



Instituto Superior de Economia e Gestão

PLANEAMENTO AGREGADO DA PRODUÇÃO: UMA REVISÃO DA LITERATURA

João Paulo Brito da Silva

Director Financeiro do Grupo Amorim

João Veríssimo Lisboa

Professor Associado
da Faculdade de Economia da Universidade de Coimbra
Instituto de Sistemas e Robótica

Resumo

O planeamento agregado da produção tem como objectivo determinar a maneira mais eficiente de utilizar os recursos de que a empresa dispõe, de modo a satisfazer a sua procura. São numerosos os trabalhos publicados sobre este assunto, tendo já diversos autores efectuado a sua classificação. Neste trabalho, agrupando os trabalhos de maior relevância em duas grandes categorias, «Modelos de planeamento agregado de produção que produzem soluções óptimas» e «Modelos de planeamento agregado de produção que produzem soluções quase óptimas», efectua-se uma síntese e actualização da literatura existente sobre este assunto. Pretendemos, assim, facilitar aos estudiosos destas matérias uma consulta rápida e precisa sobre a bibliografia fundamental actualmente existente neste domínio.

Introdução

Nos últimos anos o planeamento agregado da produção tem assumido especial relevância no sucesso de um grande número de empresas e merecido uma especial atenção por parte dos responsáveis pela gestão da produção. De facto, devido à significativa alteração do ambiente operativo das empresas — nomeadamente, a introdução de novas filosofias de gestão como o JIT e o TQM, as exigências de uma clientela cada vez mais sofisticada, o fácil acesso às novas tecnologias e a crescente evolução da cooperação entre empresas —, tem-se verificado uma mudança da atitude dos gestores relativamente aos problemas de planeamento da produção.

A partir do início dos anos 50, com o trabalho de Holt *et al.* (1955) que deram origem à conhecida Regra de Decisão Linear, têm sido efectuados numerosos estudos sobre este tema. O problema consiste em calcular, período a período e para um determinado nível da capacidade fabril, as quantidades de produto a fabricar e os níveis de mão-de-obra a utilizar, de modo a minimizar os custos de produção da empresa e a satisfazer a sua procura.

A literatura sobre este tema é bastante vasta e centra-se à volta de modelos com maior ou menor sofisticação, dando uns origem a soluções denominadas óptimas e outros a soluções não óptimas. Diversos autores têm tentado estabelecer uma classificação sistemática dos principais modelos existentes, assim como dos subseqüentes desenvolvimentos que vão surgindo. A este propósito, destacam-se os trabalhos de Saad (1982), Nam e Longendran (1992a) e Pan e Kleiner (1995). O objectivo deste artigo é precisamente rever os estudos de maior referência na literatura sobre o planeamento agregado da produção e alguns dos trabalhos comparativos realizados sobre este assunto. Pretendemos, também, reunir os trabalhos de maior relevância, de modo a facilitar aos estudiosos destas matérias uma consulta rápida sobre a bibliografia fundamental actualmente existente.

Utilizou-se como critério de classificação dos modelos a sua capacidade de gerar soluções óptimas e soluções quase-óptimas. Para cada um dos modelos apresentados procura dar-se uma ideia das suas principais características e vantagens da sua utilização.

A. Modelos de planeamento agregado da produção que produzem soluções óptimas.

Os modelos matemáticos utilizados para a obtenção de soluções (óptimas) para o problema do planeamento agregado da produção diferem basicamente na definição da natureza das funções de custo: lineares ou não lineares. No caso dos custos não lineares, se eles puderem ser aproximados a funções quadráticas, então o cálculo diferencial é o método que permite derivar a solução óptima; se não puderem ser representados satisfatoriamente por funções quadráticas, o problema torna-se mais complexo, não havendo, geralmente, técnicas que garantam a obtenção da solução óptima. A alternativa pode passar, no entanto, por formular uma aproximação linear a esses custos e aplicar as técnicas de optimização existentes para problemas lineares.

O objecto dos pontos que se seguem é, justamente, a revisão destas diferentes abordagens.

A.1. A Regra de Decisão Linear (*Linear Decision Rule* – LDR)

A metodologia da Regra de Decisão Linear foi apresentada por Holt *et al.* (1955a), descrevendo também Holt *et al.* (1955b), a aplicação desta regra a uma fábrica de tintas. Este modelo, conhecido pelas siglas LDR (*Linear Decision Rule*) ou HMMS (iniciais dos quatro autores), constitui, nas palavras de Singhal e Singhal (1996) «o modelo que continua a ser utilizado como referencial para avaliação do desempenho de outros modelos de planeamento agregado da produção», por produzir consistentemente soluções de custo substancialmente inferior às que resultam dos modelos de planeamento de produção alternativos.

