

GIULIANA ZAGO

**OTIMIZAÇÃO DA COMPOSIÇÃO DA MATÉRIA PRIMA
PARA UMA INDÚSTRIA TÊXTIL DE GRANDE PORTE**

Trabalho de Formatura apresentado à
Escola Politécnica da Universidade de
São Paulo para obtenção do Diploma
de Engenheiro de Produção.

**São Paulo
2005**

GIULIANA ZAGO

**OTIMIZAÇÃO DA COMPOSIÇÃO DA MATÉRIA PRIMA
PARA UMA INDÚSTRIA TÊXTIL DE GRANDE PORTE**

Trabalho de Formatura apresentado à
Escola Politécnica da Universidade de
São Paulo para obtenção do Diploma
de Engenheiro de Produção.

Orientadora:
Prof^a Dr^a Débora Pretti Ronconi

São Paulo
2005

FICHA CATALOGRÁFICA

Zago, Giuliana

Otimização da composição da matéria prima para uma indústria têxtil de grande porte/ Giuliana Zago. -- São Paulo, 2005.
96 p.

Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Produção.

1.Pesquisa Operacional 2. Matéria Prima I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Produção II. t.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, pela dedicação, apoio e paciência e por tudo que me proporcionaram até hoje.

Ao meu irmão pelos incentivos nos momentos mais difíceis.

À professora Débora pela atenção a mim dispensada, pela confiança e apoio desde o inicio e, principalmente, pelas orientações dadas no decorrer deste trabalho.

Aos engenheiros Roberto Carlos Ferreira e Geraldo Silva Filho pela confiança e suporte fornecido ao longo de todo o estágio, inclusive na realização deste trabalho.

À todos os colegas da Têxtil Brasil S.A que contribuíram direta ou indiretamente para a minha formação e para a realização deste trabalho, em especial para os colegas das áreas de Controle da Qualidade do Algodão e da Gerência de Excelência em Gestão.

Aos meus amigos da Escola Politécnica, pelas conversas e pelo compartilhamento dos momentos mais difíceis que fizeram destes cinco anos, anos inesquecíveis.

RESUMO

O presente trabalho emprega técnicas de Pesquisa Operacional no processo de escolha das classificações de fardos de algodão a serem utilizados como matéria prima em uma indústria têxtil. O modelo de programação inteira, inicialmente proposto, foi substituído por sua correspondente formulação linear com a posterior aplicação de um método heurístico de arredondamento da solução, desenvolvido especificamente para este problema. O modelo linear consiste em uma adaptação de problemas reconhecidos na literatura como “problemas de mistura”, considerando as peculiaridades existentes na indústria têxtil. O modelo objetiva a redução da variabilidade da composição da matéria prima ao longo do tempo. O *software* de otimização empregado para a resolução deste modelo foi o *What's Best!* da Lindo Co. e o método heurístico proposto foi desenvolvido em Excel, *software* que o *What's Best!* utiliza como interface, facilitando a interação do modelo com o método. Como resultado, a utilização do modelo proporciona uma redução significativa da variabilidade da composição da matéria prima ao longo do tempo. A conclusão é que a utilização de métodos científicos traz melhorias representativas às empresas. Por fim, o trabalho indica as próximas etapas a serem realizadas para a implantação do modelo na empresa.

ABSTRACT

The present work makes use of Operational Research techniques at the process of choice of cotton bales classification, which will be used as raw material in a textile industry. The model of integer programming initially considered was substituted by its corresponding linear model with the posterior application of a round of heuristic method of the solution, developed specifically for this problem. The linear model is an adaptation of recognized problems in literature as "blending problems", considering the peculiarities in the textile industry. This model aims the reduction of the variability of the raw material composition throughout the time. The optimization software used for the resolution of this model was the What's Best! (from Lindo Co.) and the heuristic method was developed in Excel, software that What's Best! itself uses as interface; this procedure makes easier the interaction of the linear model with the method.

As a result, the use of the proposed model provided a significant reduction of the variability of the raw material composition throughout the time. The conclusion is that the use of scientific methods brings improvement to the companies. Finally, the work indicates the future next steps in order to the implantation of this proposed model in the company.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	III
LISTA DE FIGURAS.....	IV
INTRODUÇÃO	2
1 DESCRIÇÃO DA EMPRESA.....	5
1.1 A TÊXTIL BRASIL S.A.....	5
1.2 O MERCADO EM QUE ATUA	6
1.3 ESTRUTURA ORGANIZACIONAL.....	8
1.4 O ESTÁGIO.....	8
2 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA	11
2.1 OBJETIVO DO TRABALHO.....	11
2.2 PROCESSO DE PRODUÇÃO.....	12
2.3 CLASSIFICAÇÃO DO ALGODÃO.....	13
2.4 APLICAÇÃO DO ALGODÃO	19
3 REVISÃO DA LITERATURA	26
3.1 PESQUISA OPERACIONAL	26
3.2 CASOS ANÁLOGOS	29
3.3 MODELO PARA A MISTURA DE ALGODÃO	31
4 MODELO PROPOSTO	35
4.1 MEDIDA DE DESEMPENHO.....	35
4.2 O MODELO.....	36
4.2.1 <i>Descrição das variáveis e parâmetros.....</i>	37
4.2.2 <i>Formulação do problema.....</i>	40
5 LEVANTAMENTO DE DADOS	50
5.1 DADOS DO SISTEMA.....	51
5.2 DADOS DA APLICAÇÃO.....	52
5.3 DADOS INDIRETOS.....	57
6 EXPERIMENTOS COMPUTACIONAIS	63
6.1 EXEMPLOS.....	63
6.2 REDUÇÃO DOS TEMPOS COMPUTACIONAIS.....	67
7 ANÁLISE DOS RESULTADOS	75

7.1	RESULTADOS OBTIDOS	75
7.1.1	<i>Validação do Método Heurístico</i>	76
7.1.2	<i>Análise do valor da função objetivo.....</i>	77
7.1.3	<i>Análise da variação entre mistas.....</i>	84
7.2	PRÓXIMAS ETAPAS.....	88
8	CONCLUSÃO	92
	BIBLIOGRAFIA	95
	ANEXO 1 – CÓDIGOS DAS CARACTERÍSTICAS	98
	ANEXO 2 – ESTOQUES REAIS	100
	ANEXO 3 – VOLUMES DE FARDOS	109
	ANEXO 4 – LIMITES DE ESPECIFICAÇÃO E DE LIBERAÇÃO DAS MISTURAS	114
	ANEXO 5 – PESOS DA FUNÇÃO OBJETIVO.....	116
	ANEXO 6 – PARÂMETROS DO EXEMPLO REDUZIDO	118
	ANEXO 7 – SAÍDAS DO WHAT'S BEST PARA O EXEMPLO REDUZIDO	120
	ANEXO 8 – SAÍDA DO WHAT'S BEST PARA O MODELO DE PROGRAMAÇÃO INTEIRA	123
	ANEXO 9 – SAÍDAS DO WHAT'S BEST PARA O MODELO DE PROGRAMAÇÃO LINEAR	125
	ANEXO 10 – COMPOSIÇÃO DAS MISTAS OBTIDA PELO MODELO	135

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Tipos existentes de algodão – Elaborada pela autora.	14
Tabela 2 - Classificação do <i>micronaire</i> - Elaborada pela autora.	15
Tabela 3 - Exemplo de especificação da mistura - Elaborada pela autora.	21
Tabela 4- Exemplo de cálculo de limites de especificação - Elaborado pela autora. 22	
Tabela 5 - Índices do modelo - Elaborada pela autora.	37
Tabela 6- Parâmetros do modelo - Elaborada pela autora.	39
Tabela 7 - Variáveis do modelo - Elaborada pela autora.	40
Tabela 8 - Valores médios aceitos para categoria e <i>micronaire</i> nas misturas - Elaborada pela autora.	52
Tabela 9 - Quantidade de fardos por mistura - Elaborada pela autora.	52
Tabela 10 - Demanda de mistas por aplicação - Elaborado pela autora.	53
Tabela 11 - Estoque inicial para a primeira aplicação - Elaborada pela autora.	54
Tabela 12 - Composição inicial da mistura Amarelo- Elaborada pela autora.....	55
Tabela 13 - Composição inicial da mistura Verde Escuro - Elaborada pela autora ...	55
Tabela 14 - Composição inicial da mistura Rosa - Elaborada pela autora.....	56
Tabela 15 - Composição inicial da mistura Azul - Elaborada pela autora	56
Tabela 16 - Composição inicial da mistura Azul - Elaborada pela autora	56
Tabela 17 - Composição inicial da mistura Azul - Elaborada pela autora	56
Tabela 18 - Fatores para a definição dos pesos da função objetivo - Elaborada pela autora.	60
Tabela 19 - Pesos para a primeira aplicação - Elaborada pela autora.	60
Tabela 20 - Composição da última mista branca - Elaborada pela autora.	64
Tabela 21 - Composição da última mista azul - Elaborada pela autora.	64
Tabela 22 - Estoque inicial para o primeiro cenário- Elaborada pela autora.	64
Tabela 23 - Composição percentual das duas mista passadas juntas - Elaborada pela autora.	65
Tabela 24 - Estoque inicial para o segundo cenário- Elaborada pela autora.....	66
Tabela 25 - Composição obtida para a mista branca - Elaborada pela autora.	66
Tabela 26 - Composição obtida para a mista azul - Elaborada pela autora.	66
Tabela 27 - Exemplo de aplicação - Elaborada pela autora.	71
Tabela 28 - Exemplo de aplicação após heurística - Elaborada pela autora.	72

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização das plantas e escritórios – Extraído de documentos internos..	6
Figura 2- Organograma - Extraído de documentos internos.....	8
Figura 3 - Estrutura de um processo têxtil genérico – Elaborada pela autora.....	12
Figura 4 - Foto da linha de abertura. Uma mista em processo e uma aguardando sua entrada.....	12
Figura 5 - Fluxograma do processo – Elaborada pela autora.....	13
Figura 6 - Classificação do Algodão - Elaborada pela autora.....	16
Figura 7 - Classificação do algodão - Elaborada pela autora.....	18
Figura 8 - Aplicação do algodão - Elaborada pela autora.....	24
Figura 9 - Etapas de um Processo de Modelagem - Adaptado de Goldbarg e Luna, 2000.....	27
Figura 10- Distribuição do estoque e das mistas ao longo do tempo - Adaptado de El Mogahzy e Chewning, 2001.....	33
Figura 11 - Representação do modelo - Elaborada pela autora.....	37
Figura 12 - Adequação das especificações - Elaborado pela autora.....	51
Figura 13 - Gráfico da composição (Tipo) das mistas da mistura Azul - Elaborada pela autora.....	58
Figura 14 - Gráfico da composição (<i>Micronaire</i>) das mistas da mistura Rosa - Elaborada pela autora.....	58
Figura 15 - Comparaçao do valor da função objetivo obtido por meio do método heurístico e da programação linear para a variação máxima entre mistas permitida igual a 5% - Elaborada pela autora.....	76
Figura 16 - Gráfico comparativo do valor da função objetivo real e obtido pelo modelo para variação máxima permitida entre mistas de 15% - Elaborada pela autora.....	78
Figura 17 - Gráfico comparativo do valor da função objetivo real e obtido pelo modelo para variação máxima permitida entre mistas de 10% - Elaborada pela autora.....	78

Figura 18 - Gráfico comparativo do valor da função objetivo real e obtido pelo modelo para variação máxima permitida entre mistas de 5% - Elaborada pela autora.....	79
Figura 19 - Comparaçao dos valores da função objetivo modificando a variação máxima permitida entre mistas - Elaborada pela autora.	80
Figura 20 - Gráfico da composição do estoque obtida pelo modelo para as principais classificações do Tipo - Elaborada pela autora.	81
Figura 21 - Gráfico da composição real do estoque para as principais classificações do Tipo - Elaborada pela autora.	81
Figura 22 - Gráfico da composição do estoque obtida pelo modelo para as principais classificações de <i>micronaires</i> - Elaborada pela autora.....	82
Figura 23 - Gráfico da composição real do estoque para as principais classificações de <i>micronaires</i> - Elaborada pela autora.....	82
Figura 24 - Gráficos comparativos da composição das mistas amarelo reais e das obtidas pelo modelo - Elaborada pela autora.	84
Figura 25 - Gráficos comparativos da composição das mistas verde escuro reais e das obtidas pelo modelo - Elaborada pela autora.	85
Figura 26 - Gráficos comparativos da composição das mistas rosa reais e das obtidas pelo modelo - Elaborada pela autora.	86
Figura 27 - Gráficos comparativos da composição das mistas azul reais e das obtidas pelo modelo - Elaborada pela autora.	86
Figura 28 - Gráficos comparativos da composição das mistas verde reais e das obtidas pelo modelo - Elaborada pela autora.	87
Figura 29 - Gráficos comparativos da composição das mistas verde claro reais e das obtidas pelo modelo - Elaborada pela autora.	87

INTRODUÇÃO

INTRODUÇÃO

A tomada de decisão pode ser entendida, de maneira simplificada, como um processo em que, dentre várias alternativas possíveis, escolhe-se a mais adequada para o alcance de determinado objetivo (GOLDBARG; LUNA, 2000). Em muitas empresas essa escolha é realizada de forma empírica, ou seja, baseada apenas na experiência de determinado indivíduo ou grupo, sem apoio de nenhum método científico.

Este trabalho foi realizado em uma empresa têxtil de grande porte. Seu processo produtivo contempla desde a transformação do algodão, sua principal matéria prima, em fio até o tecido acabado. No setor têxtil o uso adequado do algodão afeta duas variáveis de grande importância: o custo e a qualidade do produto final. Estas duas variáveis, por sua vez, são influenciadas, entre outros processos, por uma tomada de decisão antes mesmo do início da produção. A decisão é referente à como o algodão em estoque entra no processo produtivo.

O algodão aplicado nos produtos da empresa representa em torno de 40% do custo do produto vendido, segundo dados da própria empresa. Considerando outros custos relacionados (principalmente custos de transportes, desperdícios, e nível de produtividade), o custo do algodão afeta mais de 55% do custo do produto.

Um conjunto de 40 fardos (conglomerados de fibras) de algodão tem, aproximadamente, 2 trilhões de fibras, cada uma delas com características únicas de cor, tamanho, resistência entre outras (EL MOGAHZY; CHEWNING, 2001). Sendo assim, o desafio preliminar na conversão das fibras de algodão em fio e posteriormente em tecido é converter a ampla variabilidade inerente às características da matéria prima em uma variação controlada e conhecida, evitando dessa forma, problemas de qualidade no produto final e ou durante sua fabricação.

A variabilidade das características do algodão não pode ser controlada individualmente pela empresa já que, como é uma fibra natural, suas características são formadas ainda durante sua plantação. Seria praticamente impossível ajustar as máquinas para atender a cada diferente entrada de algodão no sistema, seja pelo custo que estaria envolvido, seja pela baixa produtividade que se teria.

Então, para garantir a estabilidade do processo, o algodão é aplicado no sistema sob a forma de uma mistura, a qual tem seus valores médios para cada característica conhecidos e, portanto podem ser controlados. A não utilização de boas técnicas de mistura do algodão pode levar a uma variação superior a 80% no produto, devido exclusivamente à matéria prima (EL MOGAHZY, 2005).

Associando-se: *i*) a relevância do custo da matéria prima no valor final do tecido; *ii*) o impacto na qualidade causado pela variabilidade das características das fibras e; *iii*) a dificuldade no processo de formação das misturas (devido à grande quantidade de alternativas e à mudança do *mix* de classificações à disposição a cada aplicação) foi diagnosticada a necessidade de realização de um projeto que englobasse técnicas de otimização na utilização da matéria prima, pois desta forma mesmo uma pequena melhora no processo teria impactos relevantes no resultado final do produto.

Nesse contexto, este trabalho propõe um modelo matemático a fim de aprimorar a estratégia da aplicação de algodão, isto é, da formação da mistura de algodão que entra no processo, por meio da utilização de técnicas e ferramentas de pesquisa operacional. Assim, o empirismo hoje observado no processo de tomada de decisão pode ser substituído por uma metodologia mais independente dos conhecimentos individuais e a variação da matéria prima que entra no processo pode ser reduzida.

O trabalho está dividido em oito capítulos. O primeiro capítulo é dedicado à apresentação da empresa e o vínculo da autora com a mesma. O segundo capítulo define o problema após a explicação dos processos envolvidos. O capítulo 3 é destinado à revisão da literatura. No capítulo 4 é apresentado o modelo matemático desenvolvido para a resolução do problema e discutidas as principais hipóteses relacionadas. O capítulo 5 relata o processo de levantamento de dados do problema. No capítulo 6 mostram-se os experimentos computacionais realizados e suas consequências. O capítulo 7 traz a análise crítica dos resultados obtidos e as próximas etapas visando a implantação do modelo na empresa. Por fim, as conclusões e sugestões de melhorias são apresentadas no capítulo 8.

CAPÍTULO 1

DESCRIÇÃO DA EMPRESA

1 DESCRIÇÃO DA EMPRESA

Este primeiro capítulo apresenta uma descrição da empresa na qual o trabalho foi realizado, caracterizando seus principais aspectos organizacionais e gerenciais, bem como uma breve descrição do estágio realizado na gerência de excelência em gestão.

1.1 A Têxtil Brasil S.A.

Criada em 1994, a Companhia nasceu de uma *joint-venture* de duas tradicionais indústrias têxteis do Brasil: a SP S.A. (Divisão Tecidos), fundada em 1907, e a TÊXIL, em operação desde 1929. Em janeiro de 2005, a empresa passou a se chamar Têxtil Brasil S.A.¹.

Hoje o controle acionário da Têxtil Brasil S.A., uma companhia de capital aberto com ações negociadas na Bolsa de Valores de São Paulo (BOVESPA), é compartilhado pela EMPRESA S.A. com 50% das ações ordinárias e 50,9% do capital social e pela SP S.A. com os outros 50% das ações ordinárias e 30,7% do capital social.

Em crescimento desde sua fundação, a empresa busca, constantemente, inovar, criando e apresentando produtos diferenciados, com valor agregado. Nos últimos dez anos a empresa fez duas grandes aquisições: em 1995 a Têxtil Brasil S.A. adquiriu a Têxtil Argentina S.A., empresa têxtil argentina e em 2000 a Têxtil Chile S.A., empresa têxtil chilena. A Têxtil Brasil S.A. se tornou a primeira multinacional do Brasil em operação no setor têxtil.

Atualmente a Têxtil Brasil S.A. conta com sete unidades industriais, sendo cinco no Brasil, uma na Argentina e uma no Chile, além de 3 unidades administrativas. A sede corporativa de empresa fica em São Paulo, Brasil. A Figura 1 mostra a localização das fábricas e escritórios da empresa.

¹ Foram utilizados nomes fictícios para todas as empresas envolvidas no trabalho.



Figura 1 - Localização das plantas e escritórios – Extraído de documentos internos.

O faturamento anual da Têxtil Brasil S.A. gira em torno de R\$ 1,2 bilhões (2004), sendo que cerca 50% da sua receita provém de vendas externas. Emprega aproximadamente cinco mil e quinhentos funcionários.

O objetivo de médio prazo estabelecido pela empresa é ser a companhia têxtil líder das Américas com presença global tendo proximidade com as maiores companhias do mundo nos segmentos de *Jeanswear*, *Workwear* e principais marcas de confecções. Hoje ela é uma das três maiores produtoras mundiais de tecidos *Denim* (popularmente conhecido como *jeans*).

1.2 O mercado em que atua

A Têxtil Brasil S.A. tem dois principais negócios: *Jeanswear* (tecidos para roupas de estilo casual e esportiva) e *Workwear* (tecidos para roupas profissionais). O produto final são rolos de tecido para confecções, sendo a matéria-prima básica para todos os negócios o algodão.

O segmento de *Jeanswear* desenvolve tecidos para atender a moda internacional, com duas coleções principais durante o ano e alta diversificação de produtos. São clientes deste mercado grandes e pequenos confeccionistas de roupas nacionais e internacionais. O negócio está dividido em duas linhas de produto: *Denim* e *Sportswear*.

