

REQUISITOS PRELIMINARES PARA UM SISTEMA DE APOIO À DECISÃO NO PLANEAMENTO DA PRODUÇÃO POR ENCOMENDA

H. Proença¹, A.L. Azevedo²

¹ Departamento de Engenharia Informática, Escola Superior de Tecnologia de Castelo Branco

Avenida do Empresário, 6000-767 Castelo Branco

henrique@est.ipcb.pt

² Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto e INESC Porto

Rua Roberto Frias S/N, P-4200-465 Porto

ala@fe.up.pt

Sumário

Um dos objectivos do escalonamento das ordens de produção é garantir que as encomendas que as originam sejam concluídas o mais próximo possível da sua data de entrega. Os efeitos de uma situação de produção ‘atrasada’ têm implicações a montante do sistema de produção, enquanto que ordens de produção concluídas antecipadamente podem ser prejudiciais se o espaço de armazenamento é uma limitação. A dificuldade do planeamento e controlo da produção aumenta à medida que as famílias de produtos aumentam e as suas quantidades diminuem.

Este artigo identifica em primeiro lugar algumas das desvantagens existentes nos sistemas de planeamento e controlo da produção tradicionais e apresenta a especificação preliminar de um sistema de apoio à decisão para o planeamento de produção num ambiente “*make-to-order*”. O sistema apresentado destina-se à indústria automóvel de componentes e tem como finalidade principal apoiar o processo de planeamento de encomendas por forma a otimizar globalmente o processo de produção. Por outro lado, pretende-se que seja igualmente uma ferramenta de decisão que permita não apenas determinar a data de conclusão da encomenda como também analisar o impacto de um re-escalonamento da produção assim como detectar estrangulamentos e avaliar o desempenho dos recursos.

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a globalização dos mercados obrigou as empresas a alterar significativamente os processos de produção, nomeadamente, de modelos orientados à

produção em massa por modelos flexíveis e “magros” (*lean production*). No lado da oferta, os produtores tendem a dividir cada vez mais as suas áreas de negócio com o objectivo de se concentrarem tendencialmente nas áreas onde produzem maior valor acrescentado. Este quadro geral tem conduzido ao aparecimento de novos paradigmas organizacionais, caracterizados por uma maior concentração das empresas nas suas competências e actividades principais - “*core competencies*” - e pelo estabelecimento de redes de cooperação com entidades externas, desde fornecedores a clientes, em que as actividades de coordenação e colaboração assumem naturalmente uma enorme importância, conduzindo consequentemente a desafios de grande complexidade. Como exemplo desta acentuada tendência podemos referir o sector económico associado à indústria automóvel e igualmente o associado à indústria dos semicondutores. Do lado da procura, verifica-se uma cada vez maior diversificação e imprevisibilidade do mercado e simultaneamente com a solicitação de produtos cada vez mais complexos e com reduzidos ciclos de vida.

Cada vez mais o sucesso das organizações em geral e das empresas em particular, depende da diferenciação, a qual pode ser alcançada através de uma rápida capacidade de reacção às alterações e solicitações do mercado através do fornecimento de produtos e serviços inovadores e igualmente a um permanente esforço de minimização dos custos. A redução dos custos de produção e um aumento da produtividade são vantagens competitivas que podem ser alcançadas através de um melhor planeamento e escalonamento das actividades de produção [1]. Os sistemas de

informação orientados à gestão das operações, nomeadamente sistemas de controlo e planeamento da produção (*Production Planning And Control – PP&C*), podem contribuir decisivamente para que uma empresa consiga uma efectiva vantagem competitiva.

Numa perspectiva essencialmente de produção, e de um modo geral, os sistemas PP&C são responsáveis pelo planeamento, escalonamento e controlo de todo o processo produtivo, através da geração de ordens de fabrico, de acordo com as necessidades líquidas globais, e da consequente definição das datas de início e de fim associadas a cada uma das suas actividades que as compõem de acordo com as rotas operatórias. Um dos principais objectivos destes sistemas é garantir a coordenação de todos os recursos envolvidos na satisfação das encomendas definidas (encomendas firmes e previsionais). Além disso, devem permitir aos decisores gerir dinamicamente as capacidades dos diferentes elementos intervenientes, apoiando, igualmente, todo o processo de negociação e aceitação de encomendas.