O modelo HMMS considera custos relevantes os associados às horas de trabalho normal (função linear do número de trabalhadores) e os relativos a despedimentos, contratações, horas extraordinárias e posse de existências, todos estes aproximados por funções quadráticas.

A solução é determinada por duas regras lineares que dão a conhecer o nível de mão-de-obra e o volume de produção, sendo aquelas funções da procura previsional (ponderando com maior peso as encomendas mais próximas no tempo), do número de trabalhadores e do nível de existências do período anterior.

Os autores analisaram a aplicação das regras para a produção e nível de força de trabalho numa fábrica de tintas. Os resultados obtidos para os anos de 1949 a 1953 mostraram que os custos gerados pelas decisões da empresa eram 27 % superiores aos que resultariam da aplicação da LDR com previsão imperfeita e 39 % superiores se utilizada a previsão perfeita. Uma das vantagens deste modelo, segundo HMMS e outros autores como Van de Panne e Bosje (1962), é a sua insensibilidade aos erros de estimação da procura e dos próprios coeficientes da função de produção.

Posteriormente, o modelo HMMS teve substanciais desenvolvimentos, nomeadamente, Bergstrom e Smith (1970) fizeram uma extensão da LDR ao planeamento da produção multi-item. Os autores propuseram um modelo alternativo, admitindo também o pressuposto de funções de custo quadráticas, que assenta na eliminação da procura previsional especificada na LDR por não constituir um pressuposto válido quando considerados vários itens. Em sua substituição, deve estimar-se a curva de lucros de cada produto em cada período do horizonte temporal para, depois de obtidas essas curvas, se maximizarem os lucros no horizonte temporal, calculando vendas óptimas por produto através do modelo e, em simultâneo, determinar o volume de produção e o nível de existências para este programa de vendas óptimo. O modelo tem como objectivo maximizar os lucros da empresa, incorporando variáveis de decisão da área funcional de *marketing*. É portanto de uma concepção mais lata do que a dos modelos de planeamento agregado da produção, que apenas se preocupam com a optimização de uma área funcional.

Kamien e Li (1990); referindo-se à importância da subcontratação na indústria, não só pela reconhecida dependência de determinadas empresas da produção contratada a terceiros, mas também por considerarem a subcontratação uma importante estratégia no planeamento da produção, propõem um modelo que explicitamente a inclua. O modelo foi desenvolvido tomando por base um universo de apenas duas empresas, mas extensível a cenários com maior número de empresas, e sem grande rigor matemático nos seus pressupostos. O total de custos para ambas as empresas num mecanismo de subcontratação é o que resulta da produção interna, da produção subcontratada e das entregas associadas à subcontratação. Os autores, após determinação da solução eficiente para a relação de subcontratação, introduzem esta estratégia no modelo HMMS, concluindo pela utilidade da subcontratação como estratégia de planeamento.

Um outro desenvolvimento importante da Regra de Decisão Linear foi sugerido por Singhal e Singhal (1996) que propuseram um método alternativo para resolução da LDR e de efectuar análise de sensibilidade aos parâmetros do modelo. A derivação das regras de decisão do modelo LDR foi obtida pressupondo um horizonte temporal infinito, com coeficientes de custo invariáveis, podendo ser truncado num horizonte mais ou menos largo. A alternativa proposta por aqueles autores consiste em desenvolver algoritmos não iterativos que permitam determinar a solução óptima para planos com períodos temporais finitos. Este método permite a utilização de coeficientes de custo diferentes em cada período e ainda planos alternativos com base em valores específicos de uma ou mais variáveis. Permite também introduzir restrições nos valores terminais, como por exemplo no nível de existências e efectuar uma análise de sensibilidade (comparação dos planos) com base na variação desses valores. A complexidade dos procedimentos cresce linearmente com o número de períodos contemplados.

A.2. Modelos de Programação Linear (*Linear Programming* - LP)

Os modelos de programação linear pretendem traduzir matematicamente o problema do planeamento agregado da produção no contexto de um modelo de programação linear normalizado. Assumem um conjunto de pressupostos quase comuns a todos eles e que basicamente podem resumir-se no seguinte: a procura é considerada determinista e os custos de produção, bem como os que resultam das variações de níveis de produção, são lineares ou aproximados a funções lineares.

As vantagens dos modelos de programação linear estão relacionadas com a extrema facilidade com que é possível efectuar a análise de sensibilidade aos parâmetros, uma utilidade evidente em casos de pequenas alterações das condições em que a solução inicial é obtida. A determinação dos parâmetros contemplados no modelo é também de obtenção relativamente fácil e directa, contrariamente àquilo que acontece com a regra de decisão linear.

