

Estado d'arte no planejamento mestre e no planejamento agregado da produção

Dayse Mourão Arruda¹ Carlos A. N. Cosenza² Roberto Cintra Martins³ Rogério Macedo Pontes²
daysemou@int.gov.br cosenza@pep.ufrj.br roberto@ind.puc-rio.br rogerio@pep.ufrj.br

1 Instituto Nacional de Tecnologia (INT) – Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

2 COPPE/UFRJ – Rio de Janeiro, RJ, Brasil

3 PUC-Rio –Dpto de Engenharia Industrial, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

RESUMO

Nosso objetivo neste texto é discutir o atual estágio de pesquisa e prática na área do Planejamento Mestre e Planejamento Agregado da Produção. Os dois tópicos são tratados em conjunto, uma vez que as duas atividades são intimamente interligadas e compartilham de vários aspectos de modelagem. Outro motivo para a inclusão dos dois tópicos no mesmo levantamento, é que a literatura disponível para o nível mais agregado, é bastante abundante, se comparada àquela relativa ao Planejamento Mestre. Como temos pontos de modelagem em comum, é possível adaptar um pouco da considerável experiência disponível em relação ao plano agregado, para o caso do programa mestre. Devemos, porém, considerar estas adaptações com ressalvas, pois este último, além de ter várias questões que lhe são próprias, atua num nível mais detalhado e de maior complexidade, com um volume de dados significativamente maior, tornando muitas vezes impraticável a utilização de algumas modelagens que seriam viáveis num nível mais agregado.

Palavras-Chave: Planejamento Mestre, Planejamento Agregado, Estado d'arte

1. Introdução

Podemos definir a atividade de Planejamento Agregado da Produção (PAP) como sendo a determinação dos níveis de produção, mão-de-obra e estoque sobre um horizonte de tempo finito. O Planejamento Mestre da Produção (PMP), por sua vez, é a transposição desses planos de médio prazo da companhia em detalhadas decisões de curto prazo e deve ser elaborado de maneira a ser consistente com o PAP que lhe deu origem. Ambos devem ser definidos levando em consideração as vendas projetadas, os níveis de estoque desejados e de forma a serem compatíveis com as restrições de capacidade da empresa.

A complexidade e relevância dessa atividade de planejamento no contexto produtivo motivaram o desenvolvimento dos mais variados modelos para tratar o problema, mas uma série de fatores torna ainda hoje, muito rara a aplicação desses modelos em situações reais. Uma espécie de lugar comum em muitos dos artigos que abordam o assunto, é o diagnóstico sobre a inadequação dos modelos analíticos em geral, ao problema real de planejamento da produção, e a necessidade de formulações que enfatizem o aspecto realístico. Tendo em vista este quadro, fizemos um levantamento na bibliografia disponível, procurando categorizar as diferentes maneiras de focar a questão, e identificando as restrições encontradas em cada uma delas, com o intuito de dar subsídios ao desenvolvimento de soluções que superem as limitações apontadas.

2. Possibilidades de Abordagem

Ao avaliar a literatura sobre o assunto, podemos diagnosticar diferentes formas de abordar a questão do planejamento agregado e planejamento mestre. Uma primeira e mais clara distinção pode ser percebida quando estudamos a proposta, tendo em vista se o foco é direcionado a sua praticidade e aplicação no contexto produtivo, ou se prioriza o aspecto teórico do problema de planejamento. É certo que não existem limites bem definidos para essa separação, mas optamos por uma organização do material pesquisado dessa forma, para facilitar o entendimento do levantamento realizado, uma vez que os diferentes enfoques enxergam o problema de forma tão variada, que muitas vezes parece outro tema.

Além de distinguirmos uma vertente mais baseada na gestão propriamente dita, de uma outra que prioriza mais o aspecto teórico, consideramos ainda que podemos vislumbrar, dentro dessa linha mais focada na teoria, diferentes formas de tratar a questão, considerando as variadas metodologias empregadas na solução do problema. Observamos então uma linha que trabalha com uma visão mais otimizante, com claro viés matemático e dando os primeiros passos para se associar com sistemas ERP; uma outra tendência que emprega Sistemas Especialistas Simbólicos; e uma corrente mais recente, que procura empregar técnicas de inteligência computacional tais como, algoritmos genéticos, redes neurais e lógica nebulosa, sendo que esta última olharemos com mais profundidade, inclusive destacando entre o enfoque nebuloso otimizante e uma visão mais baseada em raciocínio aproximado.

No mapa conceitual que se segue, organizamos de forma esquemática essas tendências de abordagem, que serão discutidas em detalhe no próximo tópico.

