

ALINE REGINA NORONHA COSTA

**PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO OTIMIZADA EM INDÚSTRIAS DE
PANIFICAÇÃO.**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção de grau de Mestre em Ciências, Programa de Pós-Graduação em Métodos Numéricos em Engenharia, Setor de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof.^o Arinei Carlos Lindbeck da Silva

CURITIBA

2009

TERMO DE APROVAÇÃO


Aline Regina Noronha Costa

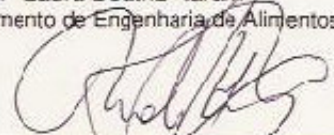
"PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO OTIMIZADA EM INDÚSTRIAS DE PANIFICAÇÃO"

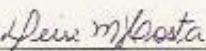
Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no curso de Pós-Graduação em Métodos Numéricos em Engenharia – Área de Concentração em Programação Matemática, Setores de Tecnologia e de Ciências Exatas da Universidade Federal do Paraná, pela seguinte banca examinadora:

Orientador:


Prof^o Dr^o Arinei Carlos Lindbeck da Silva
PPGMNE - UFPR


Prof^a Dr^a Laura Beatriz Karam
Departamento de Engenharia de Alimentos – PUC-PR


Prof^o Dr^o Robson Saleme
Departamento de Engenharia de Produção - FATEC Internacional


Prof^a Dr^a Deise Maria Bertholdi Costa
PPGMNE - UFPR

Curitiba, 11 de março de 2009

AGRADECIMENTOS

Agradeço o apoio e a paciência dos meus pais e irmãos e o auxílio dos amigos, em especial da Crisiane, do Lê, da Vanessa, do Vanderlei, da Mônica e do Nico.

Agradeço ao meu noivo Sidarta e família pela compreensão e companhia.

Agradeço também o apoio da Maristela, sempre disposta a responder todas as nossas perguntas e ao Arinei e todos os professores que apresentaram os “Métodos Numéricos” a esta Engenheira de Alimentos.

Ao Gerson Vasselai e família, proprietários da empresa em estudo, pelos ensinamentos durante os quatro anos que trabalhamos juntos.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	VI
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	VII
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	IX
RESUMO.....	X
ABSTRACT.....	XI
1 INTRODUÇÃO	12
1.1 OBJETIVOS DO TRABALHO.....	13
1.1.1 <i>Objetivo Geral</i>	13
1.1.2 <i>Objetivos Específicos</i>	13
1.2 IMPORTÂNCIA DO TRABALHO.....	13
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO	14
2 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA	15
2.1 AS INDÚSTRIAS DE PANIFICAÇÃO.....	15
2.2 PARTICULARIDADES DO PROCESSO PRODUTIVO	16
2.2.1 <i>Os tipos de pães</i>	16
2.2.2 <i>As etapas</i>	17
3 REVISÃO DA LITERATURA	23
3.1 O PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO	23
3.2 OS SISTEMAS DE PLANEJAMENTO E CONTROLE DE PRODUÇÃO	27
3.3 A PESQUISA OPERACIONAL.....	29
3.3.1 <i>Programação Linear</i>	31
3.3.2 <i>Programação Linear Inteira</i>	33
3.3.3 <i>Programação Linear Multi-Objetivo</i>	35
4 MÉTODO.....	37
4.1 CRITÉRIOS DO TRABALHO	37
4.2 DADOS DE ENTRADA	37
4.3 MODELO MATEMÁTICO.....	38
4.3.1 <i>Tratamento dos dados</i>	38

4.3.2	<i>Variáveis</i>	39
4.3.3	<i>Funções Objetivo</i>	43
4.3.4	<i>Restrições</i>	46
4.3.5	<i>Índices</i>	50
5	IMPLEMENTAÇÃO	55
5.1	ETAPAS.....	55
5.2	EQUIPAMENTOS.....	56
5.3	MASSAS.....	58
5.4	TEMPOS E EQUIPAMENTOS.....	59
5.5	PRODUTOS.....	61
5.6	LOCALIZAR E ALTERAR.....	62
5.7	PEDIDOS.....	63
5.8	DADOS DO PLANEJAMENTO.....	64
5.8.1	<i>Tempo de operação</i>	64
5.8.2	<i>Pesos da Função Objetivo</i>	64
5.8.3	<i>Início da produção</i>	65
5.8.4	<i>Relatórios</i>	66
6	RESULTADOS	70
7	CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	75
	REFERÊNCIAS	77
	ANEXO 1	80
	ANEXO 2	100
	ANEXO 3	107
	ANEXO 4	111

LISTA DE TABELAS

TABELA 1- DADOS TÉCNICOS SOBRE O PROCESSAMENTO DA MASSA SALGADA	41
TABELA 2 – MOMENTO INICIAL E TEMPO DE OCUPAÇÃO PARA A ETAPA DE EMBALAGEM (R=6) NOS PADRÕES 1 A 4.	48
TABELA 3 – TEMPOS DE PROCESSAMENTO DAS MASSAS SALGADA E DOCE.	60
TABELA 4 –PESOS DAS FUNÇÕES OBJETIVO UTILIZADOS NOS TESTES PRELIMINARES.....	71
TABELA 5 – ÍNDICES DE ATENDIMENTO E NÚMERO DE LOTES ABAIXO DA CAPACIDADE MÁXIMA.	71
TABELA 6 – OCUPAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS E PRODUÇÃO (EM PESO).	72
TABELA 7 – RESULTADOS DOS TESTES PRELIMINARES APROVADOS.....	72
TABELA 8 – ÍNDICES OBTIDOS PELO SOFTWARE APÓS O PLANEJAMENTO REAL E UTILIZADOS PARA A TOMADA DE DECISÃO.	74
TABELA 9- PRODUTOS CADASTRADOS PARA USO NO CASO REAL.....	109
TABELA 10 - PROCESSO DA MASSA SALGADA UTILIZADO NO MODELO REAL	109
TABELA 11 - PROCESSO DA MASSA DOCE UTILIZADO NO MODELO REAL...	109
TABELA 12 - TABELA DE DEMANDA GERADA PELO SOFTWARE NO PLANEJAMENTO DO MODELO REAL.	110
TABELA 13 – PEDIDO REAL, APÓS A CONVERSÃO DE HORA EM TEMPO.....	110

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 - CONTINUIDADE DO PROCESSO PRODUTIVO.....	16
FIGURA 2 – REPRESENTAÇÃO DAS LINHAS DE PROCESSO CRUZADAS.....	17
FIGURA 3– DIAGRAMA DE FLUXO DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE MASSA SALGADA EM UMA INDÚSTRIA DE PANIFICAÇÃO.....	18
FIGURA 4– DIAGRAMA DE FLUXO DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE MASSA DOCE EM UMA INDÚSTRIA DE PANIFICAÇÃO.	19
FIGURA 5– DIAGRAMA DE FLUXO DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE MASSA PARA CONFEITAR EM UMA INDÚSTRIA DE PANIFICAÇÃO.	20
FIGURA 6– DIAGRAMA DE FLUXO DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE MASSA ESPECIAL EM UMA INDÚSTRIA DE PANIFICAÇÃO.	21
FIGURA 7– FLUXO DE INFORMAÇÕES NO SOFTWARE DESENVOLVIDO NESTE TRABALHO.....	22
FIGURA 8 – FLUXO PARA SOLUCIONAR PROBLEMAS ATRAVÉS DA MODELAGEM MATEMÁTICA OU DOS MÉTODOS TRADICIONAIS.....	30
FIGURA 9 - ÁRVORE DE DECISÃO DE UM ALGORITMO <i>BRANCH-AND-BOUND</i>	34
FIGURA 10- PADRÃO GERAL APRESENTADO EM FORMATO DE MATRIZ.....	42
FIGURA 11 - PADRÃO P_4 APRESENTADO NA FORMA DE MATRIZ.....	42
FIGURA 12 - PLANO DE PRODUÇÃO COM $X_{3_5} = 1$	49
FIGURA 13 - PLANO DE PRODUÇÃO COM $X_{3_5} = 1$ E $X_{3_8} = 1$	49
FIGURA 14 - EQUIPAMENTO 2 NOS PADRÕES 3 E 4.....	50
FIGURA 15 - TELA DE INTERFACE DO SOFTWARE DE PLANEJAMENTO DE PRODUÇÃO.....	55
FIGURA 16 – TELA PARA CADASTRO DE ETAPAS DOS PROCESSOS.....	56
FIGURA 17 - LISTA DE ETAPAS CADASTRADAS GERADA PELO SOFTWARE ..	56
FIGURA 18 – TELA PARA CADASTRO DE EQUIPAMENTOS.....	57
FIGURA 19 - LISTA DE EQUIPAMENTOS GERADA PELO SOFTWARE	57
FIGURA 20 – TELA PARA CADASTRO DO TIPO DE MASSA E AS ETAPAS QUE PARTICIPAM DO PROCESSO PRODUTIVO.....	58
FIGURA 21 - LISTA DE MASSAS GERADA PELO SOFTWARE	58
FIGURA 22 – DIAGRAMA DE BLOCOS DOS PROCESSOS GERADO PELO SOFTWARE	59

FIGURA 23 – TELA PARA CADASTRO DOS TEMPOS E EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NO PROCESSO PRODUTIVO	60
FIGURA 24 - CADASTRO DE PRODUTOS.....	61
FIGURA 25 - LISTA DE PRODUTOS GERADA PELO SOFTWARE.....	62
FIGURA 26 – TELA PARA APAGAR DADOS CADASTRADOS NO SOFTWARE...	62
FIGURA 27 - PEDIDO MODELO	63
FIGURA 28 –LISTA DE PEDIDOS APRESENTADA PELO SOFTWARE (EXEMPLO)	64
FIGURA 29 - ARQUIVO TEXTO GERADO PELO SOFTWARE COM TABELA DE DEMANDAS.....	65
FIGURA 30 - TELA DE INTERFACE DO SOTWARE APÓS O PLANEJAMENTO...	66
FIGURA 31 - RELATÓRIO DE PRODUÇÃO GERADO PELO SOFTWARE	67
FIGURA 32 - TELA COM MAPA DE CAPACIDADES APRESENTADO PELO SOFTWARE.....	68
FIGURA 33 - TABELA DE TAXA DE OCUPAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS GERADA PELO SOTWARE.....	68
FIGURA 34 - TABELA DE ATENDIMENTO GERADA PELO SOFTWARE	69
FIGURA 35 – ARQUIVO COM DEMANDA DE 347,5KG CALCULADA PELO SOFTWARE NOS TESTE PRELIMINARES	70
FIGURA 36 - RELATÓRIO DE PRODUÇÃO POR HORA GERADO NO TESTE PRELIMINAR NÚMERO 5.....	73
FIGURA 37- LISTA DE ETAPAS UTILIZADAS NO MODELO REAL.....	108
FIGURA 38– LISTA DOS EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NO MODELO REAL. ...	108

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

PCP – Planejamento e Controle da Produção

PO – Pesquisa Operacional

PL – Programação Linear

PLI – Programação Linear Inteira

PMI – Programação Inteira Mista

PLMO – Programação Linear Multi-Objetivo

MRP – *Material Requirements Planning*

MRP II – Manufacturing Resources Planning

JIT – *Just in Time*

OPT – *Optimized Production Technology*

TOC – Teoria das Restrições

VBM – Gerenciamento baseado no valor

DT-ET – *Decision Theory for Earliness and Tardiness problem*

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 e o desenvolvimento de um software para utilização diária. O modelo utiliza dados técnicos de tempos de processo, produtos e equipamentos existentes na indústria, além da demanda real e permite ao tomador de decisão ponderar sobre 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 é resolvido pelo software de otimização MOSEK e apresenta um relatório de seqüenciamento da produção de fácil interpretação para uso direto dos operadores da fábrica.

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 and its implementation to be used daily. Using technical data from time to process, products and equipment in the industry, beyond 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 is solved by the optimization software MOSEK and issues a complete report with sequencing of the production of easy interpretation for direct use by plant operators.

1 INTRODUÇÃO

Permanecer no mercado com preço competitivo e com produtos de qualidade reconhecida é uma tarefa que requer constante aperfeiçoamento e adaptação, conseqüentemente, diversos ramos da indústria buscam alternativas para aprimorar seu desempenho e atingir altos níveis de qualidade com custo reduzido e com flexibilidade.

Os sistemas de planejamento e controle de produção permitem que as indústrias melhorem seu desempenho, reduzindo os custos da linha produção com baixos investimentos.

As decisões sobre a manufatura devem estar integradas com as decisões estratégicas da organização, aplicando o conceito de Estratégia da Manufatura (MOURA JÚNIOR, 1996).

Diversos sistemas de planejamento e controle de produção estão disponíveis no mercado e podem ser adequados a diversos tipos de indústria, inclusive às indústrias de alimentos, para os quais o planejamento é a “longo prazo” ou a linha de produção pode ser interrompida. Para as indústrias de alimentos com planejamento a “curto prazo”, sob demanda ou com processos contínuos, a adaptação dos sistemas existentes é mais complexa.

Este trabalho visa apresentar uma metodologia para automatizar a programação e o seqüenciamento de uma produção contínua baseada em pedidos diários, bem como desenvolver um programa de fácil acesso que possibilite a implantação desta metodologia em indústrias de alimentos.

O presente trabalho deu-se no momento em que uma indústria de panificação apresentou sua enorme dependência de um funcionário com conhecimentos avançados para o planejamento e seqüenciamento da produção diária.

Devido aos diferentes tipos de indústria, ao tamanho das empresas e as diferenças entre as estruturas administrativas e produtivas, não é possível generalizar soluções para o planejamento e controle de produção (PCP). Este trabalho busca então uma solução para a empresa de médio porte, do ramo de

panificação, que opera com diversos tipos de produtos e equipamentos, atendendo demandas diárias sob encomenda e com linhas de produção contínuas.

1.1 OBJETIVOS DO TRABALHO

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver um método que defina, de forma otimizada, o plano diário de produção de uma indústria de panificação que comercializa produtos assados e congelados.

1.1.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Desenvolver um modelo matemático para o problema de programação e seqüenciamento da produção;
- Desenvolver uma ferramenta computacional de fácil manuseio que gere o modelo matemático para ser processado pelo MOSEK;
- Obter relatórios de plano de produção com o seqüenciamento proposto.

1.2 IMPORTÂNCIA DO TRABALHO

O estudo da viabilidade de aplicação de um modelo matemático para o planejamento e seqüenciamento da produção de indústrias de panificação e a sua implementação, desenvolvidos neste trabalho, visam demonstrar que as condições e limitações de um processo produtivo, conhecidas em geral por poucos funcionários e normalmente vistas de forma isolada, podem ser descritas por equações matemáticas e estudadas de forma conjunta.

Um planejamento e seqüenciamento da produção otimizado fornece dados importantes para a tomada de decisões estratégicas de crescimento, expansão e qualidade de atendimento ao consumidor. A partir do modelo matemático será possível aumentar a segurança no cumprimento de prazos de entrega e na qualidade dos produtos acabados.

Rufca (2004) utilizou um modelo multicritério de programação matemática para planejar a produção de uma indústria de alimentos. Seu trabalho teve foco no

controle de estoque e de demanda e na decisão de produzir ou importar. O produto alimentício em questão pode ser transportado por pelo menos 1 dia, pois sofre o processo de importação. As indústrias de panificação operam com produtos que o tempo entre o término da produção e a chegada ao consumidor varia de uma a quatro horas, o que leva o foco de controle para a linha de produção e para o uso otimizado dos equipamentos.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho foi distribuído em sete capítulos, onde o primeiro relaciona a situação atual das indústrias alimentícias e apresenta algumas diferenças entre os tipos de processos e focos de controle. Refere-se também aos objetivos e a importância do presente trabalho. O capítulo 2 apresenta a descrição completa do problema com o detalhamento das particularidades do processo produtivo estudado. No capítulo 3 faz-se a revisão da literatura, comentando trabalhos de planejamento de produção, de modelagem matemática e problemas de programação linear inteira e multi-critério. O capítulo 4 mostra o método utilizado para a modelagem matemática, os critérios utilizados e a descrição do modelo escolhido. O capítulo 5 apresenta a interface do programa e a implementação do método através de um modelo reduzido. O capítulo 6 apresenta os resultados obtidos na implementação de um modelo real. No capítulo 7 fazem-se as conclusões e as sugestões para trabalhos futuros.

2 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

2.1 AS INDÚSTRIAS DE PANIFICAÇÃO

O desenvolvimento da tecnologia de cereais permitiu a industrialização de produtos antigamente artesanais, como o pão francês, broas e pães de hambúrguer. No Brasil existem grandes indústrias de panificação concorrendo com os produtos recém fabricados de pequenas e médias panificadoras. O planejamento da produção é a maior dificuldade das indústrias de panificação que operam com uma grande variedade de produtos e buscam o baixo uso de conservantes.

A programação e seqüenciamento da produção é imprescindível para que os pedidos estejam prontos no horário correto. Cada produto possui particularidades e exige tempos específicos de processo em cada equipamento antes de estar pronto para o consumidor, como o pão francês que, para não perder qualidade, deverá ser entregue ao consumidor em até uma hora após o término do processamento. Esse prazo torna-se um problema quando o local de venda não é o mesmo do processamento. Indústrias de panificação que comercializam produtos assados precisam programar o horário de entrega para garantir a qualidade dos pães.

Os equipamentos utilizados em uma indústria de panificação são compartilhados por diversas linhas de produção, sendo utilizados na produção de diversos tipos de pães. Este compartilhamento exige uma programação para reduzir o tempo ocioso das máquinas e não causar filas, dado que os produtos panificados, em sua maioria, possuem fermento biológico em sua formulação e exigem um processamento contínuo.

Este trabalho está focado no planejamento de produção sob encomenda, de produtos que podem permanecer na indústria por diferentes prazos, que variam de 30 minutos a 4 horas.

Atualmente o planejamento da produção é efetuado por um funcionário que toma decisões com base na experiência.

Cada cliente solicita uma quantidade diferente de cada produto e determina o horário de entrega. Os hotéis, por exemplo, determinam quantos pães franceses, bolos e *baguettes* vão precisar para o café da manhã que é servido às 6 horas.

A variedade de produtos é grande e a indústria precisa decidir com rapidez a ordem de fabricação, que não podem ter seu processo interrompido e não devem permanecer parados na indústria por muito tempo.

2.2 PARTICULARIDADES DO PROCESSO PRODUTIVO

A partir do momento em que a água e o fermento são adicionados ao restante dos ingredientes da formulação, o lote deverá respeitar os tempos de processo até ser finalizado, logo não é possível deixar o lote “esperando” para entrar em uma etapa ou equipamento, o processo precisa ser contínuo, conforme apresentado na FIGURA 1

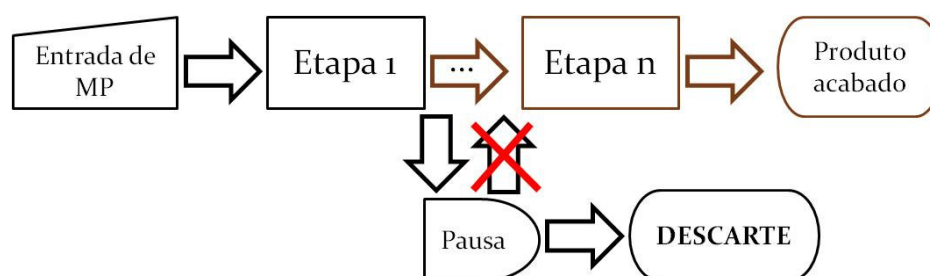


FIGURA 1 - Continuidade do processo produtivo.

2.2.1 Os tipos de pães

Existem diversos tipos de massa, receitas e formulações. Para estudo, podemos dividir as massas em 4 grandes grupos:

Massa salgada ou de sal: É a massa do pão francês e *baguette*. Tem como características principais a crocância, grande volume e miolo macio. Pode receber temperos como orégano e pimenta calabresa no meio da massa ou parmesão e gergelim apenas na superfície. Mesmo com o uso de aditivos e conservantes o prazo de validade na indústria¹ é de 30 minutos, considerando tempo gasto para transporte de 30 minutos.

Massa doce: É a massa do pão de hambúrguer e hot-dog. Tem como características principais a casca macia e de coloração marrom escura e o miolo macio e denso. Tem sabor levemente adocicado e cheiro característico. Não costuma sofrer variações. Possui 4 horas de prazo de validade para a indústria.

¹ Tempo recomendado para permanência do produto na empresa, antes de ser transportado até o consumidor.

Após este período é considerado inadequado para a entrega, considerando que um revendedor exige um prazo de validade² de 3 dias após o recebimento do produto em seu estabelecimento.

Massa para confeitaria: É a massa das roscas e chineques. Recebe frutas na massa ou superfície e coberturas de baunilha, açúcar ou chocolate.

Massa especial: É a massa das broas (normalmente integrais) e dos pães de forma. São confeccionados em assadeiras especiais e exigem grande mão de obra. São confeccionados com diversos tipos de farinha e afins (centeio fino, centeio grosso, trigo integral, batata, cenoura). Tem como características principais as dimensões e o formato (possível de fatiar e/ou retirar a casca), casca levemente crocante e miolo bem firme. Assim como a massa doce, possui 4 horas de prazo de validade para a indústria.

Todas as massas podem ser comercializadas congeladas (quando o processo é desviado, antes da etapa de desenvolvimento do fermento, para a etapa de congelamento). O prazo de validade das massas congeladas é de 30 a 60 dias, dependendo da sua formulação.

2.2.2 As etapas

Cada tipo de massa possui uma linha de produção. Alguns equipamentos são compartilhados entre elas (as linhas de produção são cruzadas) conforme representado na FIGURA 2. As etapas podem variar conforme a indústria. Os diagramas de blocos apresentados nas FIGURAS 3 a 6 mostram as etapas, os equipamentos utilizados e os tempos de processo das massas: salgadas, doces, para confeitaria e especiais, respectivamente.

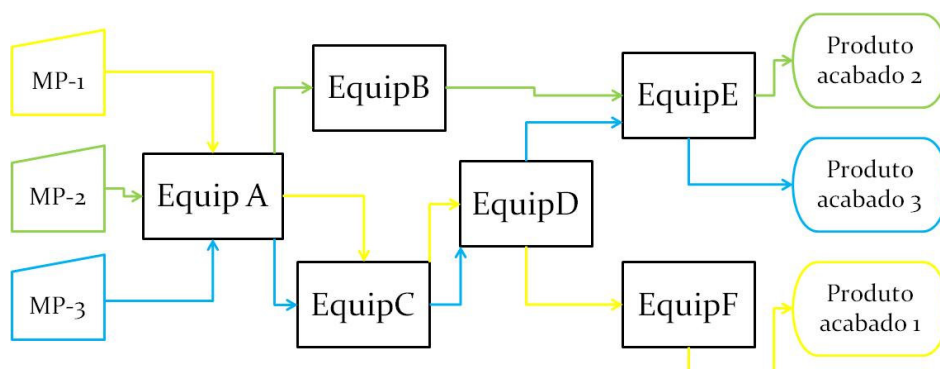


FIGURA 2 – Representação das linhas de processo cruzadas

² Tempo indicado para consumo. Após este período as características organolépticas e a segurança alimentar podem estar comprometidas.

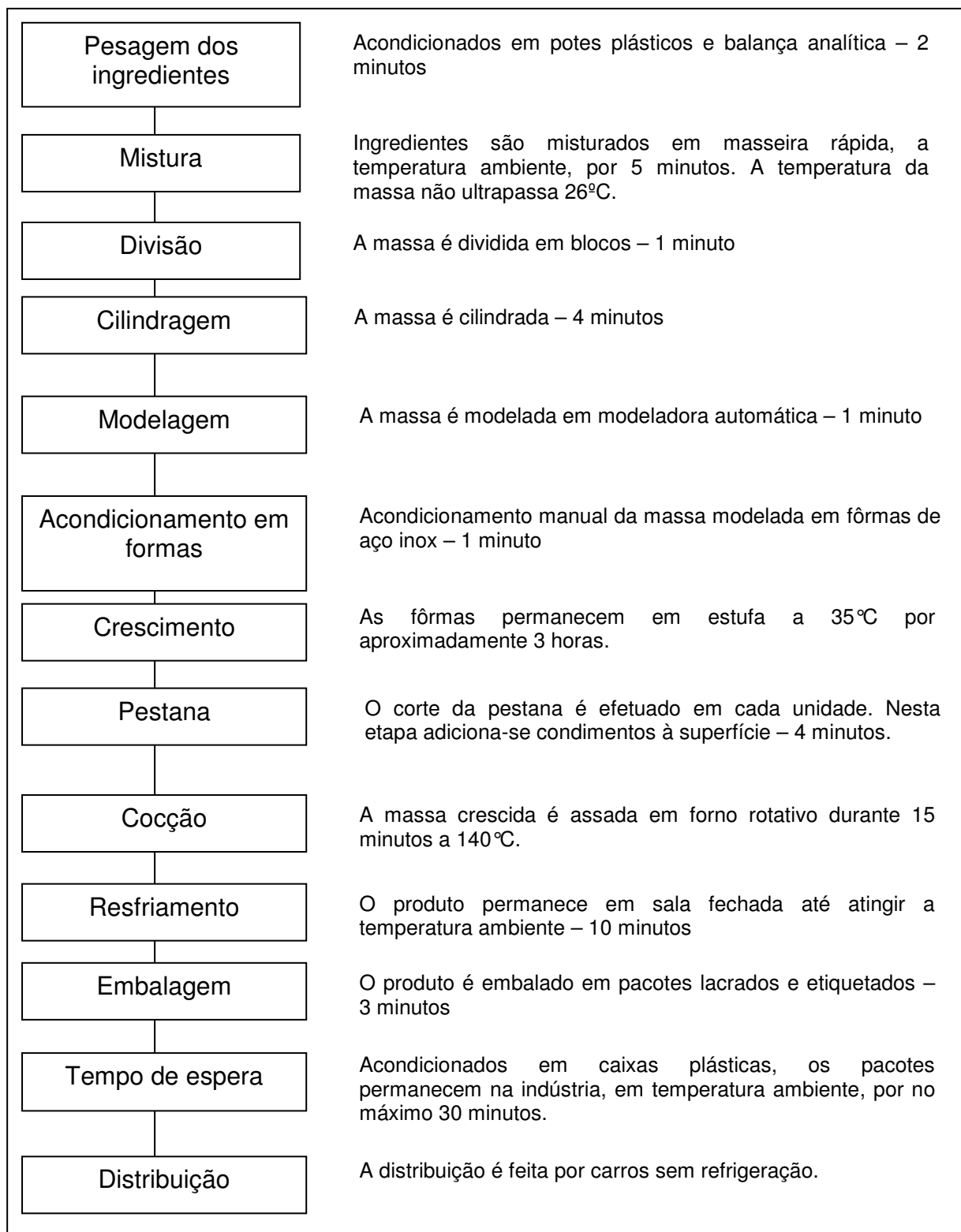


FIGURA 3– Diagrama de fluxo do processo de fabricação de massa salgada em uma indústria de panificação.