Apesar de serem estes os traços caracterizadores dos modelos de programação linear, existe uma diversidade de abordagens utilizadas pelos diferentes autores das quais se destacam o problema dos transportes, a programação linear convencional (método simplex) e a programação inteira. Seguidamente, passam-se em revista alguns destes modelos.

Bowman (1956) sugeriu a aplicação do método dos transportes ao planeamento agregado da produção, advogando substanciais vantagens em relação à utilização da programação linear convencional que poderia ser resolvida através do método simplex. Os pressupostos básicos do modelo de Bowman são os de que as flutuações da procura podem ser absorvidas através da variação quer do volume de produção quer do nível de existências ou ainda através de técnicas mistas. Os custos de produção e de posse de existências são estritamente lineares.

Nesse contexto, Bowman sugeriu a aplicação de uma matriz de origem-destino, considerando como origens as possíveis maneiras de produzir (trabalho normal, trabalho extraordinário, subcontratação e existências), de forma a satisfazer os níveis de procura exigidos nos diversos períodos que, por sua vez, constituíam os destinos. Na matriz estão expressos os custos associados a cada uma das possibilidades de efectuar a produção, tendo em conta o período a que se destina, utilizando-se o algoritmo dos transportes na determinação da solução que minimiza os custos de produção.

No desenvolvimento deste modelo destaca-se o trabalho de Erenguc e Tufekci (1988) que expuseram um método que permitisse resolver o problema da satisfação tardia das encomendas. Procedendo a um conjunto de simplificações e transformações algébricas, os autores começam por converter o modelo num problema de transportes e, posteriormente, desenvolvem um algoritmo para a sua solução.

Akinc e Roodman (1986) sugeriram um outro modelo que, na sua perspectiva, seria de extrema utilidade prática uma vez que oferecia ao planeador a flexibilidade de especificar as opções de produção a utilizar, as relações existentes entre essas opções (que em alguns casos podem assumir determinadas especificidades) e a própria estrutura de custos relevantes. O ponto de partida deste modelo é o estudo de Bowman (1956), passando este a ser formulado como um problema de programação inteira mista, permitindo, assim, uma grande flexibilidade de modelação. São utilizadas as variáveis binárias no modelo de planeamento (*yikt*) que representam o *k*-ésimo ajustamento de capacidade utilizado com o modo *i* no período *t*. A forma de determinação da solução final para o problema assenta na busca heurística de uma boa solução inicial, procedendo-se depois a uma decomposição do problema (*branching*) que explora a sua estrutura inicial e os subproblemas que se lhe seguem.

Dos muitos modelos desenvolvidos em programação linear, o que merece principal destaque é o de Hanssmann e Hess (1960). Os autores seguiram a formulação do problema tal como é especificado na Regra de Decisão Linear.

Simplesmente, presumiram a linearidade das funções de custo, contrariamente ao pressuposto de HMMS que as considerava quadráticas. Assim, obtiveram um problema cuja resolução se adapta perfeitamente à programação linear (especificamente ao método simplex).

Sem ultrapassar as limitações reconhecidas dos modelos de programação linear e mesmo quanto à forma de linearização das funções de custo, este modelo constitui a referência dos modelos de programação linear pelos bons resultados que produz, designadamente quando comparado com a LDR.

A.3. Modelos de Programação por Objectivos (*Goal Programming* – GP)

Uma forma alternativa de formular o problema do planeamento agregado da produção consiste na programação por objectivos. Basicamente, esta abordagem considera a existência de uma multiplicidade de objectivos na gestão das empresas que influenciam as decisões a tomar quanto ao planeamento da produção. Em concreto, vários desses objectivos são considerados de grande importância sob o ponto de vista da gestão: minimização de custos de produção e posse de existências, maximização de receitas ou lucros e nível de utilização de mão-de-obra são genericamente assumidos em qualquer equipa de gestão.

A programação por objectivos assenta na introdução dos objectivos de gestão no modelo, considerando que cada um deles é uma restrição. A função objectivo deverá incluir as variáveis que representam os desvios das diferentes restrições do modelo, traduzindo assim a medida em que cada um dos objectivos é atingido. Através de sucessivas iterações, os objectivos prioritários são satisfeitos em primeiro lugar, o que permite minimizar os desvios entre os objectivos de gestão e a solução obtida em cada iteração. À medida que o processo iterativo avança e os objectivos prioritários vão sendo satisfeitos, a região de soluções admissíveis para os restantes objectivos diminui até que soluções subsequentes se tornem não admissíveis.

As vantagens dos modelos de programação por objectivos residem, fundamentalmente, na capacidade de incorporação de objectivos de gestão na formulação do problema de planeamento agregado da produção e na identificação dos recursos ou combinação de recursos que permitam alcançá-los. Por outro lado, a programação por objectivos apresenta-se como uma alternativa de linearização das funções de custo quadráticas ou de grau superior.