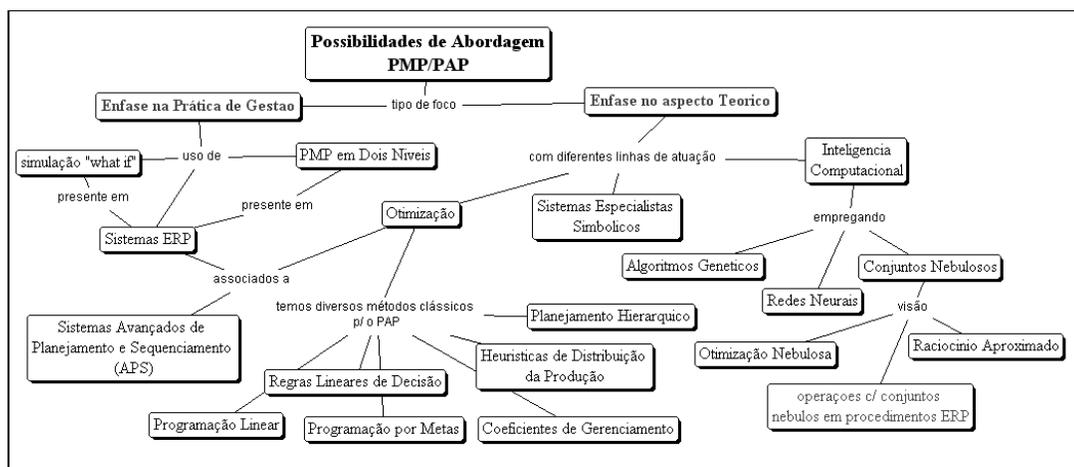


Figura 1 – Mapa conceitual com esquema de possibilidades de abordagem PMP/PAP

2.1. FOCO NA PRÁTICA DE GESTÃO

A abordagem empregando simulações “what if” trabalha prioritariamente com umas poucas variáveis no tempo, numa base de tentativa e erro. O sistema é formulado com base nos fatores de produção e nas relações existentes entre eles. Estas relações são expressas sob a forma de simples equações algébricas cujas variáveis são aquelas normalmente manipuladas pelos gerentes de produção, ou seja, vendas e nível de produção e de estoques entre outras.

A idéia seria estabelecer diferentes planos de produção alternativos e avaliar o impacto dos mesmos sobre alguns parâmetros que se deseja controlar. O gestor escolheria então dentre os diferentes planos gerados qual o que atende melhor aos objetivos estabelecidos.

No que se refere a este enfoque orientado para os aspectos pragmáticos do planejamento da produção, Jacobs e Bendoly (2003) delineiam ainda em seu artigo as tendências de desenvolvimento de sistemas ERP - Enterprise Resource Planning, e salientam que o principal benefício destes softwares não está em sua capacidade de “planejamento”, mas sim no seu funcionamento como um sistema integrado de informações.

Buxey (2003) faz um breve levantamento de técnicas analíticas para determinação do PAP, indicando desde os textos históricos tradicionais até os mais recentes. O autor cita que apesar dos textos teóricos explanarem bem conhecidas técnicas analíticas de obtenção do PAP, na prática os tomadores de decisão empregam uma abordagem baseada na tentativa e erro. Para identificar qual era o procedimento de planejamento mestre e planejamento agregado atualmente seguido nas empresas, fez então uma pesquisa junto a 42 gestores. Segundo a pesquisa, 73.8% das empresas consultadas empregam a estratégia de seguimento da demanda e em nenhuma das 42 empresas é construído um plano agregado “ótimo” para servir de base para a posterior determinação do plano mestre.

Em relação ao atual processo de planejamento mestre na prática, e mais especificamente no escopo da arquitetura de sistemas ERP, podemos identificar que na medida em que tem havido uma complexidade cada vez maior dos produtos, com ampliação da variedade e personalização dos modelos, a utilização de PMP em dois níveis, e conseqüentemente o mecanismo das listas de planejamento de materiais que lhe dão suporte, tem sido cada vez mais necessária, sendo indicada por Lamouri & Thomas (2000), por exemplo, como sendo uma tendência atual nas empresas. Tendo em vista este contexto, Bertrand et al.(2000), propõem em seu artigo uma variante do mecanismo das listas modulares de material, denominada lista de material hierárquica de pseudo-itens.

2.2. MODELOS ANALÍTICOS

Existem na literatura diversos modelos analíticos clássicos adequados ao problema do Planejamento Agregado da Produção. Dentre os mais conhecidos e genéricos podemos citar: Programação Linear (PL); Regras Lineares de Decisão (HMMS¹); Programação por Metas; Heurísticas de Distribuição da Produção; Coeficientes de Gerenciamento e Planejamento Hierárquico da Produção.

Um levantamento detalhado e específico sobre este tipo de abordagem pode ser encontrado em Nam e Logendran (1992).

Seguindo esta linha, Piper e Vachon (2001) reconhecem a tendência generalizada de utilização da estratégia de seguimento da demanda na indústria, corroborando o que foi identificado também na pesquisa de Buxey (2003). Consideram, porém, que esta estratégia tem sérios inconvenientes, pois gera altas perdas de produtividade e capacidade devido à instabilidade da mão-de-obra. Para contornar essa questão propõem um novo PL empregando uma estratégia mista.

