

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA
MESTRADO EM ENGENHARIA QUÍMICA

SORAYA ALMEIDA ANDRADE CRUZ

**PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO E PROJETO DE UMA UNIDADE DE
FABRICAÇÃO DE PRODUTOS DESTINADOS À HIGIENE PESSOAL**

Maceió
2011

SORAYA ALMEIDA ANDRADE CRUZ

**PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO E PROJETO DE UMA UNIDADE DE
FABRICAÇÃO DE PRODUTOS DESTINADOS À HIGIENE PESSOAL**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia Química, da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Química.

Orientadores: Prof^o. Dr. Henrique Pacca Loureiro
Luna

Coorientador: Prof^o. Dr. João Inácio Soletti

Maceió
2011

**Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico**

Bibliotecária Responsável: Helena Cristina Pimentel do Vale

C957p Cruz, Soraya Almeida Andrade.
Planejamento da produção e projeto de uma unidade de fabricação de produtos destinados à higiene pessoal / Soraya Almeida Andrade Cruz. ó 2011. 64 f. : il., tabs., grafs.

Orientador: Henrique Pacca Loureiro Luna.

Co-Orientador: João Inácio Soletti.

Dissertação (mestrado em Engenharia Química) ó Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia. Maceió, 2011.

Bibliografia: f. 60-61.

Anexos: f. [62]-64.

1. Produtos de higiene pessoal. 2. Planejamento de produção. 3. Batelada ó Processo de fabricação. 4. Modelos matemáticos. 5. Multipropósito. I. Título.

CDU: 66.011

SORAYA ALMEIDA ANDRADE CRUZ

**PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO E PROJETO DE UMA UNIDADE DE
FABRICAÇÃO DE PRODUTOS DESTINADOS À HIGIENE PESSOAL**

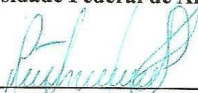
Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em
Engenharia Química, da Universidade Federal de
Alagoas, como requisito parcial para obtenção do
título de Mestre em Engenharia Química.

Aprovado em: Maceió, 19 de agosto de 2011

BANCA EXAMINADORA:



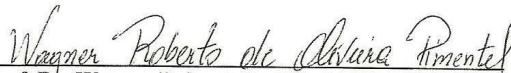
Prof. Dr. Henrique Pacca Loureiro Luna – Orientador
Universidade Federal de Alagoas - UFAL



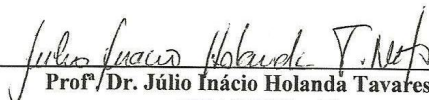
Prof. Dr. João Inácio Soletti – Orientador
Universidade Federal de Alagoas - UFAL



Prof.^a. Dr.^a. Sandra Helena Vieira de Carvalho
Universidade Federal de Alagoas - UFAL



Prof. Dr. Wagner Roberto de Oliveira Pimentel
Universidade Federal de Alagoas - UFAL



Prof.^o/Dr. Júlio Inácio Holanda Tavares Neto
BRASKEM - AL

Dedico ao meu marido Ricardo Cruz, meu maior incentivador, que sempre, com amor, carinho, companheirismo e compreensão, esteve ao meu lado, vibrando ao ver-me alcançar novos objetivos.

AGRADECIMENTOS

É chegado o momento de dizer muito obrigada e minhas palavras tornam-se limitadas, ante a alegria que sinto, por mais um objetivo alcançado em minha vida profissional.

Justamente pelo fato de saber que não estive sozinha, agradeço a Deus, em primeiro lugar, por ter guiado meus passos, indicando o melhor caminho a seguir e acrescentado, em minha vida, verdadeiros anjos e amigos.

Aos meus pais e irmãos, por sempre acreditarem que o estudo é a melhor herança que podemos deixar aos que amamos. Exemplos de amor e união.

Ao doutor e orientador, Henrique Pacca que, mesmo com as atribuições e viagens, inerentes ao seu importante papel como conhecedor nato dos processos de otimização combinatória e programação linear, procurou fazer-se presente, contribuindo para a concretização deste trabalho. Exemplo de sucesso e competência.

Ao ilustre educador e doutor João Inácio Soletti, mais que um orientador, um verdadeiro amigo e fundamental incentivador deste projeto, incansável nos esclarecimentos e nas contribuições bibliográficas. Exemplo de desprendimento, inteligência e dedicação.

Aos demais educadores do corpo docente do PPGEQ, que disponibilizaram tempo e conhecimento para passar adiante o legado do educar. Exemplos de garra, coragem e abnegação.

Às amigas Ísya Félix e Maria Clara Padula, companheiras em momentos chaves. Exemplos da arte de fazer amigos, partilhando o saber.

À CAPES e FAPEAL que, através do apoio financeiro, possibilitaram a realização de um sonho e entenderam a importância deste projeto pessoal e profissional.

A toda a “família” LASSOP, por estar sempre disponível a ajudar.

RESUMO

A grande maioria dos produtos químicos, certamente em número e provavelmente em valor, se não em volume, é produzida por processos em batelada. Recentes estudos mostram que apenas seis por cento dos processos em batelada foram satisfatoriamente substituídos por processos contínuos. Isto mostra claramente a importância e permanência de tais processos. Estas plantas têm como característica básica a produção intermitente de um determinado produto, com operação não estacionária, incluindo etapas de carga, processamento, drenagem e limpeza, o que dificulta o seu projeto. Sua utilização é recomendada, ou por razões tecnológicas ou para atender a necessidade de um mercado incerto e dinâmico, como é o caso de produtos de alto valor agregado e de pequena demanda. Um importante aspecto desse tipo de planta é a sua flexibilidade na produção de múltiplos produtos em uma única planta. As operações em batelada são economicamente justificadas quando um grande número de produtos é realizado utilizando caminhos de produção similares. Devido à dificuldade da previsão do pico e da extensão da demanda, as configurações desse tipo de planta são frequentemente alteradas e os equipamentos são, geralmente, pequenos e versáteis, podendo ser utilizados por um grande número de produtos. A alimentação deve ser flexível, o suficiente, para se adaptar à necessidade do mercado e o ciclo de vida do produto é, geralmente, curto. O Brasil ocupa o terceiro lugar no ranking mundial em vendas de produtos de higiene pessoal, perfumaria e cosméticos. A indústria desse setor, objeto do estudo, atinge, a cada ano, mais consumidores e a natureza do sistema de produção nesse setor é por processo em batelada. Com a atual complexidade do mercado globalizado e competitivo, é necessário que as empresas busquem otimizar processos, reduzir custos e obter ganhos de escala. Em vista disto, desenvolveu-se um modelo matemático de grande porte, a partir de dados reais, obtidos em uma Indústria de Higiene Pessoal, possibilitando uma aplicação prática à tese sobre *Dimensionamento e Programação da Produção de Plantas Multipropósito em Batelada*, do Prof. João Soletti, que indica como realizar o planejamento e projeto de unidades fabris.

Palavras chave: Produtos de higiene pessoal. Planejamento da produção. Batelada – Processo de fabricação. Modelo matemático. Planejamento. Multipropósito.

ABSTRACT

The vast majority of chemical products, both in number and volume, are produced by batch processes. Recent studies show that only six percent of the batch processes were satisfactorily replaced by continuous processes. This clearly shows the importance and permanence of such processes. These plants have a basic characteristic of intermittent production of a product with non-stationary operation, including steps of loading, processing, cleaning and drainage, what makes the project complex. Its use is recommended, or for technological reasons or to meet the need for a dynamic and uncertain market, as it is the case of products with high added value and small demand. An important aspect of this type of plant is its flexibility in producing multiple products in a unique plant. The batch operations are economically justified when a large number of products are produced using similar production paths. Due to the difficulty of predicting the peak and the extension of demand, such settings are frequently modified plant and equipment is usually small and versatile and can be used by a large number of products. Power must be flexible enough to adapt to market needs and product life cycle is usually short. Brazil ranks third in world ranking in sales of personal care products, perfumes and cosmetics. The industry in this sector, in the two study reaches, each year, more consumers. The currently complex and competitive global market requires that companies seek to optimize processes, reduce costs and achieve economies of scale. In view of this, we have the developed a mathematical model of large, from real data, obtained in a Personal Hygiene Industry, providing a practical application to the work on Design and Production Scheduling of Multipurpose Batch Plants, from Professor João Soletti, which enables to perform planning and design of this type of plants.

Keywords: Personal hygiene products. Production Planning. Batch – Manufacturing process. Mathematical modeling. Multipurpose plants.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Conceitos distintos entre cosméticos e medicamentos na Europa	20
Figura 1.2 – Interdependência entre cosméticos e medicamentos nos Estados Unidos	20
Figura 1.3 – Distribuição das empresas de HPPC no Brasil, associadas à ABIHPEC	24
Figura 3.1 – Configuração de uma planta em batelada multiproduto	38
Figura 3.2 – Configuração de uma planta em batelada multipropósito	38
Figura 3.3 – Receita (indicação do procedimento usado para produção de um determinado produto) para processo em batelada	40
Figura 3.4 – Processo em batelada, com limitação de tamanho no segundo equipamento e tempo no primeiro	43
Figura 3.5 – Operação paralela em fase com <i>R2</i>	43
Figura 3.6 – Operação fora de fase com <i>R1</i>	44
Figura 3.7 – Processo alternativo, operando com estocagem intermediária	45
Figura 3.8 – Processo em batelada, com limitação de capacidade no primeiro e segundo equipamento e tempo no segundo	46
Figura 3.9 – Estocagem intermediária ilimitada	46
Figura 3.10 – Sem estocagem intermediária	47
Figura 3.11 – Estocagem intermediária “ <i>Zero Wait</i> ”	47
Figura 4.1 – Planta multipropósito com múltiplas rotas de produção	50
Figura 4.2 – Projeto de engenharia básico e gráfico de “Gantt” para o produto “A”	53
Figura 4.3 – Projeto de engenharia básico e gráfico de “Gantt” para o produto “B”	53
Figura 4.4 – Projeto de engenharia básico e gráfico de “Gantt”, tanto para “C”, como para “D”	53
Figura 4.5 – Programação da Produção	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 – Comparação entre produtos nos EUA e na Europa	19
Tabela 1.2 – Rank dos 10 países com maior consumo de produtos de HPPC	22
Tabela 1.3 – Variação anual, em percentagem	23
Tabela 2.1 – Características dos sabonetes formados pelas principais matérias graxas	29
Tabela 2.2 – Quantidade mínima de cada insumo, para um kg de base	31
Tabela 2.3 – Sazonalidade do preço/kg da matéria prima	31
Tabela 2.4 – Custos com mão de obra e demais insumos	32
Tabela 2.5 – Insumos escolhidos nas determinadas épocas do ano	33
Tabela 2.6 – Comparação entre a base de fabricação própria e a comprada pronta, nas determinadas épocas do ano	34
Tabela 4.1 – Dados referentes à Figura 4.1	52
Tabela 4.2 – Desempenho dos métodos de programação matemática para resolução do problema	59
Tabela 4.3 - Solução via PNLIM	60
Tabela 4.4 – Dimensões de complexidade do Modelo	60

LISTA DE GRÁFICO

Gráfico 1.1 – Crescimento das vendas da Indústria de Cosmético	21
Gráfico 3.1 – Gráfico de “Gantt” para operação de uma planta em batelada sem superposição	41
Gráfico 3.2 – Gráfico de “Gantt” para operação de uma planta em batelada com superposição	41

LISTA DE SIGLAS

ABIHPEC	Associação Brasileira da Indústria de Higiene Pessoal, Perfumaria e Cosméticos
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
BCB	Banco Central do Brasil
CPU	<i>Central Processing Unit</i> ; Unidade Central de Processamento
EUA	Estados Unidos da América
FDA	<i>Foods and Drugs Administration</i>
FIPE	Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas
GAMS	<i>General Algebraic Model System</i>
HPPC	Higiene Pessoal, Perfumaria e Cosméticos
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPC	Índice de Preço ao Consumidor
LASSOP	Laboratório de Sistema de Separação e Otimização de Processos
OTC	<i>Over-the-Counter</i> ; Cosmecêuticos: medicamentos de venda livre, contendo efeito cosmético.
PIB	Produto Interno Bruto
PLIM	Programação Linear Inteira Mista
PNL	Programação Não Linear
PNLIM	Programação Não Linear Inteira Mista

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO	13
1	A INDÚSTRIA DE HIGIENE PESSOAL, PERFUMARIA E COSMÉTICOS	17
1.1	Definição de higiene pessoal, perfumaria e cosméticos (HPPC)	18
1.2	A Indústria mundial de HPPC	20
1.3	O Brasil no contexto internacional da Indústria de HPPC	20
1.4	O mercado Brasileiro de HPPC	23
1.5	As empresas que atuam no Brasil	23
1.6	O segmento de cuidado da pele e cabelo	24
1.7	O mercado de sabonetes no Brasil	25
1.8	Insumos químicos para a indústria de higiene pessoal	26
2	FABRICAR OU COMPRAR A BASE PRONTO PARA SABONETE EM BARRA?	27
2.1	Sabonetes	28
2.2	Matéria prima empregada na fabricação da base para sabonetes	28
2.3	Simulação no programa GAMS do custo/benefício da produção da base para sabonetes	30
2.3.1	Situação real	30
2.3.2	Modelo matemático	32
2.3.3	Resultados obtidos	33
2.3.4	Comparação entre produção e compra	34
3	PLANTAS EM BATELADA	36
3.1	Plantas em batelada	37
3.2	Tipos de plantas em batelada	38
3.3	Projeto e programação da produção	39
3.3.1	Projeto de plantas em batelada	39
3.3.2	Programação da produção de plantas em batelada	42
3.3.2.1	Tipos de engargalamento de processo	42
3.3.2.2	Tipos de estocagem intermediária	46
4	MODELO MATEMÁTICO PARA PROJETO DE PLANTA MULTIPROPÓSITO EM BATELADA	48
4.1	Descrição do Problema	49
4.2	Descrição dos Equipamentos	49
4.3	Geração de Rotas e Restrições de Campanha	51
4.4	Formulação Matemática do Problema	55
4.5	Estratégia de Solução	59
4.6	Resultados Obtidos	59
4.7	Análise dos Resultados	60

CONSIDERAÇÕES FINAIS	62
REFERÊNCIAS	63
APENDICE	65

INTRODUÇÃO

A redução de custos de produção e a melhoria em produtos e serviços são objetivos comuns a diversos setores industriais. Contudo, a tomada de decisões operacionais ainda é conduzida pelo emprego de critérios experimentais e às vezes subjetivos. A complexidade do planejamento (*planning*) e projeto (*design*) da produção é contornada pela adoção de políticas operacionais conservativas, que não utilizam a capacidade máxima de operação do sistema produtivo. Motivado pela necessidade industrial, o desenvolvimento de modelos, em especial os que empregam técnicas de otimização, tem possibilitado que procedimentos operacionais complexos sejam avaliados de forma criteriosa, fazendo com que recursos críticos sejam utilizados da melhor maneira possível. Operadores e gerentes de diversas áreas industriais enfrentam decisões diárias que concernem ao gerenciamento de matéria prima, de pessoal, alternativas de configuração de equipamentos, sequências de produção, etc. Via de regra, essas decisões podem ser encaradas como sendo a resolução de problemas combinatórios de otimização. Desta forma, os problemas combinatórios estão presentes em nosso dia a dia. Vários trabalhos encontrados na literatura abordam esse tema e demonstram que, mesmo pequenos exemplos são de difícil solução, podendo demandar horas de processamento, ou até mesmo não serem computacionalmente tratáveis (GAREY & JOHNSON, 1979).

No século XX, o panorama mundial encaminhava-se para a fusão de grandes empresas, como por exemplo, as consolidadas no desenvolvimento de novas formulações cosméticas. A mais importante fusão foi entre a marca Helena Rubinstein e a L’Oreal em 1983. Hoje, a L’Oreal detém onze das principais marcas renomadas na fabricação de “cosmecêuticos” que é o casamento entre a indústria cosmética e farmacêutica, gerando benefícios reais para o organismo, com eficácia medida e provada através de vários testes *in vivo*. Essas fusões permitem, além do aumento da capacidade de investimento em pesquisa e desenvolvimento de produtos, ganhos de escala na produção e distribuição de cosméticos. Verifica-se, de forma similar a outros setores econômicos, uma reestruturação das cadeias produtivas, com o surgimento de fábricas mundiais, abastecendo diferentes mercados regionais.

De 1996 a 2010, o crescimento brasileiro anual médio, em vendas de cosméticos, foi de 10,4%, perante 2,7% da indústria em geral e 3,1% do PIB nacional. Não foi por acaso que o Brasil passou do quarto para o terceiro lugar no ranking mundial e vem mantendo essa colocação por muitos anos, desbancando a França e ficando atrás, apenas, dos EUA e Japão,

segundo dados de vendas de 2010, do Instituto de Pesquisa Internacional Euromonitor que calcula os valores com base nos preços ao consumidor, contidos no Anuário da ABIHPEC. Além disso, as empresas interessadas em lucrar com este gigantesco mercado perceberam, há tempos, este envolvimento estreito do consumidor com os cosméticos e começaram a segmentar e lançar diversas marcas. Com o tempo foi surgindo um número infindável de produtos, cada um voltado para uma necessidade, explorando benefícios, ingredientes, sensações, cores e embalagens diferentes, para atrair os consumidores (ABIHPEC, 2010).