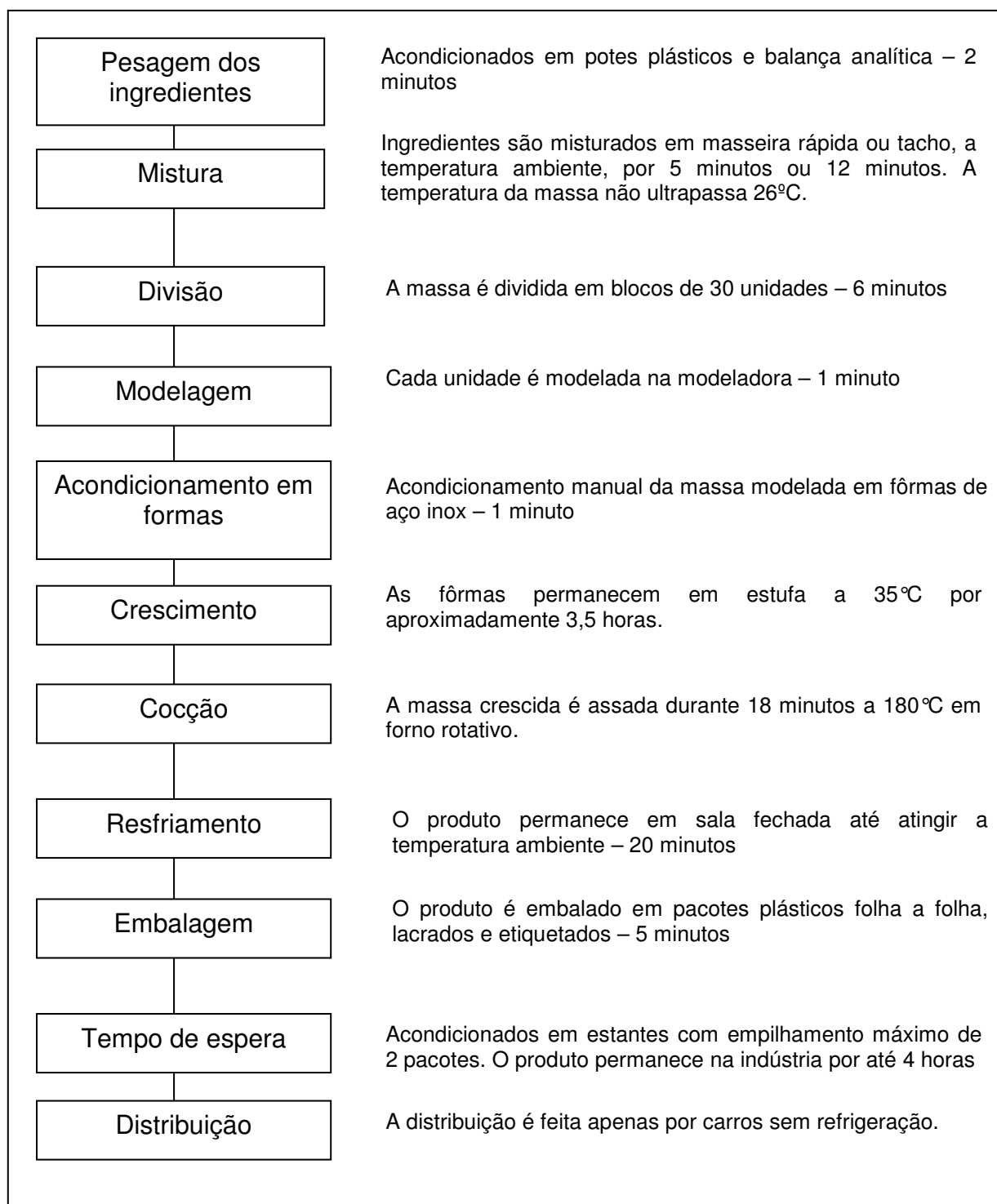


FIGURA 4– Diagrama de fluxo do processo de fabricação de massa doce em uma indústria de panificação.

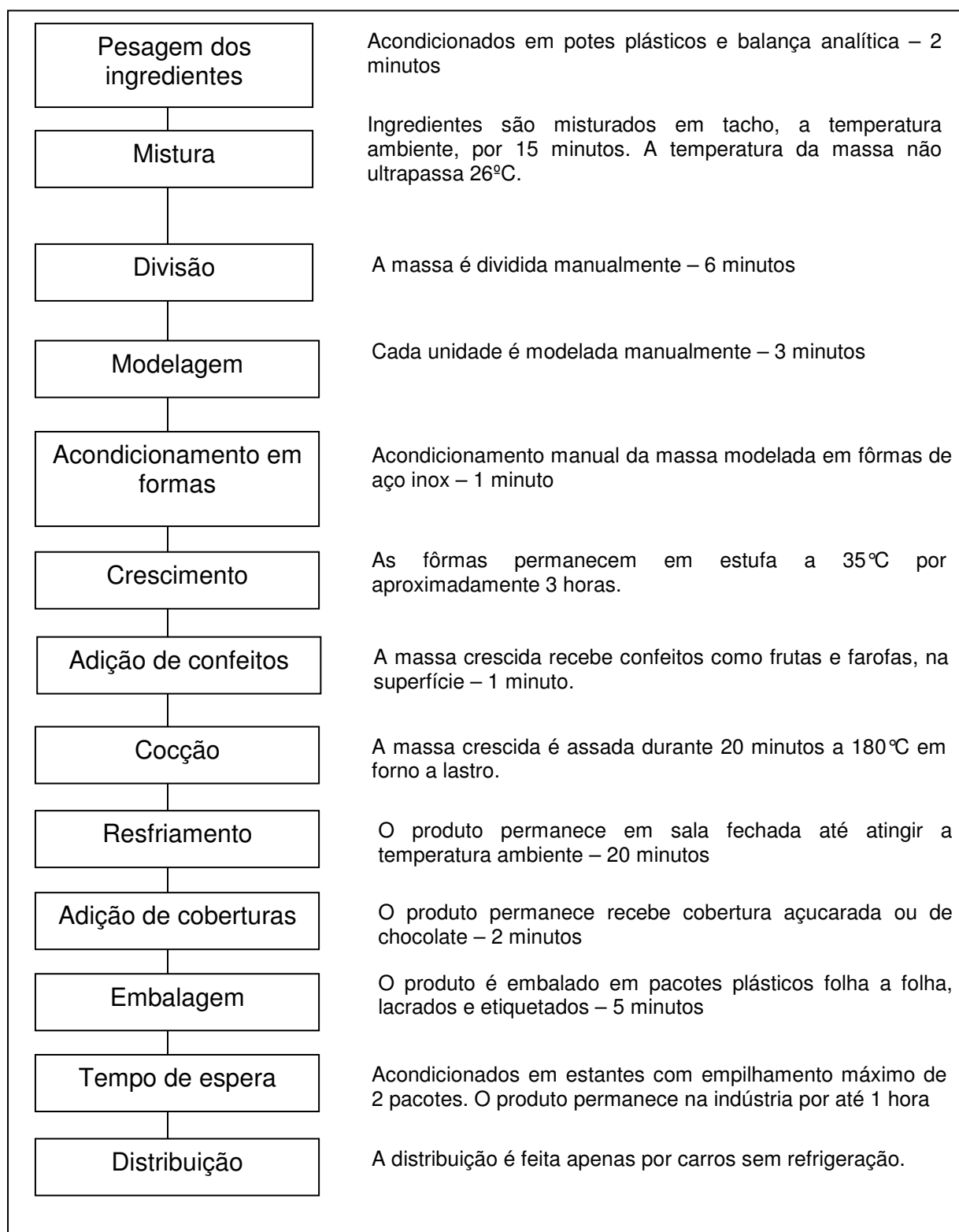


FIGURA 5– Diagrama de fluxo do processo de fabricação de massa para confeitaria em uma indústria de panificação.

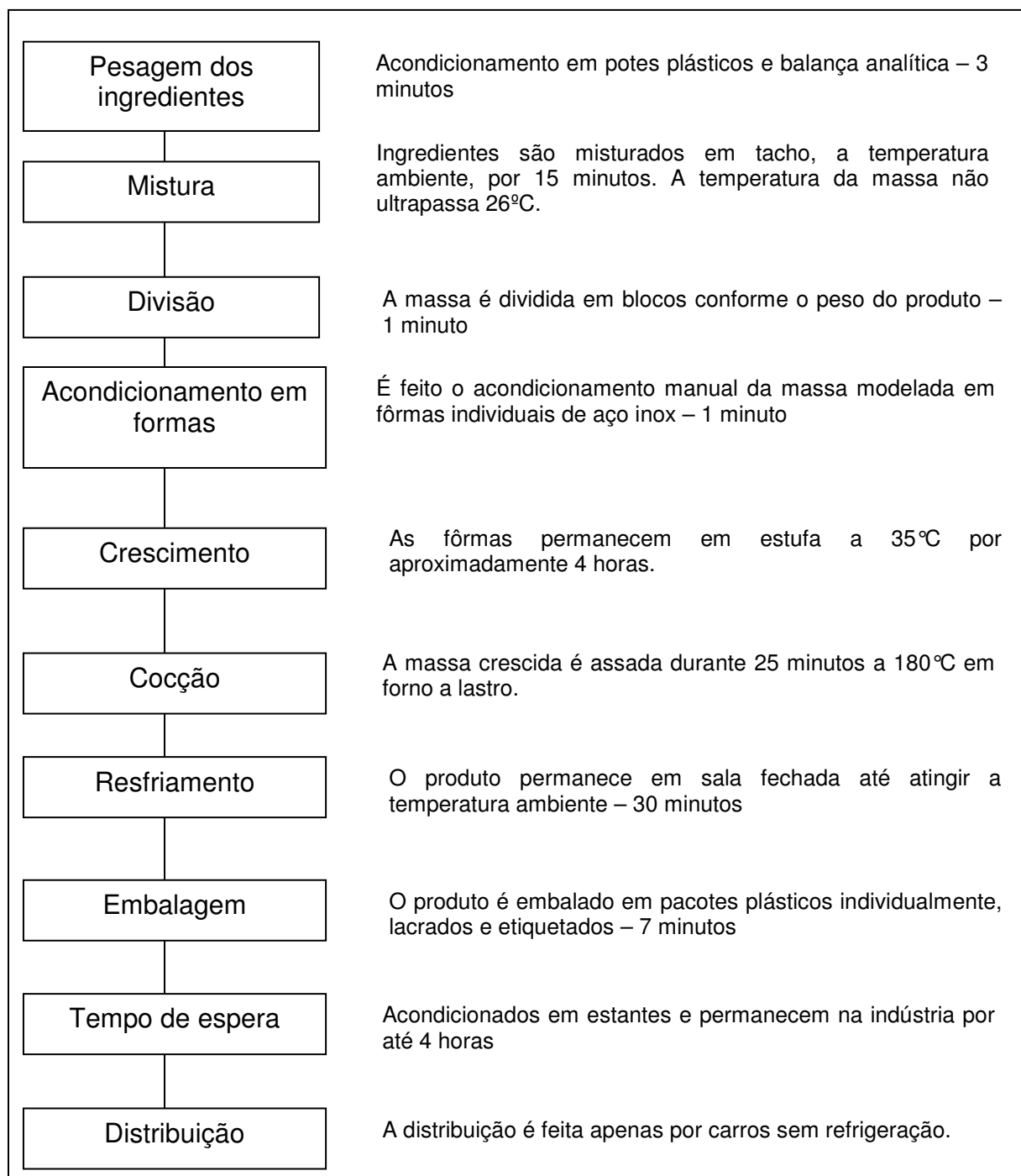


FIGURA 6– Diagrama de fluxo do processo de fabricação de massa especial em uma indústria de panificação.

Cada tipo de massa possui uma variedade de produtos com diferentes sabores e pesos líquidos. Cada equipamento possui uma capacidade mínima e máxima de produção e operação. Os pedidos são efetuados por tipo de produto e o planejador precisa agrupar as massas semelhantes para viabilizar o uso dos equipamentos (atingir a capacidade mínima de cada equipamento).

Conforme apresentado, o planejador, para decidir a ordem de produção de cada dia, precisa ter em mente diversas informações sobre os produtos, o processo e os equipamentos disponíveis. E essa atividade é efetuada diariamente, porém a demanda varia e basear-se na ordem de sucesso utilizada no dia anterior não garante o atendimento da demanda do próximo dia.

Assim sendo, este trabalho busca reunir todas as informações necessárias ao planejamento e organizá-las de forma a seqüenciar a produção diária de uma indústria de panificação (FIGURA 7)

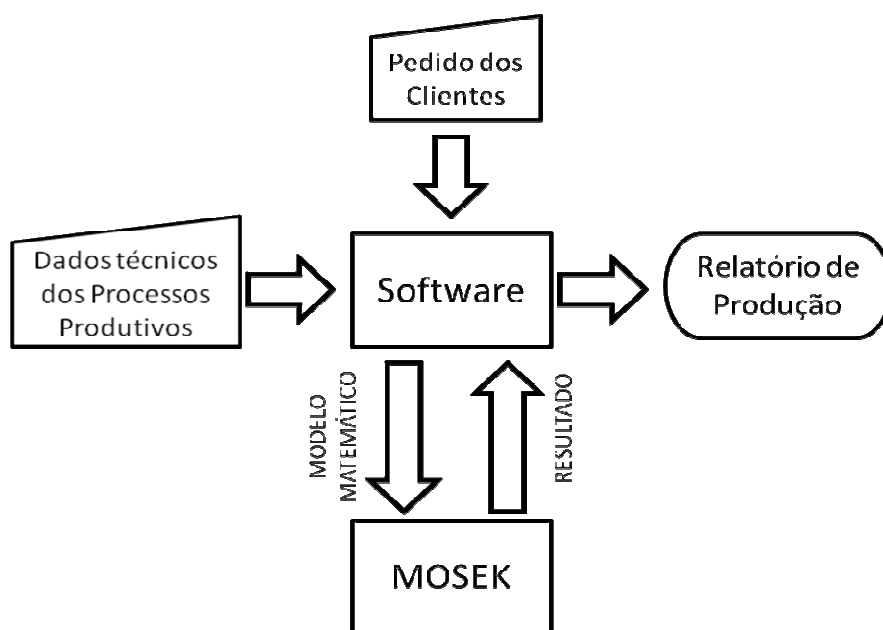


FIGURA 7– Fluxo de informações no software desenvolvido neste trabalho.

3 REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo foi feita uma abordagem de trabalhos sobre modelagem matemática e planejamento de produção, bem como apresentar as bases dos sistemas de controle de produção e os softwares disponíveis no mercado.

3.1 O PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO

O Planejamento e Controle de Produção (PCP) busca transformar informações de estoque, pedidos, equipamentos e processo em ordem de fabricação.

Como fontes básicas de informação, considerando um fluxo primário, tem-se o histórico de vendas ou previsão de vendas, as linhas de produtos e a capacidade produtiva. Com base nisso e nos conhecimentos tecnológicos é possível efetuar o planejamento do processo produtivo, ou seja, determinar “como” e “onde” produzir e “o que” e “quanto” comprar (ZACCARELLI, 1975).

Para o PCP, além das informações citadas, outras são também necessárias como informações do almoxarifado para o estoque, da programação para o setor de vendas, da produção para o setor de entregas entre outras. O planejamento do processo produtivo interfere em todos os setores da empresa por meio dos documentos de roteiro de produção, detalhes de operação, padrões, tempos de processo e equipamentos (ZACCARELLI, 1975).

O Planejamento e Controle da Produção pode ser considerado um Sistema de Administração da Produção. Segundo Corrêa *et al* (2007), Sistema de Administração 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.

Em 1996, Moura Júnior dividiu o planejamento de produção em cinco grupos: previsão de demanda, planejamento de recursos, planejamento de

materiais, programação e seqüenciamento da produção e controle da produção e de materiais.

Previsão de Demanda:

Muito utilizada em planejamentos onde a demanda é desconhecida. Pode ser baseada em ocorrências anteriores (planejamento estatístico) ou em julgamentos de diversas pessoas sobre o desenvolvimento do mercado (predição).

Segundo Buffa e Sarin (1987) as previsões de demanda podem ser classificadas em: longo prazo (cinco anos ou mais, auxilia no planejamento estratégico de ampliações de capacidades e desenvolvimento de produtos), médio prazo (de seis meses a dois anos, o plano mestre de produção baseia-se neste tipo de previsão) e curto prazo (relacionadas com a Programação da Produção e decisões relativas ao controle de estoque).

Os tempos de planejamento apontados nos conceitos de longo, médio e curto prazo variam conforme a organização e seus produtos. Indústrias madeireiras, por exemplo, levam mais de 20 anos entre plantio e colheita enquanto indústrias de panificação levam apenas 5 horas entre o início do processo e a obtenção de um produto acabado.

Planejamento de Recursos:

Faz-se a previsão de recursos necessários (equipamentos, mão-de-obra, capital para investimentos), a princípio a “longo prazo”, baseado na capacidade futura e objetivos estratégicos. Em seguida elabora-se o planejamento das dimensões da força de trabalho e os níveis de estoque para uma produção de famílias de produtos, ainda não detalhados. O Planejamento Mestre da Produção detalha a produção e guia as ações do sistema para um planejamento a “médio prazo” (MOURA JÚNIOR, 1996).

Planejamento de Materiais:

Faz-se o levantamento completo das necessidades de materiais para a execução do plano de produção, com base no estoque e na lista de necessidades. Determina qual material e quanto deverá ser comprado.

Esta etapa está intimamente ligada ao gerenciamento dos estoques (matéria-prima, produto em processo e produto acabado). Estoques consomem capital de giro, exigem espaço para estocagem e deterioram-se, podendo acarretar um alto custo quando mal gerenciado.

Planejamento e Controle da Capacidade:

Calcula a carga de trabalho para cada período futuro visando prever se a estrutura terá capacidade para executar um determinado plano de produção, no prazo estabelecido. Esta etapa fornece informações que permitem identificar gargalos, estabelecer programações a “curto prazo” e estimar prazos viáveis para encomendas futuras além de comparar a situação atual com a planejada a tempo de efetuar medidas corretivas a “curto prazo”. Os índices de eficiência calculados permitem determinar a acuracidade do planejamento, o desempenho de cada centro produtivo e o desempenho do sistema de manufatura.

Programação e Sequenciamento da Produção:

Determina o prazo das atividades a serem cumpridas baseados em informações de demanda, disponibilidade de máquinas e mão-de-obra, prioridades de produção e prazos. As ordens de fabricação iniciam a execução do Planejamento de Produção.

Controle da Produção e Materiais:

Acompanha a fabricação e compra dos itens planejados, visando garantir os prazos estabelecidos nos planos. Recolhe dados de quantidade trabalhada, refugo, material utilizado e hora-máquina utilizada e aciona as atividades de planejamento quando ocorrer algum desvio significativo nos indicadores.

Zaccarelli (1975) dividiu o PCP em outros 5 grupos: planejamento geral, planejamento específico, ferramentas e equipamentos, padrões e estimativas.

O “planejamento geral” determina como e a que custo será produzido cada produto, os padrões de produção, os tempos de processo e o material necessário.

O “planejamento específico” estabelece os detalhes da produção. Determina como estará distribuído no tempo e nos equipamentos. O resultado desta etapa é a folha de operações, com detalhes de qual produto deverá ser executado em qual ordem e utilizando qual equipamento.

“Ferramentas e equipamentos” é a divisão que mantém condições estruturais de operação, planeja manutenções e demonstra a necessidade de novas aquisições.

“Padrões” é a divisão que determina quais as etapas de processo para cada tipo de produto, quais os tempos e especificações de cada etapa, quais os equipamentos em que esta pode ser executada e qual a ordem de preferência.

“Estimativas” é a divisão que estabelece preços de venda, bases para controle de custos e fundamenta decisões sobre fazer ou comprar, plano de operações e alterações no projeto do produto.

O objetivo do sistema de administração da produção é dar suporte à busca dos objetivos estratégicos de uma organização (CORRÊA *et al*, 2007). Segundo Moura Júnior (1996), os objetivos da programação e seqüenciamento da produção são aumentar a utilização dos recursos, reduzir o estoque em processo e reduzir os atrasos no término dos trabalhos.

A programação pode acontecer em três níveis:

Programação no nível de planejamento da produção, quando se procura encontrar as quantidades de cada tipo de produto que devem ser fabricados em períodos de tempo sucessivos.

Programação no nível de Emissão de Ordens, onde se determinam quais itens devem ser reabastecidos e suas datas associadas de término de fabricação e chegada de fornecimento externo.

Programação no nível de Liberação da Produção, onde se determina, para cada ordem de fabricação, quando é necessário iniciar a fabricação e quanto é preciso trabalhar em cada uma das operações planejadas. Isso é possível pelo conhecimento do tempo de passagem de cada componente, o qual contém o tempo de processamento e de montagem de cada operação, os tempos de movimentação e espera existentes entre cada operação (RESENDE, 1989).

No presente trabalho, a organização estudada não utiliza de todo o sistema de administração da produção, utiliza apenas aquela que atinge diretamente os resultados da organização, conforme justificado a seguir.

A previsão de demanda não é efetuada em indústrias que produzem através de pedidos. O planejamento de recursos, em indústrias de panificação, é relativamente simples devido ao fato de utilizar os mesmos recursos para uma grande variedade de produtos. O planejamento de materiais torna-se facilitado pela pequena variedade de matéria-prima e devido a grande estabilidade da mesma em estoque, ou seja, um longo prazo de validade, que facilita as compras e o estoque. Já a programação e seqüenciamento da produção é a etapa crítica do PCP, por possuir diversas peculiaridades no processo produtivo e que não são compartilhadas com outras indústrias alimentícias. Na maioria das indústrias este planejamento é efetuado por um funcionário, com alto conhecimento do processo, no momento da

produção. Esta filosofia torna estas indústrias altamente dependentes destes funcionários, o que dificulta a tomada de decisões.

Torna-se importante buscar uma solução para esta etapa do PCP, para indústrias de panificação de pequeno e médio porte.

3.2 OS SISTEMAS DE PLANEJAMENTO E CONTROLE DE PRODUÇÃO

As atividades de Planejamento e Controle da Produção (PCP) podem ser implementadas e operacionalizadas através do 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).

O sistema MRP ("*Material Requirements Planning*" - Planejamento das necessidades de materiais) surgiu durante a década de 60, com o objetivo de executar computacionalmente a atividade de planejamento das necessidades de materiais, permitindo determinar as prioridades das ordens de compra e de fabricação. 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 contribuiu para simplificar a gestão de materiais, mas sabe-se que garantir a disponibilidade dos materiais não garante a viabilidade da produção de determinados itens em determinados momentos (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).

Dutra (2006) analisa o PCP sob a teoria da complexidade, como um sistema que precisa ser adaptado a cada instante e conclui que, abandonando a linearidade na subdivisão do sistema em favor da visão integrada aonde as soluções vêm da dinâmica, os sistemas de PCP virão desta visão e não da soma das ações isoladas das partes.

Muniz *et al* (2008) utiliza as técnicas de TOC (Teoria das Restrições) e VBM (Gerenciamento baseado no valor) para aumentar a capacidade de produção de uma indústria química sem investir em novos ativos.

A TOC possui cinco etapas e está focada na identificação e no aprimoramento da etapa “gargalo” (etapa de menor capacidade produtiva), enquanto o VBM está orientado para a tomada de decisões. Se aplicados isoladamente, TOC e VBM são conflitantes, pois o VBM busca o aumento do capital podendo causar pausas de produção que prejudica o objetivo da TOC. Para atingir o objetivo de aumento da capacidade foi necessário trabalhar com as duas técnicas em conjunto e contar com o apoio de outras técnicas de Gestão da Qualidade (MUNIZ *et al*, 2008).

Dutra (2006) e Muniz *et al* (2008) estudam a otimização da Produção através da Gestão, não incorporando, a princípio, modelos matemáticos ou heurísticas de produção. Furlan (2004) propõe uma heurística construtiva para programação de ordens de produção com data de entrega única, com o objetivo de evitar estoques

antecipados e entregas atrasadas. A heurística é uma adaptação da heurística denominada de DT-ET (*Decision Theory for Earliness and Tardiness problem*) de Sridharan e Zhou (1996) e possuiu boa performance quando a maioria das ordens está em atraso e o objetivo é minimizar este atraso.

As características deste trabalho mostram-se uma variação do problema de *no-wait flow shop*. Em problemas de *no-wait flow shop* um conjunto de “n” tarefas deve ser processado, na mesma seqüência, por um conjunto de “m” máquinas, sem interrupção. Scardoelli (2008) propôs duas heurísticas para solução deste tipo de problema com objetivo de minimizar o tempo total de fluxo.

Outra maneira de abordar o problema apresentado no presente trabalho é considerá-lo uma variação de problemas tipo *job shop*, para os quais a precedência das tarefas para cada peça deve ser respeitada, cada máquina pode desenvolver uma tarefa por vez e as operações e seqüências de tarefas não podem ser interrompidas (MONTEVECHI *et al*, 2002).

Para que o problema apresentado neste trabalho possa ser considerado um problema *no-wait flow shop* ou um problema *job shop* é necessário acrescentar as “janelas de tempo”, ou seja, a planejamento precisa considerar os horários de entrega.

3.3 A PESQUISA OPERACIONAL

O crescimento das organizações trouxe resultados espetaculares e por consequência 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).

O início da atividade de PO pode ser atribuído às atividades militares de alocação de recursos durante a Segunda Guerra Mundial. A PO contribuiu e ainda contribui para o aumento da produtividade da economia de diversas empresas, como por exemplo a Monsanto Corp., que, em 1985, otimizou as operações de produção nas fábricas químicas para atender a demanda com custo mínimo e obteve economia anual de 2 milhões de dólares, e a Continental Airlines, que

realocou tripulações quando da ocorrência de desajustes nos horários dos vôos em 2003 e obteve economia anual de 40 milhões de dólares (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. Nos dias de hoje, 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).

A Pesquisa Operacional é um conjunto de técnicas que auxiliam a tomada de decisão. É composta por diversas etapas, como identificação do problema, reformulação do problema, definição do método de resolução, validação, manutenção e aprimoramento da formulação ou método, conforme apresentado na FIGURA 8.

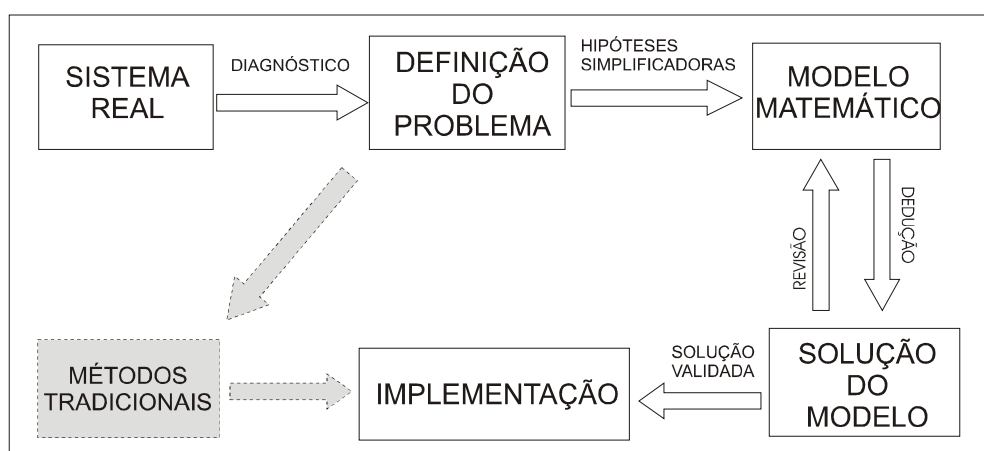


FIGURA 8 – Fluxo para solucionar problemas através da modelagem matemática ou dos métodos tradicionais.

Fonte: PUCCINI; PIZZOLATO, 1990.

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).

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 para o mesmo, 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. O modelo do presente trabalho foi solucionado utilizando-se o MOSEK.

A solução deste modelo deverá ser analisada e criticada e o modelo deverá ser revisado até apresentar resultados satisfatórios para então considerá-lo pronto para ser implementado e para solucionar o problema proposto. Outra forma de solucionar o problema é através de métodos tradicionais como “tentativa e erro”, consulta à opinião de especialistas ou até mesmo foco no problema específico sem analisar se é uma boa solução para o sistema em geral. (PUCCINI; PIZZOLATO, 1990).

3.3.1 Programação Linear

A Programação Linear (PL) é uma ferramenta da Pesquisa Operacional que usa um modelo matemático composto por funções necessariamente lineares para minimizar ou maximizar parâmetros. Os modelos de PL podem ser resolvidos por diversos métodos (Simplex, Ponto Interior e outros). Segundo Hillier (2006), o método Simplex resolve problemas de PL de forma eficiente.

A Programação Linear pode ser aplicada em diversas áreas como administração da produção, análise de investimentos, alocação de recursos limitados, logística, custo de transporte e outros (LACHTERMACHER, 2007).

Segundo Puccini e Pizzolato (1990), “modelo é uma idealização, ou uma visão simplificada da realidade”, a partir desta visão, utilizam-se símbolos matemáticos para representar as variáveis de decisão do sistema real. As funções matemáticas utilizam estas variáveis e representam o funcionamento desse sistema. A solução consiste em encontrar os valores adequados para as variáveis de decisão de modo a otimizar o sistema estudado.

Uma aplicação comum da PL é o problema de “alocar da melhor forma possível (isto é, ótima) recursos limitados para atividades que competem entre si” (HILLIER; LIEBERMAN, 2006).

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).

Para a Programação Linear, qualquer valor estipulado para o conjunto de variáveis de decisão, dentro do domínio da função, é considerado uma solução para o modelo. Esta solução é chamada “solução viável” quando todas as restrições são satisfeitas e “solução inviável” quando ao menos uma das restrições é violada. Uma solução é chamada “ótima” quando é viável e possui o valor mais favorável da função objetivo (maior valor para maximização e menor valor em caso de minimização da função objetivo). O modelo pode ter soluções ótimas múltiplas, não ter solução viável ou não ter solução ótima³ (HILLIER; LIEBERMAN, 2006).

