

## PROGRAMAÇÃO CONTRA CAPACIDADE INFINITA Carga versus Capacidade (CRP)

Recorra ao método de carregamento para trás contra capacidade infinita e planeie as cargas do melhor modo possível tendo como objectivos:

- a) Garantir o melhor serviço aos clientes (cumprir as datas de entrega prometidas)
- b) Ocupar as máquinas do modo mais uniformemente possível.

- Data de hoje: 22 de Outubro de 1992 (início do dia)
- Regime laboral: 10 horas/dia x 5 dias/semana
- Máquinas disponíveis: A, B, C, D
- Carga já lançada:
  - A: 10 horas
  - B: 50 horas
  - C: 20 horas
  - D: 10 horas

- Carga a programar (horas) - ver Quadro seguinte.

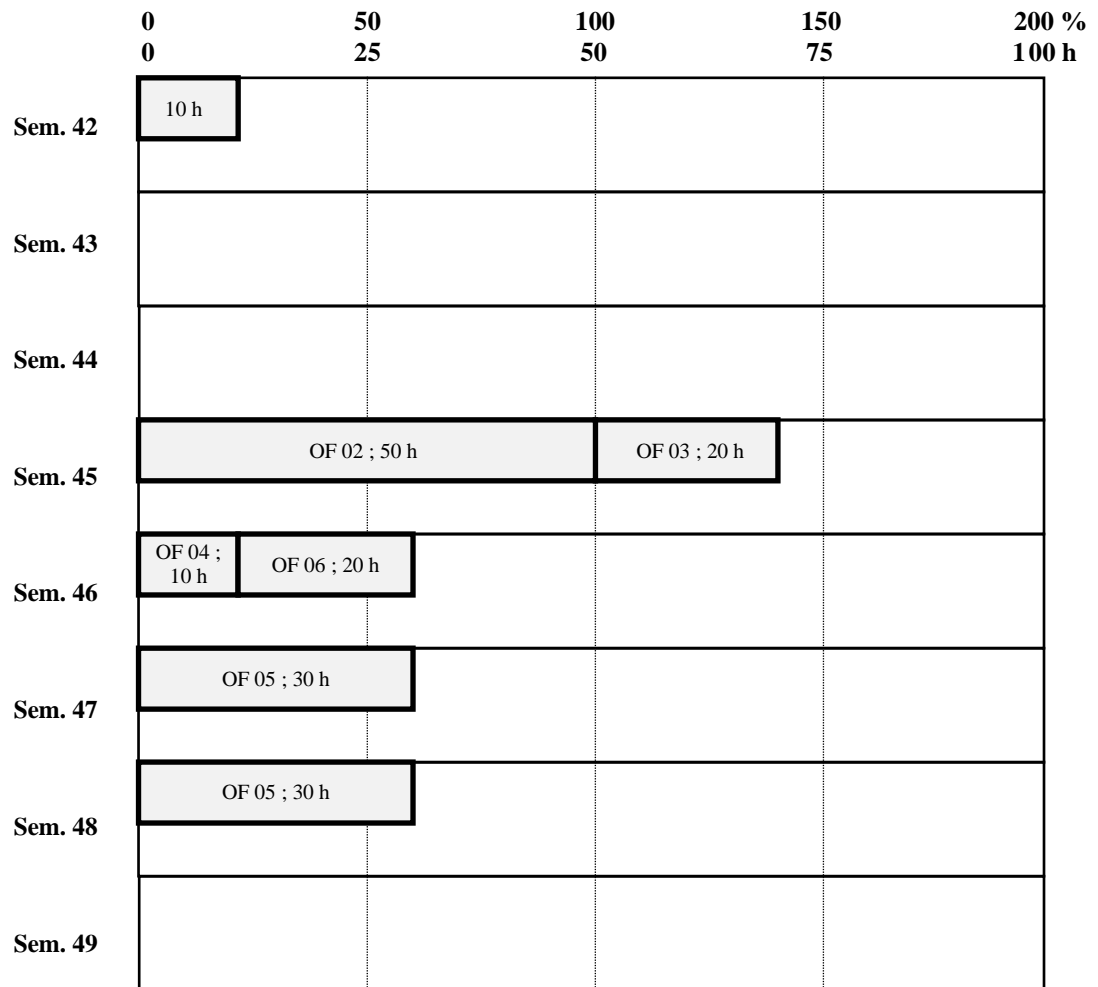
OF's	Gama Operatória						Data pro- metida entrega	Prazo (horas dispo- níveis)
01	B/10	→	C/40	→	D/50		17 Nov	$(2+3 \times 5+2) \times 10 = 190$
02	A/50	→	C/40	→	B/30	→	D/30	$(2+5 \times 5) \times 10 = 270$
03	C/30	→	D/20	→	A/20		10 Nov	$(2+2 \times 5+2) \times 10 = 140$
04	A/10	→	B/50	→	C/10	→	D/30	$(2+5 \times 5) \times 10 = 270$
05	C/40	→	A/60	→	D/10	→	B/30	$(2+6 \times 5+2) \times 10 = 340$
06	D/10	→	A/20	→	B/60	→	C/30	$(2+5 \times 5+1) \times 10 = 280$

- Calendário:

Semana 43: 26 a 30 Out  
 Semana 44: 02 a 06 Nov  
 Semana 45: 09 a 13 Nov  
 Semana 46: 16 a 20 Nov