O modelo de programação por objectivos de Goodman (1974), uma referência na literatura existente nesta área, foi pioneiro na apresentação de soluções para o planeamento agregado da produção baseadas nesta metodologia. Goodman propôs um modelo de programação por objectivos utilizando o modelo quadrático de Holt *et al.* (1955) numa primeira ilustração, e numa segunda, utilizando os mesmos coeficientes, aplica esta metodologia na resolução de um problema do quarto grau.

Laurent (1976) sugeriu um método alternativo para a aproximação linear às funções de custo bi-quadradas propostas por Goodman. Enquanto este o fez na base de iguais áreas, acima e abaixo da função de custo, Laurent utilizou um outro tipo de aproximação linear, designado programação por intervalos (*range programming*). Subjacente a esta alteração está o facto de o custo real nessas funções variar muito pouco em torno do seu óptimo, sendo assim preferível substituir o objectivo de manter a variável num área satisfatória de aproximação, pelo objectivo de a manter, tanto quanto possível, junto do seu valor óptimo.

Os resultados obtidos por Laurent para o problema bi-quadrado de Goodman foram satisfatórios, tendo este método conseguido valores inferiores em 12 % aos gerados pelo método de busca utilizado por Goodman.

A.4. Programação Separável (*Separable Programming* – SEP)

Meij (1980) propôs a aplicação da programação separável como metodologia de resolução do problema do planeamento da produção. Segundo o autor, a programação linear poderia ser suficiente para os casos em que a linearidade das funções de custo pudesse ser assumida com alguma razoabilidade. Contudo, nos casos em que tal fosse impossível, a programação linear seria inaceitável devido à aproximação «grosseira» das funções de custo não lineares.

Nesse sentido, propõe a utilização da programação separável ilustrando-a na aplicação ao modelo. Esta abordagem tem como principal vantagem uma melhoria significativa das soluções encontradas, pelo facto de traduzir um método mais eficiente de aproximação aos custos de ordem superior. O rigor na aproximação da função de custos será tanto maior, quanto mais elevado for o número de segmentos lineares utilizados na aproximação.

A.5. Outras abordagens

A vasta literatura que versa sobre o planeamento agregado da produção, em particular no que se refere a modelos matemáticos, não está exclusivamente tipificada na classificação atrás apresentada. Das abordagens utilizadas é ainda de destacar a programação dinâmica, nomeadamente o trabalho de Mills (1957). A vantagem desta abordagem é a de assegurar uma melhor representação da envolvente da empresa, designadamente algumas estruturas de custo e restrições específicas. Como desvantagens, apontam-se os custos de desenvolvimento e implementação do modelo bem como a complexidade computacional. Um grande número de variáveis e de restrições tornam o problema de difícil formulação.

Saad (1982) analisa o problema da desagregação, descrevendo estes modelos como aqueles que estabelecem ligações entre o planeamento táctico

e operacional. Estes modelos são também conhecidos por modelos de produção hierárquica. Basicamente possuem as seguintes características: determinam em primeiro lugar as quantidades a produzir e a força de trabalho através de um modelo de produção agregada, desagregando em seguida os resultados por família de produtos. Saad (1990) nota ainda que as grandes dificuldades que se colocam a estes modelos são as de conseguir que os planos detalhados sejam compatíveis com o plano agregado e que a solução obtida minimize os custos de produção.

Estas são as abordagens analíticas do planeamento agregado da produção mais relevantes. No ponto seguinte é feita a revisão da literatura existente quanto a modelos que buscam soluções quase-óptimas.

B — Modelos de planeamento agregado da produção que produzem soluções quase-óptimas.

Os modelos matemáticos de planeamento agregado da produção anteriormente descritos suscitam algumas dificuldades de aplicação prática, uma vez que, na maioria dos casos, os utilizadores não entendem ou não estão familiarizados com a formulação matemática, por vezes complexa, desses modelos. Por outro lado, se as condições específicas da empresa não corresponderem aos pressupostos assumidos nos modelos, as soluções que estes geram podem traduzir-se em resultados desastrosos.

No sentido de ultrapassar as limitações impostas pela utilização de modelos matemáticos, vários autores desenvolveram métodos heurísticos, ou parcialmente heurísticos, resultando daí soluções quase-óptimas. Na sua generalidade, estes modelos não impõem qualquer limitação à natureza das curvas de custo da empresa, sacrificando a optimalidade garantida pelos modelos matemáticos em benefício da aplicação prática, de maior realismo do modelo e menor rigidez da configuração das curvas de custo. Em alguns casos, quando os pressupostos da formulação matemática não sejam de todo aplicáveis, os modelos heurísticos poderão mesmo garantir resultados superiores aos modelos matemáticos.