- *Denim*: O produto é popularmente conhecido como *jeans*. É o principal produto comercializado pela Têxtil Brasil S.A.. Cerca de 70% das vendas desta linha é realizada fora do Brasil, considerando as exportações do Brasil e a produção na Argentina e no Chile;
- *Sportswear*: São produtos de cores básicas voltados a atender o mercado de tecidos esportivos.

O negócio *Workwear* refere-se a uma linha de produtos para atender o mercado de uniformização e roupas profissionais. São consumidores da empresa os mais diversos tipos de indústrias, empresas de serviços e organizações do Brasil, que adotam uniformes para seus funcionários, sejam estes para simples padronização de vestimenta ou para proteção no trabalho. As vendas são predominantemente feitas no mercado nacional.

A Têxtil Brasil S.A. compete em qualidade e inovação e busca diferenciais nos serviços agregados. A empresa assegura aos clientes ativos consultorias permanentes, que vão desde a definição de *layout* adequado para a planta, passando pela definição de métodos de acabamento dos tecidos, chegando até à orientação de processos de lavagem, de moda e mercado.

Na linha de roupas profissionais, onde atuam confeccionistas especializados, a Têxtil Brasil S.A. oferece além de serviços de assistência técnica completa, apoio em desenvolvimento de modelagem, *design*, cores, promoção etc.

As vantagens competitivas da Têxtil Brasil S.A., segundo pesquisas e o conhecimento da alta administração (informação verbal) são: prestígio e imagem das marcas, qualidade reconhecida e garantida, *service*, orientação e tendência de moda, fabricantes homologados de roupas profissionais e distribuição eficaz e abrangente.

1.3 Estrutura organizacional

A estrutura organizacional da Têxtil Brasil S.A., principalmente a corporativa, é marcada pela predominância de características tradicionais, ou seja:

- Utilização de tipos tradicionais de departamentalização;
- Elevada especialização;
- Predominância do sistema de comunicação vertical;
- Unidade de comando única.

Ocorre o predomínio da estrutura funcional, ou seja, a empresa é organizada segundo as funções de seus colaboradores, e não em relação a seus processos, o que pode resultar na ocorrência de problemas de integração entre departamentos, e a consequente perda do fluxo do trabalho interdepartamental, embora proporcione um aumento na capacitação técnica dos indivíduos e do departamento.

Na Figura 2 é apresentado o organograma da alta administração da empresa.

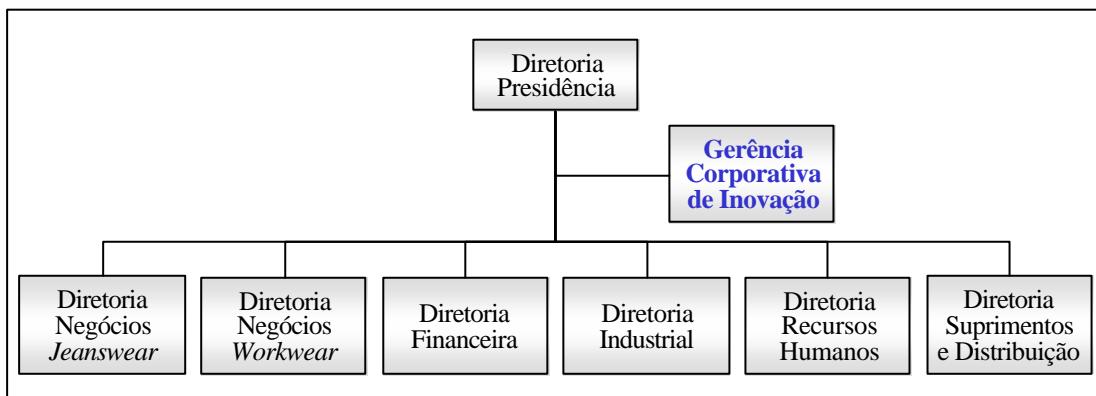


Figura 2- Organograma - Extraído de documentos internos.

1.4 O estágio

O estágio foi realizado dentro da Gerência de Excelência em Gestão (GEG) que é a responsável pelo Sistema de Gestão Integrado (Qualidade, Ambiental e de Segurança e Saúde Ocupacional) da Têxtil Brasil S.A.. Esta gerência está ligada diretamente à Gerência Corporativa de Inovação que, por sua vez, responde diretamente à Diretoria Presidência devido à sua atuação sobre todas as áreas da companhia.

Sua principal função é implantar e aperfeiçoar continuamente o Programa de Qualidade na empresa, oferecendo assessoria e suporte técnico às outras áreas nas atividades da Gestão da Qualidade Total definindo diretrizes para execução e desdobramento destas atividades ao longo de toda a organização. A GEG funciona ainda como uma equipe de apoio do Presidente da empresa para eventuais projetos ou trabalhos específicos da Diretoria Presidência.

Dentro da GEG, o estágio realizou-se, inicialmente, mais ligado à Gerência de Qualidade do Produto (GQP), que tem como objetivo, como o próprio nome diz, garantir a qualidade, visando a satisfação dos clientes.

Ela está basicamente baseada em três processos: o estabelecimento da qualidade do produto a ser colocado no mercado; a confirmação da qualidade, desenvolvida por todos na empresa; e o compromisso com a qualidade, mantendo consistentes as responsabilidades e contratos da empresa em todo o ciclo de vida do produto e serviço.

A continuação do estágio foi realizada na Gerência de Inovação em Gestão (GIG), também subordinada a GEG, que tem como principal objetivo buscar e implantar novas técnicas de gestão que proporcionem aumento da competitividade da companhia.

No início do programa de estágio houve a oportunidade de conhecer os processos produtivos em duas fábricas da empresa localizadas em São Paulo. Durante o estágio na GEG, foram desenvolvidos diversos projetos relacionados à área, como certificações, elaboração de critérios de qualidade, gerenciamento de processos, entre outras atividades, e por fim, a realização do presente trabalho.

CAPÍTULO 2

DEFINIÇÃO DO PROBLEMA



2 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

Neste capítulo é descrito sucintamente o processo produtivo da Têxtil Brasil S.A., enfatizando os processos que antecedem a entrada do algodão na fabricação propriamente dita. É, ainda, definido o objetivo do trabalho, descrevendo como são formadas hoje as misturas de algodão, suas peculiaridades e dificuldades.

2.1 Objetivo do trabalho

O algodão é uma fibra natural e como tal está condicionado às variações ambientais em seu cultivo, o que, portanto, faz dele uma matéria prima com uma ampla e variada gama de características. Para exemplificar essa variação pode-se dizer que em um conjunto de 40 fardos (conglomerados de fibras) de algodão tem-se, aproximadamente, 2 trilhões de fibras, cada uma delas com características únicas de cor, tamanho, resistência entre outras (EL MOGAHZY; CHEWNING, 2001).

Sendo assim, o desafio preliminar na conversão das fibras de algodão em fio e posteriormente em tecido é converter a variabilidade inerente às características da matéria prima em uma variação controlada e conhecida, evitando dessa forma, problemas de qualidade no produto final e ou durante sua fabricação.

Então, para se garantir a estabilidade do processo, o algodão é aplicado no sistema sob a forma de uma mistura, a qual tem seus valores médios para cada característica conhecidos e, portanto podem ser controlados.

Nesse sentido o foco do presente trabalho é a **aplicação do algodão** (formação da mista²), pois a não utilização de boas técnicas de mistura do algodão pode levar a uma variação superior a 80% no produto, devido exclusivamente à matéria prima (EL MOGAHZY, 2005).

O objetivo proposto, então, é utilizar os fundamentos de pesquisa operacional para elaborar um modelo matemático de otimização que permita substituir o empirismo, hoje observado no processo de tomada de decisão na formação das mistas, por uma

² Mista é a denominação dada internamente à mistura de fardos de algodão.

metodologia mais independente dos conhecimentos individuais e que seja capaz de reduzir a variabilidade da matéria prima que entra no processo produtivo.

2.2 Processo de produção

Na Têxtil Brasil S.A. o algodão é armazenado no depósito sob a forma de fardos, conglomerados de 0,2 toneladas de algodão, e separados de acordo com a sua classificação e procedência. No próprio depósito são preparadas as **mistas**, mistura de fardos de algodão de diferentes classificações. Esse processo de preparação de mistas recebe o nome de **aplicação do algodão**. As mistas prontas seguem para a linha de abertura, como pode ser observado na Figura 3 que mostra de forma simplificada as etapas de um processo têxtil.

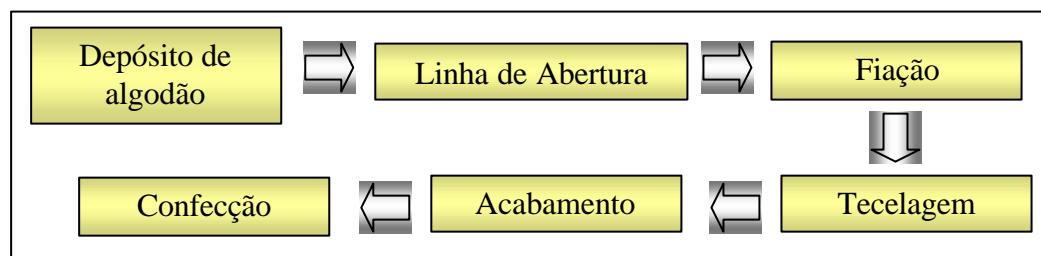


Figura 3 - Estrutura de um processo têxtil genérico – Elaborada pela autora.

Na linha de abertura a mista é disposta em fileira frente a um braço destacador (Figura 4) que recolhe camadas de algodão “varrendo” esta fileira do início ao fim para homogeneizar a mistura, que contém fardos de classificações diversas. Em seguida este algodão é encaminhado a diferentes máquinas com o objetivo principal de fazer sua limpeza. É nesta etapa do processo que as características do algodão devem ser homogeneizadas para diminuir a variação do produto final.



Figura 4 - Foto da linha de abertura. Uma mista em processo e uma aguardando sua entrada.

A fiação é a parte do processo na qual o fio é produzido. Os fios são encaminhados para a tecelagem, onde é elaborado o tecido. O acabamento é responsável por proporcionar as principais características de qualidade do tecido além de possibilitar a diferenciação deles. Na confecção, fase não realizada pela empresa, mas sim pelos seus clientes, o tecido é transformado em peças de roupas prontas.

Este trabalho está centrado entre as duas primeiras etapas deste processo, mais especificamente na escolha dos fardos de algodão que comporão a mista para uma determinada demanda de fios. A seleção dos fardos para um fio particular tem um alto número de combinações de qualidades de algodão que permitirão gerar este fio.

2.3 Classificação do algodão

Selecionar e agrupar os fardos em mistas é necessário para eliminar a variação natural das fibras do algodão e para alimentar a linha de produção com qualidade consistente da matéria prima. É essencial que a média das propriedades básicas da fibra em uma mistura seja semelhante durante todo um período para maximizar a eficiência das máquinas da fiação e para produzir o fio com a qualidade desejada.

A Figura 5 mostra mais detalhadamente o processo no qual o problema está inserido.

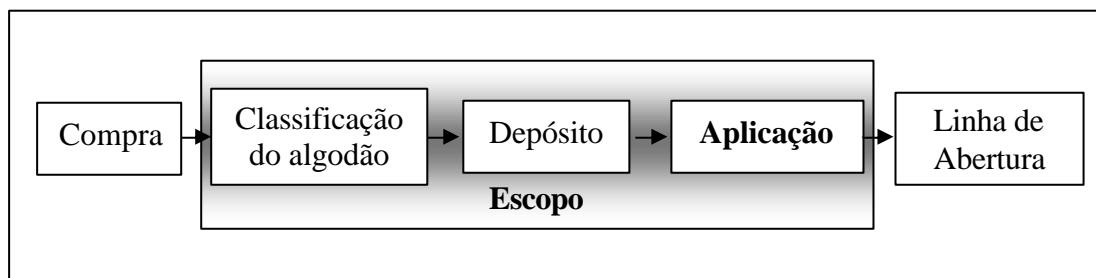


Figura 5 - Fluxograma do processo – Elaborada pela autora.

A grande maioria da compra de algodão é realizada na bolsa de mercados futuros (BM&F). O preço do algodão é dado pela bolsa e varia de acordo com o tipo do algodão. O tipo é definido por uma análise visual que verifica a cor do algodão, a quantidade de impurezas, a contaminação por substâncias como óleos, as manchas, as fibras imaturas, os defeitos de beneficiamento e o brilho. Como tais características são dadas após a colheita e beneficiamento do algodão, o contrato de compra sempre

é baseado no tipo padrão. Se na entrega o algodão for de um tipo melhor há um ágio no valor contratado e se for pior há um deságio.

Se houver falta de algodão na época da entre safra, dezembro a maio, este pode ser adquirido em negociação direta com o fornecedor ou com cooperativas que agrupam algodão de vários produtores.

Os fardos de algodão são recebidos quase que diariamente na fábrica e dispostos no chão do depósito. São retiradas duas amostras de cada fardo, uma do lado direito e outra do esquerdo, e enviadas para a classificação. As duas amostras são necessárias, pois em um mesmo fardo pode haver variação significativa das características das fibras de algodão.

Cada fardo de algodão que chega à empresa é classificado pelo departamento de Controle da Qualidade do Algodão (CQA) com o uso de uma máquina HVI (*High Volume Instruments*), um instrumento de alta precisão que permite a classificação computadorizada da fibra de algodão, de acordo com quatro características, a saber:

- Tipo: É definido de acordo com a cor, brilho e quantidade de impurezas (restos de folhas). Esta classificação segue as normas internacionais de classificação. O tipo padrão é o tipo 41. Na Tabela 1 tem-se todos os tipos de algodão que podem existir. O primeiro algarismo faz referência à quantidade de impurezas, quanto menor melhor é a qualidade do algodão e o segundo algarismo faz referência à cor do algodão: 0-branco com brilho, 1-branco, 2-levemente creme, 3-creme, 4-avermelhado;

_tipo				40		
	11	21	31	41	51	61
	12	22	32	42	52	62
	13	23	33	43	53	63
		24	34	44	54	

Melhor ←

Tabela 1- Tipos existentes de algodão – Elaborada pela autora.

- Redução: É um fator usado para diferenciar fardos que tenham resíduos em excesso, como caule e semente. Pode assumir duas classificações diferentes: padrão ou exceção. Se o fardo obtiver a segunda classificação indica que este deve ser usado com restrição, pois excesso de impurezas pode causar problemas nas máquinas da fiação se usados em grande quantidade. Um fardo pode, ainda, ser classificado como exceção se apresentar uma das classificações a seguir: *Micronaire* extra fino ou muito grosso ou categoria 1, independente da existência ou não de excesso de impurezas.
- Categoria: Esta classificação é dada pela união de características intrínsecas ao algodão como resistência da fibra e “fiabilidade” (facilidade de fiação) sendo obtida por meio de uma equação matemática, estabelecida internamente pela Têxtil Brasil S.A., que consiste em atribuir a cada característica uma nota e um peso. Pode-se ter categoria de 1 a 7.
- *Micronaire*: É definido pelo tamanho da fibra de algodão.

<i>Micronaire</i>	Tamanho da fibra (μm)
Extra Fino	<3,0
Muito Fino	3,0 a 3,4
Fino	3,5 a 3,8
Médio	3,9 a 4,3
Grosso	4,4 a 4,9
Muito Grosso	>4,9

Tabela 2 - Classificação do *micronaire* - Elaborada pela autora.

No ANEXO 1 – Códigos das características são apresentadas as codificações utilizadas neste trabalho para cada uma das classificações das características

apresentadas. Ressalta-se que foi utilizada uma codificação diferente da utilizada na empresa para preservar informações técnicas julgadas confidenciais pela empresa.

Como mostrado na Figura 6, da união de cada uma das classificações em cada uma das quatro características é obtida a classificação final do fardo de algodão. O fardo é, então, armazenado no depósito em uma pilha que tem somente outros fardos de mesma classificação final e procedência (estado de origem).

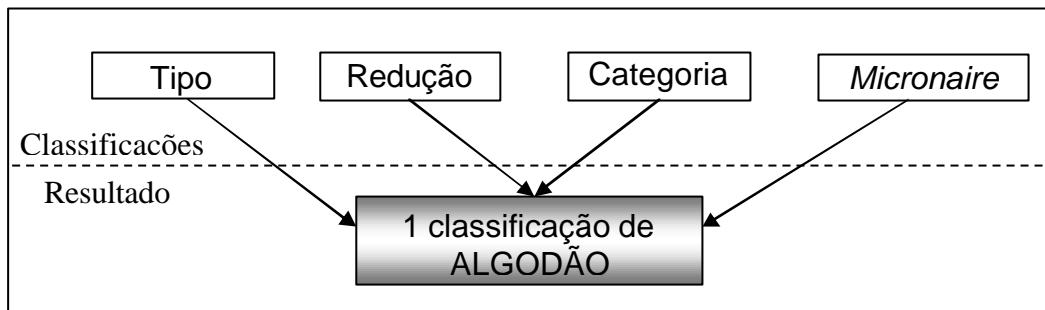


Figura 6 - Classificação do Algodão - Elaborada pela autora.

Dessa forma no depósito de algodão têm-se diversas pilhas, mas em cada uma delas só há uma classificação de algodão de uma única procedência.

A única exceção a este tipo de empilhamento são os fardos que contém algodão com alto grau de pegajosidade. A pegajosidade do algodão pode ser devida às características do próprio algodão como pode ser causada por manchas de óleo. Caso o algodão apresente esta característica ele é alocado a uma pilha com fardos com esta mesma característica independentemente de sua procedência, mas, também, somente com fardos de mesma classificação. A classificação do fardo como pegajosidade atua, na prática, como uma nova procedência, pois origina uma nova pilha no estoque.

Em síntese o processo de classificação pode ser esquematizado de acordo com a Figura 7, na qual um exemplo com 12 fardos de uma única procedência (procedência 1) é apresentado. Os fardos, ao chegarem à empresa, são dispostos no depósito e recebem uma numeração provisória (F1, F2, ..., F12). Essa mesma numeração acompanha as duas amostras que são retiradas dos fardos, também, nesse momento.

As amostras seguem para a classificação onde são analisadas as suas características quanto ao Tipo, Redução, Categoria e *Micronaire*, obtendo, então, a classificação final do fardo, que passa a completar a numeração do mesmo. Com este processo acabado é liberada uma ordem de empilhamento dos fardos, indicando em qual pilha cada fardo deve ser armazenado, sempre preservando a regra de que em cada pilha só há uma classificação final e de uma única procedência.

Após a classificação e empilhamento, o fardo está disponível para a utilização. Os fardos entram no processo têxtil sob a forma de conjunto de fardos de modo a atender determinadas características especificadas para a produção de um tipo de fio.

