



**O PLANEJAMENTO DO PROCESSO PRODUTIVO DE UMA
INDÚSTRIA DE PANIFICAÇÃO POR MODELOS MATEMÁTICOS**

**THE PLANNING OF THE PRODUCTION PROCESS ON A BAKERY
INDUSTRIAL PLANT USING A MATHEMATICAL MODEL**

Aline Regina Noronha Costa

Mestranda em Métodos Numéricos

UFPR - Universidade Federal do Paraná

Centro Politécnico – Jardim das Américas – CEP 81531-980 – Curitiba – PR

(41) 3338-4016 – e-mail: aline.regina.costa@gmail.com

Arinei Lindbeck da Silva

Doutor em Engenharia de Produção

UFPR - Universidade Federal do Paraná - PPGMNE

Centro Politécnico – Jardim das Américas – CEP 81531-980 – Curitiba – PR

(41) 3361-3035 – e-mail: arineicls@gmail.com

RESUMO

Este trabalho propõe a resolução do problema de planejamento da produção de uma indústria de panificação utilizando um modelo matemático de programação linear inteira mista. O modelo utiliza dados de tempos de processo, produtos e equipamentos existentes na indústria, além da demanda real, e permite ao tomador de decisão ponderar a importância dos seguintes objetivos: produzir toda a demanda, atender aos pedidos no tempo, utilizar os equipamentos da melhor forma e não desperdiçar produtos. O modelo utiliza um software comercial no processo de resolução do modelo.

Palavras Chave: modelo matemático, planejamento de produção, pesquisa operacional, panificação, programação linear inteira mista

ABSTRACT

This paper proposes to solve the problem of the production planning of an bakery industry using a mathematical model of mixed integer linear programming. Using data of process time, products and equipment in the industry, as well as the actual demand, and allows the decision-maker to consider the importance of the following objectives: to produce any demand, meet the demands in time, using the best equipment way and not to waste products. The model uses a commercial software to solve the problem.

Key words: mathematical model, production planning, Operational Research, bakery, mixed integer linear programming



1 INTRODUÇÃO

Muitas indústrias implementam sistemas de planejamento e de controle de produção para melhorar seu desempenho no mercado atingindo altos níveis de qualidade com custo reduzido e flexibilidade de atendimento à demanda.

Segundo Corrêa *et al* (2007), O PCP (Planejamento e Controle da Produção) é o conjunto de sistemas de informações que servem de apoio à tomada de decisões táticas e operacionais, relacionadas às questões logísticas de: “o que” produzir e comprar, “quanto” produzir e comprar, “quando” produzir e comprar e, “com quais recursos” produzir, e pode ser dividido em seis etapas (MOURA JÚNIOR, 1996).

As etapas de previsão de demanda, planejamento de recursos e de materiais, planejamento e controle da capacidade e controle e produção de materiais não apresentam dificuldades na sua implementação em indústrias de panificação já que a demanda é diária e os mesmos recursos e pequena variedade de matéria-prima (com longo prazo de validade) são utilizados em uma grande variedade de produtos. Os controles precisam ser instantâneos pois qualquer quebra de produção é incorrigível. A etapa de planejamento e seqüenciamento da produção, para este tipo de organização é complexa e apresenta muitas particularidades. É a etapa que se determina o prazo das atividades a serem cumpridas baseado em informações de demanda, disponibilidade das máquinas e mão-de-obra.

As atividades do PCP podem ser implementadas e operacionalizadas com o auxílio de, pelo menos, três sistemas: MRP / MRPII; JIT; OPT, baseados fundamentalmente na lógica do cálculo das necessidades de recursos a partir das necessidades futuras de produtos (CORRÊA *et al*, 2007). Os sistemas existentes, ora não abarcam as particularidades de alguns ramos da indústria alimentícia, ora sua implementação é muito complexa, o que dificulta seu uso em pequenas e médias empresas.

O sistema MRP ("*Material Requirements Planning*" - Planejamento das necessidades de materiais) é um sistema complexo e tem foco em estoques (de matéria-prima e produto acabado) (RUSSOMANO, 1995). O MRP permite que, baseado na decisão de produção dos produtos finais, determine-se o que, quanto e quando produzir e comprar matérias-primas, componentes e os semi-acabados (CORRÊA *et al*, 2007).

O sistema MRP II ("*Manufacturing Resources Planning*" - Planejamento dos Recursos da Manufatura) é a evolução natural da lógica do sistema MRP, com a extensão do conceito de cálculo das necessidades ao planejamento dos demais recursos de manufatura (MOURA JÚNIOR, 1996). A sua complexidade e dificuldade de adaptá-lo às necessidades das empresas é uma crítica comum a este sistema, porém introduziu o conceito de demanda dependente e é um sistema de informações



integrado que disponibiliza um grande número de informações para os diversos setores da empresa (CORRÊA; GIANESI, 1993).

O princípio básico da filosofia JIT (Just in Time), no que diz respeito à produção, é atender de forma rápida à variada demanda do mercado, produzindo normalmente em lotes de pequena dimensão. Conforme Arnold (1999) “JIT é a eliminação de todo o desperdício e a melhoria contínua da produtividade”. O planejamento e programação da produção procura adequar a demanda esperada às possibilidades do sistema produtivo (MOURA JÚNIOR, 1996).

O OPT ("*Optimized Production Technology*" - Tecnologia de Produção Otimizada) é uma técnica de gestão da produção que vem sendo considerada como uma interessante ferramenta de programação e planejamento da produção. É um exemplo de programação da produção com capacidade finita. Para se atingir a meta é necessário que, no nível da fábrica, se aumentem os ganhos e ao mesmo tempo se reduzam os estoques e as despesas operacionais (MOURA JÚNIOR, 1996). Esta técnica não garante soluções ótimas, como sugere seu nome, pois é baseada em procedimentos heurísticos (CORRÊA *et al*, 2007).

A indústria de panificação em questão dependia de poucos funcionários experientes para definir o plano de produção diário, e as decisões tomadas por esses funcionários influenciavam diretamente nos resultados e podiam não representar os reais objetivos da empresa.

Este trabalho demonstra que as condições e limitações de um processo produtivo, em geral conhecidas por poucos funcionários e normalmente vistas de forma isolada, podem ser descritas por equações matemáticas e estudadas de forma conjunta.

O objetivo deste trabalho é então, apresentar um método matemático que defina, de forma otimizada, o plano diário de produção de uma planta industrial de panificação que comercializa produtos assados e congelados.

2 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

Em indústrias com grande variedade de produtos e pouco uso de conservantes, a complexidade do planejamento é maior que na indústria de bens duráveis devido à redução da vida de prateleira (ou prazo de validade) dos produtos. A programação da produção é imprescindível para que os pedidos estejam prontos no horário correto.