Apesar da constatação do desconhecimento e falta de experiência com modelos analíticos de apoio à decisão, MESQUITA e SANTORO (2004) diagnosticaram, através de várias entrevistas que, em maior ou menor grau, as empresas do ramo cosmético manifestaram-se interessadas em implantar alguma ferramenta matemática, que possa contribuir no processo de planejamento da produção. Também nesse trabalho foi constatada a existência de um distanciamento acentuado, entre as práticas de planejamento, no segmento das empresas em foco e as teorias apresentadas nos cursos de graduação, pós-graduação e especialização. A constatação alentadora é que, apesar das divergências, existe uma predisposição em estreitar o relacionamento com o meio acadêmico, em busca do desenvolvimento de melhores técnicas e modelos de planejamento da produção e estoques.

Uma reflexão aprofundada sobre a modelagem dos problemas de planejamento da produção e estoques pode ser encontrada em HOPP e SPEARMAN (2000). Estes autores consideram que os modelos acadêmicos disponíveis são insatisfatórios, o que explica sua baixa utilização nas empresas e apresentam uma estrutura hierárquica que combina modelos analíticos para planejamento e programação da produção, com métodos de controle da produção, baseada no princípio de produção puxada (limitação de estoques intermediários).

A grande maioria dos produtos cosméticos é produzida por processos em batelada. As plantas em batelada têm como característica básica a produção intermitente de um determinado produto, com operação não estacionária, incluindo etapas de carga, processamento, drenagem e limpeza, o que dificulta o seu projeto. Apesar disso, um importante aspecto desse tipo de planta é a sua flexibilidade na produção de múltiplos produtos, em uma única planta, através da utilização dos mesmos equipamentos para vários produtos. Este tipo de planta é utilizada em cerca de 80% das indústrias farmacêuticas, 65% das indústrias de alimentos e na quase totalidade das indústrias de bebidas, SOLETTI (1997).

Assim, acreditamos que o desenvolvimento de uma ferramenta matemática, que auxilie o processo de planejamento da produção da indústria cosmética, é de grande importância, tanto em nível nacional como internacional.

O presente trabalho tem por objetivo a modelagem e simulação, para o planejamento e agendamento, de plantas multiproduto em batelada, características de unidades de fabricação de produtos destinados à higiene pessoal. Esse procedimento possibilita a obtenção de uma solução ótima, ou sub-ótima, para o problema de planejamento da produção. Isso é realizado incorporando-se ao modelo novas restrições, na forma de inequações, relacionadas ao conjunto de campanhas, obtidas da análise de todas as possíveis configurações existentes na planta. Com o procedimento proposto, será possível identificar, para qualquer planta desse tipo, de forma eficiente, o conjunto de planos de produção dominante, ou seja, todos os conjuntos de campanhas, candidatas ao planejamento ótimo.

Este trabalho, embasado no estudo de SOLETTI sobre *Dimensionamento e Programação da Produção de Plantas Multipropósito em Batelada*, abrange pesquisa bibliográfica de Planejamento da Produção e Projeto, em indústrias cosméticas e aplicação prática deste conhecimento.

O levantamento bibliográfico foi realizado através de livros técnicos, trabalhos científicos publicados em revistas especializadas, anais e publicações de congressos, artigos sobre o tema, em fontes mais recentes, através da internet, em bibliotecas virtuais e outros sites oficiais, de reconhecido valor científico.

O modelo matemático foi formulado como um problema de programação matemática e escrito em linguagem GAMS (“*General Algebraic Model System*”).

A aplicação prática, constituída de dados da produção de cosméticos e produtos de higiene pessoal, de uma indústria cosmética, está inclusa ao trabalho, como parte integrante do mesmo.

Todas as etapas foram realizadas no Laboratório de Sistema de Separação e Otimização de Processos – LASSOP, da Universidade Federal de Alagoas.

Esta dissertação, organizada em quatro capítulos, aborda os seguintes aspectos: no primeiro – levantamento bibliográfico, a respeito da indústria de higiene pessoal, perfumaria e cosméticos, com dados atuais sobre o mercado mundial e brasileiro, desses produtos. Em especial, destaca-se o levantamento sobre o mercado de sabonetes e seus insumos; no capítulo dois – um modelo matemático, gerado no GAMS, para identificar o custo da produção com a base, para sabonetes sólidos, comparando esse custo com o valor, no mercado, do quilo da base pronta; no terceiro – os conceitos básicos das operações e dos processos das plantas em batelada; no último – o modelo matemático, objeto deste estudo, para o planejamento da produção e projeto, de uma unidade voltada para o fabrico de produtos de higiene pessoal,

aplicável a outras unidades fabris. Finalmente, conclusões e sugestões, para o aprofundamento do estudo.

1 A INDÚSTRIA DE HIGIENE PESSOAL, PERFUMARIA E COSMÉTICOS

Neste capítulo são analisadas as características da indústria mundial de higiene pessoal, perfumaria e cosméticos, seus principais atores e o destaque do Brasil nesse contexto, enfocando o mercado da indústria saboeira, com seus insumos.

Divide-se da seguinte forma:

-
- 1.1 Definição de higiene pessoal, perfumaria e cosméticos (HPPC)
 - 1.2 A Indústria mundial de HPPC
 - 1.3 O Brasil no contexto internacional da Indústria de HPPC
 - 1.4 O mercado brasileiro de HPPC
 - 1.5 As empresas que atuam no Brasil
 - 1.6 O segmento de cuidado da pele e cabelo
 - 1.7 O mercado de sabonetes no Brasil
 - 1.8 Insumos químicos para a indústria de higiene pessoal
-

1.1 Definição de higiene pessoal, perfumaria e cosméticos (HPPC)

A resolução nº.79 anexo I, publicada pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), em 28 de agosto de 2000, com o intuito de atualizar as normas e procedimentos referentes ao registro de produtos de Higiene Pessoal, Perfumaria e Cosméticos (HPPC), define cosméticos, produtos de higiene e perfumes, conforme segue:

São preparações constituídas por substâncias naturais ou sintéticas, de uso externo nas diversas partes do corpo humano, pele, sistema capilar, unhas, lábios, órgãos genitais externos, dentes e membranas mucosas da cavidade oral, com o objetivo exclusivo e principal de limpá-los, perfumá-los, alterar sua aparência e/ou corrigir odores corporais e/ou protegê-los ou mantê-los em bom estado.

Esta resolução classifica, ainda, os produtos como Grau 1 ou Grau 2. Os critérios para esta classificação foram definidos em função da probabilidade de ocorrência de efeitos não desejados, devido ao uso inadequado do produto, sua formulação, finalidade de uso, áreas do corpo a que se destinam e cuidados a serem observados, quando de sua utilização.

Grau 1 – são produtos de higiene pessoal, cosméticos e perfumes, cuja formulação cumpre com a definição adotada no item 1 do Anexo I desta Resolução e que se caracterizam por possuírem propriedades básicas ou elementares, cuja comprovação não seja inicialmente necessária e não requeiram informações detalhadas quanto ao seu modo de usar e suas restrições de uso, devido às características intrínsecas do produto

Constam, nesse nível, produtos, tais como: sabonetes, xampus, cremes de barbear, loções pós-barba, escovas dentais, fios dentais, pós, cremes de beleza, loções de beleza, óleos, *make-up*, batom, lápis para os lábios e delineadores, produtos para os olhos e perfumes.

Grau 2 - são produtos de higiene pessoal, cosméticos e perfumes, cuja formulação cumpre com a definição adotada no item 1 do Anexo I desta Resolução e que possuem indicações específicas, cujas características exigem comprovação de segurança e/ou eficácia, bem como informações e cuidados, modo e restrições de uso.

Nesse nível de grau 2, encontram-se produtos que apresentam risco potencial, tais como: xampus anticaspa, cremes dentais anticárie e antiplaca, desodorantes íntimos femininos, desodorantes de axilas, esfoliantes químicos para a pele, protetores para os lábios com proteção solar, certos produtos para a área dos olhos, filtros UV, loções bronzeadoras, tinturas para cabelos, descolorantes, clareadores, produtos para ondulação permanente,

produtos para crescimento de cabelos, depiladores, removedores de cutícula, removedores químicos de manchas de nicotina, endurecedores de unhas e repelentes de insetos (BRASIL, 2000).

A definição de indústria de cosméticos passou a ser utilizada pelos diversos agentes que atuam no setor e procurou convergir com as definições adotadas por órgãos internacionais, como o FDA – *Foods and Drugs Administration* dos Estados Unidos e com os Ministérios da Saúde dos países que compõem a União Européia.

Os Estados Unidos definem cosméticos como produtos feitos para ser pulverizados ou aplicados sobre o corpo humano, para limpar, embelezar, melhorar ou modificar a aparência. A FDA ainda lança um outro conceito, conhecido como OTC Drugs (Cosmecêuticos – medicamentos de venda livre, contendo efeitos cosméticos): medicamentos que não necessitam de prescrição médica e que podem afetar a estrutura ou certas funções do organismo (pele). Assim, são, ao mesmo tempo, cosmético e medicamento. Mas isso só ocorre quando existem dois efeitos esperados, com os ingredientes que são utilizadas para duas ações diferentes. Exemplo:

- Xampu anticaspa;
- Maquiagem com protetor solar.

Já o Artigo 1 da Diretiva do Conselho Europeu 76/768/CEE define como produto cosmético toda substância ou preparação destinada a entrar em contato com as diversas partes superficiais do corpo humano (epiderme, sistemas pilosos e capilar, unhas, lábios e órgãos genitais externos) ou com os dentes e as mucosas bucais, em vista exclusivamente ou, principalmente, de limpar, perfumar, modificar o aspecto ou de corrigir os odores corporais ou de proteger ou de manter o corpo em bom estado.

A tabela abaixo expressa uma comparação entre a classificação de alguns produtos nos Estados Unidos e Europa, de acordo com sua legislação.

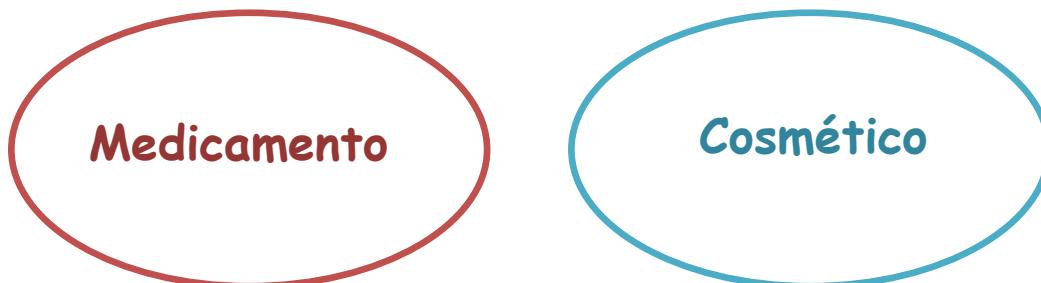
Tabela 1.1 – Comparação entre produtos nos EUA e na Europa

PRODUTO	EUA	EUROPA
Tratamento da Acne	OTC	Medicamento
Anticaspa	OTC	Cosmético
Antiinflamatório tópico	OTC	Cosmético
Antiperspirante	OTC	Medicamento
Analgésico tópico	OTC	Medicamento
Tratamento / Clareamento de pele	OTC	Cosmético de risco
Protetor solar	OTC	Cosmético

Fonte: Autora desta dissertação, 2011

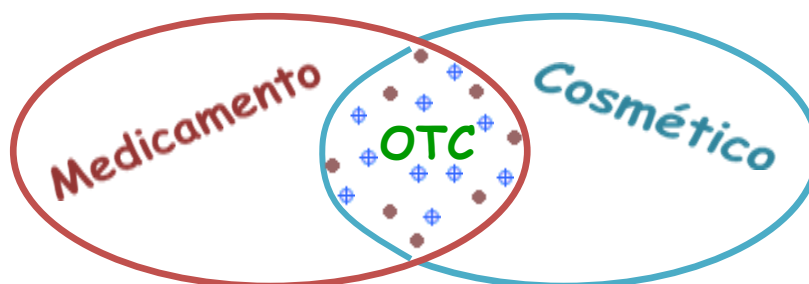
Para melhor ilustrar, as Figuras 1.1 e 1.2, abaixo, demonstram os conceitos de cosméticos e medicamentos, entre a Europa e os EUA.

Figura 1.1 - Conceitos distintos entre cosméticos e medicamentos na Europa.



Fonte: Autora desta dissertação, 2011

Figura 1.2 – Interdependência entre cosméticos e medicamentos nos Estados Unidos



Fonte: Autora desta dissertação, 2011

1.2 A indústria mundial de HPPC

A indústria de cosméticos é normalmente classificada como um segmento da indústria química, em razão da utilização e sintetização de ingredientes (CAPANEMA et al, 2007). Engloba os setores de perfumaria, higiene pessoal e limpeza. Estes segmentos respondem por cerca de 1/8 da produção da indústria química mundial, segundo a *Chemical Industry Association*.

1.3 O Brasil no contexto internacional da indústria de HPPC

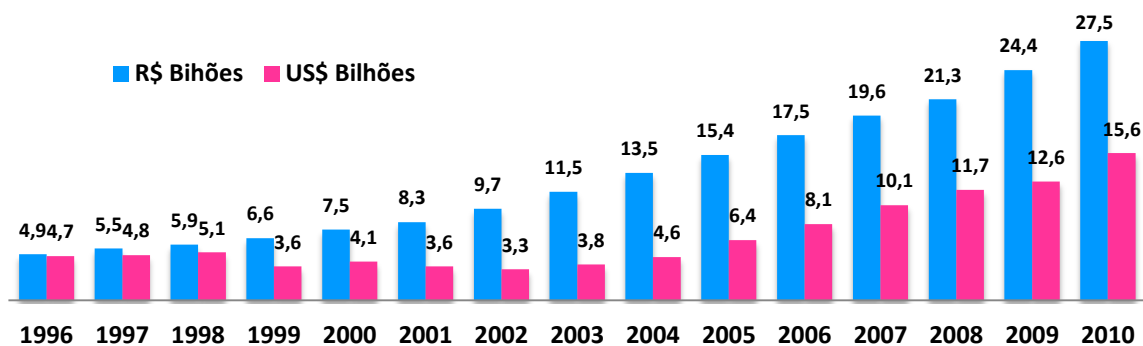
Segundo CAPANEMA et al (2007), existem duas entidades principais que acompanham as ações do setor no Brasil: a Associação Brasileira da Indústria de Higiene

Pessoal, Perfumaria e Cosméticos (ABIHPEC) e o Instituto de Pesquisa Internacional Euromonitor.

A metodologia de levantamento de dados e de elaboração dos indicadores, efetuada pela ABIHPEC, tem como base a coleta periódica de informações de 291 empresas do setor, que lhe são associadas (ABIHPEC em seu Anuário, 2010). Já o Euromonitor utiliza, como critério de apuração dos dados, as vendas dos produtos no varejo (CAPANEMA et al, 2007).

A Indústria Brasileira de Higiene Pessoal, Perfumaria e Cosméticos apresentou um crescimento médio deflacionado relativo a 10,5% nos últimos 15 anos, tendo passado de um faturamento "*ExFactory*", líquido de imposto sobre vendas, de R\$ 4,9 bilhões em 1996, para R\$ 27,5 bilhões em 2010. De 1994 a 1996 a moeda brasileira sofreu valorização, devido a sua utilização como âncora, no controle inflacionário, após a implantação do Plano Real, em meados de 1994. Entre 1999 e 2002, ocorreu uma desvalorização do real, diminuindo as vendas em dólares, neste período. A partir de 2003 o real passou a ser novamente valorizado, e de modo acentuado, até 2009. O forte crescimento das vendas em dólar, nestes últimos anos, foi motivado por esta valorização do real, em conjunto com o crescimento deflacionado no mercado interno, superior aos dois dígitos, representado no Gráfico 1.1.

Gráfico 1.1 – Crescimento das vendas da Indústria de cosmético



Fonte: ABIHPEC, 2010

Segundo a ABIHPEC, vários fatores têm contribuído para este excelente crescimento do setor, dentre os quais se destacam:

- Participação crescente da mulher brasileira, no mercado de trabalho;
- A utilização de tecnologia de ponta e o conseqüente aumento da produtividade, favorecendo os preços praticados pelo setor, que tem aumentos maiores do que os índices de preços da economia em geral;

- Lançamentos constantes de novos produtos, atendendo, cada vez mais, as necessidades do mercado;
- Aumento da expectativa de vida, o que traz a necessidade de conservar uma impressão de juventude.