Das et al.(2000) desenvolvem um protótipo a partir da integração do modelo de dados de dois aplicativos que funcionam de forma independente, um deles voltado para o PAP e o outro ao nível do PMP. O aplicativo de nível mais alto foi modelado como um problema de PL cujo resultado é um plano agregado otimizado, que visa minimizar o custo de produção satisfazendo a demanda projetada sobre o horizonte de planejamento. A partir dessa

¹ Também conhecidas como “Regras HMMS” devido aos seus autores, Holt, Modigliani, Muth e Simon.

formulação e empregando a linguagem de modelagem GAMS e o solver CPLEX², os dois modelos relativos aos respectivos níveis de planejamento são implementados.

Ozdamar et al. (1998) por sua vez, desenvolveram um software a partir do enfoque do Planejamento Hierárquico da Produção. O modelo matemático usado no nível mais agregado inclui uma função objetivo linear para minimizar custos totais de produção e inventário considerando restrições de capacidade e estoque. São empregados algoritmos de desagregação para o nível de família e para o nível de itens finais, além de uma heurística construtiva para o PMP. Este plano mestre resultante é exportado para a base de dados do sistema MRP, assim como os dados do MRP servem de entrada para o Sistema Hierárquico de Suporte a Decisão proposto.

2.3. MODELOS ANALÍTICOS ASSOCIADOS A SISTEMAS ERP

Em artigos mais recentes, podemos identificar uma vertente mais nova, que indica a associação de ferramentas disponíveis no âmbito da Pesquisa Operacional - PO com softwares ERP. Algumas empresas de desenvolvimento já estão comercializando softwares que possuem poderosos recursos de otimização tais como programação inteira mista, por exemplo, configurando os chamados Sistemas Avançados de Planejamento e Sequenciamento (APS - Advanced Planning and Scheduling).

Este avanço é decorrente da pressão de mercado que exige melhorias na performance da manufatura, da contínua evolução e barateamento da tecnologia computacional, e do desenvolvimento de linguagens de modelagem matemática de alto nível tais como o AMPL³ e o CPLEX.

Aplicativos que oferecem suporte ao processo de decisão na atividade de planejamento, não fazem parte da arquitetura típica dos sistemas ERP, mas estão começando a ser oferecidos como um instrumento adicional. Jacobs e Bendoly(2003) argumentam que, apesar do seu potencial, a utilização dos recursos da PO está surpreendentemente longe de ser significativa neste contexto.

É importante observar, no entanto, que esta associação de ferramentas da PO com sistemas ERP, ainda tem algumas das restrições que encontramos normalmente no emprego da abordagem otimizadora no processo de geração do PAP/PMP. Como bem lembrado por Clark (2003), mesmo nestes softwares modernos, a tarefa de formular o problema de otimização ainda fica por conta do usuário, o que está longe de ser uma atividade trivial, e possibilita consequentemente, a criação de modelos incorretos ou com tempo de execução absolutamente inviável. Esta restrição por si só, configura um grave entrave a utilização dessas ferramentas na prática.

2.4. SISTEMAS ESPECIALISTAS SIMBÓLICOS

Um Sistema Especialista (SE), também chamado Sistema Baseado em Conhecimento, ou ainda SE “convencional”, corresponde a um dos campos da Inteligência Artificial e teve uma grande disseminação nas décadas de 80 e 90.

Estes sistemas possuem um bem organizado corpo de conhecimento, relativo a um domínio de especialidade restrito e podem resolver problemas, com níveis equivalentes aos obtidos por especialistas, a partir do uso de complexos mecanismos de inferência.

² Informações sobre o software podem ser encontradas em <http://www.ilog.com/products/cplex/>

³ Para maiores informações vide Fourer et al (1993) ou o site do software AMPL (www.ampl.com)

Ao usar o termo "convencional" estamos querendo distinguir aqui, os sistemas assim denominados por Cox (1994, p.211) e que empregam a lógica clássica como base para seu mecanismo de inferência, dos Sistemas Especialistas Nebulosos que trataremos mais adiante.

Para o caso do PMP, por exemplo, Li et al. (1992) propõem um SE que também combina simulação e técnicas de otimização. O protótipo desenvolvido gera uma solução inicial através do emprego de um algoritmo de programação por metas para determinar a produção de cada item no ano como um todo, e regras de produção, que constituem uma forma de representar conhecimento, para incluir no sistema a experiência do especialista referente à transformação da produção anual em produção mensal.

No artigo de Wong et al. (1994) encontramos uma extensa pesquisa feita junto a 98 empresas para avaliar a utilização de SEs na manufatura de um modo geral. Os resultados revelaram que aproximadamente 8% delas usavam sistemas baseados neste tipo de abordagem em questões ligadas ao planejamento e controle da produção.