Outros elementos também contribuem para a complexidade do planejamento em indústrias alimentícias: o uso compartilhado de equipamentos por diversas linhas de produção, porém não



necessariamente na mesma ordem; a variedade de características do processo de produção de cada produto, com tempos específicos de operação em cada equipamento e a necessidade de processo contínuo devido ao uso de fermento (por exemplo) o que não permite filas na linha de produção. Além disso, o planejamento precisa ser refeito diariamente pois a disponibilidade dos equipamentos e a demanda também são variáveis diárias.

3 ESCOLHA DO MODELO MATEMÁTICO

O crescimento das organizações trouxe resultados espetaculares e por conseqüência novos problemas. A segmentação das responsabilidades gerenciais levou o crescimento da organização em ilhas autônomas com seus próprios objetivos e sistemas de valor, causando objetivos conflitantes entre diversas unidades da organização. Para solucionar este problema surgiu a *Pesquisa Operacional* (PO) (HILLIER, LIEBERMAN, 2006).

Até recentemente gerentes utilizavam em larga escala a intuição gerencial para a tomada de decisão. O baixo poder computacional e a pouca quantidade de informações sobre a situação favoreciam este procedimento. Com a evolução computacional, o uso dos processos de modelagem para a tomada de decisões aumentou consideravelmente, porém o uso da intuição não deve ser descartado, e sim, atuar em conjunto com a modelagem do problema. A tomada de decisão “é o processo de identificar o problema ou uma oportunidade e selecionar uma linha de ação para resolvê-lo” (LACHTERMACHER, 2007).

O diagnóstico do sistema real leva à definição de um problema. O método convencional de reformular o problema de modo a torná-lo interessante para análise é através da formulação de um modelo matemático que represente a essência deste problema (HILLIER; LIEBERMAN, 2006). O presente trabalho utilizou um modelo matemático linear inteiro misto para representar o problema de planejamento e seqüenciamento da produção.

Algumas hipóteses simplificadoras ajudam a formar um modelo matemático, onde se estabelecem as variáveis de decisão e as relações relevantes existentes no sistema (PUCCINI; PIZZOLATO, 1990).

Após a formulação do modelo, define-se um método de resolução deste modelo, através da escolha de algum algoritmo padrão da PO ou através de heurísticas (HILLIER, LIEBERMAN, 2006). Diversos softwares como o LINGO, LINDO, CPLEX, MOSEK e muitos outros solucionam modelos através dos algoritmos-padrão.



Cada tipo de indústria possui particularidades que impedem a generalização dos métodos para planejamento e seqüenciamento da produção. Diversos autores estudaram técnicas diferentes para solucionar este problema, como Metters e Vargas (1999), Gundogar (1999), Paiva e Morabito (2007), Silva e Fernandes (2008), Abuabara e Morabito (2008).

Paiva e Morabito (2007) utilizaram um modelo combinado de Seleção de Processos e Dimensionamento de Lotes para Produção em Usinas (segunda versão), denominado SPDL/PU2 na otimização do planejamento agregado da produção em usinas de açúcar e álcool e afirmam que o modelo proposto pode auxiliar de forma importante no planejamento agregado da produção de usinas, proporcionando agilidade, facilidade e confiabilidade nas análises realizadas.

Abuabara e Morabito (2008) usaram a programação inteira mista no planejamento do corte de tubos metálicos e obtiveram cerca de 65% das soluções melhores que a programação atual que a empresa utilizava. Estes trabalhos apresentam soluções otimistas para os problemas de planejamento da produção. Os problemas de programação linear inteira mista permitem ao programador incluir e tratar as particularidades de cada processo produtivo e por isso são indicadas para o uso.

A Programação Linear (PL) é uma ferramenta da Pesquisa Operacional que usa um modelo matemático composto por funções necessariamente lineares. Os modelos de PL podem ser resolvidos por diversos métodos (Simplex, Ponto Interior e outros).

Um modelo é constituído por uma equação que descreve a “função objetivo” com parâmetros a serem maximizados ou minimizados e um conjunto de equações ou inequações que descrevem as restrições do problema real. As variáveis envolvidas no modelo devem ser determinísticas e positivas ou nulas (PUCCINI; PIZZOLATO, 1990).

A Programação Linear segue a hipótese de divisibilidade, onde as variáveis de decisão podem receber valores não inteiros. Em grande parte dos problemas, as variáveis de decisão só fazem sentido quando adquirem valores inteiros. Se o modelo respeitar todas as características da formulação de PL e requerer que todas as variáveis sejam inteiras, torna-se um modelo de *Programação Linear Inteira* (PLI). Modelos aonde apenas algumas variáveis tiverem de ser inteiras são denominados de *Programação Inteira Mista* (PMI) (HILLIER, LIEBERMAN, 2006).

O uso da Programação Linear Inteira Mista para o planejamento da produção de uma indústria foi testado em uma fundição de grande porte e aprovado com resultados satisfatórios (ARAÚJO; ARENALES, 2004).

A Programação Linear possui inúmeras aplicações e grande parte delas possui mais que um objetivo, e em geral, conflitantes. Estes casos são conhecidos como Programação Linear Multi-Objetivo (PLMO), ou seja, um problema de otimização multi-objetivo envolve a minimização (ou maximização) de vários critérios conflitantes que não podem ser satisfeitos simultaneamente



(ARRUDA, *et al*, 2008). O problema multi-objetivo busca encontrar a melhor solução dentro de um universo multidimensional (JASZKIEWICZ; SLOWINSKI,1995).

Para denominar estas funções utiliza-se o método de escalarização, onde o problema multi-objetivo é transformado em um problema mono-objetivo através de uma função escalar substituta, que carrega parâmetros de preferência do decisor (LOBIANCO; ANGULO-MEZA, 2007).

Existem três tipos de função de escalarização. A primeira consiste em otimizar uma das funções objetivo, restringindo as outras. A função considerada de maior importância é escolhida como função substituta e as demais são tratadas como restrições. O segundo tipo é o de minimizar a distância ao ponto de referência, utilizando uma dada métrica. O terceiro tipo consiste na soma ponderada das funções objetivo, no qual se atribui pesos para cada função de forma que a soma dos pesos seja igual a 1. (LOBIANCO; ANGULO-MEZA, 2007).

O problema de planejamento e seqüenciamento da produção aqui demonstrado foi representado através de um modelo matemático linear inteiro misto, com função objetivo multicritério (por ponderação) e solucionado utilizando-se um software comercial.

O uso de uma abordagem por ponderação para a otimização multicritério permite variar a importância de cada objetivo de um modo fácil para o usuário, e a solução calculada é fortemente dependente dessas ponderações.

4 DEMONSTRAÇÃO DO MÉTODO

O modelo busca produzir dentro do horário previsto, reduzir a perda de produtos, otimizar o uso dos equipamentos e otimizar a linha de produção, atendendo toda a demanda. A consecução dos quatro objetivos combinados proverá o frescor dos produtos e a competitividade de mercado.