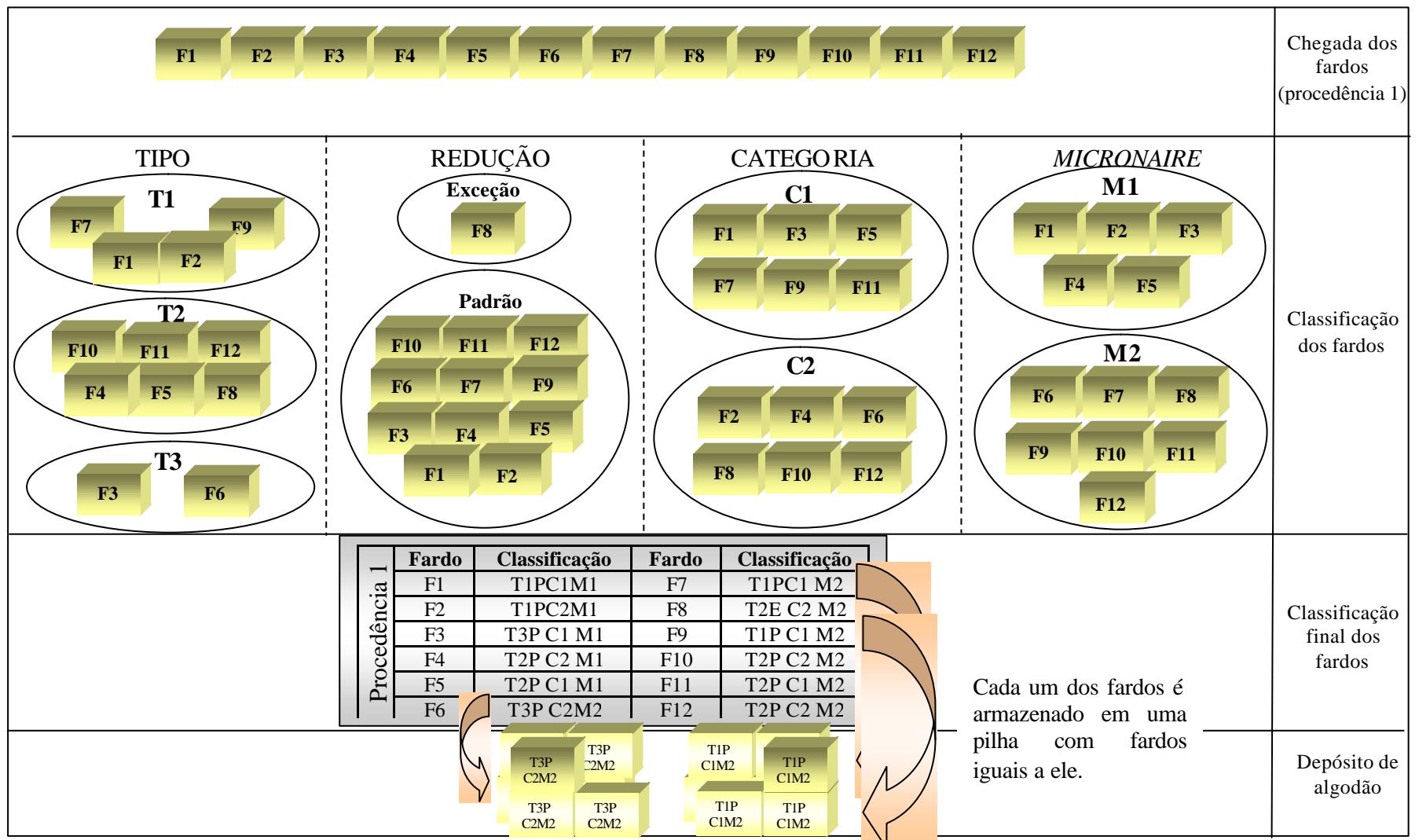


Figura 7 - Classificação do algodão - Elaborada pela autora.

2.4 Aplicação do Algodão

A seleção dos fardos e a montagem da mista, processo denominado de aplicação do algodão, assim como a classificação, é feita pelo departamento de Controle da Qualidade do Algodão (CQA). O CQA é responsável pela definição das mistas em cinco das sete unidades industriais da empresa. Nas demais plantas a aplicação é realizada sem o auxílio do CQA.

Para realizar a aplicação o CQA recebe da área de planejamento as quantidades de mistas de cada mistura³ necessárias para produzir os tipos de fios que cada planta necessita em um dado período.

Quando há a necessidade do preparo das mistas devem ser consideradas as classificações finais do fardo para a escolha do melhor conjunto de fardos que atende às especificações da mistura.

A dificuldade nesse sentido é escolher dentre as várias classificações de fardos de algodão existentes no depósito o conjunto deles que atenda às especificações e que garanta que ao longo do tempo será possível reproduzir suas características médias ou tenha variações graduais. A dificuldade é agravada pela grande quantidade de fardos envolvida em cada aplicação.

Ter mistas seqüenciais semelhantes é importante e necessário para evitar problemas na fabricação, como excesso de nuances no tingimento, uma vez que em um mesmo tecido é possível encontrar fios de mistas diferentes (misturas diferentes, mas da mesma mistura).

Entre uma aplicação e outra chegam novos fardos de algodão que podem ter suas características médias diferentes da do estoque. Todavia esta mudança não é tão significativa na média das características, já que a quantidade de fardos que chega

³ Mistura deve ser entendida, neste ponto em diante, como sendo a especificação das faixas de composição das mistas a serem realizadas. Assim o planejamento envia pedidos expressos como X mistas da mistura Y, onde X é a quantidade de mistas e Y é o nome da mistura.

representa aproximadamente 10% do estoque. Porém se considerado um longo período esta variação pode ser substancialmente grande.

Essa mudança gradual do estoque é uma complicação a mais na aplicação do algodão, pois na realização da aplicação considera-se a situação momentânea do estoque, sem considerar que na última aplicação ou na próxima aplicação o estoque e as quantidades de mistas de cada mistura necessárias diferem dos valores atuais.

Apesar de cada unidade ter uma grande variedade de fios, há uma única mistura para cada tipo de fio de uma planta, com isto tem-se um total de 14 misturas (apesar de haver uma mistura para cada fio, cada mistura pode servir para mais de um determinado tipo de fio). As misturas são denominadas por nomes de cores. A principal diferença entre elas é a qualidade e consequentemente o seu custo.

As especificações para as misturas são dadas de duas maneiras: faixa para cada uma das características ou pela média das características. Esta segunda especificação deriva da primeira e surgiu da dificuldade de respeitar a faixa especificada.

Especificação por faixa da característica: Essa especificação foi definida analisando a qualidade necessária para o fio e seu custo, ou seja, qual a mistura com custo razoável capaz de gerar um fio apropriado para atender as necessidades de resistência, afinidade de tingimento entre outras características.

Um exemplo dessa especificação é mostrada na Tabela 3. A unidade, porcentagem, é em relação à quantidade total de fardos em uma mista. Como pode ser observado é dado um valor mínimo (Límite Inferior de Especificação, LIE), um máximo (Límite Superior de Especificação, LSE) e um nominal (*Standard, Std*). Se aplicado na mista o valor nominal de todas as classificações esta pode ser chamada de mista ideal, isto é, aquela que atende em sua plenitude a qualidade e o custo.

			LIE	Std	LSE
Mistura Azul	Tipo	31	0%	10%	25%
		41	75%	80%	80%
		51	0%	10%	25%
	Redução	Padrão	90%	100%	100%
		Exceção	0%	0%	10%
	Categoria	1	0%	0%	10%
		3	80%	95%	100%
		5	0%	5%	20%
	<i>Micronaire</i>	Fino	0%	0%	20%
		Médio	80%	100%	100%

Tabela 3 - Exemplo de especificação da mistura - Elaborada pela autora.

Dada a dificuldade de fazer a aplicação garantindo a continuidade das características usando esta especificação sem o auxílio de ferramentas apropriadas ela, hoje, não está sendo seguida.

Especificação por média: Como obedecer a especificação por faixa da característica não é trivial quando é necessário fazer a aplicação do algodão para mais de uma mistura e para mais de uma mista de cada mistura a empresa adaptou as especificações para um modelo denominado de especificação pela média.

Essa média é calculada tomando por base a faixa de especificação. A partir dessas faixas e dos valores médios de cada classificação (Tabela 2) é calculada a média da característica. Só é possível especificar desta maneira a categoria e o *micronaire*.

A Tabela 4 apresenta um exemplo de cálculo da média para a característica *micronaire*, da mesma mistura azul já especificada. Os valores LIE e LSE foram obtidos da especificação por faixa para esta mistura (Tabela 3) e a coluna que mostra o valor médio da classificação foi obtida como sendo o ponto médio das faixas de cada classificação do *micronaire* mostradas na Tabela 2.

Especificação pela média			Valor médio	Cálculo	Especificação pela média
	LIE	LSE			
<i>Micronaire</i>	Fino	0%	20%	3,65	
	Médio	80%	100%	4,1	4,0625±0,0375

Tabela 4- Exemplo de cálculo de limites de especificação - Elaborado pela autora.

O valor 0,0375 é obtido calculando-se a diferença entre o valor médio encontrado (4,0625) e o valor referente ao LIE (4,1) ou ao LSE (4,025).

Esse modelo de especificação é mais fácil de seguir, pois os fardos da mista podem ter qualquer *micronaire*, não somente fino e médio, desde que o *micronaire* médio da mista esteja dentro da faixa aceitável. Por se tratar de uma adaptação da outra especificação, este modelo de aplicação não é ideal, entretanto por permitir mais variabilidade de classificações de algodão é a especificação a qual está orientando a aplicação feita hoje na empresa. A aplicação feita por esta especificação não é a ideal porque apesar dos fardos serem classificados somente quanto às 4 características descritas, sabe-se que este apresenta muitas outras que podem ser dependentes ou independentes destas, não se sabendo o resultado gerado em sua mescla.

Tem-se, ainda, uma especificação superior e inferior de liberação (LIL e LSL, respectivamente), que permite um intervalo de variação maior que os limites de especificação. Estes limites são modificados de acordo com o estoque, isto é, se em um determinado ano, por exemplo, recebe-se muito mais algodão do tipo D que dos demais é aumentado a percentagem aceita desta classificação nas misturas.

Atualmente, a aplicação do algodão é feita quase que exclusivamente observando a última aplicação, ou seja, tenta-se repetir a aplicação passada e caso falte uma classificação específica procura-se o fardo disponível com as características mais próximas do faltante.

Com a mista definida, calcula-se a média das características *micronaire* e categoria, caso alguma destas características não esteja respeitando a especificação alguns fardos são trocados e calculada a nova média. Este processo é feito até que a mista

respeite a faixa média especificada. Para as características tipo e redução não é feito nenhum procedimento de conferência.

O grande problema de realizar a aplicação desta maneira surge quando no estoque não há fardos semelhantes aos faltantes resultando em uma variação das características muito grande se comparada a mista passada com a nova. Portanto, é necessário que seja feito um modelo que minimize a possibilidade de acontecer essas variações drásticas, que provocam a necessidade de mudanças nas regulagens das máquinas, entre outros custos envolvidos e problemas gerados.

Para definir uma mistura ainda tem-se a quantidade de fardos que a compõe. Esta é determinada de acordo com o tamanho da linha de abertura de cada uma das plantas. Existem misturas de 15 a 93 fardos e ressalta-se que não é possível dividir o fardo de algodão.

A Figura 8 mostra de forma sucinta o problema descrito, por meio de um exemplo no qual 2 misturas (azul e verde) de faixas de composição diferentes são realizadas.

Observe que para cada mistura a quantidade de mistas requisitada é distinta. As etapas seguintes ilustram os procedimentos que deveriam ser realizados para seleção de tais mistas.

Do modo como a aplicação é feita hoje na empresa não há um critério definido para decidir qual a melhor mista a ser usada. Como dito anteriormente, a mista é montada de acordo com a mista passada tentando repeti-la. Nesse processo não são analisadas as alternativas de mistas, mesmo porque elas sequer são geradas. O único objetivo definido é atender às médias especificadas. Assim, este trabalho tem, também, por meta definir um critério de alocação que seja capaz de melhorar as aplicações dentro de um horizonte de tempo.

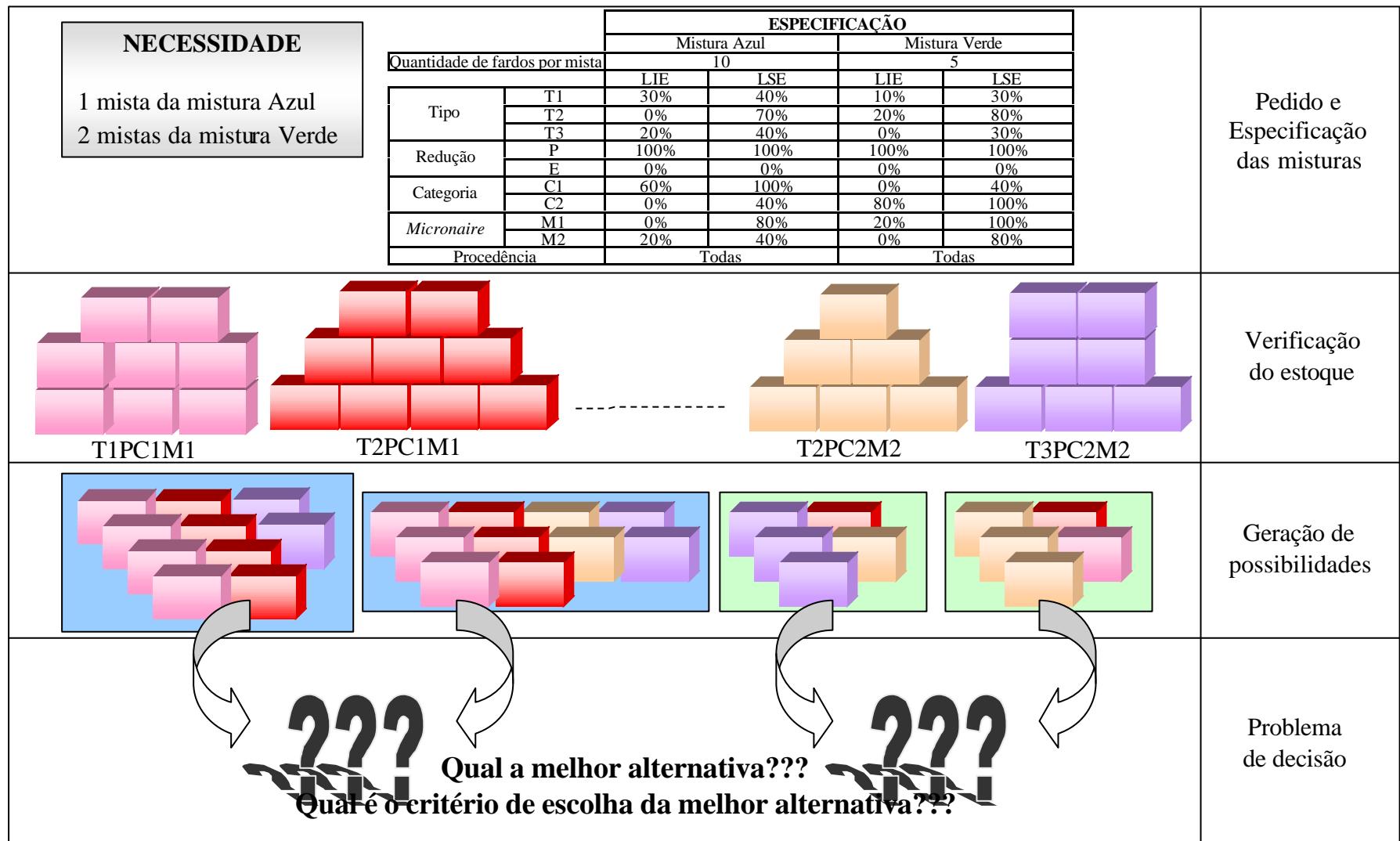


Figura 8 - Aplicação do algodão - Elaborada pela autora.

CAPÍTULO 3

REVISÃO DA LITERATURA

3 REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo é dedicado a apresentar alguns conceitos relacionados à Pesquisa Operacional e as classificações que as formulações matemáticas podem ter, ressaltando suas diferenças. Serão, ainda, explicados alguns problemas semelhantes ao descrito no capítulo 2 encontrados na literatura.

Por fim será mostrado um modelo proposto por El Mogahzy e Chewning (2001) para a solução do problema da mistura de algodão, que tem algumas características semelhantes ao problema em análise neste trabalho.

3.1 Pesquisa Operacional

A Pesquisa Operacional (PO) consiste, Segundo Goldbarg e Luna (2000), em uma disciplina que congrega diversas técnicas de modelagem matemática e que tem por objetivo determinar as melhores condições de funcionamento para um determinado sistema. Ainda de acordo com os mesmos autores, modelos são representações simplificadas da realidade que preservam, para determinadas situações e enfoques, uma equivalência adequada.

O estudo de técnicas de PO provê ao tomador de decisão uma base científica para a resolução de problemas que envolvem a interação de diversos componentes ou variáveis. Na maioria dos casos a melhor solução (ou solução ótima) é obtida pela maximização ou minimização de determinada função dessas variáveis, denominada de função objetivo. As variáveis presentes nesta função são denominadas de variáveis de decisão e estão sujeitas a restrições de igualdade ou desigualdade.

A complexidade dos problemas bem como a quantidade de variáveis envolvidas exige a utilização de recursos computacionais para a realização de cálculos. Daí a forte relação entre essas duas áreas: computação e pesquisa operacional.

A Pesquisa Operacional antes restrita aos campos científicos e às grandes corporações pela capacidade limitada dos computadores então existentes, recebeu um grande impulso, nos últimos tempos, com a evolução da capacidade de processamento dos computadores e o desenvolvimento de *softwares* específicos. Já

em 1982, Ignizio afirmava que quase todos os computadores vinham com uma rotina de solução de problemas de programação linear.

De uma maneira resumida o processo de modelagem de um problema de PO passa pelas etapas descritas na Figura 9.

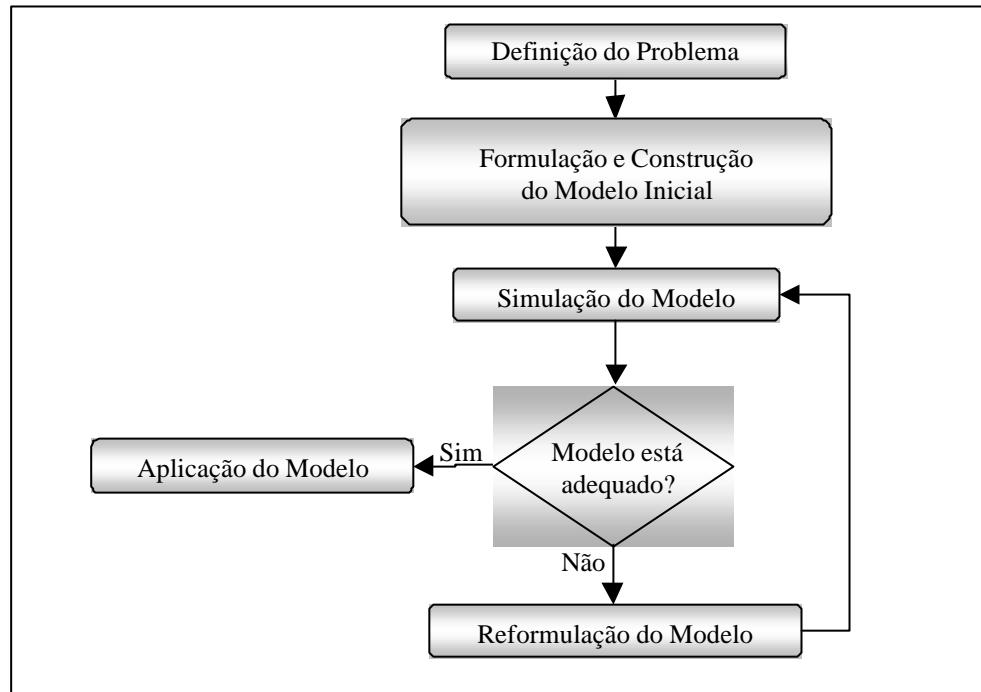


Figura 9 - Etapas de um Processo de Modelagem - Adaptado de Goldbarg e Luna, 2000.

Existem tipos diferentes de modelos de programação matemática. Entre estes tipos tem-se (WINSTON, 1995):

- **Problemas de programação linear (PL):** caracterizam-se por terem a função que se deseja maximizar (ou minimizar) descrita por uma função linear. As restrições à que esta função objetivo está sujeita são definidas como equações ou inequações, também, lineares. Qualquer variável do modelo deve estar associada a uma restrição de não-negatividade ($x > 0$) ou não deve ter restrição de sinal (variável real);
- **Problemas de programação não-linear (PNL):** diferenciam-se dos problemas de programação linear por possuírem a função objetivo ou alguma das restrições representada por uma função não linear. As variáveis estão sujeitas às mesmas condições dos PL;

- **Problemas de programação linear inteira (PLI):** uma ou mais variáveis assumem apenas valores inteiros (variáveis inteiras). A função objetivo, bem como as restrições são definidas por funções lineares.

O problema descrito no capítulo 2 enquadra-se na classificação de programação linear inteira, já que como dito não é possível selecionar uma fração de fardo para compor a mista.

Os problemas de programação linear são mais difundidos que os de programação não-linear ou os de programação inteira, isto pois os primeiros tem resoluções mais fáceis e rápidas.