Abaixo um modelo de programação linear em notação matricial:

$$\max Z = c'x$$

sujeito a:

$$A * x \leq b$$

$$x \geq 0$$

Onde:

Z é a medida do desempenho global (função objetivo);

A_(m x n) é a matriz tecnológica⁴;

x_(n x 1) é o vetor das variáveis de decisão;

b_(m x 1) é o vetor dos recursos;

c_(n x 1) é o vetor dos coeficientes da função objetivo Z.

Segundo Hillier (2006) e Lachtermacher (2007) a Proporcionalidade, Aditividade, Divisibilidade e Certeza são hipóteses da PL e podem ser descritas como se segue:

³ Quando a função objetivo é ilimitada

⁴ Matriz que contém as informações sobre uso dos recursos.

Proporcionalidade: o valor da função objetivo é diretamente proporcional ao nível de atividade de cada variável de decisão. Não existem variáveis em qualquer termo de qualquer função com expoente diferente de 1.

Aditividade: as variáveis de decisão são entidades totalmente independentes. Não possui termos cruzados, nem na função objetivo e nem nas restrições, ou seja, não existem termos com produto vetorial, a função é sempre a *soma* das contribuições individuais das respectivas atividades.

Divisibilidade: todas as variáveis de decisão podem assumir qualquer valor fracionário positivo.

Certeza: todos os parâmetros do modelo são constantes conhecidas.

3.3.2 Programação Linear Inteira

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, como, por exemplo, se a variável representar o número de carros a ser produzido. 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 número reduzido de soluções viáveis causada pelo número de variáveis inteiras interfere na dificuldade computacional de resolução de modelos de PI. Em geral, os algoritmos incorporam o método SIMPLEX para resolução do chamado relaxamento PL, que consiste em reescrever o modelo eliminando a *condição de variáveis inteiras* (HILLIER; LIEBERMAN, 2006). Através do método SIMPLEX obtêm-se uma solução inicial ótima não inteira para o modelo “relaxado” e a partir desta solução, busca-se uma solução inteira viável através de métodos de aproximação direta ou algoritmos consagrados, como o algoritmo *Branch-and-Cut* (PUCCINI; PIZZOLATO, 1990).

O resultado do problema relaxado é sempre igual ou mais interessante que o problema inteiro, logo, ao obter a solução final ótima para o problema inteiro, esta será pior ou igual (quando o resultado ótimo relaxado já é inteiro) ao resultado do problema relaxado (LACHTERMACHER, 2007).

Um dos algoritmos utilizados pelo MOSEK (programa de resolução utilizado no presente trabalho) para resolver o PLI é o *Branch-and-Cut* (MOSEK, 2008). O *Branch-and-Cut* é uma variação do algoritmo *Branch-and-Bound*, que subdivide o problema e acrescenta restrições de modo a tornar a solução inteira. Forma-se uma árvore de decisões onde se busca o melhor caminho dentre os existentes.

Por exemplo, a solução inicial de um problema é $S_0 = 98,8$. O objetivo é maximizar a função. As variáveis têm valor: $x_1=4,2$ e $x_2=9,3$. Ao acrescentar a restrição $x_1 \leq 4$ no modelo e resolver novamente, temos uma nova solução $S_1=98,4$ com $x_1=4$ e $x_2=9,3$. Da mesma forma, acrescentando a restrição $x_1 \geq 5$ (ao invés da restrição $x_1 \leq 4$) ao problema original temos $S_2=94$ com $x_1=5$ e $x_2=8$. A FIGURA 9 mostra a árvore de decisão formada.

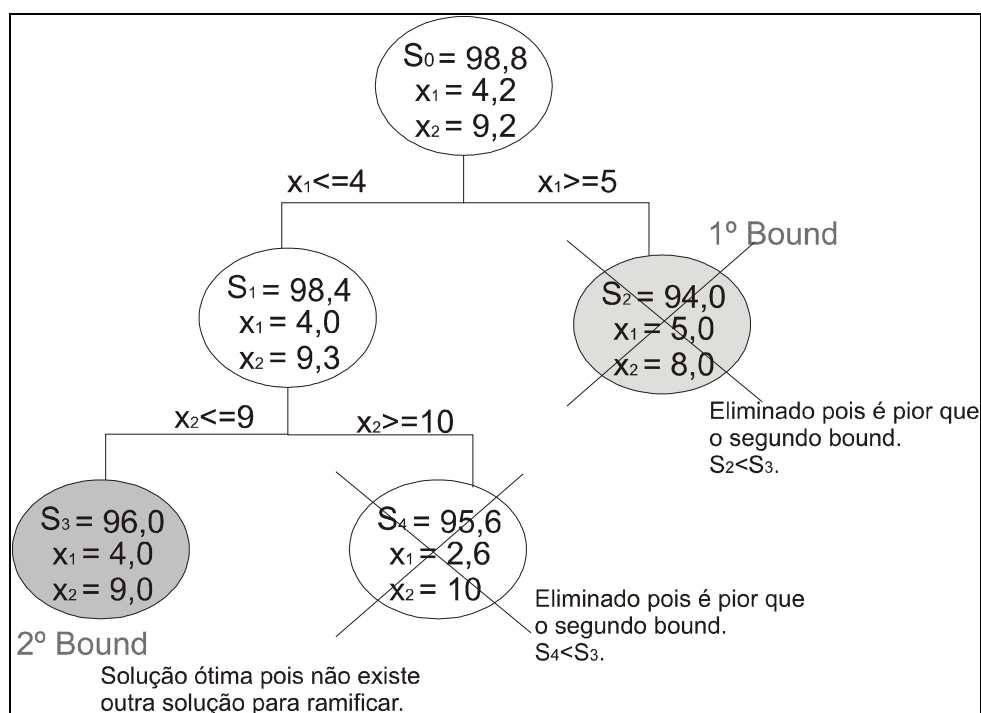


FIGURA 9 - Árvore de decisão de um algoritmo *Branch-and-Bound*.

Fonte: Exemplo didático elaborado pela autora deste trabalho

Ao encontrar uma solução inteira, obtemos um *bound*. A melhor solução ainda não inteira deverá ser ramificada até obter uma solução inteira (*bound*). Os piores *bound's* são eliminados e a solução ótima é encontrada quando todas as soluções disponíveis para ramificação são piores que o melhor *bound*.

3.3.3 Programação Linear Multi-Objetivo

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).

A história da análise multicritério começou com o trabalho de Pareto em 1896 onde analisou-se a agregação de critérios (PARDALOS *et al*, 1995).

A modelagem multi-objetivo considera vários aspectos de um problema e, ao invés de obter uma ou um conjunto de soluções ótimas, com o mesmo valor para a função objetivo, obtém um conjunto de soluções não dominadas, não comparáveis entre si⁵ dentre as quais o usuário poderá escolher, considerando aspectos operacionais e gerenciais (LOBIANCO; ANGULO-MEZA, 2007). Processos iterativos de solução são caracterizados pela alternância de resultados de decisão e resultados computacionais (JASZKIEWICZ; SLOWINSKI,1995).

Considerando duas soluções quaisquer x_1 e x_2 de um problema que tem mais de um objetivo, $f = (f_1, f_2, \dots, f_i)$, $i = 1, \dots, n$ e $n \geq 2$, têm-se duas possibilidades - ou uma solução domina a outra ou ninguém domina ninguém. Diz-se que a solução x_1 *domina* x_2 quando as duas condições são satisfeitas (ARRUDA *et al*, 2008):

$$\forall i: f_i(x_1) \leq f_i(x_2)$$

$$\exists i: f_i(x_1) < f_i(x_2)$$

O conjunto de soluções não dominadas (conjunto de Pareto) é formado por soluções viáveis tais que não exista outra solução viável que forneça uma melhora em uma função objetivo sem provocar uma piora em pelo menos uma outra função objetivo (LOBIANCO; ANGULO-MEZA, 2007).

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).

⁵ com relação ao valor da função objetivo

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 métrica⁶. O terceiro tipo, adotado no presente trabalho, 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. Diferentes pesos levam as mesmas soluções não dominadas, denominada região de indiferença⁷ (LOBIANCO; ANGULO-MEZA, 2007).

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, no entanto, a solução calculada é fortemente dependente das ponderações utilizadas para combinar os objetivos.

O problema de planejamento e seqüenciamento da produção apresentado no capítulo 2 do presente trabalho foi representado através de um modelo matemático linear inteiro misto, com função objetivo multicritério (por ponderação) e solucionado utilizando-se o MOSEK.

⁶ uma métrica mede a distância entre dois pontos em R^n , ou seja, é uma função de distância que atribui a cada par de vetores um escalar

⁷ intervalo de variação dos pesos aonde a função objetivo permanece constante

4 MÉTODO

Neste tópico são abordados os critérios utilizados na formulação do modelo matemático, os parâmetros de entrada, o formato de organização dos dados e o modelo matemático utilizado neste trabalho.

4.1 CRITÉRIOS DO TRABALHO

O planejamento ocorre para até 24h (vinte e quatro horas) de operação, minuto a minuto, após o início da produção. As etapas com menos de um minuto devem ser agrupadas à etapa seguinte ou deve-se considerar o tempo de processamento igual a um minuto no momento do cadastro.

Os lotes processados estão divididos por tipo de massa. O modelo possui quatro objetivos (apresentados no item 4.3) que juntos visam o frescor dos produtos e o aumento da competitividade.

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 (limite de carga nos equipamentos) e os lotes intermediários não são utilizados por esta empresa para facilitar a padronização de formulação.

As perdas referentes ao processo produtivo (como água durante o cozimento) estão consideradas no planejamento através do peso bruto do produto. O planejamento não considera perdas de processo causadas por erros de processamento ou desperdícios na linha de processo.

4.2 DADOS DE ENTRADA

O modelo possui informações técnicas sobre o processo produtivo, como: equipamentos e tempos de processo de cada tipo de massa (linha de produção), capacidades dos equipamentos (mínimas e máximas), demanda por hora de entrega

(pedido), duração do turno de trabalho (tempo de operação - TOP) e hora de início deste turno.

O primeiro grupo de informações é a lista das etapas existentes nos processos produtivos com Código e Nome da Etapa.

O segundo grupo de informações é uma relação de equipamentos presentes na indústria, com código, nome, etapa relacionada, tipo de processo, capacidade mínima e capacidade máxima.

Outro grupo contém a lista de massas produzidas na indústria, também chamadas de “linhas de processo”. Esta lista traz, além do código e nome, quais etapas estão presentes nesta linha de processo e em que ordem elas precisam ser executadas.

Num outro grupo de informações, une-se a lista de equipamentos e a relação das massas, indicando quais equipamentos são utilizados para efetuar qual etapa e em quanto tempo.

O último grupo traz detalhes dos produtos: nome, código, peso bruto⁸, peso líquido, tipo de massa e prazo de validade na indústria (tempo de espera).

Os detalhes sobre o cadastro de todas as informações estão no capítulo 5.

4.3 MODELO MATEMÁTICO

Para seqüenciar a produção foi utilizada a formulação de um problema de programação linear inteira mista. Para gerar o modelo, o programa reorganiza os dados técnicos, conforme descrito a seguir.

4.3.1 Tratamento dos dados

O pedido, informado ao programa através de um arquivo texto, está no formato: “Código do produto, Quantidade em unidades, Hora de Saída”. Exemplo: 022, 500, 06:00, ou seja, 500 unidades do produto 022 deverão sair da indústria às 06:00.

O programa converte a hora de saída em tempo de saída (minutos após o início do turno) e a quantidade, em unidades, para quantidade em peso bruto

⁸ Peso da massa úmida necessária para gerar o produto com o peso líquido desejado, considerando a perda por evaporação.

(úmido). Exemplo: 06:00 equivale a 60 minutos quando o turno inicia-se às 05:00 e 500 unidades de 022 equivalem a 125 kg de massa úmida ($500\text{un} * 0,25\text{kg/un}$).

Com estes dados, um novo pedido é formado, somando-se as quantidades por tipo de massa para cada tempo de saída. O pedido, conhecido como “demanda” apresenta-se no formato: “Tipo de massa, Quantidade em peso, Tempo de Saída”. Exemplo: Salgada, 62.5, 60, ou seja, 62,5 kg (peso úmido) de massa salgada deverão ser processados e estar prontos para sair da indústria 60 minutos após o início da produção (determinado para às 05:00).

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:

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

onde:

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

N^q = nº de equipamentos "q" disponíveis

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

onde:

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

N^q = nº de equipamentos "q" disponíveis

O prazo de validade da massa para a indústria (PV_m) é o menor prazo de validade (tempo máximo permitido de espera) dos produtos cadastrados com aquela massa.

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

onde:

PV_m = prazo de validade da massa "m"

PV_p = prazo de validade do produto "p"

4.3.2 Variáveis

O modelo agrupa os dados técnicos em “padrões”. O padrão “i” é uma variável que representa as características 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);

- Prazo de validade na indústria (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 padrões⁹, dois com cada tipo de equipamento e de cada dois, um com o lote máximo e um com o lote mínimo. Em geral, produtos possuem apenas uma linha de processo e dão origem a dois padrões, um com peso igual ao lote máximo e outro com 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"

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:

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

onde:

n_q = n° de equipamentos "q"

L_i = peso do lote (padrão i)

$C_{m\acute{a}xima}^q$ = capacidade máxima do equipamento "q"

⁹ Formas possíveis de processar este produto conforme as normas da empresa em estudo. Considera apenas a possibilidade de trabalhar na capacidade mínima ou máxima dos equipamentos.

Um padrão é representado da seguinte forma:

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

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 " = nº 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"

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	EmbalaAmb (EM)	2	70

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

$$P_3 = M1_P25_V30_T18_1BA1_1MA3_1ES7_1FR5_1EM2$$

Considerando o lote máximo de 70kg, o padrão relacionado é escrito da seguinte forma:

$$P_4 = M1_P70_V30_T18_3BA1_1MA3_3ES7_3FR5_1EM2$$

Um padrão também pode ser apresentado na forma de matriz, conforme a FIGURA 10.

Pi		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
M _m _L_PV _m _TP _i	0	<i>m</i>	<i>L</i>	<i>PV_m</i>	<i>TP_i</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
n ₁ ABV ₁ 2	1	Σ n ₁	n ₁	n ₁	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
n ₂ ABV ₂ 5	2	Σ n ₂	0	0	n ₂	n ₂	n ₂	n ₂	n ₂	0	0	0	0	0	0
n ₃ ABV ₃ 1	3	Σ n ₃	0	0	0	0	0	0	0	n ₃	0	0	0	0	0
n ₄ ABV ₄ 4	4	Σ n ₄	0	0	0	0	0	0	0	0	n ₄	n ₄	n ₄	n ₄	0
n ₅ ABV ₅ 1	5	Σ n ₅	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	n ₅

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^o 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"

FIGURA 10- Padrão geral apresentado em formato de matriz.

Apresentando o padrão P₄ na forma de matriz têm-se a FIGURA 11.

P4		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
M1_P70_V30_T18	0	1	70	30	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3BA1	1	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1MA3	2	3	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3ES7	3	21	0	0	0	0	3	3	3	3	3	3	3	0	0	0	0	0	0	0
3FR5	4	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	3	3	3	0	0
1EM2	5	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1

FIGURA 11 - Padrão P₄ apresentado na forma de matriz.

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 vezes¹⁰ 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 padrões¹¹. 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.

4.3.3 Funções Objetivo

O modelo possui quatro objetivos:

- Produzir dentro do horário previsto, respeitando o tempo máximo de permanência em estoque;
- Reduzir perda de produtos por produção excessiva;
- Processar o menor número de lotes possível, otimizando o uso dos equipamentos;
- Produzir toda a demanda, otimizando as linhas de produção.

¹⁰ Um padrão com o lote mínimo e outro com o lote máximo para cada fluxograma.

¹¹ Nos casos em que a mesma massa pode ser processada de duas formas diferentes, gerando dois fluxogramas de processo e conseqüentemente quatro padrões.

Na modelagem multi-objetivo por ponderação (ou método dos pesos), adotada no presente trabalho, cada objetivo possui um peso¹² 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.

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

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)

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

¹² Nível de participação

$$f_3 = \min \sum_{i=1 \rightarrow p} \sum_{j=1 \rightarrow J_i} x_{i_j}$$

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.

$$f_4 = \min \sum_{m=1 \rightarrow nm} A_m$$

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.

$$f_{obj} = F_1 * f_1 + F_2 * f_2 + F_3 * f_3 + F_4 * f_4$$

onde:

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

Reescrevendo a função objetivo temos:

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

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

4.3.4 Restrições

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. Cada massa gera uma equação.

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

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.

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

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 quantidade máxima de equipamentos disponíveis.

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:

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

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

As restrições apresentam-se da seguinte forma:

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

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

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 (EmbalaAmb), onde:

$$1x_{1_{-1}} + (1x_{2_{-1}}) \leq 1$$

⋮

$$1x_{1_{TO-16-1}} + ((1x_{2_{TO-16-1}}) + (1x_{3_{TO-16-2}}) + (1x_{4_{TO-16-2}})) \leq 1$$

$$1x_{1_{TO-16}} + (1x_{2_{TO-16}}) \leq 1$$

$$1x_{2_{-1}} + (1x_{1_{-1}}) \leq 1$$

⋮

$$1x_{2_{TO-16-1}} + ((1x_{1_{TO-16-1}}) + (1x_{3_{TO-16-2}}) + (1x_{4_{TO-16-2}})) \leq 1$$

$$1x_{2_{TO-16}} + (1x_{1_{TO-16}}) \leq 1$$

$$1x_{3_{-1}} + ((1x_{1_{-2}} + 1x_{1_{-3}}) + (1x_{2_{-2}} + 1x_{2_{-3}}) + (1x_{4_{-1}} + 1x_{4_{-2}})) \leq 1$$

⋮

$$1x_{3_{TO-18-1}} + ((1x_{1_{TO-18}} + 1x_{1_{TO-18+1}}) + (1x_{2_{TO-18}} + 1x_{2_{TO-18+1}}) + (1x_{4_{TO-18-1}} + 1x_{4_{TO-18}})) \leq 1$$

$$1x_{3_{TO-18}} + ((1x_{1_{TO-18+1}} + 1x_{1_{TO-18+2}}) + (1x_{2_{TO-18+1}} + 1x_{2_{TO-18+2}}) + (1x_{4_{TO-18}})) \leq 1$$

$$1x_{4_{-1}} + ((1x_{1_{-2}} + 1x_{1_{-3}}) + (1x_{2_{-2}} + 1x_{2_{-3}}) + (1x_{3_{-1}} + 1x_{3_{-2}})) \leq 1$$

⋮

$$1x_{4_{TO-18-1}} + ((1x_{1_{TO-18}} + 1x_{1_{TO-18+1}}) + (1x_{2_{TO-18}} + 1x_{2_{TO-18+1}}) + (1x_{3_{TO-18-1}} + 1x_{3_{TO-18}})) \leq 1$$

$$1x_{4_{TO-18}} + ((1x_{1_{TO-18+1}} + 1x_{1_{TO-18+2}}) + (1x_{2_{TO-18+1}} + 1x_{2_{TO-18+2}}) + (1x_{3_{TO-18}})) \leq 1$$

Nota-se que, na última restrição do conjunto acima, referente ao $i=4$, $r=6$ e $j=J_1$ que, diferente das demais restrições, que contém dois elementos do padrão 3, esta contém apenas um elemento ($x_{3_{TO-18}}$) pois o elemento $x_{3_{TO-18+1}}$, que seria o

indicado, foi vetado pela condição onde $j \leq TO - TP_i$, ou seja, $j \leq TO - 18$. O mesmo ocorre em diversas equações, e em todos os equipamentos.

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 quantidade de equipamentos 2 disponíveis é 1 unidade (FIGURA 12 e FIGURA 13). Logo a equação a seguir tem que ser respeitada:

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

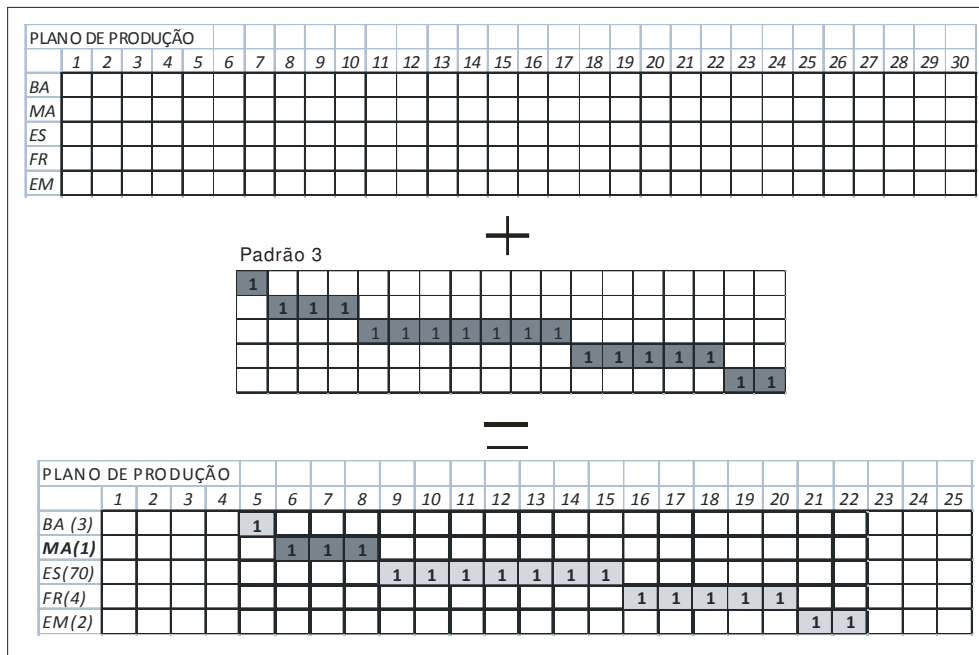


FIGURA 12 - Plano de Produção com $x_{3_5} = 1$.

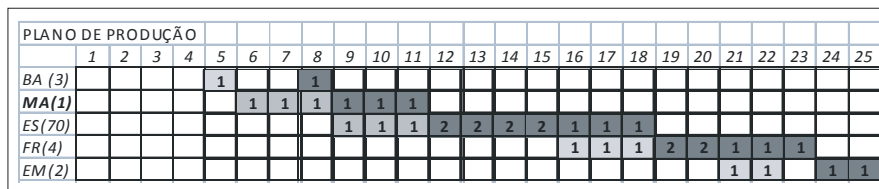


FIGURA 13 - Plano de Produção com $x_{3_5} = 1$ e $x_{3_8} = 1$.

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

$$\sum_{j=1 \rightarrow i+U2} u_i^r * x_{i-j} + u_{i+1}^r * x_{i+1-j} \leq q_r, \forall t_1 = 1 \rightarrow T2, \forall r$$

onde:

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

$$U2 = TP_i^r - 1$$

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

$T2$ = 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

Por exemplo, para o equipamento Masseur (r=2), nos padrões i=3 e i=4, apresentados na FIGURA 14 temos: $u_3^2 = 1, u_4^2 = 1, q_2 = 1, TP_3^2 = 3$ e $TP_4^2 = 3$.

P3		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
M1_P25_V30_T18	r=2	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P4		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
M1_P70_V30_T18	r=2	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

FIGURA 14 - Equipamento 2 nos padrões 3 e 4.

O conjunto de restrições para este equipamento segue o modelo a seguir:

$$1x_{3-1} + 1x_{4-1} + 1x_{3-2} + 1x_{4-2} + 1x_{3-3} + 1x_{4-3} \leq 1$$

⋮

$$1x_{3-T2-2} + 1x_{4-T2-2} + 1x_{3-T2-1} + 1x_{4-T2-1} + 1x_{3-T2} + 3x_{4-T2} \leq 1$$

4.3.5 Índices

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

$$Q_{NP} = \sum_{m=1 \rightarrow nm} A_m$$

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, também presentes no relatório de produção, são aqueles que não foram solicitados pelos clientes e fazem parte do planejamento de produção (f_2 minimiza Q_{PE}).

$$Q_{PE} = \sum_{m=1 \rightarrow nm} C_m$$

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

No relatório aparece também a quantidade de produtos não produzidos dentro do horário estipulado, o que não significa que deixaram de ser produzidos. Estes produtos podem ter sido produzidos fora do horário (f_1 minimiza Q_{PF}).

$$Q_{PF} = \sum_{k=1 \rightarrow nm * h} D_k$$

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

O mapa de produção apresenta o percentual da capacidade utilizada dos equipamentos por minuto. O valor deste percentual é calculado da seguinte forma:

$$P_{ocup_q}^t = \left(\frac{\sum_{i=1 \rightarrow p} Q_{proc_q}^t}{C_{máxima}^q} \right) * 100\%$$

onde:

$P_{ocup_q}^t$ = percentual de ocupação do equipamento "q" no tempo "t"

$Q_{proc_q}^i$ = quantidade em peso processado pelo padrão "i"

no equipamento "q" no tempo "t"

$C_{máxima}^q$ = capacidade máxima em peso de processamento do equipamento "q"

A tabela de ocupação dos equipamentos apresenta a taxa de ocupação total do equipamento dentro do período de produção.

$$T_{ocup}^q = \left(\frac{\sum_{t=1 \rightarrow TOP} \left(\sum_{i=1 \rightarrow p} Q_{proc_q}^t \right)}{C_{máxima}^q * TOP} \right) * 100\%$$

onde:

T_{ocup}^q = taxa de ocupação do equipamento "q" no tempo período

$Q_{proc_q}^i$ = quantidade em peso processado pelo padrão "i"

no equipamento "q" no tempo "t"

$C_{máxima}^q$ = capacidade máxima em peso de processamento do equipamento "q"

TOP = tempo total de operação (período) em minutos

A tabela de atendimento compara a demanda à produção e identifica 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:

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

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:

$$Q = \sum_{g=1 \rightarrow k} Q_g$$

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:

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

onde:

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

Q_{DP_g} = 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:

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

onde:

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

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 = quantidade, em peso, total solicitada (demanda)

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

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

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 IMPLEMENTAÇÃO

Neste tópico é apresentado o software desenvolvido e os termos utilizados pelo mesmo. O método e modelo matemático estão apresentados em detalhes no capítulo anterior.

A entrada de dados necessários ao funcionamento do modelo dá-se através de uma tela de interface com o usuário (FIGURA 15).

Indústrias de Panificação - Planejamento de Produção

Cadastro de Informações Técnicas SAIR

Etapas Equipamentos Tipos de Massas e suas etapas Massas, Etapas e Equipamentos Produtos Apagar Cadastros

Programação da Produção

Apagar pedidos anteriores Ver lista de pedidos atual Captação de Pedidos Tempo de Operação 2 horas

30 + 4 + 20 + 46 = 100

Produzir apenas o que vai entregar no horário Não desperdiçar produtos Mínimo de lotes possível Não deixar de produzir, mesmo fora do horário

Hora de início da produção : OK

Ocorrências:

Editar Tempo total de Operação do Mosek

FIGURA 15 - Tela de interface do software de planejamento de produção.

5.1 ETAPAS

Para utilizar este programa é necessário cadastrar informações sobre o processo produtivo. A primeira informação a ser cadastrada são as etapas existentes na linha de produção, independente de em qual produto ela é utilizada. Ao clicar em “Etapas” aparece a tela mostrada na FIGURA 16.



FIGURA 16 – Tela para cadastro de etapas dos processos

Após preencher cada etapa e salvar é possível visualizar a lista de etapas cadastradas (FIGURA 17).