Os ingredientes são essencialmente os mesmos, o que diferencia os produtos são os processos a que são submetidos. E cada processo produtivo é composto por diversas etapas, em ordem. As etapas estão relacionadas a equipamentos específicos e tempos de processo. Por exemplo, a etapa de cozimento que pode ser realizada em forno rotativo para um produto ou em forno a lastro, para outro. As características próprias dos produtos como peso bruto, tipo de massa e prazo de validade, a demanda por hora de entrega (pedido), a duração do turno de trabalho e hora de início deste turno também são relevantes para o planejamento da produção.

O intervalo de planejamento é de 1 minuto e os lotes de produção são divididos por tipo de massa. Decide-se, através do modelo, qual tipo de massa, em qual quantidade (tamanho de lote) deve iniciar sua produção em qual minuto. Além disso



Utilizam-se apenas dois tamanhos de lote (lotes com dois pesos líquidos), o lote mínimo e o lote máximo. Lotes menores que o mínimo ou maiores que o máximo não podem ser processados devido ao limite de carga nos equipamentos e os lotes intermediários não são utilizados por essa indústria para facilitar a padronização da formulação dos produtos.

O cadastro dos equipamentos determina o valor do menor e do maior lote possível de ser processado por toda a fábrica. O tamanho do lote é uma função da capacidade de cada equipamento conforme as equações:

$$L_{\text{mínimo}} = \text{Max} \left[C_{\text{mínima}}^q * N^q \right] \forall q \text{ ativo}$$

onde :

$$C_{\text{mínima}}^q = \text{capacidade mínima do equipamento "q"}$$

$$N^q = \text{n}^\circ \text{ de equipamentos "q" disponíveis}$$

$$L_{\text{máximo}} = \text{Min} \left[C_{\text{máxima}}^q * N^q \right] \forall q \text{ ativo}$$

onde :

$$C_{\text{máxima}}^q = \text{capacidade máxima do equipamento "q"}$$

$$N^q = \text{n}^\circ \text{ de equipamentos "q" disponíveis}$$

(1)

O prazo de validade da massa (PV_m) é o menor prazo de validade (tempo máximo de espera na fábrica) dos produtos cadastrados com aquela massa.

$$PV_m = \text{Min} \left[PV_p \right] \forall p \in m$$

onde:

$$PV_m = \text{prazo de validade da massa "m"}$$

$$PV_p = \text{prazo de validade do produto "p"}$$

(2)

O modelo agrupa os dados técnicos em “padrões”. O padrão “i” é uma variável que representa o fluxograma de um processo produtivo e carrega as seguintes informações do lote a ser processado:

- Tipo de massa (m);
- Peso do lote a processar (lote mínimo ou lote máximo);
- Validade (PV_m);
- Tempo de processamento do padrão (TP_i);
- Tempo de processo em cada equipamento, em ordem (TP_q);
- Quantidade de equipamentos necessária para o processo (n_q).



Se o mesmo produto pode ser processado de duas formas diferentes, como alguns tipos de massas especiais que podem ser cozidas em fornos rotativos ou em fornos a lastro e em cada tipo de forno o tempo de processo é diferente, este produto dará origem a quatro diferentes padrões, dois com cada tipo de equipamento e de cada dois, um com o lote máximo e um com o lote mínimo.

O tempo de processamento do padrão (TP_i) é calculado somando-se o tempo de processo em cada etapa da fabricação.

$$TP_i = \sum TP_q \quad \forall q \in i$$

onde:

TP_i = tempo de processo do padrão "i" (3)

TP_q = tempo de processo do equipamento "q"

O valor do número de equipamentos necessários para processar o lote (n_q) é oriundo da razão entre o peso do lote (L_i) e a capacidade do equipamento "q". n_q é o menor inteiro que respeita a condição:

$$n_q \geq \frac{L_i}{C_q^{m\acute{a}xima}}$$

onde:

n_q = n° de equipamentos "q"

L_i = peso do lote (padrão i)

C_q^{máxima} = capacidade máxima do equipamento "q" (4)

Um padrão é representado da seguinte forma:

$$P_i = M^m _ P^L _ V^m PV_m _ T^m TP_i _ n_q^1 abv_q^1 TP_q^1 _ \dots _ n_q^e abv_q^e TP_q^e$$

onde:

P_i = padrão "i"

os valores entre aspas são substituídos por:

"m" = número da massa

"L" = peso do lote

"PV_m" = prazo de validade da massa m em minutos

"TP_i" = tempo de processo do padrão i em minutos

"n_q^e" = n° de equipamentos do tipo "q" necessários na etapa "e" (varia de 1 a e)

"abv_q^e" = abreviatura do nome do equipamento "q" utilizado na etapa "e"

"TP_q^e" = tempo de processo do equipamento "q" utilizado na etapa "e"

Por exemplo, utilizando as informações técnicas da TABELA 1, considerando o lote mínimo de 25 kg e o prazo de validade da massa "Salgada", por exemplo, sendo igual a 30 minutos, forma-se o seguinte padrão:

$$P_3 = M1_P25_V30_T18_1BA1_1MA3_1ES7_1FR5_1EM2$$

Considerando agora o lote máximo de 70kg, o segundo padrão relacionado a massa "Salgada" é escrito da seguinte forma:

$$P_4 = M1_P70_V30_T18_3BA1_1MA3_3ES7_3FR5_1EM2$$



TABELA 1- Dados técnicos sobre o processamento da massa “Salgada”

Massa	Etapa	Equipamento	Tempo (min.)	Capac. Max. Peso bruto (kg)
Salgada	Pesagem	Balança (BA)	1	25
Salgada	Mistura	Masseira (MA)	3	70
Salgada	Crescimento	Estufa (ES)	7	25
Salgada	Cozimento	Forno Rotativo (FR)	5	25
Salgada	Embalagem	Embalagem Ambiente (EM)	2	70

O padrão P₄ também pode ser apresentado conforme a FIGURA 1.

P4		M1_P70_V30_TI																	
8		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
3BA1	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1MA3	2	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3ES7	3	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0						
3FR5	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	3	3	3	0	0
1EM2	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1

FIGURA 1 - Padrão P₄

A posição (0,0) da matriz (linha zero e coluna zero, de valor igual a 1) apresenta o tipo de massa deste padrão. A posição (0,1) apresenta o peso do lote a processar (70kg de massa úmida). A posição (0,2) apresenta o tempo de espera permitido (prazo de validade para a indústria) e a posição (0,3) apresenta o tempo total (em minutos) utilizado para processar este padrão.

Os campos de (1,1) até (5,18) apresentam a quantidade de equipamentos utilizados em cada tempo de processo (em minutos), ou seja, no primeiro minuto após o início do processo do padrão 4 serão utilizadas três balanças (BA). No segundo, terceiro e quarto minuto será utilizada uma masseira (MA) e assim por diante.

As variáveis de decisão são $x_{i,j}$, A_m , C_m e D_k . As variáveis inteiras $x_{i,j}$ representam a quantidade do padrão i que inicia sua produção no tempo j . Por exemplo: quando $x_{5,10} = 2$, significa



que devemos iniciar a produção de 2 lotes do padrão nº 5, 10 minutos após o início do turno. O valor de i varia de 1 até, no mínimo, duas vezes a quantidade de tipos de massas no pedido, ou seja, i é sempre um número par. Este valor pode ser maior quando uma massa gera mais que dois padrões. O valor de j varia de 1 até J_i (tempo total de operação (TO) descontado o tempo de processo do padrão i (TP_i)).