Para verificar o porquê a resolução de problemas lineares é mais rápida que a solução de problemas não-lineares ou inteiros Willians (2005) sugere um exemplo. Suponha um problema com duas variáveis x_1 e x_2 maiores que zero que compõem uma função objetivo sujeita a outras duas restrições. Como há somente duas variáveis estas restrições delimitam, no plano, uma região que contém todas as soluções viáveis para o problema.

A programação linear possui uma propriedade que diz que a solução ótima é sempre um dos vértices da região delimitada pelas restrições. Assim o método de solução utilizado para resolver problemas de programação linear não necessita examinar todas as soluções. A análise dos vértices já é o suficiente para garantir a solução ótima.

Esta mesma propriedade não é encontrada nos modelos não-lineares e nem nos inteiros tendo que o método de solução pesquisar a região das soluções viáveis. Isto pode gerar um tempo computacional não viável.

No caso da resolução do problema de programação inteira possuir um tempo computacional inviável pode-se optar por resolver o seu problema linear correspondente e então, arredondar a solução. Segundo Moore e Weatherford (2001) esta estratégia simples e plausível gera, em muitos casos, soluções não viáveis ou soluções muito diferentes da solução ótima.

Devido à dificuldade de solucionar problemas de programação inteira, segundo Goldbarg e Luna (2000) tem sido verificado, nos últimos anos, o surgimento de um significativo conjunto de técnicas e algoritmos computacionalmente muito eficientes, mas que não garantem a solução ótima do problema de programação inteira. Esses algoritmos são denominados de heurísticas.

3.2 Casos Análogos

Situações em que diferentes ingredientes devem ser misturados em alguma proporção desejada para produzir bens são conhecidos na literatura por “Problemas da mistura” (*blending problems*). Estes problemas são, em geral, formulados como problemas de programação linear (PL).

O problema descrito no capítulo anterior assemelha-se aos problemas da mistura, já que existe uma variedade de classificações de algodão para produzir um bem final que é o fio, representado no problema pela mista gerada. A diferença entre o problema descrito no capítulo anterior e os problemas da mistura é a programação linear. Na aplicação do algodão a quantidade de fardos alocados deve ser um número inteiro o que, portanto, o torna um problema de programação inteira.

Em Winston (1995) são enumerados alguns casos onde é possível encontrar problemas semelhantes ao objeto de estudo deste trabalho. São eles:

1. Mistura de vários tipos de óleo (petróleo) para produzir diferentes tipos de gasolina;
2. Mistura de produtos químicos para a fabricação de outros produtos químicos;
3. Mistura de tipos de ração para conseguir, com um custo baixo, uma ração completa para o gado;
4. Mistura de minérios para a obtenção de uma qualidade específica;
5. Mistura de vários tipos de papel para a realização de papel reciclado de qualidades variadas.

Dentre estas aplicações de problema da mistura a mais famosa é a da mistura de petróleo. Segundo Willians (2005) o maior uso de programação linear tem ocorrido nas indústrias de refinamento de petróleo. O problema consiste, basicamente, na escolha dos tipos de petróleo para a produção de diferentes tipos de gasolina de forma a maximizar o lucro.

O exemplo a seguir, que ilustra a formulação do problema do petróleo, foi adaptado de Winston (1995).

O enunciado do problema pode ser entendido como: uma empresa produz n tipos de gasolina que são obtidos pela mistura de m tipos de petróleo com um custo de produção c por barril. Os tipos de gasolina são especificados e diferenciados por sua octanagem média e cada tipo de petróleo possui uma octanagem conhecida. Cada gasolina tem uma demanda D_j e é vendida por um preço G_j e cada tipo de petróleo tem uma oferta O_i e é adquirido por um preço P_i .

A variável de decisão é definida como x_{ij} - quantidade de barril de petróleo do tipo i utilizados na produção da gasolina j . O lucro e, portanto, a função objetivo é a soma dos ganhos com a venda dos tipos de gasolina menos os custos de compra do petróleo menos o custo de transformação. Assim o problema pode ser representado por:

$$\text{Max} - Z = \sum_{j=1}^n G_j \sum_{i=1}^m x_{ij} - \sum_{i=1}^m P_i \sum_{j=1}^n x_{ij} - c \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m x_{ij} \quad (1)$$

Sujeita a:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \leq O_i \quad p / i=1, \dots, m \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} \geq D_j \quad p / j=1, \dots, n \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_{ij} \leq Cap \quad (4)$$

$$\frac{\sum_{i=1}^m T_i x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} \geq LT_j \quad p / j = 1, \dots, n \quad (5)$$

A equação (2) está limitando a quantidade de barris de cada tipo i de óleo utilizado para a produção de todos os tipos de gasolina à sua oferta. Tendo como hipótese que cada barril de óleo gera um barril de gasolina, a restrição (3) obriga que a quantidade produzida de cada tipo de gasolina seja igual ou superior à sua demanda. A restrição (4) limita a produção total à capacidade instalada da fábrica. Na restrição (5) T_i é a octanagem do óleo i e LT_j é a octanagem mínima que a gasolina j deve possuir, portanto, o lado esquerdo de (5) representa a octanagem média da gasolina. A inequação (5), da maneira como está escrita, não é linear, mas é possível torná-la linear. Para realizar esta transformação deve-se multiplicar os dois lados da inequação pelo denominador ($\sum_{i=1}^m x_{ij}$), obtendo, assim, um problema de programação linear.

3.3 Modelo para a mistura de algodão

O uso de programação linear para a otimização do custo do algodão começou no início dos anos 60 por Ram, Gupta e Sackdev (1964) e por Bezdundyi (1965). Trabalhos mais recentes realizados por El Mogahzy (1992) e El Mogahzy e Chewning (2001) utilizam técnicas mais avançadas de programação linear para determinar o custo ótimo do *mix* de algodão, sujeitos a vários tipos de restrições incluindo qualidade, estoque e restrições de variabilidade.

Seu modelo supõe uma função objetivo que minimize o custo. O custo deve ser analisado para todos os diferentes componentes que compõem a mistura. Assim, ela pode ser representada por:

$$\text{Min}_- Z = \sum_{i=1}^k a_i c_i$$

Onde Z é o custo total, a_i é a proporção do tipo i de algodão na mistura e c_i é o custo deste algodão. O custo total da matéria prima consiste, em geral, em custos de *setup*, custos de transportes, de estoque e custos de compra tais como, preço do algodão e mão de obra.

A primeira restrição proposta é que a soma das proporções dos k tipos de algodão seja igual a 1 (ou 100%).

$$a_1 + a_2 + \dots + a_k = 1$$

As restrições de qualidade são expressas como

$$a_1 Q_1 + a_2 Q_2 + \dots + a_k Q_k \leq Q^* \text{ ou } \geq Q^*$$

Sendo Q_i o valor médio da qualidade correspondente ao tipo de algodão e Q^* representa a qualidade limite, máxima ou mínima, desejada.

Como, explicado por El Mogahzy e Chewning (2001) a compra de algodão ocorre em diferentes momentos do ano, porque ter espaço suficiente para estocar toda a demanda de algodão do ano é impraticável e, ainda, como explicado no capítulo anterior, a compra pode aguardar por um momento de mercado favorável, já que o preço de sua aquisição é regulado pela bolsa de valores. Assim, há a necessidade de introduzir no modelo uma restrição de estoque. A restrição sugerida pode ser enunciada como: $a_A \leq 0,60$, o que significa que a proporção do algodão tipo “A” na mistura deve ser menor ou igual a 60% do total da mistura. Esta é a restrição sugerida, mas é enfatizado em seu modelo que outras formas de restrição de estoque podem ser empregadas.

Por fim, é definida uma restrição de variabilidade para os componentes da mista. A respeito da variabilidade com El Mogahzy e Chewning (2001) afirmam que ter pouca variabilidade das características entre mistas é um dos principais desafios no processo de escolha dos fardos de algodão. Para estes autores o consumo de cada classificação de algodão deve ser realizado na proporção de sua quantidade na população (estoque), desta forma as mistas resultantes refletem as características presentes no estoque.

Os autores ressaltam ainda, que, na prática, o estoque pode sofrer variações em suas características. Sendo assim, o processo de formação das mistas deve permitir que a composição das mistas seja modificada. Porém, mesmo que a variação do estoque seja repentina e grande a variação nas mistas deve ser realizada gradualmente. Assim, a composição do estoque nem sempre pode ser refletida pelas mistas.

A Figura 10 ilustra esta situação para uma característica do algodão. Inicialmente para esta característica, o estoque possui uma certa distribuição que é refletida nas mistas realizadas. Com a chegada de novos fardos a distribuição do estoque é modificada fazendo com que as mistas sejam gradualmente modificadas até atingir a mesma distribuição do novo estoque.

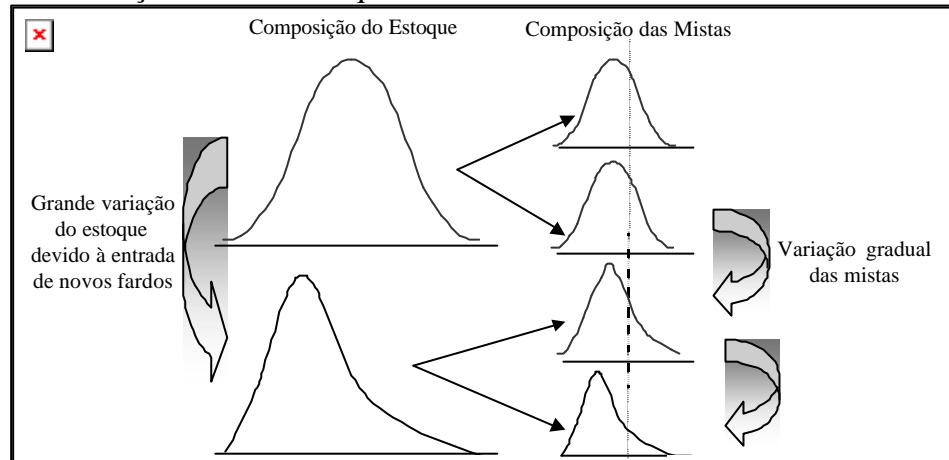


Figura 10- Distribuição do estoque e das mistas ao longo do tempo - Adaptado de El Mogahzy e Chewning, 2001.

Modelos de minimização de custo do *mix* de algodão formam os únicos encontrados na literatura, entretanto estes modelos apresentam características que os diferenciam do descrito no capítulo 2. A primeira grande diferença entre eles é o objetivo na formação da mistura. Enquanto o modelo encontrado assume uma importância gerencial de minimização de custos o modelo pretendido para este trabalho tem um cunho mais prático. Esta diferença pode ser observada já na definição da variável de decisão. Definida no modelo de El Mogahzy e Chewning (2001) como uma proporção da mistura, esta não permite ao modelo definir com precisão quais os fardos que realmente estarão presentes na mista, apenas indicam qual a proporção que uma característica deve ter na mistura.

CAPÍTULO 4

MODELO PROPOSTO



4 MODELO PROPOSTO

O presente capítulo dedica-se a descrição do modelo elaborado para resolver o problema de aplicação do algodão.

O capítulo está dividido em duas etapas. A primeira dedica-se à definição do critério de escolha das melhores alternativas de mistas. A segunda apresenta o modelo proposto, descrevendo com detalhes o significado de cada uma de suas partes.

4.1 Medida de desempenho

Da forma como a aplicação é realizada atualmente na empresa há dificuldades para definir uma mista capaz de atender às especificações estabelecidas e que possa ser repetida ao longo do tempo. Se é difícil conseguir uma única mista torna-se, praticamente, impossível gerar alternativas de composição de mistas, portanto, não há na empresa um critério definido de escolha do melhor conjunto, pois hoje não há esta possibilidade de escolha. Sabe-se, no entanto, que uma boa aplicação é aquela capaz de ser repetida na próxima aplicação, ou seja, que não traga variabilidade para o processo de fabricação no decorrer do tempo.

Tendo essa premissa, foram sugeridas algumas idéias à empresa. A seguir são descritas as principais, mostrando suas vantagens e desvantagens.

- Maximizar o valor do estoque: Apesar de parecer, a princípio, absurdo, este critério tem como objetivo manter no estoque os tipos de algodão mais caros e, portanto de melhor qualidade. Sua principal vantagem surge em épocas de escassez de algodão, quando a dificuldade de encontrar tipos melhores de algodão no mercado é grande. Se for mantido no estoque o melhor algodão possível, então, no período de escassez tem-se armazenado tipos suficientes para a produção de todas as qualidades de mistura. O custo não estaria sendo aumentado, pois o gasto já ocorreu e o consumo de tipos melhores ou piores, dentro da especificação, não agrega ou desagrega valor ao tecido final. Entretanto este critério não faz nenhuma referência à repetibilidade ou à mudança gradual da composição da matéria prima.

- Minimizar a diferença entre a composição percentual das características do estoque real e a composição percentual das características do estoque ideal: O estoque ideal é calculado tomando por base a demanda da mistura no período considerado e seu valor nominal para cada característica. Este critério busca fazer a cada aplicação uma mista mais próxima da mista ideal, pois o estoque real estaria cada vez mais próximo ao estoque ideal. A grande desvantagem desse critério é que ele sempre buscaria variar o máximo possível a mistura para alcançar o estoque ideal. Além disso, como o estoque ideal é calculado para um conjunto de misturas não é garantido que as mistas convergiriam para a mista ideal.
- Manter a composição percentual de cada classificação no estoque antes e depois da aplicação: Manter essa proporção objetiva diminuir a variabilidade da matéria prima que entra no processo, já que controlar a variabilidade no decorrer do processo não é possível. Conservar a proporção de cada classificação no estoque é, na prática, manter constante os valores médios das características, o que facilitará a realização de uma aplicação posterior semelhante, em suas características, a atual. Além disso, a possibilidade de haver uma mudança drástica das características de uma mista para outra é minimizada, porque as mudanças vão sendo feitas de maneira lenta e gradual.

Em conjunto com a empresa definiu-se que o melhor critério para a alocação é o terceiro isto, pois ele é o que permite a menor variação entre mistas seqüenciais.

4.2 O modelo

Definido o critério de aplicação do algodão é possível fazer um modelo de programação linear inteira do problema que apresenta o seguinte enunciado:

“Dadas as especificações das misturas, a quantidade de mistas necessária de cada mistura, a variação percentual máxima permitida entre a mista passada e a atual⁴, a composição da mista passada de cada mistura e a composição em fardos do estoque,

⁴ Por mista passada entende-se a mista resultante da última aplicação e por mista atual a mista que será formada pela aplicação em questão.

encontrar os fardos que formam as mistas de tal forma que a composição do estoque final seja a mais semelhante possível da composição do estoque inicial”.

Este mesmo enunciado pode ser visualizado na Figura 11.

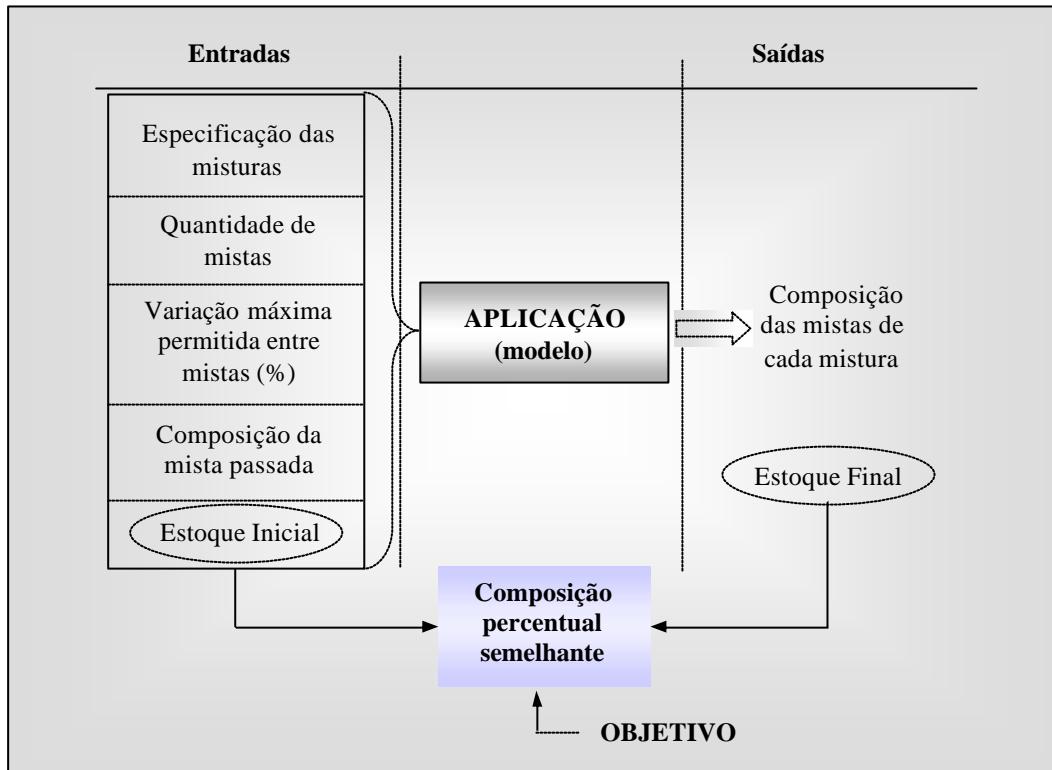


Figura 11 - Representação do modelo - Elaborada pela autora.

4.2.1 Descrição das variáveis e parâmetros

A tabela a seguir mostra os índices utilizados na modelagem.

Índice	Descrição	Intervalo de variação
t	Tipo	(1,...,23)
r	Redução	(1,2), sendo $r=1$ padrão e $r=2$ exceção
k	Categoria	(1, 3, 5)
m	<i>Micronaire</i>	(1,...,5), sendo $m=1$ o <i>micronaire</i> mais fino e $m=5$ o mais grosso.
p	Procedência	(1,...,P*)
l	Cor da mistura	(1,...,14)
i	Índice auxiliar	

* A quantidade de procedência no estoque é variável e pode ser modificada sempre que for decidido comprar algodão de outra procedência por isto “P” não está definido.

Tabela 5 - Índices do modelo - Elaborada pela autora.

Na Tabela 6 estão definidos os parâmetros do modelo.

Parâmetro	Significado
Eo_{trkmp}	Estoque inicial de fardos do tipo t , redução r , categoria k , <i>micronaire</i> m e procedência p .
Fo_{trkml}	Quantidade de fardos de algodão do tipo t , redução r , categoria k , <i>micronaire</i> m e procedência p aplicada à mistura l na mista passada.
Q_l	Quantidade de fardos necessários em uma mista para a mistura l .
D_l	Demande de mistura l em número de mistas em um período considerado.
$VT \max_{tl}$	Variação percentual máxima permitida entre a mistura l passada e a mistura l atual para a característica tipo t .
$VR \max_{rl}$	Variação percentual máxima permitida entre a mistura l passada e a mistura l atual para a característica redução r .
$VC \max_{kl}$	Variação percentual máxima permitida entre a mistura l passada e a mistura l atual para a característica categoria k .
$VM \max_{ml}$	Variação percentual máxima permitida entre a mistura l passada e a mistura l atual para a característica <i>micronaire</i> m .
$VP \max_{pl}$	Variação percentual máxima permitida entre a mistura l passada e a mistura l atual para a característica procedência p .
ST_{tl}	Límite superior de liberação do tipo t na mistura l (em porcentagem)
IT_{tl}	Límite inferior de liberação do tipo t na mistura l (em porcentagem)
SR_{rl}	Límite superior de liberação da redução r na mistura l (em porcentagem)
IR_{rl}	Límite inferior de liberação da redução r na mistura l (em porcentagem)
SC_{kl}	Límite superior de liberação da categoria k na mistura l (em porcentagem)
IC_{kl}	Límite inferior de liberação da categoria k na mistura l (em porcentagem)
SM_{ml}	Límite superior de liberação do <i>micronaire</i> m na mistura l (em porcentagem)
IM_{ml}	Límite inferior de liberação do <i>micronaire</i> m na mistura l (em porcentagem)
SP_{pl}	Límite superior de liberação da procedência p na mistura l (em porcentagem)
IP_{pl}	Límite inferior de liberação da procedência p na mistura l (em porcentagem)
NC_k	Ponto médio da faixa para a classificação da categoria k
NM_m	Ponto médio da faixa para a classificação do <i>micronaire</i> m
MSC_l	Valor superior que a média das classificações da categoria pode assumir na mistura l

Parâmetro	Significado
MIC_l	Valor inferior que a média das classificações da categoria pode assumir na mistura l
MSM_l	Valor superior que a média das classificações do <i>micronaire</i> pode assumir na mistura l
$MIC_{l'}$	Valor inferior que a média das classificações do <i>micronaire</i> pode assumir na mistura l'
PT	Peso atribuído à variação percentual do estoque nas diversas classificações de tipos.
PR	Peso atribuído à variação percentual do estoque nas classificações de redução.
PC	Peso atribuído à variação percentual do estoque nas diversas classificações de categoria.
PM	Peso atribuído à variação percentual do estoque nas diversas classificações de <i>micronaire</i> .
PP	Peso atribuído à variação percentual do estoque nas diversas procedências.