B.1. A Regra de Busca para a Tomada de Decisões (*Search Decision Rule* – SDR)

Taubert (1968) propôs um método heurístico para resolução do modelo de HMMS. Segundo o autor, ao adaptarem-se os modelos matemáticos à realidade, o grau de complexidade aumenta. Sacrificando a optimalidade em benefício de uma menor complexidade e adaptação à realidade, Taubert demonstrou a exequibilidade de utilização de métodos heurísticos (de busca), analisando a validade das decisões sequenciais, para o problema agregado da produção, geradas por rotinas de busca computadorizadas. Para isso, utilizou o modelo HMMS descrito em 20 dimensões, isto é, 10 períodos e duas variáveis independentes

por período (força de trabalho e nível de produção), obtendo-se assim uma função objectivo com 20 variáveis de decisão.

A formulação da função objectivo é exactamente igual à do modelo HMMS, só que as variáveis produção e força de trabalho são tratadas como variáveis independentes com valores fornecidos pela heurística de busca (SDR — *Searching Decision Rule*). A função objectivo é, assim, avaliada com base nos valores gerados pela rotina de busca e nos valores obtidos pelas equações recursivas.

A busca é baseada na heurística que, postula que, se o movimento de um ponto para outro num espaço n -dimensional for bem sucedido, o movimento seguinte deve ser feito na mesma direcção. A este movimento chama-se «movimento-padrão». Este procedimento utiliza a informação de sucesso (ou insucesso) que um movimento teve nessa função, para definir o padrão que indica uma direcção que, provavelmente, resultará num outro movimento com sucesso.

As grandes vantagens desta metodologia residem na capacidade de se incorporarem no planeamento agregado da produção formulações de custo diferentes das tradicionalmente tratadas na literatura e mais adaptadas à realidade das condições operacionais da empresa. Por outro lado, é possível obter tempos computacionais reduzidos através da combinação das técnicas de busca e de *branch and bound*.

B.2. Planeamento Paramétrico da Produção (*Parametric Production Planning — PPP*)

Jones (1967) propôs, também, uma abordagem heurística à determinação do nível de força de trabalho e de produção no âmbito do planeamento agregado da produção, através da utilização de duas regras de decisão: uma determina o número de trabalhadores e outra o nível de produção. Cada uma dessas regras contém dois parâmetros, que se pretende determinar. O problema consiste, portanto, na busca do valor desses parâmetros num universo de quatro dimensões que permita minimizar o custo de produção para uma determinada empresa. O Planeamento Paramétrico da Produção não restringe a forma que as curvas de custo assumem e que deverão ilustrar a melhor representação quantitativa possível da empresa em questão.

As grandes vantagens desta metodologia — o PPP é uma abordagem genérica e não uma fórmula específica — residem no facto de não haver limitações na configuração das curvas de custo nem no número de restrições a impor no processo de busca (dimensão do problema) e de, mesmo assim, a solução não apresentar desvios significativos relativamente às soluções obtidas pelos modelos matemáticos.

B.3. Heurística de alteração da produção (*Production Switching Heuristics* — PSH)

Mellichamp e Love (1978) desenvolveram um outro método heurístico tendo em vista uma efectiva aplicação prática e por isso de grande simplicidade. O objectivo desta heurística é evitar o permanente reajustamento da mão-de-obra e do nível de produção ao longo de todo o período de planeamento — decorrente da aplicação de quase todos os modelos de planeamento agregado da produção — e obter soluções quase óptimas.

A heurística proposta baseia-se num modelo para restringir a produção e a mão-de-obra a três níveis discretos — elevado, normal e reduzido — em todos os períodos abarcados pelo planeamento.

A grande vantagem deste método consiste na sua simplicidade, pois permite a obtenção de decisões sobre a produção, a mão-de-obra e as existências que apenas necessitam de pequenos ajustamentos periódicos, salvo nos casos de não estacionariedade ou de variações sazonais extremas da procura com impacto negativo nos custos de produção resultantes das decisões da heurística.

Recentemente, Nam e Logendran (1995) aperfeiçoaram este modelo heurístico de planeamento da produção, propondo duas modificações que melhoram o método de busca dos parâmetros de controlo e minimizam os custos no horizonte de planeamento.

Os autores consideram que a função de produtividade utilizada no modelo de Mellichamp e Love (1978) destinada a apurar o nível de força de trabalho para uma dada produção não permite determinar uma relação apropriada entre os níveis de trabalho normal e extraordinário. Assim, propuseram duas funções de produtividade alternativas — que designaram MPSH1 (*Modified PSH1*) e MPSH2 (*Modified PSH2*) — que permitem obter um melhor equilíbrio entre a mão-de-obra normal e a mão-de-obra extraordinária.