2.5. INTELIGÊNCIA COMPUTACIONAL

A Inteligência Computacional (IC) tem como princípio norteador, o emprego da tolerância a imprecisão, a incerteza, a verdades parciais e aproximações, de forma a obter soluções tratáveis, robustas, de mais baixo custo e mais vinculadas a realidade.

Este tópico na realidade se refere a um conjunto de técnicas computacionais das quais os principais membros são a Lógica Nebulosa, Redes Neurais Artificiais, Computação Evolucionária e Raciocínio Probabilístico, e mais recentemente Teoria do Caos e Aprendizado de Máquina, entre outros. Em linhas gerais, a Lógica Nebulosa é bem eficiente nos casos que lidam com imprecisão e raciocínio aproximado, enquanto que as Redes Neurais tem capacidade de aprendizado e adaptação, além da identificação de sistemas. Quanto à Computação Evolucionária, esta atua na busca aleatória sistematizada e otimização. O Raciocínio Probabilístico, por sua vez, foca na análise de decisão e gerenciamento de incerteza.

Vamos destacar em nosso texto, as pesquisas com aplicação de Lógica Nebulosa para o planejamento agregado e planejamento mestre, das demais abordagens da IC, porque desejamos discuti-la em mais detalhe.

Em seu artigo, Wang e Fang (1997) propõem para a resolução do PAP, uma abordagem baseada em algoritmos genéticos para imitar o processo de decisão humano no planejamento da produção.

Ao invés de obter uma solução ótima, a abordagem proposta encontra uma família de soluções inexatas, dentro de um nível considerado aceitável. A partir daí o tomador de decisão pode selecionar uma solução examinando a combinação convexa das soluções na família de soluções obtidas, via interação com o computador.

O problema é modelado como PLN, porém ao invés de parar na obtenção da solução ótima, emprega Algoritmos Genéticos para gerar soluções inexatas próximas a solução ótima obtida inicialmente. Essas soluções seriam escolhidas pelo gestor e combinadas através da interação com o software, até chegar à solução desejada.

Keung et al. (2003) empregam também Algoritmos Genéticos, porém focalizando mais no aspecto de gerenciamento de ferramentas, num contexto de sistemas flexíveis de manufatura. O artigo descreve um modelo de controle hierárquico inteligente atuando em três níveis, tratando respectivamente: da identificação de roteiros alternativos de ferramentas; definição de programas de produção de itens de forma atender a demanda e níveis de estoque e, por último; do sequenciamento das atividades de forma a otimizar a utilização de máquinas e balancear a capacidade do estoque de ferramentas de uma estação de trabalho flexível.

Huin et al. (2003) por sua vez, propõem uma ferramenta que incorpora Redes Neurais Artificiais e Raciocínio Baseado em Casos (RBC), aliadas ao Planejamento Superficial da Capacidade⁴, que é uma das funções dentro da arquitetura de sistemas ERP.

Os autores partiram de um sistema ERP padrão juntamente com um software de simulação, e construíram uma interface no ERP para permitir carregar o simulador que executa a parte relativa ao processamento da rede neural e ao RBC. Este último possui uma biblioteca com 20 casos diferentes.

O Raciocínio Baseado em Casos é um paradigma relativamente novo para representação do raciocínio e aprendizado e objetiva reproduzir o processo de resolução de problemas humanos, obtendo a solução de novos casos a partir da observação da solução de situações passadas semelhantes.

Este enfoque encapsula o conhecimento e a informação relacionada com um caso. Cada caso contém sua descrição, a solução proposta e o resultado obtido. Em sistemas do tipo RBC, o raciocínio e o conhecimento usado pelo especialista para resolver um problema fica armazenado sob a forma de uma biblioteca de casos e não através de regras clássicas.

Em Aamodt e Plaza (1994) podemos encontrar uma boa explanação sobre RBC.

2.5.1. TEORIA DOS CONJUNTOS NEBULOSOS

Os trabalhos desenvolvidos a partir dos conceitos oriundos da Teoria dos Conjuntos Nebulosos ou de algum dos seus ramos, tais como a Lógica Nebulosa, possibilitam uma modelagem adequada ao tratamento de problemas ambíguos e com dados imprecisos.

Nesta vertente podemos distinguir três formas de focar o problema do planejamento da produção, as quais descreveremos: otimização nebulosa, sistemas de inferência nebulosa ou ainda, operações com conjuntos nebulosos.

2.5.1.1. OTIMIZAÇÃO NEBULOSA

Este é o nome atribuído a um conjunto de técnicas que são empregadas em problemas de otimização e que objetivam trabalhar em ambientes de decisão caracterizado pela incerteza, fazendo uso da teoria dos conjuntos nebulosos. Podemos dizer em outras palavras, que a otimização nebulosa pode ser entendida como um problema clássico de otimização, flexibilizado de forma a permitir uma tomada de decisão num escopo mais amplo e flexível, uma vez que podemos, por exemplo, não querer descartar uma decisão muito favorável apenas por que violaria uma restrição excessivamente rígida.