Tabela 6- Parâmetros do modelo - Elaborada pela autora.

Observe que para delimitar a faixa aceitável de cada classificação foi utilizado, para o modelo, os limites de liberação e não os de especificação, isto pois, este último não deve mudar entre uma aplicação e outra, já o primeiro tem a liberdade de ser modificado de modo a se adequar ao estoque. Sem esta possibilidade de adequação poderia ocorrer em alguma aplicação um estoque insuficiente para a realização de todas as mistas, entretanto a aplicação deve ser capaz de realizar uma mista para que a produção não seja interrompida.

Na Tabela 7 tem-se as variáveis de decisão a serem consideradas para a elaboração do modelo.

Variável	Tipo	Significado
Ef_{trkmp}	Real	Estoque final de fardos do tipo t , redução r , categoria k , <i>micronaire m</i> e procedência p .
QEf	Real	Quantidade total de fardos no estoque final.
F_{trkmpl}	Inteira	Quantidade de fardos de algodão do tipo t , redução r , categoria k , <i>micronaire m</i> e procedência p alocada a uma mistura da mistura l .
VT_{tl}	Real	Diferença da quantidade de fardos de algodão do tipo t entre a mistura l atual e a mistura l passada.
VR_{rl}	Real	Diferença da quantidade de fardos de algodão da redução r entre a mistura l atual e a mistura l passada.
VC_{kl}	Real	Diferença da quantidade de fardos de algodão da categoria k entre a mistura l atual e a mistura l passada.
VM_{ml}	Real	Diferença da quantidade de fardos de algodão do <i>micronaire m</i> entre a mistura l atual e a mistura l passada.
VP_{pl}	Real	Diferença da quantidade de fardos de algodão da procedência p entre a mistura l atual e a mistura l passada.
$A_i \ B_i \ C_i$ $D_i \ G_i \ H_i$ $I_i \ J_i \ K_i$ $L_i \ M_i \ N_i$ $O_i \ P_i \ Q_i$ $R_i \ S_i \ T_i$ $U_i \ V_i$	Real	Variáveis auxiliares para linearização do problema.

Tabela 7 - Variáveis do modelo - Elaborada pela autora.

4.2.2 Formulação do problema

A formulação do problema é mostrada a seguir. O significado de cada conjunto de equações é apresentado após a formulação.

- **Função Objetivo**

$$\begin{aligned}
 MinZ = & PT \times \sum_{i=1}^T (A_i + B_i) + PR \times \sum_{i=1}^R (C_i + D_i) + PC \times \sum_{i=1}^K (G_i + H_i) + \\
 & + PM \times \sum_{i=1}^M (I_i + J_i) + PP \times \sum_{i=1}^P (K_i + L_i) + 10^{-10} \times \left(\sum_{i=1}^T (M_i + N_i) + \sum_{i=1}^R (O_i + P_i) + \right. (1) \\
 & \quad \left. + \sum_{i=1}^K (Q_i + R_i) + \sum_{i=1}^M (S_i + T_i) + \sum_{i=1}^P (U_i + V_i) \right)
 \end{aligned}$$

- Restrições:

$$\left(\frac{\sum_{r=1}^R \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M \sum_{p=1}^P Eo_{trkmp}}{\sum_{t=1}^T \sum_{r=1}^R \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M \sum_{p=1}^P Eo_{trkmp}} \times QEf - \sum_{r=1}^R \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M \sum_{p=1}^P Ef_{trkmp} \right) = A_t - B_t \quad (2)$$

p/ t=1,...,T

$$\left(\frac{\sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M \sum_{p=1}^P Eo_{trkmp}}{\sum_{t=1}^T \sum_{r=1}^R \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M \sum_{p=1}^P Eo_{trkmp}} \times QEf - \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M \sum_{p=1}^P Ef_{trkmp} \right) = C_r - D_r \quad (3)$$

p/ r=1,...,R

$$\left(\frac{\sum_{t=1}^T \sum_{rk=1}^R \sum_{m=1}^M \sum_{p=1}^P Eo_{trkmp}}{\sum_{t=1}^T \sum_{r=1}^R \sum_{k=1}^M \sum_{m=1}^M \sum_{p=1}^P Eo_{trkmp}} \times QEf - \sum_{t=1}^T \sum_{r=1}^R \sum_{k=1}^M \sum_{p=1}^P Ef_{trkmp} \right) = G_k - H_k \quad (4)$$

p/ k=1,...,K

$$\left(\frac{\sum_{t=1}^T \sum_{rk=1}^R \sum_{k=1}^K \sum_{p=1}^P Eo_{trkmp}}{\sum_{t=1}^T \sum_{r=1}^R \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M \sum_{p=1}^P Eo_{trkmp}} \times QEf - \sum_{t=1}^T \sum_{r=1}^R \sum_{k=1}^K \sum_{p=1}^P Ef_{trkmp} \right) = I_m - J_m \quad (5)$$

p/ m=1,...,M

$$\left(\frac{\sum_{t=1}^T \sum_{rk=1}^R \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M Eo_{trkmp}}{\sum_{t=1}^T \sum_{r=1}^R \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M \sum_{p=1}^P Eo_{trkmp}} \times QEf - \sum_{t=1}^T \sum_{r=1}^R \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M Ef_{trkmp} \right) = K_p - L_p \quad (6)$$

p/ p=1,...,P

$$VT_{tl} = M_t - N_t \quad (7)$$

p/ t=1,...,T

$$VR_{rl} = O_r - P_r \quad (8)$$

p/ r=1,...,R

$$VC_{kl} = Q_k - R_k \quad (9)$$

p/ k=1,...,K

$$VM_{ml} = S_m - T_m \quad p/m=1,\dots,M \quad (10)$$

$$VP_{pl} = U_p - V_p \quad p/p=1,\dots,P \quad (11)$$

$$\sum_{r=1}^R \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M \sum_{p=1}^P F_{trkmp} \leq ST_{tl} \times Q_l \quad p/t=1,\dots,T; \ l=1,\dots,L \quad (12)$$

$$\sum_{r=1}^R \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M \sum_{p=1}^P F_{trkmp} \geq IT_{tl} \times Q_l \quad p/t=1,\dots,T; \ l=1,\dots,L \quad (13)$$

$$\sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M \sum_{p=1}^P F_{trkmp} \leq SR_{rl} \times Q_l \quad p/r=1,\dots,R; \ l=1,\dots,L \quad (14)$$

$$\sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M \sum_{p=1}^P F_{trkmp} \geq IR_{rl} \times Q_l \quad p/r=1,\dots,R; \ l=1,\dots,L \quad (15)$$

$$\sum_{t=1}^T \sum_{r=1}^R \sum_{m=1}^M \sum_{p=1}^P F_{trkmp} \leq SC_{kl} \times Q_l \quad p/k=1,\dots,K; \ l=1,\dots,L \quad (16)$$

$$\sum_{t=1}^T \sum_{r=1}^R \sum_{m=1}^M \sum_{p=1}^P F_{trkmp} \geq IC_{kl} \times Q_l \quad p/k=1,\dots,K; \ l=1,\dots,L \quad (17)$$

$$\sum_{t=1}^T \sum_{r=1}^R \sum_{k=1}^K \sum_{p=1}^P F_{trkmp} \leq SM_{ml} \times Q_l \quad p/m=1,\dots,M; \ l=1,\dots,L \quad (18)$$

$$\sum_{t=1}^T \sum_{r=1}^R \sum_{k=1}^K \sum_{p=1}^P F_{trkmp} \geq IM_{ml} \times Q_l \quad p/m=1,\dots,M; \ l=1,\dots,L \quad (19)$$

$$\sum_{t=1}^T \sum_{r=1}^R \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M F_{trkmp} \leq SP_{pl} \times Q_l \quad p/p=1,\dots,P; \ l=1,\dots,L \quad (20)$$

$$\sum_{t=1}^T \sum_{r=1}^R \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M F_{trkmp} \geq IP_{pl} \times Q_l \quad p/p=1,...,P; \quad l=1,...,L \quad (21)$$

$$\sum_{k=1}^K \left(\sum_{t=1}^T \sum_{r=1}^R \sum_{m=1}^M \sum_{p=1}^P F_{trkmp} \times NC_k \right) \leq MSC_l \times Q_l \quad p/l=1,...,L \quad (22)$$

$$\sum_{k=1}^K \left(\sum_{t=1}^T \sum_{r=1}^R \sum_{m=1}^M \sum_{p=1}^P F_{trkmp} \times NC_k \right) \geq MIC_l \times Q_l \quad p/l=1,...,L \quad (23)$$

$$\sum_{m=1}^M \left(\sum_{t=1}^T \sum_{r=1}^R \sum_{k=1}^K \sum_{p=1}^P F_{trkmp} \times NM_m \right) \leq MSM_l \times Q_l \quad p/l=1,...,L \quad (24)$$

$$\sum_{m=1}^M \left(\sum_{t=1}^T \sum_{r=1}^R \sum_{k=1}^K \sum_{p=1}^P F_{trkmp} \times NM_m \right) \geq MIM_l \times Q_l \quad p/l=1,...,L \quad (25)$$

$$\sum_{t=1}^T \sum_{r=1}^R \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M \sum_{p=1}^P F_{trkmp} = Q_l \quad p/l=1,...,L \quad (26)$$

$$VT_{tl} = \sum_{r=1}^R \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M \sum_{p=1}^P (F_{trkmp} - FO_{trkmp}) \quad p/t=1,...,T; \quad l=1,...,L \quad (27)$$

$$VR_{rl} = \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M \sum_{p=1}^P (F_{trkmp} - FO_{trkmp}) \quad p/r=1,...,R; \quad l=1,...,L \quad (28)$$

$$VC_{kl} = \sum_{t=1}^T \sum_{r=1}^R \sum_{m=1}^M \sum_{p=1}^P (F_{trkmp} - FO_{trkmp}) \quad p/k=1,...,K; \quad l=1,...,L \quad (29)$$

$$VM_{ml} = \sum_{t=1}^T \sum_{r=1}^R \sum_{k=1}^K \sum_{p=1}^P (F_{trkmp} - FO_{trkmp}) \quad p/m=1,...,M; \quad l=1,...,L \quad (30)$$

$$VP_{pl} = \sum_{t=1}^T \sum_{r=1}^R \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M (F_{trkmp} - FO_{trkmp}) \quad p/p=1,...,P; \quad l=1,...,L \quad (31)$$

$$\frac{VT_{tl}}{Q_l} \leq VT \max_{tl} \quad p/ t=1,...,T ; \ l=1,...,L \quad (32)$$

$$\frac{VT_{tl}}{Q_l} \geq -VT \max_{tl} \quad p/ t=1,...,T ; \ l=1,...,L \quad (33)$$

$$\frac{VR_{rl}}{Q_l} \leq VR \max_{rl} \quad p/ r=1,...,R ; \ l=1,...,L \quad (34)$$

$$\frac{VR_{rl}}{Q_l} \geq -VR \max_{rl} \quad p/ r=1,...,R ; \ l=1,...,L \quad (35)$$

$$\frac{VC_{kl}}{Q_l} \leq VC \max_{kl} \quad p/ k=1,...,K ; \ l=1,...,L \quad (36)$$

$$\frac{VC_{kl}}{Q_l} \geq -VC \max_{kl} \quad p/ k=1,...,K ; \ l=1,...,L \quad (37)$$

$$\frac{VM_{ml}}{Q_l} \leq VM \max_{ml} \quad p/ m=1,...,M ; \ l=1,...,L \quad (38)$$

$$\frac{VM_{ml}}{Q_l} \geq -VM \max_{ml} \quad p/ m=1,...,M ; \ l=1,...,L \quad (39)$$

$$\frac{VP_{pl}}{Q_l} \leq VP \max_{pl} \quad p/ p=1,...,P ; \ l=1,...,L \quad (40)$$

$$\frac{VP_{pl}}{Q_l} \geq -VP \max_{pl} \quad p/ p=1,...,P ; \ l=1,...,L \quad (41)$$

$$QEf = \sum_{t=1}^T \sum_{r=1}^R \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M \sum_{p=1}^P Eo_{trkmp} - \sum_{l=1}^L Q_l \times D_l \quad (42)$$

$$Ef_{trkmp} = Eo_{trkmp} - \sum_{l=1}^L D_l \times F_{trkmpl} \quad (43)$$

p/ t=1,...,T ; r=1,...,R ; k=1,...,K ; m=1,...,M ; p=1,...,P

$$Ef_{trkmp} \geq 0 \quad (44)$$

p/ t=1,...,T ; r=1,...,R ; k=1,...,K ; m=1,...,M; p=1,...,P

$$A_i \geq 0 ; B_i \geq 0 ; C_i \geq 0 ; D_i \geq 0 ; G_i \geq 0 ; H_i \geq 0 ; I_i \geq 0 ; J_i \geq 0 ; K_i \geq 0 ; L_i \geq 0 \quad (45)$$

$$M_i \geq 0 ; N_i \geq 0 ; O_i \geq 0 ; P_i \geq 0 ; Q_i \geq 0 ; R_i \geq 0 ; S_i \geq 0 ; T_i \geq 0 ; U_i \geq 0 ; V_i \geq 0$$

$$F_{trkmpl} \geq 0 \quad \text{inteiro} \quad (46)$$

p/ t=1,...,T ; r=1,...,R ; k=1,...,K ; m=1,...,M ; p=1,...,P ; l=1,...,L

Função Objetivo (1):

Pode ser dividida em duas partes, a primeira representa a soma das variações percentuais de cada característica (tipo, redução, categoria, *micronaire* e procedência) em número de fardos entre o estoque final e inicial e a segunda parte é soma das variações de cada característica em quantidade de fardos entre a mista da última aplicação e a mista da atual.

Observe que a primeira parte representa a variação percentual do estoque, entretanto não está sendo calculada como uma diferença percentual, mas sim uma diferença em número de fardos. Pode-se ler esta representação matemática da seguinte forma: quantos fardos deveriam ter a mais ou a menos desta classificação no estoque final para que a sua percentagem refletisse percentagem igual à inicial.

Em ambas as partes os elementos somados são variáveis auxiliares, isto, pois todos os termos somados representam a diferença entre um valor inicial e um final e como tais poderiam assumir valores negativos, o que proporciona a possibilidade de compensação entre variações positivas e negativas, logo a soma real é a soma do módulo dessas diferenças, que é uma função não linear. A utilização das variáveis auxiliares associadas às restrições (2) a (11) possibilitaram a conversão da função de não linear para linear.

Os fatores multiplicadores (PT , PR , PC , PM e PP) foram inseridos para evitar que uma das características tenha maior importância simplesmente por ter um maior número de itens. Por exemplo, o tipo conta com 23 classificações diferentes enquanto a categoria tem apenas 3. Suponha que o modelo tivesse que optar entre duas alternativas sendo a primeira a variação de 1% de cada tipo e a segunda a variação de 6% de cada categoria. No primeiro caso tem-se uma variação total de 23% e no segundo 18%. O modelo, sem os pesos, optaria pela variação da categoria, pois a variação total em percentagem é menor, entretanto uma variação de 6% em uma classificação é pior que pequenas variações em várias classificações. Dessa maneira, os pesos corrigem estas distorções de resultado. Note que apesar da função objetivo ser dada em quantidade de fardos o exemplo em percentagem é perfeitamente correspondido por ela.

A variação de fardos entre a mista passada e atual é multiplicada por um fator muito pequeno (10^{-10}), pois esta parcela da função tem como objetivo diferenciar entre as soluções que têm a mesma soma de variações entre estoque final e inicial a que tem as mistas com as composições mais semelhantes às mistas passadas.

Restrições

Como já explicado anteriormente o objetivo na alocação é preservar a percentagem de cada classificação de cada característica no estoque antes e depois da aplicação. Para tanto matematicamente é necessário o uso da função módulo. Como esta é não linear, o que dificulta o processamento do modelo, as equações (2) a (11) auxiliam na transformação da função módulo para uma linear.

As restrições (2) a (6) tem do lado esquerdo o cálculo da diferença propriamente dito. Para compreender como o módulo foi retirado e como é calculada a diferença é apresentado a seguir em detalhes como foi possível chegar nas equações apresentadas.

A diferença em módulo é calculada subtraindo da percentagem inicial a percentagem final de uma classificação, como exemplo tem-se o tipo 1 (T_1).

$$\% \text{initial} - T_1 - \% \text{final} - T_1 \Rightarrow \left| \frac{\sum_{r=1}^R \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M \sum_{p=1}^P Eo_{1rkmp}}{\sum_{t=1}^T \sum_{r=1}^R \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M \sum_{p=1}^P Eo_{trkmp}} - \frac{\sum_{r=1}^R \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M \sum_{p=1}^P Ef_{1rkmp}}{\sum_{t=1}^T \sum_{r=1}^R \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M \sum_{p=1}^P Ef_{trkmp}} \right| = Variação$$

$\nearrow QEf$

Além do módulo, a divisão dos fardos finais de T_1 pela quantidade total de fardos no estoque final é não linear. Então, multiplicou-se os dois termos por QEf .

Para retirar o módulo igualou-se a $Variação \times QEf$ a $A_1 - B_1$. Esta manipulação faz com que se a porcentagem inicial for maior que a final A_1 assuma o valor da variação e caso contrário B_1 assume. Pode-se afirmar isto, pois a função objetivo é a minimização da soma desses dois valores e esta ocorre somente e somente se um deles for o valor da variação e o outro for nulo, uma vez que A e B só podem assumir valores positivos (restrição 41). Dessa forma encontrou-se às equações (2) a (6) e a função objetivo (1). As equações que se seguem ((7) a (11)) têm o mesmo conceito para a retirada do módulo da variação entre a composição da mista passada e da atual.

As equações (12) a (21) são restrições de especificação, isto é, delimitam o intervalo, em quantidade de fardos, que cada classificação da característica pode ter. Para cada uma das 5 características têm-se duas equações, uma que define a quantidade máxima de fardos daquela classificação e a outra a quantidade mínima. Como as especificações (LIL e LSL) são dadas em percentagem para obter-se o valor em quantidade de fardos multiplicou-se a especificação pela quantidade total de fardos que a mista deve ter.

Como as restrições (12) a (21) são feitas em relação aos limites de liberação e estes podem incluir classificações de fardos que não são aceitas pelos limites de especificação, o que, portanto poderia originar mistas com características médias diferentes das necessidades dos clientes, as equações (22) a (25) delimitam os valores médios para as características categoria (22 e 23) e *micronaire* (24 e 25). Os valores médios são os valores oriundos da especificação pela média, que são obtidos apenas pelo conjunto de classificações aceito pela especificação por faixa.

Ainda como restrição de especificação tem-se o tamanho da mista, ou seja, a quantidade de fardos que cada cor de mistura tem. Esta restrição é expressa pela equação (26) na qual a quantidade total de fardos alocados deve ser igual à quantidade especificada.

O conjunto de restrições (27) a (31) define a diferença da quantidade de fardos de algodão de uma classificação entre a mista atual e a mista passada. A variação é a soma de todos os fardos alocados na mista dessa classificação menos a soma dos fardos da mesma classificação presentes na mista passada.

As equações que seguem (32) a (41) delimitam a variação máxima que cada classificação pode ter entre a mista atual e a passada. Assim como nas restrições de especificação, têm-se duas equações para cada característica, uma que define a variação máxima positiva e a outra a negativa.