Em relação ao mercado mundial de Higiene Pessoal, Perfumaria e Cosméticos, conforme dados do Euromonitor de 2010, o Brasil ocupa a terceira posição (ver Tabela 1.2). É o primeiro mercado em desodorante; segundo mercado em produtos infantis, produtos masculinos, higiene oral, proteção solar, perfumaria e banho; terceiro em produtos para cabelos e cosmético; sexto em pele e oitavo em depilatórios.

Apesar da destacada posição no segmento e, em especial, no âmbito da América Latina, onde lidera o ranking de consumo, o Brasil apresenta limitações na oferta de insumos, para a indústria de cosméticos, principalmente itens oriundos da indústria química (GARCIA e FURTADO, 2002).

Esta limitação ocorre, em parte, porque os fabricantes dos principais insumos químicos, utilizados por esta indústria, são empresas globais, que, embora atuem no Brasil, aqui se restringem às ações de representação comercial, operações logísticas de importação e manutenção de estoques locais, para seus clientes (ABIHPEC, 2009).

Tabela 1.2 – Rank dos 10 países com maior consumo de produtos de HPPC

Higiene Pessoal, Perfumaria e Cosméticos	2010 US\$ Bilhões (preço ao consumidor)	% Percentual	
		Crescimento	Participação
MUNDO	374,3	7,0	
1 Estados Unidos	59,8	1,7	16,0
2 Japão	43,8	6,8	11,7
3 Brasil	37,4	30,1	10,0
4 China	23,6	10,8	6,3
5 Alemanha	17,7	-2,0	4,7
6 França	15,9	-3,8	4,2
7 Reino Unido	15,3	3,4	4,1
8 Rússia	12,5	15,0	3,6
9 Itália	12,0	-4,5	3,2
10 Espanha	10,4	-5,3	2,8
Top Tem	248,3	6,3	66,3

Fonte: AIBHPEC/Euromonitor 2010

1.4 O mercado brasileiro de higiene pessoal, perfumaria e cosméticos

A comparação da evolução do Produto Interno Bruto - PIB, com a Indústria em geral e com os índices da Indústria de Produtos de Higiene Pessoal, Perfumaria e Cosméticos, representada na Tabela 1.3, demonstra que este setor apresentou, ao longo dos últimos anos, crescimento maior que o restante da indústria (10,4% de crescimento médio, contra 3,1% do PIB Total e 2,7% da Indústria em geral) (ABIHPEC, 2010).

Tabela 1.3 – Variação anual, em porcentagem

VARIACÃO ANUAL EM PORCENTAGEM			
ANO	PIB	INDÚSTRIA GERAL	SETOR Deflacionado
1996	2,7	3,3	17,2
1997	3,3	4,7	13,9
1998	0,2	-1,5	10,2
1999	0,8	-2,2	2,8
2000	4,3	6,6	8,8
2001	1,3	1,6	10,0
2002	2,7	2,7	10,4
2003	1,1	0,1	5,0
2004	5,7	8,3	15,0
2005	3,2	3,1	13,5
2006	4,0	2,8	15,0
2007	6,1	6,0	9,4
2008	5,2	3,1	5,4
2009	-0,6	-7,4	9,8
2010	7,5	10,5	10,7
Acumulado, últimos 15 anos	59,0	48,8	341,3
Médio composto últimos 15 anos	3,1	2,7	10,4

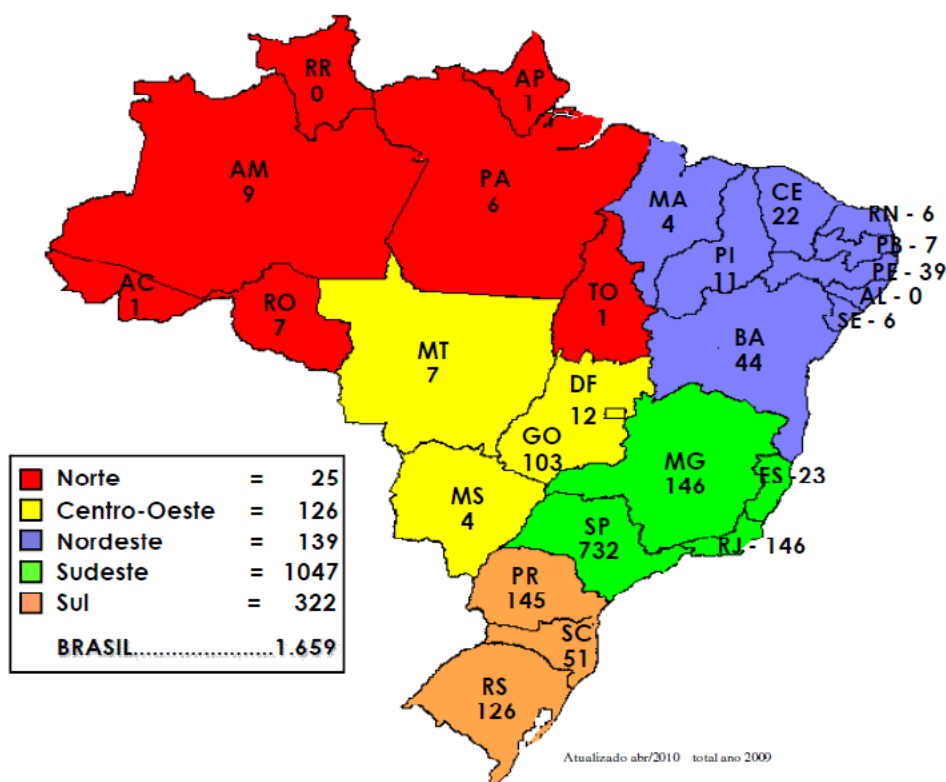
Fonte: ABIHPEC, 2010

1.5 As empresas que atuam no Brasil

O Brasil tem atraído, cada vez mais, a atenção das empresas que atuam no setor de HPPC, em função do já citado aumento de participação, no consumo mundial de produtos e pelo potencial de consumo de alguns produtos cosméticos, a exemplo dos filtros solares.

Segundo a ABIHPEC, há 1.659 empresas atuando no mercado brasileiro de higiene pessoal, perfumaria e cosméticos, sendo 20 de grande porte, com faturamento líquido de impostos, acima dos R\$ 100 milhões, representando 73,0% do faturamento total. As empresas estão distribuídas por região/estado, de acordo com a Figura 1.3.

Figura 1.3 – Distribuição da empresas de HPPC no Brasil associadas à ABIHPEC



Fonte: ABIHPEC, 2010

Dentre as de maior destaque no cenário nacional, estão as grandes empresas internacionais, como Unilever, Avon, Procter & Gamble, Johnson & Johnson e L’Oreal, que se estabeleceram no Brasil desde a década de 70 e têm realizado constantes investimentos, para aumento da capacidade de produção e incremento das ações publicitárias e comerciais. Vale destacar, também, a participação importante de empresas nacionais no setor, como Natura e Boticário.

Face às reduzidas barreiras de entrada (pequeno investimento inicial e facilidade para a fabricação de produtos), há um grande número de pequenas e médias empresas que atuam no setor de cosméticos (CAPANEMA et al, 2007).

1.6 O segmento de cuidado da pele e cabelo

A produção nacional dos produtos de higiene pessoal é dirigida ao mercado interno, que responde, atualmente, por cerca de 93% das vendas. Por se tratar de produtos de consumo

de massa e de uso diário, suas vendas atingem todas as classes da população (CAPANEMA et al, 2007). Também os produtos cosméticos e perfumaria, até há pouco direcionados, preferencialmente, às classes mais altas, são, gradativamente, procurados e consumidos por todas as classes.

Segundo dados do Euromonitor, citados pela ABIHPEC em seu Anuário (2010), o mercado Brasileiro, de produtos para cabelos, movimentou US\$ 6,13 bilhões, mantendo a terceira colocação no ranking mundial de 2009, com participação de 9,8%. O Brasil é o quarto colocado em xampu e o primeiro em condicionadores, seguido de Japão, Estados Unidos, Índia e China.

No seguimento de produtos para pele, o mercado Brasileiro vem crescendo nos últimos anos, assumindo uma posição de destaque. O segmento movimentou US\$ 3,69 bilhões no ano de 2009, mantendo a sexta colocação no ranking mundial, com participação de 4,5%, conforme dados da Euromonitor. Nas primeiras posições estão Japão, Estados Unidos, China, Alemanha e França.

Segundo a ABIHPEC, o segmento de higiene pessoal corresponde a 58,8% do faturamento do setor e é composto pelos produtos com consumo em maior escala, tais como: sabonetes, xampus, condicionadores, cremes dentais, dentre outros, sendo que 93% das vendas são feitas por meio do canal tradicional de varejo. Em seguida, têm-se os cosméticos com 27,6% do setor, representados por produtos para colorir os cabelos, fixadores, produtos de cuidados com a pele, protetores solares, maquiagem para unhas e rosto, dentre outros.

1.7 O mercado de sabonetes no Brasil

O mercado brasileiro de produtos para o banho movimentou US\$ 2,64 bilhões no ano de 2009, mantendo a segunda colocação no ranking mundial, com participação de 8,5%, conforme dados do Euromonitor, que calcula os valores com base nos preços ao consumidor. O país só perde para os Estados Unidos, que soma 17% do mercado mundial e US\$ 5,29 bilhões em faturamento. O resultado do Brasil indicou um crescimento de 12,9%, comparado a 2007, enquanto os EUA apresentaram 2,5%. O mercado global movimentou US\$ 31,03 bilhões, com retração de 0,7%. O Japão aparece na terceira colocação do ranking, movimentando US\$ 2,22 bilhões e crescimento de 8,7%, em relação a 2008.

A categoria de sabonetes em barra mantém a liderança, com movimentação de US\$ 2,16 bilhões, representando um crescimento de 11,1% e participação de 17,4% no mercado

global. Respectivamente, Brasil, Índia (13,2%), Estados Unidos (12,5%), China (7,4%) e Japão (4,2%) compõem os cinco primeiros postos da subcategoria que faturou US\$ 12,43 bilhões em 2009 (ABIHPEC, Anuário, 2009 e 2010).

Ainda, segundo levantamentos da Associação Brasileira da Indústria de Higiene Pessoal (2009), Perfumaria e Cosméticos, o volume de vendas de sabonetes subiu 18%, no Brasil, entre 2003 e 2008. Em faturamento, o salto, entre 2001 e 2005, foi de impressionantes 63%, alcançando um patamar de dividendos anuais na ordem de R\$ 1,5 bilhão. Isto representa cerca de 10% de toda a indústria de HPPC no país.

1.8 Insumos químicos para a indústria de sabonetes

Os ativos comerciais são muito importantes para a competitividade do setor e as empresas que investem, mais fortemente, na divulgação de suas marcas, na apresentação das embalagens e no desenvolvimento de canais de comercialização e distribuição adquirem importante vantagem competitiva, perante os demais concorrentes.

Outro fator relevante para as indústrias do setor é a capacidade de desenvolvimento de novos insumos, principalmente essências, princípios ativos e novas substâncias, que são incorporados aos produtos cosméticos. Por isto, as grandes empresas internacionais mantêm relações estreitas com seus fornecedores de produtos químicos, especialmente no que se refere ao desenvolvimento de produtos e aplicações, que são incorporados aos cosméticos, visando aumentar sua eficácia e apresentar uma vantagem ainda não vislumbrada pela concorrência (GARCIA e FURTADO, 2002).

O setor brasileiro de higiene pessoal é caracterizado por pouca concentração de fornecedores de matérias-primas e embalagens. Grande parte dos fornecedores globais tem operações instaladas no Brasil, cobrindo praticamente todas as especialidades requeridas pela indústria desse setor. Estas condições aumentam a competitividade dos produtos brasileiros de cosméticos, em relação ao restante da América Latina, favorecendo as exportações (CAPANEMA et al, 2007).

2 FABRICAR OU COMPRAR A BASE PRONTA PARA SABONETE EM BARRA?

A base para produção de sabonetes é o objetivo deste capítulo que, inicialmente, aborda o conceito de sabonetes, com suas matérias primas empregadas na fabricação da base. Um modelo matemático, gerado no GAMS, para identificar o custo da produção, será apresentado, respondendo ao questionamento levantado no título. Seu resultado é temporal, por isso, requer estudos futuros para atualização de técnicas e preços.

Este capítulo encontra-se dividido da seguinte forma:

- 2.1 Sabonetes
 - 2.2 Matéria prima empregada na fabricação da base para sabonetes
 - 2.3 Simulação no programa GAMS do custo/benefício da produção da base para sabonetes
 - 2.3.1 Situação real
 - 2.3.2 Modelo matemático
 - 2.3.3 Resultados obtidos
 - 2.3.4 Comparação entre produção e compra da base
-

2.1 Sabonetes

São sais de ácidos graxos, resultantes da saponificação, que é a ação de um produto alcalino (soda, potássio, amoníaco), seja sobre um corpo graxo natural, seja sobre um ácido graxo. No caso de um corpo graxo natural, ele forma, ao mesmo tempo, o sabonete e a glicerina.

Conforme a base utilizada, obtêm-se sabonetes duros – soda – ou sabonetes moles – potássio (HERNANDEZ e MERCIER-FRESNEL, 1999).

MERCADANTE et al (2009) afirma que existem algumas diferenças básicas entre uma barra de sabão e um sabonete. Destacam-se, em relação aos sabonetes:

- São preparados com matéria prima purificada e de boa qualidade;
- Seus componentes são pesados de forma a produzir um produto balanceado e com as características necessárias;
- Fazem uso de essências mais refinadas;
- Podem ter utilização terapêutica;
- Não apresentam excesso de soda;
- Quando apresentam excesso de óleos, esse é controlado;
- São adicionados extratos glicólicos, específicos, para determinadas funções;
- Há um cuidado geral, com seu formato e embalagem;
- Fazem uso de corantes a base de água.

2.2 Matéria prima empregada na fabricação da base para sabonetes

De acordo com MERCADANTE et al (2009) as gorduras são os principais componentes na fabricação da base para sabonetes sólidos. As gorduras são sólidas à temperatura ambiente e dão a dureza do sabonete. Os óleos também são importantes componentes. São líquidos à temperatura ambiente e ajudam a aumentar a espuma e a suavidade do sabonete.

UCHIMURA (2007) dividiu as matérias graxas em quatro grupos, de acordo com as propriedades dos sabonetes, delas resultantes:

- *Gorduras duras que resultam em sabonetes de espumação lenta:* a espumação é lenta em água fria e um pouco mais rápida em água quente, são sabões delicados para a pele e

limpam bem. Nesse grupo entram o sebo, as graxas de refugo, óleos vegetais e marinhos hidrogenados de alto ponto de fusão e óleo de palma;

- *Gorduras duras que resultam em sabonetes de espumação rápida:* aqui entram o óleo de coco, o óleo de palmito, o óleo de babaçu e o óleo de tucum. São óleos relativamente imunes à ação de eletrólitos, tal como o sal, fato que os fazem úteis para a fabricação de sabões marinhos, para a espumação com água marinha;
- *Óleos que resultam em sabonetes de consistência macia:* óleo de oliva, óleo de soja e óleo de amendoim entram nesse grupo, assim como o óleo de linhaça e o óleo de baleia. Como esses óleos podem, rapidamente, sofrer reações de oxidação, quando expostos ao ar ou à luz, no armazenamento, seus sabões podem ficar rançosos ou descolorirem;
- *Resina e breu de pinheiro ou eucalipto (árvores em geral):* são usados em sabonetes para banho com menos frequência, em sabões para lavar roupa e outros sabões especiais.

Cada matéria graxa tem uma composição diferente, produzindo uma mistura de sabões com propriedades distintas. A Tabela, a seguir, mostra as características dos sabonetes, formados pela principal gordura e os principais óleos:

Tabela 2.1 – Características dos sabonetes formados pelas principais matérias graxas

GORDURA	TIPO DE ESPUMA	PROPRIEDADE DE LIMPEZA	AÇÃO SOBRE A PELE	SAPONIFICAÇÃO	DUREZA DO SABONETE SÓLIDO
Sebo	Razoavelmente lenta, duradoura e espessa	Boa	Muito moderada	Razoavelmente fácil	Muito duro
Óleo de coco de praia	Espuma rapidamente, com muitas bolhas não persistentes	Excelente	Ação mordente, enruga a pele	Rápida	Extremamente duro
Óleo de coco de babaçu	Espuma consistente, de bolhas largas, não persistentes	Excelente	Ação mordente, enruga a pele	Rápida	Extremamente duro

Fonte: MERCADANTE et al, 2009

De um modo geral, os sabonetes são compostos por:

- Matérias graxas: sebo, banha, óleo de coco, óleo de babaçu, óleo de palmeira;
- Ácidos graxos: ácido oléico, esteárico, mirístico;
- Alcalinos: soda (sabonete duro) e potássio (sabonete mole);
- Perfumes: extratos de plantas – rosa silvestre, feto, cravo, tabaco, tília, madressilva;

- Adjuvantes:

- ✓ Sobreengordurados - derivados da lanolina, óleo de amêndoa doce, leite de aveia, amidos de copra;
- ✓ Suavizantes - óleo de calêndula, polissacarídeos;
- ✓ Umectantes - glicerina;
- ✓ Opacificantes - talco, óxido de titânio;
- ✓ Antioxidantes - alfatocoferol;
- ✓ Antissépticos - ácido sórbico (HERNANDEZ e MERCIER-FRESNEL, 1999).