⁴ Também denominado RCCP - Rough Cut Capacity Planning

O principal objetivo neste caso é encontrar a “melhor” alternativa de decisão, a partir de informação incompleta, imprecisa, ou com limites pouco definidos.

Podemos considerar a Programação Linear Nebulosa (PLN) como um caso particular da otimização nebulosa. É importante salientar, no entanto, que a programação linear nebulosa não consiste de um modelo único, mas sim de uma série de modelos, cuja formulação depende dos pressupostos ou características do problema tratado.

Um apanhado geral desses modelos pode ser visto em Rommelfanger (1996) que faz um levantamento onde são discutidos os diversos métodos para resolver PLNs.

Considerando o ferramental oferecido por este tipo de abordagem, Lehtimäki (1987) trata da questão do replanejamento do plano mestre no caso de haver necessidade de alteração nos pedidos por solicitação dos clientes. O tópico é modelado como um problema de decisão com múltiplos objetivos e seleciona entre planos alternativos, aquele que maximize o nível de satisfação do cliente e atenda as restrições do problema. A decisão é vista como sendo a interseção entre as restrições dadas e as metas, a partir da abordagem proposta em Bellman & Zadeh (1970).

Inuiguchi et al. (1994) comparam o desempenho da programação por metas e da programação nebulosa, a partir da aplicação de ambas num problema simples de planejamento da produção, com dois produtos, dois processos, quatro restrições e considerando informações ambíguas. Os autores concluem em sua análise que a programação nebulosa retrata de forma mais adequada a ambigüidade intrínseca ao problema.

Miller et al. (1997) apresentam um modelo de PL nebuloso para planejamento da produção de uma empresa empacotadora de tomate fresco, cujas restrições e a função objetivo são flexibilizadas e representadas sob a forma de conjuntos nebulosos lineares, considerando a abordagem proposta por Zimmermann (1976 apud Miller et al., 1997). Em sua resolução, o modelo de PLN é convertido num modelo auxiliar empregando PL inteira mista. A inclusão de variáveis binárias foi necessária para garantir que não seriam propostas soluções empregando hora-extra antes de ser consumida a hora regular disponível. Segundo os autores, o modelo foi testado com um conjunto de dados da empresa, considerando oito plantadores como fornecedores para uma única linha de empacotamento, e obteve custos dez vezes mais baixos se comparados com aqueles obtidos através de um modelo de PL clássico, também implementado com esse objetivo.

Hsu e Wang (2001) propõem um modelo de programação linear nebulosa para gerenciar o problema do planejamento da produção. O modelo executa ajustes na demanda projetada, gerenciamento de material e atividades de produção. Uma vez construído o modelo de PLN, os autores transformam a função objetivo nebulosa em um PL clássico. Também constam do artigo o pseudocódigo do algoritmo e um exemplo numérico para uma fábrica com dois tipos de produtos e seis componentes.

Wang e Liang (2004) por sua vez, apresentam um modelo de PLN multi-objetivos para resolver o problema do PAP numa situação multi-produtos. O modelo visa minimizar os custos totais de produção, custos de manutenção e de ordens em atraso, assim como as taxas de mudança nos níveis de mão-de-obra, levando em consideração o nível de inventário, de mão-de-obra, de capacidade de produção, espaço disponível em depósitos e valor da moeda no tempo. Os autores fazem inicialmente um breve apanhado sobre técnicas de otimização tradicionais e nebulosas para resolver o problema. É discutido também um exemplo numérico,

que uma vez convertido num PL clássico equivalente, foi resolvido empregando o software LINDO. Segundo o próprio autor, o modelo ainda precisa ser modificado para poder atender a aplicações práticas.

2.5.1.2. OPERAÇÕES COM CONJUNTOS NEBULOSOS

Neste tipo de abordagem, observamos a utilização de conjuntos nebulosos em procedimentos que tradicionalmente empregam números “nítidos”⁵ em seus cálculos, para evitar os problemas causados pelo uso de dados imprecisos no resultado do planejamento.

Este é o caso de Verma (2001), que focaliza no cálculo das necessidades de capacidade no escopo do plano mestre e especifica para isso procedimentos de cálculo equivalentes aos usados no RCCP e CRP⁶, porém fazendo operações com números nebulosos triangulares ao invés de usar os valores nítidos no caso de algumas variáveis de entrada e saída tais como: quantidades programadas do plano mestre, perfis de recurso, tempo de preparação por lote e tempo de processamento, entre outras.

2.5.1.3. SISTEMAS DE INFERÊNCIA NEBULOSOS

Podemos definir um Sistema de Inferência Nebuloso (SIN) como sendo uma estrutura computacional baseada nos conceitos da teoria dos conjuntos nebulosos, regras nebulosas e no *raciocínio aproximado*⁷. Dada a sua natureza multidisciplinar também são conhecidos por outros nomes, tais como Sistemas Especialistas Nebulosos ou Sistemas Nebulosos Baseados em Regras.