As variáveis A_m representam a quantidade de produtos da massa tipo “m”, em peso, que não foram programados para produção e as variáveis C_m representam a quantidade de produtos da massa tipo “m”, em peso, que foram programados em excesso para produção. O valor de m vai de 1 até o nm (número de massas diferentes existentes no pedido).

As variáveis D_k , com k variando de 1 até $nm \cdot h$ (número massa * número de horários de entrega), representam o peso de produto tipo “m” não produzido dentro do horário estipulado. As variáveis $x_{i,j}$ são inteiras positivas ou são nulas. As demais variáveis são positivas ou nulas.

Na modelagem multi-objetivo por ponderação (ou método dos pesos), cada objetivo possui um peso (importância) diferente na função e os valores são tais que a soma é sempre 1 (100%). Este peso indica o percentual de importância deste item para o planejador, em relação aos demais. Os pesos são definidos pelo tomador de decisão no início do processo de planejamento. O uso da ponderação permite ao tomador de decisão alterar facilmente os pesos de cada função e estudar as conseqüências de cada função objetivo dentro do planejamento.

A função que busca produzir dentro do horário previsto minimiza o somatório das variáveis D_k , que representam o peso de produto não produzido dentro do horário (variáveis de folga nas restrições de atendimento no tempo).

$$f_1 = \min \sum_{k=1 \rightarrow nm \cdot h} D_k$$

onde:

nm = número de massas no pedido

h = número de diferentes horários de entrega

D_k = quantidade em peso de produtos não produzidos no horário

k representa o tipo de massa/horário de entrega

(5)

A função que busca reduzir a perda de produtos minimiza o somatório das variáveis C_m , que representam o peso de produtos da massa “m”, programados em excesso (desperdício).

$$f_2 = \min \sum_{m=1 \rightarrow nm} C_m$$

onde:

nm = número de massas no pedido

C_m = quantidade em peso de produtos produzidos sem demanda (em excesso)

(6)

A função que busca otimizar o uso dos equipamentos visa processar o menor nº de lotes possível, minimizando o somatório das variáveis inteiras $x_{i,j}$.



$$f_3 = \min \sum_{i=1 \rightarrow p} \sum_{j=1 \rightarrow J_i} x_{i-j} \quad (7)$$

onde:

p = número de padrões

J_i = Tempo de operação (TOP) – TP_i , para cada padrão i

x_{i-j} = quantidade de lotes a processar do padrão i no tempo j

A função que busca otimizar a linha de produção, atendendo toda a demanda, minimiza o somatório das variáveis A_m , que representam o peso de produto presente na lista de pedidos e não produzido.

$$f_4 = \min \sum_{m=1 \rightarrow nm} A_m \quad (8)$$

onde:

nm = número de massas

A_m = quantidade de produtos da massa m não produzidos

A função objetivo é uma composição das quatro funções, onde os pesos (frações) indicam a importância do critério na tomada de decisão.

$$f_{obj} = F_1 * f_1 + F_2 * f_2 + F_3 * f_3 + F_4 * f_4 \quad (9)$$

onde:

F_z é um valor entre 0 e 1 e $\sum_{Z=1 \rightarrow 4} F_z = 1$

Reescrevendo a função objetivo temos:

$$f_{obj} = \min \left(F_1 * \sum_{k=1 \rightarrow nm * h} D_k + F_2 * \sum_{m=1 \rightarrow nm} C_m + F_3 * \sum_{i=1 \rightarrow p} \sum_{j=1 \rightarrow J_i} x_{i-j} + F_4 * \sum_{m=1 \rightarrow nm} A_m \right) \quad (10)$$

onde:

nm = número de massas no pedido

h = número de diferentes horários de entrega

D_k = quantidade em peso de produtos não produzidos no horário

C_m = quantidade em peso de produtos produzidos sem demanda (em excesso)

p = número de padrões

J_i = Tempo de operação (TOP) – TP_i , para cada padrão i

x_{i-j} = quantidade de lotes a processar do padrão i no tempo j

A_m = quantidade de produtos da massa m não produzidos

F_z = peso da função Z dentro da função objetivo (valor entre 0 e 1)

k representa o tipo de massa / horário de entrega

O modelo possui três grupos de restrições. O primeiro grupo de restrições busca atender a demanda total, independente do horário, ou seja, o somatório do produto das variáveis de decisão e



seus lotes, mais a variável de falta de produção, menos a variável de excesso tem que ser igual a demanda daquele tipo de massa.

$$\left[\left(\sum_{i=1 \rightarrow p} \sum_{j=0 \rightarrow J_i} L_i * x_{i_j} \right) + A_m - C_m = Q_m, \forall i \text{ de massa tipo } m \right], \forall m = 1 \rightarrow nm. \quad (11)$$

onde:

nm = número de massas no pedido

C_m = quantidade em peso de produtos produzidos sem demanda (em excesso)

J_i = Tempo de operação (TOP) – TP_i , para cada padrão i

x_{i_j} = quantidade de lotes a processar do padrão i no tempo j

A_m = quantidade de produtos da massa m não produzidos

L_i = tamanho do lote (em kilos) no padrão i

Q_m = Demanda de produção, em kilos, da massa tipo m

Ao limitar o tempo máximo de início do processo (J_i), o modelo garante que todos os lotes processados terão seu término dentro do turno de trabalho estipulado.

O segundo grupo de restrições busca respeitar os horários de entrega dos produtos, ou seja, o somatório do produto das variáveis de decisão válidas e seus lotes, mais a variável de “não atendidos” tem que ser igual a demanda daquele tipo de massa naquele horário de entrega.

$$\left[\left(\sum_{i=1 \rightarrow p} \sum_{j=T1 \rightarrow T2} L_i * x_{i_j} \right) + D_k \geq Q_k, \forall i \text{ de massa tipo } m \right] \forall k = 1 \rightarrow h * nm \quad (12)$$

onde:

$T1$ = Hora de entrega – TP_i – PV_i

$T2$ = Hora de entrega – TP

PV_i = prazo de validade (tempo máximo de estoque)

p = número de padrões

x_{i_j} = quantidade de lotes a processar do padrão i no tempo j

L_i = tamanho do lote (em kilos) no padrão i

k representa o tipo de massa/horário de entrega

D_k = quantidade em peso de produtos não produzidos no horário

Q_k = demanda em peso de produtos no horário

nm = número de massas no pedido

h = número de diferentes horários de entrega

Em $T1$ (minutos) é o momento de iniciar a produção para que o produto esteja pronto antes da hora da entrega no limite do prazo de validade e em $T2$ (minutos) para que fique pronto exatamente no momento da entrega. Tempos entre $T1$ e $T2$ são considerados entregues dentro do horário.