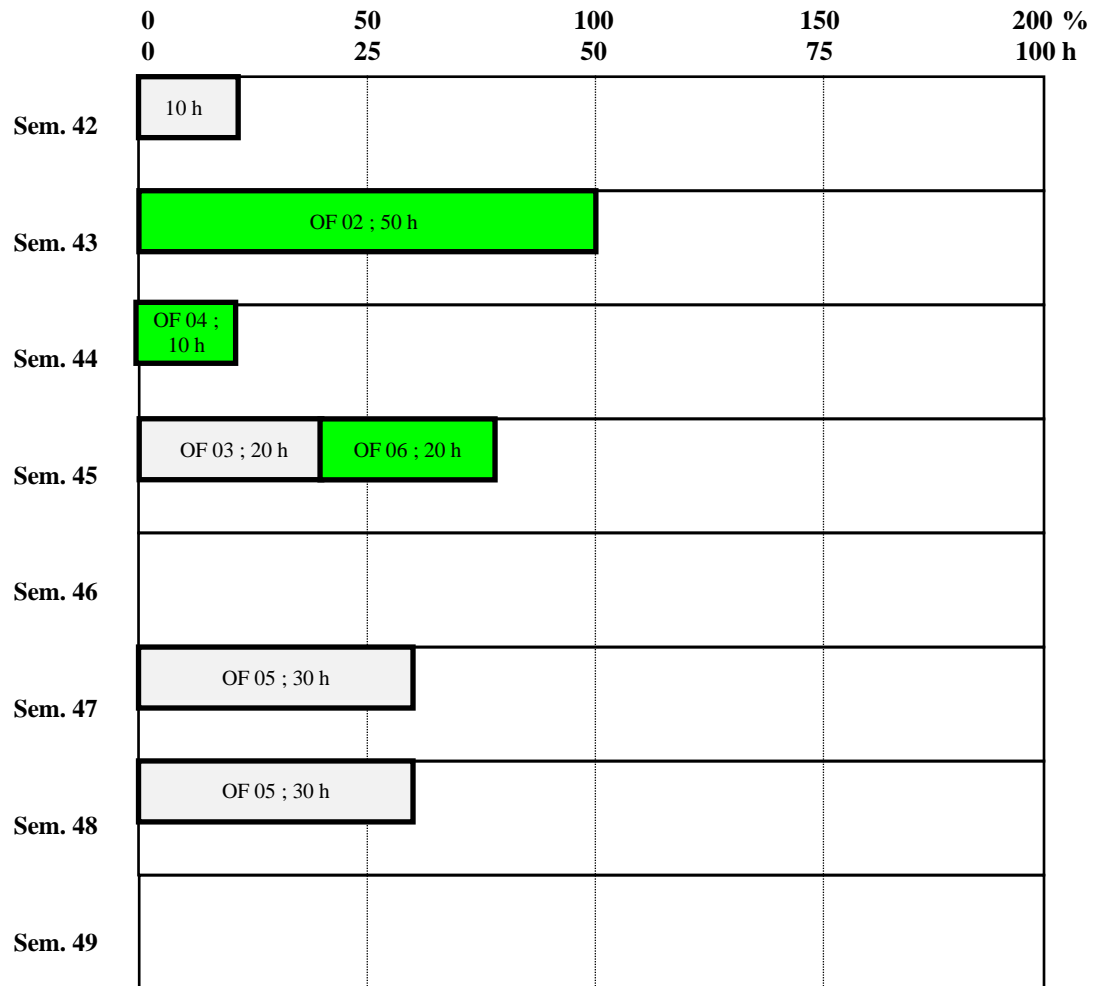
Semana 47: 23 a 27 Nov  
 Semana 48: 30 Nov a 04 Dez  
 Semana 49: 07 a 11 Dez