B.4. Modelo dos Coeficientes de Gestão (*Management Coefficients Model* — MCM)

Bowman (1963) desenvolveu a ideia de que as decisões passadas da gestão podem ser incorporadas num sistema de melhoramento das decisões presentes. Com base neste pressuposto, desenvolveu regras de decisão não assentes num modelo de custo, mas derivadas de anteriores decisões da gestão. A ideia fundamental é a de que a melhoria das decisões de gestão, se estas forem consistentes ao longo do tempo, tem vantagens relativamente às abordagens que forneçam soluções óptimas através de modelos baseados explicitamente no custo, sobretudo nos casos em que os custos intangíveis devam ser estimados e presumidos. O autor construiu um modelo de regressão linear representativo do comportamento da gestão tomando por base as decisões históricas. O bom desempenho desta função de regressão depende do conhecimento que os gestores tenham do sistema em que estão inseridos, do seu bom senso, experiência, noção das variáveis que influenciam as decisões

e do facto de a consistência destas poder ser utilizada para extrapolar boas decisões futuras. No entanto, a regra poderá originar más decisões se na base da estimativa dos coeficientes da regressão estiverem decisões, também elas, más.

B.5. Outras abordagens

Muitos outros autores sugeriram a aplicação de métodos heurísticos ou parcialmente heurísticos ao planeamento agregado da produção. Desses salientam-se Ebert (1976) que introduziu variações da taxa de produtividade, Vergin (1966) que utilizou técnicas de simulação e autores que sugeriram a aplicação de métodos estocásticos para a resolução do problema, utilizando, designadamente, simulações de Monte Carlo.

Ebert (1976) preconizou uma reformulação do planeamento agregado da produção ao considerar explicitamente os efeitos da curva da experiência na produção total da empresa. Referindo-se à existência, por um lado, de métodos de resolução do problema agregado da produção e, por outro, de métodos de quantificação das mudanças de produtividade que as empresas obtêm ao longo da vida de um produto, propôs, contrariamente aos autores que até aí se tinham debruçado sobre o planeamento da produção, mantendo a produtividade constante, um modelo que considerasse as implicações das variações da produtividade no planeamento agregado da produção. Para isso, utilizou o modelo HMMS e resolveu-o heurísticamente através de um método de busca.

Vergin (1966) sugeriu a aplicação de métodos de simulação para determinação das decisões sobre o volume de produção e de mão-de-obra. No seu trabalho, analisou três fábricas que respondiam a uma procura sazonal. Partindo do reconhecimento de que os modelos quantitativos existentes para o escalonamento sazonal da produção evidenciavam uma incapacidade de descrever adequadamente os problemas reais das empresas, desenvolveu então um modelo de simulação que o permitisse. O funcionamento do modelo baseia-se em testar e avaliar sucessivamente valores para as variáveis de decisão. Vergin testou a convergência do seu modelo utilizando, para as três fábricas que analisou, vários valores de partida, tendo verificado que a solução convergia para os mesmos valores. Os resultados da simulação para as três fábricas mostraram soluções bastante superiores às verificadas na realidade.

As vantagens do método de simulação introduzido por Vergin radicam na inexistência de restrições à configuração da natureza e estrutura dos custos a considerar na função objectivo. Assim, é possível captar toda a envolvente operacional da empresa e prever condições específicas para cada um dos casos em estudo.

Bakir e Byrne (1994) propuseram a aplicação de um algoritmo de optimização multi-estágio de Monte Carlo, defendendo as suas vantagens so-

bre qualquer outra metodologia utilizada, designadamente em modelos de maior complexidade (maior número de parâmetros). Este algoritmo mostra ser flexível ao ponto de permitir obter uma solução (quase-óptima) para qualquer problema de optimização.

O algoritmo consiste na execução de uma série de simulações de Monte Carlo integradas num programa de computador. Em cada iteração procura-se aleatoriamente melhorar a solução do problema, criando figuras geométricas de n dimensões no espaço de soluções admissíveis. A regra de convergência, que é essencial, baseia-se no registo da melhor resposta obtida em cada momento, utilizando-a iterativamente para recentrar a figura geométrica e diminuir a sua largura em cada uma das dimensões em que o processo é repetido. O processo conduzirá a uma solução muito próxima do óptimo.

De facto, os autores, aplicando o algoritmo à fábrica das tintas e comparando os resultados com aqueles que foram obtidos com a LDR e SDR, verificaram que as soluções encontradas estão próximas de HMMS. Esse algoritmo torna-se, inclusivamente, utilizável com êxito em problemas de planeamento da produção multiproducto.

Existem ainda muitos outros modelos e abordagens, sendo, no entanto, de destacar a utilização de métodos econométricos desenvolvida por Love e Turner (1993).