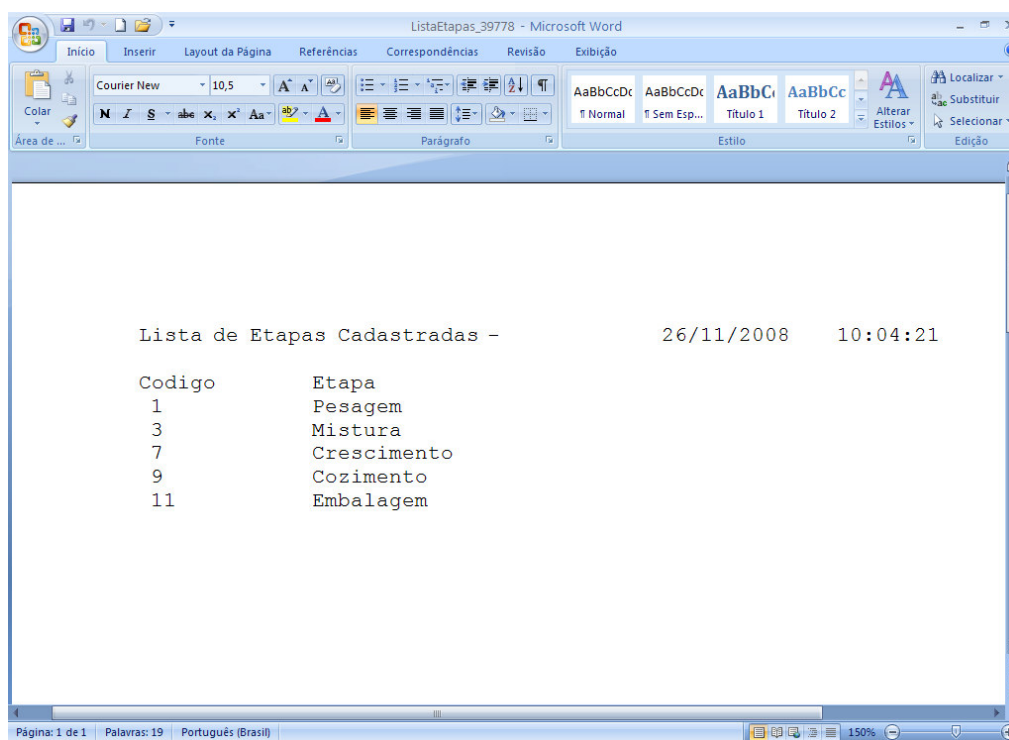


FIGURA 17 - Lista de etapas cadastradas gerada pelo software

5.2 EQUIPAMENTOS

O segundo grupo de informações é sobre os equipamentos existentes na indústria, disponíveis ou não. Ao clicar em “Equipamentos”, a tela mostrada na FIGURA 18 aparecerá para preenchimento. Todos os campos, exceto as observações, deverão ser obrigatoriamente preenchidos. Caso o verificador do campo “Ativo” seja nulo (“desclicado”) o equipamento continuará cadastrado, porém,

não fará parte do plano de produção e não será uma opção válida para o processo. Este campo deve ser usado em caso de retirada do equipamento para manutenção ou limpeza completa.

FIGURA 18 – Tela para cadastro de equipamentos

No campo “Etapa Relacionada” aparecerá na lista de opções, a lista de etapas previamente cadastrada. O tipo de processo deverá ser Contínuo ou Batelada. Processos em batelada ocorrem por lotes. A alimentação é única e o processo é concluído, como em uma bateadeira onde se coloca a matéria-prima e retira-se o produto acabado. No processo contínuo a bateadeira receberia material constantemente e liberaria produto misturado constantemente e simultaneamente.

A capacidade máxima e mínima do equipamento deverá ser preenchida em kg para equipamentos que operam em batelada e em kg/minuto para equipamentos contínuos. A lista de equipamentos cadastrados está representada pela FIGURA 19.

Cod	Equipamento	Etapa_Rel	C_Min	C_Max	Ativo	Qnt
1	Balança	Pesagem	1	25	1	3
2	Masseurira	Mistura	20	70	1	1
3	Tacho1	Mistura	5	70	1	2
4	Estufa	Crescimento	0	25	1	70
5	FornoRot	Cozimento	0	25	1	4
6	EmbalaAmb	Embalagem	0	70	1	1

FIGURA 19 - Lista de equipamentos gerada pelo software

5.3 MASSAS

O terceiro grupo de informações é sobre os tipos de massas (linhas de produção). Na tela representada pela FIGURA 20, cadastra-se a massa e em seguida quais etapas a compõe, preenchendo “S” para as etapas participantes e ordenando-as através da coluna de seqüência. Esta fase determina efetivamente o processo pelo qual cada tipo de massa é submetido. A FIGURA 21 traz a lista de massas cadastradas e a FIGURA 22 a linha de processo cadastrado.

Etapa	S / N	Seqüência
Pesagem	S	1
Mistura	S	2
Crescimento	S	3
Cozimento	S	4
Embalagem	S	5

FIGURA 20 – Tela para cadastro do tipo de massa e as etapas que participam do processo produtivo

Código	Tipo_massa	OBS
1	Salgada	Francês
3	Doce	Hot e Hamb

FIGURA 21 - Lista de massas gerada pelo software

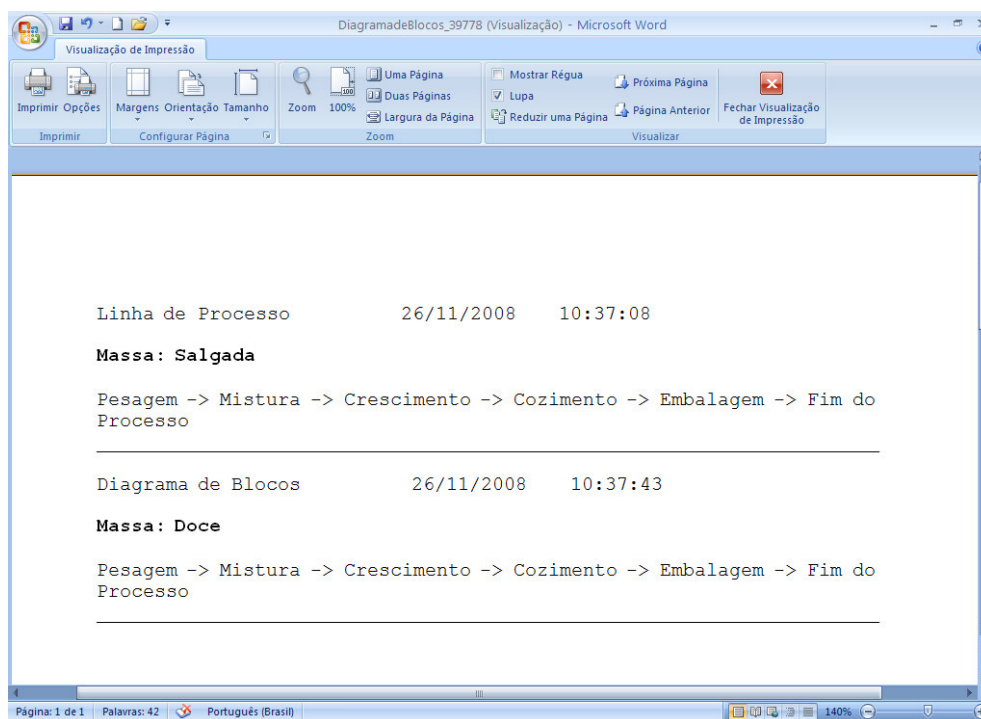


FIGURA 22 – Diagrama de blocos dos processos gerado pelo software

5.4 TEMPOS E EQUIPAMENTOS

Através do botão “Tempos e Equipamentos” na tela de cadastro de massas (FIGURA 20) ou através do botão “Massas, Etapas e Equipamentos” da tela inicial (FIGURA 15) é possível cadastrar, para cada etapa, em cada tipo de massa, quais equipamentos podem ser utilizados e quanto tempo o produto permanece neste equipamento (FIGURA 23). Neste momento, as etapas são ligadas aos equipamentos. Quando uma etapa é ligada a mais que um equipamento, forma-se mais de uma opção de linha de processo para uma mesma massa.

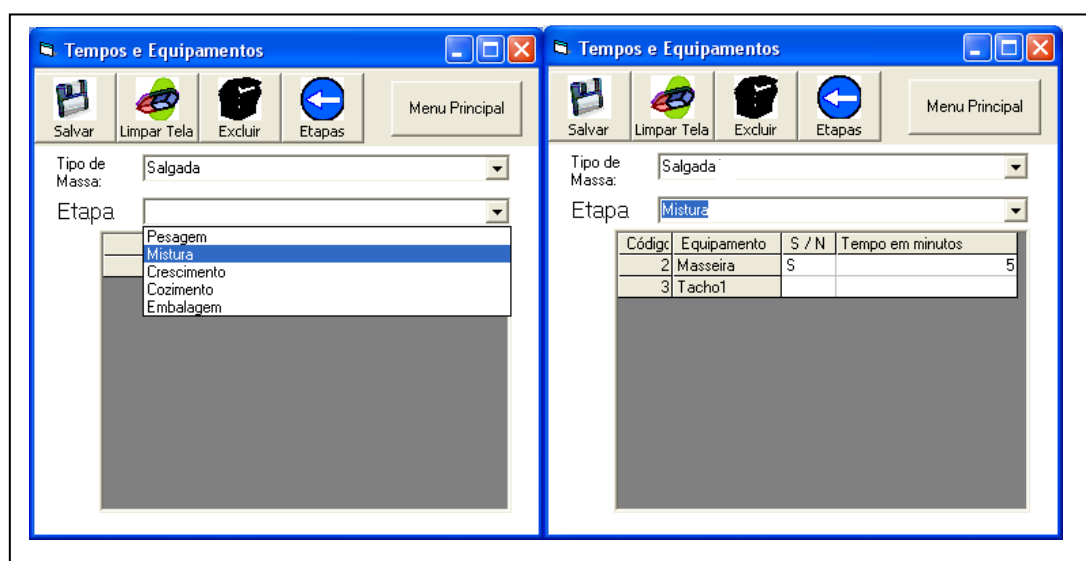


FIGURA 23 – Tela para cadastro dos tempos e equipamentos utilizados no processo produtivo

Os tempos de processo e equipamentos cadastrados para cada etapa do processo produtivo da massa salgada estão na TABELA 3

TABELA 3 – Tempos de processamento das massas salgada e doce.

Massa	Etapa	Equipamento	Tempo (min.)
Salgada	Pesagem	Balança	1
Salgada	Mistura	Masseira	3
Salgada	Crescimento	Estufa	7
Salgada	Cozimento	FornoRot	5
Salgada	Embalagem	EmbalAmb	2
Doce	Pesagem	Balança	2
Doce	Mistura	Tacho	4
Doce	Crescimento	Estufa	5
Doce	Cozimento	FornoRot	4
Doce	Embalagem	EmbalAmb	1

No caso da etapa de mistura (FIGURA 23), aparecem duas opções de equipamentos previamente cadastrados (ver cadastro de equipamentos na FIGURA 18). Para a massa “Salgada”, apenas o equipamento “Masseira” pode ser utilizado, e o tempo de processo neste equipamento, para esta massa, é de 5 minutos.

5.5 PRODUTOS

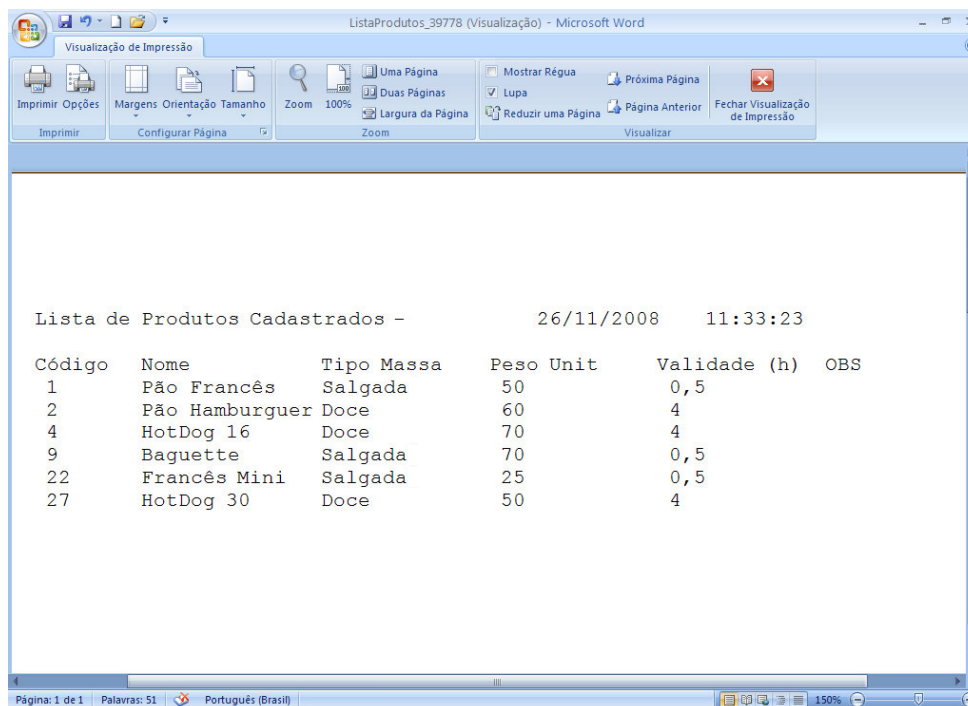
O último grupo de informações sobre o processo produtivo é sobre os produtos. O cadastro dos produtos é efetuado através da tela representada pela FIGURA 24. Os tipos de massas cadastrados aparecem na lista de opção do campo “Tipo de Massa”. O peso unitário deve estar em kilos e o prazo de validade (tempo máximo de permanência na indústria) em horas.



A imagem mostra uma janela de software intitulada "Cadastro de Produtos". No topo, há uma barra de ferramentas com quatro botões: "Salvar" (ícone de disquete), "Limpar Tela" (ícone de lixo), "Excluir" (ícone de lixeira) e "Menu Principal" (ícone de seta para trás). Abaixo, há campos de entrada para "Código:", "Nome:", "Tipo de Massa:" (menu suspenso), "Peso Unitário:", "Validade:" e "OBS:". Um botão "Visualizar produtos cadastrados" está localizado no canto inferior direito.

FIGURA 24 - Cadastro de Produtos

A FIGURA 25 mostra a lista de produtos cadastrados, acessada através do botão “Visualizar produtos cadastrados”.



Código	Nome	Tipo Massa	Peso Unit	Validade (h)	OBS
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	
22	Francês Mini	Salgada	25	0,5	
27	HotDog 30	Doce	50	4	

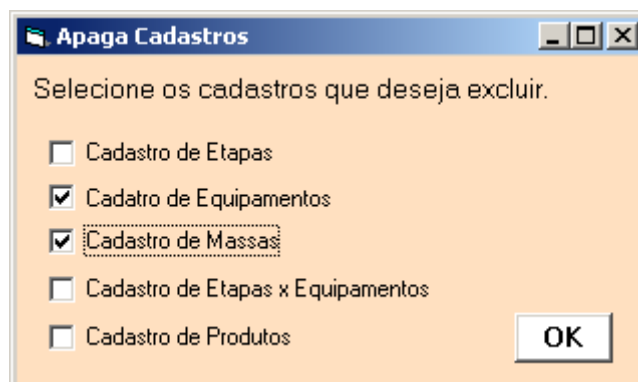
FIGURA 25 - Lista de produtos gerada pelo software

5.6 LOCALIZAR E ALTERAR

Para localizar e alterar um registro, de qualquer grupo de cadastro, na tela de cadastro, deve-se escrever o código no campo “código” e clicar em TAB. O registro será aberto para edição. Salvar após alterações ou excluir.

Estes formulários alimentam a base de dados técnicos. Estes dados ficam armazenados mesmo após o encerramento do programa.

Para apagá-los, clicar em “Apagar cadastros” na tela inicial (FIGURA 15) e ativar o validador do cadastro desejado e clicar em “OK” (FIGURA 26).



Apaga Cadastros

Selecione os cadastros que deseja excluir.

Cadastro de Etapas

Cadatro de Equipamentos

Cadastro de Massas

Cadastro de Etapas x Equipamentos

Cadastro de Produtos

OK

FIGURA 26 – Tela para apagar dados cadastrados no software

5.7 PEDIDOS

O pedido consiste em uma lista com o código do produto solicitado, a quantidade em unidades e a hora de saída deste produto da indústria (hora de entrega). As informações são inseridas no programa, diariamente ou a cada período a planejar, através de um arquivo de texto (formato *.TXT) separado por vírgulas, conforme na FIGURA 27.



FIGURA 27 - Pedido Modelo

Descrição do pedido modelo:

Código 1, Pão francês 50g, mil (1000) unidades para às 06:00.

Código 22, Pão francês mini, quinhentas (500) unidades para às 06:00.

Código 9, Baguette, duas mil (2000) unidades para às 07:00.

Código 4, Hot Dog 16, quinhentas (500) unidades para às 07:00.

Código 27, Hot Dog 30, mil (1000) unidades para às 07:00.

Código 2, Pão Hamburguer, mil (1000) unidades para às 08:00.

Para inserir o pedido no sistema, clicar em “Captação de Pedidos” na tela inicial (FIGURA 15) e localizar o arquivo que contenha o pedido. Na tela inicial pode-se ver o pedido salvo (FIGURA 28) através do botão “Ver lista de pedidos atual”.

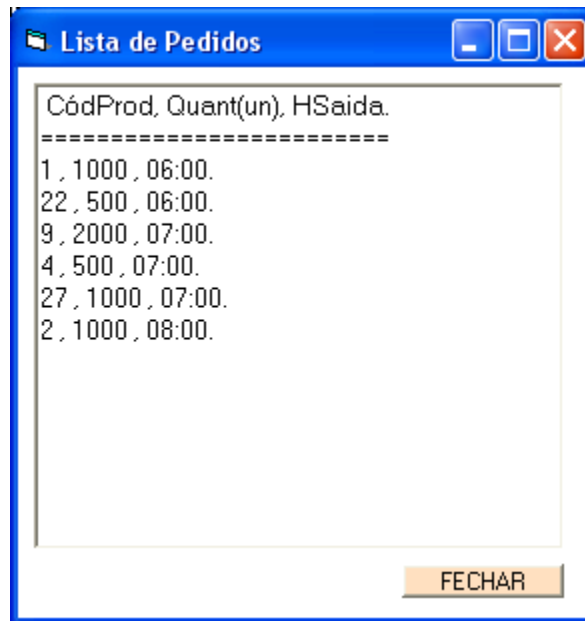


FIGURA 28 –Lista de pedidos apresentada pelo software (exemplo)

A cada captação de pedidos, o programa adiciona novos pedidos a lista. Para apagar os pedidos cadastrados é necessário clicar em “Apagar Pedidos”.

5.8 DADOS DO PLANEJAMENTO

5.8.1 Tempo de operação

O tempo de operação consiste em quantas horas o turno de trabalho a ser planejado estará disponível. Todas as etapas serão iniciadas e concluídas dentro deste período (2 horas neste caso). O valor do tempo de operação pode ser alterado escrevendo o valor em horas (número inteiro) no campo correspondente na tela inicial.

5.8.2 Pesos da Função Objetivo

O programa busca otimizar quatro funções objetivo:

- Produzir dentro do horário previsto, respeitando o tempo máximo de permanência em estoque;
- Reduzir perda de produtos por produção excessiva;
- Processar o menor número de lotes possível, otimizando o uso dos equipamentos;
- Produzir toda a demanda, otimizando a linha de produção.

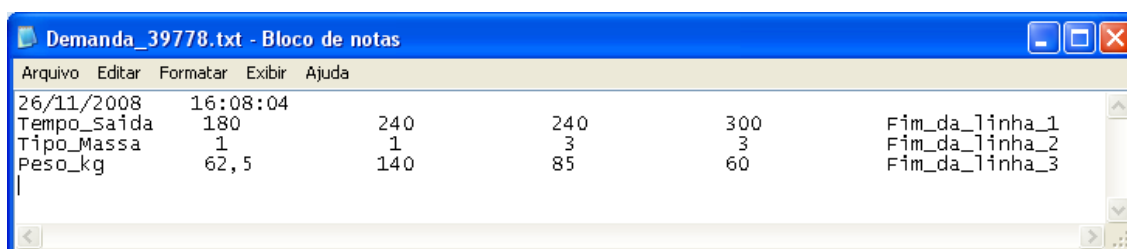
Para cada uma delas é possível determinar um “peso”, valor de 0 a 100, que indica o percentual de importância deste item para o planejador. Os valores para a entrega de produtos no prazo, redução de desperdícios e para número de lotes é preenchida nos campos correspondentes (FIGURA 15). O valor para a produção da demanda é o que falta para completar 100 (100%).

5.8.3 Início da produção

A hora de início da produção, ou início do turno de trabalho, deve ser digitada no formato: HH:MM, nos campos correspondentes na tela inicial (FIGURA 15). Clicar em “OK” para iniciar o planejamento.

Quando existem pedidos impossíveis de atender pois o horário de entrega é inferior ao tempo de processamento deste produto adicionado ao tempo de início do processo produtivo (mesmo que inicie o processamento deste lote no primeiro minuto da produção não seria capaz de terminá-lo antes do horário de entrega) o software comunica o usuário com um alerta na região das ocorrências (FIGURA 15) e aguarda um novo pedido.

O programa reorganiza os dados em uma tabela chamada “Demanda” disponível em arquivo texto (FIGURA 29).



Arquivo	Editar	Formatar	Exibir	Ajuda
26/11/2008	16:08:04			
Tempo_Saida	180	240	240	300
Tipo_Massa	1	1	3	3
Peso_kg	62,5	140	85	60
				Fim_da_linha_1
				Fim_da_linha_2
				Fim_da_linha_3

FIGURA 29 - Arquivo texto gerado pelo software com tabela de demandas.

As informações técnicas são agrupadas em padrões, que representam os fluxogramas dos processos de fabricação. Os padrões referentes ao exemplo acima estão listados a seguir:

$P_1 = M3_P25_V30_T18_1BA2_1TA4_1ES5_1FR4_1EM1$

$P_2 = M3_P70_V30_T18_3BA2_1TA4_3ES5_3FR4_1EM1$

$P_3 = M1_P25_V30_T18_1BA1_1MA3_1ES7_1FR5_1EM2$

$P_4 = M1_P70_V30_T18_3BA1_1MA3_3ES7_3FR5_1EM2$

O significado, a formação e o uso dos padrões estão apresentados na seção 4.3.

Um modelo matemático é escrito e então resolvido pelo MOSEK. O tempo máximo de otimização utilizado pelo MOSEK, para encontrar a melhor solução inteira pode ser alterado pelo usuário através do botão “Editar tempo total de operação do MOSEK”. Para o modelo acima o tempo de operação máximo configurado foi de 600 segundos (10 minutos).

5.8.4 Relatórios

Para análise e interpretação dos dados, o programa disponibiliza, conforme apresentado na FIGURA 30, a opção para visualizar um relatório de produção, um mapa de capacidades, uma tabela de percentual de uso dos equipamentos e uma tabela de atendimento.



FIGURA 30 - Tela de interface do software após o planejamento

O relatório de produção é salvo em um arquivo texto conforme apresentado na FIGURA 31.

REL_39779_.txt - Bloco de notas

Arquivo Editar Formatar Exibir Ajuda

Geração do Relatório: 27/11/2008 - 16:41:17

RELATÓRIO DE PRODUÇÃO POR HORA

Início do turno de trabalho: 05:00
Período de trabalho: 2 horas.

05:01 - 05:17 VALIDADE ATÉ 09:17
Doce - 50kg

05:04 - 05:20 VALIDADE ATÉ 09:20
Doce - 25kg

05:36 - 05:54 VALIDADE ATÉ 06:24
Salgada1 - 70kg

06:18 - 06:34 VALIDADE ATÉ 10:34
Doce - 70kg

06:25 - 06:43 VALIDADE ATÉ 07:13
Salgada1 - 70kg

06:32 - 06:50 VALIDADE ATÉ 07:20
Salgada1 - 70kg

DESCRIÇÃO	QUANTIDADE (KG)	PESO NA F.O. (%)
NÃO PRODUZIDO	0	46
PROD. EM EXCESSO	7,5	4
NÃO ATEND NO HORÁRIO	0	30

FUNÇÃO OBJETIVO: 4,4
Peso para reduzir o nº de lotes: 20 %

FIGURA 31 - Relatório de produção gerado pelo software

O relatório apresenta o horário de início do turno de trabalho e sua duração. É apresentado, ordenado por horário, o início da produção de cada lote, com seu tamanho e tipo de massa. O final do relatório apresenta a tabela com o resumo dos desvios de produção (falta, excesso ou perda por validade) e seus pesos na função objetivo.

O programa disponibiliza um mapa de capacidades (FIGURA 32), que mostra a utilização dos equipamentos em três grupos, abaixo de 50% (em azul), entre 50 e 100% (em verde) e acima de 100% (em vermelho), a cada 60 minutos.

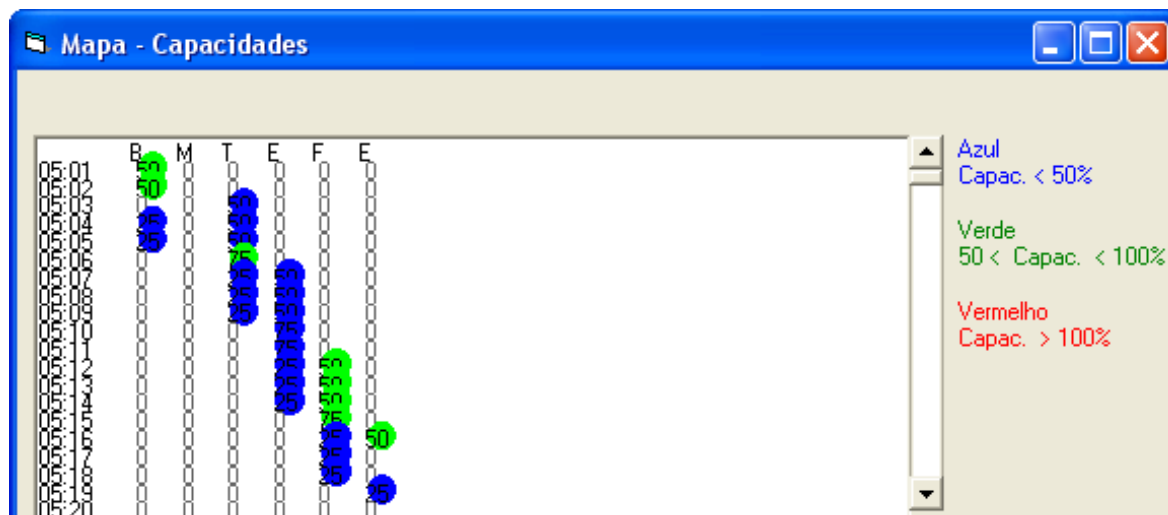


FIGURA 32 - Tela com mapa de capacidades apresentado pelo software

A FIGURA 33 apresenta a tabela de uso dos equipamentos. O valor do percentual representa a razão entre peso processado pelo equipamento no período (2 horas) e a capacidade total de processamento deste equipamento no mesmo período.

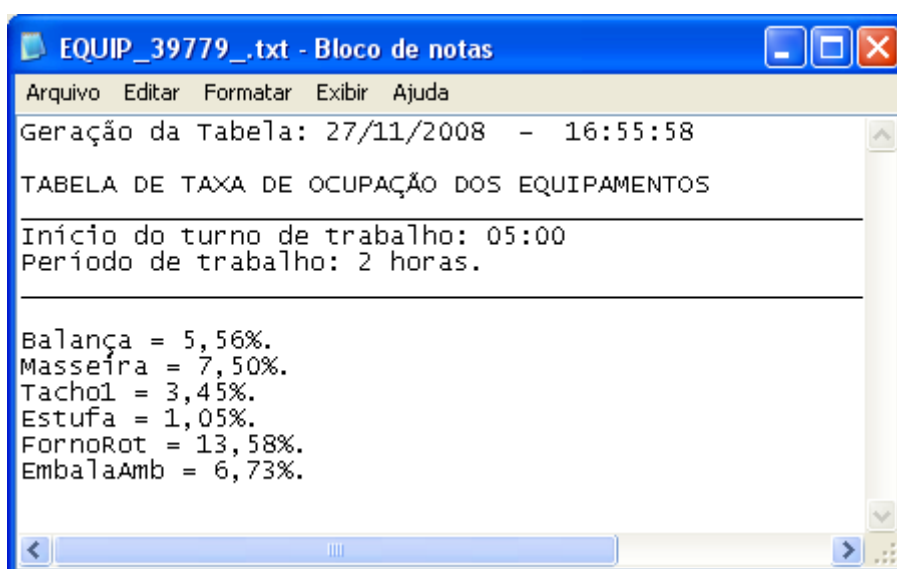


FIGURA 33 - Tabela de taxa de ocupação dos equipamentos gerada pelo software

A FIGURA 34 mostra a tabela com o resumo do atendimento efetuado, comparando os pedidos efetuados e os produtos produzidos.