**Posto de Trabalho “A”**

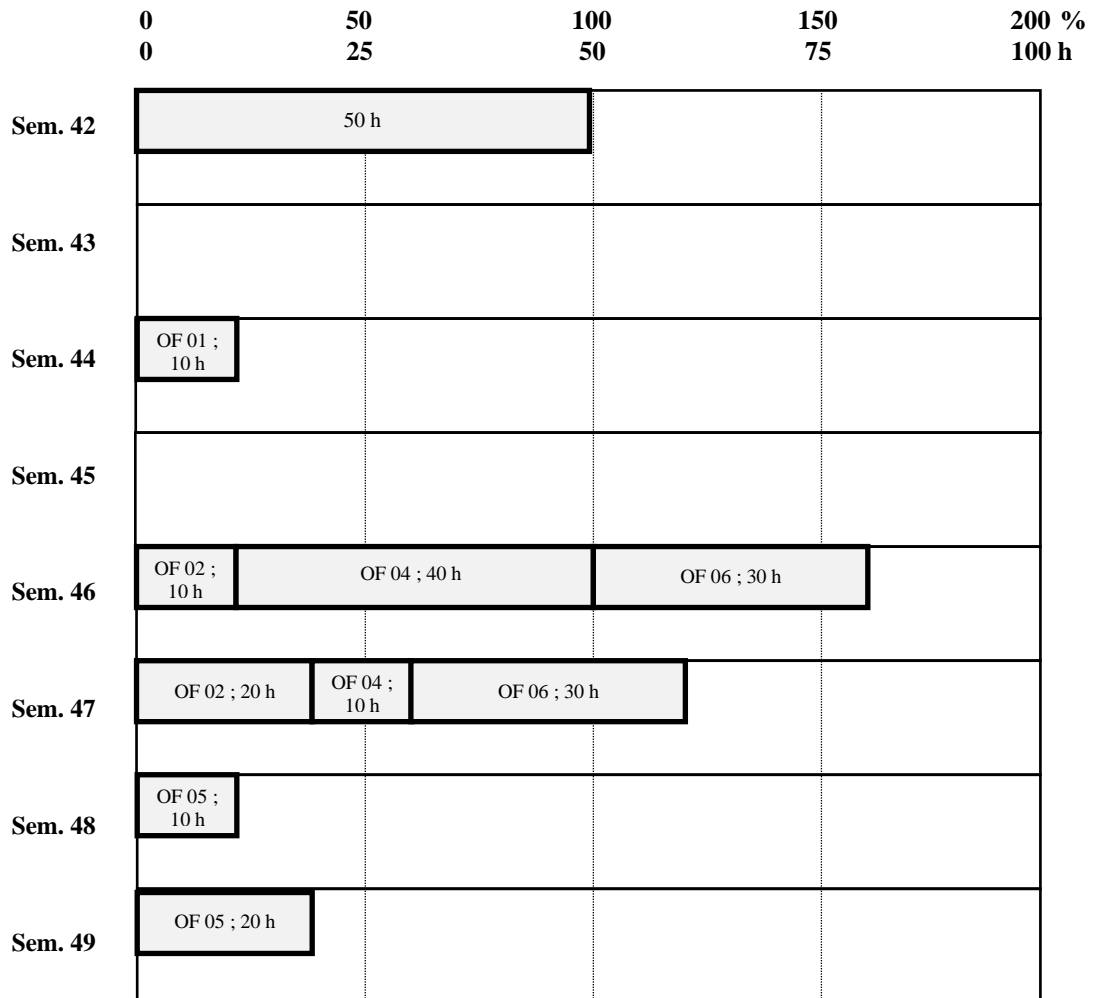


### Posto de Trabalho “A” (ajustado)

Uma solução possível encontra-se representada a verde.