Existe portanto, ao nível do planeamento, uma forte necessidade de dispor de soluções que, de forma eficiente produzam planos realistas, e estejam adaptadas às novas características do mercado e das estruturas produtivas. Particularmente importantes são os instrumentos que possibilitem, de forma eficiente e em tempo-real, apoiar todo o processo de negociação e aceitação de potenciais encomendas. Contudo, são reconhecidas inúmeras limitações/dificuldades associadas aos sistemas de planeamento e controlo de produção disponíveis no mercado [2]:

- Reduzida frequência de planeamento (devido ao elevado tempo de execução);
- Escalonamento irreal, baseado num cenário de capacidade infinita;
- Assume-se que o “*lead time*” e a sequência de processamento das operações são sempre conhecidas e constantes ao longo do tempo;
- Planeamento com procedimentos rígidos e inflexíveis (raramente existem prioridades e quando existem normalmente é só ao nível de datas).

Além do referido, os sistemas PP&C tradicionais têm dificuldades em lidar com as novas formas organizacionais de produção, tais como “ilhas” de produção e montagem, orientação ao produto, ou orientação ao cliente [3].

A produção orientada ao cliente é o conceito chave da fábrica do futuro. Os mercados são actualmente marcados por um enorme aumento da variedade de produtos, os quais em simultâneo vêem o seu tempo de vida reduzir drasticamente. Produção orientada ao cliente requer uma maior satisfação do cliente a um custo menor, assim como aumenta também a importância da melhoria da qualidade, pois o produto é desenvolvido segundo as necessidades do cliente. Neste

tipo de ambiente, é muito importante ter um conhecimento actualizado da disponibilidade da quantidade de recursos disponíveis para engenharia (desenvolvimento), produção e montagem do produto de acordo com as necessidades do cliente. Como consequência, o sistema de produção que é necessário gerir é constituído pelos processos de engenharia e produção [4].

O trabalho apresentado neste artigo resulta do trabalho de investigação preliminar, desenvolvido no âmbito de um projecto de dissertação de mestrado orientado à especificação e implementação de um sistema de apoio à decisão para o planeamento de encomendas. O sistema em desenvolvimento procura satisfazer os requisitos de um ambiente de produção por encomenda (*Make-to-order – MTO*) e tem por objectivo principal a resolução de algumas das limitações tradicionalmente identificadas nos sistemas disponíveis comercialmente. A identificação dos requisitos funcionais e não funcionais aos quais o sistema a desenvolver deve satisfazer tem por base uma empresa industrial cujo o negócio é o fabrico de equipamento e mesas de testes para a indústria automóvel.

Na empresa industrial objecto do estudo em curso, as necessidades frequentes de antecipar encomendas, ou satisfazer encomendas de clientes chave para empresa, provocam uma alteração constante nas ordens de produção (trabalho em curso) e originam igualmente uma diminuição da capacidade produtiva. De modo a ultrapassar essas limitações, o sistema em desenvolvimento visa simular o processo de engenharia e produção da empresa. Isto vai permitir avaliar o desempenho dos processos de engenharia e produção em termos do desempenho dos recursos e da qualidade do planos de produção gerados, assim como, analisar o impacto do re-escalonamento da produção, calcular a data de conclusão de encomendas e detectar eventuais estrangulamentos.

Este artigo encontra-se estruturado da seguinte forma. A secção seguinte descreve a empresa e os seus principais produtos, e resume algumas das questões fundamentais associadas ao processo de planeamento e controlo da produção. Na terceira secção serão apresentados os principais requisitos gerais identificados para o sistema em desenvolvimento. Finalmente, na última secção são apresentadas conclusões assim como é feita uma breve referência a alguns tópicos de trabalho futuro.

