

Dois modelos do tipo *big bucket* para o dimensionamento e o sequenciamento da produção de bebidas

Deisemara Ferreira*, Reinaldo Morabito

Departamento de Engenharia de Produção
UFSCar- 13565-905 - São Carlos, SP- Brasil
Email: deise@dep.ufscar.br, morabito@power.ufscar.br

Socorro Rangel

Depto de Ciências de Computação e Estatística, IBILCE, UNESP,
2265; 15054-000 – S. J. Rio Preto, SP- Brasil
Email: socorro@dcce.ibilce.unesp.br

1. Introdução

A indústria brasileira de refrigerantes é a terceira maior do mundo, ficando abaixo somente dos EUA e do México. A distribuição se dá por cerca de um milhão de pontos de venda, como bares, estabelecimentos de auto-serviço, e lojas tradicionais. Existem mais de 700 fábricas de refrigerantes espalhadas pelo país, que geram mais de 60 mil empregos diretos e 520 mil indiretos, para a produção de 3.500 diferentes marcas, conforme dados da ABIR - Associação Brasileira das Indústrias de Refrigerantes e de Bebidas Não Alcoólicas [1]. Estes dados mostram que o setor de refrigerantes fechou o ano de 2004 com crescimento de 5.5% em relação a 2003. Apesar do aumento das vendas, o consumo per capita no Brasil continua relativamente pequeno se comparado à países da Europa, apesar de apresentar clima mais quente e mais propício para a ingestão da bebida. Enquanto um brasileiro consome em média 65 litros de refrigerante por ano, portugueses e espanhóis consomem 84 e 109 litros, respectivamente. O que demonstra um potencial para crescimento. Este potencial para, o aumento do consumo, o crescimento do número de itens produzidos pelas fábricas, a concorrência e as exigências do mercado aumentaram a preocupação das empresas em melhorar seus processos produtivos, tanto do ponto de vista de tecnologia com aquisição de novas máquinas, quanto do ponto de vista da gerência, responsável por administrar todos os setores envolvidos direta ou indiretamente na produção, como setor financeiro, administrativo, e setor de planejamento e controle da produção.

Este trabalho apresenta modelos matemáticos para auxiliar no desenvolvimento de ferramentas de apoio a decisão para o planejamento da produção de refrigerantes, especificamente as decisões de programação da produção. Na literatura existem diversos trabalhos que examinam a questão do dimensionamento dos lotes, do sequenciamento da produção e também a integração do dimensionamento e do sequenciamento da produção. Os modelos matemáticos que integram o dimensionamento e

sequenciamento dos lotes pretendem responder: Quanto, quando e em que seqüência produzir cada item de forma a minimizar custos tais como custos de estoque, atrasos e preparação? Se forem consideradas várias máquinas, devemos ainda determinar quais itens serão produzidos em cada máquina.

A incorporação do sequenciamento da produção em modelos de dimensionamento de lotes tem sido objeto de estudo de vários autores [2] [3][6]. Vários modelos foram formulados representando diferentes tipos de situações que envolvem dimensionamento e sequenciamento da produção. Revisões sobre modelos que integram o dimensionamento e o sequenciamento dos lotes encontram-se em [7], [2].

Fleishmann e Meyr [3] apresentam o modelo GLSP (General Lot-sizing and Scheduling Problem), onde os períodos (macro períodos) são divididos em períodos menores (micro períodos ou número de preparos do período). As variáveis de produção e preparo vão indicar a dimensão dos lotes de cada item e a troca de itens em cada micro-período. O número de micro- períodos de cada período é definido pelo usuário, e em cada micro período pode haver a produção de no máximo um item. Foi desenvolvido um algoritmo de busca local para resolver exemplares do modelo GLSP. A extensão do modelo GLSP para várias máquinas foi feita em [6].

Em [9] é descrito um modelo de programação matemática inteiro misto para o dimensionamento e sequenciamento da produção de refrigerantes, baseado nos modelos acima. Similar aos modelos do presente trabalho, tal modelo possui dois estágios, envase de bebidas, e preparo de matéria prima (xarope). Para modelar o sequenciamento o período é dividido em sub-períodos, como no modelo GLSP. Um exemplar pequeno para duas máquinas, 7 itens, e 7 tanques é resolvido. Para este exemplar o modelo se apresentou satisfatório, no entanto, é observado no trabalho que com o aumento do número de itens, o tamanho do modelo e o tempo de processamento crescem substancialmente. O modelo possui 16 famílias de restrições e é mais detalhado do que dos modelos aqui propostos. Em [8] o modelo é re-elaborado para incluir outros detalhes da produção, passando a ter 65 famílias de restrições.