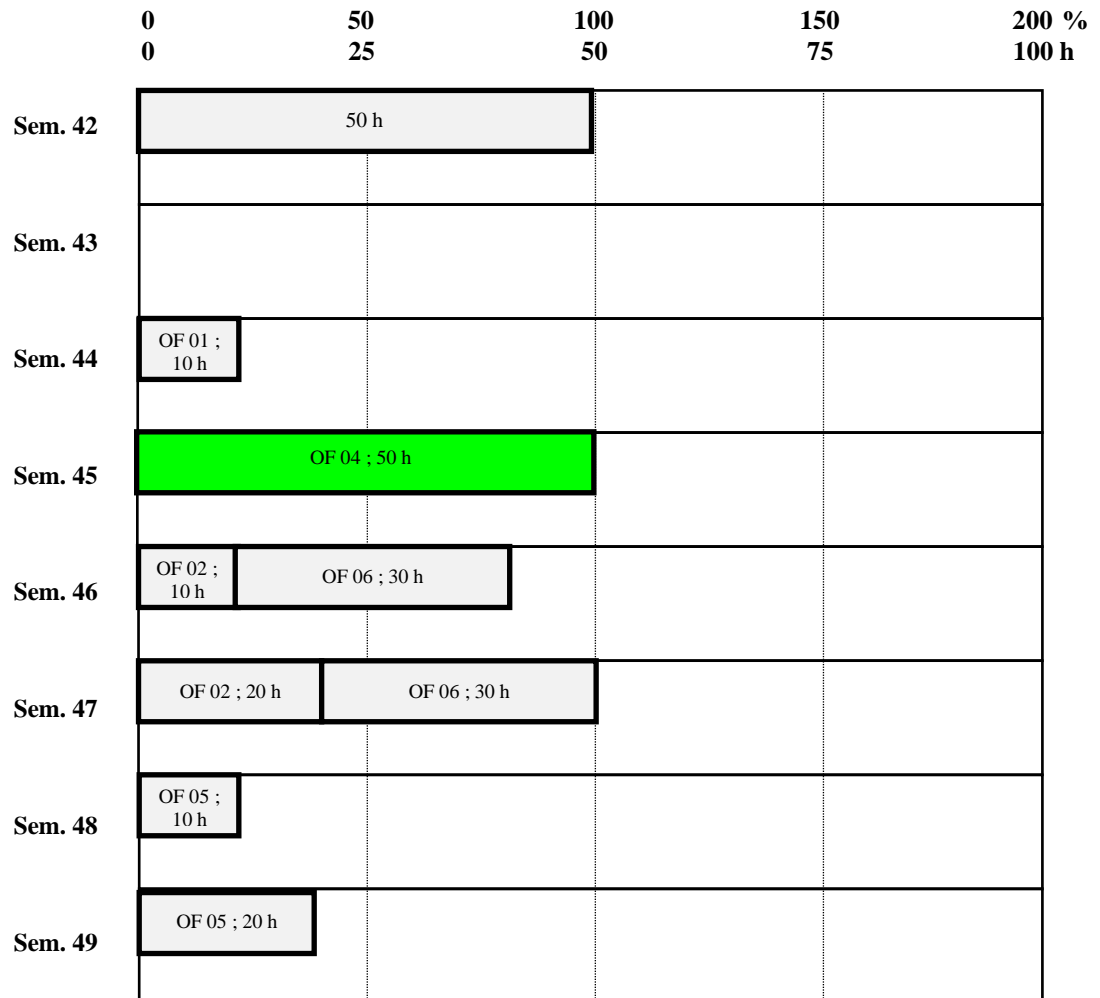


### Posto de Trabalho “B”

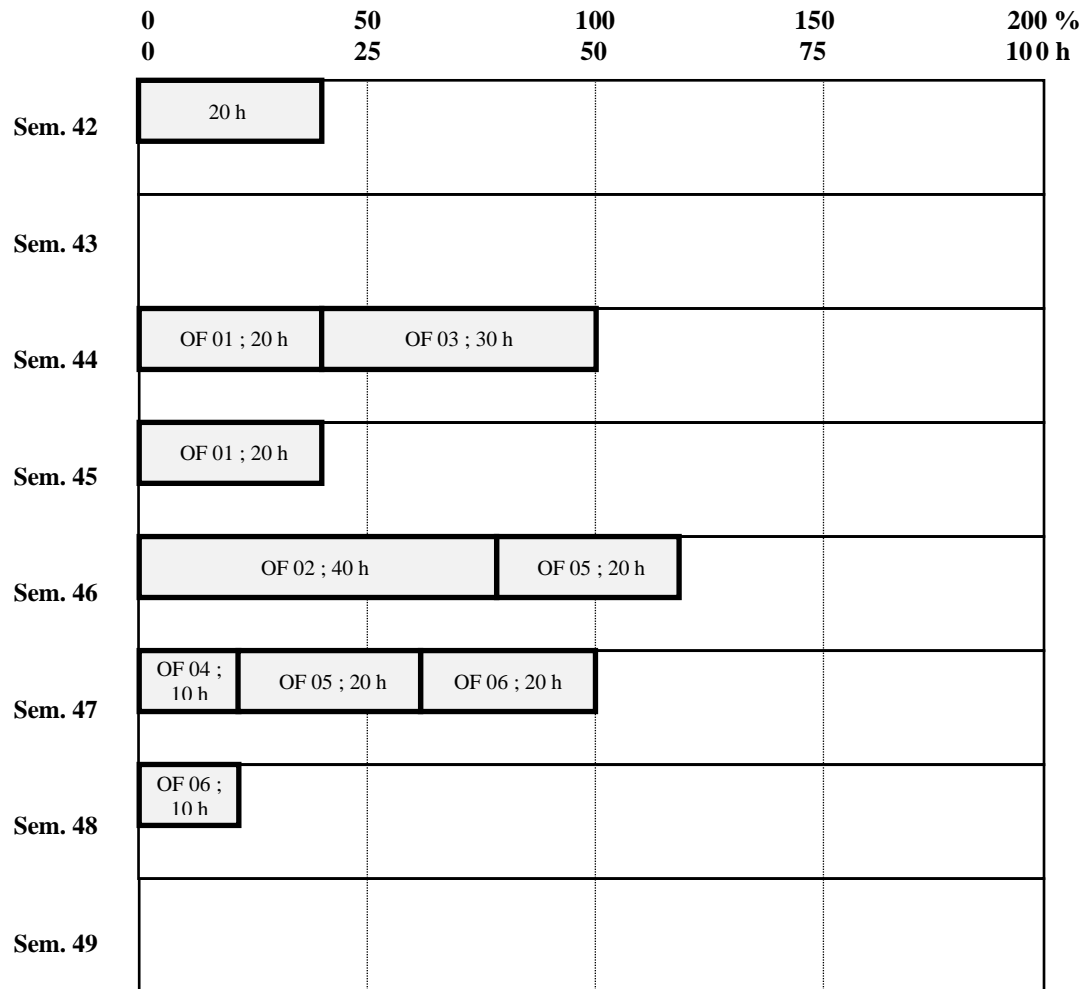


### Posto de Trabalho “B” (ajustado)

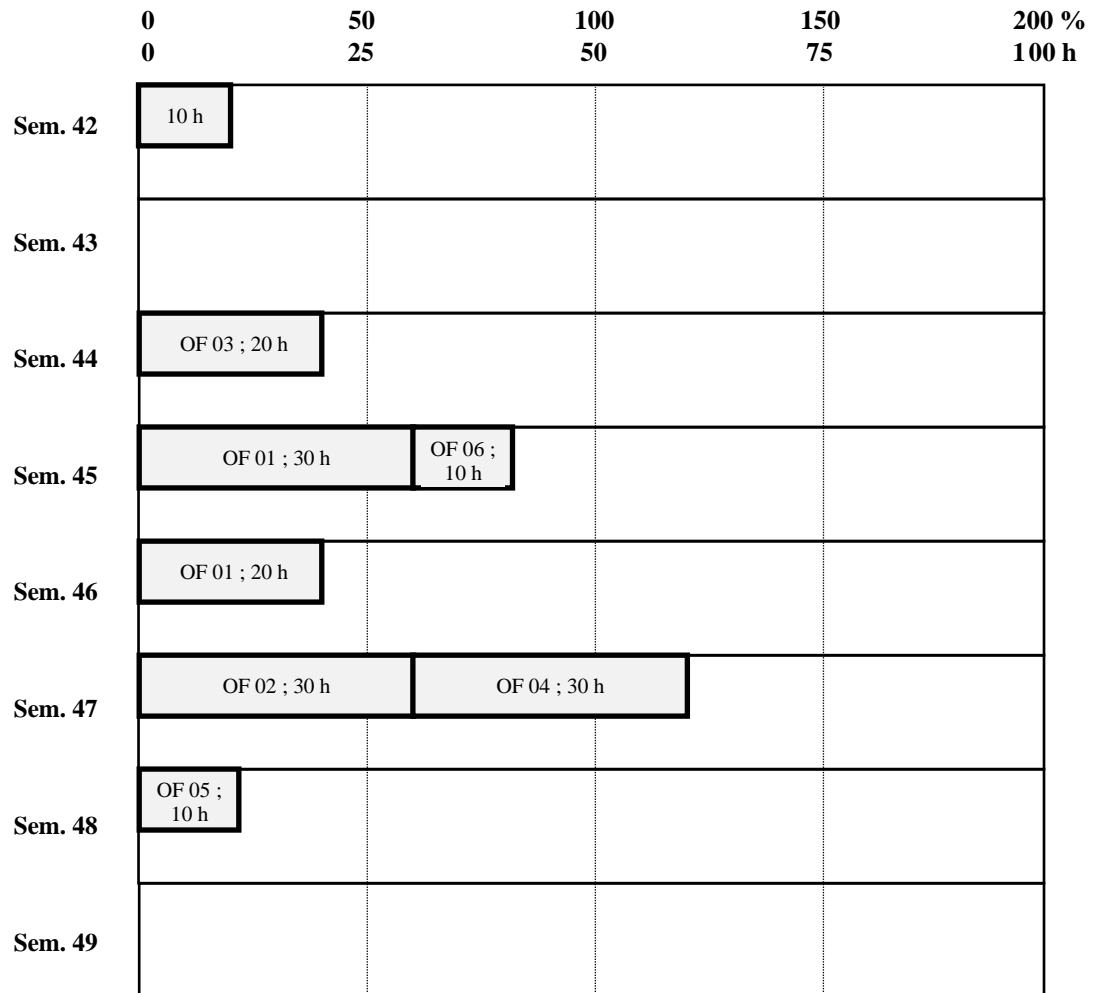
Uma solução possível encontra-se representada a verde.