2.3 Simulação no programa GAMS do custo/benefício da produção da base para sabonetes

Um dos grandes problemas enfrentados pelas indústrias saboeiras é a decisão de fabricar sua própria base ou comprá-la pronta.

Muitos questionamentos devem ser levados em consideração, para a escolha da opção mais acertada. Dentre estes, estão a aquisição de equipamentos, mão de obra especializada e disponibilidade do tempo de produção, até que o produto final seja entregue ao consumidor.

Outro ponto relevante é que, mesmo tendo grande parte dos fornecedores globais de insumos para fabricação de higiene pessoal instalada no Brasil, como CAPANEMA et al (2007) salientou em suas pesquisas e foi abordado no capítulo anterior, esses fornecedores concentram-se no sudeste brasileiro. As dimensões geográficas forçam a agregação de impostos, na chegada dessas matérias primas às demais regiões do país, como o Nordeste. Esta realidade encarece o produto final, dificultando a concorrência.

Por isso, fundamentado em um exemplo real, de uma fábrica de produtos de higiene pessoal, situada no estado de Alagoas, foi formulado um modelo matemático, com a utilização do programa GAMS (*General Algebraic Model System*), na tentativa de minimizar o custo da produção.

2.3.1 Situação real

Para a fabricação da base do sabonete, utiliza-se cinco matérias primas principais. O tipo de óleo pode variar de acordo com o interesse de escolha do fabricante. A Tabela 2.2

demonstra a quantidade mínima de cada insumo, utilizada para produzir um quilograma de base.

Tabela 2.2 – Quantidade mínima de cada insumo para um kg de base

INSUMO	QUANTIDADE MÍNIMA
Sebo	483 g
Óleo de Coco (praia ou babaçu)	85,5 mL
Barrilha	0,97 g
Óleo de Eucalipto	0,485 mL
Hidróxido de Sódio	271,3 g

Fonte: Autora desta dissertação, 2011

A sazonalidade incide nos preços do sebo, do óleo de coco de praia e óleo de babaçu, que são diferenciados entre os meses de dezembro a fevereiro. A Tabela 2.3 abaixo, expressa esta variação:

Tabela 2.3 - Sazonalidade do preço/kg da matéria prima

INSUMO	DEZEMBRO a	DEMAIS MESES
	FEVEREIRO	DO ANO
	R\$ / kg	R\$ / kg
Sebo	2,05	1,80
Óleo de Coco de Praia	1,85	1,50
Óleo de Coco de Babaçu	1,80	1,63

Fonte: Autora desta dissertação, 2011

As demais matérias primas mantêm seus custos fixos, independente da época do ano: um quilograma de barrilha a quatro reais; um litro de óleo de eucalipto a trinta reais; um quilograma de hidróxido de sódio a quatro reais e setenta e cinco centavos.

Para que a reação química da saponificação aconteça, deve ser produzido, no mínimo, 10 quilogramas de base, mas existem máquinas e equipamentos com capacidade de produzir 30 vezes mais que o mínimo, sem alteração na quantidade de funcionários e no tempo de processamento. Por isso, para nosso estudo, será levada em consideração a fabricação de 300 quilogramas de base.

Todo o processo leva sete dias, com dois operários trabalhando nove horas, no total, um profissional especialista, com nível superior e outros insumos como água, energia e custos da análise do controle de qualidade, sem contabilizar equipamentos e instrumentos. A Tabela

2.4 expressa os custos que serão incluídos no modelo matemático. A última coluna, custo total do processo em reais, por quilo, foi multiplicado por nove horas de trabalho e dividido por 300 Kg de base.

Tabela 2.4 – Valores dos custos com mão de obra e demais insumos

INSUMO	CUSTO R\$ / HORA	CUSTO TOTAL DO PROCESSO R\$ / QUILO
Dois operários com encargos sociais	9,60	0,288
Profissional especialista	12,50	0,375
Água	2,03	0,060
Energia	6,25	0,187
Controle de qualidade	2,00	0,060

Fonte: Autora desta dissertação, 2011

Por outro lado, existe a possibilidade de comprar a base pronta, que também tem sua variação de preço, de acordo com a sazonalidade. Assim, com a tomada de preço efetuada em agosto de 2011, o valor final, incluindo frete, corresponde a:

- Dezembro a fevereiro: R\$ 3,40 / kg;
- Demais meses do ano: R\$ 3,15 / kg.

2.3.2 Modelo matemático

Levando-se em consideração a variação de preço por conta da sazonalidade, fez-se necessária a escolha do insumo (i) para gerar o modelo matemático, expressa na Tabela 2.5, onde o preço da fabricação da base para sabonete é diferenciado para os meses de dezembro a fevereiro ($j=1$) e para os demais meses do ano ($j=2$).

A escolha do fabricante recaiu sobre o óleo, cuja oferta apresenta menor custo, conforme se pode comparar entre as Tabelas 2.3 e 2.5, nas épocas do ano supracitadas.

Tabela 2.5 - Insumos escolhidos nas determinadas épocas do ano

INSUMO (<i>i</i>)	DEZEMBRO a	DEMAIS MESES
	FEVEREIRO	DO ANO
	R\$ / kg	R\$ / kg
	(<i>j</i> = 1)	(<i>j</i> = 2)
Sebo	2,05	1,80
Óleo de Coco de Praia	-	1,50
Óleo de Coco de Babaçu	1,80	-
Barrilha	4,00	4,00
Óleo de Eucalipto	30,00	30,00
Hidróxido de Sódio	4,75	4,75

Fonte: Autora desta dissertação, 2011

Com a disponibilização dos dados, em questão, foi efetuado o cálculo que identifica o valor da fabricação da base, em vista da produção do sabonete, conforme segue na Equação 1:

$$Custof_j = \sum_{i=1}^6 (P_{(j,i)} \cdot custo_{(j,i)}) + m \quad (01)$$

sendo: $1 \leq j \leq 2$, onde:

- $Custof_j$ = custo final do produto;
- $P_{(j,i)}$ = insumos utilizados em cada época do ano;
- $Custo_{(j,i)}$ = custo do kg de cada insumo, em cada época do ano;
- m = constante do custo da mão de obra e insumos da Tabela 2.4.

A restrição da equação é a quantidade mínima para cada produto, expressa na Tabela 2.2, gerando a Equação 2:

$$P_{(j,i)} \geq \min_{(j,i)} \quad (02)$$

2.3.3 Resultados obtidos

- Entre os meses de dezembro e fevereiro, utilizando o óleo de coco de babaçu, obtêm-se o custo de R\$ 3,42, por kg de base produzida.

- Nos demais meses do ano, quando a escolha é pelo óleo de coco de praia, que retorna ao seu custo mais baixo, obtêm-se R\$ 3,27, por kg de base fabricada.
- Nos meses de dezembro a fevereiro, mesmo com a escolha do insumo mais econômico, houve um aumento do custo final do produto.

2.3.4 Comparação entre fabricação e compra da base

O modelo matemático permitiu a visualização real do custo da fabricação da base, para sabonetes, em períodos distintos do ano, onde há uma alteração do valor das matérias graxas, fundamentais para a obtenção de uma boa saponificação. A Tabela 2.6 mostra a comparação entre as bases, objeto deste estudo.

Tabela 2.6 – Comparação entre a base de fabricação própria e a comprada pronta, nas determinadas épocas do ano

INSUMO	DEZEMBRO a	DEMAIS MESES
	FEVEREIRO	DO ANO
	R\$ / kg	R\$ / kg
Base de fabricação própria	3,42	3,27
Base comprada pronta	3,40	3,15

Fonte: Autora desta dissertação, 2011

A variação de preço entre comprar a base pronta e fabricá-la, nos meses de dezembro a fevereiro, é de dois centavos, de real, por quilo. Esse valor é, aparentemente, pequeno, mas bastante significativo, principalmente quando se leva em conta a necessidade de produzir uma tonelada de sabonete, nesse período.

Nos demais meses do ano, também se observa vantagem de preço na aquisição da base pronta, apontando uma diferença ainda maior que entre os meses de dezembro e fevereiro, correspondente a R\$ 0,12, por quilo.

Analisando mais criticamente, a compra da base pronta é a escolha ideal, pois, para fabricar a base do sabonete, como foi expresso na seção 2.3.1, necessita-se de dois operários, trabalhando nove horas, em todo o processo, que demanda sete dias, um profissional especialista, e insumos como água, energia e custos com controle de qualidade, além da aquisição de equipamentos e instrumentos específicos como: reator de aço inoxidado, misturador, botijão de gás, termômetro, aerômetro de Baumé, bandejas, dentre outros. Há, também, que considerar possíveis erros (humanos e/ou de equipamentos e instrumentos), na

fabricação da base, os quais podem gerar danos, ainda maiores, para a produção do sabonete em barra, como perda da estabilidade e reações indesejáveis com as demais matérias primas, a exemplo da fragrância, demandando um aumento no custo final do produto acabado.

3 PLANTAS EM BATELADA

O principal objetivo deste capítulo é apresentar os conceitos básicos das operações e dos processos das plantas em batelada.

Este capítulo encontra-se dividido da seguinte forma:

- 3.1 Plantas em Batelada
 - 3.2 Tipos de Plantas em Batelada
 - 3.3 Projeto e Programação da Produção
 - 3.3.1 Projeto de Plantas em Batelada
 - 3.3.2 Programação da Produção de Plantas em Batelada
 - 3.3.2.1 Tipos de Engargalamento de Processo
 - 3.3.2.2 Tipos de Estocagem Intermediária
-

3.1 Plantas em batelada

A grande maioria dos produtos químicos, na indústria cosmética, certamente em número, e, provavelmente, em valor, se não em volume, são produzidos por processos em batelada. Um estudo realizado por REKLAITIS (1995) mostra que apenas 6% dos processos em batelada foram, satisfatoriamente, substituídos por processos contínuos. Isto mostra claramente a importância e a permanência de tais processos.

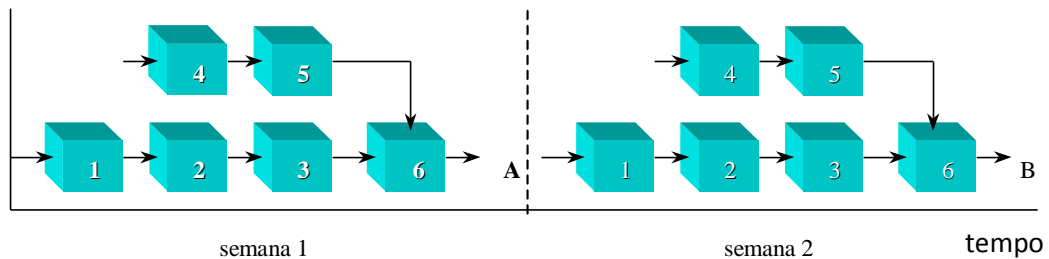
As plantas em batelada têm como característica básica a produção intermitente de um determinado produto, com operação não estacionária, incluindo etapas de carga, processamento, drenagem e limpeza, o que dificulta o seu projeto. Sua utilização é recomendada ou por razões tecnológicas ou para atender às necessidades de um mercado incerto e dinâmico, como é o caso de produtos de alto valor agregado e pequena demanda. Um importante aspecto desse tipo de planta é a sua flexibilidade na produção de múltiplos produtos, em uma única planta, através da utilização dos mesmos para vários produtos. As operações em batelada são economicamente justificadas, quando um grande número de produtos é realizado, utilizando caminhos de produção similares. Devido à dificuldade da previsão do pico e da extensão da demanda, as configurações deste tipo de planta são, frequentemente, alteradas e os equipamentos utilizados são, geralmente, pequenos e versáteis, podendo ser utilizados por um grande número de produtos. A alimentação deve ser flexível o suficiente, para se adaptar à necessidade do mercado e o ciclo de vida do produto é geralmente curto. Este tipo de planta é utilizado em cerca de 80% das indústrias farmacêuticas, 65% das indústrias de alimentos e na quase totalidade das indústrias de bebidas. (SOLETTI, 1997).

Por outro lado, as plantas contínuas são preferencialmente utilizadas, quando o mercado de produto é estável ou em expansão. A produção só é interrompida por paradas, previamente programadas, para a manutenção da unidade. Nestas plantas todos os equipamentos têm o seu volume previamente determinado, em função da necessidade do mercado, para um produto específico. O projeto deste tipo de planta se torna mais simples que o das plantas em batelada, uma vez que, neste caso, a operação ocorre no estado estacionário. Exemplos deste tipo de planta são as refinarias de petróleo e as unidades produtoras de produtos petroquímicos.

3.2 Tipos de plantas em batelada

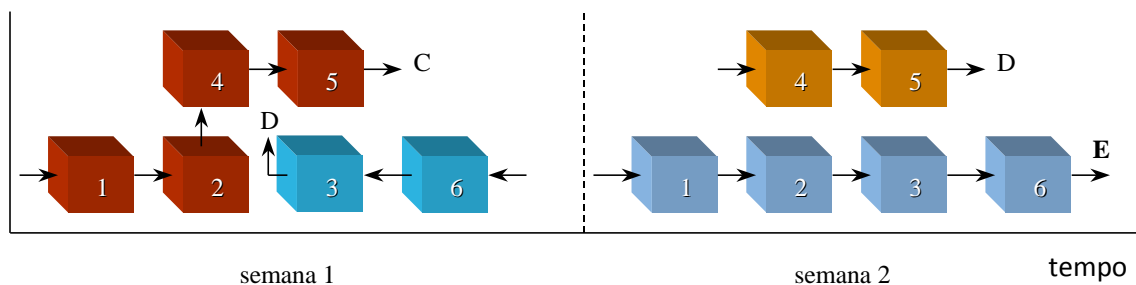
Basicamente, as plantas em batelada são divididas, quanto ao tipo de arranjo de equipamentos, em dois grupos. No primeiro estão alocadas as plantas para a produção de um ou mais produtos, sequencialmente, através de um mesmo arranjo de equipamentos, em um dado período de tempo – configuração multiproduto, Figura 3.1. No segundo grupo – configuração multipropósito – vários produtos podem ser produzidos simultaneamente e cada produto pode seguir diferentes rotas, em diferentes períodos de tempo. Nesta configuração, em cada período, um mesmo equipamento pode ser usado para diferentes fins, com uma flexibilidade que inclui mudanças na própria ordem de uso dos equipamentos, Figura 3.2. Desta forma, o planejamento da produção torna-se mais complexo, em termos de compatibilizar a produção com a demanda (SOLETTI, 1997).

Figura 3.1 – Configuração de uma planta em batelada multiproduto



Fonte: SOLETTI, 1997

Figura 3.2 – Configuração de uma planta em batelada multipropósito



Fonte: SOLETTI, 1997

3.3 Projeto e programação da produção

Existem dois problemas básicos associados às plantas em batelada: o projeto e a programação da produção.

Ambos são problemas de otimização de grande porte, compreendendo variáveis inteiras e não-inteiras. Até hoje não foram resolvidos, de forma geral e satisfatória, em virtude do grande número de detalhes, que complicam, não só a sua formulação matemática, como a sua resolução.

É válido salientar que, para obter um projeto otimizado de planta em batelada, devem ser considerados aspectos relacionados à programação da produção, principalmente se for utilizada a configuração multipropósito, cujo processamento simultâneo, de diferentes produtos, é a chave do projeto. Porém, se a campanha (conjunto de corridas simultâneas ou não, conduzidas em um mesmo intervalo de tempo) for longa e não houver processamento simultâneo de produtos, como é o caso das plantas multiproduto, o projeto ótimo será pouco afetado pela sequência de processamento. Neste caso pode-se desprezar as considerações de programação da produção, MAH (1990).