A equação (42) define como é calculada a quantidade total de fardos no estoque final. Esta pode ser conseguida subtraindo do total do estoque inicial a quantidade de fardos usada em cada mista de cada mistura multiplicada pela quantidade de mistas por mistura.

Além de conhecer a quantidade final de fardos no estoque é necessário saber quantos fardos de cada classificação permaneceram no estoque. Assim, o estoque final para cada classificação de fardo é calculado na equação (43), sendo igual a quantidade inicial menos a soma das quantidades utilizadas em todas as misturas. A restrição (44) é para garantir que o estoque final de cada classificação é maior ou igual a zero, ou seja, para proibir sejam consumidos fardos que não pertencem ao estoque.

As restrições (45) e (46) são para garantir que todas as variáveis são maiores que zero. A quantidade de fardos alocados deve, ainda, ser inteira, pois não é possível aplicar partes de um fardo na mista.

CAPÍTULO 5

LEVANTAMENTO DE DADOS

5 LEVANTAMENTO DE DADOS

O objetivo do presente capítulo é descrever como a coleta de todos os dados, ou parâmetros, necessários para a completa representação do modelo foi realizada.

Para a validação do modelo, ele será comparado com aplicações já realizadas para uma única planta, pelo período de 20 dias, o que totaliza 9 aplicações que englobam 192 mistas. Nesta unidade têm-se seis misturas diferentes, denominadas “Amarelo”, “Verde Escuro”, “Rosa”, “Azul”, “Verde” e “Verde Claro”.

Os dados obtidos foram:

- Especificação de cada uma das misturas, com os valores Std , LIE e LSE;
- Quantidade de fardos necessários em cada mistura;
- A faixa que a média das classificações das características categoria e *micronaire* podem assumir (MSC_l , MIC_l , MSM_l , MIM_l);
- Limites de liberação LIL e LSE;
- Variação máxima permitida para cada característica entre a mista passada e a atual;
- Os pesos PT, PR, PC, PM e PP;
- A quantidade de mistas necessárias de cada mistura;
- A quantidade de fardos atual no estoque por cada classificação de fardo;
- A composição da última mista de cada uma das misturas.

Alguns destes itens podem ser encontrados em sistemas utilizados na empresa (seção 5.1), outros são adaptações dos resultados da própria aplicação (seção 5.2) e outros, ainda, tiveram que ser obtidos de maneira indireta, por meio de contatos com responsáveis pelas áreas técnicas (seção 5.3).

5.1 Dados do sistema

A Têxtil Brasil S.A. já possui os limites de especificação das misturas definidos, entretanto esses limites consideram a inserção de fardos de fibras recuperadas após a aplicação propriamente dita, isto é, uma mistura inteira é formada por fardos de algodão e de fibras recuperadas. Ao realizar a aplicação a percentagem admitida de fardos de fibra recuperada deve ser desconsiderada, uma vez que estes são alocados posteriormente à aplicação, ou seja, uma mistura inteira para a aplicação é composta, exclusivamente, de fardos de algodão. Dessa maneira os valores encontrados foram alterados de modo a contemplarem somente a quantidade (percentagem) de fardos de algodão. Na Figura 12, a fim de exemplificar como esse processo foi realizado, é mostrado como a especificação é encontrada nos documentos da empresa e como ela ficou após sua adequação à aplicação para a classificação quanto ao Tipo para a mistura Rosa. O “tipo exceção”, presente na mesma tabela, são os tipos para aqueles fardos que tiveram a característica redução classificada como exceção, para verificar os códigos vide ANEXO 1 – Códigos das características.

Esta mistura é composta de 26 fardos sendo que a quantidade preferencial de fardos (*std*) é de 23 de algodão e 3 de fibra recuperada. Com isso tem-se a seguinte transformação:

O diagrama ilustra o processo de transformação de especificações. A esquerda, uma tabela mostra a composição original de fardos. A direita, uma seta aponta para uma tabela onde os fardos de fibra recuperada são divididos entre fardos de algodão e exceções.

	LIE	Std	LSE	
TIPO	F	61%	74%	92%
	L	0%	10%	15%
	R	0%	5%	10%
TIPO EXCEÇÃO	2	0%	0%	2%
	3	2%	4%	4%
	4	0%	0%	2%
Fibra recuperada	40%	7%	10%	

Seta central: Limite*26
23

LIE	Std	LSE
69%	84%	100%
0%	11%	17%
0%	6%	11%
0%	0%	2%
2%	5%	5%
0%	0%	2%

Figura 12 - Adequação das especificações - Elaborado pela autora.

Esse mesmo procedimento foi realizado para as demais misturas. No ANEXO 4 – LIMITES DE ESPECIFICAÇÃO E DE LIBERAÇÃO DAS MISTURAS são mostradas as especificações obtidas para as seis misturas utilizadas neste trabalho.

No mesmo documento que contém essa especificação há a especificação dos valores médios aceitos para as características de categoria e *micronaire*. Estes valores são mostrados na Tabela 8.

		<i>Micronaire</i>	Categoria
Amarela	Inferior	3,7	4,2
	Superior	4,6	7
Verde Escuro	Inferior	3,6	3
	Superior	4,7	6,6
Rosa	Inferior	3,6	3
	Superior	4,7	6,6
Azul	Inferior	3,6	3,4
	Superior	4,6	7
Verde	Inferior	3,6	3,4
	Superior	4,6	7
Verde Claro	Inferior	3,6	3,4
	Superior	4,6	7

Tabela 8 - Valores médios aceitos para categoria e *micronaire* nas misturas - Elaborada pela autora.

A quantidade de fardos de cada mistura é definida de acordo com a capacidade da linha de abertura da fábrica e da quantidade de fardos de fibra recuperadas aceita. A Tabela 9 relaciona as misturas à sua quantidade de fardos de algodão.

Mistura	Quantidade
Amarelo	68
Verde Escuro	48
Rosa	23
Azul	58
Verde	67
Verde Claro	60

Tabela 9 - Quantidade de fardos por mistura - Elaborada pela autora.

5.2 Dados da aplicação

Por dados da aplicação entende-se que são aqueles que representam as variáveis que podem ser alteradas a cada aplicação e são obtidas apenas observando o passado ou a situação atual, isto é, não necessitam de premissas ou de cálculos para serem definidas.

Dentre estas varáveis têm-se as que dependem exclusivamente da demanda das mistas (quantidade de cada mista necessária), aquelas que estão associadas à última

aplicação (composição da última mista de cada uma das misturas necessárias nesta aplicação) e aquelas que se relacionam com o estoque (composição do estoque inicial em fardos, por tipo de fardo).

Na Tabela 10 apresentam-se as quantidades de mistas requeridas aplicação a aplicação, dentro do período considerado (20 dias ou 9 aplicações).

Mistura	Aplicação								
	1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a	5 ^a	6 ^a	7 ^a	8 ^a	9 ^a
Amarela	3		3			3	3		
Verde Escuro	5				6	3	3		
Rosa	12	6	12	13	11		5		10
Azul		6	8	9		3	6		3
Verde		6	8	6	6	6	6	6	3
Verde Claro			6		3		3		

Tabela 10 - Demanda de mistas por aplicação - Elaborado pela autora.

O estoque inicial para a primeira aplicação é dado na Tabela 11. Os outros 8 estoques iniciais para as aplicações realizadas, neste tempo considerado, e os estoques finais, são mostrados no ANEXO 2 – ESTOQUES REAIS. Pode-se verificar na mesma tabela que a quantidade de procedências neste período é 6. Observa-se, ainda, estoque inicial não possui todas as classificações de fardos possíveis. Ao longo das aplicações observa-se que novas classificações de fardos entraram no estoque.

Classificação	Procedência						TOTAL
	1	2	3	4	5	6	
A05X		15					15
A05F		487	165				652
A05M		167		85			252
A05G		131					131
D05X		19					19
D05F		76					76
D05M		8					8
D05G		35					35
E03X		30					30
E05X		68					68
E05F		382	379				761
E05M		220	140	63			423
E05G		160	258				418
F03X		1					1
F05X		1					1
F05F		109	77				186
F05M		6					6
F05G		95					95

Classificação	Procedência						TOTAL
	1	2	3	4	5	6	
J05F						101	101
K03X		1					1
K03F						146	146
K03M						60	60
K05X		10					10
K05F		68	7			114	189
K05M		75		81			156
K05G		237					237
LO5G		8					8
PO3F						33	33
PO5F						32	32
Q03F						204	204
Q03M						68	68
Q05F						31	31
2T5L						10	10
3T3L						65	65
3T5L						123	123
3T5G			77				77
TOTAL	0	2409	1103	229	0	987	4728

Tabela 11 - Estoque inicial para a primeira aplicação - Elaborada pela autora.

Como a aplicação realizada atualmente e a que será realizada pelo modelo, provavelmente, serão diferentes, o estoque final e, portanto o inicial da próxima aplicação devem ser, também, diferentes dos estoques obtidos nas aplicações realizadas já a partir da segunda aplicação.

Entre uma aplicação e outra houve a chegada de fardos e, também, o consumo de algodão para a preparação das mistas das demais unidades da empresa, logo, o estoque final da aplicação “x” realizada não é necessariamente o estoque inicial da aplicação “x+1”, como pode ser constatado no ANEXO 2. Para encontrar o valor dessa diferença, ou seja, a quantidade de fardos que chegaram e os que foram consumidos, foi considerado que o estoque inicial da aplicação real “x+1” é igual ao estoque final da aplicação real “x” mais os fardos que chegaram e menos os fardos que foram consumidos. O ANEXO 3 – VOLUMES DE FARDOS, traz os volumes de cada fardo que devem ser somados ao estoque final da aplicação “x” a ser obtida pelo modelo, a fim de achar o estoque inicial para a próxima aplicação. Valores positivos indicam fardos que chegaram e permaneceram no estoque e os negativos representam os fardos que foram consumidos entre as aplicações consideradas. Se alguma classificação de fardo obtiver valor negativo ao calcular o estoque inicial

para a aplicação seguinte pela soma dos volumes de fardos definidos no ANEXO 3, este valor será desconsiderado e a nova quantidade daquela classificação a ser considerada será zero. Este cenário pode ocorrer se na aplicação feita pelo modelo houver um consumo maior de um determinado fardo que foi, na prática, posteriormente consumido em mistas para as demais unidades, que não estão sendo consideradas neste trabalho.

As composições das mistas anteriores para a primeira aplicação de cada mistura são mostradas nas Tabelas 12 a 17. Quando da realização da segunda aplicação, a composição da última mista será a composição da mista obtida na primeira aplicação e assim por diante.

	Procedência					
	1	2	3	4	5	6
A05F		8				
A05M		15				
D05F		1				
D05M		1				
E05F		4	2			
E05M		21				
E05G			2			
F05F		3				
F05M		1				
K05F		1				
K05M		3				
K05G		5				
LO5G		1				

Tabela 12 - Composição inicial da mistura Amarelo- Elaborada pela autora

	Procedência					
	1	2	3	4	5	6
A05F		7				
A05G		5				
D05X		1				
D05F		1				
E03X		2				
E05F		6	6			
E05M		6				
E05G			2			
F05X		1				
F05F		2	2			
F05M						
F05G		1				
K05X		1				
K05M		3		2		
K05G		3				
PO3F						1
2T5L						1
3T5L						1

Tabela 13 - Composição inicial da mistura Verde Escuro - Elaborada pela autora

	Procedência					
	1	2	3	4	5	6
A05F		3				
A05M				2		
E03X	1					
E05X	1					
E05F	5	2				
E05M						
E05G		2				
F05F	2					
K05M	3					
K05G	2					

Tabela 14 - Composição inicial da mistura Rosa - Elaborada pela autora.

	Procedência					
	1	2	3	4	5	6
A05F		2	3			
A05M					2	
A05G	2					
D05F	2					
E03F			2			
E05F		12	6			
E05M	7					
E05G		8	2			
F05F	1					
K05F	3					
K05G	3					
Q03F						2
Q05F						1

Tabela 15 - Composição inicial da mistura Azul - Elaborada pela autora

	Procedência					
	1	2	3	4	5	6
A05F		3	2			
A05M				1		
A05G	2					
D05F	4					
E03F			2			
E03G	4					
E05F	11	6				
E05M	5					
E05G	3	3				
F05F	2	2				
F05G	1					
K05F	5					
K05M			2			
K05G	5					
Q03F					1	
Q03M					2	
Q05F					1	

Tabela 17 - Composição inicial da mistura Azul - Elaborada pela autora

	Procedência					
	1	2	3	4	5	6
A05F		9				
A05M		1	3			
D05G					2	
E03M	2	2				
E05F	15	2				
E05M					3	
E05G	7	2				
F05G	3					
J05F	2					
K03F						2
K05F	2					
K05M	1	1				
3T3L						1

Tabela 16 - Composição inicial da mistura Azul - Elaborada pela autora

5.3 Dados indiretos

Os dados levantados até esta parte foram conseguidos diretamente do sistema da empresa ou por meio de cálculos diretos dos valores das aplicações já realizadas.

Todavia para completar os parâmetros necessários para a inteira representação do modelo faltam aqueles que não estão disponíveis, pois, na realidade, ou eles não são registrados ou eles não são contemplados na forma como a aplicação é feita hoje. Esses dados são os limites de liberação inferior e superior que não estão definidos, os pesos necessários para a representação da função objetivo e a variação máxima entre a composição de uma mista e a sua adjacente que não são utilizados.

Para determinar estes valores foram analisadas as mistas realizadas nas aplicações consideradas, isto, pois, o modelo deve ser rodado em condições semelhantes às reais e técnicos da empresa foram consultados para a definição das partes técnicas.

Os limites de liberação inferior foram definidos como sendo a mínima percentagem entre o limite de especificação e menor valor percentual aplicado dentre as mistas da mistura no período considerado. Para o limite superior de liberação foi usado o valor máximo entre o limite superior de especificação e o maior valor percentual encontrado nas mistas.

A justificativa para a escolha deste critério baseia-se no fato de que se foi possível liberar pelo menos uma vez a mistura com estas características é porque poderiam ser liberadas por mais de uma vez.

O critério utilizado foi exposto para a empresa e esta concordou. Vale ressaltar que estes valores podem ser modificados sempre que se julgar necessário. O ANEXO 4 – LIMITES DE ESPECIFICAÇÃO E DE LIBERAÇÃO DAS MISTURAS traz os limites de liberação encontrados a partir desse critério. Os limites de liberação para a característica “procedência”, que não possui limites de especificação, foram definidos pelo conhecimento e experiência da empresa.

Para determinar a variação máxima entre duas mistas seqüenciais da mesma mistura, pensou-se inicialmente na utilização de um critério análogo ao utilizado na

determinação dos limites de liberação, isto é, considerar que a maior variação permitida é igual a maior variação encontrada nas mistas aplicadas.

Contudo, como pode ser observado nas figuras que se seguem a maior variação obtida entre duas mistas consecutivas é muito grande. Estes gráficos obtidos a partir da composição das mistas da mistura azul (Figura 13) e da mistura rosa (Figura 14) mostram que a variação entre duas mistas assumiu diferenças superiores a 40% para uma das classificações das características de tipo ou *micronaire*.

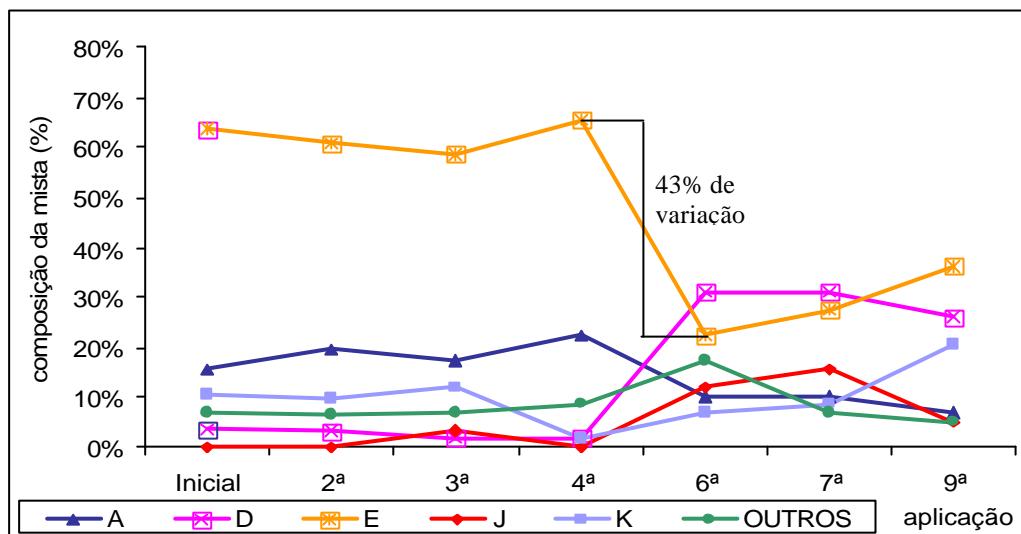


Figura 13 - Gráfico da composição (Tipo) das mistas da mistura Azul - Elaborada pela autora.

Estas variações não deveriam ser aceitas, tendo existido apenas pela dificuldade de fazer, pelo método atual, uma aplicação melhor. Grandes variações (superiores a 30%) são verificadas em todas as misturas em pelo menos uma classificação.

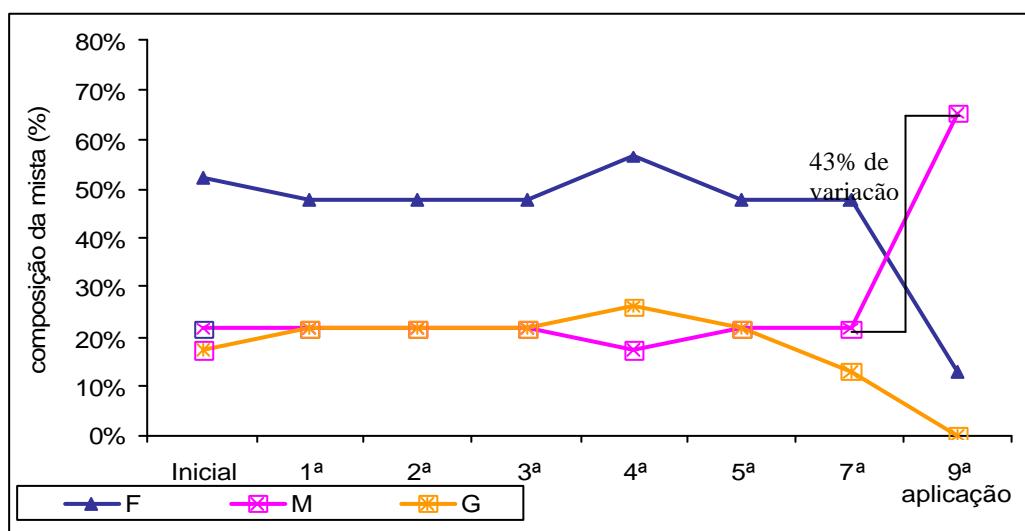


Figura 14 - Gráfico da composição (*micronaire*) das mistas da mistura Rosa - Elaborada pela autora.

Logo, como os valores máximos de variação não são adequados foi necessário adotar outro critério para a determinação do parâmetro. Tentou-se defini-lo por tratamento dos dados levantados nas aplicações, isto é, por média, moda ou mediana, entretanto nenhum desses critérios mostrou-se adequado, porque resultaram em valores muito altos ou muito baixos.

Assim, buscou-se o conhecimento técnico na aplicação do algodão. Quando questionada a variação máxima permitida entre uma mista e sua seguinte verificou-se que este valor não é conhecido e que para sua definição são necessários testes na produção. Este processo é extremamente demorado e, portanto, um outro caminho precisaria ser seguido.

Como a definição da variação máxima na produção é muito difícil optou-se por tentar defini-la por meio da ajuda do próprio modelo, isto é, o modelo seria simulado para variações diferentes para então definir a variação máxima a ser posteriormente utilizada na implementação do modelo. Este parâmetro será definido como sendo igual a menor variação possível simulada que consiga realizar as 9 aplicações com soluções viáveis. Os valores a serem simulados são 15%, 10% e 5%, iguais para todas as classificações das características, exceto procedência, na qual qualquer variação é aceita.