### Posto de Trabalho “C”



### Posto de Trabalho “D”



**PROGRAMAÇÃO CONTRA CAPACIDADE FINITA**  
**Sequenciamento de Operações (*Scheduling*)**

Considere as seis 6 OF's cujas gamas operatórias e datas prometidas de entrega se encontram descritas no próximo Quadro.

- Data de hoje: 22 de Outubro de 1992 (início do dia)
- Regime laboral: 10 horas/dia x 5 dias/semana
- Máquinas disponíveis: A, B, C, D
- Carga já lançada: A: 10 horas  
B: 50 horas  
C: 20 horas  
D: 10 horas

OF's	Gama Operatória						Data prometida entrega	Prazo (horas disponíveis)	
01	B/10	→	C/40	→	D/50		17 Nov	$(2+3 \times 5+2) \times 10 = 190$	
02	A/50	→	C/40	→	B/30	→	D/30	27 Nov	$(2+5 \times 5) \times 10 = 270$
03	C/30	→	D/20	→	A/20			10 Nov	$(2+2 \times 5+2) \times 10 = 140$
04	A/10	→	B/50	→	C/10	→	D/30	27 Nov	$(2+5 \times 5) \times 10 = 270$
05	C/40	→	A/60	→	D/10	→	B/30	08 Dez	$(2+6 \times 5+2) \times 10 = 340$
06	D/10	→	A/20	→	B/60	→	C/30	30 Nov	$(2+5 \times 5+1) \times 10 = 280$

- Calendário:

Semana 43: 26 a 30 Out  
 Semana 44: 02 a 06 Nov  
 Semana 45: 09 a 13 Nov  
 Semana 46: 16 a 20 Nov

Semana 47: 23 a 27 Nov  
 Semana 48: 30 Nov a 04 Dez  
 Semana 49: 07 a 11 Dez

Resolva as seguintes questões:

- a) Programe contra capacidade finita (sob a forma de quadros de *Gantt*) as seis OF's considerando as seguintes regras de prioridade:
  - Operação mais curta;
  - Próxima OF com menor conteúdo de trabalho;
  - Rácio crítico.
- b) Compare os três programas no respeitante aos seguintes indicadores:
  - Tempo de atraso na entrega;
  - Tempo total de produção;
  - Tempo total em filas de espera (trabalho em curso de fabrico);
  - Tempo de inactividade da totalidade dos PT's.



a)

Podemos criar duas alternativas de representação gráfica do quadro de sequenciamento:

- Recursos (em ordenadas) e OF alocadas no tempo (em abcissas);
- OF (em ordenadas) e recursos alocados no tempo (em abcissas);

Optemos aqui pelo primeiro tipo.

Começamos por representar as horas de carregamento já existente em cada uma das máquinas (10 na A, 50 na B, 20 na C e 10 na D) sob a forma de um rectângulo cinza (ver os três quadros de sequenciamento nas próximas páginas).

A melhor forma de proceder ao sequenciamento das OF's sobre os recursos existentes (máquinas A, B, C e D) consiste em imaginar que, sempre que um equipamento pára, o operador vai querer saber qual a OF que deverá executar a seguir e o responsável do planeamento e lançamento vai ter de lhe responder (melhor,...a resposta já deverá estar prevista e toda a documentação e material necessário prontos).

Começaremos então de mais cedo para mais tarde e consideremos 0 para a origem dos tempos (início do dia 22 de Outubro – uma quinta-feira). Então, no caso da regra “Próxima operação mais curta” ou “*Shortest process time*”, no momento 10, as máquinas A e D vão ficar livres. Olhamos ao quadro de OF's e constatamos que existem duas OF's que concorrem para a máquina A (a OF 02 e a OF 04) e uma única para a máquina D (a OF 06).

