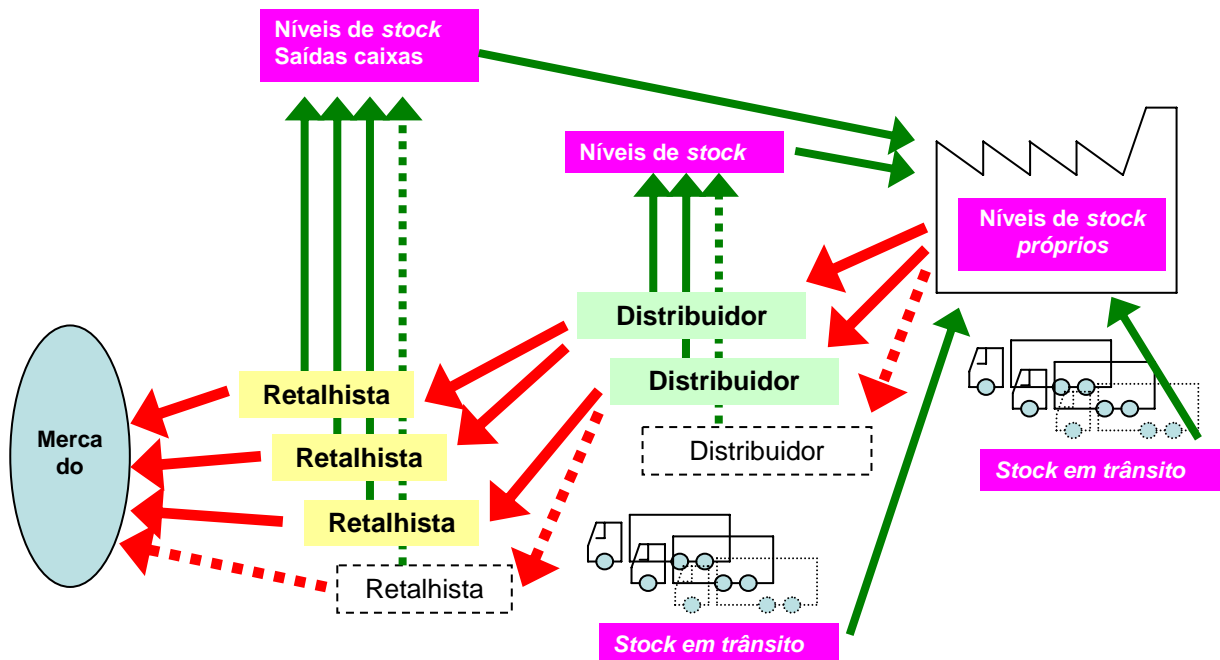


“Produção de modelos misturados sincronizada com a procura”

Rui Assis
Engenheiro Mecânico IST
rassis@rassis.com

Fevereiro/2007



Resumo

Descreve-se a forma de dimensionar e sequenciar lotes de fabricação de diferentes produtos (pertencentes a uma mesma família) cuja procura é incerta e cujo prazo de entrega deve ser imediato – produtos alimentares vendidos em supermercados e linhas de montagem de veículos motorizados constituem exemplos típicos. Os ambientes de produção típicos são constituídos por layouts em linha (montagem, enchimento, lavagem, etc.) ou por células de trabalho. Nestes ambientes de produção muito dinâmicos, procura-se continuamente conciliar objetivos dificilmente conciliáveis: manter stocks muito baixos, proporcionar um nível elevado de serviço (não entrar em roturas) e responder rapidamente a variações da procura.

Descreve-se um método computadorizado de procura de uma solução (apoio à decisão). O método consiste em arbitrar a dimensão dos lotes de acordo com uma heurística e simular a sequência de fabricação de acordo com a regra “menor tempo de esgotamento”. O método

proporciona grande flexibilidade na introdução das variáveis e permite encontrar uma boa solução – tanto mais rapidamente quanto maior for a experiência fabril do utilizador.

O método é ilustrado através de um caso construído no MICROFLOW – software desenvolvido em DOS e editado pelo IAPMEI em 1993 na colecção “Decisão Empresarial”.

Um possível desenvolvimento desta aplicação passa pela sua interligação com sistemas ERP via “extra-net” de forma a conhecerem-se, continuamente e em tempo real, os níveis de stock ainda disponíveis em “casa” dos principais clientes, e o ritmo e tendência da procura.