Os pesos da função objetivo (PT, PR, PC, PM e PP) que servem, a princípio, para anular as distorções que podem ser causadas pela diferença de quantidade de classificações entre as características serão, também, utilizados para priorizar quais variações são mais importantes e, portanto, devem ser menores.

Assim, para minimizar a influência da quantidade de classificações definiu-se que os pesos seriam o inverso da quantidade de classificações da característica presente no estoque inicial. Ou seja, se no estoque inicial das 23 classificações de tipo existentes tem-se fardos de algodão de 8 tipos diferentes, o PT é definido como $1/8$, isto é, 0,125. Dessa forma o peso está sendo utilizado para calcular a média da variação das características para suas classificações que efetivamente podem ser modificadas.

Como estes pesos assumiram, ainda, a função de priorizar as variações, uma vez que se constatou que variações de determinadas características são menos desejadas que de outras, e pela definição dos pesos dada somente como a média, todas as características assumiriam a mesma importância na função objetivo, o valor do peso obtido pela primeira definição foi multiplicado por um fator. Quanto maior o fator maior é importância desta característica e, portanto, o modelo tentará priorizar a minimização da sua variação média se comparada a de outra característica com peso menor. Os fatores utilizados somam 1, e são mostrados na Tabela 18.

Característica	Fator
Tipo	0,2
Categoria	0,3
<i>Micronaire</i>	0,45
Procedência	0,05

Tabela 18 - Fatores para a definição dos pesos da função objetivo - Elaborada pela autora.

Uma vez que para o cálculo dos pesos é necessário conhecer o estoque inicial e este só será conhecido após cada aplicação, os valores de todos os pesos encontrados para as aplicações são mostrados no ANEXO 5 – PESOS DA FUNÇÃO OBJETIVO. Para a primeira aplicação os pesos são mostrados na Tabela 19. As quantidades de classificações de cada característica no estoque pode ser calculadas utilizando a Tabela 11.

Característica		Quantidade de classificações no estoque	Peso
Tipo	PT	11	0,018
Categoria	PC	2	0,150
<i>Micronaire</i>	PM	5	0,090
Procedência	PP	4	0,013

Tabela 19 - Pesos para a primeira aplicação - Elaborada pela autora.

Note que apesar da categoria apresentar um valor de peso maior não indica que é a característica de maior importância, ela é a segunda (Tabela 18). O valor alto do peso da categoria é devido à pequena quantidade de classificações desta característica no estoque.

CAPÍTULO 6

EXPERIMENTOS COMPUTACIONAIS



6 EXPERIMENTOS COMPUTACIONAIS

Para a validação do modelo foram desenvolvidos dois exemplos reduzidos, verificando se estes resultavam nas aplicações esperadas. Estes pequenos exemplos foram desenvolvidos em planilha *Excel* e resolvidos com o uso de um *software* de otimização *What's Best!*.

Em seguida para verificar se o modelo expandido para a quantidade de variáveis reais teria um tempo computacional adequado, já que suas variáveis são inteiras e, como tais, podem levar a um tempo computacional inviável foi realizado um teste para uma aplicação fictícia de uma mista para uma mistura.

Após as adaptações necessárias no modelo devido às conclusões do teste acima o modelo completo foi simulado para as nove aplicações permitindo 15% de variação entre mistas, depois reduzindo esta variação para 10% e em seguida para 5%.

6.1 Exemplos

Para verificar se o modelo correspondia às necessidades foram desenvolvidos exemplos com duas misturas diferentes: branca e azul.

Por simplificação, as características presentes nos exemplos são: *a*) o tipo que conta com três classificações diferentes (A, B e C); *b*) a categoria com duas classificações (1 e 3); *c*) o *micronaire* também com duas (M e G) e por fim; *d*) duas procedências (1 e 2).

As composições da última mista consideradas neste exemplo estão nas tabelas a seguir (Tabela 20 e Tabela 21).

BRANCA			AZUL		
	Procedência 1	Procedência 2		Procedência 1	Procedência 2
A3M			A3M		
A3G			A3G		
A5M			A5M		
A5G			A5G		
B3M			B3M		
B3G			B3G		
B5M	4	29	B5M		
B5G			B5G		

BRANCA		
	Procedência 1	Procedência 2
C3M		
C3G		
C5M		
C5G		

Tabela 20 - Composição da última mista branca - Elaborada pela autora.

AZUL		
	Procedência 1	Procedência 2
C3M	30	29
C3G		4
C5M	12	10
C5G	3	2

Tabela 21 - Composição da última mista azul - Elaborada pela autora.

As especificações das misturas e dos demais parâmetros para a definição do modelo, exceto o estoque inicial, são apresentadas no ANEXO 6 – PARÂMETROS DO EXEMPLO REDUZIDO. A composição do estoque inicial foi o parâmetro utilizado, por meio de sua variação, para criar cenários diferentes a fim de verificar a eficiência do modelo proposto, portanto, para as simulações realizadas todos os outros parâmetros mantiveram-se constantes.

Assim, a primeira simulação realizada considera o estoque inicial como sendo um múltiplo da composição da classificação de cada fardo da última mista. Este estoque é mostrado na Tabela 22, na qual a composição das mistas foi multiplicada por 3.

ESTOQUE INICIAL		
	Procedência 1	Procedência 2
A3M		
A3G		
A5M		
A5G		
B3M		
B3G		
B5M	12	87
B5G		
C3M	90	87
C3G		12
C5M	36	30
C5G	9	6

Tabela 22 - Estoque inicial para o primeiro cenário- Elaborada pela autora.

O que se espera com este estoque é que o valor da função objetivo seja nulo e que as mistas realizadas sejam idênticas às mistas passadas. Isto, pois como o estoque é múltiplo das classificações finais dos fardos espera-se que sejam consumidos os mesmos fardos nas mesmas proporções.

O relatório de saída do *software* (ANEXO 7 – SAÍDAS DO WHAT'S BEST PARA O EXEMPLO REDUZIDO) e a composição das mistas resultantes demonstram que o que era esperado foi realmente alcançado. A função objetivo obteve valor zero e a composição das mistas foi exatamente a mesma da composição mostrada na Tabela 20 e na Tabela 21.

A simulação seguinte foi realizada considerando a composição do estoque com a mesma composição que as mistas passada das mistura têm unidas. Assim o estoque inicial tem a mesma composição das classificações das características e não dos fardos como na simulação anterior.

A Tabela 23 apresenta a composição que as duas mistas possuem juntas. Esta é obtida somando para cada classificação de cada característica a quantidade de fardos utilizada na última mista (Tabela 20 e Tabela 21) dividido pela soma das quantidades de fardos das misturas branca (33) e azul (90).

Composição das mistas		
	Procedência 1	Procedência 2
A	0,0%	0,0%
B	3,3%	23,6%
C	36,6%	36,6%
1	24,4%	26,8%
3	15,4%	33,3%
M	37,4%	55,3%
G	2,4%	4,9%

Tabela 23 - Composição percentual das duas mistas passadas juntas - Elaborada pela autora.

Seguindo essas percentagens foi elaborado o novo estoque inicial, que é apresentado na Tabela 24.

ESTOQUE INICIAL		
	Procedência 1	Procedência 2
A3M		
A3G		
A5M		
A5G		
B3M		
B3G		
B5M	16	118
B5G		
C3M	122	134

ESTOQUE INICIAL		
	Procedência 1	Procedência 2
C3G		
C5M	49	25
C5G	12	24

Tabela 24 - Estoque inicial para o segundo cenário - Elaborada pela autora

Como era esperada a função objetivo obteve o valor zero e a composição percentual das classificações das características das mistas não foi modificada. As novas mistas estão na Tabela 25 e Tabela 26. Note que os fardos utilizados na mista azul são diferentes daqueles da mista inicial, entretanto as percentagens das classificações de cada uma das características foram mantidas.

BRANCA		
	Procedência 1	Procedência 2
A3M		
A3G		
A5M		
A5G		
B3M		
B3G		
B5M	4	29
B5G		
C3M		
C3G		
C5M		
C5G		

Tabela 25 - Composição obtida para a mista branca - Elaborada pela autora.

AZUL		
	Procedência 1	Procedência 2
A3M		
A3G		
A5M		
A5G		
B3M		
B3G		
B5M		
B5G		
C3M	30	33
C3G		
C5M	12	6
C5G	3	6

Tabela 26 - Composição obtida para a mista azul - Elaborada pela autora.

Dessa forma é possível concluir que o modelo está adequado. Pode-se verificar que os tempos necessários para a resolução desses exemplos reduzidos, com variáveis inteiras, não foram relevantes, já que nos relatórios de saída este tempo aparece como sendo iguais a zero segundos.

Sendo assim, antes da realização das aplicações, foi realizado mais um teste com um modelo nas dimensões do real com o intuito de verificar o tempo computacional necessário para encontrar a solução do modelo.

O modelo a ser testado pressupunha a aplicação de uma mista de uma única mistura considerando todas as classificações, com suas especificações tendo a mesma

dimensão de uma mistura real, o estoque também era composto de todas as classificações de fardos possíveis de estarem presentes no estoque, ou seja, a única redução era a quantidade de mistas a serem aplicadas.

O problema foi desenvolvido em planilha eletrônica *Excel* e resolvido pelo *software What's Best!* Versão 5.0 Industrial, que tem capacidade suficiente para processar modelos de sua dimensão.

Como pode ser comprovado pelo relatório de saída no ANEXO 8 – SAÍDA DO *WHAT'S BEST PARA O MODELO DE PROGRAMAÇÃO INTEIRA*, após mais 39 horas de tentativas, o processamento foi interrompido sem que se tivesse alcançado uma solução inteira viável para a aplicação de uma única mista de uma única mistura.

A solução foi interrompida, pois como o modelo tem o intuito de ser utilizado quase que diariamente, uma vez que as aplicações são feitas com esta periodicidade, não seria aceitável que para cada aplicação o programa levasse um tempo superior a este, ou mesmo semelhante.

6.2 Redução dos tempos computacionais

O tempo computacional elevado foi motivado pela existência de um número grande de variáveis inteiras (379). Neste contexto, buscou-se desenvolver uma solução que tivesse um tempo computacional aceitável.

Como a causa identificada para o alto tempo computacional são as variáveis inteiras uma alternativa é transformar F_{trkmp} em uma variável real. O modelo proposto passaria a resolver, então, um problema linear relaxado, ou seja, apenas com variáveis contínuas.

Sendo assim, como não é, na prática, possível aplicar frações de fardos é necessário desenvolver uma estratégia capaz de determinar as quantidades de fardos aplicadas como valores inteiros.

Uma alternativa é após a resolução do problema de programação linear inteira pelo seu correspondente linear aplicar alguma técnica de arredondamento da solução

encontrada. Mesmo sendo, nas literaturas pesquisadas (GOLDBARG; LUNA, 2000; WILLIANS, 2005; IGNIZIO, 1982 e MOORE; WEATHERFORD, 2001), senso comum que esta tática pode não gerar resultados razoáveis ou mesmo originar resultados não viáveis esta alternativa foi desenvolvida para a resolução do problema deste trabalho.

A escolha desta estratégia justifica-se pelo fato da função objetivo do modelo proposto ser um meio para a obtenção de pouca variabilidade ao longo do tempo entre as mistas e não um fim necessário. Portanto, mesmo que o valor da função objetivo após a utilização de um método de arredondamento não seja o ideal e nem tão próximo ao ótimo não há grandes prejuízos, se ao longo do tempo ainda for possível realizar aplicações semelhantes. Há que se ressaltar que o estoque pode sofrer variação devido, além do consumo, à entrada de novos fardos no estoque. Assim, mesmo que a variação do estoque na realização de uma aplicação seja superior a mínima variação, isto pode não ser um problema para a próxima aplicação se os fardos que chegarem conseguirem o equilibrar.

Como o arredondamento pode originar soluções não viáveis é necessário considerar quais são os motivos que podem levar a solução a se tornar inviável. A não viabilidade da solução após o arredondamento pode ser dada por:

- i) Quantidade de fardos alocados diferente do tamanho Q_l da mistura;
- ii) Estoque final de alguma classificação de fardos (Ef_{trkmp}) menor que zero, caso um número seja arredondado para cima, sem que tivesse estoque suficiente;
- iii) Variação da composição superior à variação máxima permitida;
- iv) Composição da mista fora dos limites de liberação da mistura.

Para realizar o arredondamento não foi considerado que *iii* e *iv* gerassem soluções inviáveis. Caso fique constatado que após o arredondamento alguma das mistas extrapolou um dos dois ou os dois tipos de restrições é possível, antes de rodar o modelo linear, restringir mais as restrições não atendidas, de modo que após o arredondamento as mistas originadas não ultrapassem os verdadeiros limites aceitos.

Uma desvantagem ao desconsiderar *iii* e *iv* é que ao restringir as restrições não satisfeitas na primeira solução podem-se gerar outras restrições não satisfeitas na segunda solução. Dessa forma há a necessidade de restringir as restrições não atendidas na segunda solução, podendo causar à terceira solução o mesmo fenômeno e assim por diante. A vantagem é o tempo computacional, já que a cada iteração do método são menos fatores a serem analisados.

Sendo assim, para arredondar as quantidades de fardos alocados foi desenvolvido um método heurístico de arredondamento. Heurística segundo Golgbarg e Luna (2000) é uma técnica que busca alcançar uma boa solução utilizando um esforço computacional considerado razoável, sendo capaz de garantir a viabilidade da solução encontrada.

O método heurístico de arredondamento proposto pode ser assim descrito:

1. Achada a solução ótima do problema linear, somar a parte inteira de cada classificação de fardo aplicado para cada mistura. Esta soma será denominada de *Inteiro_l*

$$\text{Inteiro}_l = \sum_{t=1}^T \sum_{r=1}^R \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M \sum_{p=1}^P \text{int}(F_{trkmp}) \quad p/l = 1..., L$$

2. Calcular a diferença entre o tamanho da mistura *l* e o *Inteiro_l*, encontrando o valor da *Falta_l*;

$$Falta_l = Q_l - \text{Inteiro}_l \quad p/l = 1..., L$$

3. Calcular o estoque que se obteria caso a aplicação realizada fosse resultado apenas da parte inteira, obtendo o *Eaux_{trkmp}*;

$$Eaux_{trkmp} = Eo_{trkmp} - \sum_{l=1}^L (\text{int}(F_{trkmp}) \times D_l) \quad p/t = 1..., T; r = 1..., R; k = 1..., K; m = 1..., M; p = 1..., P$$

4. Ordenar de forma decrescente as frações não inteiras de todas as classificações de fardos e misturas realizadas. Para diferenciar duas partes não

inteiras iguais considerar primeiro a que tem a maior demanda da mistura (D_l).

As informações da mistura a qual pertence a parte fracionada bem como a classificação do fardo devem estar associadas a cada parte não inteira;

5. Considerar que as mistas são formadas somente pela parte inteira de F_{trkmp} ;

6. Analisando as partes não inteiras, da maior para a menor, verificar a primeira que satisfaz ambas as condições seguintes:

$$i) Eaux_{trkmp} - D_l \geq 0$$

$$ii) Falta_l \geq 0$$

A condição *i* é para garantir que o estoque de qualquer classificação de fardo não assuma valor negativo e a condição *ii* é para garantir que o tamanho da mista não será ultrapassado.

7. Para a primeira parte escolhida alocar um fardo de classificação referente a esta parte à mista considerada no passo 5;

8. Recalcular $Eaux_{trkmp}$ e $Falta_l$ e retornar ao passo 6;

9. Parar quando todas as partes não inteiras forem analisadas quanto ao passo 6 ou quando $\sum_{l=1}^L Falta_l = 0$, pois indica que todas as misturas atendem ao tamanho especificado;

10. Se ao finalizar o passo 9 ainda restar alguma $Falta_l$ com valor superior a 0 escolher o fardo com a classificação de tipo mais próxima da do tipo do fardo que teve a maior parte não inteira não arredondada, mantendo as classificações de categoria e *micronaire*. A procedência pode ser qualquer uma.

Para exemplificar como a heurística funciona suponha uma aplicação de duas misturas que tenha obtido os resultados mostrados na Tabela 27.

Fardo	Mistura 1	Mistura 2	Estoque Final
A3M	1,27	3,00	7,46
A5M	0,44	0,96	0,16
B3M	4,91	4,87	7,31
B5M	5,38	6,17	6,07
Demandas	2 mistas	1 mista	

Tabela 27 - Exemplo de aplicação - Elaborada pela autora.

Seguindo os passos da heurística tem-se:

$$\textbf{Passo 1} - \text{Inteiro}_1 = 1 + 0 + 4 + 5 = 10$$

$$\text{Inteiro}_2 = 3 + 0 + 4 + 6 = 13$$

$$\textbf{Passo 2} - \text{Falta}_1 = 12 - 10 = 2$$

$$\text{Falta}_2 = 15 - 13 = 2$$

$$\textbf{Passo 3} - \text{Eaux}_{A3M} = 13 - 5 = 8$$

$$\text{Eaux}_{A5M} = 2 - 0 = 2$$

$$\text{Eaux}_{B3M} = 22 - 12 = 10$$

$$\text{Eaux}_{B5M} = 23 - 16 = 7$$

Passo 4 – A ordenação das partes fracionadas resulta em:

Parte	Parte fracionada	Fardo	Mistura
1 ^a	0,96	A5M	2
2 ^a	0,91	B3M	1
3 ^a	0,87	B3M	2
4 ^a	0,44	A5M	1
5 ^a	0,38	B5M	1
6 ^a	0,27	A3M	1
7 ^a	0,17	B5M	2
8 ^a	0,00	A3M	2

Passo 5 – As mistas consideradas são:

Fardo	Mistura 1	Mistura 2
A3M	1,00	3,00
A5M	0,00	0,00
B3M	4,00	4,00
B5M	5,00	6,00

Passo 6 – Analisando a primeira parte

- i) $Eaux_{A5M} - D_2 = 2 - 1 = 1 \rightarrow$ Satisfaz à condição
- ii) $Falta_2 = 2 > 0 \rightarrow$ Satisfaz à condição

Passo 7 – $F_{A5M2} = 0 + 1 = 1$

Passo 8 - $Eaux_{A5M} = 2 - 1 = 1$

$$Falta_2 = 15 - 14 = 1$$

Como os critérios de parada ainda não foram atingidos retorna-se ao passo 6. O próximo valor a ser analisado (B3M) satisfaz às duas condições. Logo a $Falta_1$ passa a ser um. Volta-se ao passo 6, a parte seguinte (B3M) ainda satisfaz à condição e a $Falta_2$ passa a ser zero. Retorna-se ao passo 6, entretanto a quarta parte (A5M) não satisfaz o primeiro critério de estoque maior que a demanda da mistura, portanto analisa-se a quinta parte (B5M) que satisfaz ambas as condições. Como todas as $Faltas_l$ zeraram-se a heurística é finalizada e o resultado da aplicação é mostrado na Tabela 28.

Fardo	Mistura 1	Mistura 2	Estoque Final
A3M	1,00	3,00	8
A5M	0,00	1,00	1
B3M	5,00	5,00	7
B5M	6,00	6,00	5

Tabela 28 - Exemplo de aplicação após heurística - Elaborada pela autora.

Para automatizar esta etapa da solução o método heurístico de arredondamento foi implementado em planilha *Excel* com o auxílio da linguagem *Visual Basic*.

Com a transformação do problema inteiro em linear o tempo computacional baixou para alguns segundos, como pode ser comprovado nos relatórios de saída do *software* no ANEXO 9, para a simulação das nove aplicações com variação máxima permitida entre mistas de 5%. Para as simulações com variação máxima permitida entre mistas de 15% e 10% os relatórios foram omitidos.

O tempo de processamento total (resolução do problema linear mais o tempo do método heurístico de arredondamento) não passa de alguns poucos minutos, 2 a 3

minutos. Dessa maneira foi possível simular o modelo completo para as nove aplicações em cada uma das três variações máximas permitidas entre as mistas (15%, 10% e 5%).