OF's		Gama Operatória					Data prometida entrega	Prazo (horas disponíveis)
01	B/10	→	C/40	→	D/50		17 Nov	$(2+3 \times 5+2) \times 10 = 190$
02	A/50	→	C/40	→	B/30	→	D/30	$(2+5 \times 5) \times 10 = 270$
03	C/30	→	D/20	→	A/20			$(2+2 \times 5+2) \times 10 = 140$
04	A/10	→	B/50	→	C/10	→	D/30	$(2+5 \times 5) \times 10 = 270$
05	C/40	→	A/60	→	D/10	→	B/30	$(2+6 \times 5+2) \times 10 = 340$
06	D/10	→	A/20	→	B/60	→	C/30	$(2+5 \times 5+1) \times 10 = 280$

Neste último caso, não existe alternativa, e alocamos 10 horas da OF 06 à máquina D (começando na hora 10 e terminando na hora 20). Cortamos a primeira operação da OF 06 do quadro de OF's (ver o próximo quadro). Contudo, no primeiro caso, torna-se necessário escolher entre a OF 02 e a OF 04. Qual delas alocar em primeiro lugar à máquina A? Pela regra “Operação mais curta”, é fácil perceber que a OF 04 deverá ser a eleita pois implica apenas 10 horas de carga (mais curta portanto) do que a OF 02, a qual implica 50 horas. Alocamos então 10 horas na máquina A (começando na hora 10 e terminando na hora 20). Cortamos a primeira operação da OF 04 do quadro de OF's (ver o próximo quadro).

Seguidamente, as máquinas A, C e D vão ficar livres no momento 20 horas. Quais serão as OF's prontas para lhes serem entregues? Podemos constatar que serão as OF 02 e 06 para a máquina A, a OF 03 e 05 para a máquina C e nenhuma para a máquina D. Qual das duas alocar em primeiro lugar à máquina A e qual das duas alocar em primeiro lugar à máquina C?

OF's	Gama Operatória						Data prometida entrega	Prazo (horas disponíveis)
01	B/10	→	C/40	→	D/50		17 Nov	$(2+3 \times 5+2) \times 10 = 190$
02	A/50	→	C/40	→	B/30	→	D/30	$(2+5 \times 5) \times 10 = 270$
03	C/30	→	D/20	→	A/20		10 Nov	$(2+2 \times 5+2) \times 10 = 140$
04	<del>A/10</del>	→	B/50	→	C/10	→	D/30	$(2+5 \times 5) \times 10 = 270$
05	C/40	→	A/60	→	D/10	→	B/30	$(2+6 \times 5+2) \times 10 = 340$
06	<del>D/10</del>	→	A/20	→	B/60	→	C/30	$(2+5 \times 5+1) \times 10 = 280$

Pela regra “Operação mais curta”, é fácil perceber que a OF 06 deverá ser a eleita pois implica apenas 20 horas de carga (mais curta portanto) do que a OF 02, a qual implica 50 horas. Alocamos então 20 horas na máquina A (começando na hora 20 e terminando na hora 40). Cortamos a segunda operação da OF 06 do quadro de OF's (ver o próximo quadro). Seguindo o mesmo raciocínio entre as OF's 03 e 05, seleccionamos a OF 03 e alocamos 30 horas desta à máquina C (começando na hora 20 e terminando na hora 50). Cortamos a primeira operação da OF 03 do quadro de OF's (ver o próximo quadro).

OF's	Gama Operatória						Data prometida entrega	Prazo (horas disponíveis)
01	B/10	→	C/40	→	D/50		17 Nov	$(2+3 \times 5+2) \times 10 = 190$
02	A/50	→	C/40	→	B/30	→	D/30	$(2+5 \times 5) \times 10 = 270$
03	<del>C/30</del>	→	D/20	→	A/20		10 Nov	$(2+2 \times 5+2) \times 10 = 140$
04	<del>A/10</del>	→	B/50	→	C/10	→	D/30	$(2+5 \times 5) \times 10 = 270$
05	C/40	→	A/60	→	D/10	→	B/30	$(2+6 \times 5+2) \times 10 = 340$
06	<del>D/10</del>	→	<del>A/20</del>	→	B/60	→	C/30	$(2+5 \times 5+1) \times 10 = 280$

Quais as próximas máquinas a ficar livres? Serão, na hora 40, a máquina A e a D que permanece livre. As OF's candidatas desta vez, são apenas a 02 para a máquina A e a 03 para a máquina D. A OF 02 pode ser alocada começando na hora 40 e terminando na hora 90. Mas a OF 03 não pode ainda ser entregue na máquina D pois irá permanecer na máquina C até à hora 50. Cortamos apenas a primeira operação da OF 02 do quadro de OF's (ver o próximo quadro).

OF's	Gama Operatória						Data prometida entrega	Prazo (horas disponíveis)
01	B/10	→	C/40	→	D/50		17 Nov	$(2+3 \times 5+2) \times 10 = 190$
02	<del>A/50</del>	→	C/40	→	B/30	→	D/30	$(2+5 \times 5) \times 10 = 270$
03	<del>C/30</del>	→	D/20	→	A/20		10 Nov	$(2+2 \times 5+2) \times 10 = 140$
04	<del>A/10</del>	→	B/50	→	C/10	→	D/30	$(2+5 \times 5) \times 10 = 270$
05	C/40	→	A/60	→	D/10	→	B/30	$(2+6 \times 5+2) \times 10 = 340$
06	<del>D/10</del>	→	<del>A/20</del>	→	B/60	→	C/30	$(2+5 \times 5+1) \times 10 = 280$

