de ser fornecedor de uma empresa grande, como a *Midwest*, e esta parecia a possibilidade ideal. A procura, por parte dos clientes tradicionais da *Cox Cable* tinha abrandado e, como resultado, havia excesso de capacidade nos meses do verão. No entanto, ele queria estar certo que, desde o início, o seu negócio com a *Midwest* seria rentável, e por isso disse a Meridith que queira que os *cash inflows* excedessem os *cash outflows* em pelo menos 25 por cento. Mas ele também queria ter a certeza de que existia capacidade suficiente para satisfazer o contrato, nos termos que estavam a ser negociados. Referiu ainda, muito rapidamente, um conjunto de questões adicionais, mas essas eram secundárias, no que dizia respeito à rentabilidade e capacidade de produção.

Contexto

A *Cox Cable and Wire Company* vende uma variedade de produtos para a indústria das telecomunicações. Na sua fábrica de Indianópolis a empresa adquire fio não revestido de calibres padronizados, monta-os em cabos multi-filares e aplica-lhes depois revestimentos variados, de acordo com as especificações dos clientes. A fábrica produz basicamente dois tipos de famílias de produtos – plástico padrão e Teflon de elevada qualidade. Os dois revestimentos são possíveis numa certa variedade de cores, mas estas podem ser facilmente alteradas introduzindo diferentes corantes no líquido primário do revestimento.

As instalações produtivas em Indianópolis consistem em duas linhas de processo semi-automáticas, conhecidas na empresa como a Geral e a Nacional, nomes das empresas que as fabricaram. Quer o cabo revestido a Teflon quer o cabo revestido podem ser produzidos em qualquer uma das linhas, no entanto, o revestimento a Teflon é

mais rápido devido aos requisitos de secagem. O planeamento na *Cox Cable* é habitualmente feito numa base anual, primeiro, e depois trimestral. A força de trabalho é determinada analisando as previsões de procura para o ano seguinte, apesar de serem possíveis revisões à medida que o ano decorre. Depois, numa base trimestral, escalonamentos mais específicos são gerados para as máquinas. Em cada trimestre as linhas de produção são fechadas para manutenção preventiva, mas as escalas de manutenção são sempre conhecidas apenas após os planos de produção estarem feitos, e as ações de manutenção são mesmo adiadas se os planos de produção forem muito apertados.
Em resultado de expansões recentes do setor produtivo, não há agora muito espaço de armazenamento na fábrica. O cabo pode ser temporariamente armazenado na zona de expedição, para ser carregado em camiões, mas não há espaço para armazenar cabo para entregas futuras. Espaço de armazenamento adicional está, no enanto, disponível numa armazém público nas imediações da fábrica.
Meredith familiarizou-se com toda esta informação durante a sua primeira semana do seu estágio de verão. No fim da semana encontrou-se com o senhor Coz e ele delineou-lhe o contrato em negociação com a *Midwest*.

O contrato
O contrato preliminar era simples. *Midwest* tinha pedido para que fossem entregues as quantidades descritas na tabela 1, apesar de o senhor Cox ter dito que não ficaria surpreendido se a *Midwest* procurasse, mas negociações finais, aumentar as quantidades a entregar de Teflon, e os preços estavam também já acordados.
Meredith dirigiu-se em primeiro lugar ao Diretor de Produção, Jeff Knight, para obter informações sobre a capacidade de produção. Jeff forneceu-lhe dados sobre os tempos de produção (tabela 2), que ele garantiu serem bastante confiáveis, dado a grande experiência da empresa com aquelas duas linhas de produção. Ele também lhe forneceu os compromisso de produção da empresa para os meses de verão, resultando na capacidade de produção disponível apresentada na tabela 3. Nem todos estes números são fixos, acrescentou ele. Aparentemente há um projeto de um mecanismo que poderia acelerar a linha de produção Geral. Os engenheiros da *Cox Cable* planeavam instalar este mecanismo em setembro, adicionando 80 horas por mesmo de capacidade. “Nós podíamos adiantar os nossos planos de modo a estas 80 horas adicionais estarem disponíveis em agosto”, afirmou Jeff. “Mas isso custar-nos-ia uns $900 em horas extraordinárias, e não estou certo que valha a pena”.

Após colocar parte desta informação na sua folha de cálculo, Meredith falou com o economista da fábrica, Donna Malone, que tinha acesso á maior parte da informação sobre custos. Meredith soube que as matérias-primas usadas para fabricar os cabos custavam $160 por rolo, para o cabo revestido a plástico, e $200 para o cabo revestido a Teflon. os custos de embalagem eram de $40, para os dois tipos de cabo, e o custo de armazenamento no armazém público era de $10 por rolo armazenado e por mês de armazenagem. "Isso se conseguirmos o espaço", comentou Donna. "É uma boa ideia fazer as reservas de espaço com algumas semanas de antecedência, caso contrário podemos ficar temporariamente sem espaço". Donna também forneceu alguma informação contabilística sobre os custos de produção (tabela 4). De acordo com Donna, cerca de metade do *overhead* de produção era constituído por custos que habitualmente variavam com os encargos da força de trabalho, enquanto a parte restante era a depreciação do restante equipamento produtivo da fábrica, que não as duas linhas de produção. Os encargos com depreciação das duas linhas de produção foram calculadas separadamente, em função do tempo de vida do equipamento. Por exemplo, a linha de produção Geral custou, quando foi comprada há 10 anos atrás, $500 000 e tinha um tempo esperado de vida de cerca de 10 000 horas, resultando assim numa taxa de depreciação de $50 por hora.

A análise

Meredith era capaz de consolidar toda a informação recolhida numa folha de cálculo. Fazendo aquilo que ela considerou serem assunções razoáveis acerca dos fatores de custo relevantes, conseguiu otimizar o plano de produção e determinar que era possível atingir a meta dos 25 por cento de rentabilidade. No entanto, das suas conversas, ficou convencida que haveria vários fatores que poderiam ser alterados, tais como a manutenção, o armazenamento ou mesmo a possibilidade alterar o contrato. Ela esperava que o senhor Cox a interrogasse sobre todos estes fatores, e ela sabia que era muito importante estar preparada para as suas perguntas.

Tabela 1 : Contrato – quantidades a entregar e preços.

Mês	Plástico	Teflon
junho	50	30
julho	100	60
agosto	50	50
Preço	$360	$400

Tabela 2 : Capacidades de produção, em horas por rolo.

Linha de produção	Plástico	Teflon
Geral	2,0	1,5
Nacional	2,5	2,0

Tabela 3 : Capacidade de produção disponível.

Mês	Geral	Nacional
junho	140	250
julho	60	80
agosto	150	100

Tabela 4 : Dados contabilísticos da produção.

Categoria de custo	Geral	Nacional
Depreciação das linhas de produção	\$50/hora	\$40/hora
Trabalho direto	\$16/hora	\$16/hora
Supervisão	\$8/hora	\$8/hora
Overhead de produção	\$12/hora	\$12/hora

in *Stephen Powell and Kenneth Baker, Management Science – The Art of Modeling with Spreadsheets, Third Edition, pp 484-486, Wiley, 2009.*