3.3.1 Projeto de plantas em batelada

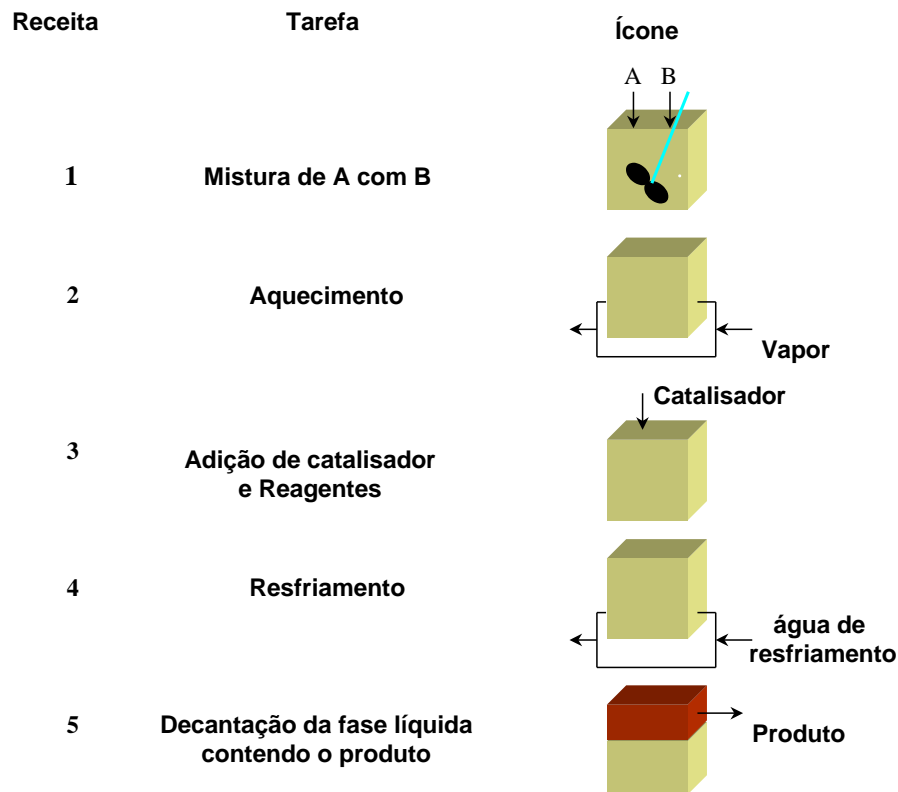
O problema de projeto pode ser decomposto em vários subproblemas: estudo de tarefas individuais, sequência de produção para cada produto, estratégia de produção para múltiplos produtos e dimensionamento dos equipamentos, visando à produção dos diversos produtos, nas quantidades demandadas.

A sequência de tarefas (transformações químicas e/ou físicas) necessárias para a produção de um determinado produto é geralmente definida, em nível de bancada e da planta piloto, durante o desenvolvimento do produto, determinando a receita para a produção de um determinado produto, Figura 3.3. Esta etapa envolve o estudo dos valores ótimos para temperatura, concentração, taxa de alimentação e duração da batelada, ou variáveis similares, associadas a cada equipamento. A partir daí é realizado o projeto de engenharia básica, onde são especificados os tipos de equipamentos, relativos a cada tarefa.

Na sequência de produção, deve-se investigar todas as possíveis rotas de produção de um produto, especificando os tipos de equipamentos e, a partir daí, identificar a melhor

ordenação desses equipamentos, para cada produto a ser produzido na planta (SOLETTI, 1997).

Figura 3.3 – Receita (indicação do procedimento usado para produção de um determinado produto) para processo em batelada

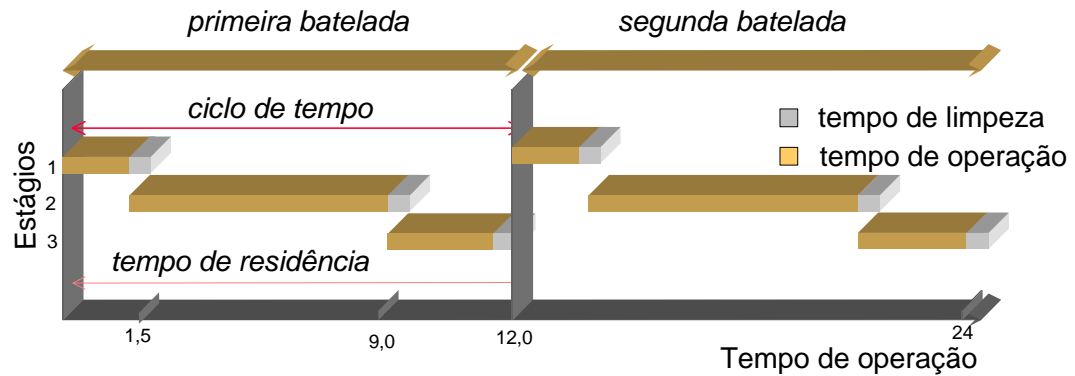


Fonte: SOLETTI, 1997

Uma ilustração para um processo com três estágios é mostrada nos Gráficos 3.1 e 3.2. O gráfico de barras usado para representar o sistema é usualmente conhecido como gráfico de “Gantt”. Nestes exemplos, os tempos de limpeza e de preparação dos equipamentos são considerados iguais a 0,5, para todos os estágios, e os tempos de processamento do produto nos estágios 1, 2, e 3 são iguais a 1,5, 7,5, e 3 unidades de tempo, respectivamente. Na Figura 3.4 existe um único equipamento sendo operado em cada intervalo de tempo, indicando operação sem superposição. Nesse caso, o limite de ciclo de tempo, isto é, o tempo necessário entre duas bateladas sucessivas, é igual a 12 unidades de tempo e o tempo de residência ou “flowtime” (somatório de tempo de processamento de cada um dos equipamentos para produção de um determinado produto) é idêntico ao ciclo de tempo. Uma alteração para esse processo pode ser observada no Gráfico 3.2. Nesse caso, mais de um equipamento pode ser operado em um mesmo intervalo de tempo (operação com superposição), reduzindo o ciclo de

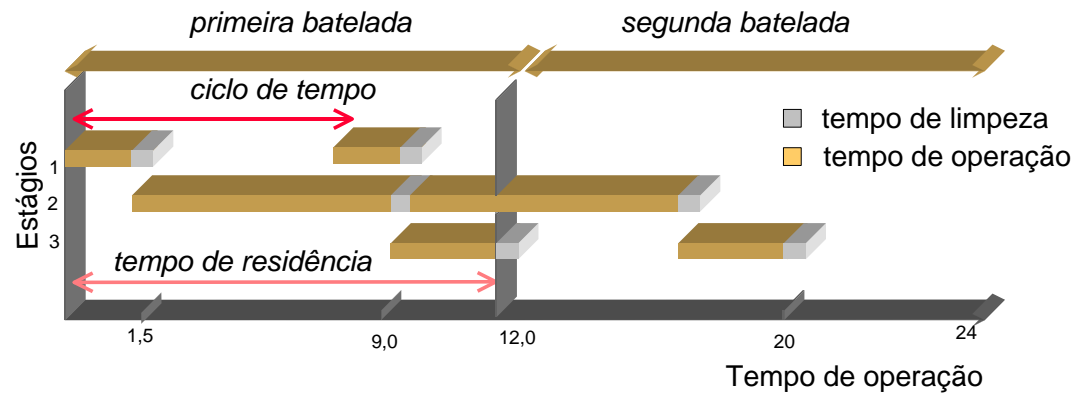
tempo para 8 unidades de tempo e, conseqüentemente, o tempo total de produção. Desta forma, o ciclo de tempo passa a ser menor do que o tempo de residência.

Gráfico 3.1 – Gráfico de “Gantt” para operação de uma planta em batelada sem superposição



Fonte: SOLETTI, 1997

Gráfico 3.2 – Gráfico de “Gantt” para operação de uma planta em batelada com superposição



Fonte: SOLETTI, 1997

O passo seguinte, estratégia de produção, é definir a melhor configuração de produção dos produtos desejados. Quando muitos produtos são produzidos na mesma planta, o arranjo de equipamentos mais simples leva a configuração multiproduto. Na configuração multipropósito, muitos produtos podem ser produzidos, ao mesmo tempo, e um dado produto pode seguir diferentes rotas, em diferentes intervalos de tempo, como mostrado nas Figuras 3.1 e 3.2.

O dimensionamento dos equipamentos envolve a determinação do tamanho ótimo de cada unidade de processamento ou unidade de estocagem intermediária da planta. Geralmente, os equipamentos podem ser de natureza contínua ou em batelada e estarem

disponíveis em uma faixa contínua ou em valores discretos de volume, previamente especificados.

3.3.2 Programação da produção de plantas em batelada

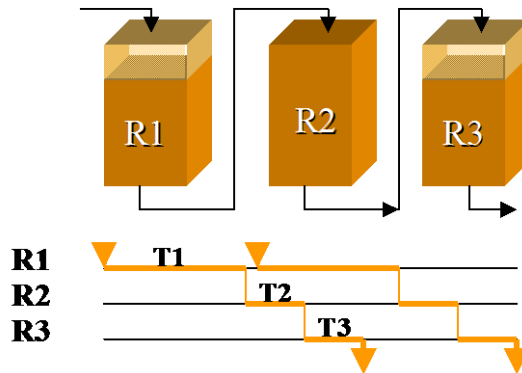
A programação da produção consiste em programar o uso da planta, para a produção dos produtos desejados, de acordo com a demanda. Este estudo é proveniente da necessidade de se dividir o tempo de produção disponível, entre os vários produtos a serem produzidos pela planta.

Na programação, alguns aspectos devem ser considerados como por exemplo, os tipos de engargalamento existentes no processo, a necessidade de estocagem intermediária, o tempo gasto devido a alterações de conexões de linhas, tempo de carga, descarga e limpeza de equipamentos ocasionada pela mudança de produto e o prazo de entrega de um determinado produto.

3.3.2.1 Tipos de engargalamento de processo

Segundo SOLETTI (1997), o engargalamento consiste numa restrição de processo, que limita a produção de um ou mais produtos. A Figura 3.4 ilustra uma restrição, relacionada ao volume total de produto final (capacidade da batelada), imposta pelo segundo equipamento e uma restrição de tempo, em relação ao primeiro equipamento, pois o tempo de execução do primeiro equipamento é superior aos demais, consumindo mais da metade do tempo total de execução do produto. Nesta figura, a capacidade exigida, para cada tarefa, é representada pelo nível de material, em cada equipamento (R1, R2, R3). Na parte inferior, é mostrada, através do gráfico de “Gantt”, a disponibilidade de cada equipamento, em função do tempo, sendo o início da batelada representado pelo triângulo invertido.

Figura 3.4 – Processo em batelada, com limitação de tamanho no segundo equipamento e tempo no primeiro

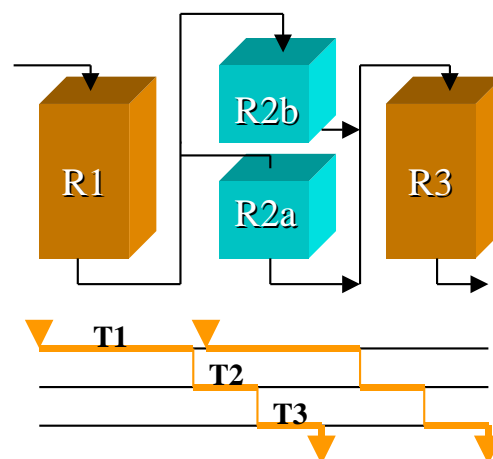


Fonte: SOLETTI, 1997

O problema de engargalamento, como apresentado na Figura 3.4, pode ser solucionado, reutilizando-se os equipamentos para fins específicos. Algumas destas medidas, utilizadas para resolver este problema, são apresentadas a seguir:

- 1) **Aumento da capacidade dos equipamentos para cada tarefa** – Se o equipamento, por si só, não pode ser desengargalado, uma alternativa seria adicionar uma nova operação paralela, em fase com o mesmo, reduzindo a ociosidade dos demais equipamentos e aumentando a produção por batelada. Como pode ser observado na Figura 3.5, um segundo equipamento foi adicionado, em paralelo com R2, reduzindo a ociosidade de R1 e R3.

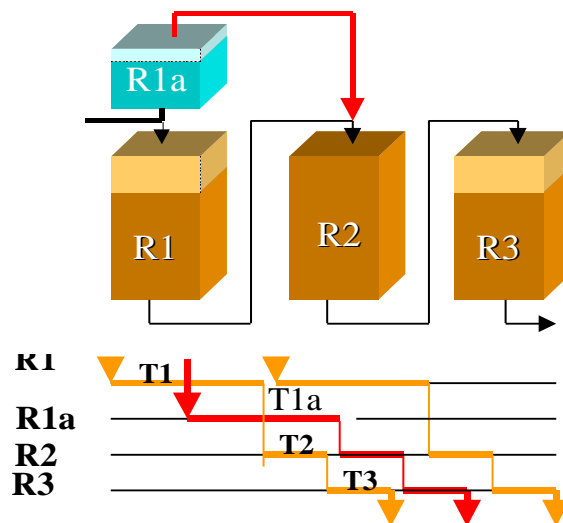
Figura 3.5 – Operação paralela, em fase, com o R2



Fonte: SOLETTI, 1997

- 2) **Redução do ciclo de tempo** – Esta operação é realizada, adicionando-se um segundo equipamento em paralelo, para operar fora de fase, como mostra a Figura 3.6. Com este procedimento, o tempo entre bateladas pode ser reduzido, levando a um aumento da produção. Isso se deve ao fato de que, no tempo ocioso, existente entre as tarefas referentes ao equipamento *R2*, Figura 3.4, será realizada uma nova tarefa, intermediária às já existentes.

Figura 3.6 – Operação fora de fase com *R1*

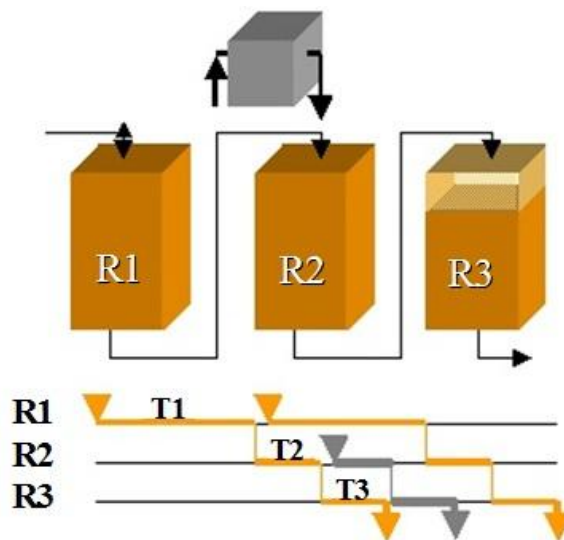


Fonte: SOLETTI, 1997

- 3) **União de tarefas vizinhas** – Com esta operação, consegue-se reduzir a quantidade de equipamentos utilizados. No exemplo apresentado na Figura 3.4, se *R2* for compatível com *R3*, ou seja, puder ser utilizado para realizar a tarefa 3 e, tendo *R2* a capacidade mínima necessária, para realizar esta tarefa, as tarefas 2 e 3 podem ser realizadas em *R2*. Desta forma, *R3* pode ser excluído ou adaptado para outro uso. Além disto, dependendo do tipo de equipamento a ser utilizado, pode-se reduzir o tempo total da batelada.
- 4) **Divisão de tarefa** – Representa o inverso da estratégia anterior. Uma tarefa, a ser realizada em dois equipamentos consecutivos, pode contribuir para a redução do ciclo de tempo. Na Figura 3.4, a tarefa 1 pode ser realizada em dois equipamentos. Um exemplo desta aplicação é a operação paralela, fora de fase, representada pelos equipamentos *R1* e *R1a*, na Figura 3.6.

5) **Inserir estocagem entre duas tarefas consecutivas** – Esta técnica permite manipular diferentes capacidades de produção, com redução do ciclo de tempo, nas correntes acima e abaixo do ponto de estocagem. A adição de estocagem entre *R1* e *R2*, Figura 3.7, implica que um maior volume seja processado na corrente anterior, liberando *R1* para outros fins, aumentando a flexibilidade do processo. A produção deve ser controlada, de forma a se obter a mesma taxa média, da produção anterior e posterior à estocagem.

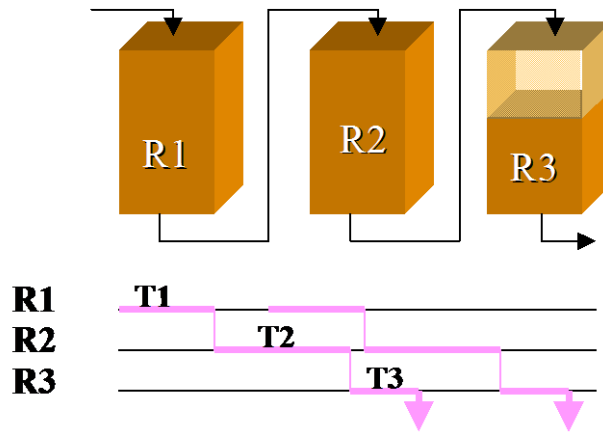
Figura 3.7 – Processo alternativo, operando com estocagem intermediária



Fonte: Autora desta dissertação, 2011

De um modo geral, o problema de engargalamento, pode ser removido através da aplicação de algumas das sugestões de SOLETTI (1997), apresentadas anteriormente. Porém, há situações em que a solução do problema pode ser bem mais complexa, pois alguns processos apresentam mais de uma forma de engargalamento. Isto pode ser observado, se compararmos as Figuras 3.4 e 3.8. Na Figura 3.4, a capacidade de produção é limitada por dois fatores: capacidade de *R2* e tempo, em *R1*. No exemplo exposto na Figura 3.8, o processo apresenta limitações de capacidade em *R1* e *R2* e tempo, em *R2*. A solução, para este problema, não é trivial, pois, um aumento de capacidade de *R1* ou *R2* pode não ser suficiente, para aumentar a capacidade do processo.