TAB_39779_.txt - Bloco de notas

Arquivo Editar Formatar Exibir Ajuda

Geração da Tabela: 27/11/2008 - 16:50:23

TABELA DE ATENDIMENTO

Início do turno de trabalho: 05:00
Período de trabalho: 2 horas.

Código	Pedido	Produzido	Diferença	Fora do Prazo	Quantidade
1	06:00	05:54	6	0	62,5
1	07:00	05:54	66	1	7,5
1	07:00	06:43	17	0	70
1	07:00	06:50	10	0	62,5
3	07:00	05:17	103	0	50
3	07:00	05:20	100	0	25
3	07:00	06:34	26	0	10
3	08:00	06:34	86	0	60

Total Produzido Fora do Horário (perda de qualidade): 2,16% da produção - (7,5 kg).
Total de pedidos: 347,5kg.
Produzido Dentro do Horário: 97,84 % - (340 kg).
Pedidos não atendidos com qualidade (fora do horário): 2,16 % - (7,5 kg).
Pedidos não atendidos (não produzidos): 0 % - (0 kg).

FIGURA 34 - Tabela de atendimento gerada pelo software

A primeira coluna contém o código da massa. A diferença (distância em minutos entre o tempo final de produção e o tempo de entrega teórico) aparece na quarta coluna. Produtos fora do prazo de validade (ficam muito tempo em estoque) vão possuir valor 1 na quinta coluna.

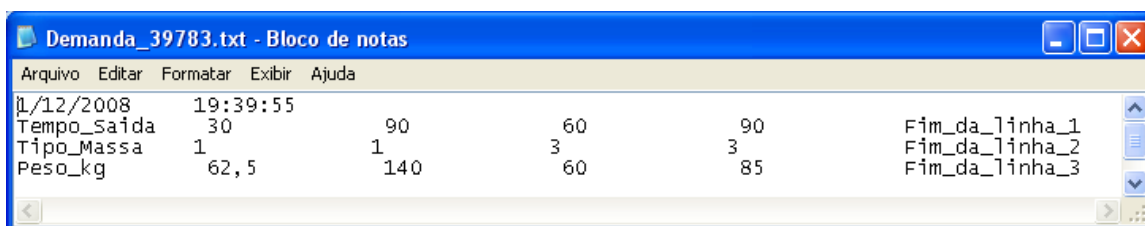
Os produtos produzidos fora do horário permanecerão em estoque por tempo superior ao recomendado, perdendo qualidade.

O modelo matemático e o resultado gerado pelo programa MOSEK estão apresentados no Anexo 1 e 2 respectivamente.

6 RESULTADOS

Para a definição dos pesos¹³ das funções objetivos a serem utilizados pelo programa, alguns testes preliminares foram realizados. O fluxograma utilizado nos testes foi reduzido¹⁴ e está apresentado em detalhes no capítulo 5 “implementação”. A quantidade de produtos no pedido está acima do dobro da média solicitada por hora da empresa em estudo. Isto busca reduzir o impacto da alteração do fluxograma e dos tempos de processo. Os testes preliminares foram realizados considerando apenas uma hora de produção para manter a proporção com relação aos tempos de processo utilizados.

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 1 hora, a partir das 05:30, conforme demanda apresentada na FIGURA 35.



Demanda_39783.txt - Bloco de notas						
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 35 – Arquivo com demanda de 347,5kg calculada pelo software nos teste preliminares

A TABELA 4 mostra a composição dos pesos nos 10 testes preliminares realizados com a demanda apresentada na figura acima. Lembrando que cada função possui um objetivo:

¹³ Nível de importância (percentual).

¹⁴ Fluxograma com menos tempo de processamento e apenas algumas etapas.

TABELA 4 –Pesos das funções objetivo utilizados nos testes preliminares

n	Pesos			
	F1	F2	F3	F4
1	0	0	0	100
2	100	0	0	0
3	90	10	0	0
4	80	10	10	0
5	70	10	10	10
6	10	70	10	10
7	10	10	70	10
8	10	10	10	70
9	0	10	10	80
10	0	0	10	90

Onde: F1 = Entregar no horário; F2 = Reduzir o desperdício; F3= Reduzir o número de lotes; F4 = Atender a demanda

O interesse da indústria utilizada como base para o presente trabalho 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 5.

TABELA 5 – Índices de Atendimento e número de lotes abaixo da capacidade máxima.

n	Pesos				REND. %L	% ATENDIMENTOS			
	F1	F2	F3	F4		%DH	%SQ	%NA	
1	0	0	0	100	47%	59,7%	40,3%	0,0%	
2	100	0	0	0	25%	65,5%	2,2%	32,4%	
3	90	10	0	0	67%	66,9%	2,2%	30,9%	
4	80	10	10	0	25%	65,5%	2,2%	32,4%	
5	70	10	10	10	43%	77,7%	22,3%	0,0%	
6	10	70	10	10	80%	79,9%	18,0%	2,2%	
7	10	10	70	10	0%	76,3%	22,3%	1,4%	
8	10	10	10	70	43%	77,7%	22,3%	0,0%	
9	0	10	10	80	43%	59,7%	40,3%	0,0%	
10	0	0	10	90	0%	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; BA = Balança; MA = Maseira; TA = Tacho; ES = Estufa; FR = Forno rotativo; EM = Embalagem a temperatura ambiente %L = Fração de lotes abaixo da capacidade máxima; %DH = Entregas dentro do horário; %SQ = Entregas sem qualidade; %NA = Pedidos não atendidos (não produzidos e produzidos depois do horário)

A TABELA 6 apresenta os percentuais de ocupação dos equipamentos em relação à capacidade total dos mesmos, obtidos nos testes preliminares. É importante lembrar que o processo precisa iniciar e terminar dentro do período.

O teste n=1, que busca atender a demanda sob qualquer custo (F4 = 100), tem produção máxima no período (1 hora) e traz os valores máximos de ocupação dos equipamentos para esta demanda.

TABELA 6 – Ocupação dos Equipamentos e Produção (em peso).

n	Pesos				% DE OCUPAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS						Produção
	F1	F2	F3	F4	BA	MA	TA	ES	FR	EM	Kg
1	0	0	0	100	27,3%	17,1%	23,6%	4,0%	53,0%	23,2%	735,0
2	100	0	0	0	7,3%	10,0%	4,5%	1,4%	18,0%	8,9%	235,0
3	90	10	0	0	7,6%	10,0%	4,8%	1,4%	18,3%	9,1%	240,0
4	80	10	10	0	7,3%	10,0%	4,5%	1,4%	18,0%	8,9%	235,0
5	70	10	10	10	11,1%	15,0%	6,9%	2,1%	27,2%	13,5%	355,0
6	10	70	10	10	10,8%	13,9%	6,9%	2,0%	25,9%	12,7%	340,0
7	10	10	70	10	10,9%	15,0%	6,7%	2,1%	26,8%	13,3%	350,0
8	10	10	10	70	11,1%	15,0%	6,9%	2,1%	27,2%	13,5%	355,0
9	0	10	10	80	11,1%	15,0%	6,9%	2,1%	27,2%	13,5%	355,0
10	0	0	10	90	14,0%	15,0%	10,0%	2,4%	31,5%	15,0%	420,0

Onde: F1 = Entregar no horário; F2 = Reduzir o desperdício; F3 = Reduzir o número de lotes; F4 = Atender a demanda; BA = Balança; MA = Maseira; TA = Tacho; ES = Estufa; FR = Forno rotativo; EM = Embalagem a temperatura ambiente

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, conforme a TABELA 7, apresentada a seguir.

TABELA 7 – Resultados dos testes preliminares aprovados

n	Pesos				REND.	% ATENDIMENTOS			
	F1	F2	F3	F4	%L	%DH	%SQ	%NA	
5	70	10	10	10	43%	77,7%	22,3%	0,0%	
8	10	10	10	70	43%	77,7%	22,3%	0,0%	

Onde: F1 = Entregar no horário; F2 = Reduzir o desperdício; F3 = Reduzir o número de lotes; F4 = Atender a demanda; BA = Balança; MA = Maseira; TA = Tacho; ES = Estufa; FR = Forno rotativo; EM = Embalagem a temperatura ambiente %L = Fração de lotes abaixo da capacidade máxima; %DH = Entregas dentro do horário; %SQ = Entregas sem qualidade; %NA = Pedidos não atendidos (não produzidos e produzidos depois do horário)

O relatório de produção, gerado pelo teste preliminar número 5 (aprovado no teste preliminar) está apresentado na FIGURA 36.

Segundo o relatório, às 05:33 deve-se iniciar a produção de 70kg de massa salgada. Esta massa terá seu término às 05:51 e poderá aguardar o carregamento até às 06:21.

DESCRIÇÃO	QUANTIDADE (KG)	PESO NA F.O. (%)
NÃO PRODUZIDO	0	10
PROD EM EXCESSO	7,5	10
NÃO ATEND NO TEMPO	70	70

FUNÇÃO OBJETIVO: 51,35
Peso para reduzir o nº de lotes: 10 %

FIGURA 36 - Relatório de produção por hora gerado no teste preliminar número 5.

Após a definição dos pesos das funções objetivos, o modelo foi gerado com dados reais, da indústria em estudo, com fluxogramas completos e tempos de processamento reais. 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 3.

O pedido a ser planejado possui 1325,3 kg, têm seu horário de entrega entre 03:00 e 07:00 e é de responsabilidade do terceiro turno, com início às 22:30 e duração de 8 horas.

Os testes preliminares apresentaram duas opções de “pesos”. O planejamento foi efetuado utilizando as duas opções, e, através dos índices obtidos, tomou-se a decisão de escolha dos pesos (optou-se por uma das combinações de pesos). A TABELA 8 mostra os índices obtidos após os planejamentos.

TABELA 8 – Índices obtidos pelo software após o planejamento real e utilizados para a tomada de decisão.

n	Pesos				Prod	REND.	% ATENDIMENTOS		
	F1	F2	F3	F4	Kg	%L	%DH	%SQ	%NA
1	10	10	10	70	1335,0	56,67	55,81	43,39	0,80
2	70	10	10	10	1310,0	55,17	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; BA = Balança; MA = Maseira; TA = Tacho; ES = Estufa; FR = Forno rotativo; EM = Embalagem a temperatura ambiente %L = Fração de lotes abaixo da capacidade máxima; %DH = Entregas dentro do horário; %SQ = Entregas sem qualidade; %NA = Pedidos não atendidos (não produzidos e produzidos depois do horário)

Para este tipo de pedido, o conjunto de pesos que se aproxima mais dos resultados esperados pela empresa é o planejamento número 1, que, apesar de apresentar uma fração menor de pedidos entregues dentro do horário com qualidade (%DH) esta programação garante menos que 1% dos pedidos não atendidos (%NA), que é um dos principais objetivos da empresa. Diferente dos testes preliminares¹⁵ onde ambos apresentaram o mesmo desempenho, com um pedido maior e as etapas completas, define-se 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 ideais para este tipo de pedido nesta organização. Os relatórios gerados pelos planejamentos 1 e 2 estão apresentados no Anexo 4.

¹⁵ processo com tempo reduzido e com menor número de etapas

7 CONCLUSÃO E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

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 (após produzidos) dentro da indústria foi utilizado um modelo matemático linear inteiro misto com função objetivo que pondera a importância de quatro objetivos. Este modelo foi implementado em um software que busca permitir a utilização do modelo no planejamento diário da produção.

O modelo desenvolvido foi suficiente para solucionar o problema da indústria de panificação e definir um plano de produção (apresentado aos funcionários pelo relatório de produção). O modelo foi implementado e solucionado pelo MOSEK. O software desenvolvido para gerar o modelo e transformar os resultados do MOSEK em um relatório de produção é de fácil manipulação. As telas de interface com o usuário são auto-explicativas e as informações técnicas podem ser alteradas a qualquer momento. O relatório de produção apresenta todas as informações necessárias ao operador da fábrica de forma clara e objetiva. O software também disponibiliza índices para que o agente decisor possa analisar o desempenho do plano de produção proposto.

Dado um pedido, de qualquer dimensão, o software desenvolvido no presente trabalho modela o problema, planeja a produção para que os objetivos da organização sejam atendidos da melhor forma possível e apresenta um relatório completo.

Um pedido com até 1,33 toneladas, para produção em até 8 horas, é modelado e planejado com tempo computacional de até 2 horas em notebook Sony Vaio Core 2 Duo com 1,83GHz e 1GB de memória RAM.

Os índices (valores de proporção de atendimentos) atingidos pelo planejamento são diretamente relacionados ao tipo de produto, horários de entrega e quantidades solicitadas. Não é possível garantir que todos os pedidos com o mesmo volume (1,33 toneladas / turno) apresentem os mesmos índices, nem mesmo que apresentem índices satisfatórios, pois a dependência da combinação de produto, horário e quantidade pode inviabilizar a produção. Por exemplo, um pedido de 1,33 toneladas para um mesmo horário de um produto com prazo de validade

inferior a 1 hora pode ser inviável enquanto que um pedido com 1,33 toneladas de produtos variados e horários de entrega entre 03:00 e 06:00 (como o utilizado neste trabalho) pode ser viável para esta organização. Os equipamentos disponíveis possuem um limite de capacidade/h de produção que varia conforme o produto e influenciam diretamente na viabilidade da produção.

Com volumes superiores a 1,3 toneladas ou tempos de produção superiores a 8 horas torna-se necessário o uso de um processador de maior capacidade para manter o tempo computacional inalterado.

Os diferentes resultados dos pesos, obtidos ao resolver o modelo considerando parte e considerando todas as etapas do processo produtivo mostra a necessidade de realizar testes com todas as etapas utilizadas pela empresa para determinar os valores dos pesos que apresentem os resultados que melhor representem os objetivos da organização. A facilidade de alteração dos pesos para a modelagem permite que qualquer funcionário da organização realize os testes.

Fica pendente a necessidade de comparar os resultados obtidos pelo modelo matemático linear inteiro misto com outros métodos, como técnicas de simulação e algoritmos genéticos, em busca de reduzir o tempo computacional de planejamento. No caso de indústrias que operam com tamanho de lote variável, fica também a necessidade de aumentar a quantidade de tamanho de lotes permitidos (padrões) ou utilizar outro método que aceite tamanho de lote variável.

Os dados técnicos podem ser facilmente alterados antes da modelagem, caso ocorram alterações de processo. O método implementado permite total controle do usuário e o planejamento do mesmo pedido pode ser repetido diversas vezes com diferentes pesos.

O método desenvolvido e implementado no presente trabalho não dispensa a interferência humana no momento da decisão. Ele dispensa apenas o conhecimento prático e técnico do agente decisor, tornando a empresa independente da presença do especialista técnico no momento do planejamento, porém, resta ainda a necessidade do conhecimento dos valores e objetivos da organização para a tomada de decisão (escolha dos pesos).

REFERÊNCIAS

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, Mar. 2008.

BUFFA, E. S.; SARIN, R.K., **Modern production/operations management**. New York, John Wiley & Sons, Inc., 1987. 834p.

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.

DUTRA, F. A. F., **Análise do planejamento e controle da produção visto como um sistema complexo adaptativo**. Dissertação (Mestrado em Administração – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006. Disponível em <<http://www.tede.ufsc.br/teses>>. Acesso em: 11/11/2008.

FURLAN, C. F.; RONCONI, D. P.,**Programação de ordens de produção com diferentes instantes de liberação para uma data única de entrega**. XI Simpósio de Engenharia de Produção, UNESP, 2004.

GOLDBARG, M. C.; LUNA, H. P. L.,**Otimização Combinatória e Programação Linear**. 2ª edição. Rio de Janeiro: Editora Campus, 2005.

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.

KOTSKO, E. G. da S., **Otimização na construção da grade escolar – uma aplicação**. Dissertação (Mestrado em Métodos Numéricos em Engenharia – Programação Matemática) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.

MONTEVECHI, J. A.; TURRIONI, J. B.; ALMEIDA, D. A.; MERGULHÃO, R. C.; LEAL, F., **Análise comparativa entre regras heurísticas de seqüenciamento da produção aplicada em *job shop***. Produto & Produção vol.6 no.2, pag 12-18, Jun. 2002.

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.

MUNIZ JÚNIOR, J.; LANA, J. B.; MARINS, F. A. S., **Aumento de capacidade de produção em indústrias químicas, sem investimento em novos ativos.** GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas, v. 3, p. 49-63, 2008.

PARDALOS, P. M.; SISKOS, Y.; ZOPOUNIDIS, C. (Eds.). **Advances in Multicriteria Analysis.** Netherlands, Kluwer Academic Publishers, 1995.

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

RESENDE, M. O.,**Planejamento e controle da produção : teoria e prática da indústria mecânica no Brasil.** 233p. Tese (Doutorado em Engenharia),São Carlos, EESC/USP, 1989.

RUFCA, R. L.,**Modelo multicritério de planejamento de produção de curto prazo para uma empresa de produtos alimentícios.** Dissertação (Mestrado em Ciências) Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

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

SCARDOELLI L. Y., **Programação da produção em sistema no-wait flow shop com minimização do tempo total de fluxo.** GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas, Ano 3, n 1, p. 91-99, jan-mar/2008.

ZACCARELLI, S. B., **Programação e controle da produção.** São Paulo: Livraria Pioneira Editora, 1975.

ANEXO 1

Modelo Matemático do Fluxograma Reduzido

O modelo matemático gerado pelo programa com os dados apresentados no
 Capítulo 5 – implementação apresentado de forma completa:

```

minimize
0.20x1_1+0.20x1_2+0.20x1_3+0.20x1_4+0.20x1_5+0.20x1_6+0.20x1_7+0.20x1_8+0.20x1_9+0.20x1_10+0.20x1_11
+0.20x1_12+0.20x1_13+0.20x1_14+0.20x1_15+0.20x1_16+0.20x1_17+0.20x1_18+0.20x1_19+0.20x1_20+0.20x1_21+0.20x1_22
+0.20x1_23+0.20x1_24+0.20x1_25+0.20x1_26+0.20x1_27+0.20x1_28+0.20x1_29+0.20x1_30+0.20x1_31+0.20x1_32+0.20x1_33
+0.20x1_34+0.20x1_35+0.20x1_36+0.20x1_37+0.20x1_38+0.20x1_39+0.20x1_40+0.20x1_41+0.20x1_42+0.20x1_43+0.20x1_44
+0.20x1_45+0.20x1_46+0.20x1_47+0.20x1_48+0.20x1_49+0.20x1_50+0.20x1_51+0.20x1_52+0.20x1_53+0.20x1_54+0.20x1_55
+0.20x1_56+0.20x1_57+0.20x1_58+0.20x1_59+0.20x1_60+0.20x1_61+0.20x1_62+0.20x1_63+0.20x1_64+0.20x1_65+0.20x1_66
+0.20x1_67+0.20x1_68+0.20x1_69+0.20x1_70+0.20x1_71+0.20x1_72+0.20x1_73+0.20x1_74+0.20x1_75+0.20x1_76+0.20x1_77
+0.20x1_78+0.20x1_79+0.20x1_80+0.20x1_81+0.20x1_82+0.20x1_83+0.20x1_84+0.20x1_85+0.20x1_86+0.20x1_87+0.20x1_88
+0.20x1_89+0.20x1_90+0.20x1_91+0.20x1_92+0.20x1_93+0.20x1_94+0.20x1_95+0.20x1_96+0.20x1_97+0.20x1_98+0.20x1_99
+0.20x1_100+0.20x1_101+0.20x1_102+0.20x1_103+0.20x1_104
+0.20x2_1+0.20x2_2+0.20x2_3+0.20x2_4+0.20x2_5+0.20x2_6+0.20x2_7+0.20x2_8+0.20x2_9+0.20x2_10+0.20x2_11
+0.20x2_12+0.20x2_13+0.20x2_14+0.20x2_15+0.20x2_16+0.20x2_17+0.20x2_18+0.20x2_19+0.20x2_20+0.20x2_21+0.20x2_22
+0.20x2_23+0.20x2_24+0.20x2_25+0.20x2_26+0.20x2_27+0.20x2_28+0.20x2_29+0.20x2_30+0.20x2_31+0.20x2_32+0.20x2_33
+0.20x2_34+0.20x2_35+0.20x2_36+0.20x2_37+0.20x2_38+0.20x2_39+0.20x2_40+0.20x2_41+0.20x2_42+0.20x2_43+0.20x2_44
+0.20x2_45+0.20x2_46+0.20x2_47+0.20x2_48+0.20x2_49+0.20x2_50+0.20x2_51+0.20x2_52+0.20x2_53+0.20x2_54+0.20x2_55
+0.20x2_56+0.20x2_57+0.20x2_58+0.20x2_59+0.20x2_60+0.20x2_61+0.20x2_62+0.20x2_63+0.20x2_64+0.20x2_65+0.20x2_66
+0.20x2_67+0.20x2_68+0.20x2_69+0.20x2_70+0.20x2_71+0.20x2_72+0.20x2_73+0.20x2_74+0.20x2_75+0.20x2_76+0.20x2_77
+0.20x2_78+0.20x2_79+0.20x2_80+0.20x2_81+0.20x2_82+0.20x2_83+0.20x2_84+0.20x2_85+0.20x2_86+0.20x2_87+0.20x2_88
+0.20x2_89+0.20x2_90+0.20x2_91+0.20x2_92+0.20x2_93+0.20x2_94+0.20x2_95+0.20x2_96+0.20x2_97+0.20x2_98+0.20x2_99
+0.20x2_100+0.20x2_101+0.20x2_102+0.20x2_103+0.20x2_104
+0.20x3_1+0.20x3_2+0.20x3_3+0.20x3_4+0.20x3_5+0.20x3_6+0.20x3_7+0.20x3_8+0.20x3_9+0.20x3_10+0.20x3_11
+0.20x3_12+0.20x3_13+0.20x3_14+0.20x3_15+0.20x3_16+0.20x3_17+0.20x3_18+0.20x3_19+0.20x3_20+0.20x3_21+0.20x3_22
+0.20x3_23+0.20x3_24+0.20x3_25+0.20x3_26+0.20x3_27+0.20x3_28+0.20x3_29+0.20x3_30+0.20x3_31+0.20x3_32+0.20x3_33
+0.20x3_34+0.20x3_35+0.20x3_36+0.20x3_37+0.20x3_38+0.20x3_39+0.20x3_40+0.20x3_41+0.20x3_42+0.20x3_43+0.20x3_44
+0.20x3_45+0.20x3_46+0.20x3_47+0.20x3_48+0.20x3_49+0.20x3_50+0.20x3_51+0.20x3_52+0.20x3_53+0.20x3_54+0.20x3_55
+0.20x3_56+0.20x3_57+0.20x3_58+0.20x3_59+0.20x3_60+0.20x3_61+0.20x3_62+0.20x3_63+0.20x3_64+0.20x3_65+0.20x3_66
+0.20x3_67+0.20x3_68+0.20x3_69+0.20x3_70+0.20x3_71+0.20x3_72+0.20x3_73+0.20x3_74+0.20x3_75+0.20x3_76+0.20x3_77
+0.20x3_78+0.20x3_79+0.20x3_80+0.20x3_81+0.20x3_82+0.20x3_83+0.20x3_84+0.20x3_85+0.20x3_86+0.20x3_87+0.20x3_88
+0.20x3_89+0.20x3_90+0.20x3_91+0.20x3_92+0.20x3_93+0.20x3_94+0.20x3_95+0.20x3_96+0.20x3_97+0.20x3_98+0.20x3_99
+0.20x3_100+0.20x3_101+0.20x3_102+0.20x4_1+0.20x4_2+0.20x4_3+0.20x4_4+0.20x4_5+0.20x4_6+0.20x4_7+0.20x4_8+0.20x4_9
+0.20x4_10+0.20x4_11
+0.20x4_12+0.20x4_13+0.20x4_14+0.20x4_15+0.20x4_16+0.20x4_17+0.20x4_18+0.20x4_19+0.20x4_20+0.20x4_21+0.20x4_22
+0.20x4_23+0.20x4_24+0.20x4_25+0.20x4_26+0.20x4_27+0.20x4_28+0.20x4_29+0.20x4_30+0.20x4_31+0.20x4_32+0.20x4_33
+0.20x4_34+0.20x4_35+0.20x4_36+0.20x4_37+0.20x4_38+0.20x4_39+0.20x4_40+0.20x4_41+0.20x4_42+0.20x4_43+0.20x4_44
+0.20x4_45+0.20x4_46+0.20x4_47+0.20x4_48+0.20x4_49+0.20x4_50+0.20x4_51+0.20x4_52+0.20x4_53+0.20x4_54+0.20x4_55
+0.20x4_56+0.20x4_57+0.20x4_58+0.20x4_59+0.20x4_60+0.20x4_61+0.20x4_62+0.20x4_63+0.20x4_64+0.20x4_65+0.20x4_66
+0.20x4_67+0.20x4_68+0.20x4_69+0.20x4_70+0.20x4_71+0.20x4_72+0.20x4_73+0.20x4_74+0.20x4_75+0.20x4_76+0.20x4_77
+0.20x4_78+0.20x4_79+0.20x4_80+0.20x4_81+0.20x4_82+0.20x4_83+0.20x4_84+0.20x4_85+0.20x4_86+0.20x4_87+0.20x4_88
+0.20x4_89+0.20x4_90+0.20x4_91+0.20x4_92+0.20x4_93+0.20x4_94+0.20x4_95+0.20x4_96+0.20x4_97+0.20x4_98+0.20x4_99
+0.20x4_100+0.20x4_101+0.20x4_102+
+0.46A1+0.4C1+0.46A2+0.4C2+0.30D1+0.30D2+0.30D3+0.30D4

subject to
25x3_1+25x3_2+25x3_3+25x3_4+25x3_5+25x3_6+25x3_7+25x3_8+25x3_9+25x3_10+25x3_11+25x3_12+25x3_13+25x3_14+25x3_15+25x3_16+25x3_17
+25x3_18+25x3_19+25x3_20+25x3_21
+25x3_22+25x3_23+25x3_24+25x3_25+25x3_26+25x3_27+25x3_28+25x3_29+25x3_30+25x3_31+25x3_32+25x3_33+25x3_34+25x3_35+25x3_36+25x3_37
+25x3_38+25x3_39+25x3_40+25x3_41+25x3_42
+25x3_43+25x3_44+25x3_45+25x3_46+25x3_47+25x3_48+25x3_49+25x3_50+25x3_51+25x3_52+25x3_53+25x3_54+25x3_55+25x3_56+25x3_57+25x3_58
+25x3_59+25x3_60+25x3_61+25x3_62+25x3_63
+25x3_64+25x3_65+25x3_66+25x3_67+25x3_68+25x3_69+25x3_70+25x3_71+25x3_72+25x3_73+25x3_74+25x3_75+25x3_76+25x3_77+25x3_78+25x3_79
+25x3_80+25x3_81+25x3_82+25x3_83+25x3_84
+25x3_85+25x3_86+25x3_87+25x3_88+25x3_89+25x3_90+25x3_91+25x3_92+25x3_93+25x3_94+25x3_95+25x3_96+25x3_97+25x3_98+25x3_99+25x3_100
+25x3_101+25x3_102
+70x4_1+70x4_2+70x4_3+70x4_4+70x4_5+70x4_6+70x4_7+70x4_8+70x4_9+70x4_10+70x4_11+70x4_12+70x4_13+70x4_14+70x4_15+70x4_16+70x4_17
+70x4_18+70x4_19+70x4_20+70x4_21
+70x4_22+70x4_23+70x4_24+70x4_25+70x4_26+70x4_27+70x4_28+70x4_29+70x4_30+70x4_31+70x4_32+70x4_33+70x4_34+70x4_35+70x4_36+70x4_37
+70x4_38+70x4_39+70x4_40+70x4_41+70x4_42
+70x4_43+70x4_44+70x4_45+70x4_46+70x4_47+70x4_48+70x4_49+70x4_50+70x4_51+70x4_52+70x4_53+70x4_54+70x4_55+70x4_56+70x4_57+70x4_58
+70x4_59+70x4_60+70x4_61+70x4_62+70x4_63
+70x4_64+70x4_65+70x4_66+70x4_67+70x4_68+70x4_69+70x4_70+70x4_71+70x4_72+70x4_73+70x4_74+70x4_75+70x4_76+70x4_77+70x4_78+70x4_79
+70x4_80+70x4_81+70x4_82+70x4_83+70x4_84
+70x4_85+70x4_86+70x4_87+70x4_88+70x4_89+70x4_90+70x4_91+70x4_92+70x4_93+70x4_94+70x4_95+70x4_96+70x4_97+70x4_98+70x4_99+70x4_100
+70x4_101+70x4_102+A1-C1=202.5

25x1_1+25x1_2+25x1_3+25x1_4+25x1_5+25x1_6+25x1_7+25x1_8+25x1_9+25x1_10+25x1_11+25x1_12+25x1_13+25x1_14+25x1_15+25x1_16+25x1_17
+25x1_18+25x1_19+25x1_20+25x1_21
+25x1_22+25x1_23+25x1_24+25x1_25+25x1_26+25x1_27+25x1_28+25x1_29+25x1_30+25x1_31+25x1_32+25x1_33+25x1_34+25x1_35+25x1_36+25x1_37
+25x1_38+25x1_39+25x1_40+25x1_41+25x1_42
+25x1_43+25x1_44+25x1_45+25x1_46+25x1_47+25x1_48+25x1_49+25x1_50+25x1_51+25x1_52+25x1_53+25x1_54+25x1_55+25x1_56+25x1_57+25x1_58
+25x1_59+25x1_60+25x1_61+25x1_62+25x1_63