O último grupo de restrições limita a sobrecarga nos equipamentos e está dividido em duas fases. Na primeira fase, para cada equipamento, os padrões são comparados de modo a não permitir



que se sobreponham dentro do quadro do planejamento ou que extrapolem a capacidade máxima de processo do equipamento.

A cada tempo inicial de um padrão, verificam-se quais tempos iniciais de outros padrões ocupariam o mesmo equipamento neste mesmo instante. Para tal, utiliza-se o valor do período de ocupação (TP) e dos momentos iniciais de cada equipamento (α) baseados nas linhas de processos.

TP_i^r é o período de ocupação do equipamento "r" pelo padrão "i".

$$\alpha_i^r = \alpha_i^{r-1} + TP_i^{r-1}$$

onde:

$$\alpha_i^r = \text{momento inicial do equipamento "r" no padrão "i"} \tag{13}$$

$r-1$ = informações do equipamento ocupado na etapa anterior

As restrições apresentam-se da seguinte forma:

$$u_i^r * x_{i-j} + \sum_{\substack{l=1 \rightarrow p \\ \forall l \neq i}} \left(\sum_{\substack{\gamma=1 \rightarrow TP_i^r \\ \text{desde que} \\ (j+\beta_{i,l}+\gamma) \leq J_l}} (u_l^r * x_{l-(j+\beta_{i,l}+\gamma)}) \right) \leq q_r, \forall j=1 \rightarrow J_i, \forall r \tag{14}$$

$$\beta_{i,l} = \alpha_i^r - \alpha_l^r$$

onde:

u_i^r = quantidade de equipamentos do tipo "r" utilizados pelo padrão i

x_{i-j} = quantidade de lotes a processar do padrão "i" no tempo "j"

α_i^r = momento inicial do equipamento "r" no padrão "i"

TP_i^r = tempo de ocupação do equipamento "r" pelo padrão "i".

J_i = Tempo máximo válido para o padrão "i".

q_r = quantidade do equipamento r disponível

Por exemplo, para o equipamento 6 (EmbalaAmb – Embalagem na temperatura ambiente), a TABELA 2 mostra o momento inicial (a que minuto após o início do processo o equipamento em questão será utilizado) e o tempo de ocupação de cada padrão (durante quanto tempo o produto permanece neste equipamento).

TABELA 2 – Momento inicial e tempo de ocupação para a etapa de Embalagem (r=6) nos padrões 1 a 4.

	Padrão 1	Padrão 2	Padrão 3	Padrão 4
α	16	16	17	17
TP	1	1	2	2

Dado: $u_1^6 = u_2^6 = u_3^6 = u_4^6 = 1$, $TP_1 = TP_2 = 16$, $TP_3 = TP_4 = 18$ e $q_6 = 1$ as restrições referentes ao equipamento 6 são:



$$\begin{aligned}
 &1x_{1_1} + (1x_{2_1}) \leq 1 \\
 &\vdots \\
 &1x_{1_TO-16-1} + ((1x_{2_TO-16-1}) + (1x_{3_TO-16-2}) + (1x_{4_TO-16-2})) \leq 1 \\
 &1x_{1_TO-16} + (1x_{2_TO-16}) \leq 1 \\
 &1x_{2_1} + ((1x_{1_1})) \leq 1 \\
 &\vdots \\
 &1x_{2_TO-16-1} + ((1x_{1_TO-16-1}) + (1x_{3_TO-16-2}) + (1x_{4_TO-16-2})) \leq 1 \\
 &1x_{2_TO-16} + ((1x_{1_TO-16})) \leq 1 \\
 &1x_{3_1} + ((1x_{1_2} + 1x_{1_3}) + (1x_{2_2} + 1x_{2_3}) + (1x_{4_1} + 1x_{4_2})) \leq 1 \\
 &\vdots \\
 &1x_{3_TO-18-1} + ((1x_{1_TO-18} + 1x_{1_TO-18+1}) + (1x_{2_TO-18} + 1x_{2_TO-18+1}) + (1x_{4_TO-18-1} + 1x_{4_TO-18})) \leq 1 \\
 &1x_{3_TO-18} + ((1x_{1_TO-18+1} + 1x_{1_TO-18+2}) + (1x_{2_TO-18+1} + 1x_{2_TO-18+2}) + (1x_{4_TO-18})) \leq 1 \\
 &1x_{4_1} + ((1x_{1_2} + 1x_{1_3}) + (1x_{2_2} + 1x_{2_3}) + (1x_{3_1} + 1x_{3_2})) \leq 1 \\
 &\vdots \\
 &1x_{4_TO-18-1} + ((1x_{1_TO-18} + 1x_{1_TO-18+1}) + (1x_{2_TO-18} + 1x_{2_TO-18+1}) + (1x_{3_TO-18-1} + 1x_{3_TO-18})) \leq 1 \\
 &1x_{4_TO-18} + ((1x_{1_TO-18+1} + 1x_{1_TO-18+2}) + (1x_{2_TO-18+1} + 1x_{2_TO-18+2}) + (1x_{3_TO-18})) \leq 1
 \end{aligned}$$

Na segunda fase, o padrão é comparado com ele mesmo, ou seja, se têm uma massa do padrão 3, iniciada no tempo 5 ($x_{3_5}=1$), utilizando o equipamento 2 (Masseira) por 3 minutos, outra massa do mesmo padrão só poderá ter seu processo iniciado no tempo 8 ou mais (mais que 3 minutos do início da outra massa), dado que a capacidade do equipamento 2 é 1 (FIGURA 2 e FIGURA 3). Logo a equação a seguir tem que ser respeitada:

$$1 * x_{3_5} + 1 * x_{3_6} + 1 * x_{3_7} \leq 1, \text{ ou seja, como } x_{3_5}=1 \text{ então necessariamente } x_{3_6}=0 \text{ e } x_{3_7}=0.$$

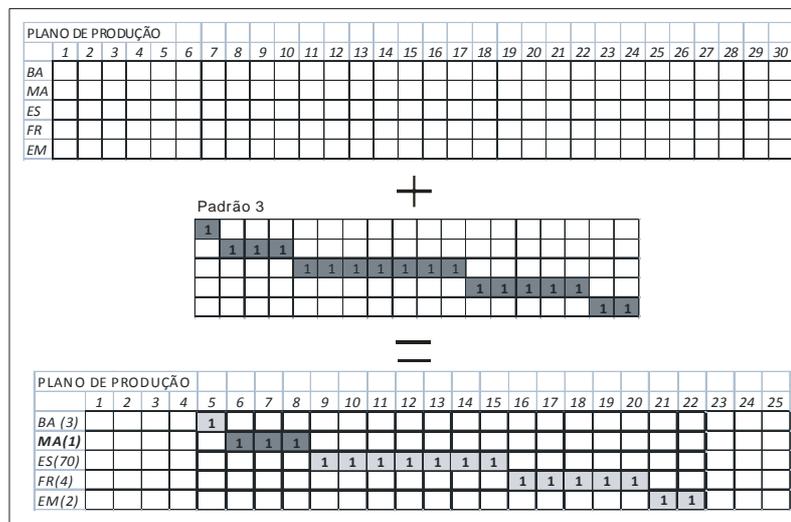


FIGURA 2 - Plano de Produção com $x_{3_5} = 1$.