Figura 3.8 – Processo em batelada, com limitação de capacidade no primeiro e segundo equipamento e tempo, no segundo.



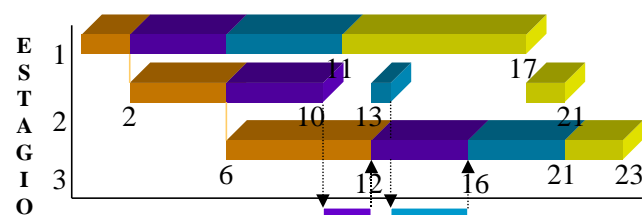
Fonte: SOLETTI, 1997

3.3.2.2 Tipos de estocagem intermediária

Nas operações em batelada multiestágio, o problema de planejamento e programação da produção é afetado, significativamente, pela natureza da estocagem intermediária, podendo esta ser operada de quatro maneiras diferentes:

- 1) **Estocagem intermediária ilimitada** - Neste modelo assume-se que um produto intermediário é totalmente transferido para uma unidade de estocagem, logo após o término do processamento. Na Figura 3.9 é possível visualizar que o produto lilás foi estocado em uma unidade separada da planta, logo após o término do estágio 2, sem impedir que o produto azul inicie o estágio 2, bem como houve estocagem intermediária do produto azul, também em uma unidade anexa à planta, sem impedir que o produto amarelo inicie seu processo de produção no estágio 1.

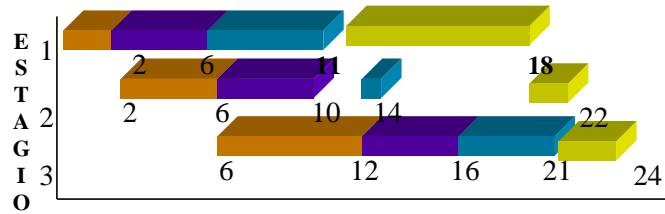
Figura 3.9 – Estocagem intermediária ilimitada



Fonte: SOLETTI, 1997

2) *Sem estocagem intermediária* - Neste modelo, assume-se que um produto é mantido no equipamento, até que o seguinte seja liberado. Observa-se, na Figura 3.10, que o início do estágio 2 do produto azul e do estágio 1 do produto amarelo foram retardados, pela estocagem intermediária, no próprio equipamento, dos produtos anteriores a estes.

Figura 3.10 – Sem estocagem intermediária

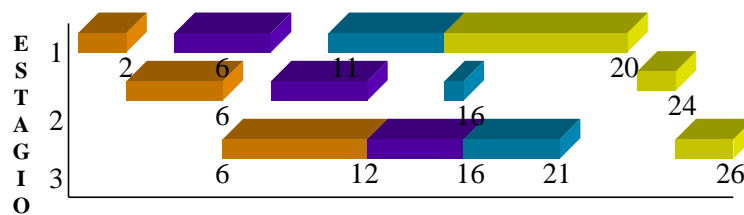


Fonte: SOLETTI, 1997

3) *Estocagem intermediária finita* - Esse modelo é um intermediário entre os apresentados anteriormente e, normalmente, é usado quando a unidade de estocagem intermediária é limitada.

4) *“Zero Wait”* - Nesse modelo, o produto intermediário é liberado de uma unidade de processamento para uma outra, logo após o término do processamento, Figura 3.11.

Figura 3.11 – Estocagem intermediária “Zero Wait”



Fonte: SOLETTI, 1997

4 MODELO MATEMÁTICO PARA PROJETO DE PLANTA MULTIPROPÓSITO EM BATELADA

Este capítulo apresenta um modelo matemático, aplicado em um projeto de plantas multipropósito em batelada, que incorpora considerações de programação e planejamento da produção. Isto ocorre adicionando, ao problema de projeto, uma série de restrições, que representa o conjunto de campanhas viáveis, obtidas através de um procedimento de multiplicação de matrizes. A estrutura da campanha ótima, assim como a determinação do número e tamanho dos equipamentos são obtidas pela solução de um problema de Programação Não Linear Inteira Mista (PNLIM), utilizando-se o modelo.

Este capítulo encontra-se dividido da seguinte forma:

-
- 4.1 Descrição do Problema
 - 4.2 Descrição dos Equipamentos
 - 4.3 Geração de Rotas e Restrições de Campanha
 - 4.4 Formulação Matemática do Problema
 - 4.5 Estratégia de Solução
 - 4.6 Resultados Obtidos
 - 4.7 Análise dos Resultados
-

4.1 Descrição do problema

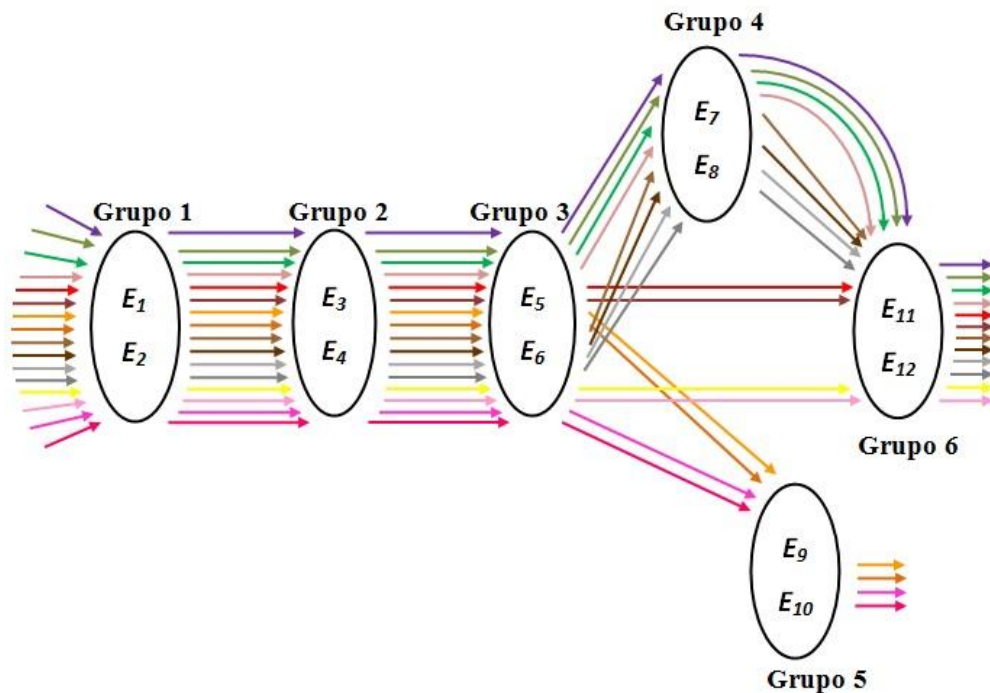
A planta a ser estudada possui E_j equipamentos, sendo $j = 1, \dots, 12$, disponíveis em v_{js} tamanhos discretos, onde $s=1, \dots, ns_j$ representa o número de tamanhos discretos, predefinidos, associado a cada estágio j , para cada tipo de equipamento. Cada equipamento E_j está relacionado a um custo C_{js} . Assume-se que $v_{js} < v_{j(s+1)}$ para $s=1, \dots, ns_j-1$, sendo o índice s o valor discreto disponível comercialmente como tamanho do equipamento. Os equipamentos são divididos, em função do tipo, em seis grupos. EG_g representa o conjunto de equipamentos disponíveis que pode existir em um grupo G , ou seja, $EG_g = \{E_j | \text{tipos de equipamentos } E_j \text{ pertencentes a um mesmo grupo } G\}$. Assume-se que é possível realizar qualquer tarefa, por qualquer equipamento do mesmo grupo. Um produto pode ser produzido através de múltiplas rotas, envolvendo diferentes combinações de equipamentos. Bateladas que utilizam a mesma rota, para a produção de um determinado produto, são consideradas idênticas e devem possuir o mesmo tamanho. B_r indica o tamanho da batelada para a rota r e corresponde à soma do volume de produção dos produtos finais. N_i representa o número de rotas associadas a um produto i e, $N=N_A+N_B+\dots$ o número de rotas viáveis para o processo. Rp_i indica o conjunto de rotas produzidas por um produto i , isto é, $Rp_i = \{ r | \text{Rotas } r \text{ que podem ser usadas para realizar um produto } i\}$. Em uma campanha podem ser produzidas diferentes bateladas, para um ou mais produtos.

A Figura 4.1 apresenta a estrutura da planta em batelada multipropósito, com quatro tipos de sabonetes e sessenta e quatro rotas de produção, aqui representadas por dezesseis, para melhor visualização. Nesta figura, os equipamentos que podem realizar tarefas idênticas, não necessariamente de tamanhos iguais, são divididos em grupos, em um total de seis, onde G_1 realiza a tarefa de misturar e moer, G_2 extrusa, G_3 corta as barras de sabonete extrusadas, G_4 tem a capacidade de prensar, imprimindo a logomarca, ao tempo em que dá o formato do sabonete, G_5 é formado por equipamentos que prensam, mas requerem uma embalagem manual e G_6 embala automaticamente. Cada seta, de uma mesma cor, representa quatro possíveis rotas, para um determinado produto.

4.1 Descrição dos equipamentos

Todos os equipamentos são automatizados e as estruturas, que entram em contato com a massa do sabonete, têm acabamento em aço inoxidado e pintura epóxi.

Figura 4.1 - Planta multipropósito com múltiplas rotas de produção.



Fonte: Autora desta dissertação, 2011

E_1 - Misturador + Moinho: são compostos por dois cilindros de aço inoxidável, de diâmetros diferentes, para aumentar o atrito da massa. Capacidade de 12.000 unidades de sabonetes/hora;

E_2 - Misturador + Moinho: confeccionado com o mesmo material do E_1 , mas com capacidade de 18.000 unidades/hora;

E_3 - Extrusora: com dois estágios, rosca progressiva e cortador adaptado. Conjunto de dois tanques, com capacidade de 15.000 unidades/hora e termostato que permite um aquecimento elétrico até 120°C;

E_4 - Extrusora: composta com um estágio e um tanque a mais que E_3 , e, conseqüentemente, possui capacidade maior, com 18.000 unidades/hora;

E_5 - Corte: possui capacidade máxima de 10.000 unidades/hora. Utilizando este equipamento, a velocidade de E_4 ou E_5 deve ser reduzida, para acompanhá-lo;

E_6 - Corte: possui capacidade máxima de 18.000 unidades/hora. Utilizando este equipamento, a velocidade de E_4 ou E_5 pode manter-se inalterada;

E_7 - Prensa Elétrica: personaliza até 2.000 unidades/hora;

E_8 - Prensa Elétrica: personaliza até 2.500 unidades/hora;

E_9 - Prensa Elétrica + Embalagem manual: excêntrica, personaliza um sabonete por vez, chegando a 600 unidades/hora;

E_{10} - Prensa Elétrica + Embalagem manual: hidráulica, personaliza quatro sabonetes por vez, chegando a 2.000 unidades/hora;

E_{11} - Embaladora: capacidade de fechamento de até 7.200 unidades/hora;

E_{12} - Embaladora: capacidade de fechamento de até 10.000 unidades/hora.

4.3 Geração das rotas e restrições de campanha

As rotas, que identificam um processo, são obtidas pela análise de todas as possíveis configurações do sistema, através de um estudo preliminar da síntese do processo, não sendo objeto de estudo deste trabalho. A partir desta identificação, torna-se necessário o desenvolvimento de uma metodologia, visando à seleção das melhores rotas, associadas a cada produto. Para um melhor entendimento dos procedimentos utilizados, são apresentados os dados da Tabela 4.1, referentes ao esquema da Figura 4.1.

São utilizados seis diferentes grupos, para a produção de quatro produtos, divididos da seguinte forma: $EG_1 = \{E_1, E_2\}$, $EG_2 = \{E_3, E_4\}$, $EG_3 = \{E_5, E_6\}$, $EG_4 = \{E_7, E_8\}$, $EG_5 = \{E_9, E_{10}\}$ e $EG_6 = \{E_{11}, E_{12}\}$. Como o sabonete A requer os grupos 1, 2, 3 e 6, para realizar as tarefas 1, 2, 3 e 4, respectivamente, sua produção pode ocorrer de dezesseis formas distintas: rotas R_5 , R_6 , R_{13} , R_{14} , R_{21} , R_{22} , R_{29} , R_{30} , R_{37} , R_{38} , R_{45} , R_{46} , R_{53} , R_{54} , R_{61} e R_{62} , como pode ser observado no Apêndice A, no anexo ao final da dissertação. Definindo ER_{R_n} , como sendo o conjunto de equipamentos conectados a uma rota R , obtém-se, para o sabonete A , os seguintes conjuntos: $ER_{R_5} = \{E_1, E_3, E_5, E_{11}\}$, $ER_{R_6} = \{E_1, E_3, E_5, E_{12}\}$, $ER_{R_{13}} = \{E_1, E_3, E_6, E_{11}\}$, $ER_{R_{14}} = \{E_1, E_3, E_6, E_{12}\}$, $ER_{R_{21}} = \{E_1, E_4, E_5, E_{11}\}$, $ER_{R_{22}} = \{E_1, E_4, E_5, E_{12}\}$, $ER_{R_{29}} = \{E_1, E_4, E_6, E_{11}\}$, $ER_{R_{30}} = \{E_1, E_4, E_6, E_{12}\}$, $ER_{R_{37}} = \{E_2, E_3, E_5, E_{11}\}$, $ER_{R_{38}} = \{E_2, E_3, E_5, E_{12}\}$, $ER_{R_{45}} = \{E_2, E_3, E_6, E_{11}\}$, $ER_{R_{46}} = \{E_2, E_3, E_6, E_{12}\}$, $ER_{R_{53}} = \{E_2, E_4, E_5, E_{11}\}$, $ER_{R_{54}} = \{E_2, E_4, E_5, E_{12}\}$, $ER_{R_{61}} = \{E_2, E_4, E_6, E_{11}\}$, $ER_{R_{62}} = \{E_2, E_4, E_6, E_{12}\}$. Aplicando-se esta metodologia aos demais produtos e, definindo R_i como sendo o número de rotas para o produto i , tem-se que $R_A=16$, $R_B=32$, $R_C=16$, $R_D=16$, com as possíveis rotas associadas a cada produto, uma vez que os sabonetes C e D utilizam as mesmas rotas, conforme Apêndice A, no anexo ao final da dissertação.