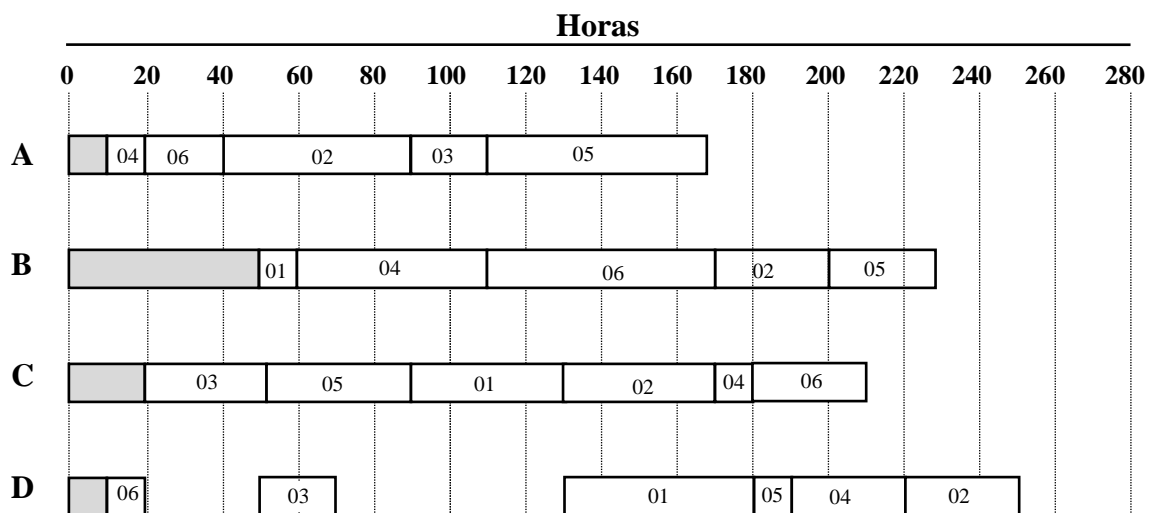
Prosseguimos com o mesmo raciocínio até termos terminado a alocação de todas as operações das várias OF's às máquinas, obtendo o quadro de sequenciamento adiante QS1.

Quanto à regra “Próxima OF com menor conteúdo de trabalho (CT)” ou “*Least work remaining*”, o raciocínio é exactamente o mesmo, apenas a regra de alocação entre duas ou mais OF's candidatas num determinado momento a uma mesma máquina difere. Assim, por exemplo, no início do exercício, temos de decidir entre as duas OF's que concorrem para a máqui-

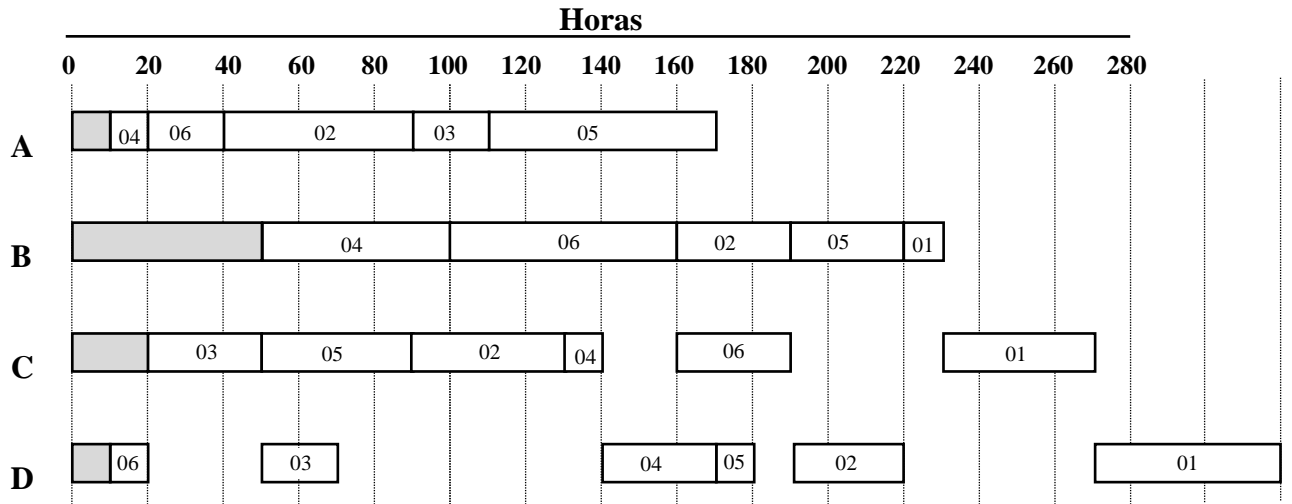
na A (a OF 02 e a OF 04) mas, desta vez com base noutra regra. Com efeito, desta vez interessa sequenciar não com base na operação mais curta (como anteriormente) mas com base no conteúdo de trabalho que resta a cada uma das OF's. Assim, à OF 02 restam  $50 + 40 + 30 + 30 = 150$  horas, enquanto que à OF 04 restam apenas  $10 + 50 + 10 + 30 = 100$  horas. Devemos, então, seleccionar a OF com menor conteúdo de trabalho restante, ou seja, a OF 04. E prosseguimos de igual modo conforme descrito no caso anterior, obtendo o quadro de sequenciamento adiante QS2. Neste quadro foi usada a regra “Operação mais curta” para desbloquear empates (*tie breakers*).