Introdução

Começamos com um caso, o qual pretende demonstrar como o arranjo físico de uma célula e a descentralização de gestão consequente podem proporcionar as condições para a conciliação dos objectivos: 1) manter *stocks* muito baixos, 2) oferecer um nível elevado de serviço (não entrar em roturas) e 3) responder rapidamente a variações da procura.

Uma empresa produz unidades de alimentação (UA). Estas são vendidas a outras empresas que se dedicam à produção e comercialização de electrónica de consumo.

As UA são produzidas em células compostas por várias estações semi-automáticas. Uma das células de UA pode produzir 15 referências diferentes. A capacidade de produção da célula é ajustável, sendo as diferentes operações balanceadas de forma a obterem-se os tempos de ciclo de cada referência adequados à procura média prevista em cada dia. A limpeza e a preparação da célula, sempre que se muda de referência, demoram alguns minutos (tempo de *change-over*). O regime normal de trabalho é 8 horas/dia.

A procura é muito aleatória no curto prazo (próximas horas) embora previsível no médio prazo (próximos dias e semanas) – o que permite a planificação dos materiais necessários pelo MRP. As entregas às linhas de montagem dos clientes tem de fazer-se, em alguns casos, duas vezes por dia, obtendo-se a confirmação das referências e respectivas quantidades a entregar de cada vez, com a antecedência máxima de duas horas. Tendo em conta a relativa rigidez da célula devida ao elevado tempo de *change-over*, a produção tem de realizar-se antecipadamente para *stock*, na base da procura prevista. A procura tem vindo a aumentar e a programação da célula tem-se revelado bastante difícil, acontecendo, por vezes, o *stock* romper para algumas das referências enquanto se mantém elevado para outras.

A dimensão actual dos lotes é fixa e independente das variações da procura. A empresa pretende que a célula se ajuste permanentemente à procura e, para tal, procura um meio simples e rápido de apoiar decisões de reprogramação.

Vejamos como este problema poderia ser resolvido no MICROFLOW – uma ferramenta de apoio à decisão. No preciso momento em que esta aplicação vai ser utilizada, a célula de trabalho estará ainda produzindo a referência D durante mais 0,5 hora. Em armazém encontram-se disponíveis algumas referências, conforme o Quadro 1 mostra.

Durante a semana que decorre, prevê-se a necessidade de apenas 6 das 15 referências. Os dados pertinentes encontram-se descritos nos três Quadros seguintes.

Quadro 1 – Existências e procura

Referências	Stock actual (unidades)	Procura prevista (unidades/dia)
A	30	60
B	40	80
C	35	40
D	10	20
E	40	60
F	20	40

Quadro 2 – Capacidades de produção

Referências	Capacidade de produção (unidades/hora)	Eficiência da célula (%)	Sucata (%)	Refeitos (%)	Eficiência dos refeitos (%)
A	50	95	0	1	80
B	60	95	0	1	80
C	50	95	0	1	70
D	40	90	0	2	70
E	60	90	0	2	70
F	50	95	0	1	90

Quadro 3 – Tempos de change-over (horas)

para →		A	B	C	D	E	F
de	A	0	0,25	0,20	0,10	0,15	0,25
	B	0,15	0	0,20	0,25	0,15	0,10
	C	0,25	0,20	0	0,15	0,25	0,15
	D	0,25	0,20	0,10	0	0,20	0,25
	E	0,20	0,15	0,25	0,10	0	0,20
	F	0,10	0,25	0,20	0,15	0,25	0

No MICROFLOW começa-se por introduzir os dados da Procura conforme o Quadro 1. Passa-se depois para os dados de *set-up* (ou de *change-over*) conforme o Quadro 3. Notar que neste Quadro se teve em conta o facto, muitas vezes verdadeiro, do tempo de passagem da referência X para a referência Y não ser o mesmo que o de passagem de Y para X.

Seguem-se os dados de Produção conforme o Quadro 2. Neste Quadro, a eficiência traduz o grau de experiência da equipa de operadores na produção de cada referência. Os refeitos são as UA que revelam defeitos de qualidade na operação de teste e que voltam atrás para serem recuperados. O tempo de recuperação pode ser inferior ou superior ao tempo normal de fabricação, resultando a eficiência de recuperação maior ou menor do que 100%, respectivamente.