Em linhas gerais, podemos dizer que o *raciocínio aproximado* corresponde a um processo de inferência que deriva conclusões a partir de um conjunto de regras nebulosas e de fatos conhecidos.

No que se refere a resolução do PAP, a partir do uso de raciocínio aproximado, temos a proposta de Rinks (1982a, 1982b) que trabalha com dois conjuntos de 40 regras nebulosas baseadas na experiência. Estas regras definem o nível de produção agregada total e o nível de mão-de-obra a partir das vendas e do inventário defasados no tempo. Os resultados obtidos com a utilização dos algoritmos no já clássico conjunto de dados da fábrica de tintas do artigo de Holt et al. (1955) excedem os valores de custo obtidos pelo modelo HMMS em apenas 5%, mesmo sem considerar os custos explicitamente em sua formulação.

Turksen (1988, 1989, 1992) partiu da mesma modelagem, e conseguiu resultados equivalentes, porém trabalhou com funções de pertinência contínuas definidas por intervalo, e reduziu o número de regras para 27 devido à redução do número de conjuntos nebulosos considerados.

Ward et al. (1992) também usam como base o trabalho de Rinks e implementaram um programa em C, com algumas alterações em relação à proposta original, para avaliar os efeitos da granulosidade na qualidade da solução. Para isso, reduziram os pontos avaliados de 25 para 13, trocaram as funções de pertinência exponenciais usadas originalmente por funções

⁵ Vários autores, tais como Ross(1995), usam para o conjunto visto na teoria dos conjuntos clássica a terminologia "*crisp set*", no sentido de *conjunto nítido, bem definido*, para distingui-lo do conjunto nebuloso.

⁶ Capacity Requirements Planning ou Planejamento das Necessidades de Capacidade

⁷ vide Jang et al (1997, p. 73)

triangulares, e aumentaram o número de regras utilizadas. Conseguiram, desta forma, alcançar os mesmos resultados de Rinks.

Em seu outro artigo Ward & Ralston (1991) formulam em linhas gerais um procedimento que objetiva estender a modelagem proposta por Rinks para a produção agregada total, para o caso de múltiplos itens. Sugeriram com esta finalidade, o acréscimo de regras que proporcionariam ajustes nos planos disjuntos construídos para cada produto individualmente e citaram que seria interessante o uso de algoritmos genéticos para definir regras que inter-relacionem os itens.

Arruda et al.(2005) aplicaram o mesmo tipo de abordagem, considerando o problema do planejamento mestre. Após refinamentos sucessivos, foram geradas 80 regras num simulador com o objetivo de implementar a estratégia de seguimento da demanda, empregando respectivamente os operadores nebulosos de **mínimo** para avaliação das regras, de **soma limitada** para a etapa de agregação e **centróide** para a defuzzificação. Uma outra base de regras está em desenvolvimento para tratar a estratégia de nivelamento da produção.

Na tabela 1 organizamos de forma resumida as informações relativas aos artigos discutidos, com indicação do modelo empregado e do objetivo do trabalho.

Tabela 1 – Relação dos artigos pesquisados e respectivos modelos

<i>Artigos</i>	<i>Abordagem empregada</i>	<i>Foco</i>
Rinks (1982a, 1982b)	Sistemas de Inferência Nebulosa	PAP
Turksen (1988, 1989, 1992)	Sistemas de Inferência Nebulosa	PAP
Lehtimäki (1987)	Programação nebulosa multi objetivos	Seleção entre PMPs alternativos em caso de alteração de pedidos
Ward & Ralston (1991) Ward et al. (1992)	Sistemas de Inferência Nebulosa	PAP
Li et al.(1992)	SE simbólico, simulação e programação por metas	Planejamento mestre
Nam & Logendran(1992)		Levantamento detalhado sobre métodos analíticos no PAP
Inuiguchi et al.(1994)	Programação por metas x programação nebulosa	PAP
Wong et al. (1994)		Pesquisa de campo para identificar uso de SEs na manufatura
Miller et al.(1997)	PLN	PMP
Wang & Fang(1997)	Algoritmos genéticos e PLN	PAP
Guiffrida & Nagi(1998)		Levantamento sobre uso de Conjuntos Nebulosos no Planejamento da Produção
Ozdamar et al.(1998)	Planejamento Hierárquico da Produção	PAP/PMP
Das et al.(2000)	PL	PAP/PMP
Lamouri & Thomas(2000)	Lista modulares de material	PMP em dois níveis
Bertrand et al.(2000)	Lista modulares de material	PMP em dois níveis
Hsu & Wang(2001)	PLN	PAP
Piper & Vachon(2001)	PL	PAP
Verma (2001)	Operações com conjuntos Nebulosos / procedimentos de análise de capacidade do ERP	Análise de capacidade no plano mestre
Keung et al.(2003)	Algoritmos Genéticos	Sequenciamento e PMP
Clark (2003)	Programação inteira mista	PMP
Buxey(2003)		Pesquisa bibliográfica e de campo sobre processo de PAP/PMP empregado na prática