*Apoio financeiro FAPESP
Bolsa Doutorado – Processo 04/00462-5

Propomos neste trabalho modelos de programação matemática para auxiliar a tomada de decisão no planejamento e controle da produção em fábricas de refrigerantes. Assim como [8] os modelos são baseados em [3], e incluem os estágios de envase e xaroparia.

2. Produção de Refrigerantes

De forma geral a produção de refrigerantes, é composta por quatro estágios: tratamento de água, preparo dos xaropes, envase e empacotamento. Os insumos necessários para a produção são: xarope de diversos sabores, vasilhames, tampas, rótulos variados, e água gaseificada.

O preparo do xarope possui duas etapas. Na primeira etapa os ingredientes são pesados, em quantidades denominadas *kits*, e previamente misturados em máquinas chamadas de *premix*. Com um *kit* é possível produzir uma determinada quantidade de refrigerante pronto, que depende do sabor a ser produzido. Após esta etapa de *premix*, o composto é enviado para os tanques de preparo onde é adicionado açúcar líquido ou adoçante (para os sabores *diet*). Esta mistura é agitada por hélices que tornam o xarope uma mistura homogênea. Para que este composto seja bem misturado pelas hélices é necessária uma quantidade mínima de xarope no tanque, suficiente para cobrir as hélices. Depois de pronto, o xarope é analisado pelo laboratório da fábrica e enviado para as linhas de produção através de tubulações próprias. Um tanque pode abastecer várias linhas de produção, conforme ilustrado na Figura 1, mas uma linha recebe xarope de apenas um tanque por vez.

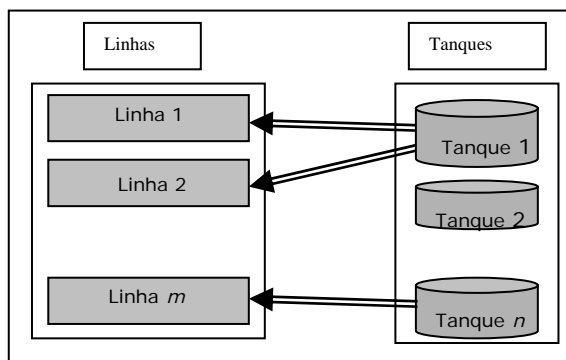


Figura 1. Representação da distribuição dos xaropes nas linhas.

A etapa de envase da bebida em vasilhames de plástico (garrafas PET) é feita por linhas de produção. Nelas os vasilhames entram através de uma esteira rolante e passam por diversos estágios. Inicialmente os vasilhames são lavados e em seguida, passam por uma máquina que os enche com uma determinada quantidade de xarope e água carbonada. Depois seguem pela esteira onde são fechados, rotulados, empacotados, e então são levados para o estoque. Uma vez que os vasilhames são colocados na

esteira, eles só podem ser retirados dela ao final do processo, quando são então transferidos para o depósito. Existe apenas uma entrada e uma saída de vasilhames na linha. A figura 2 ilustra o processo de envase dos refrigerantes.

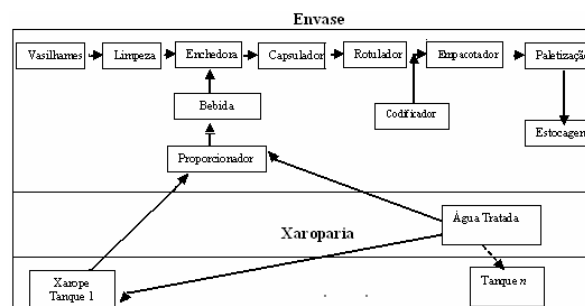


Figura 2. Processo de fabricação de refrigerantes.

Toda vez que um novo sabor e/ou novo tamanho de vasilhame for utilizado, as máquinas precisam de um tempo de preparação (limpeza e/ou ajuste do maquinário). Esta preparação depende da seqüência da produção. Se após a produção de um refrigerante normal se produzir um refrigerante dietético, a limpeza da máquina passa por mais estágios do que na ordem contrária, o que consome mais tempo e pode gerar custos de atraso, preparo de máquinas, e estoque. A simples inversão da produção de um refrigerante dietético para normal pode alterar os tempos e custos de preparo significativamente.