Numa análise efectuada às empresas industriais dos Estados Unidos, tanto Dubois e Oliff (1991) como Saad (1982) referem que os modelos que acabámos de rever têm sido pouco utilizados na prática. Apesar da sua pouca utilização, vários outros autores têm efectuado estudos comparativos sobre o desempenho dos modelos que aqui sumariamente foram apresentados. De referir, também, os trabalhos de Kolenda (1970) que comparam o modelo proposto por Holt *et al.* (1955) com o de Hanssman e Hess (1960); o estudo de Lee e Khumawala (1974) onde se referem os benefícios que poderiam advir para as empresas, caso estas utilizassem formas de planeamento mais sofisticadas; e, ainda, a análise do impacto dos erros de previsão na LDR e PSH da autoria de Barman *et al.* (1990).

Em Portugal, onde poucos trabalhos têm sido feitos nesta área, é de salientar o estudo efectuado por Magro (1991) que analisa o impacto da utilização da Regra de Decisão Linear no orçamento de tesouraria de uma empresa mineira. O objectivo do seu estudo era verificar que consequências teria no orçamento de tesouraria da empresa, o facto de, na sua elaboração, se utilizarem os *outputs* fornecidos pela LDR. O autor reconstituiu o orçamento anteriormente apresentado pela empresa, elaborado com base nas receitas obtidas e despesas em que incorrera, para depois, utilizando os mesmos pressupostos, construir o orçamento que a empresa teria apresentado se tivesse aproveitado a informação fornecida pela LDR. Os resultados observados permitiram concluir que a utilização do modelo teria permitido à empresa uma redução significativa dos seus custos.

Para finalizar, refira-se ainda o trabalho de Silva (1998), na linha do estudo realizado por Lisboa e Yasin (1997), sobre a questão da não alteração do volume de mão-de-obra durante o período de planeamento e os seus reflexos nos custos totais de produção, ao derivar de novo as regras de decisão para o modelo HMMS, introduzindo uma nova restrição. A alteração consistiu em manter o nível de mão-de-obra constante durante todo o período de planeamento. De facto, condicionalismos de ordem legal ou até mesmo de índole empresarial, tornam difíceis e indesejáveis alterações sucessivas no volume de mão-de-obra como forma de fazer o ajustamento entre a produção e a procura. As novas regras estabelecidas por Silva, para determinar a quantidade de trabalhadores a utilizar no horizonte temporal do planeamento em causa e as quantidades a produzir em todos os períodos, são, também, função da procura prevista, mas mais simples de utilizar do que as propostas por Holt *et al.* (1955). O modelo foi avaliado com base nos dados de uma empresa industrial de corte e polimento de chapa de granito e mármore, tendo os resultados obtidos mostrado que as soluções do chamado modelo modificado não se afastam significativamente das produzidas pelo modelo original.