Huin et al.(2003)	Redes Neurais/RBC – ERP	PMP
Jacobs & Bendoly(2003)	ERP	Tendências futuras ERP
Bru et al.(2004)		Levantamento sobre o uso de Conjuntos Nebulosos no planejamento da produção
Wang & Liang(2004)	PLN multi-objetivos	PAP
Arruda et al. (2005)	Sistemas de Inferência Nebulosa	PMP
Mula et al. (2006)		Levantamento sobre modelos para lidar com incerteza em problemas de gestão

3. Conclusão

As críticas feitas à abordagem que emprega simulações "what if" , restringem-se ao fato do sistema funcionar apenas como uma espécie de "calculadora" e depender completamente da performance do tomador de decisão, sem nenhuma garantia quanto à proximidade da solução em relação ao ótimo.

Este, no entanto, não chega a ser um problema tão grave se comparamos às restrições feitas aos métodos analíticos clássicos, cuja pouca utilização na prática tem sido tradicionalmente atribuída a questões tais como: desconhecimento dos gestores nas técnicas empregadas e conseqüente desconfiança em relação aos resultados; dificuldade de modelar as metas gerenciais sob a forma de funções matemáticas, pois estas são intrinsecamente conflitantes, com múltiplos objetivos e com uma série de fatores qualitativos; ou ainda, dificuldade/impossibilidade de obter os dados necessários para implantação com o nível de precisão necessário.

Outra questão também levantada como uma séria restrição ao uso, é o aspecto “caixa preta” da maioria das abordagens propostas, inclusive as mais modernas como as baseadas em algoritmo genético, redes neurais ou modelos nebulosos otimizantes. O enfoque baseado em sistemas baseados em conhecimento, tanto os simbólicos como os que empregam lógica nebulosa, por sua vez, possibilitaria uma opção mais “transparente” para o gestor, na medida em que sua estrutura emprega justamente as regras que suportam o processo decisório do seu dia-a-dia, permitindo simular o seu próprio processo de tomada de decisão. Vale ressaltar, no entanto, que o processo de construção e refinamento das bases de regras exige um considerável esforço.

No que se refere aos altos custos de desenvolvimento e a necessidade de especialistas para sua modelagem, esta é uma dificuldade compartilhada por todas as alternativas, com exceção daquela que emprega simulações “what if”.

4. Referências

- AAMODT, A., PLAZA, E., Case-Based Reasoning: Foundational Issues, methodological Variations, and System. AICom - Artificial Intelligence Communications, vol 7 : 1, p. 39-59, 1994.
- ARRUDA, D. M; JARDIM, E.G.M.J.; MARTINS, R.C. Planejamento mestre da produção: entendendo o problema e propondo solução através de uma abordagem combinada. In: II Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia, Anais eletrônicos, Resende, RJ: AEDB, 2005, CD-ROM.
- BELLMAN, R. & ZADEH, L.A. Decision-making in a fuzzy environment. *Management Science*, 17, p. 141-164, 1970.

- BERTRAND, J.W.M., ZUIJDERWIJK, M., HEGGE, H.M.H. Using hierarchical pseudo bills of material for customer order acceptance and optimal material replenishment in assemble to order manufacturing of non-modular products. *Int. J. Production Economics* , vol 66, p. 171-184, 2000.
- BUXEY, G. Strategy not tactics drives aggregate planning. *Int. J. Production Economics*, vol. 85, n. 3, p. 331-346., 2003.
- CLARK., A. R., Optimization approximations for capacity constrained material requirements planning. *Int. J. Production Economics* vol 84, p. 115-131, Elsevier Science, 2003.
- COX, E. *The Fuzzy Systems Handbook, a Practitioner's Guide to Building, Using, and Maintaining Fuzzy Systems*. USA: Academic Press, 626 p., 1994.
- DAS, B.P., RICKARD, J.G., SHAH, N., MACCHIETTO, S., Na investigation on integration of aggregate production planning, master production scheduling of batch process operations through a common data model. *Computer and Chemical Engineering*, vol 24, p. 1625-1631, 2000.
- FOURER, R., GAY, D.M e KERNIGHAN,B.W., A Modeling Language for Mathematical Programming. *Management Science* , 36, 1990, p. 519-554.
- HOLT, C.C., MODIGLIANI, F. & SIMON, H.A, A linear decision rule for production and employment scheduling. *Management Science*, vol. 2, n.1, p. 1-30, 1955.
- HSU, H.-M & WANG, W.-P, Possibilistic programming in production planning of assemble-to-order environments. *Fuzzy sets and Systems*, vol. 119, p. 59-70, 2001.
- HUIN, S. F., LUONG, L. H. S., ABHARY, K., Knowledge-based tool for planning of enterprise resources in ASEAN SMEs. *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, vol. 19, p. 409-414, 2003.
- INUIGUCHI, M, SAKAWA, M. KUME, Y. The usefulness of possibilistic programming in production planning problems. *International Journal of Production Economics*, 33, p. 45-52, 1994.
- JACOBS, F.R. e BENDOLY, E. Enterprise resource planning: Developments and directions for operations management research context. *European. J. of Operational Research*, vol 146, p. 233-240, 2003.
- JANG, J. R., SUN, C. e MIZUTANI, E. *Neuro-Fuzzy and Soft Computing: A Computacional Approach to Learning and Machine Intelligence*. USA: Prentice-Hall. Inc., 607 p., 1997.
- KEUNG, K. W., IP, W. H., YUEN, D., An intelligent hierarchical workstation control model for FMS. *J. of Materials Processing Technology*, vol. 6734, p. 1-6, 2003.
- LAMOURI, S. & THOMAS, A., The two level master production schedule and planning bills in a just in time MRP context. *Int. J. Production Economics*, vol 64, p. 409-415, 2000.
- LEHTIMÄKI, A.K., VACHON, S. An Approach for solving decision problems of master scheduling by utilizing theory of fuzzy sets. *International Journal of Production Research*, vol 25, n. 12, p. 1781-1793, 1987.
- LI, Z., TANG, H., TU, H., An expert simulation system for the master production schedule. *Computers in Industry*, vol. 19, p. 127-133, 1992.
- MILLER, W.A., LEUNG, L.C., AZHAR, T.M., SARGENT, S. Fuzzy production planning model for fresh tomato packing *International Journal of Production Economics*, 53, p. 227-238, 1997.