2. O PROCESSO PRODUTIVO

Descrição da Empresa

A empresa, objecto do trabalho referido neste artigo, produz mesas de teste para a indústria automóvel de componentes, nomeadamente mesas de testes para cablagens. Uma ilustração deste tipo de equipamentos é apresentada na figura 1. No caso geral, a empresa produz para cada tipo de cablagem de um determinado

modelo de automóvel, um equipamento (mesa) específico de teste, isto é, produz integralmente por encomenda (envolvendo sistematicamente as operações de concepção e produção).

O sistema de produção da empresa é orientado integralmente à encomenda. Apesar de possuir um portfólio de produtos de base, todas as potenciais encomendas, devido às suas especificações técnicas particulares, representam para a empresa um novo produto (operação de concepção). Uma particularidade adicional é o facto do ciclo produtivo ser sempre muito reduzido, normalmente duas a três semanas.

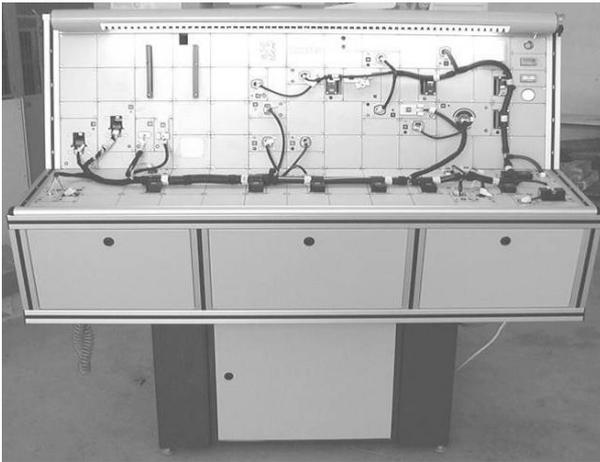


Figura 1 - Mesa de Testes

Gama de produtos

De acordo com a finalidade e especificidade do próprio processo produtivo, a empresa produz três famílias de produtos diferentes: Módulos Mecânicos, Módulos Electromecânicos e Mesas de Testes.

A produção de mesas de testes, cuja família é constituída por módulos de controlo eléctrico e mesas de controlo, representa cerca de 80% do total da produção da empresa. A diferença entre estes dois produtos encontra-se ao nível da finalidade de cada um. Enquanto no primeiro só são fabricados módulos separados (por exemplo para substituir outros em actividades de manutenção), no segundo é fabricada uma mesa completa, a qual é constituída por um conjunto de módulos. Esta família é constituída por um conjunto de 15 módulos diferentes, similares ao que é apresentado na figura 2.

O número de módulos presente numa mesa de testes varia consoante o tipo de testes a efectuar no cabo a testar. O portfólio dos módulos somente fornece um pequeno conjunto de características que os mesmos devem possuir de modo a garantir a execução do teste. São os tipos de teste e as especificações dos terminais do cabo que impõem as especificações técnicas do módulo, o que resulta em diferentes mesas de testes, ou seja, diferentes produtos.

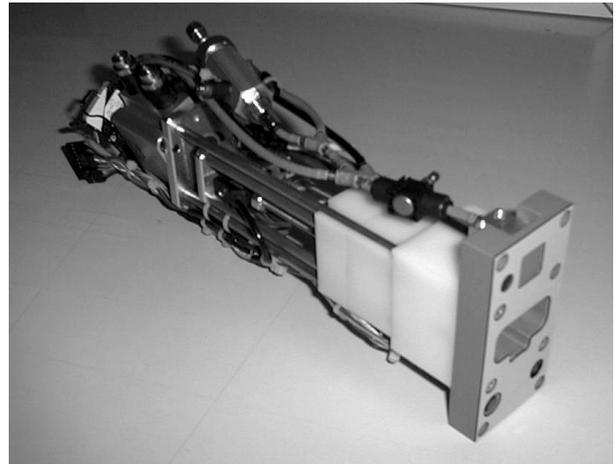


Figura 2 - Modulo Push Test

Planeamento e controlo da produção

Actualmente a empresa efectua o planeamento da produção e conseqüentemente o seu escalonamento com base na data de entrega das encomendas. As encomendas mais urgentes, (com prazo de entrega está mais próximo), são as primeiras a ser processadas.