Bibliografia

- AKINC, U., e ROODMAN, G. (1986) — «A new approach to aggregate production planning», *IIE Transactions*, Março, pp. 88-94.
- BAKIR, M., e BYRNE, M. (1994) — «An application of the multi-stage Monte Carlo optimization algorithm to aggregate production planning», *International Journal of Production Economics*, vol. 35, pp. 207-213.
- BARMAN, S., TERSINE, R., e BURCH, E. (1990) — «Performance evaluation of the LDR and the PSH with forecast errors», *Journal of Operations Management*, vol. 9, n.º 4, pp. 481-499.
- BERGSTROM, G., e SMITH, B. (1970) — «Multi-item production planning — an extension of the HMMS rules», *Management Science*, vol.16, n.º 10, pp. B614-B629.
- BOWMAN, E. (1956) — «Production Scheduling by the transportation method of linear programming», *Operation Research*, vol. 4, pp. 100-103.
- BOWMAN, E. (1963) — «Consistency an optimality in managerial decision making», *Management Science*, vol. 9, n.º 2, pp. 310-321.
- DUBOIS, F., e OLIFF, M. (1991) — «Aggregate production planning in practice», *Production and Inventory Management Journal*, 3.º trimestre, pp. 26-30.
- EBERT, R. (1976) — «Aggregate planning with learning curve productivity», *Management Science*, vol. 23, n.º 2, pp. 171-182.
- ERENGUC, S., e TUFEKCI, S. (1988) — «A transportation type aggregate production model with bounds on inventory and backordering», *European Journal of Operations Research*, vol. 35, pp. 414-425.
- GOODMAN, D. (1974) — «A goal programming approach to aggregate planning of production and work force», *Management Science*, vol. 20, n.º 12, pp. 1569-1575.
- HANSSMANN, F., e HESS, S. (1960) — «A linear programming approach to production and employment scheduling», *Management Technology*, n.º 1, pp. 46-51.
- HOLT, C., MODIGLIANI, F., e MUTH, J. (1955a) — «Derivation of a linear decision rule for production and employment», *Management Science*, 1955, vol. 2, n.º.1, pp.159-177.
- HOLT, C., MODIGLIANI, F., e SIMON, H. (1955b) — «A linear decision rule for production and employment scheduling», *Management Science*, vol. 1, n.º 2, pp.1-30.
- JONES, C. (1967) — «Parametric production planning», *Management Science*, vol. 13, n.º 11, pp. 843-866.
- KAMIEN, M., e LI, L. (1990) — «Subcontracting, coordination, flexibility, and production smoothing in aggregate planning», *Management Science*, vol. 36, n.º 11, pp. 1352-1363.
- KOLENDA, J. (1970) — «A comparação de two aggregate planning models», dissertação não publicada, *Wharton School of Finance and Commerce*, Universidade da Pensilvânia, E. U. A.
- LAURENT, G. (1976) — «A note on range programming: introducing a satisficing range in a L.P.», *Management Science*, vol. 22, n.º 6, pp. 713-716.
- LEE, B., e KHUMAWALA, B. (1974) — «Simulation testing of aggregate production planning models in an implementation methodology», *Management Science*, vol. 20, n.º 6, pp. 903-911.
- LISBOA, J., e YASIN, M. (1997) — «The Impact of Work Force Level Restriction on the aggregate production planning», publicado nos Proceedings do encontro International Academy of Business Disciplines (IABD), Cairo, pp. 54-58;
- LOVE, C., e TURNER, M. (1993) — «Note on utilizing stochastic optimal control in aggregate production planning», *European Journal of Operational Research*, n.º 65, pp. 199-206.
- MAGRO, F. (1991) — «Aplicação da regra de decisão linear para determinação das necessidades de tesouraria — o caso de uma empresa mineira», tese de mestrado, Faculdade de Economia da Universidade do Porto.
- MEIJ, J. (1980) — «Separable programming as a solution methodology for aggregate production planning», *International Journal of Production Research*, vol. 18, n.º 2, pp. 233-243.
- MELLICHAMP, J., e LOVE, R. (1978) — «Production switching heuristics for the aggregate planning problem», *Management Science*, vol. 24, n.º 12, pp. 1242-1251.
- MILLS, E. (1957) — «The theory of inventory decisions», *Econometrica*, vol. 25, pp. 222-238.

- NAM, S., e LOGENDRAN, R. (1992a) — «Aggregate production planning – a survey of models and methodologies», *European Journal of Operations Research*, vol. 61, pp. 255-272.
- NAM, S., e LOGENDRAN, R. (1995) — «Modified production switching heuristics for aggregate production planning», *Computers and Operations Research*, vol. 22, n.º 5, pp. 531-541.
- PAN, L., e KLEINER, B. (1995) — «Aggregate planning today», *Work Study*, vol. 44, n.º 3, pp. 4-7.
- SAAD, G. (1982) — «An overview of production planning models: structural classification and empirical assessment», *International Journal of Production Research*, vol. 20, n.º 1, pp. 105-114.
- SAAD, G. (1990) — «Hierarchical production-planning systems: extensions and modifications», *Journal of the Operational Research Society*, vol. 41, n.º 7, pp. 609-624.
- SINGHAL, J., e SINGHAL, K. (1996) — «Alternate approaches to solving the Holt *et al.* model and to perform sensitivity analysis», *European Journal of Operational Research*, vol. 91, pp. 89-98.
- TAUBERT, W. (1968) — «A search decision rule for the aggregate scheduling problem», *Management Science*, vol. 14, n.º 6, pp. B-343-B-359.
- SILVA, J. (1998) — «Planeamento Agregado da Produção. Regra de Decisão Linear Modificada: A utilização de mão-de-obra constante», tese de mestrado, Faculdade de Economia da Universidade de Coimbra.
- VAN DE PANNE, C., e BOSJE, P. (1962) — «Sensitivity analysis of cost coefficient estimates: the case of linear decision rules for employment and production», *Management Science*, vol. 9, n.º 1, pp. 82-107.
- VERGIN, R. (1966) — «Production scheduling under seasonal demand», *Journal of Industrial Engineering*, vol. 17, n.º 5, pp. 260-266.

Abstract

The objective of the aggregate production planning is to determine the most efficient way to use of firm's resources to meet the forecasted demand. Many studies have been published on this subject, and several authors have proposed different forms for their classification. In this work the aggregate production planning models are grouped in two categories, «Aggregate production planning models that produce optimal solutions» and «Aggregate production planning models that produce near optimal solutions». A summary and an update of the existent literature is also given here. This study is meant to help other researchers in the fundamental bibliography currently available in this area.