```


$+1x1_5+3x2_5+1x3_5+3x4_5<=3$
 $+1x1_6+3x2_6+1x3_6+3x4_6<=3$
 $+1x1_7+3x2_7+1x3_7+3x4_7<=3$
 $+1x1_8+3x2_8+1x3_8+3x4_8<=3$
 $+1x1_9+3x2_9+1x3_9+3x4_9<=3$
 $+1x1_10+3x2_10+1x3_10+3x4_10<=3$
 $+1x1_11+3x2_11+1x3_11+3x4_11<=3$
 $+1x1_12+3x2_12+1x3_12+3x4_12<=3$
 $+1x1_13+3x2_13+1x3_13+3x4_13<=3$
 $+1x1_14+3x2_14+1x3_14+3x4_14<=3$
 $+1x1_15+3x2_15+1x3_15+3x4_15<=3$
 $+1x1_16+3x2_16+1x3_16+3x4_16<=3$
 $+1x1_17+3x2_17+1x3_17+3x4_17<=3$
 $+1x1_18+3x2_18+1x3_18+3x4_18<=3$
 $+1x1_19+3x2_19+1x3_19+3x4_19<=3$
 $+1x1_20+3x2_20+1x3_20+3x4_20<=3$
 $+1x1_21+3x2_21+1x3_21+3x4_21<=3$
 $+1x1_22+3x2_22+1x3_22+3x4_22<=3$
 $+1x1_23+3x2_23+1x3_23+3x4_23<=3$
 $+1x1_24+3x2_24+1x3_24+3x4_24<=3$
 $+1x1_25+3x2_25+1x3_25+3x4_25<=3$
 $+1x1_26+3x2_26+1x3_26+3x4_26<=3$
 $+1x1_27+3x2_27+1x3_27+3x4_27<=3$
 $+1x1_28+3x2_28+1x3_28+3x4_28<=3$
 $+1x1_29+3x2_29+1x3_29+3x4_29<=3$
 $+1x1_30+3x2_30+1x3_30+3x4_30<=3$
 $+1x1_31+3x2_31+1x3_31+3x4_31<=3$
 $+1x1_32+3x2_32+1x3_32+3x4_32<=3$
 $+1x1_33+3x2_33+1x3_33+3x4_33<=3$
 $+1x1_34+3x2_34+1x3_34+3x4_34<=3$
 $+1x1_35+3x2_35+1x3_35+3x4_35<=3$
 $+1x1_36+3x2_36+1x3_36+3x4_36<=3$
 $+1x1_37+3x2_37+1x3_37+3x4_37<=3$
 $+1x1_38+3x2_38+1x3_38+3x4_38<=3$
 $+1x1_39+3x2_39+1x3_39+3x4_39<=3$
 $+1x1_40+3x2_40+1x3_40+3x4_40<=3$
 $+1x1_41+3x2_41+1x3_41+3x4_41<=3$
 $+1x1_42+3x2_42+1x3_42+3x4_42<=3$
 $+1x1_43+3x2_43+1x3_43+3x4_43<=3$
 $+1x1_44+3x2_44+1x3_44+3x4_44<=3$
 $+1x1_45+3x2_45+1x3_45+3x4_45<=3$
 $+1x1_46+3x2_46+1x3_46+3x4_46<=3$
 $+1x1_47+3x2_47+1x3_47+3x4_47<=3$
 $+1x1_48+3x2_48+1x3_48+3x4_48<=3$
 $+1x1_49+3x2_49+1x3_49+3x4_49<=3$
 $+1x1_50+3x2_50+1x3_50+3x4_50<=3$
 $+1x1_51+3x2_51+1x3_51+3x4_51<=3$
 $+1x1_52+3x2_52+1x3_52+3x4_52<=3$
 $+1x1_53+3x2_53+1x3_53+3x4_53<=3$
 $+1x1_54+3x2_54+1x3_54+3x4_54<=3$
 $+1x1_55+3x2_55+1x3_55+3x4_55<=3$
 $+1x1_56+3x2_56+1x3_56+3x4_56<=3$
 $+1x1_57+3x2_57+1x3_57+3x4_57<=3$
 $+1x1_58+3x2_58+1x3_58+3x4_58<=3$
 $+1x1_59+3x2_59+1x3_59+3x4_59<=3$
 $+1x1_60+3x2_60+1x3_60+3x4_60<=3$
 $+1x1_61+3x2_61+1x3_61+3x4_61<=3$
 $+1x1_62+3x2_62+1x3_62+3x4_62<=3$
 $+1x1_63+3x2_63+1x3_63+3x4_63<=3$
 $+1x1_64+3x2_64+1x3_64+3x4_64<=3$
 $+1x1_65+3x2_65+1x3_65+3x4_65<=3$
 $+1x1_66+3x2_66+1x3_66+3x4_66<=3$
 $+1x1_67+3x2_67+1x3_67+3x4_67<=3$
 $+1x1_68+3x2_68+1x3_68+3x4_68<=3$
 $+1x1_69+3x2_69+1x3_69+3x4_69<=3$
 $+1x1_70+3x2_70+1x3_70+3x4_70<=3$
 $+1x1_71+3x2_71+1x3_71+3x4_71<=3$
 $+1x1_72+3x2_72+1x3_72+3x4_72<=3$
 $+1x1_73+3x2_73+1x3_73+3x4_73<=3$
 $+1x1_74+3x2_74+1x3_74+3x4_74<=3$
 $+1x1_75+3x2_75+1x3_75+3x4_75<=3$
 $+1x1_76+3x2_76+1x3_76+3x4_76<=3$
 $+1x1_77+3x2_77+1x3_77+3x4_77<=3$
 $+1x1_78+3x2_78+1x3_78+3x4_78<=3$
 $+1x1_79+3x2_79+1x3_79+3x4_79<=3$
 $+1x1_80+3x2_80+1x3_80+3x4_80<=3$

$+1x1_81+3x2_81+1x3_81+3x4_81<=3$
 $+1x1_82+3x2_82+1x3_82+3x4_82<=3$
 $+1x1_83+3x2_83+1x3_83+3x4_83<=3$
 $+1x1_84+3x2_84+1x3_84+3x4_84<=3$
 $+1x1_85+3x2_85+1x3_85+3x4_85<=3$
 $+1x1_86+3x2_86+1x3_86+3x4_86<=3$
 $+1x1_87+3x2_87+1x3_87+3x4_87<=3$
 $+1x1_88+3x2_88+1x3_88+3x4_88<=3$
 $+1x1_89+3x2_89+1x3_89+3x4_89<=3$
 $+1x1_90+3x2_90+1x3_90+3x4_90<=3$
 $+1x1_91+3x2_91+1x3_91+3x4_91<=3$
 $+1x1_92+3x2_92+1x3_92+3x4_92<=3$
 $+1x1_93+3x2_93+1x3_93+3x4_93<=3$
 $+1x1_94+3x2_94+1x3_94+3x4_94<=3$
 $+1x1_95+3x2_95+1x3_95+3x4_95<=3$
 $+1x1_96+3x2_96+1x3_96+3x4_96<=3$
 $+1x1_97+3x2_97+1x3_97+3x4_97<=3$
 $+1x1_98+3x2_98+1x3_98+3x4_98<=3$
 $+1x1_99+3x2_99+1x3_99+3x4_99<=3$
 $+1x1_100+3x2_100+1x3_100+3x4_100<=3$
 $+1x1_101+3x2_101+1x3_101+3x4_101<=3$
 $+1x1_102+3x2_102+1x3_102+3x4_102<=3$
 $+1x1_1+1x1_2+1x1_3+1x1_4+1x1_5+3x2_1+3x2_2+3x2_3+3x2_4+3x2_5+1x3_1+1x3_2+1x3_3+1x3_4+1x3_5+3x4_1+3x4_2+3x4_3+3x4_4+3x4_5<=70$
 $+1x1_2+1x1_3+1x1_4+1x1_5+1x1_6+3x2_2+3x2_3+3x2_4+3x2_5+3x2_6+1x3_2+1x3_3+1x3_4+1x3_5+1x3_6+3x4_2+3x4_3+3x4_4+3x4_5+3x4_6<=70$
 $+1x1_3+1x1_4+1x1_5+1x1_6+1x1_7+3x2_3+3x2_4+3x2_5+3x2_6+3x2_7+1x3_3+1x3_4+1x3_5+1x3_6+1x3_7+3x4_3+3x4_4+3x4_5+3x4_6+3x4_7<=70$
 $+1x1_4+1x1_5+1x1_6+1x1_7+1x1_8+3x2_4+3x2_5+3x2_6+3x2_7+3x2_8+1x3_4+1x3_5+1x3_6+1x3_7+1x3_8+3x4_4+3x4_5+3x4_6+3x4_7+3x4_8<=70$
 $+1x1_5+1x1_6+1x1_7+1x1_8+1x1_9+3x2_5+3x2_6+3x2_7+3x2_8+3x2_9+1x3_5+1x3_6+1x3_7+1x3_8+1x3_9+3x4_5+3x4_6+3x4_7+3x4_8+3x4_9<=70$
 $+1x1_6+1x1_7+1x1_8+1x1_9+1x1_10+3x2_6+3x2_7+3x2_8+3x2_9+3x2_10+1x3_6+1x3_7+1x3_8+1x3_9+1x3_10+3x4_6+3x4_7+3x4_8+3x4_9+3x4_10<=70$
 $+1x1_7+1x1_8+1x1_9+1x1_10+1x1_11+3x2_7+3x2_8+3x2_9+3x2_10+3x2_11+1x3_7+1x3_8+1x3_9+1x3_10+1x3_11+3x4_7+3x4_8+3x4_9+3x4_10+3x4_11<=70$
 $+1x1_8+1x1_9+1x1_10+1x1_11+1x1_12+3x2_8+3x2_9+3x2_10+3x2_11+3x2_12+1x3_8+1x3_9+1x3_10+1x3_11+1x3_12+3x4_8+3x4_9+3x4_10+3x4_11+3x4_12<=70$
 $+1x1_9+1x1_10+1x1_11+1x1_12+1x1_13+3x2_9+3x2_10+3x2_11+3x2_12+3x2_13+1x3_9+1x3_10+1x3_11+1x3_12+1x3_13+3x4_9+3x4_10+3x4_11+3x4_12+3x4_13<=70$
 $+1x1_10+1x1_11+1x1_12+1x1_13+1x1_14+3x2_10+3x2_11+3x2_12+3x2_13+3x2_14+1x3_10+1x3_11+1x3_12+1x3_13+1x3_14+3x4_10+3x4_11+3x4_12+3x4_13+3x4_14<=70$
 $+1x1_11+1x1_12+1x1_13+1x1_14+1x1_15+3x2_11+3x2_12+3x2_13+3x2_14+3x2_15+1x3_11+1x3_12+1x3_13+1x3_14+1x3_15+3x4_11+3x4_12+3x4_13+3x4_14+3x4_15<=70$
 $+1x1_12+1x1_13+1x1_14+1x1_15+1x1_16+3x2_12+3x2_13+3x2_14+3x2_15+3x2_16+1x3_12+1x3_13+1x3_14+1x3_15+1x3_16+3x4_12+3x4_13+3x4_14+3x4_15+3x4_16<=70$
 $+1x1_13+1x1_14+1x1_15+1x1_16+1x1_17+3x2_13+3x2_14+3x2_15+3x2_16+3x2_17+1x3_13+1x3_14+1x3_15+1x3_16+1x3_17+3x4_13+3x4_14+3x4_15+3x4_16+3x4_17<=70$
 $+1x1_14+1x1_15+1x1_16+1x1_17+1x1_18+3x2_14+3x2_15+3x2_16+3x2_17+3x2_18+1x3_14+1x3_15+1x3_16+1x3_17+1x3_18+3x4_14+3x4_15+3x4_16+3x4_17+3x4_18<=70$
 $+1x1_15+1x1_16+1x1_17+1x1_18+1x1_19+3x2_15+3x2_16+3x2_17+3x2_18+3x2_19+1x3_15+1x3_16+1x3_17+1x3_18+1x3_19+3x4_15+3x4_16+3x4_17+3x4_18+3x4_19<=70$
 $+1x1_16+1x1_17+1x1_18+1x1_19+1x1_20+3x2_16+3x2_17+3x2_18+3x2_19+3x2_20+1x3_16+1x3_17+1x3_18+1x3_19+1x3_20+3x4_16+3x4_17+3x4_18+3x4_19+3x4_20<=70$
 $+1x1_17+1x1_18+1x1_19+1x1_20+1x1_21+3x2_17+3x2_18+3x2_19+3x2_20+3x2_21+1x3_17+1x3_18+1x3_19+1x3_20+1x3_21+3x4_17+3x4_18+3x4_19+3x4_20+3x4_21<=70$
 $+1x1_18+1x1_19+1x1_20+1x1_21+1x1_22+3x2_18+3x2_19+3x2_20+3x2_21+3x2_22+1x3_18+1x3_19+1x3_20+1x3_21+1x3_22+3x4_18+3x4_19+3x4_20+3x4_21+3x4_22<=70$
 $+1x1_19+1x1_20+1x1_21+1x1_22+1x1_23+3x2_19+3x2_20+3x2_21+3x2_22+3x2_23+1x3_19+1x3_20+1x3_21+1x3_22+1x3_23+3x4_19+3x4_20+3x4_21+3x4_22+3x4_23<=70$
 $+1x1_20+1x1_21+1x1_22+1x1_23+1x1_24+3x2_20+3x2_21+3x2_22+3x2_23+3x2_24+1x3_20+1x3_21+1x3_22+1x3_23+1x3_24+3x4_20+3x4_21+3x4_22+3x4_23+3x4_24<=70$
 $+1x1_21+1x1_22+1x1_23+1x1_24+1x1_25+3x2_21+3x2_22+3x2_23+3x2_24+3x2_25+1x3_21+1x3_22+1x3_23+1x3_24+1x3_25+3x4_21+3x4_22+3x4_23+3x4_24+3x4_25<=70$
 $+1x1_22+1x1_23+1x1_24+1x1_25+1x1_26+3x2_22+3x2_23+3x2_24+3x2_25+3x2_26+1x3_22+1x3_23+1x3_24+1x3_25+1x3_26+3x4_22+3x4_23+3x4_24+3x4_25+3x4_26<=70$
 $+1x1_23+1x1_24+1x1_25+1x1_26+1x1_27+3x2_23+3x2_24+3x2_25+3x2_26+3x2_27+1x3_23+1x3_24+1x3_25+1x3_26+1x3_27+3x4_23+3x4_24+3x4_25+3x4_26+3x4_27<=70$
 $+1x1_24+1x1_25+1x1_26+1x1_27+1x1_28+3x2_24+3x2_25+3x2_26+3x2_27+3x2_28+1x3_24+1x3_25+1x3_26+1x3_27+1x3_28+3x4_24+3x4_25+3x4_26+3x4_27+3x4_28<=70$
 $+1x1_25+1x1_26+1x1_27+1x1_28+1x1_29+3x2_25+3x2_26+3x2_27+3x2_28+3x2_29+1x3_25+1x3_26+1x3_27+1x3_28+1x3_29+3x4_25+3x4_26+3x4_27+3x4_28+3x4_29<=70$
 $+1x1_26+1x1_27+1x1_28+1x1_29+1x1_30+3x2_26+3x2_27+3x2_28+3x2_29+3x2_30+1x3_26+1x3_27+1x3_28+1x3_29+1x3_30+3x4_26+3x4_27+3x4_28+3x4_29+3x4_30<=70$
 $+1x1_27+1x1_28+1x1_29+1x1_30+1x1_31+3x2_27+3x2_28+3x2_29+3x2_30+3x2_31+1x3_27+1x3_28+1x3_29+1x3_30+1x3_31+3x4_27+3x4_28+3x4_29+3x4_30+3x4_31<=70$
 $+1x1_28+1x1_29+1x1_30+1x1_31+1x1_32+3x2_28+3x2_29+3x2_30+3x2_31+3x2_32+1x3_28+1x3_29+1x3_30+1x3_31+1x3_32+3x4_28+3x4_29+3x4_30+3x4_31+3x4_32<=70$
 $+1x1_29+1x1_30+1x1_31+1x1_32+1x1_33+3x2_29+3x2_30+3x2_31+3x2_32+3x2_33+1x3_29+1x3_30+1x3_31+1x3_32+1x3_33+3x4_29+3x4_30+3x4_31+3x4_32+3x4_33<=70$

+1x1_68+1x1_69+1x1_70+1x1_71+1x1_72+3x2_68+3x2_69+3x2_70+3x2_71+3x2_72+1x3_68+1x3_69+1x3_70+1x3_71+1x3_72+3x4_68+3x4_69+3x4_70+3x4_71+3x4_72<=70
 +1x1_69+1x1_70+1x1_71+1x1_72+1x1_73+3x2_69+3x2_70+3x2_71+3x2_72+3x2_73+1x3_69+1x3_70+1x3_71+1x3_72+1x3_73+3x4_69+3x4_70+3x4_71+3x4_72+3x4_73<=70
 +1x1_70+1x1_71+1x1_72+1x1_73+1x1_74+3x2_70+3x2_71+3x2_72+3x2_73+3x2_74+1x3_70+1x3_71+1x3_72+1x3_73+1x3_74+3x4_70+3x4_71+3x4_72+3x4_73+3x4_74<=70
 +1x1_71+1x1_72+1x1_73+1x1_74+1x1_75+3x2_71+3x2_72+3x2_73+3x2_74+3x2_75+1x3_71+1x3_72+1x3_73+1x3_74+1x3_75+3x4_71+3x4_72+3x4_73+3x4_74+3x4_75<=70
 +1x1_72+1x1_73+1x1_74+1x1_75+1x1_76+3x2_72+3x2_73+3x2_74+3x2_75+3x2_76+1x3_72+1x3_73+1x3_74+1x3_75+1x3_76+3x4_72+3x4_73+3x4_74+3x4_75+3x4_76<=70
 +1x1_73+1x1_74+1x1_75+1x1_76+1x1_77+3x2_73+3x2_74+3x2_75+3x2_76+3x2_77+1x3_73+1x3_74+1x3_75+1x3_76+1x3_77+3x4_73+3x4_74+3x4_75+3x4_76+3x4_77<=70
 +1x1_74+1x1_75+1x1_76+1x1_77+1x1_78+3x2_74+3x2_75+3x2_76+3x2_77+3x2_78+1x3_74+1x3_75+1x3_76+1x3_77+1x3_78+3x4_74+3x4_75+3x4_76+3x4_77+3x4_78<=70
 +1x1_75+1x1_76+1x1_77+1x1_78+1x1_79+3x2_75+3x2_76+3x2_77+3x2_78+3x2_79+1x3_75+1x3_76+1x3_77+1x3_78+1x3_79+3x4_75+3x4_76+3x4_77+3x4_78+3x4_79<=70
 +1x1_76+1x1_77+1x1_78+1x1_79+1x1_80+3x2_76+3x2_77+3x2_78+3x2_79+3x2_80+1x3_76+1x3_77+1x3_78+1x3_79+1x3_80+3x4_76+3x4_77+3x4_78+3x4_79+3x4_80<=70
 +1x1_77+1x1_78+1x1_79+1x1_80+1x1_81+3x2_77+3x2_78+3x2_79+3x2_80+3x2_81+1x3_77+1x3_78+1x3_79+1x3_80+1x3_81+3x4_77+3x4_78+3x4_79+3x4_80+3x4_81<=70
 +1x1_78+1x1_79+1x1_80+1x1_81+1x1_82+3x2_78+3x2_79+3x2_80+3x2_81+3x2_82+1x3_78+1x3_79+1x3_80+1x3_81+1x3_82+3x4_78+3x4_79+3x4_80+3x4_81+3x4_82<=70
 +1x1_79+1x1_80+1x1_81+1x1_82+1x1_83+3x2_79+3x2_80+3x2_81+3x2_82+3x2_83+1x3_79+1x3_80+1x3_81+1x3_82+1x3_83+3x4_79+3x4_80+3x4_81+3x4_82+3x4_83<=70
 +1x1_80+1x1_81+1x1_82+1x1_83+1x1_84+3x2_80+3x2_81+3x2_82+3x2_83+3x2_84+1x3_80+1x3_81+1x3_82+1x3_83+1x3_84+3x4_80+3x4_81+3x4_82+3x4_83+3x4_84<=70
 +1x1_81+1x1_82+1x1_83+1x1_84+1x1_85+3x2_81+3x2_82+3x2_83+3x2_84+3x2_85+1x3_81+1x3_82+1x3_83+1x3_84+1x3_85+3x4_81+3x4_82+3x4_83+3x4_84+3x4_85<=70
 +1x1_82+1x1_83+1x1_84+1x1_85+1x1_86+3x2_82+3x2_83+3x2_84+3x2_85+3x2_86+1x3_82+1x3_83+1x3_84+1x3_85+1x3_86+3x4_82+3x4_83+3x4_84+3x4_85+3x4_86<=70
 +1x1_83+1x1_84+1x1_85+1x1_86+1x1_87+3x2_83+3x2_84+3x2_85+3x2_86+3x2_87+1x3_83+1x3_84+1x3_85+1x3_86+1x3_87+3x4_83+3x4_84+3x4_85+3x4_86+3x4_87<=70
 +1x1_84+1x1_85+1x1_86+1x1_87+1x1_88+3x2_84+3x2_85+3x2_86+3x2_87+3x2_88+1x3_84+1x3_85+1x3_86+1x3_87+1x3_88+3x4_84+3x4_85+3x4_86+3x4_87+3x4_88<=70
 +1x1_85+1x1_86+1x1_87+1x1_88+1x1_89+3x2_85+3x2_86+3x2_87+3x2_88+3x2_89+1x3_85+1x3_86+1x3_87+1x3_88+1x3_89+3x4_85+3x4_86+3x4_87+3x4_88+3x4_89<=70
 +1x1_86+1x1_87+1x1_88+1x1_89+1x1_90+3x2_86+3x2_87+3x2_88+3x2_89+3x2_90+1x3_86+1x3_87+1x3_88+1x3_89+1x3_90+3x4_86+3x4_87+3x4_88+3x4_89+3x4_90<=70
 +1x1_87+1x1_88+1x1_89+1x1_90+1x1_91+3x2_87+3x2_88+3x2_89+3x2_90+3x2_91+1x3_87+1x3_88+1x3_89+1x3_90+1x3_91+3x4_87+3x4_88+3x4_89+3x4_90+3x4_91<=70
 +1x1_88+1x1_89+1x1_90+1x1_91+1x1_92+3x2_88+3x2_89+3x2_90+3x2_91+3x2_92+1x3_88+1x3_89+1x3_90+1x3_91+1x3_92+3x4_88+3x4_89+3x4_90+3x4_91+3x4_92<=70
 +1x1_89+1x1_90+1x1_91+1x1_92+1x1_93+3x2_89+3x2_90+3x2_91+3x2_92+3x2_93+1x3_89+1x3_90+1x3_91+1x3_92+1x3_93+3x4_89+3x4_90+3x4_91+3x4_92+3x4_93<=70
 +1x1_90+1x1_91+1x1_92+1x1_93+1x1_94+3x2_90+3x2_91+3x2_92+3x2_93+3x2_94+1x3_90+1x3_91+1x3_92+1x3_93+1x3_94+3x4_90+3x4_91+3x4_92+3x4_93+3x4_94<=70
 +1x1_91+1x1_92+1x1_93+1x1_94+1x1_95+3x2_91+3x2_92+3x2_93+3x2_94+3x2_95+1x3_91+1x3_92+1x3_93+1x3_94+1x3_95+3x4_91+3x4_92+3x4_93+3x4_94+3x4_95<=70
 +1x1_92+1x1_93+1x1_94+1x1_95+1x1_96+3x2_92+3x2_93+3x2_94+3x2_95+3x2_96+1x3_92+1x3_93+1x3_94+1x3_95+1x3_96+3x4_92+3x4_93+3x4_94+3x4_95+3x4_96<=70
 +1x1_93+1x1_94+1x1_95+1x1_96+1x1_97+3x2_93+3x2_94+3x2_95+3x2_96+3x2_97+1x3_93+1x3_94+1x3_95+1x3_96+1x3_97+3x4_93+3x4_94+3x4_95+3x4_96+3x4_97<=70
 +1x1_94+1x1_95+1x1_96+1x1_97+1x1_98+3x2_94+3x2_95+3x2_96+3x2_97+3x2_98+1x3_94+1x3_95+1x3_96+1x3_97+1x3_98+3x4_94+3x4_95+3x4_96+3x4_97+3x4_98<=70
 +1x1_95+1x1_96+1x1_97+1x1_98+1x1_99+3x2_95+3x2_96+3x2_97+3x2_98+3x2_99+1x3_95+1x3_96+1x3_97+1x3_98+1x3_99+3x4_95+3x4_96+3x4_97+3x4_98+3x4_99<=70
 +1x1_96+1x1_97+1x1_98+1x1_99+1x1_100+3x2_96+3x2_97+3x2_98+3x2_99+3x2_100+1x3_96+1x3_97+1x3_98+1x3_99+1x3_100+3x4_96+3x4_97+3x4_98+3x4_99+3x4_100<=70
 +1x1_97+1x1_98+1x1_99+1x1_100+1x1_101+3x2_97+3x2_98+3x2_99+3x2_100+3x2_101+1x3_97+1x3_98+1x3_99+1x3_100+1x3_101+3x4_97+3x4_98+3x4_99+3x4_100+3x4_101<=70
 +1x1_98+1x1_99+1x1_100+1x1_101+1x1_102+3x2_98+3x2_99+3x2_100+3x2_101+3x2_102+1x3_98+1x3_99+1x3_100+1x3_101+1x3_102+3x4_98+3x4_99+3x4_100+3x4_101+3x4_102<=70
 +1x1_1+1x1_2+1x1_3+1x1_4+3x2_1+3x2_2+3x2_3+3x2_4+1x3_1+1x3_2+1x3_3+1x3_4+3x4_1+3x4_2+3x4_3+3x4_4<=4
 +1x1_2+1x1_3+1x1_4+1x1_5+3x2_2+3x2_3+3x2_4+3x2_5+1x3_2+1x3_3+1x3_4+1x3_5+3x4_2+3x4_3+3x4_4+3x4_5<=4
 +1x1_3+1x1_4+1x1_5+1x1_6+3x2_3+3x2_4+3x2_5+3x2_6+1x3_3+1x3_4+1x3_5+1x3_6+3x4_3+3x4_4+3x4_5+3x4_6<=4
 +1x1_4+1x1_5+1x1_6+1x1_7+3x2_4+3x2_5+3x2_6+3x2_7+1x3_4+1x3_5+1x3_6+1x3_7+3x4_4+3x4_5+3x4_6+3x4_7<=4
 +1x1_5+1x1_6+1x1_7+1x1_8+3x2_5+3x2_6+3x2_7+3x2_8+1x3_5+1x3_6+1x3_7+1x3_8+3x4_5+3x4_6+3x4_7+3x4_8<=4
 +1x1_6+1x1_7+1x1_8+1x1_9+3x2_6+3x2_7+3x2_8+3x2_9+1x3_6+1x3_7+1x3_8+1x3_9+3x4_6+3x4_7+3x4_8+3x4_9<=4
 +1x1_7+1x1_8+1x1_9+1x1_10+3x2_7+3x2_8+3x2_9+3x2_10+1x3_7+1x3_8+1x3_9+1x3_10+3x4_7+3x4_8+3x4_9+3x4_10<=4
 +1x1_8+1x1_9+1x1_10+1x1_11+3x2_8+3x2_9+3x2_10+3x2_11+1x3_8+1x3_9+1x3_10+1x3_11+3x4_8+3x4_9+3x4_10+3x4_11<=4
 +1x1_9+1x1_10+1x1_11+1x1_12+3x2_9+3x2_10+3x2_11+3x2_12+1x3_9+1x3_10+1x3_11+1x3_12+3x4_9+3x4_10+3x4_11+3x4_12<=4
 +1x1_10+1x1_11+1x1_12+1x1_13+3x2_10+3x2_11+3x2_12+3x2_13+1x3_10+1x3_11+1x3_12+1x3_13+3x4_10+3x4_11+3x4_12+3x4_13<=4
 +1x1_11+1x1_12+1x1_13+1x1_14+3x2_11+3x2_12+3x2_13+3x2_14+1x3_11+1x3_12+1x3_13+1x3_14+3x4_11+3x4_12+3x4_13+3x4_14<=4
 +1x1_12+1x1_13+1x1_14+1x1_15+3x2_12+3x2_13+3x2_14+3x2_15+1x3_12+1x3_13+1x3_14+1x3_15+3x4_12+3x4_13+3x4_14+3x4_15<=4
 +1x1_13+1x1_14+1x1_15+1x1_16+3x2_13+3x2_14+3x2_15+3x2_16+1x3_13+1x3_14+1x3_15+1x3_16+3x4_13+3x4_14+3x4_15+3x4_16<=4