No início de cada semana é efectuado um novo planeamento, com base na data de entrega das encomendas, no actual estado da produção e na capacidade de produção disponível. O problema básico da empresa reside na necessidade de antecipar ou satisfazer primeiro encomendas de clientes chave, o que provoca inesperadas variações na capacidade necessária para as diferentes fases da planta fabril seja aleatório e difícil de calcular, com conseqüências ao nível da variação do *lead time* e um elevado nível de trabalho em curso (*Work-in-Progress - WIP*).

3. ANTEVISÃO DOS REQUISITOS DO SISTEMA

Contexto

O planeamento e escalonamento de sistemas de produção é um processo exigente que envolve geralmente inúmeras decisões baseadas num conjunto variado de parâmetros e variáveis de produção. Um grande número de conflitos entre restrições e objectivos, tais como cumprir datas de entrega, maximizar a capacidade de utilização e balanceamento de carga através da planta fabril tornam a tarefa de escalonamento um problema de decisão bastante complexo [5]

Os modelos de simulação têm sido frequentemente usados como ferramentas de decisão para fornecer resposta do tipo “e se”. Esses modelos permitem aos utilizadores aperceberem-se da reacção ou comportamento do sistema de produção em questão a situações não previstas. Nos últimos anos houve um aumento considerável na diversidade de soluções de sistemas de informação baseados em técnicas de

simulação. Este tipo de soluções, geralmente de fácil utilização, são baseadas na definição dos modelos de produção por entidades e objectos gráficos, originando o que se designa por *simulação-orientada-à-produção* [6]. A grande vantagem da utilização de programas do género centra-se na redução significativa da curva de aprendizagem assim como do tempo consumido no desenvolvimento do modelo.

Ao nível do planeamento e escalonamento da produção, a empresa objecto de estudo, já testou e avaliou dois tipos de soluções disponíveis comercialmente. Embora os resultados não tenham sido insatisfatórios, as soluções consideradas exigiam muito tempo para configurar a estrutura de informação relacionada com cada encomenda. Dos dois tipos de soluções testadas, a primeira, orientada ao lote de fabrico (abordagem tradicional no tipo de soluções MRP), apresentada variadas limitações, nomeadamente no que concerne ao facto de assumir tempos de produção constantes e sequência de operações invariáveis. O segundo sistema de informação era orientado a um ambiente de produção do tipo *“engineer-to-order”* (ETO) e a sua grande desvantagem residia na necessidade de satisfazer um significativo nível de detalhe de informação, além disso, a solução experimentada era específica ou orientada para projectos de engenharia de grande dimensão e complexidade.

De modo a superar o problema e considerando as especificações do sistema produtivo da empresa, o sistema de apoio à decisão a implementar segue uma abordagem baseada em simulação. O principal objectivo será desenvolver uma aplicação que simule o sistema produtivo da empresa, ou seja, que permita avaliar os planos de produção potenciais, de modo a determinar o desempenho das máquinas e das células de produção, detectar estrangulamentos, determinar a data de finalização das encomendas e analisar o impacto do re-escalonamento.

Principais requisitos do sistema

O requisito geral e simultaneamente mais importante do sistema em desenvolvimento é satisfazer as exigências de um ambiente produtivo do tipo MTO, nomeadamente quanto à necessidade de garantir respostas rápidas e fiáveis a novos pedidos de clientes (potenciais encomendas).

No caso geral, os requisitos dos sistemas são normalmente divididos em duas classes: requisitos funcionais e requisitos não funcionais. Os primeiros descrevem o que o sistema deverá suportar e que é perceptível ao utilizador, enquanto os segundos descrevem as restrições aos requisitos funcionais a implementar e não são necessariamente perceptíveis ao utilizador [7].