Notar que as existências podem ser automática e permanentemente actualizadas se o MICROFLOW for integrado com a gestão de armazéns (próprios e os dos principais clientes). Por outro lado, a procura prevista de cada referência pode também ser permanente e automaticamente actualizada se daquela integração constar uma aplicação que realize previsões (*forecasting*). Estas previsões – necessariamente diárias – serão depois divididas pelo tempo de trabalho da célula em cada dia. No caso de produtos para supermercados, será particularmente interessante que o MICROFLOW tenha em conta as variações sazonais ao longo dos meses do ano, das semanas de cada mês e, mesmo, dos dias de cada semana.

Por último, introduz-se a informação de qual o produto que está sendo produzido e durante quanto mais tempo (no caso em estudo será o produto D durante mais 1 hora).

O próximo passo consiste em balancear adequadamente a carga induzida pela procura prevista com a capacidade disponível. Tal objectivo passa pelo dimensionamento criterioso dos lotes de fabricação das várias referências. A sua dimensão deve ser tal que, face à procura prevista, proporcione um fluxo regular e contínuo de produtos com *stocks* globalmente baixos e sem a ocorrência de roturas. Um método heurístico do tipo “O que é que acontece se ...?” (“*What-if ...?*”), permite esta abordagem de uma forma simples e rápida. O MICROFLOW utiliza os conceitos de programação uniforme de modelos misturados, transformando a procura em flu-

xo de produção a satisfazer em unidades/hora. Para este efeito, o utilizador selecciona a opção “Teste” e introduz a sua melhor suposição do tamanho adequado dos lotes de cada produto (um mesmo múltiplo da procura prevista constitui uma heurística adequada ao problema). Assim, considere-se, por exemplo, um múltiplo igual a 10, deixando-se por agora os níveis de reposição com valores elevados (1.000 por exemplo). Ou seja, o utilizador está “perguntando” ao MICROFLOW o que é que acontece se a dimensão dos lotes de fabricação forem iguais a um múltiplo de 10 da procura prevista de cada referência.

Quadro 4 – Primeira alternativa de parâmetros de gestão (múltiplo 10)

Referências	Procura prevista		Dimensão do lote (unidades)	Nível de reposição (unidades)
	(unidades/dia)	(unidades/hora)		
A	60	7,50	75	1.000
B	80	10,00	100	1.000
C	40	5,00	50	1.000
D	20	2,50	25	1.000
E	60	7,50	75	1.000
F	40	5,00	50	1.000

Para se poder visualizar a sequência “corre-se” o simulador. O algoritmo do MICROFLOW permite sequenciar da melhor forma possível os lotes com as dimensões definidas pelo utilizador, isto é, a sequência será tal que os *stocks* resultem mínimos e as roturas sejam evitadas. Para tal, o algoritmo selecciona como próxima referência a sequenciar, aquela que previsionalmente esgotará mais depressa, face ao ritmo da procura. A Figura 1 adiante mostra graficamente o comportamento previsional do *stock* de cada uma das referências de UA, em consequência da produção uniforme e contínua de todas as referências.

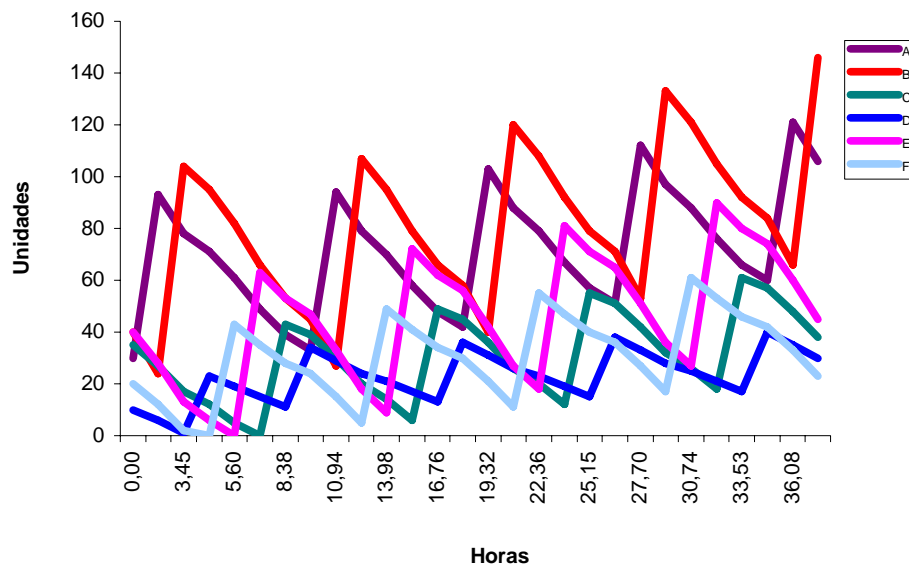


Figura 1 – Evolução previsional dos stocks das várias referências (múltiplo 10)