$+1x1_90+1x1_91+1x1_92+1x1_93+3x2_90+3x2_91+3x2_92+3x2_93+1x3_90+1x3_91+1x3_92+1x3_93+3x4_90+3x4_91+3x4_92+3x4_93 \leq 4$
 $+1x1_91+1x1_92+1x1_93+1x1_94+3x2_91+3x2_92+3x2_93+3x2_94+1x3_91+1x3_92+1x3_93+1x3_94+3x4_91+3x4_92+3x4_93+3x4_94 \leq 4$
 $+1x1_92+1x1_93+1x1_94+1x1_95+3x2_92+3x2_93+3x2_94+3x2_95+1x3_92+1x3_93+1x3_94+1x3_95+3x4_92+3x4_93+3x4_94+3x4_95 \leq 4$
 $+1x1_93+1x1_94+1x1_95+1x1_96+3x2_93+3x2_94+3x2_95+3x2_96+1x3_93+1x3_94+1x3_95+1x3_96+3x4_93+3x4_94+3x4_95+3x4_96 \leq 4$
 $+1x1_94+1x1_95+1x1_96+1x1_97+3x2_94+3x2_95+3x2_96+3x2_97+1x3_94+1x3_95+1x3_96+1x3_97+3x4_94+3x4_95+3x4_96+3x4_97 \leq 4$
 $+1x1_95+1x1_96+1x1_97+1x1_98+3x2_95+3x2_96+3x2_97+3x2_98+1x3_95+1x3_96+1x3_97+1x3_98+3x4_95+3x4_96+3x4_97+3x4_98 \leq 4$
 $+1x1_96+1x1_97+1x1_98+1x1_99+3x2_96+3x2_97+3x2_98+3x2_99+1x3_96+1x3_97+1x3_98+1x3_99+3x4_96+3x4_97+3x4_98+3x4_99 \leq 4$
 $+1x1_97+1x1_98+1x1_99+1x1_100+3x2_97+3x2_98+3x2_99+3x2_100+1x3_97+1x3_98+1x3_99+1x3_100+3x4_97+3x4_98+3x4_99+3x4_100 \leq 4$
 $+1x1_98+1x1_99+1x1_100+1x1_101+3x2_98+3x2_99+3x2_100+3x2_101+1x3_98+1x3_99+1x3_100+1x3_101+3x4_98+3x4_99+3x4_100+3x4_101 \leq 4$
 $+1x1_99+1x1_100+1x1_101+1x1_102+3x2_99+3x2_100+3x2_101+3x2_102+1x3_99+1x3_100+1x3_101+1x3_102+3x4_99+3x4_100+3x4_101+3x4_102 \leq 4$

$+1x1_1+3x2_1 \leq 3$
 $+1x1_2+3x2_2 \leq 3$
 $+1x1_3+3x2_3 \leq 3$
 $+1x1_4+3x2_4 \leq 3$
 $+1x1_5+3x2_5 \leq 3$
 $+1x1_6+3x2_6 \leq 3$
 $+1x1_7+3x2_7 \leq 3$
 $+1x1_8+3x2_8 \leq 3$
 $+1x1_9+3x2_9 \leq 3$
 $+1x1_10+3x2_10 \leq 3$
 $+1x1_11+3x2_11 \leq 3$
 $+1x1_12+3x2_12 \leq 3$
 $+1x1_13+3x2_13 \leq 3$
 $+1x1_14+3x2_14 \leq 3$
 $+1x1_15+3x2_15 \leq 3$
 $+1x1_16+3x2_16 \leq 3$
 $+1x1_17+3x2_17 \leq 3$
 $+1x1_18+3x2_18 \leq 3$
 $+1x1_19+3x2_19 \leq 3$
 $+1x1_20+3x2_20 \leq 3$
 $+1x1_21+3x2_21 \leq 3$
 $+1x1_22+3x2_22 \leq 3$
 $+1x1_23+3x2_23 \leq 3$
 $+1x1_24+3x2_24 \leq 3$
 $+1x1_25+3x2_25 \leq 3$
 $+1x1_26+3x2_26 \leq 3$
 $+1x1_27+3x2_27 \leq 3$
 $+1x1_28+3x2_28 \leq 3$
 $+1x1_29+3x2_29 \leq 3$
 $+1x1_30+3x2_30 \leq 3$
 $+1x1_31+3x2_31 \leq 3$
 $+1x1_32+3x2_32 \leq 3$
 $+1x1_33+3x2_33 \leq 3$
 $+1x1_34+3x2_34 \leq 3$
 $+1x1_35+3x2_35 \leq 3$
 $+1x1_36+3x2_36 \leq 3$
 $+1x1_37+3x2_37 \leq 3$
 $+1x1_38+3x2_38 \leq 3$
 $+1x1_39+3x2_39 \leq 3$
 $+1x1_40+3x2_40 \leq 3$
 $+1x1_41+3x2_41 \leq 3$
 $+1x1_42+3x2_42 \leq 3$
 $+1x1_43+3x2_43 \leq 3$
 $+1x1_44+3x2_44 \leq 3$
 $+1x1_45+3x2_45 \leq 3$
 $+1x1_46+3x2_46 \leq 3$
 $+1x1_47+3x2_47 \leq 3$
 $+1x1_48+3x2_48 \leq 3$
 $+1x1_49+3x2_49 \leq 3$
 $+1x1_50+3x2_50 \leq 3$
 $+1x1_51+3x2_51 \leq 3$
 $+1x1_52+3x2_52 \leq 3$
 $+1x1_53+3x2_53 \leq 3$
 $+1x1_54+3x2_54 \leq 3$
 $+1x1_55+3x2_55 \leq 3$
 $+1x1_56+3x2_56 \leq 3$
 $+1x1_57+3x2_57 \leq 3$
 $+1x1_58+3x2_58 \leq 3$
 $+1x1_59+3x2_59 \leq 3$
 $+1x1_60+3x2_60 \leq 3$
 $+1x1_61+3x2_61 \leq 3$
 $+1x1_62+3x2_62 \leq 3$
 $+1x1_63+3x2_63 \leq 3$

$+1x1_{.64}+3x2_{.64} \leq 3$
 $+1x1_{.65}+3x2_{.65} \leq 3$
 $+1x1_{.66}+3x2_{.66} \leq 3$
 $+1x1_{.67}+3x2_{.67} \leq 3$
 $+1x1_{.68}+3x2_{.68} \leq 3$
 $+1x1_{.69}+3x2_{.69} \leq 3$
 $+1x1_{.70}+3x2_{.70} \leq 3$
 $+1x1_{.71}+3x2_{.71} \leq 3$
 $+1x1_{.72}+3x2_{.72} \leq 3$
 $+1x1_{.73}+3x2_{.73} \leq 3$
 $+1x1_{.74}+3x2_{.74} \leq 3$
 $+1x1_{.75}+3x2_{.75} \leq 3$
 $+1x1_{.76}+3x2_{.76} \leq 3$
 $+1x1_{.77}+3x2_{.77} \leq 3$
 $+1x1_{.78}+3x2_{.78} \leq 3$
 $+1x1_{.79}+3x2_{.79} \leq 3$
 $+1x1_{.80}+3x2_{.80} \leq 3$
 $+1x1_{.81}+3x2_{.81} \leq 3$
 $+1x1_{.82}+3x2_{.82} \leq 3$
 $+1x1_{.83}+3x2_{.83} \leq 3$
 $+1x1_{.84}+3x2_{.84} \leq 3$
 $+1x1_{.85}+3x2_{.85} \leq 3$
 $+1x1_{.86}+3x2_{.86} \leq 3$
 $+1x1_{.87}+3x2_{.87} \leq 3$
 $+1x1_{.88}+3x2_{.88} \leq 3$
 $+1x1_{.89}+3x2_{.89} \leq 3$
 $+1x1_{.90}+3x2_{.90} \leq 3$
 $+1x1_{.91}+3x2_{.91} \leq 3$
 $+1x1_{.92}+3x2_{.92} \leq 3$
 $+1x1_{.93}+3x2_{.93} \leq 3$
 $+1x1_{.94}+3x2_{.94} \leq 3$
 $+1x1_{.95}+3x2_{.95} \leq 3$
 $+1x1_{.96}+3x2_{.96} \leq 3$
 $+1x1_{.97}+3x2_{.97} \leq 3$
 $+1x1_{.98}+3x2_{.98} \leq 3$
 $+1x1_{.99}+3x2_{.99} \leq 3$
 $+1x1_{.100}+3x2_{.100} \leq 3$
 $+1x1_{.101}+3x2_{.101} \leq 3$
 $+1x1_{.102}+3x2_{.102} \leq 3$
 $+1x1_{.103}+3x2_{.103} \leq 3$

$+1x3_{.1}+1x4_{.1}+1x3_{.2}+1x4_{.2} \leq 1$
 $+1x3_{.2}+1x4_{.2}+1x3_{.3}+1x4_{.3} \leq 1$
 $+1x3_{.3}+1x4_{.3}+1x3_{.4}+1x4_{.4} \leq 1$
 $+1x3_{.4}+1x4_{.4}+1x3_{.5}+1x4_{.5} \leq 1$
 $+1x3_{.5}+1x4_{.5}+1x3_{.6}+1x4_{.6} \leq 1$
 $+1x3_{.6}+1x4_{.6}+1x3_{.7}+1x4_{.7} \leq 1$
 $+1x3_{.7}+1x4_{.7}+1x3_{.8}+1x4_{.8} \leq 1$
 $+1x3_{.8}+1x4_{.8}+1x3_{.9}+1x4_{.9} \leq 1$
 $+1x3_{.9}+1x4_{.9}+1x3_{.10}+1x4_{.10} \leq 1$
 $+1x3_{.10}+1x4_{.10}+1x3_{.11}+1x4_{.11} \leq 1$
 $+1x3_{.11}+1x4_{.11}+1x3_{.12}+1x4_{.12} \leq 1$
 $+1x3_{.12}+1x4_{.12}+1x3_{.13}+1x4_{.13} \leq 1$
 $+1x3_{.13}+1x4_{.13}+1x3_{.14}+1x4_{.14} \leq 1$
 $+1x3_{.14}+1x4_{.14}+1x3_{.15}+1x4_{.15} \leq 1$
 $+1x3_{.15}+1x4_{.15}+1x3_{.16}+1x4_{.16} \leq 1$
 $+1x3_{.16}+1x4_{.16}+1x3_{.17}+1x4_{.17} \leq 1$
 $+1x3_{.17}+1x4_{.17}+1x3_{.18}+1x4_{.18} \leq 1$
 $+1x3_{.18}+1x4_{.18}+1x3_{.19}+1x4_{.19} \leq 1$
 $+1x3_{.19}+1x4_{.19}+1x3_{.20}+1x4_{.20} \leq 1$
 $+1x3_{.20}+1x4_{.20}+1x3_{.21}+1x4_{.21} \leq 1$
 $+1x3_{.21}+1x4_{.21}+1x3_{.22}+1x4_{.22} \leq 1$
 $+1x3_{.22}+1x4_{.22}+1x3_{.23}+1x4_{.23} \leq 1$
 $+1x3_{.23}+1x4_{.23}+1x3_{.24}+1x4_{.24} \leq 1$
 $+1x3_{.24}+1x4_{.24}+1x3_{.25}+1x4_{.25} \leq 1$
 $+1x3_{.25}+1x4_{.25}+1x3_{.26}+1x4_{.26} \leq 1$
 $+1x3_{.26}+1x4_{.26}+1x3_{.27}+1x4_{.27} \leq 1$
 $+1x3_{.27}+1x4_{.27}+1x3_{.28}+1x4_{.28} \leq 1$
 $+1x3_{.28}+1x4_{.28}+1x3_{.29}+1x4_{.29} \leq 1$
 $+1x3_{.29}+1x4_{.29}+1x3_{.30}+1x4_{.30} \leq 1$
 $+1x3_{.30}+1x4_{.30}+1x3_{.31}+1x4_{.31} \leq 1$
 $+1x3_{.31}+1x4_{.31}+1x3_{.32}+1x4_{.32} \leq 1$
 $+1x3_{.32}+1x4_{.32}+1x3_{.33}+1x4_{.33} \leq 1$
 $+1x3_{.33}+1x4_{.33}+1x3_{.34}+1x4_{.34} \leq 1$
 $+1x3_{.34}+1x4_{.34}+1x3_{.35}+1x4_{.35} \leq 1$
 $+1x3_{.35}+1x4_{.35}+1x3_{.36}+1x4_{.36} \leq 1$

$+1x3_36+1x4_36+1x3_37+1x4_37<=1$
 $+1x3_37+1x4_37+1x3_38+1x4_38<=1$
 $+1x3_38+1x4_38+1x3_39+1x4_39<=1$
 $+1x3_39+1x4_39+1x3_40+1x4_40<=1$
 $+1x3_40+1x4_40+1x3_41+1x4_41<=1$
 $+1x3_41+1x4_41+1x3_42+1x4_42<=1$
 $+1x3_42+1x4_42+1x3_43+1x4_43<=1$
 $+1x3_43+1x4_43+1x3_44+1x4_44<=1$
 $+1x3_44+1x4_44+1x3_45+1x4_45<=1$
 $+1x3_45+1x4_45+1x3_46+1x4_46<=1$
 $+1x3_46+1x4_46+1x3_47+1x4_47<=1$
 $+1x3_47+1x4_47+1x3_48+1x4_48<=1$
 $+1x3_48+1x4_48+1x3_49+1x4_49<=1$
 $+1x3_49+1x4_49+1x3_50+1x4_50<=1$
 $+1x3_50+1x4_50+1x3_51+1x4_51<=1$
 $+1x3_51+1x4_51+1x3_52+1x4_52<=1$
 $+1x3_52+1x4_52+1x3_53+1x4_53<=1$
 $+1x3_53+1x4_53+1x3_54+1x4_54<=1$
 $+1x3_54+1x4_54+1x3_55+1x4_55<=1$
 $+1x3_55+1x4_55+1x3_56+1x4_56<=1$
 $+1x3_56+1x4_56+1x3_57+1x4_57<=1$
 $+1x3_57+1x4_57+1x3_58+1x4_58<=1$
 $+1x3_58+1x4_58+1x3_59+1x4_59<=1$
 $+1x3_59+1x4_59+1x3_60+1x4_60<=1$
 $+1x3_60+1x4_60+1x3_61+1x4_61<=1$
 $+1x3_61+1x4_61+1x3_62+1x4_62<=1$
 $+1x3_62+1x4_62+1x3_63+1x4_63<=1$
 $+1x3_63+1x4_63+1x3_64+1x4_64<=1$
 $+1x3_64+1x4_64+1x3_65+1x4_65<=1$
 $+1x3_65+1x4_65+1x3_66+1x4_66<=1$
 $+1x3_66+1x4_66+1x3_67+1x4_67<=1$
 $+1x3_67+1x4_67+1x3_68+1x4_68<=1$
 $+1x3_68+1x4_68+1x3_69+1x4_69<=1$
 $+1x3_69+1x4_69+1x3_70+1x4_70<=1$
 $+1x3_70+1x4_70+1x3_71+1x4_71<=1$
 $+1x3_71+1x4_71+1x3_72+1x4_72<=1$
 $+1x3_72+1x4_72+1x3_73+1x4_73<=1$
 $+1x3_73+1x4_73+1x3_74+1x4_74<=1$
 $+1x3_74+1x4_74+1x3_75+1x4_75<=1$
 $+1x3_75+1x4_75+1x3_76+1x4_76<=1$
 $+1x3_76+1x4_76+1x3_77+1x4_77<=1$
 $+1x3_77+1x4_77+1x3_78+1x4_78<=1$
 $+1x3_78+1x4_78+1x3_79+1x4_79<=1$
 $+1x3_79+1x4_79+1x3_80+1x4_80<=1$
 $+1x3_80+1x4_80+1x3_81+1x4_81<=1$
 $+1x3_81+1x4_81+1x3_82+1x4_82<=1$
 $+1x3_82+1x4_82+1x3_83+1x4_83<=1$
 $+1x3_83+1x4_83+1x3_84+1x4_84<=1$
 $+1x3_84+1x4_84+1x3_85+1x4_85<=1$
 $+1x3_85+1x4_85+1x3_86+1x4_86<=1$
 $+1x3_86+1x4_86+1x3_87+1x4_87<=1$
 $+1x3_87+1x4_87+1x3_88+1x4_88<=1$
 $+1x3_88+1x4_88+1x3_89+1x4_89<=1$
 $+1x3_89+1x4_89+1x3_90+1x4_90<=1$
 $+1x3_90+1x4_90+1x3_91+1x4_91<=1$
 $+1x3_91+1x4_91+1x3_92+1x4_92<=1$
 $+1x3_92+1x4_92+1x3_93+1x4_93<=1$
 $+1x3_93+1x4_93+1x3_94+1x4_94<=1$
 $+1x3_94+1x4_94+1x3_95+1x4_95<=1$
 $+1x3_95+1x4_95+1x3_96+1x4_96<=1$
 $+1x3_96+1x4_96+1x3_97+1x4_97<=1$
 $+1x3_97+1x4_97+1x3_98+1x4_98<=1$
 $+1x3_98+1x4_98+1x3_99+1x4_99<=1$
 $+1x3_99+1x4_99+1x3_100+1x4_100<=1$
 $+1x3_100+1x4_100+1x3_101+1x4_101<=1$

$+1x1_1+1x2_1+1x1_2+1x2_2+1x1_3+1x2_3<=2$
 $+1x1_2+1x2_2+1x1_3+1x2_3+1x1_4+1x2_4<=2$
 $+1x1_3+1x2_3+1x1_4+1x2_4+1x1_5+1x2_5<=2$
 $+1x1_4+1x2_4+1x1_5+1x2_5+1x1_6+1x2_6<=2$
 $+1x1_5+1x2_5+1x1_6+1x2_6+1x1_7+1x2_7<=2$
 $+1x1_6+1x2_6+1x1_7+1x2_7+1x1_8+1x2_8<=2$
 $+1x1_7+1x2_7+1x1_8+1x2_8+1x1_9+1x2_9<=2$
 $+1x1_8+1x2_8+1x1_9+1x2_9+1x1_10+1x2_10<=2$
 $+1x1_9+1x2_9+1x1_10+1x2_10+1x1_11+1x2_11<=2$
 $+1x1_10+1x2_10+1x1_11+1x2_11+1x1_12+1x2_12<=2$

$+1x3_67+3x4_67+1x3_68+3x4_68+1x3_69+3x4_69+1x3_70+3x4_70<=4$
 $+1x3_68+3x4_68+1x3_69+3x4_69+1x3_70+3x4_70+1x3_71+3x4_71<=4$
 $+1x3_69+3x4_69+1x3_70+3x4_70+1x3_71+3x4_71+1x3_72+3x4_72<=4$
 $+1x3_70+3x4_70+1x3_71+3x4_71+1x3_72+3x4_72+1x3_73+3x4_73<=4$
 $+1x3_71+3x4_71+1x3_72+3x4_72+1x3_73+3x4_73+1x3_74+3x4_74<=4$
 $+1x3_72+3x4_72+1x3_73+3x4_73+1x3_74+3x4_74+1x3_75+3x4_75<=4$
 $+1x3_73+3x4_73+1x3_74+3x4_74+1x3_75+3x4_75+1x3_76+3x4_76<=4$
 $+1x3_74+3x4_74+1x3_75+3x4_75+1x3_76+3x4_76+1x3_77+3x4_77<=4$
 $+1x3_75+3x4_75+1x3_76+3x4_76+1x3_77+3x4_77+1x3_78+3x4_78<=4$
 $+1x3_76+3x4_76+1x3_77+3x4_77+1x3_78+3x4_78+1x3_79+3x4_79<=4$
 $+1x3_77+3x4_77+1x3_78+3x4_78+1x3_79+3x4_79+1x3_80+3x4_80<=4$
 $+1x3_78+3x4_78+1x3_79+3x4_79+1x3_80+3x4_80+1x3_81+3x4_81<=4$
 $+1x3_79+3x4_79+1x3_80+3x4_80+1x3_81+3x4_81+1x3_82+3x4_82<=4$
 $+1x3_80+3x4_80+1x3_81+3x4_81+1x3_82+3x4_82+1x3_83+3x4_83<=4$
 $+1x3_81+3x4_81+1x3_82+3x4_82+1x3_83+3x4_83+1x3_84+3x4_84<=4$
 $+1x3_82+3x4_82+1x3_83+3x4_83+1x3_84+3x4_84+1x3_85+3x4_85<=4$
 $+1x3_83+3x4_83+1x3_84+3x4_84+1x3_85+3x4_85+1x3_86+3x4_86<=4$
 $+1x3_84+3x4_84+1x3_85+3x4_85+1x3_86+3x4_86+1x3_87+3x4_87<=4$
 $+1x3_85+3x4_85+1x3_86+3x4_86+1x3_87+3x4_87+1x3_88+3x4_88<=4$
 $+1x3_86+3x4_86+1x3_87+3x4_87+1x3_88+3x4_88+1x3_89+3x4_89<=4$
 $+1x3_87+3x4_87+1x3_88+3x4_88+1x3_89+3x4_89+1x3_90+3x4_90<=4$
 $+1x3_88+3x4_88+1x3_89+3x4_89+1x3_90+3x4_90+1x3_91+3x4_91<=4$
 $+1x3_89+3x4_89+1x3_90+3x4_90+1x3_91+3x4_91+1x3_92+3x4_92<=4$
 $+1x3_90+3x4_90+1x3_91+3x4_91+1x3_92+3x4_92+1x3_93+3x4_93<=4$
 $+1x3_91+3x4_91+1x3_92+3x4_92+1x3_93+3x4_93+1x3_94+3x4_94<=4$
 $+1x3_92+3x4_92+1x3_93+3x4_93+1x3_94+3x4_94+1x3_95+3x4_95<=4$
 $+1x3_93+3x4_93+1x3_94+3x4_94+1x3_95+3x4_95+1x3_96+3x4_96<=4$
 $+1x3_94+3x4_94+1x3_95+3x4_95+1x3_96+3x4_96+1x3_97+3x4_97<=4$
 $+1x3_95+3x4_95+1x3_96+3x4_96+1x3_97+3x4_97+1x3_98+3x4_98<=4$
 $+1x3_96+3x4_96+1x3_97+3x4_97+1x3_98+3x4_98+1x3_99+3x4_99<=4$
 $+1x3_97+3x4_97+1x3_98+3x4_98+1x3_99+3x4_99+1x3_100+3x4_100<=4$
 $+1x3_98+3x4_98+1x3_99+3x4_99+1x3_100+3x4_100+1x3_101+3x4_101<=4$

$+1x3_1+1x4_1<=1$
 $+1x3_2+1x4_2<=1$
 $+1x3_3+1x4_3<=1$
 $+1x3_4+1x4_4<=1$
 $+1x3_5+1x4_5<=1$
 $+1x3_6+1x4_6<=1$
 $+1x3_7+1x4_7<=1$
 $+1x3_8+1x4_8<=1$
 $+1x3_9+1x4_9<=1$
 $+1x3_10+1x4_10<=1$
 $+1x3_11+1x4_11<=1$
 $+1x3_12+1x4_12<=1$
 $+1x3_13+1x4_13<=1$
 $+1x3_14+1x4_14<=1$
 $+1x3_15+1x4_15<=1$
 $+1x3_16+1x4_16<=1$
 $+1x3_17+1x4_17<=1$
 $+1x3_18+1x4_18<=1$
 $+1x3_19+1x4_19<=1$
 $+1x3_20+1x4_20<=1$
 $+1x3_21+1x4_21<=1$
 $+1x3_22+1x4_22<=1$
 $+1x3_23+1x4_23<=1$
 $+1x3_24+1x4_24<=1$
 $+1x3_25+1x4_25<=1$
 $+1x3_26+1x4_26<=1$
 $+1x3_27+1x4_27<=1$
 $+1x3_28+1x4_28<=1$
 $+1x3_29+1x4_29<=1$
 $+1x3_30+1x4_30<=1$
 $+1x3_31+1x4_31<=1$
 $+1x3_32+1x4_32<=1$
 $+1x3_33+1x4_33<=1$
 $+1x3_34+1x4_34<=1$
 $+1x3_35+1x4_35<=1$
 $+1x3_36+1x4_36<=1$
 $+1x3_37+1x4_37<=1$
 $+1x3_38+1x4_38<=1$
 $+1x3_39+1x4_39<=1$
 $+1x3_40+1x4_40<=1$
 $+1x3_41+1x4_41<=1$
 $+1x3_42+1x4_42<=1$
 $+1x3_43+1x4_43<=1$

x2_17	x2_18	x2_19	x2_20	x2_21	x2_22	x2_23	x2_24	x2_25	x2_26	x2_27	x2_28	x2_29	
x2_30	x2_31	x2_32	x2_33	x2_34	x2_35	x2_36	x2_37	x2_38	x2_39	x2_40	x2_41	x2_42	
x2_43	x2_44	x2_45	x2_46										
x2_47	x2_48	x2_49	x2_50	x2_51	x2_52	x2_53	x2_54	x2_55	x2_56	x2_57	x2_58	x2_59	
x2_60	x2_61	x2_62	x2_63	x2_64	x2_65	x2_66	x2_67	x2_68	x2_69	x2_70	x2_71	x2_72	
x2_73	x2_74	x2_75	x2_76										
x2_77	x2_78	x2_79	x2_80	x2_81	x2_82	x2_83	x2_84	x2_85	x2_86	x2_87	x2_88	x2_89	
x2_90	x2_91	x2_92	x2_93	x2_94	x2_95	x2_96	x2_97	x2_98	x2_99	x2_100	x2_101	x2_102	
x2_103	x2_104												
x3_1	x3_2												
x3_3	x3_4	x3_5	x3_6	x3_7	x3_8	x3_9	x3_10	x3_11	x3_12	x3_13	x3_14	x3_15	x3_16
x3_17	x3_18	x3_19	x3_20	x3_21	x3_22	x3_23	x3_24	x3_25	x3_26	x3_27	x3_28	x3_29	
x3_30	x3_31	x3_32											
x3_33	x3_34	x3_35	x3_36	x3_37	x3_38	x3_39	x3_40	x3_41	x3_42	x3_43	x3_44	x3_45	
x3_46	x3_47	x3_48	x3_49	x3_50	x3_51	x3_52	x3_53	x3_54	x3_55	x3_56	x3_57	x3_58	
x3_59	x3_60	x3_61	x3_62										
x3_63	x3_64	x3_65	x3_66	x3_67	x3_68	x3_69	x3_70	x3_71	x3_72	x3_73	x3_74	x3_75	
x3_76	x3_77	x3_78	x3_79	x3_80	x3_81	x3_82	x3_83	x3_84	x3_85	x3_86	x3_87	x3_88	
x3_89	x3_90	x3_91	x3_92										
x3_93	x3_94	x3_95	x3_96	x3_97	x3_98	x3_99	x3_100	x3_101	x3_102				
x4_1	x4_2	x4_3	x4_4	x4_5	x4_6	x4_7	x4_8	x4_9	x4_10	x4_11	x4_12	x4_13	x4_14
x4_15	x4_16	x4_17	x4_18	x4_19	x4_20								
x4_21	x4_22	x4_23	x4_24	x4_25	x4_26	x4_27	x4_28	x4_29	x4_30	x4_31	x4_32	x4_33	
x4_34	x4_35	x4_36	x4_37	x4_38	x4_39	x4_40	x4_41	x4_42	x4_43	x4_44	x4_45	x4_46	
x4_47	x4_48	x4_49	x4_50										
x4_51	x4_52	x4_53	x4_54	x4_55	x4_56	x4_57	x4_58	x4_59	x4_60	x4_61	x4_62	x4_63	
x4_64	x4_65	x4_66	x4_67	x4_68	x4_69	x4_70	x4_71	x4_72	x4_73	x4_74	x4_75	x4_76	
x4_77	x4_78	x4_79	x4_80										
x4_81	x4_82	x4_83	x4_84	x4_85	x4_86	x4_87	x4_88	x4_89	x4_90	x4_91	x4_92	x4_93	
x4_94	x4_95	x4_96	x4_97	x4_98	x4_99	x4_100	x4_101	x4_102					

end

ANEXO 2

Resultado da Implementação do Modelo Reduzido

Cabeçalho do arquivo “resultado” gerado pelo programa MOSEK e a seção de variáveis:

NAME :
 PROBLEM STATUS : PRIMAL_FEASIBLE
 SOLUTION STATUS : PRIMAL_FEASIBLE
 OBJECTIVE NAME : obj
 PRIMAL OBJECTIVE : 4.40000000e+000

VARIABLES			
INDEX	NAME	AT ACTIVITY	LOWER LIMIT UPPER LIMIT
0	x1_1	SB 2.00000000000000e+000	0.00000000e+000 NONE
1	x1_2	LL 0.00000000000000e+000	0.00000000e+000 NONE
2	x1_3	LL 0.00000000000000e+000	0.00000000e+000 NONE
3	x1_4	SB 1.00000000000000e+000	0.00000000e+000 NONE
4	x1_5	LL 0.00000000000000e+000	0.00000000e+000 NONE
5	x1_6	LL 0.00000000000000e+000	0.00000000e+000 NONE
6	x1_7	LL 0.00000000000000e+000	0.00000000e+000 NONE
7	x1_8	LL 0.00000000000000e+000	0.00000000e+000 NONE
8	x1_9	LL 0.00000000000000e+000	0.00000000e+000 NONE
9	x1_10	LL 0.00000000000000e+000	0.00000000e+000 NONE
10	x1_11	LL 0.00000000000000e+000	0.00000000e+000 NONE
11	x1_12	LL 0.00000000000000e+000	0.00000000e+000 NONE
12	x1_13	LL 0.00000000000000e+000	0.00000000e+000 NONE
13	x1_14	LL 0.00000000000000e+000	0.00000000e+000 NONE
14	x1_15	LL 0.00000000000000e+000	0.00000000e+000 NONE
15	x1_16	LL 0.00000000000000e+000	0.00000000e+000 NONE
16	x1_17	LL 0.00000000000000e+000	0.00000000e+000 NONE
17	x1_18	LL 0.00000000000000e+000	0.00000000e+000 NONE
18	x1_19	LL 0.00000000000000e+000	0.00000000e+000 NONE
19	x1_20	LL 0.00000000000000e+000	0.00000000e+000 NONE
20	x1_21	LL 0.00000000000000e+000	0.00000000e+000 NONE
21	x1_22	LL 0.00000000000000e+000	0.00000000e+000 NONE
22	x1_23	LL 0.00000000000000e+000	0.00000000e+000 NONE
23	x1_24	LL 0.00000000000000e+000	0.00000000e+000 NONE
24	x1_25	LL 0.00000000000000e+000	0.00000000e+000 NONE
25	x1_26	LL 0.00000000000000e+000	0.00000000e+000 NONE
26	x1_27	LL 0.00000000000000e+000	0.00000000e+000 NONE
27	x1_28	LL 0.00000000000000e+000	0.00000000e+000 NONE
28	x1_29	LL 0.00000000000000e+000	0.00000000e+000 NONE
29	x1_30	LL 0.00000000000000e+000	0.00000000e+000 NONE
30	x1_31	LL 0.00000000000000e+000	0.00000000e+000 NONE
31	x1_32	LL 0.00000000000000e+000	0.00000000e+000 NONE
32	x1_33	LL 0.00000000000000e+000	0.00000000e+000 NONE
33	x1_34	LL 0.00000000000000e+000	0.00000000e+000 NONE
34	x1_35	LL 0.00000000000000e+000	0.00000000e+000 NONE
35	x1_36	LL 0.00000000000000e+000	0.00000000e+000 NONE
36	x1_37	LL 0.00000000000000e+000	0.00000000e+000 NONE
37	x1_38	LL 0.00000000000000e+000	0.00000000e+000 NONE
38	x1_39	LL 0.00000000000000e+000	0.00000000e+000 NONE
39	x1_40	LL 0.00000000000000e+000	0.00000000e+000 NONE
40	x1_41	LL 0.00000000000000e+000	0.00000000e+000 NONE
41	x1_42	LL 0.00000000000000e+000	0.00000000e+000 NONE
42	x1_43	LL 0.00000000000000e+000	0.00000000e+000 NONE
43	x1_44	LL 0.00000000000000e+000	0.00000000e+000 NONE
44	x1_45	LL 0.00000000000000e+000	0.00000000e+000 NONE
45	x1_46	LL 0.00000000000000e+000	0.00000000e+000 NONE
46	x1_47	LL 0.00000000000000e+000	0.00000000e+000 NONE
47	x1_48	LL 0.00000000000000e+000	0.00000000e+000 NONE
48	x1_49	LL 0.00000000000000e+000	0.00000000e+000 NONE
49	x1_50	LL 0.00000000000000e+000	0.00000000e+000 NONE
50	x1_51	LL 0.00000000000000e+000	0.00000000e+000 NONE
51	x1_52	LL 0.00000000000000e+000	0.00000000e+000 NONE
52	x1_53	LL 0.00000000000000e+000	0.00000000e+000 NONE
53	x1_54	LL 0.00000000000000e+000	0.00000000e+000 NONE
54	x1_55	LL 0.00000000000000e+000	0.00000000e+000 NONE
55	x1_56	LL 0.00000000000000e+000	0.00000000e+000 NONE
56	x1_57	LL 0.00000000000000e+000	0.00000000e+000 NONE
57	x1_58	LL 0.00000000000000e+000	0.00000000e+000 NONE
58	x1_59	LL 0.00000000000000e+000	0.00000000e+000 NONE
59	x1_60	LL 0.00000000000000e+000	0.00000000e+000 NONE
60	x1_61	LL 0.00000000000000e+000	0.00000000e+000 NONE
61	x1_62	LL 0.00000000000000e+000	0.00000000e+000 NONE
62	x1_63	LL 0.00000000000000e+000	0.00000000e+000 NONE

367	x4_58	LL 0.0000000000000e+000	0.00000000e+000	NONE
368	x4_59	LL 0.0000000000000e+000	0.00000000e+000	NONE
369	x4_60	LL 0.0000000000000e+000	0.00000000e+000	NONE
370	x4_61	LL 0.0000000000000e+000	0.00000000e+000	NONE
371	x4_62	LL 0.0000000000000e+000	0.00000000e+000	NONE
372	x4_63	LL 0.0000000000000e+000	0.00000000e+000	NONE
373	x4_64	LL 0.0000000000000e+000	0.00000000e+000	NONE
374	x4_65	LL 0.0000000000000e+000	0.00000000e+000	NONE
375	x4_66	LL 0.0000000000000e+000	0.00000000e+000	NONE
376	x4_67	LL 0.0000000000000e+000	0.00000000e+000	NONE
377	x4_68	LL 0.0000000000000e+000	0.00000000e+000	NONE
378	x4_69	LL 0.0000000000000e+000	0.00000000e+000	NONE
379	x4_70	LL 0.0000000000000e+000	0.00000000e+000	NONE
380	x4_71	LL 0.0000000000000e+000	0.00000000e+000	NONE
381	x4_72	LL 0.0000000000000e+000	0.00000000e+000	NONE
382	x4_73	LL 0.0000000000000e+000	0.00000000e+000	NONE
383	x4_74	LL 0.0000000000000e+000	0.00000000e+000	NONE
384	x4_75	LL 0.0000000000000e+000	0.00000000e+000	NONE
385	x4_76	LL 0.0000000000000e+000	0.00000000e+000	NONE
386	x4_77	LL 0.0000000000000e+000	0.00000000e+000	NONE
387	x4_78	LL 0.0000000000000e+000	0.00000000e+000	NONE
388	x4_79	LL 0.0000000000000e+000	0.00000000e+000	NONE
389	x4_80	LL 0.0000000000000e+000	0.00000000e+000	NONE
390	x4_81	LL 0.0000000000000e+000	0.00000000e+000	NONE
391	x4_82	LL 0.0000000000000e+000	0.00000000e+000	NONE
392	x4_83	LL 0.0000000000000e+000	0.00000000e+000	NONE
393	x4_84	LL 0.0000000000000e+000	0.00000000e+000	NONE
394	x4_85	SB 1.0000000000000e+000	0.00000000e+000	NONE
395	x4_86	LL 0.0000000000000e+000	0.00000000e+000	NONE
396	x4_87	LL 0.0000000000000e+000	0.00000000e+000	NONE
397	x4_88	LL 0.0000000000000e+000	0.00000000e+000	NONE
398	x4_89	LL 0.0000000000000e+000	0.00000000e+000	NONE
399	x4_90	LL 0.0000000000000e+000	0.00000000e+000	NONE
400	x4_91	LL 0.0000000000000e+000	0.00000000e+000	NONE
401	x4_92	SB 1.0000000000000e+000	0.00000000e+000	NONE
402	x4_93	LL 0.0000000000000e+000	0.00000000e+000	NONE
403	x4_94	LL 0.0000000000000e+000	0.00000000e+000	NONE
404	x4_95	LL 0.0000000000000e+000	0.00000000e+000	NONE
405	x4_96	LL 0.0000000000000e+000	0.00000000e+000	NONE
406	x4_97	LL 0.0000000000000e+000	0.00000000e+000	NONE
407	x4_98	LL 0.0000000000000e+000	0.00000000e+000	NONE
408	x4_99	LL 0.0000000000000e+000	0.00000000e+000	NONE
409	x4_100	LL 0.0000000000000e+000	0.00000000e+000	NONE
410	x4_101	LL 0.0000000000000e+000	0.00000000e+000	NONE
411	x4_102	LL 0.0000000000000e+000	0.00000000e+000	NONE
412	A1	LL 0.0000000000000e+000	0.00000000e+000	NONE
413	C1	SB 7.5000000000000e+000	0.00000000e+000	NONE
414	A2	LL 0.0000000000000e+000	0.00000000e+000	NONE
415	C2	LL 0.0000000000000e+000	0.00000000e+000	NONE
416	D1	LL 0.0000000000000e+000	0.00000000e+000	NONE
417	D2	LL 0.0000000000000e+000	0.00000000e+000	NONE
418	D3	LL 0.0000000000000e+000	0.00000000e+000	NONE
419	D4	LL 0.0000000000000e+000	0.00000000e+000	NONE

ANEXO 3

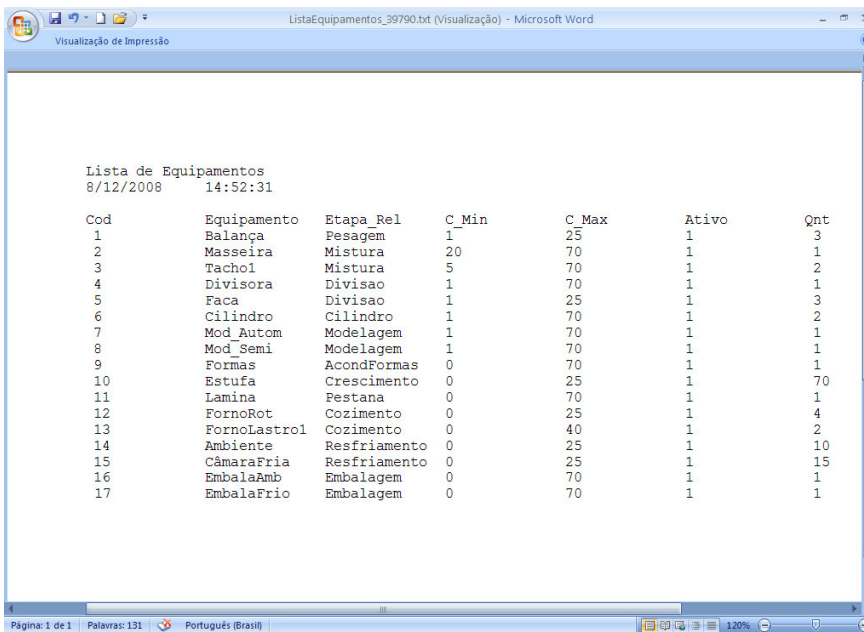
Informações técnicas utilizadas no modelo real



Lista de Etapas Cadastradas 8/12/2008 14:49:02

Codigo	Etapa
1	Pesagem
2	Divisao
3	Mistura
4	Cilindro
5	Modelagem
6	AcondFormas
7	Crescimento
8	Pestana
9	Cozimento
10	Resfriamento
11	Embalagem

FIGURA 37- Lista de etapas utilizadas no modelo real



Lista de Equipamentos 8/12/2008 14:52:31

Cod	Equipamento	Etapa_Rel	C_Min	C_Max	Ativo	Qty
1	Balança	Pesagem	1	25	1	3
2	Masseira	Mistura	20	70	1	1
3	Tacho1	Mistura	5	70	1	2
4	Divisora	Divisao	1	70	1	1
5	Faca	Divisao	1	25	1	3
6	Cilindro	Cilindro	1	70	1	2
7	Mod_Autom	Modelagem	1	70	1	1
8	Mod_Semi	Modelagem	1	70	1	1
9	Formas	AcondFormas	0	70	1	1
10	Estufa	Crescimento	0	25	1	70
11	Lamina	Pestana	0	70	1	1
12	FornoRot	Cozimento	0	25	1	4
13	FornoLastrol	Cozimento	0	40	1	2
14	Ambiente	Resfriamento	0	25	1	10
15	CâmaraFria	Resfriamento	0	25	1	15
16	EmbalaAmb	Embalagem	0	70	1	1
17	EmbalaFrio	Embalagem	0	70	1	1

FIGURA 38– Lista dos equipamentos utilizados no modelo real.

TABELA 9- 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 Hamburguer	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	Hamburguer Mini	Doce	30	4
25	Hamburguer 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 10 - 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 11 - 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 12 - Tabela de demanda gerada pelo software no planejamento do modelo real.

<u>Tempo</u>	<u>Saida</u>	<u>Tipo</u>	<u>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 13 – Pedido real, após a conversão de hora em tempo

<u>Codigo</u> <u>Produto</u>	<u>Quantidade</u> <u>(unidades)</u>	<u>Hora</u> <u>Saida</u>	<u>Tempo</u> <u>Saida</u>	<u>Tipo</u> <u>Massa</u>	<u>Peso</u> <u>(g)</u>	<u>Codigo</u> <u>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

ANEXO 4

Relatório de Produção, Tabela de Atendimento, Tabela de Taxa de Ocupação
dos Equipamentos do planejamento real

Relatórios referentes ao planejamento do modelo real com pesos 10 / 10 / 10/ 70 para os objetivos de entregar no horário, reduzir o desperdício, reduzir o número de lotes e atender a demanda respectivamente (planejamento número 1):

RELATÓRIO DE PRODUÇÃO POR HORA

Início do turno de trabalho: 22:30
Período de trabalho: 8 horas.

22:31 - 02:17 VALIDADE ATÉ 02:47
Salgada - 70kg

22:33 - 03:02 VALIDADE ATÉ 07:02
Doce - 25kg

22:36 - 02:22 VALIDADE ATÉ 02:52
Salgada - 25kg

22:43 - 03:12 VALIDADE ATÉ 07:12
Doce - 70kg

22:46 - 02:32 VALIDADE ATÉ 03:02
Salgada - 25kg

22:53 - 03:22 VALIDADE ATÉ 07:22
Doce - 25kg

22:56 - 02:42 VALIDADE ATÉ 03:12
Salgada - 70kg

23:01 - 03:30 VALIDADE ATÉ 07:30
Doce - 70kg

23:16 - 03:45 VALIDADE ATÉ 07:45
Doce - 25kg

23:22 - 03:51 VALIDADE ATÉ 07:51
Doce - 25kg

23:47 - 03:33 VALIDADE ATÉ 04:03
Salgada - 25kg

23:52 - 03:38 VALIDADE ATÉ 04:08
Salgada - 25kg

00:08 - 03:54 VALIDADE ATÉ 04:24
Salgada - 70kg

00:13 - 03:59 VALIDADE ATÉ 04:29
Salgada - 25kg

00:26 - 04:12 VALIDADE ATÉ 04:42
Salgada - 70kg

00:37 - 04:23 VALIDADE ATÉ 04:53
Salgada - 25kg

00:44 - 04:30 VALIDADE ATÉ 05:00
Salgada - 70kg

00:55 - 04:41 VALIDADE ATÉ 05:11
Salgada - 25kg

01:02 - 04:48 VALIDADE ATÉ 05:18
Salgada - 70kg

01:04 - 05:33 VALIDADE ATÉ 09:33
Doce - 25kg

01:14 - 05:00 VALIDADE ATÉ 05:30
Salgada - 25kg

01:20 - 05:06 VALIDADE ATÉ 05:36
Salgada - 70kg

01:22 - 05:51 VALIDADE ATÉ 09:51
Doce - 25kg

01:38 - 05:24 VALIDADE ATÉ 05:54
Salgada - 70kg

01:56 - 05:42 VALIDADE ATÉ 06:12
Salgada - 70kg

02:08 - 05:54 VALIDADE ATÉ 06:24
Salgada - 25kg

02:14 - 06:00 VALIDADE ATÉ 06:30
Salgada - 70kg

02:26 - 06:12 VALIDADE ATÉ 06:42
Salgada - 25kg

02:32 - 06:18 VALIDADE ATÉ 06:48
Salgada - 70kg

02:44 - 06:30 VALIDADE ATÉ 07:00
Salgada - 25kg

DESCRIÇÃO	QUANTIDADE (KG)	PESO NA F.O. (%)
NÃO PRODUZIDO	0	70
PROD EM EXCESSO	9,7	10
NÃO ATEND NO TEMPO	88	10

FUNÇÃO OBJETIVO: 9,77
Peso para reduzir o nº de lotes: 10 %

TABELA DE ATENDIMENTO

 Início do turno de trabalho: 22:30

 Período de trabalho: 8 horas.

Código	Pedido	Produzido	Diferença	Fora do Prazo	Quantidade
1	03:00	02:17	43	1	70
1	03:00	02:22	38	1	25
1	03:00	02:32	28	0	5
1	04:00	02:32	88	1	20
1	04:00	02:42	78	1	70
1	04:00	03:33	27	0	25
1	04:00	03:38	22	0	10
1	04:30	03:38	52	1	15
1	04:30	03:54	36	1	70
1	04:30	03:59	31	1	15
1	05:00	03:59	61	1	10
1	05:00	04:12	48	1	70
1	05:00	04:23	37	1	25
1	05:00	04:30	30	0	70
1	05:00	04:41	19	0	25
1	05:00	04:48	12	0	25
1	05:30	04:48	42	1	45
1	05:30	05:00	30	0	25
1	05:30	05:06	24	0	55
1	06:00	05:06	54	1	15
1	06:00	05:24	36	1	70
1	06:00	05:42	18	0	40
1	06:30	05:42	48	1	30
1	06:30	05:54	36	1	25
1	06:30	06:00	30	0	70
1	06:30	06:12	18	0	25
1	06:30	06:18	12	0	70
1	06:30	06:30	0	0	20
3	04:00	03:02	58	0	25
3	04:00	03:12	48	0	70
3	04:00	03:22	38	0	25
3	04:00	03:30	30	0	30,5
3	05:00	03:30	90	0	39,5
3	05:00	03:45	75	0	25
3	05:00	03:51	69	0	25
3	05:00	05:33	-33	-1	10,7
3	06:00	05:33	27	0	14,3
3	06:00	05:51	9	0	10,3
3	07:00	05:51	69	0	10

Produção total:1335kg.

Total Produzido Fora do Horário (perda de qualidade): 43,07% da produção - (575 kg).

Total de pedidos: 1325,3kg.

Produzido Dentro do Horário: 55,81 % - (739,6 kg).

Pedidos não atendidos com qualidade (fora do horário): 43,39 %-(575 kg).

Pedidos não atendidos (não produzidos): 0,00 % - (0 kg).

Pedidos depois do Horário (não poderá ser entregue): 0,80% da produção - (10,7 kg).

TABELA DE TAXA DE OCUPAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS

Início do turno de trabalho: 22:30

Período de trabalho: 8 horas.

Balança = 7,42%.

Masseira = 15,55%.

Tacho1 = 2,59%.

Divisora = 5,18%.

Faca = 2,90%.

Cilindro = 6,22%.

Mod_Autom = 3,11%.

Mod_Semi = 0,86%.

Formas = 3,97%.

Estufa = 29,64%.

Lamina = 12,44%.

FornoRot = 43,53%.

FornoLastro1 = 0,00%.

Ambiente = 13,54%.

CâmaraFria = 0,00%.

EmbalaAmb = 13,65%.

EmbalaFrio = 0,00%.

Fração de lotes abaixo da capacidade máxima de 70kg = 56,67%.

Relatórios referentes ao planejamento do modelo real com pesos 70 / 10 / 10/ 10 para os objetivos de entregar no horário, reduzir o desperdício, reduzir o número de lotes e atender a demanda respectivamente (planejamento número 2):

RELATÓRIO DE PRODUÇÃO POR HORA

Início do turno de trabalho: 22:30

Período de trabalho: 8 horas.

22:32 - 02:18 VALIDADE ATÉ 02:48

Salgada - 25kg

22:37 - 02:23 VALIDADE ATÉ 02:53

Salgada - 25kg

22:42 - 02:28 VALIDADE ATÉ 02:58

Salgada - 25kg

22:44 - 03:13 VALIDADE ATÉ 07:13

Doce - 70kg

22:49 - 02:35 VALIDADE ATÉ 03:05

Salgada - 25kg

22:52 - 03:21 VALIDADE ATÉ 07:21

Doce - 25kg

22:57 - 02:43 VALIDADE ATÉ 03:13

Salgada - 70kg

23:02 - 03:31 VALIDADE ATÉ 07:31

Doce - 70kg

23:05 - 02:51 VALIDADE ATÉ 03:21

Salgada - 25kg

23:22 - 03:51 VALIDADE ATÉ 07:51

Doce - 25kg

23:38 - 03:24 VALIDADE ATÉ 03:54

Salgada - 25kg

23:43 - 04:12 VALIDADE ATÉ 08:12

Doce - 25kg

23:48 - 03:34 VALIDADE ATÉ 04:04

Salgada - 25kg

23:53 - 03:39 VALIDADE ATÉ 04:09

Salgada - 25kg

23:58 - 03:44 VALIDADE ATÉ 04:14

Salgada - 25kg

00:08 - 03:54 VALIDADE ATÉ 04:24
Salgada - 25kg

00:13 - 03:59 VALIDADE ATÉ 04:29
Salgada - 25kg

00:19 - 04:05 VALIDADE ATÉ 04:35
Salgada - 25kg

00:31 - 04:17 VALIDADE ATÉ 04:47
Salgada - 70kg

00:37 - 04:23 VALIDADE ATÉ 04:53
Salgada - 25kg

00:50 - 04:36 VALIDADE ATÉ 05:06
Salgada - 70kg

00:55 - 04:41 VALIDADE ATÉ 05:11
Salgada - 25kg

00:58 - 05:27 VALIDADE ATÉ 09:27
Doce - 25kg

01:08 - 04:54 VALIDADE ATÉ 05:24
Salgada - 70kg

01:14 - 05:00 VALIDADE ATÉ 05:30
Salgada - 25kg

01:26 - 05:12 VALIDADE ATÉ 05:42
Salgada - 25kg

01:28 - 05:57 VALIDADE ATÉ 09:57
Doce - 25kg

01:33 - 05:19 VALIDADE ATÉ 05:49
Salgada - 25kg

01:44 - 05:30 VALIDADE ATÉ 06:00
Salgada - 70kg

02:03 - 05:49 VALIDADE ATÉ 06:19
Salgada - 70kg

02:21 - 06:07 VALIDADE ATÉ 06:37
Salgada - 70kg

02:26 - 06:12 VALIDADE ATÉ 06:42
Salgada - 25kg

02:39 - 06:25 VALIDADE ATÉ 06:55
Salgada - 70kg

02:44 - 06:30 VALIDADE ATÉ 07:00
Salgada - 25kg

DESCRIÇÃO	QUANTIDADE (KG)	PESO NA F.O. (%)
NÃO PRODUZIDO	25,3	10
PROD EM EXCESSO	0	10
NÃO ATEND NO TEMPO	83	70

FUNÇÃO OBJETIVO: 60,63
 Peso para reduzir o nº de lotes: 10 %

TABELA DE ATENDIMENTO

Início do turno de trabalho: 22:30
 Período de trabalho: 8 horas.

Código	Pedido	Produzido	Diferença	Fora do Prazo	Quantidade
1	03:00	02:18	42	1	25
1	03:00	02:23	37	1	25
1	03:00	02:28	32	1	25
1	03:00	02:35	25	0	25
1	03:00	02:43	17	0	0
1	04:00	02:43	77	1	70
1	04:00	02:51	69	1	25
1	04:00	03:24	36	1	25
1	04:00	03:34	26	0	5
1	04:30	03:34	56	1	20
1	04:30	03:39	51	1	25
1	04:30	03:44	46	1	25
1	04:30	03:54	36	1	25
1	04:30	03:59	31	1	5
1	05:00	03:59	61	1	20
1	05:00	04:05	55	1	25
1	05:00	04:17	43	1	70
1	05:00	04:23	37	1	25
1	05:00	04:36	24	0	70
1	05:00	04:41	19	0	15
1	05:30	04:41	49	1	10
1	05:30	04:54	36	1	70
1	05:30	05:00	30	0	25
1	05:30	05:12	18	0	20
1	06:00	05:12	48	1	5
1	06:00	05:19	41	1	25
1	06:00	05:30	30	0	70
1	06:00	05:49	11	0	25
1	06:30	05:49	41	1	45
1	06:30	06:07	23	0	70
1	06:30	06:12	18	0	25
1	06:30	06:25	5	0	70
1	06:30	06:30	0	0	25
3	04:00	03:13	47	0	70
3	04:00	03:21	39	0	25
3	04:00	03:31	29	0	55,5
3	05:00	03:31	89	0	14,5
3	05:00	03:51	69	0	25

3	05:00	04:12	48	0	25
3	05:00	05:27	-27	-1	25
3	05:00	05:57	-57	-1	10,7
3	06:00	05:57	3	0	14,3

Produção total: 1300kg.

Total Produzido Fora do Horário (perda de qualidade): 45,38% da produção - 590 kg).

Total de pedidos: 1325,3kg.

Produzido Dentro do Horário: 50,88 % -(674,3 kg).

Pedidos não atendidos com qualidade (fora do horário): 44,52 % -(590 kg).

Pedidos não atendidos (não produzidos): 1,91 % - (25,3 kg).

Pedidos depois do Horário (não poderá ser entregue): 2,75% da produção -(35,7 kg).

TABELA DE TAXA DE OCUPAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS

Início do turno de trabalho: 22:30

Período de trabalho: 8 horas.

Balança = 7,22%.

Masseira = 15,40%.

Tacho1 = 2,37%.

Divisora = 4,73%.

Faca = 2,88%.

Cilindro = 6,16%.

Mod_Autom = 3,08%.

Mod_Semi = 0,79%.

Formas = 3,87%.

Estufa = 28,80%.

Lamina = 12,32%.

FornoRot = 42,28%.

FornoLastro1 = 0,00%.

Ambiente = 13,04%.

CâmaraFria = 0,00%.

EmbalaAmb = 13,18%.

EmbalaFrio = 0,00%.

Fração de lotes abaixo da capacidade máxima de 70kg = 70,59%.