Requisitos funcionais

Modelo de capacidade. Para realizar o planeamento da produção com avaliação da capacidade produtiva, é necessário traduzir para modelos de capacidade a

capacidade produtiva das diferentes células de produção que compõem o processo produtivo. Isto exige uma interface que permita traduzir o “mundo-real” num modelo computacional. O modelo de capacidade deverá fornecer uma medida de capacidade da unidade produtiva, suportar a realização de planos de capacidade e avaliar as implicações de uma encomenda [8].

Garantir prazos de entrega. A eficiência de uma empresa reside na sua capacidade de sempre que aceitar encomendas, garantir de imediato um compromisso com prazos de entrega, quantidade e qualidade do artigo [9]. Ou seja, em cada nova encomenda, avaliar a capacidade existente e o actual estado da produção de forma a confirmar a sua exequibilidade. O sistema deverá ser capaz de responder às seguintes questões:

- Qual o impacto no actual estado da produção?
- Qual a data de conclusão da encomenda?
- Quais os recursos adicionais necessários de forma a satisfazer a encomenda?

Optimização global e ao nível de célula. Para otimizar o fluxo produtivo através da planta fabril e assim reduzir um eventual elevado nível do WIP, o sistema deverá permitir efectuar optimizações de capacidade tanto ao nível de células como a um nível global.

Lead time médio dos componentes. O *lead time* é considerado uma variável importante para avaliar o desempenho do sistema de produção. Uma das funcionalidades pretendidas para o sistema é a estimação de forma expedita (aproximada) do *“lead-time”* associado a cada um dos componentes objecto de cada ordem de produção gerada.

Detalhe das encomendas. Para efectuar o escalonamento da produção, é necessário especificar para cada encomenda, a lista de todos os componentes que a constituem, a sequência de operações a efectuar por cada componente e o tempo médio de processamento cada operação.

Visualização do escalonamento. Uma estratégia eficiente na redução dos custos de produção implica um melhor controlo do processo produtivo [10]. Através da visualização do escalonamento produzido é possível antecipadamente avaliar o desempenho dos recursos (máquinas), calcular o prazo de entrega das encomendas, detectar estrangulamentos e analisar o impacto dos mesmos no processo produtivo se ocorrerem eventos perturbadores num ou mais recursos.

Requisitos não-funcionais

Desempenho. O tempo de resposta do sistema está dependente do grau de detalhe do modelo de capacidade e da sofisticação dos algoritmos utilizados. Se o detalhe do modelo de capacidade for grosseiro e os algoritmos simples, a resposta do sistema será mais rápida, mas não tão exacta como quando executado

com um alto nível de detalhe no modelo de capacidade e algoritmos sofisticados.

Flexibilidade. O sistema deverá ser flexível, para permitir ao utilizador, adicionar, remover, alterar, ou mover os elementos (por exemplo, ordens de fabrico, sequência de operações dos componentes).

Integração com sistemas existentes. De forma a obter respostas exequíveis, o sistema deverá ter conhecimento da capacidade disponível e do estado actual da produção. Isto é possível através da integração com o sistema de controlo de produção existente.

Modelo de capacidade exacto e dinâmico. Modelos de capacidade óptimos não são exequíveis se não considerarem condições imprevistas. O modelo de capacidade tem de se adaptar às condições existentes no momento de efectuar o planeamento, para isso deverá ser exacto e dinâmico, ou seja, deverá considerar vários factores que afectam a capacidade disponível ao longo da produção, tais como:

- atrasos na produção;
- falta de material;
- rendimento variável;
- falhas nos recursos;
- Dependência da variedade dos produtos no tempo médio consumido no na configuração dos recursos no início das operações.

Usabilidade. O utilizador deve sentir-se confortável na utilização do sistema, uma interface amigável, flexível, com fortes capacidades gráficas e uma linguagem simples, pode aumentar a eficácia do sistema.