A inclinação da parte ascendente do gráfico de cada referência é determinada pela diferença entre o ritmo uniforme de produção da célula e o consumo correspondentes. Este último é pressuposto que se verifique também uniformemente, embora, na verdade, as expedições para os clientes se verifiquem de forma intermitente. A inclinação da parte descendente do gráfico é determinada apenas pelo ritmo – pressuposto uniforme – de consumo pois, durante este espaço de tempo, a célula está produzindo outras referências. As alternâncias de cada gráfico representam, assim, o ciclo: 1) fabricar a referência X na célula, 2) parar e aguardar a fabricação de outras referências, 3) *change-over* e 4) voltar a fabricar X novamente.

Conforme se observa, o comportamento dos *stocks* é progressivamente ascendente – o que não é aceitável. Este comportamento deve-se ao facto de os lotes de fabricação serem demasiado grandes. Com efeito, o resultado da soma dos tempos de produção dos lotes de todas as referências com os respectivos tempos de *change-over* é globalmente menor do que a capacidade disponível, ou, por outras palavras, o ritmo de produção é, em média, superior ao ritmo da procura prevista. Esta diferença pode, assim, ser aproveitada para reduzir a dimensão de todos os lotes (ou parte apenas) o que ocasiona o encurtamento do tempo de reacção de cada referência (pedido de reposição, *change-over*, fabricação do 1º contentor e entrega), aumentando a flexibilidade. É interessante notar que, apesar dos *stocks* de fabricação antecipada crescerem, verifica-se a rotura de algumas referências nos primeiros períodos. Isto deve-se ao facto de os lotes de fabricação serem de tal forma grandes que os *stocks* iniciais existentes não chegam para satisfazer a procura.

Considere-se, desta vez, por exemplo, um múltiplo igual a 2 da procura prevista de cada referência e mantenham-se os níveis de reposição com valores elevados (1.000 como anteriormente). O resultado é observável na Figura 2 na qual se mostra graficamente o comportamento previsional do *stock* de cada uma das referências de UA.

Quadro 5 – Segunda alternativa de parâmetros de gestão (múltiplo 2)

Referências	Procura prevista		Dimensão do lote (unidades)	Nível de reposição (unidades)
	(unidades/dia)	(unidades/hora)		
A	60	7,50	15	1.000
B	80	10,00	20	1.000
C	40	5,00	10	1.000
D	20	2,50	5	1.000
E	60	7,50	15	1.000
F	40	5,00	10	1.000

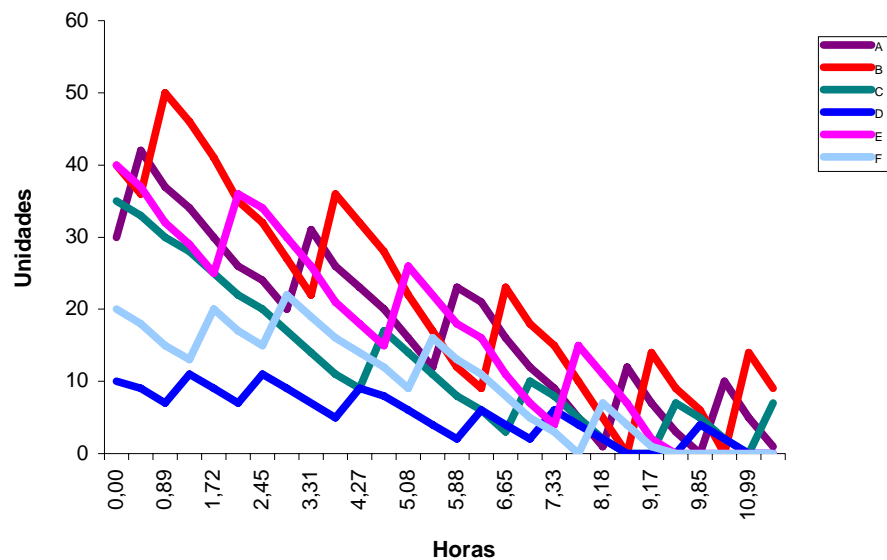


Figura 2 – Evolução previsional dos stocks das várias referências (múltiplo 2)

Desta vez, o comportamento dos *stocks* é progressivamente descendente – o que também não é aceitável. Este comportamento deve-se ao facto de os lotes de fabricação serem demasiado pequenos. Com efeito, o resultado da soma dos tempos de produção dos lotes de todas as referências com os respectivos tempos de *change-over* é globalmente maior do que a capacidade disponível, ou, por outras palavras, o ritmo de produção é, em média, inferior ao ritmo da procura prevista. Em consequência, há que procurar, por tentativas, um múltiplo intermédio. Considere-se ainda que, por razões de eficiência de controlo, interessa que os lotes de fabricação sejam de tamanho 10 ou seus múltiplos. De notar a este propósito que, em alguns ambientes de produção, os lotes de fabricação têm de ser dimensionados de acordo com critérios económicos. Noutros ainda, os lotes têm de ser múltiplos da capacidade de depósitos.