Tabela 4.1 – Dados referentes à Figura 4.1

Produto	Equipamentos necessários					Tempo médio de Processamento (hora)				
	Tarefa 1	Tarefa 2	Tarefa 3	Tarefa 4	Tarefa 5	Tarefa 1	Tarefa 2	Tarefa 3	Tarefa 4	Tarefa 5
A	grupo 1	grupo 2	grupo 3	grupo 6	-	2,08	1,75	1,75	2,50	-
B	grupo 1	grupo 2	grupo 3	grupo 4	grupo 6	2,08	1,75	1,75	2,75	2,50
C	grupo 1	grupo 2	grupo 3	grupo 5	-	2,08	1,75	1,75	4	-
D	grupo 1	grupo 2	grupo 3	grupo 5	-	2,08	1,75	1,75	4	-

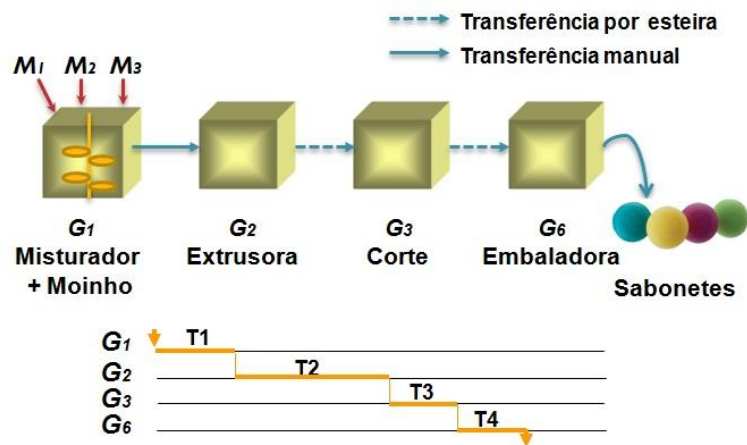
Produto	Fator médio de Tamanho					Demanda de Produção (unid)
	Tarefa 1	Tarefa 2	Tarefa 3	Tarefa 4	Tarefa 5	
A	15000	17000	7500	8600	-	100.000
B	7500	8500	7500	2250	8600	80.000
C	5000	5670	7500	1300	-	50.000
D	3750	4250	7500	1300	-	30.000

Grupo	Custo (R\$)					Tamanho máximo discreto (unid/hora)
	600	2000	2500-7200	10000-15000	18000-20000	
1	-	-	-	28.450	30.350	600
2	-	-	-	61.300	69.520	2000
3	-	-	65.000	75.000	-	2500-7200
4	-	62.800	66.400	-	-	10000-15000
5	20.200	60.000	-	-	-	18000-2000
6	-	-	80.060	83.000	-	Tempo de Produção (horas) H= 176

Fonte: Autora desta dissertação, 2011

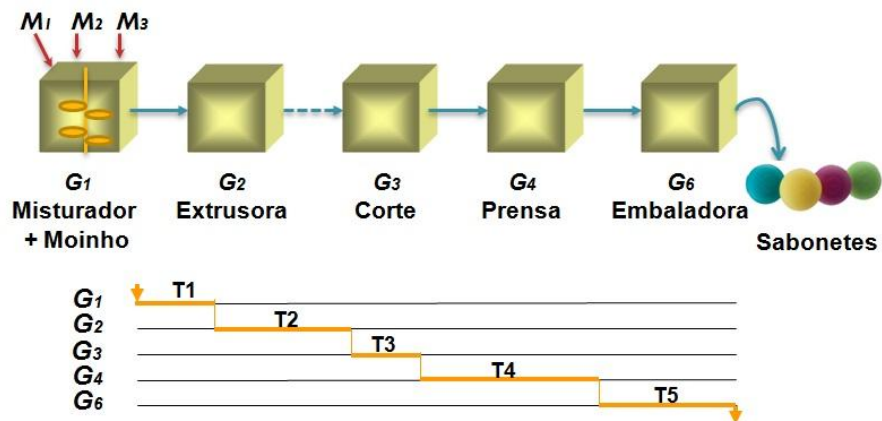
Para melhor visualização da Tabela 4.1, as Figuras 4.2, 4.3 e 4.4 representam a estrutura da planta em batelada, no formato de um projeto de engenharia básico, para os sabonetes A, B, C/D, respectivamente, onde são especificados os tipos de equipamentos, com seus grupos (G_n , onde $n = 1, \dots, 6$). M_1 , M_2 e M_3 são as matérias primas, adicionadas no Grupo 1. Na parte inferior, das referidas figuras, é mostrada, através do gráfico de “Gantt”, a disponibilidade de cada equipamento, em função do tempo, sendo o início da batelada representado pelo triângulo invertido.

Figura 4.2 – Projeto de engenharia básico e gráfico de “Gantt”, para o produto “A”



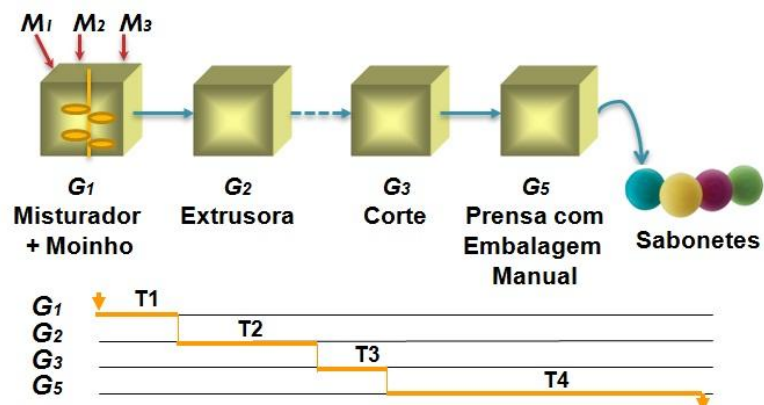
Fonte: Autora desta dissertação, 2011

Figura 4.3 – Projeto de engenharia básico e gráfico de “Gantt”, para o produto “B”



Fonte: Autora desta dissertação, 2011

Figura 4.4 – Projeto de engenharia básico e gráfico de “Gantt”, tanto para “C”, como para “D”



Fonte: Autora desta dissertação, 2011

As restrições do problema foram obtidas a partir da matriz de compatibilidade campanha/produto-rota, onde foi realizado o cruzamento entre as 64 rotas e analisado o uso simultâneo do mesmo equipamento por rotas distintas, gerando as equações (03) a (66), com 280 campanhas viáveis.

$$C_{99} + C_{105} + C_{106} + C_{107} + C_{108} + C_{109} \leq T_{R1} \quad (03)$$

$$C_{93} + C_{110} + C_{111} + C_{112} + C_{113} + C_{114} \leq T_{R2} \quad (04)$$

$$C_{100} + C_{115} + C_{116} + C_{117} + C_{118} + C_{119} \leq T_{R3} \quad (05)$$

$$C_{94} + C_{120} + C_{121} + C_{122} + C_{123} + C_{124} \leq T_{R4} \quad (06)$$

$$C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5 + C_6 + C_7 \leq T_{R5} \quad (07)$$

$$C_8 + C_9 + C_{10} + C_{11} + C_{12} + C_{13} + C_{14} \leq T_{R6} \quad (08)$$

$$C_{95} + C_{97} + C_{101} + C_{103} + C_{233} + C_{235} + C_{237} + C_{239} + C_{241} + C_{243} + C_{245} + C_{247} + C_{249} + C_{250} + C_{272} + C_{273} \leq T_{R7} \quad (09)$$

$$C_{96} + C_{98} + C_{102} + C_{104} + C_{234} + C_{236} + C_{238} + C_{240} + C_{242} + C_{244} + C_{246} + C_{248} + C_{251} + C_{252} + C_{271} + C_{274} \leq T_{R8} \quad (10)$$

$$C_{87} + C_{125} + C_{126} + C_{127} + C_{128} + C_{129} \leq T_{R9} \quad (11)$$

$$C_{81} + C_{130} + C_{131} + C_{132} + C_{133} + C_{134} \leq T_{R10} \quad (12)$$

$$C_{88} + C_{135} + C_{136} + C_{137} + C_{138} + C_{139} \leq T_{R11} \quad (13)$$

$$C_{82} + C_{140} + C_{141} + C_{142} + C_{143} + C_{144} \leq T_{R12} \quad (14)$$

$$C_{15} + C_{16} + C_{17} + C_{18} + C_{19} + C_{20} + C_{21} \leq T_{R13} \quad (15)$$

$$C_{22} + C_{23} + C_{24} + C_{25} + C_{26} + C_{27} + C_{28} \leq T_{R14} \quad (16)$$

$$C_{83} + C_{85} + C_{89} + C_{91} + C_{217} + C_{219} + C_{221} + C_{223} + C_{225} + C_{227} + C_{229} + C_{231} + C_{253} + C_{254} + C_{270} + C_{275} \leq T_{R15} \quad (17)$$

$$C_{84} + C_{86} + C_{90} + C_{92} + C_{218} + C_{220} + C_{222} + C_{224} + C_{226} + C_{228} + C_{230} + C_{232} + C_{255} + C_{256} + C_{269} + C_{276} \leq T_{R16} \quad (18)$$

$$C_{75} + C_{145} + C_{146} + C_{147} + C_{148} + C_{149} \leq T_{R17} \quad (19)$$

$$C_{69} + C_{150} + C_{151} + C_{152} + C_{153} + C_{154} \leq T_{R18} \quad (20)$$

$$C_{76} + C_{155} + C_{156} + C_{157} + C_{158} + C_{159} \leq T_{R19} \quad (21)$$

$$C_{70} + C_{160} + C_{161} + C_{162} + C_{163} + C_{164} \leq T_{R20} \quad (22)$$

$$C_{29} + C_{30} + C_{31} + C_{32} + C_{33} + C_{34} + C_{35} \leq T_{R21} \quad (23)$$

$$C_{36} + C_{37} + C_{38} + C_{39} + C_{40} + C_{41} + C_{42} \leq T_{R22} \quad (24)$$

$$C_{71} + C_{73} + C_{77} + C_{79} + C_{201} + C_{203} + C_{205} + C_{207} + C_{209} + C_{211} + C_{213} + C_{215} + C_{257} + C_{258} + C_{268} + C_{277} \leq T_{R23} \quad (25)$$

$$C_{72} + C_{74} + C_{78} + C_{80} + C_{202} + C_{204} + C_{206} + C_{208} + C_{210} + C_{212} + C_{214} + C_{216} + C_{259} + C_{260} + C_{267} + C_{278} \leq T_{R24} \quad (26)$$

$$C_{63} + C_{165} + C_{166} + C_{167} + C_{168} + C_{169} \leq T_{R25} \quad (27)$$

$$C_{57} + C_{170} + C_{171} + C_{172} + C_{173} + C_{174} \leq T_{R26} \quad (28)$$

$$C_{64} + C_{175} + C_{176} + C_{177} + C_{178} + C_{179} \leq T_{R27} \quad (29)$$

$$C_{58} + C_{180} + C_{181} + C_{182} + C_{183} + C_{184} \leq T_{R28} \quad (30)$$

$$C_{43} + C_{44} + C_{45} + C_{46} + C_{47} + C_{48} + C_{49} \leq T_{R29} \quad (31)$$

$$C_{50} + C_{51} + C_{52} + C_{53} + C_{54} + C_{55} + C_{56} \leq T_{R30} \quad (32)$$

$$C_{59} + C_{61} + C_{65} + C_{67} + C_{185} + C_{187} + C_{189} + C_{191} + C_{193} + C_{195} + C_{197} + C_{199} + C_{261} + C_{262} + C_{266} + C_{279} \leq T_{R31} \quad (33)$$

$$C_{60} + C_{62} + C_{66} + C_{68} + C_{186} + C_{188} + C_{190} + C_{192} + C_{194} + C_{196} + C_{198} + C_{200} + C_{263} + C_{264} + C_{265} + C_{280} \leq T_{R32} \quad (34)$$

$$C_{51} + C_{180} + C_{185} + C_{186} + C_{187} + C_{188} \leq T_{R33} \quad (35)$$

$$C_{44} + C_{175} + C_{189} + C_{190} + C_{191} + C_{192} \leq T_{R34} \quad (36)$$

$$C_{52} + C_{170} + C_{193} + C_{194} + C_{195} + C_{196} \leq T_{R35} \quad (37)$$

$$C_{45} + C_{165} + C_{197} + C_{198} + C_{199} + C_{200} \leq T_{R36} \quad (38)$$

$$C_{50} + C_{57} + C_{58} + C_{59} + C_{60} + C_{61} + C_{62} \leq T_{R37} \quad (39)$$

$$C_{43} + C_{63} + C_{64} + C_{65} + C_{66} + C_{67} + C_{68} \leq T_{R38} \quad (40)$$

$$C_{46} + C_{48} + C_{53} + C_{55} + C_{166} + C_{168} + C_{171} + C_{173} + C_{176} + C_{178} + C_{181} + C_{183} + C_{263} + C_{264} + C_{265} + C_{280} \leq T_{R39} \quad (41)$$

$$C_{47} + C_{49} + C_{54} + C_{56} + C_{167} + C_{169} + C_{172} + C_{174} + C_{177} + C_{179} + C_{182} + C_{184} + C_{261} + C_{262} + C_{266} + C_{279} \leq T_{R40} \quad (42)$$

$$C_{37} + C_{160} + C_{201} + C_{202} + C_{203} + C_{204} \leq T_{R41} \quad (43)$$

$$C_{30} + C_{155} + C_{205} + C_{206} + C_{207} + C_{208} \leq T_{R42} \quad (44)$$

$$C_{38} + C_{150} + C_{209} + C_{210} + C_{211} + C_{212} \leq T_{R43} \quad (45)$$

$$C_{31} + C_{145} + C_{213} + C_{214} + C_{215} + C_{216} \leq T_{R44} \quad (46)$$

$$C_{36} + C_{69} + C_{70} + C_{71} + C_{72} + C_{73} + C_{74} \leq T_{R45} \quad (47)$$

$$C_{29} + C_{75} + C_{76} + C_{77} + C_{78} + C_{79} + C_{80} \leq T_{R46} \quad (48)$$

$$C_{32} + C_{34} + C_{39} + C_{41} + C_{146} + C_{148} + C_{151} + C_{153} + C_{156} + C_{158} + C_{161} + C_{163} + C_{259} + C_{260} + C_{267} + C_{278} \leq T_{R47} \quad (49)$$

$$C_{33} + C_{35} + C_{40} + C_{42} + C_{147} + C_{149} + C_{152} + C_{154} + C_{157} + C_{159} + C_{162} + C_{164} + C_{257} + C_{258} + C_{268} + C_{277} \leq T_{R48} \quad (50)$$

$$C_{23} + C_{140} + C_{217} + C_{218} + C_{219} + C_{220} \leq T_{R49} \quad (51)$$

$$C_{16} + C_{135} + C_{221} + C_{222} + C_{223} + C_{224} \leq T_{R50} \quad (52)$$

$$C_{24} + C_{130} + C_{225} + C_{226} + C_{227} + C_{228} \leq T_{R51} \quad (53)$$

$$C_{17} + C_{125} + C_{229} + C_{230} + C_{231} + C_{232} \leq T_{R52} \quad (54)$$

$$C_{22} + C_{81} + C_{82} + C_{83} + C_{84} + C_{85} + C_{86} \leq T_{R53} \quad (55)$$

$$C_{15} + C_{87} + C_{88} + C_{89} + C_{90} + C_{91} + C_{92} \leq T_{R54} \quad (56)$$

$$C_{18} + C_{20} + C_{25} + C_{27} + C_{126} + C_{128} + C_{131} + C_{133} + C_{136} + C_{138} + C_{141} + C_{143} + C_{255} + C_{256} + C_{269} + C_{276} \leq T_{R55} \quad (57)$$

$$C_{19} + C_{21} + C_{26} + C_{28} + C_{127} + C_{129} + C_{132} + C_{134} + C_{137} + C_{139} + C_{142} + C_{144} + C_{253} + C_{254} + C_{270} + C_{275} \leq T_{R56} \quad (58)$$

$$C_9 + C_{120} + C_{233} + C_{234} + C_{235} + C_{236} \leq T_{R57} \quad (59)$$

$$C_2 + C_{115} + C_{237} + C_{238} + C_{239} + C_{240} \leq T_{R58} \quad (60)$$

$$C_{10} + C_{110} + C_{241} + C_{242} + C_{243} + C_{244} \leq T_{R59} \quad (61)$$

$$C_3 + C_{105} + C_{245} + C_{246} + C_{247} + C_{248} \leq T_{R60} \quad (62)$$

$$C_8 + C_{93} + C_{94} + C_{95} + C_{96} + C_{97} + C_{98} \leq T_{R61} \quad (63)$$

$$C_1 + C_{99} + C_{100} + C_{101} + C_{102} + C_{103} + C_{104} \leq T_{R62} \quad (64)$$

$$C_4 + C_6 + C_{11} + C_{13} + C_{106} + C_{108} + C_{111} + C_{113} + C_{116} + C_{118} + C_{121} + C_{123} + C_{251} + C_{252} + C_{271} + C_{274} \leq T_{R63} \quad (65)$$

$$C_5 + C_7 + C_{12} + C_{14} + C_{107} + C_{109} + C_{112} + C_{114} + C_{117} + C_{119} + C_{122} + C_{124} + C_{249} + C_{250} + C_{272} + C_{273} \leq T_{R64} \quad (66)$$

4.4 Formulação matemática do problema

Uma vez selecionadas as rotas e os tipos de equipamentos, necessários para o processo, a etapa seguinte, para o problema de projeto, é a obtenção da configuração que representa o custo mínimo de investimento como função objetivo do problema. A partir daí, deve-se determinar os equipamentos necessários, seus tamanhos, as rotas associadas a cada produto, os tamanhos das bateladas relacionadas a cada rota, bem como, estipular um plano de

produção (estrutura de campanhas), em um período de tempo. Assim, exceto para alguns casos, não é possível determinar, a priori, se um determinado equipamento existirá no projeto ótimo, tornando-se necessário avaliar todas as possíveis configurações da planta (superestrutura), para todas as combinações de rotas e tamanhos de equipamentos.

Para a formulação do problema, faz-se necessária a introdução da seguinte variável binária y_{js} , que especifica a existência ou não de um determinado equipamento j , sendo definida por:

$$y_{js} = \begin{cases} 1 & \text{se o equipamento } E_j \text{ possuir tamanho } v_{js} \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (67)$$

sendo: $v_{j0}=0$ se $y_{j0}=1$, há indicação de que o equipamento E_0 não existe na planta.

Uma série de restrições é introduzida ao problema. A Equação (68) representa a restrição que impõe a existência ou não do equipamento, bem como um único tamanho, para cada tipo de equipamento, associado ao estágio j , ou seja, o volume do equipamento é calculado pelo tamanho padrão associado a y_{js} , Equação (69) e, um equipamento E_j pode ser utilizado em qualquer rota, à qual ele esteja inserido.

$$\sum_s y_{js} = 1 \quad j=1, \dots, M \quad (68)$$

$$V_j = \sum_s v_{js} y_{js} \quad j=1, \dots, M \quad (69)$$

A Equação (70) representa uma restrição relacionada à quantidade de material processado, delimitando uma capacidade mínima, para cada equipamento, em cada rota:

$$V_j \geq FT_{rj} B_r \quad \forall j \in ER_r, \quad r=1, \dots, R \quad (70)$$

onde FT_{rj} representa o fator tamanho, para o equipamento E_j , associado à rota r e B_r representa o tamanho da batelada, produzida na rota r .