Quanto à regra “Rácio crítico” ou “*Critical ratio*”, o raciocínio continua a ser o mesmo, apenas a regra de alocação entre duas ou mais OF's candidatas num determinado momento a uma mesma máquina difere. Assim, por exemplo, no início do exercício, temos de decidir entre as duas OF's que concorrem para a máquina A (a OF 02 e a OF 04) mas, desta vez com base noutra regra. Com efeito, desta vez interessa sequenciar não com base na operação mais curta nem com base na próxima OF com menor conteúdo de trabalho (como anteriormente) mas com base no valor do rácio crítico (RC), isto é, a relação entre o tempo que falta para completar cada OF e o conteúdo de trabalho que lhe resta. Assim, na hora 10 (visto ser este o momento em que, pelo menos, uma das máquinas fica livre – neste caso a máquina A e a máquina D) a OF 02 dispõe de  $(270 - 10) = 260$  horas e o seu conteúdo de trabalho é de 150 horas, pelo que o seu rácio crítico é igual a  $260/150 = 1,734$ . Por seu lado, a OF 04 dispõe também de  $(270 - 10) = 260$  horas e o seu conteúdo de trabalho é de 100 horas, pelo que o seu rácio crítico é igual a  $260/100 = 2,6$ . Seleccionamos, então, a OF 02 pois possui o menor RC. E o exercício prossegue tendo em conta o RC para decidir sempre que duas ou mais OF's disputam a mesma máquina. Ter em conta que o RC vai alterando o seu valor conforme vamos avançando no tempo – o prazo vai encurtando e o conteúdo de trabalho vai diminuindo pois algumas das operações da suas gamas operatórias já terão sido concluídas). Por exemplo, na hora 180, as OF 04 e 05 são ambas candidatas à máquina D. Qual delas deverá ser sequenciada em primeiro lugar? Vejamos. O RC da OF 04 nesse momento será  $(270 - 180) / 30 = 3$  e o RC da OF 05 será  $(340 - 180) / (10 + 30) = 4$ . A OF 05 possui o menor RC, pelo que será prioritária (ver o quadro QS3). Neste quadro foi usada a regra “Operação mais curta” para desbloquear empates (*tie breakers*), por exemplo, na hora 90 entre as OF 03 e 05.

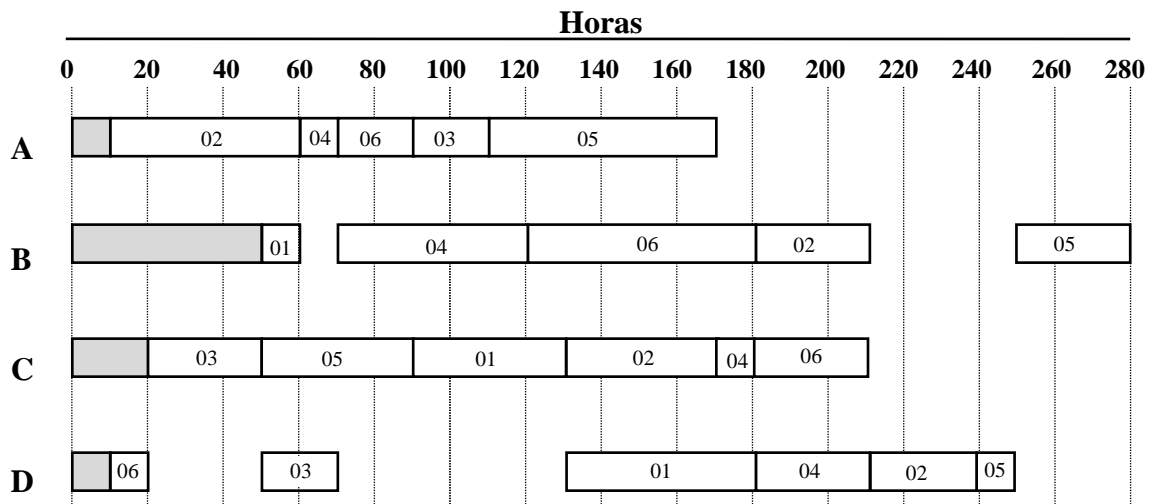
#### QS1 – Regra: “Próxima operação mais curta” ou “*Shortest process time*”



QS2 – Regra: “Próxima OF com menor conteúdo de trabalho” ou “*Least work remaining*”



QS3 – Regra: Rácio crítico ou “*Critical ratio*”



b)

Critérios	Programa “Opera- ção mais curta”	Próxima OF com menor CT	Programa “Rácio crítico”
. Atraso na entrega (horas)	0	130	0
. Tempo de produção (horas)	250	320	280
. Espera em filas (horas)	430	550	530
. Inactividades dos PT’s (horas)	90	220	140

A pior performance pertence de longe à segunda regra e a melhor à primeira.

Se quisermos seleccionar uma regra de entre as três usadas, temos de atribuir um grau de importância (ou peso) a cada um dos critérios de avaliação. Suponhamos que atribuímos os seguintes pesos àqueles critérios:

- Atraso na entrega: 0,20
- Tempo de produção: 0,30
- Espera em filas: 0,15
- Inactividades dos PT's: 0,35  
1,00

Teríamos assim, as seguintes pontuações dos três programas à luz destes quatro critérios:

- Programa “Operação mais curta”:  $0 \times 0,20 + 250 \times 0,30 + 430 \times 0,15 + 90 \times 0,35 = 171$
- Programa “Próxima OF com menor CT”:  $130 \times 0,20 + 320 \times 0,30 + 550 \times 0,15 + 220 \times 0,35 = 281,5$
- Programa “Rácio crítico”:  $0 \times 0,20 + 280 \times 0,30 + 530 \times 0,15 + 140 \times 0,35 = 212,5$

Como os critérios são do tipo “quanto menor melhor”, o melhor programa é “Operação mais curta” com a menor pontuação.