3. Modelagens Propostas

Os modelos que propomos neste trabalho pretendem resolver as questões de quanto e em que ordem os refrigerantes devem ser produzidos nas máquinas para atender a demanda dos períodos do horizonte de planejamento, considerando restrições de capacidade, e de insumos disponíveis.

Dois modelos são propostos. Os modelos consideram os estágios de envase e xaroparia que compõem a produção de refrigerantes, e também consideram tempos e custos de troca de refrigerantes nas linhas. Os tempos e custos de troca de xaropes nos tanques são considerados no primeiro modelo. O dimensionamento e o sequenciamento da produção, são integrados no mesmo modelo. No primeiro modelo, Modelo Multi Máquinas (MMM), são consideradas m linhas de produção. Apesar de no problema real um tanque poder atender mais de uma linha de produção por vez, no modelo (MMM) estamos considerando uma simplificação do problema onde cada máquina possui um tanque dedicado.

O segundo modelo, Modelo Super Tanque (MST), é uma relaxação do modelo (MMM), onde o sequenciamento da produção do tanque foi desconsiderado. A capacidade da xaroparia, agrega a capacidade de todos os tanques. Sendo assim, não há necessidade de considerar o sequenciamento da produção deste super tanque. Este modelo aposta que o

gargalo da produção é o estágio II (envase), e considera apenas um limite agregado de capacidade do estágio I (preparo dos xaropes), ou seja, supõe que, dado um programa de produção viável para o estágio II, satisfazendo a capacidade agregada do estágio I, é possível derivar um programa de produção viável para o estágio I.

Os modelos são do tipo *big bucket* [3], onde vários produtos podem ser produzidos por período. Para incluir o sequenciamento no modelo, os períodos (macro-período) são divididos em períodos menores (micro-períodos) [3]. Nos sub-períodos é permitida a produção de apenas um item. O número de sub-períodos é definido pelo usuário, o tamanho dos sub-períodos é determinado pelo modelo pois é o tamanho do lote que será produzido.

5. Considerações Finais

Foram realizados estudos computacionais para comparar a solução dos dois modelos propostos. Nestes estudos, exemplares dos modelos foram resolvidos utilizando o pacote de otimização CPLEX 9.0 [5]. A linguagem de modelagem AMPL [4] foi utilizada para facilitar a interface entre os modelos matemáticos e o CPLEX. Os testes mostraram que apesar do Modelo Super Tanque, ser uma relaxação do Modelo Multi Máquinas, o Modelo Multi Máquinas obtém melhores resultados e em menos tempo que o Modelo Super Tanque.

Agradecimentos

Agradecemos ao suporte financeiro dado pela Fapesp (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo) ao primeiro autor deste trabalho (processo 04/00462-5).

Referências

- [1] Abir. Associação Brasileira das Indústrias de Refrigerantes e de Bebidas Não Alcoólicas; <http://www.abir.gov.br>
- [2] A. Drexl e A. Kimms. Lot Sizing and Scheduling - Survey and Extensions, *European Journal of Operational Research*, 99 (1997), 221-235.
- [3] B. Fleischmann e H. Meyr The General Lotsizing and Scheduling Problem, *OR Spektrum*, 19 (1997), 11-21.
- [4] R. Fourer, M.D. Gay, e B.W. Kernighan, *AMPL - A Modeling Language for Mathematical Programming*, The Scientific Press, Danvers, Massachusetts, 1993.
- [5] Ilog - Using the CPLEX Callable Library, Copyright, ILOG, 2004.
- [6] H. Meyr Simultaneous lotsizing and scheduling on parallel production lines, *European Journal of Operational Research*, 39, 277-292, 2002.
- [7] A.T. Staggemeier e A.R. Clark, A survey of lot-sizing and scheduling models, *Anais do XXXIII SBPO*, Campos do Jordão, SP, novembro, 938-947, 2001.
- [8] C.F.M. Toledo, Problema Conjunto de Dimensionamento de Lotes e Programação da Produção, relatório técnico, agosto, 2003, UNICAMP/FEEC/DENSIS, FAPESP processo 00/02609-2.
- [9] C.F.M. Toledo, P. M. França, e R. Morabito, Proposta de um modelo conjunto de programação da produção e dimensionamento de lotes aplicado a uma indústria de bebidas, *Anais XXII Encontro Nacional de Engenharia da Produção*, Curitiba-PR, outubro, 2002.