O tempo total de utilização de uma rota r , para a produção de um produto i , é representado por T_r . Se for desprezado o tempo de preparo e limpeza dos equipamentos, ao

final da última batelada da campanha, o número de bateladas produzidas por uma rota r , no tempo de produção total T_r , será de, aproximadamente, T_r/TL_r , onde TL_r representa o ciclo de tempo, para a rota r . Esta variável pode ser calculada pelo máximo valor do tempo de produção \tilde{t}_{rj} , na sequência de produção, para processar uma batelada na rota r em E_j , isto é:

$$TL_r = \max_{j \in ER} \left\{ \tilde{t}_{rj} \right\} \quad r = 1, \dots, R \quad (71)$$

onde: $\tilde{t}_{rj} = t_{ij}, \forall i, r \in PR_i, j \in ER_r$.

Se q_r é a soma dos produtos produzidos na rota r , então:

$$q_r = B_r T_r / TL_r \quad r = 1, \dots, R \quad (72)$$

A produção de cada produto i , em todas as rotas, onde ele será produzido, deverá satisfazer uma demanda pré-especificada:

$$\sum_{r \in PR_i} q_r \geq Q_i \quad i = 1, \dots, N \quad (73)$$

O tempo de operação T_r associado a cada produto, em cada rota, deve ser inferior ao tempo total de operação das campanhas, onde o produto está sendo produzido.

$$\sum_m^{nc} C_m \leq T_r \quad r = 1, 2, \dots, R \quad \forall m \in CV(r) \quad (74)$$

onde $CV(r)$ representa o conjunto de campanhas, associado às rotas de produção de um produto i .

O horizonte de tempo, de operação das campanhas, deve ser menor ou igual ao tempo de produção especificado como H que no modelo é de 176 horas, Equação (75).

$$\sum_m^{nc} C_m \leq H \quad (75)$$

O modelo, acima descrito, pode ser resumido da seguinte forma:

$$\begin{aligned} & \text{Minimizar custo: } \sum_j^m \sum_s^{s \max} c_{js} y_{js} \\ & \text{Sujeito a:} \\ & \sum_s y_{js} = 1 \quad j=1, \dots, M \\ & V_j = \sum_s v_{js} y_{js} \quad j=1, \dots, M \\ & V_j \geq FT_{rj} B_r \quad \forall j \in ER_r \\ & TL_r = \max_{j \in ER_r} \left\{ \tilde{t}_{rj} \right\}. \tilde{t}_{rj} = t_{ij}, \forall i, r \in PR_i, j \in ER_r. \\ & q_r = B_r T_r / TL_r \quad r=1, \dots, R \\ & \sum_{r \in PR_i} q_r \geq Q_i \quad i=1, \dots, N \\ & \sum_m^{nc} C_m \leq T_r \quad r=1, \dots, R \quad \forall m \in CV(r) \\ & \sum_m^{nc} C_m \leq H \\ & V_j \geq 0 \quad \forall j; \quad q_r, B_r, T_r \geq 0; \quad y_{js} \in \{0,1\} \quad \forall_{j,s} \end{aligned}$$

onde:

c_{js} = custo do equipamento;
 y_{js} = variável binária que representa a existência ou não de um equipamento;
 V_j = volume dos equipamentos;
 v_{js} = tamanho dos equipamentos;
 FT_{rj} = fator tamanho para o Equipamento E_j , associado à rota r ;
 B_r = tamanho da batelada produzida na rota r ;
 TL_r = ciclo de tempo da rota r ;
 t_{rj} = máximo valor do tempo da produção;
 q_r = quantidade de produtos fabricados na rota r ;
 T_r = tempo de produção total da rota r ;
 Q_i = demanda pré-estabelecida dos produtos i ;
 C_m = campanhas;
 $CV(r)$ = conjunto de campanhas, associado às rotas de produção de um produto i
 H = horizonte de tempo.

4.5 Estratégia de solução

Para a solução do problema de Programação Não Linear Inteira Mista - PNLIM serão utilizados os seguintes algoritmos: AO/ER/AP (BIEGLER, GROSSMANN e WESTERBERG, 1997), implementados no módulo DICOPT⁺⁺, através do sistema de modelagem GAMS (BROOKE *et. al.*, 1996); MINOS e CONOPT, para o subproblema de Programação Não Linear - PNL; e os módulos XA, OSL ou CPLEX, para o problema de Programação Linear Inteira Mista - PLIM (SOLETTI, 1997). Apesar da não-convexidade do problema não garantir o ótimo global, para a situação estudada, esta estratégia de solução apresentou bom desempenho.

Foram analisadas várias combinações de modelos não lineares e lineares, na solução do problema de PNLIM, de forma a determinar aquela que corresponda ao melhor desempenho do método de solução.

4.6 Resultados obtidos

Para a resolução do problema de PNLIM foram utilizados todos os métodos citados na seção 4.5, sendo os resultados apresentados na Tabela 4.2.

O computador utilizado tem processador Intel Core 2 Duo. Embora os tempos de processamento de CPU sejam semelhantes, a combinação de métodos, que apresentou o melhor desempenho foi CONOPT e XA. Como é observado, 402.600 foi o menor valor da função objetivo, ou seja, do custo inicial da produção, encontrado em todos os métodos.

Tabela 4.2 – Desempenho dos métodos de programação matemática, para a resolução do problema

Métodos		Tempo de CPU (minutos)	Valor Função Objetivo
PNL	PLIM		
MINOS	OSL	21,65	402.600
	XA	21,65	
	CPLEX	21,62	
CONOPT	OSL	21,55	
	XA	21,43	
	CPLEX	21,65	

Fonte: Autora desta dissertação, 2011

A Tabela 4.3 apresenta os dados gerados pelo programa, que representa a solução matemática, onde, V_j é a capacidade dos equipamentos; B_r e T_r são, respectivamente, o tamanho e o tempo da batelada, associados a cada rota e, conseqüentemente, a cada tipo de sabonete. A última coluna desta tabela refere-se às campanhas, com seu tempo de produção.

Tabela 4.3 - Solução via PNLIM

EQUIP.	V_j	ROTAS	B_r	T_r	CAMPANHA/TEMPO
E_1	12.000				$C_{27} / 55,826$
E_3	15.000	R_{12}	1	200.000	$C_{141} / 42,938$
E_6	18.000	R_{14}	1	200.000	$C_{255} / 38,618$
E_8	2.500	R_{16}	1	150.000	$C_{276} / 38,618$
E_{10}	2.000				
E_{12}	10.000				TOTAL TEMPO: 176 h
Função objetivo = 402.600					

Fonte: Autora desta dissertação, 2011

As dimensões de complexidade do modelo estão expressas na Tabela 4.4, abaixo:

Tabela 4.4 - Dimensões de complexidade do modelo

Bloco de Equações	72
Número de Equações	447
Bloco de Variáveis	7
Número de Variáveis	521 e 8 projetos
Elementos diferentes de zero	1,977
Comprimento de Linhas	256
Variáveis Discretas	36

Fonte: Autora desta dissertação, 2011

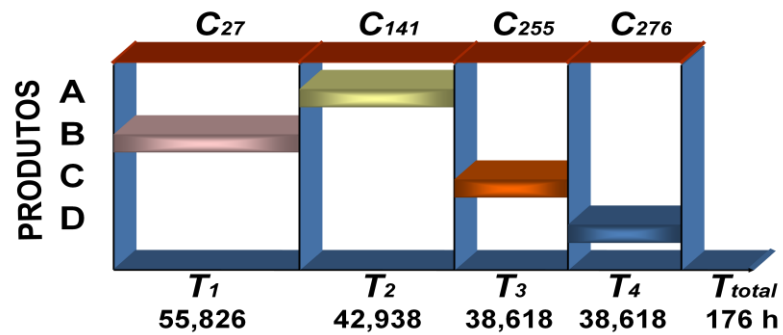
4.7 Análise dos resultados

Todos os métodos apresentaram o mesmo valor da função objetivo, variando, apenas, o tempo de CPU, devido às diferenças no número de iterações, necessárias em cada método, como visto na Tabela 4.2.

Analisando a Tabela 4.3, pode-se observar que são necessários R\$ 402.600,00 de investimento de capital, para aquisição de equipamentos, correspondendo a: E_1 (Misturadora + Moinho), E_3 (Extrusora), E_6 (Corte), E_8 (Prensa Elétrica), E_{10} (Prensa com embalagem manual) e E_{12} (Embaladora). Destacam-se três rotas: R_{12} , para produzir o sabonete “B”; R_{14} ,

onde é possível produzir “A”; e R_{16} , que produz “C” e “D”, separadamente, e quatro campanhas: C_{27} , C_{141} , C_{255} e C_{276} . A programação da produção, referente a esta planta, encontra-se representada na Figura 4.5, com tempo operacional total de 176 horas.

Figura 4.5 - Programação da Produção



Fonte: Autora desta dissertação, 2011

A Tabela 4.4, que mostra os dados do modelo estatístico do problema, identifica as dimensões de complexidade, apontando para um problema de grande porte.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho, o levantamento bibliográfico do panorama mundial e brasileiro da indústria cosmética, mostrou o Brasil ocupando um lugar de destaque no consumo de produtos de Higiene Pessoal, Perfumaria e Cosméticos, com isso, os problemas de dimensionamento de produção das indústrias, deste segmento, devem ser sanados, para que possam atender ao crescente comércio do setor e a um número ainda maior de consumidores.

Em vista da necessidade de realizar o planejamento da produção, em uma unidade fabril, foi apresentado e resolvido um problema de produção da base, para sabonetes sólidos. O resultado mostra que a relação custo/benefício leva o fabricante a comprar a base pronta, a produzir sua própria base, em função da localização da planta - nordeste. Esse resultado é momentâneo e requer estudos futuros para atualização de técnicas e custos.

O novo procedimento, desenvolvido por SOLETTI (1997), para o dimensionamento e programação de uma planta em batelada multipropósito, onde um produto pode seguir diferentes rotas de produção, tem aplicação prática contextualizada na presente dissertação para a indústria de sabonetes.

Os conceitos básicos das operações e dos processos das plantas em batelada, serviu como alicerce, para operacionalizar um modelo de programação matemática, utilizando a linguagem GAMS (*General Algebraic Model System*) que identificou um problema de grande porte, gerando rotas e campanhas viáveis, para o planejamento da produção.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE HIGIENE PESSOAL PERFUMARIA E COSMÉTICOS. **Panorama do setor, 2009**. Disponível em: <www.abihpec.org.br>. Acesso em: 16 nov. 2010.

_____. **Panorama do setor, 2010**. Disponível em: <www.abihpec.org.br>. Acesso em: 15 jun. 2011.

_____. **Anuário 2009**. Disponível em: <www.abihpec.org.br>. Acesso em: 16 nov. 2010.

_____. **Anuário 2010**. Disponível em: <www.abihpec.org.br>. Acesso em: 15 jun. 2011.

BÉLGICA. Conselho das Comunidades Europeias. **Diretiva do Conselho 76/768/CEE de 27 de julho de 1976**. Relativa à aproximação das legislações dos Estados-membros, respeitantes aos produtos cosméticos. Bruxelas, 1976.

BIEGLER, L. T.; GROSSMANN, I. E.; WESTERBERG, A. W. **Systematic methods of chemical process design**. New York: Prentice Hall PTR, 1997.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução n.º 79, de 28 de agosto de 2000. Definição e classificação de produtos de higiene pessoal, cosméticos e perfumes e outros com abrangência neste contexto. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 31 ago. 2000.

BROOKE, A.; KENDRICK, D.; MEERAUS, P. **A GAMS: a user's guide**. Development Washington: GAMS Corporation, 1996.

CAPANEMA, Luciana; et al. **Panorama da indústria de higiene pessoal, perfumaria e cosméticos**. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 25, p. 131-156, mar. 2007. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/set2505.pdf>. Acesso em: 16 nov. 2010.

GAREY, M. R.; JOHNSON, D. S. **Computers and intractability: a guide to the theory of NP completeness.**, New York: W. H. Freeman and Company, 1979.

GARCIA, R.; FURTADO, J. **A indústria de cosméticos: estudo de competitividade por cadeias integradas**. São Paulo, EPUSP, 2002. Disponível em: <http://www.mdic.gov.br/cadeia_sprodutivas/doc/31cosmeticosCompleto.PDF>. Acesso em: 10 nov. 2010.

HERNANDEZ, M.; MERCIER-FRESNEL, M-M. **Manual de cosmetologia**. Tradução de Ana Lúcia Mazzali. Rio de Janeiro: Revinter. 3. ed. 1999. p. 244.

HOPP, W. J.; SPEARMAN, M. L. **Factory physics: foundations of manufacturing management**. 2. ed., Boston: Irwin; McGraw-Hill. 2000.

MAH S. H. **Chemical process structures and information flows**. London: Butterworths Publishers, 1990. p. 241-347.

MERCADANTE, R. et al. **Massa base para sabonetes**: fabricando sabonetes sólidos. 2009. Projeto Gerart. Disponível em: <<http://projetos.unioeste.br/projetos/gerart/apostilas/apostila7.pdf>>. Acesso em: 17 nov. 2010.

MESQUITA, M. A.; SANTORO, M. C. Análise de modelos e práticas de planejamento e controle da produção na indústria farmacêutica. **Produção**, São Paulo: Associação Brasileira de Engenharia de Produção. v. 14, n. 1, p. 64-77. 2004. ISSN 0103-6513.

REKLAITIS, G. V. Scheduling approaches for the batch process industries. **Isa Transactions**, v. 34, n. 4, p. 349-358, Dec. 1995.

SOLETTI, J. I. **Dimensionamento e programação da produção de plantas multipropósito em batelada**. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1997.

UCHIMURA, M. S. **Dossiê técnico**: sabão. Curitiba: Instituto de Tecnologia do Paraná, 2007.

APÊNDICE

Matriz produto-rota/ equipamento

PRODUTO	ROTA	EQUIPAMENTOS														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
A	R5	1		1		1								1		
	R6	1		1		1										1
	R13	1		1				1						1		
	R14	1		1				1								1
	R21	1			1	1								1		
	R22	1			1	1										1
	R29	1			1			1						1		
	R30	1			1			1								1
	R37		1	1			1							1		
	R38		1	1			1									1
	R45		1	1					1					1		
	R46		1	1					1							1
	R53		1			1	1							1		
	R54		1			1	1									1
	R61		1			1			1					1		
R62		1			1			1							1	
B	R1	1		1		1		1						1		
	R2	1		1		1		1								1
	R3	1		1		1				1				1		
	R4	1		1		1				1						1
	R9	1		1				1	1					1		
	R10	1		1				1	1							1
	R11	1		1				1		1				1		
	R12	1		1				1		1						1
	R17	1			1	1			1					1		
	R18	1			1	1			1							1
	R19	1			1	1					1			1		
	R20	1			1	1					1					1
	R25	1			1			1	1					1		
	R26	1			1			1	1							1
	R27	1			1			1		1				1		
	R28	1			1			1		1						1
	R33		1	1			1			1				1		
	R34		1	1			1			1						1
	R35		1	1			1				1			1		
	R36		1	1			1				1					1
	R41		1	1					1	1				1		
R42		1	1					1	1						1	
R43		1	1					1		1			1			
R44		1	1					1		1					1	
R49		1			1	1			1				1			
R50		1			1	1			1						1	
R51		1			1	1				1			1			

	R52	1	1	1		1		1
	R57	1	1		1	1		1
	R58	1	1		1	1		1
	R59	1	1		1		1	1
	R60	1	1		1		1	1
C	R7	1	1		1			1
	R8	1	1		1			1
	R15	1	1			1		1
	R16	1	1			1		1
	R23	1		1	1			1
	R24	1		1	1			1
	R31	1		1		1		1
	R32	1		1		1		1
	R39		1	1		1		1
	R40		1	1		1		1
	R47		1	1			1	1
	R48		1	1			1	1
	R55		1		1	1		1
	R56		1		1	1		1
	R63		1		1		1	1
R64		1		1		1	1	
D	R7	1	1		1			1
	R8	1	1		1			1
	R15	1	1			1		1
	R16	1	1			1		1
	R23	1		1	1			1
	R24	1		1	1			1
	R31	1		1		1		1
	R32	1		1		1		1
	R39		1	1		1		1
	R40		1	1		1		1
	R47		1	1			1	1
	R48		1	1			1	1
	R55		1		1	1		1
	R56		1		1	1		1
	R63		1		1		1	1
R64		1		1		1	1	