Depois de mais alguns minutos de um processo “tentativa-erro” – uma pessoa experiente no trabalho da célula encontra uma boa solução em menos de 5 minutos – ter-se-á considerado que o múltiplo 6 é adequado. Com efeito, observando o gráfico da evolução previsional dos *stocks* de produção das diversas referências de UA na Figura 3 adiante, constata-se que estes crescem globalmente de forma muito ligeira. Em lugar de se prolongar o processo à procura de um múltiplo “óptimo” – grande consumidor de tempo e sem interesse prático pois dentro de mais algumas horas a realidade ter-se-á alterado e o procedimento precisa ser repetido, tornando inútil a tentativa de “perfeição” anterior – pode-se recorrer agora ao mecanismo do ponto de reposição. Este segundo grau de liberdade funciona como “*fine-tuning*” do processo, pois permite limitar o momento em que a célula volta a fabricar qualquer das referências. Isto é, a célula só inicia a fabricação de uma referência quando o *stock* desta atinge um nível mínimo (ou de reposição). Pode assim acontecer que a célula permaneça parada enquanto todas as referências mantêm um *stock* superior aos respectivos níveis de reposição.

Os valores adequados dos níveis de reposição encontram-se normalmente entre 1/2 e 2/3 do tamanho do lote. Depois de assim proceder e observando o gráfico da evolução previsional dos *stocks* de produção das diversas referências de UA na Figura 3 adiante, constatamos que a carga se encontra equilibrada com a capacidade. Ter-se-á encontrado uma boa solução.

Quadro 6 – Segunda alternativa de parâmetros de gestão (múltiplo 6)

Referências	Procura prevista		Dimensão do lote (unidades)	Nível de reposição (unidades)
	(unidades/dia)	(unidades/hora)		
A	60	7,50	50	25
B	80	10,00	60	30
C	40	5,00	30	15
D	20	2,50	20	10
E	60	7,50	50	25
F	40	5,00	30	15

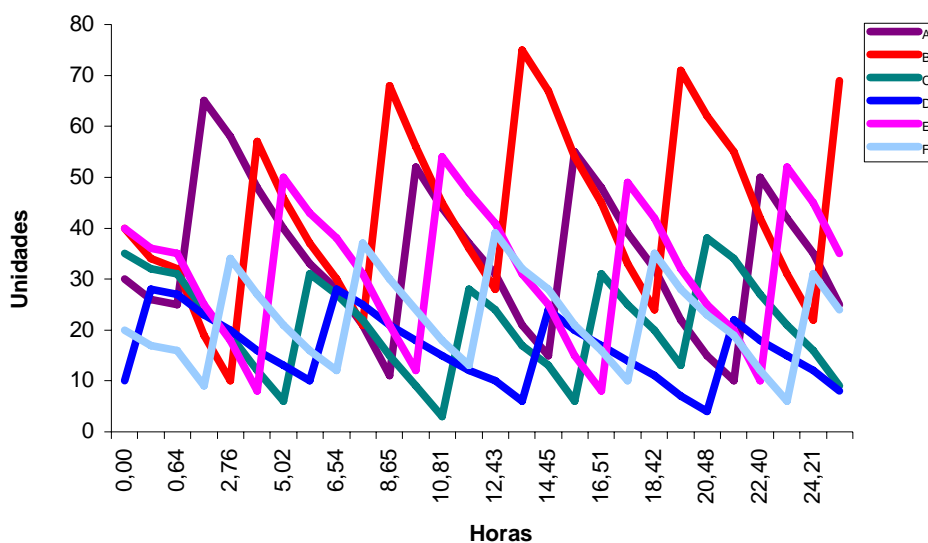


Figura 3 – Evolução previsional dos stocks das várias referências (múltiplo 6)

A sequência encontrada foi, pois, a seguinte:

Quadro 7 – Sequência (durante os próximos 8 períodos – de um total de 28) resultante do compromisso entre um nível de serviço elevado e um nível de stock mínimo

Períodos	Dentro de 1 hora	Após + 1,32 horas	Após + 1,32 horas	Após + 0,74 horas	Após + 1,20 horas	Após + 0,89 horas	Após + 0,54 horas	Após + 1,27 horas	
Referência	D	A	B	F	E	C	\	B	
horas acumuladas	1,00	2,32	3,63	4,37	5,57	6,46	7,00	8,27	
Stock previsional	A	23	63	53	47	38	32	27	18
	B	30	17	64	56	44	35	30	77
	C	30	23	17	13	7	33	30	24
	D	48	44	41	39	36	34	33	29
	E	33	23	13	7	48	42	38	28
	F	15	8	2	28	22	18	15	9

Neste último Quadro, na 2ª linha, o sinal “\” significa que a célula vai estar parada no período 7 pois quando a célula terminar um lote da referência C (período 6), os stocks de todas as referências serão superiores aos correspondentes níveis de reposição. Só passadas 0,54 horas o nível de stock da referência B será atingido, sendo esta a referência seleccionada como próxima (período 8).

E assim por diante até 28 períodos (limite do MICROFLOW) perfazendo um horizonte de simulação de 26,27 horas, o que corresponde a um pouco mais de 3 dias de produção. Em ambientes com mercados progressivamente mais dinâmicos, este limite pode ser irrelevante, pois provavelmente ao fim de 1 ou 2 dias já haverá necessidade de ajustar a sequência com base em valores actualizados da procura. Se houvesse necessidade de prolongar o horizonte de simulação, bastaria “injectar” os últimos valores dos *stocks* das várias referências (período 28) no Quadro 1, na coluna “*Stock actual*” e obter-se-iam outros 28 períodos.

O MICROFLOW fornece também o Quadro 8, o qual mostra como se desdobra o tempo de produção simulada.

Quadro 8 – Resumo da simulação

Variáveis	Horas	%
- Período simulado	26,27	100,00
- Tempo de operação	20,67	78,69
- Tempo morto (<i>stock</i> acima dos níveis de reposição)	1,60	6,09
- Tempo de <i>setup</i>	4,00	15,23

Stock global médio: 191 unidades

O MICROFLOW permite ainda determinar os 3 parâmetros de gestão KANBAN (nº máximo de etiquetas, nível de reposição e nível de urgência) de cada referência quando a célula precisa de sincronizar com uma unidade a juzante sua cliente.

Conclusão

O MICROFLOW é uma ferramenta de apoio à decisão na programação detalhada de uma linha ou célula de fabrico ou de montagem. O MICROFLOW permite, através de simulação, dimensionar de forma dinâmica os lotes de fabricação de uma família de produtos (ou de componentes) adaptando-os constantemente às variações da procura dos mercados e aos objectivos de manter um nível reduzido de *stocks* e um nível elevado de serviço aos clientes. O MICROFLOW – produto desenvolvido em DOS e editado pelo IAPMEI em 1993 – vê reforçada a sua aplicabilidade com o evoluir das TI e das redes de comunicação entre empresas e, ainda, ao crescente ambiente de B2B. A resposta rápida e a baixo custo a alterações súbitas do mercado (adaptabilidade, agilidade, flexibilidade, etc.) constitui hoje em dia uma componente da estratégia das empresas ganhadoras.

Próximos desenvolvimentos desta aplicação poderão passar pela sua integração com sistemas de gestão integrada ERP.

Bibliografia relacionada (alguma)

- ASSIS, Rui, Mário Figueira - *MICROFLOW, Produção JUST-IN-TIME*, Lisboa, IAPMEI, 1993
- BLACK, JT., *The Design of the factory with a future*, New York, Mc Graw-Hill International Editions, 1991
- CHACE, Richard B., Nicholas J. Aquilano, F. Robert Jacobs, *Production and Operations Management – Manufacturing and Services*, Boston, Mc Graw-Hill, 1998
- IRANI Shahrugh, *Cellular manufacturing – How-to Handbook*, New York, John Willey & Sons, 2001
- PASCUAL, Ramón Companys, Joan B. Fonollosa I Guardiet, *Nuevas técnicas de gestión de stocks: MRP y JIT*, Barcelona, MARCOMBO, 1989
- WANTUCK, Kenneth A., *Just in Time for America*, Milwaukee, The Forum, 1989

Rui Assis
rassis@rassis.com