MULA, J., POLER, R., GARCIA-SABATER, J.P., LARIO, F.C.. Models for production planning under uncertainty: A review. *International Journal of Production Economics*, 103, p. 271-285, 2006.

NAM, S. E LOGENDRAN, R., Aggregate production planning - A survey of models and methodologies. *European Journal of Operational Research*, vol 61, p. 255-272, 1992.

ÖZDAMAR, L., BOZYEL, M.A., BIRBIL, S.I., A hierarchical decision support system for production planning (with case study). *European Journal of Operational Research*, vol. 104, p. 403-422, 1998.

PIPER, C.J., VACHON, S. Accounting for productivity losses in aggregate planning. *International Journal of Production Research*, vol 39, n. 17, p. 4001-4012, 2001.

RINKS, D.B., The performance of fuzzy algorithm models for aggregate planning under differing cost structures, In: GUPTA, M.M., SANCHEZ, E., (eds), *Fuzzy Information and Decision Process*, Amsterdam: North-Holland Publishing, 1982a, p. 267-278.

_____, A heuristic approach to aggregate production scheduling using linguistic variables, In: YAGER, R.R., (ed), *Fuzzy Set and Possibility Theory*, New York: North-Holland Publishing, 1982b, p. 562-581.

ROMMELFANGER, H., Fuzzy linear programming and applications. *European Journal of Operational Research*, vol. 92, p. 512-527, 1996.

ROSS, T. J., *Fuzzy logic with engineering applications*, USA: McGraw-Hill, 1995, p. 600.

TURKSEN, I.B., Approximate reasoning for production planning. *Fuzzy sets and Systems*, vol. 26, p. 23-37, 1988.

_____, Four Methods of approximate reasoning with interval-valued fuzzy sets. *International Journal of Approximate Reasoning*, vol. 3, p. 121-142, 1989.

_____, Fuzzy expert systems fo IE/OR/MS. *Fuzzy sets and Systems*, vol. 51, p. 1-27, 1992.

VERMA, M.K., *Capacity planning under fuzzy environment*, Dissertação de Mestrado , University of Manitoba, Department of Mechanical and Industrial Engineering, Manitoba, 157 p., 2001.

WANG, D., FANG, S., A genetics-based approach for aggregated production planning in a fuzzy environment. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics-part A: Systems and Humans*, vol. 27, n.5 , p. 636-645, 1997.

WARD, T.L., RALSTON, P.A.S., Fuzzy control of production planning in distributed manufacturing systems. In: STEPHANOU H.E. & LEVIS, A.H.(eds.), *Distributed Intelligence Systems*, Oxford, p. 89-93, 1992.

WARD, T.L., RALSTON, P.A.S., DAVIS, J.A., Fuzzy logic control of aggregate production planning. *Computers and Industrial Engineering*, vol. 23, n.1-4 , p. 137-140, 1992.

WONG, B. K., CHONG, J. K. S., PARK, J., Utilization and benefits of expert systems in manufacturing: A study of large American industrial corporations. *Int. J. Operations & Production Management*, vol. 14, n.1 , p. 38-49, 1994.

ZIMMERMANN, H.-J., Description and optimization of fuzzy systems. *Inter. J. General System*, 2, p. 209-215, 1976.