Diagrama de Caso de uso

De modo a modelar o sistema de informação em desenvolvimento, foi seguida uma abordagem orientada

a objectos. Para isso, usou-se a linguagem UML – Unified Modelling Language [11]. Um dos primeiros passos executados na modelação consistiu na descrição do sistema através de um conjunto de *casos de utilização* que são realizados por um conjunto de actores.

Um diagrama de Casos de Utilização ilustra um conjunto de casos de utilização, actores e suas relações. As suas aplicações comuns são normalmente divididas em duas – modelar o contexto de um sistema e modelar os requisitos do sistema. O primeiro dá ênfase à identificação da fronteira dos sistema, dos seus actores e no significado das suas funções, enquanto o segundo consiste na identificação do que o sistema deve fazer, independentemente do modo como o sistema o deve realizar. Na figura 3 pode observar-se um dos diagramas de casos de utilização considerados para este sistema.

Requisitos de informação

A estrutura dos informação a considerar está organizada de acordo com a sua natureza e o contexto da sua utilização. Identificaram-se os seguintes requisitos ao nível de informação de forma a modelar o problema.

Informação sobre o calendário e processo produtivo:

- Dados do processo produtivo (recursos utilizados, tempo de processamento, tempo de espera, tempo de configuração, sequência de operações alternativas);
- Informação sobre calendário produtivo (informação sobre turnos, sobre férias, sobre manutenção preventiva);
- Elementos sobre os recursos, máquinas (nome, tipo, tempo médio de falhas, tempo médio de reparação, recursos alternativos, tempo de manutenção preventiva);

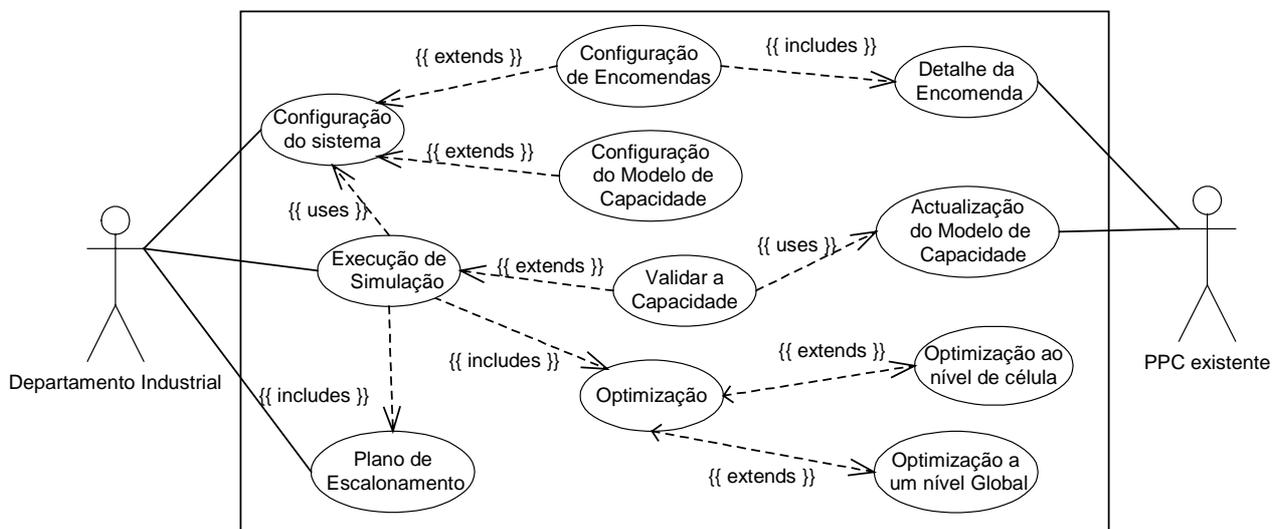


Figura 3 – Diagrama de caso de uso para sistema

- Dados de Monitorização (estado das operações disponíveis);
- Previsão de dados (taxa de refugo, níveis de stock, tempo de atravessamento e capacidade dos fornecedores, etc.).

Informação sobre procura:

- Encomendas da empresa e previsões de encomendas;
- Padrão de encomendas (perfis de mercados).

4. CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO

O trabalho apresentado tenta identificar um conjunto preliminar de requisitos genéricos para a implementação de um sistema de apoio à decisão para o planeamento de encomendas, com ênfase nos requisitos de um ambiente de produção por encomenda. De facto, o objectivo é, na empresa objecto de estudo, conseguir ultrapassar algumas das limitações identificadas nos sistemas PP&C, e no fim implementar um sistema de informação baseado num modelo de simulação, capaz de produzir satisfatoriamente datas de entrega exequíveis tendo em consideração a capacidade disponível e as características do sistema produtivo.

Foram identificados alguns requisitos funcionais genéricos cujo objectivo é auxiliar a execução de um planeamento de capacidade efectivo e eficiente. Entre os objectivos considerados, confia-se que a aplicação permita nivelar a carga de produção em cada célula produtiva e evitar ao mesmo tempo um eventual nível dos em-curso de fabrico.

O trabalho futuro irá incidir sobre a refinação dos requisitos identificados e na especificação preliminar do sistema de apoio à decisão. Em particular, será colocada a ênfase na abordagem de modelação, técnicas e algoritmos a usar no sistema.

Agradecimentos

Agradecemos à empresa DINEFER pela oportunidade e confiança, especialmente ao Eng. João Pedro Conceição pela sua disponibilidade e paciência.

5. BIBLIOGRAFIA

- [1] Chase, R.B., Aquilano, N.J. and Jacobs, F.R. (2001). Operations management for competitive advantage (9thEd.). McGraw-Hill/Irwin, New York, NY.
- [2] JDEDWARDS, (2002). Evolving from master production scheduling to constraint-based manufacturing planning, *A Position Paper*.
- [3] Azevedo, A.L. and Sousa J.P. (2000 a). A Component-Based Approach to Support Order Planning in a Distributed Manufacturing

Enterprise. Journal of Materials Processing Technology, Volume 107, Issue(1-3) pp431-438,2000.

- [4] Wortmann, J.C, Muntslag, D.R. and Timmermans, P.J.M. (1997). Customer-Driven Manufacturing. Chapman & Hall
- [5] Rahimifard, S. , Newman, S. (1995). The role of simulation in operational planning control of flexible machine cells. *Proceedings of the 1995 Winter Simulation Conference*, ed. C. Alexopoulos, K. Kang, W.R. Lilegdon, and D. Goldsman, Hyatt Regency Crystal City, Arlington, VA, December, 793-798. IEEE, Piscataway, New Jersey.
- [6] Law, A. and McComas, M. (1997). Simulation of manufacturing systems, *Proceedings of the 1997 Winter Simulation Conference*, Ed. S. Andratóttir, K. J. Healy, D. H. Withers, and B. L. Nelson, Atlanta, GA, December, 86-89. IEEE, Piscataway, New Jersey.
- [7] Sommerville, I. and Sawyer, P. (1997). Requirements Engineering: A Good Practice Guide, John Wiley & Sons. Chichester.
- [8] Azevedo, A.L. and Sousa J.P. (2000 b). Order Planning For Networked Make-To-Order Enterprises-A Case Study. Journal of the Operational Research Society, Volume 51, Issue 10, October 2000.
- [9] Azevedo, A. and Moreira, A. (2003). Requirements of a Decision Support System for Capacity Analysis and Planning in Enterprise Networks. To be published in ICEIS'03 proceedings – International Conference on Enterprise Information Systems. France.
- [10] Choi, S. D., Kumar, A. R. and Houshyar A. (2002). A simulation study of an automotive foundry plant manufacturing engine blocks, *Proceedings of the 2002 Winter Simulation Conference*, E. Yücesan, C.H. Chen, J.L. Snowdon, amnd J.M. Charnes, eds, San Diego, CA, December, 1035-1040. IEEE, Piscataway, New Jersey.
- [11]Booch, G., Rumbaugh, J. and Jacobson, I. (1999). The Unified Modeling Language User Guide, Addison Wesley.