PLANO DE PRODUÇÃO		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
BA (3)					1				1																	
MA(1)						1	1	1	1	1	1															
ES(70)									1	1	1	2	2	2	2	1	1	1								
FR(4)																	1	1	1	2	2	1	1	1		
EM(2)																						1	1		1	1

FIGURA 3 - Plano de Produção com $x_{3,5} = 1$ e $x_{3,8} = 1$.

A cada dois padrões equivalentes $(i, i+1)$:

$$\sum_{j=t_1 \rightarrow t_1+U_2} u_i^r * x_{i-j} + u_{i+1}^r * x_{i+1-j} \leq q_r, \forall t_1 = 1 \rightarrow T_2, \forall r \quad (15)$$

onde:

u_i^r = quantidade de equipamentos do tipo r utilizados pelo padrão i

$$U_2 = TP_i^r - 1$$

TP_i^r = tempo de uso do equipamento r pelo padrão i

T_2 = Hora de entrega – TP_i

x_{i-j} = quantidade de lotes a processar do padrão i no tempo j

r = equipamento

q_r = quantidade do equipamento r disponível

Alguns índices são calculados para estudar a eficiência do planejamento:

A quantidade de produtos não produzidos (Q_{NP}) representa uma quantidade, em peso, de produtos solicitados pelos clientes e que não foram colocados no planejamento (f_4 minimiza Q_{NP}).

$$Q_{NP} = \sum_{m=1 \rightarrow nm} A_m \quad (16)$$

onde:

nm = número de massas no pedido

A_m = quantidade de produtos da massa m não produzidos

Q_{NP} = quantidade em peso de produtos não produzidos

Os produtos produzidos em excesso são aqueles que não foram solicitados pelos clientes e fazem parte do planejamento de produção (f_2 minimiza Q_{PE}).

$$Q_{PE} = \sum_{m=1 \rightarrow nm} C_m \quad (17)$$

onde:

nm = número de massas no pedido

C_m = quantidade em peso de produtos produzidos sem demanda (em excesso)

Q_{PE} = quantidade em peso de produtos produzidos em excesso

A quantidade de produtos não produzidos dentro do horário estipulado (o que não significa que deixaram de ser produzidos) podem ter sido produzidos fora do horário (f_1 minimiza Q_{PF}) e são representados por QPF.



$$Q_{PF} = \sum_{k=1 \rightarrow nm \cdot h} D_K \quad (18)$$

onde:

nm = número de massas no pedido

k representa o tipo de massa/horário de entrega

D_k = quantidade em peso de produtos não produzidos no horário

Q_{PF} = quantidade em peso de produtos que não são produzidos dentro do horário estipulado

Após a comparação da demanda com a produção, identificam-se os valores produzidos fora do horário de entrega. Os produtos fora do prazo de entrega são aqueles que encerraram sua produção antes do necessário e precisarão ficar em estoque mais tempo que o recomendado pelo prazo de validade. Tais produtos possuem sua qualidade comprometida.

O percentual de produtos fora do prazo de validade serve de base para prever o índice de reclamações (caso este produto seja entregue) e é calculado da seguinte forma:

$$P_{FP} = \left(\frac{\sum_{g=1 \rightarrow k} Q_{FP_g}}{Q_{PROD}} \right) * 100\% \quad (19)$$

onde:

P_{FP} = percentual de produtos fora do prazo de validade dentro da produção

Q_{FP_g} = quantidade, em peso, fora do prazo de validade do grupo "g"

g = combina tipo de massa e horário e varia de 1 até k .

Q_{PROD} = quantidade, em peso, produzida

A demanda total de produção é igual a soma das demandas por tipo de massa por horário, conforme na equação abaixo:

$$Q = \sum_{g=1 \rightarrow k} Q_g \quad (20)$$

onde:

Q = demanda total de produtos

g = combina tipo de massa e horário e varia de 1 até k .

Q_g = quantidade, em peso, solicitada da massa/horário "g"

O percentual de produtos entregues no horário, em relação a demanda total é calculado da seguinte forma:

$$P_{DP} = \left(\frac{\sum_{g=1 \rightarrow k} Q_{DP_g}}{Q} \right) * 100\% \quad (21)$$



onde:

P_{DP} = percentual de produtos dentro do prazo de validade dentro da demanda

Q_{DP_q} = quantidade, em peso, dentro do prazo de validade do grupo "g"

g = combina tipo de massa e horário e varia de 1 até k.

Q = quantidade, em peso, total solicitada (demanda)

O percentual de produtos produzidos para entrega sem qualidade (fora do prazo de validade), em relação a demanda total é calculado da seguinte forma:

$$P_{SQ} = \left(\frac{\sum_{g=1 \rightarrow k} Q_{FP_g}}{Q} \right) * 100\% \quad (22)$$

onde:

P_{SQ} = percentual de produtos fora do prazo de validade dentro da demanda

Q_{FP_q} = quantidade, em peso, fora do prazo de validade do grupo "g"

g = combina tipo de massa e horário e varia de 1 até k.

Q = quantidade, em peso, total solicitada (demanda)

O percentual de pedidos não atendidos devido a falta de produção é calculado da seguinte forma:

$$P_{NA} = \left(\frac{Q - Q_{PROD}}{Q} \right) * 100\% \quad (23)$$

onde:

P_{NA} = percentual de produtos solicitados e não atendidos

Q_{PROD} = quantidade, em peso, produzida

Q = quantidade, em peso, total solicitada (demanda)

Com estes índices é possível comparar diversos planos de produção e definir a importância de cada função objetivo na situação atual da empresa.

5 RESULTADOS

Testes preliminares foram realizados para definir os pesos das funções objetivos a serem utilizados para testar a eficiência do modelo matemático. O fluxograma utilizado nos testes foi reduzido (algumas etapas do processo foram retiradas) para reduzir o tempo de processamento de teste. A quantidade de pedidos utilizada nos testes está acima do dobro da média solicitada por hora da indústria em estudo. Isto busca reduzir o impacto da alteração do fluxograma e dos tempos de



processo. Os testes são realizados considerando apenas uma hora de produção para manter a proporção com relação aos tempos de processo.

O pedido médio da empresa em estudo é de 1,33 ton de massa úmida por turno (aprox. 166 kg/h). O pedido utilizado nos testes preliminares totaliza 347,5 kg de massa úmida (bruta) para serem processados em até uma hora, a partir das 05h30, conforme demanda apresentada na FIGURA 4 .

Arquivo	Editar	Formatar	Exibir	Ajuda	
11/12/2008	19:39:55				
Tempo_saida	30	90	60	90	Fim_da_linha_1
Tipo_Massa	1	1	3	3	Fim_da_linha_2
Peso_kg	62,5	140	60	85	Fim_da_linha_3

FIGURA 4 - Demanda de 347,5kg

O interesse da indústria utilizada como base está em atender a maior parte da demanda dentro do horário (maior %DH), porém, caso não seja possível, prefere-se não deixar de produzir nenhum pedido (%NA=0 se possível), mesmo que precise estar pronto antes do tempo (se necessário o %SQ pode ser maior que 0).

Os índices de rendimento e os percentuais de atendimento, obtidos como resultados dos testes preliminares estão apresentados na TABELA 3 juntamente com os pesos utilizados nos testes preliminares.

TABELA 3 – Índices de Atendimento obtidos nos testes preliminares.

n	F1	F2	F3	F4	%DH	%SQ	%NA
1	0	0	0	100	59,7%	40,3%	0,0%
2	100	0	0	0	65,5%	2,2%	32,4%
3	90	10	0	0	66,9%	2,2%	30,9%
4	80	10	10	0	65,5%	2,2%	32,4%
5	70	10	10	10	77,7%	22,3%	0,0%
6	10	70	10	10	79,9%	18,0%	2,2%
7	10	10	70	10	76,3%	22,3%	1,4%
8	10	10	10	70	77,7%	22,3%	0,0%
9	0	10	10	80	59,7%	40,3%	0,0%
10	0	0	10	90	59,7%	40,3%	0,0%



Onde: F1 = Entregar no horário; F2 = Reduzir o desperdício; F3 = Reduzir o número de lotes; F4 = Atender a demanda; %DH = Entregas dentro do horário; %SQ = Entregas sem qualidade; %NA = Pedidos não atendidos (não produzidos e produzidos depois do horário)

Considerando o objetivo da organização de maior %DH, %NA=0 se possível e, se necessário, o %SQ pode ser maior que 0 optou-se pelos pesos utilizados nos testes número 5 e 8.

Após os testes preliminares para escolha dos pesos das funções objetivo, o modelo novamente gerado, porém com o uso de dados reais da indústria em estudo, com fluxogramas completos e tempos de processamento utilizados no dia a dia. O pedido utilizado na modelagem foi cedido pela própria indústria, sendo considerado normal e que representa a maior parte dos pedidos recebidos durante o ano (exceto datas comemorativas). As informações técnicas utilizadas no modelo estão apresentadas no Anexo. Os resultados obtidos após os planejamentos utilizando os pesos dos testes preliminares cinco e oito estão apresentados na TABELA 4.

TABELA 4 - Índices obtidos após o planejamento real e utilizados para a tomada de decisão.

n	Pesos				Prod Kg	% ATENDIMENTOS		
	F1	F2	F3	F4		%DH	%SQ	%NA
1	10	10	10	70	1335,0	55,81	43,39	0,80
2	70	10	10	10	1310,0	59,56	38,10	2,34

Onde: F1 = Entregar no horário; F2 = Reduzir o desperdício; F3 = Reduzir o número de lotes; F4 = Atender a demanda; %DH = Entregas dentro do horário; %SQ = Entregas sem qualidade; %NA = Pedidos não atendidos (não produzidos e produzidos depois do horário)

A produção de 1325,3 kg foi programada e seqüenciada com sucesso. Seu horário de entrega varia entre 03h00 e 07h00 e é de responsabilidade do terceiro turno, com horário para início da produção às 22h30 e duração de oito horas.

Para este tipo de pedido, o conjunto de pesos que se aproxima mais dos resultados esperados pela empresa é o planejamento número 1, que, mesmo apresentando uma fração menor de pedidos entregues dentro do horário com qualidade (%DH) garante menos que 1% dos pedidos não atendidos (%NA), que é um dos principais objetivos da empresa.

Definem-se então os pesos: 10 para entregar no horário, 10 para reduzir o desperdício, 10 para reduzir o número de lotes e 70 para atender a demanda, como pesos ideais para este tipo de pedido nesta organização e mostra-se possível programar e seqüenciar a produção de um pedido real de aproximadamente 1,33 toneladas de produtos a serem produzidos em um turno de oito horas, utilizando-se o tempo computacional de duas horas.



6 CONCLUSÃO

Para solucionar o problema de planejamento da produção de uma indústria de panificação que possui horários de entrega definidos pelo cliente e baixos tempos de permanência dos produtos (depois de produzidos) dentro da indústria, foi utilizado um modelo matemático linear inteiro misto com função objetivo que pondera a importância de quatro objetivos e manipula de forma satisfatória as informações técnicas necessárias à programação e seqüenciamento da produção.

O modelo desenvolvido resolve o problema de planejamento da produção de uma indústria de panificação. Um pedido com até 1,33 toneladas, a ser produzido em um turno de oito horas, é modelado e planejado com tempo computacional de até duas horas em notebook Sony Vaio Core 2 Duo com 1,83GHz e 1GB de memória RAM. Pedidos com volumes superiores a 1,3 toneladas requerem o uso de processadores de maior capacidade ou irão depender um tempo computacional superior a 2 horas.

Os equipamentos disponíveis e suas capacidades influenciam diretamente na viabilidade da produção. O modelo, ao ser alimentado com dados reais de outra organização, não garante os mesmos índices para o mesmo pedido de 1,33 toneladas.

Diferentes pedidos poderão ser seqüenciados e planejados, mas o método não dispensa a interferência humana no planejamento. Para cada organização ou alteração de equipamentos disponíveis é necessário repetir os testes preliminares de definição de pesos e um agente decisor, conhecedor dos objetivos da organização deve acompanhar o planejamento e designar os pesos.

REFERÊNCIAS

ABUARA, A.; MORABITO, R., **Programação inteira mista para o planejamento do corte de tubos metálicos na indústria aeronáutica agrícola**. Gestão da Produção, v. 15, n. 3, p. 605-617, São Carlos, set-dez, 2008.

ARAÚJO, S. A.; ARENALES, M. N., **Planejamento e Programação da Produção numa Fundação Cativa Automatizada de Grande Porte**. Investigação Operacional, vol.24, p. 197-210, Lisboa, 2004.

ARNOLD, J. R. T., **Administração de Materiais**. São Paulo: Atlas, Cap. 15, 1999.

ARRUDA, L. V.; NEVES JÚNIOR, F.; SWIECH, M. C. S.; DELGADO, M. R., **Um método evolucionário para sintonia de controladores PI/PID em processos multivariáveis**. Sba Controle & Automação vol.19 no.1, Natal, Março, 2008.



CORRÊA, L. H., GIANESI, I., *Just-in-Time, MRP II e OPT : um enfoque estratégico*, São Paulo : Atlas, 1993.

CORRÊA, L. H., GIANESI, I., CAON, M., *Planejamento, Programação e Controle da Produção*, São Paulo : Atlas, 2007.

GUNDOGAR, E. *A rule-based master production scheduling system for an electro-mechanical manufacturing company*. Production Planning & Control, v. 10, n. 5, p. 486-492, 1999.

HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J., *Introdução a Pesquisa Operacional*. 8ª edição. São Paulo: McGraw-Hill, 2006.

JASZKIEWICZ, A.; SLOWINSKI, R., The light beam search – outranking based interactive procedure for multiple-objective mathematical programming. In: PARDALOS, P. M.; SISKOS, Y.; ZOPOUNIDIS, C. (Eds.), *Advances in Multicriteria Analysis*. Netherlands, Kluwer Academic Publishers, p. 129-146, 1995.

LACHTERMACHER, G., *Pesquisa Operacional na Tomada de Decisões*. 3ª edição. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.

LOBIANCO, A. T. de M.; ANGULO-MEZA, L., *Uma Comparação de Métodos de Solução para Problemas de Programação Linear Multiobjetivo*. In: X Simpósio de Pesquisa Operacional e Logística da Marinha, Rio de Janeiro, 2007.

METTERS, R.; VARGAS, V. *A comparison of production scheduling policies on costs, service level, and schedule changes*. Production and Operations Management, v. 8, n. 1, p. 76-91, 1999.

MOURA JÚNIOR, A. N. C. de., *Novas Tecnologias e Sistemas de Administração da Produção – Análise do Grau de Integração e Informatização nas Empresas Catarineses*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1996. Disponível em <<http://www.eps.ufsc.br>>. Acesso em: 29/07/2008.



MOSEK ApS., **The MOSEK optimization tools manual**. Denmark, 2008, versão 5.0, revisão 105. Disponível em <http://www.mosek.com/fileadmin/products/5_0/tools/doc/pdf/tools.pdf>. Acesso em: 20/06/2008.

PAIVA, R. P. O de; MORABITO, R., **Modelo de otimização para o planejamento agregado da produção em usinas de açúcar e álcool**. Gestão da Produção, v. 14, n. 1, p. 25-41, São Carlos, jan-abr, 2007.

PUCCINI, A. de L.; PIZZOLATO, N. D., **Programação Linear**. Rio de Janeiro: Lamgraf, 1990, 2 ed.

RUSSOMANO, V. H., **PCP : planejamento e controle da produção**. São Paulo, Pioneira, 1995,320p.

SILVA, F. M. da; FERNANDES F. C. F., **Proposta de um sistema de controle da produção para fabricantes de calçados que operam sob encomenda**. Gestão da Produção, v. 15, n. 3, p. 523-538, São Carlos, set-dez, 2008.

Artigo recebido em 31/03/2009 e aceito para publicação em 12/03/2010

ANEXO

Informações técnicas utilizadas no modelo.

TABELA 5 – Lista de etapas dos processos produtivos

Codigo	Etapa
1	Pesagem
2	Divisão
3	Mistura
4	Cilindro
5	Modelagem
6	Acondicionamento em formas
7	Crescimento
8	Corte de Pestana
9	Cozimento
10	Resfriamento
11	Embalagem

TABELA 6- Equipamentos utilizados no processo produtivo

Codigo	Equipamento	Etapa relacionada	C. Mínima (kg)	C. Máxima (kg)	Quant. disp. (un)
1	Balança	Pesagem	1	25	3
2	Masseira	Mistura	25	70	1
4	Divisora	Divisão	1	70	1
5	Faca	Divisão	1	25	3
6	Cilindro	Cilindro	1	70	2
7	Modeladora	Modelagem	1	70	1
9	Formas	Acondicionamento	0	70	1
10	Estufa	Crescimento	0	25	70
11	Lamina	Corte Pestana	0	70	1
12	Forno Rotativo	Cozimento	0	25	4
14	Ambiente	Resfriamento	0	25	10
16	Embalador	Embalagem	0	70	1

TABELA 7- Produtos cadastrados para uso no caso real

Código	Nome	Tipo Massa	Peso Bruto(g)	Validade na indústria (h)
1	Pão Francês	Salgada	50	0,5
2	Pão Hamburger	Doce	60	4
4	HotDog 16	Doce	70	4
9	Baguette	Salgada	70	0,5
20	Francês B	Salgada	50	0,5
21	Francês Gergelim	Salgada	25	0,5
22	Francês Mini	Salgada	25	0,5
23	Francês 75	Salgada	75	0,5
24	Hamburger Mini	Doce	30	4
25	Hamburger Gergelim	Doce	70	4
26	HotDog 20	Doce	60	4
27	HotDog 30	Doce	50	4
28	HotDog Mini	Doce	30	4
29	Dogão	Doce	40	4

TABELA 8 - Processo da Massa Salgada utilizado no modelo real

Etapa		Equipamento	Tempo (min)
1	Pesagem	1 Balança	2
2	Mistura	2 Masseur	5
3	Divisao	5 Faca	1
4	Cilindro	6 Cilindro	4
5	Modelagem	7 Mod_Autom	1
6	AcondFormas	9 Formas	1
7	Crescimento	10 Estufa	180
8	Pestana	11 Lamina	4
9	Cozimento	12 FornoRot	15
10	Resfriamento	14 Ambiente	10
11	Embalagem	16 EmbalaAmb	3

TABELA 9 - Processo da Massa doce utilizado no modelo real

Etapa		Equipamento	Tempo (min)
1	Pesagem	1 Balança	2
2	Mistura	2 Masseur	5
3	Divisao	4 Divisora	6
4	Modelagem	8 Mod_Semi	1
5	AcondFormas	9 Formas	1
6	Crescimento	10 Estufa	210
7	Cozimento	12 FornoRot	18
8	Resfriamento	14 Ambiente	20
9	Embalagem	16 EmbalaAmb	5

TABELA 10 - Tabela de demanda do planejamento real.

<u>Tempo_Saida</u>	<u>Tipo_Massa</u>	<u>Peso_kg</u>
300	1	100
360	1	125
390	1	100
420	1	225
450	1	125
480	1	125
510	1	240
360	3	150,5
420	3	100,2
480	3	24,6
540	3	10

TABELA 11 – Pedido real, após a conversão de hora em tempo

<u>Codigo Produto</u>	<u>Quantidade (unidades)</u>	<u>Hora Saida</u>	<u>Tempo Saida</u>	<u>Tipo Massa</u>	<u>Peso (g)</u>	<u>Codigo Massa</u>
27	200	07:00	480	Doce	50	3
1	1000	04:00	300	Salgada	50	1
1	2500	05:30	390	Salgada	50	1
20	2000	04:30	330	Salgada	50	1
1	1000	03:00	240	Salgada	50	1
21	3000	04:00	300	Salgada	25	1
22	2000	03:00	240	Salgada	25	1
4	2150	04:00	300	Doce	70	3
20	2000	05:00	360	Salgada	50	1
1	2500	05:00	360	Salgada	50	1
26	1000	05:00	360	Doce	60	3
28	1340	05:00	360	Doce	30	3
20	4800	06:30	450	Salgada	50	1
22	5000	06:00	420	Salgada	25	1
2	410	06:00	420	Doce	60	3