No capítulo anterior (Levantamentos de Dados) a variação máxima permitida entre mistas ficou em aberto, assumindo três diferentes valores para serem avaliados pelo modelo para, então, este parâmetro ser definido. Nas simulações de aplicação realizadas para o período considerado foi possível concluir as nove aplicações com os três valores.

CAPÍTULO 7

ANÁLISE DOS RESULTADOS



7 ANÁLISE DOS RESULTADOS

A análise dos resultados apresentada neste capítulo foi realizada com o apoio de tabelas e gráficos construídos com base nos resultados fornecidos pelo modelo de otimização processado no *What's Best!*. Os resultados são ainda comparados com os obtidos nas aplicações de algodão que efetivamente aconteceram.

A entrada de dados neste *software*, bem como a visualização de seus resultados, é feita por meio de planilha eletrônica *Excel*, fazendo com que a interface com o operador seja bastante amigável. Neste sentido, o artigo de Schuster e Allen (1998) aborda as vantagens e desvantagens no uso desse tipo de *software*. Dentre as principais vantagens estão a adequação da ferramenta a problemas de programação linear e a própria interface amigável com o usuário final. A maior desvantagem apresentada é a dificuldade em manipular problemas extensos, considerando o excessivo trabalho para atualizar e modificar a estrutura do modelo. No caso da Têxtil Brasil S.A. o uso de técnicas de otimização ainda não está difundido por toda a empresa, sendo de grande valia a facilidade de uso e interpretação do modelo promovida pela utilização de *softwares* desse gênero.

7.1 Resultados obtidos

A análise dos resultados está dividida em três partes.

- 1^a) Validação do método heurístico de arredondamento proposto;
- 2^a) Análise dos valores encontrados para a função objetivo na aplicação real e nas aplicações realizadas pelo modelo para as diferentes variações máximas permitidas entre mistas sugeridas;
- 3^a) Análise das variações entre as mistas resultantes da utilização do modelo, comparando-as com as variações ocorridas nas aplicações realizadas na prática.

Os relatórios de saída para as aplicações realizadas com variação máxima permitida entre mistas igual a 5% encontram-se no ANEXO 9 – SAÍDAS DO *WHAT'S BEST* PARA O MODELO DE PROGRAMAÇÃO LINEAR.

7.1.1 Validação do Método Heurístico

Para os problemas de programação linear inteira o conjunto de soluções possíveis são pontos discretos que representam um subconjunto do conjunto de soluções viáveis para o problema de programação linear correspondente o que, portanto leva a solução ótima do problema inteiro ser sempre de menor qualidade ou igual à apresentada pelo seu linear (WILLIANS, 2005).

Sendo assim, sabe-se que a solução conseguida após o arredondamento será sempre pior ou igual a obtida pela solução do problema de programação linear. Logo, a análise a ser realizada é para saber se o resultado do método heurístico está se afastando demasiadamente do seu problema linear correspondente. Para tanto serão analisados os valores da função objetivo obtidos por estas duas resoluções, para a variação máxima permitida entre mistas igual a 5%. Estes valores são apresentados na Figura 15.

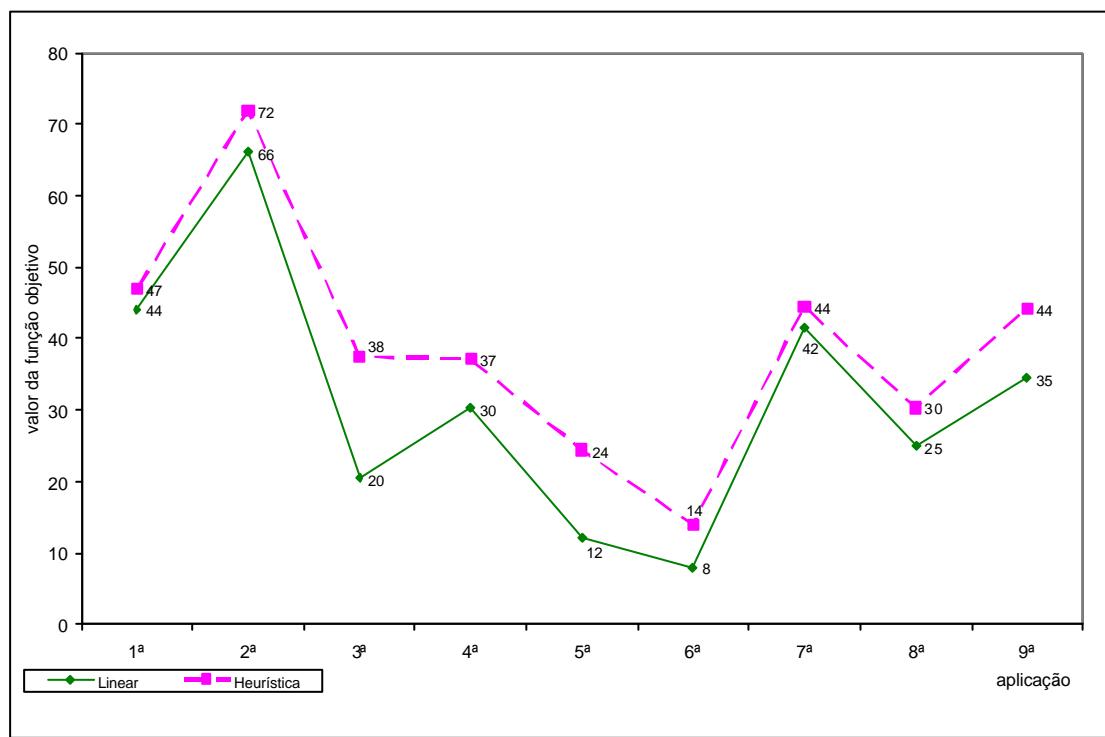


Figura 15 - Comparaçao do valor da função objetivo obtido por meio do método heurístico e da programação linear para a variação máxima entre mistas permitida igual a 5% - Elaborada pela autora.

Observando o gráfico é possível dizer que a curva do método heurístico acompanha o desenho da curva obtida pelo problema linear. A maior diferença entre os resultados, obtida na 3^a aplicação, representa uma variação 3% superior do estoque no método

heurístico em comparação à variação de seu linear. Este valor foi obtido pela diferença entre a soma das variações de todas as classificações de todas as características de um e de outro. Logo, o método heurístico de arredondamento pode ser considerado adequado às necessidades deste problema.

Vale ressaltar que em nenhuma aplicação foi necessário restringir as restrições para que o método heurístico obtivesse soluções viáveis. A finalização do algoritmo sempre foi realizada pela soma das faltas igualar-se a zero, não havendo, portanto a necessidade da procura de um fardo de tipo diferente para completá-la (passo 10 do algoritmo).

7.1.2 Análise do valor da função objetivo

Como o valor da função objetivo do modelo não é um indicador conhecido para as aplicações realizadas atualmente foi necessário calcular o seu valor. Para tanto foram utilizadas as informações levantadas no capítulo 5 referentes ao estoque inicial e às aplicações realizadas. A forma de calcular os pesos da função objetivo foi igual à descrita para a entrada destes parâmetros no modelo.

O gráfico apresentado na Figura 16 compara os valores da função objetivo obtidos pelas aplicações realizadas pela empresa (REAL), com os valores obtidos por meio do modelo proposto, após o solução do método heurístico de arredondamento para a variação máxima permitida entre mistas igual a 15%.

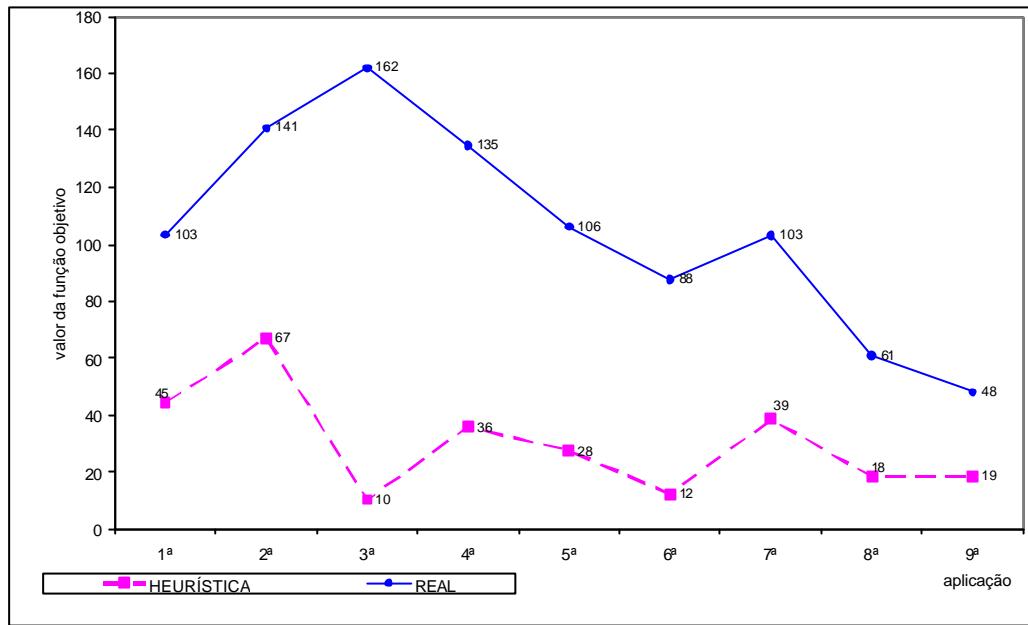


Figura 16 - Gráfico comparativo do valor da função objetivo real e obtido pelo modelo para variação máxima permitida entre mistas de 15% - Elaborada pela autora.

O mesmo gráfico da Figura 16 foi realizado para os valores da função objetivo obtidos com os outros dois valores simulados para a variação máxima permitida entre mistas e estão representados na Figura 17 e na Figura 18.

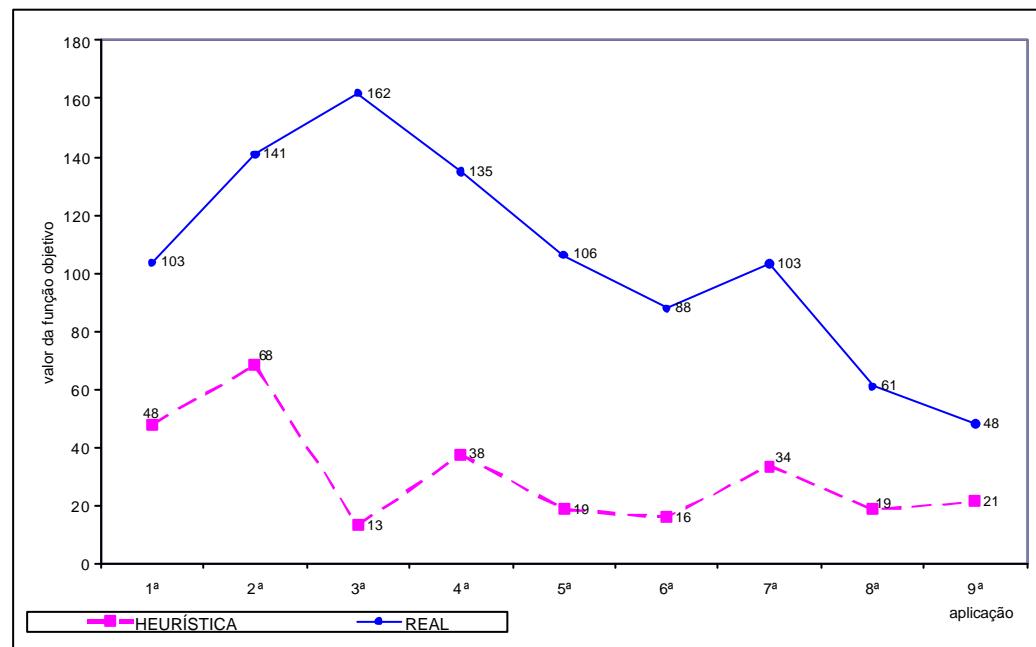


Figura 17 - Gráfico comparativo do valor da função objetivo real e obtido pelo modelo para variação máxima permitida entre mistas de 10% - Elaborada pela autora.

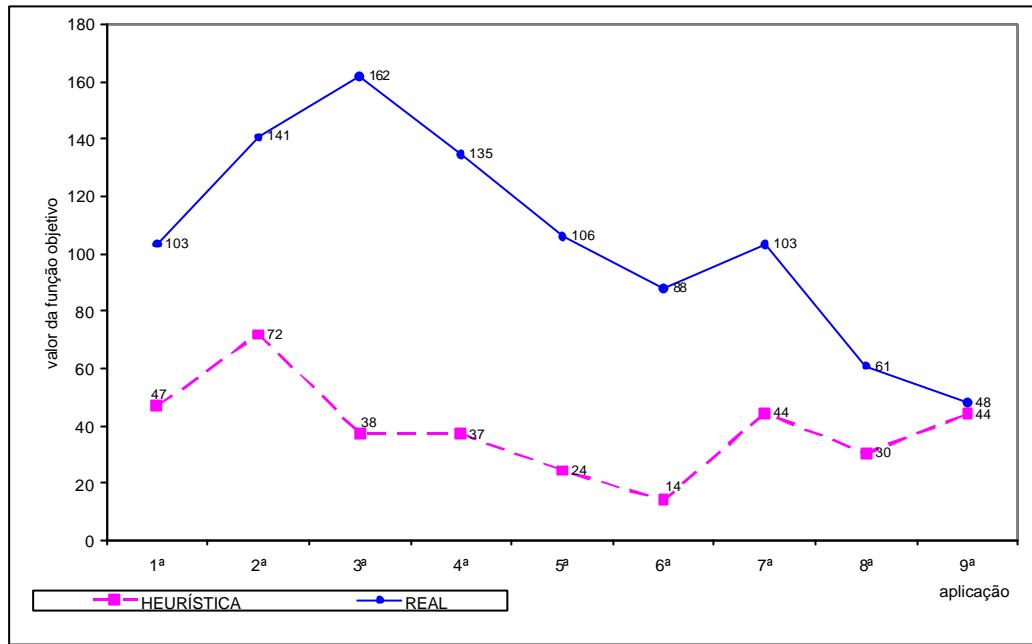


Figura 18 - Gráfico comparativo do valor da função objetivo real e obtido pelo modelo para variação máxima permitida entre mistas de 5% - Elaborada pela autora.

As principais considerações a serem feitas analisando os gráficos expostos são:

- Os valores assumidos pela função objetivo no modelo são bem menores que os valores que representam a aplicação que foi efetivamente realizada, se comparadas aplicação a aplicação, independentemente da variação máxima permitida entre mistas considerada. Para a variação permitida igual a 15% houve uma melhora média na função objetivo, considerando as nove aplicações, de 69,9%. Se considerada a variação de 10% a redução no valor foi de 69,5% e para a de 5% foi de 58,8%.
- Os resultados mostram que a redução da variação máxima permitida entre mistas de 15% para 10% não afetou significativamente a variação do estoque. O aumento da restrição, ou seja, a diminuição da variação permitida para 5% mostrou que há um pequeno aumento no valor da função objetivo, entretanto este aumento deve estar proporcionando uma variabilidade entre mistas menor o que, portanto compensa este aumento. A comparação dos valores da função objetivo após o método heurístico entre as variações testadas pode ser melhor observada na Figura 19;

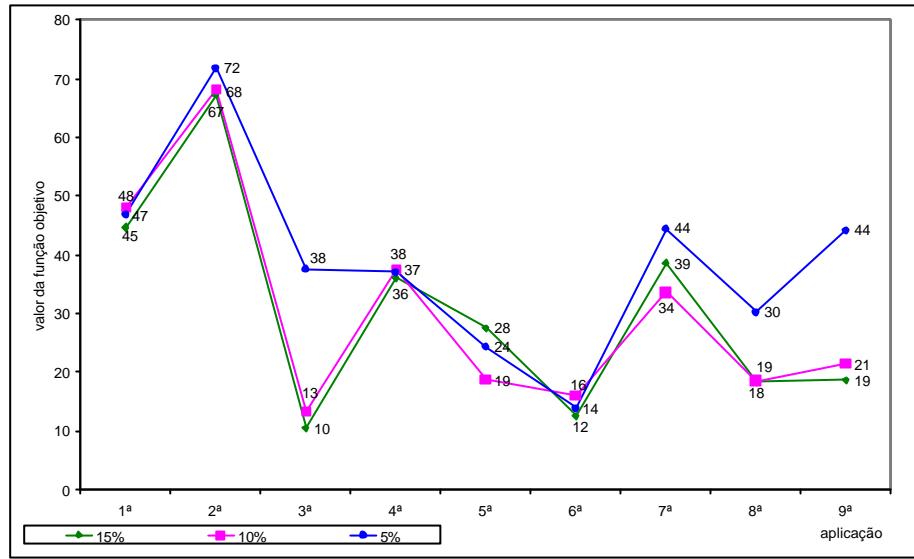


Figura 19 - Comparaçāo dos valores da função objetivo modificando a variação máxima permitida entre mistas - Elaborada pela autora.

Observe que em algumas aplicações o valor da função objetivo para uma variação permitida de 10% foi menor que para a variação de 15%, quando intuitivamente sempre deveria ser maior. Este fato acontece, pois a composição do estoque inicial das aplicações é diferente dependendo da aplicação feita anteriormente que por sua vez depende da variação aceita. Note ainda, que na quinta aplicação o valor da função objetivo é menor para a variação permitida de 5% do que para a de 15%.

- Os menores valores da função objetivo ocorrem nas aplicações nas quais uma maior diversidade de misturas são aplicadas, isto é, na terceira e sexta aplicação. Em ambas as aplicações das seis misturas possíveis cinco são realizadas.

A comparação da função objetivo mostrou que houve uma grande redução em seu valor quando comparadas a situação real à proposta pelo modelo. Entretanto, como a função objetivo apenas representa a variação do estoque, nos gráficos a seguir foram selecionados as classificações de tipos e *micronaires* de maior relevância (percentagem) no estoque para verificar como a diferença entre a composição do estoque final e inicial se comportou no modelo (variação máxima permitida de 5%) e na situação real.

O gráfico da Figura 20 ilustra a percentagem das classificações A, D e E da característica tipo no estoque inicial e final para cada aplicação obtida pelo modelo. As mesmas classificações são apresentadas no gráfico da Figura 21 para as aplicações que efetivamente ocorreram. No gráfico da Figura 22 e no da Figura 23 as percentagens no estoque das classificações de *micronaire* fino (F), médio (M) e grosso (G) são mostrados para as aplicações definidas pelo modelo e para as realizadas na prática, respectivamente. A diferença entre a composição inicial e final de uma classificação representa a variação ocorrida no estoque.

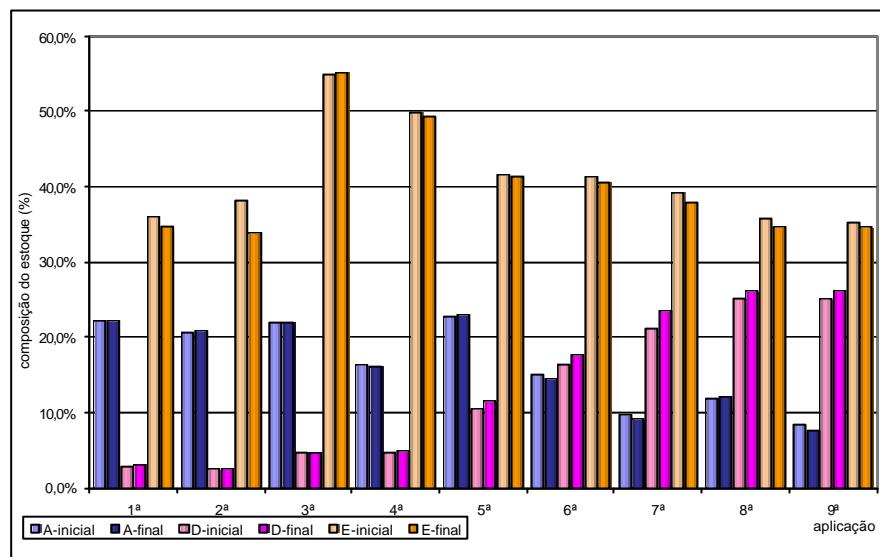


Figura 20 - Gráfico da composição do estoque obtida pelo modelo para as principais classificações do Tipo - Elaborada pela autora.

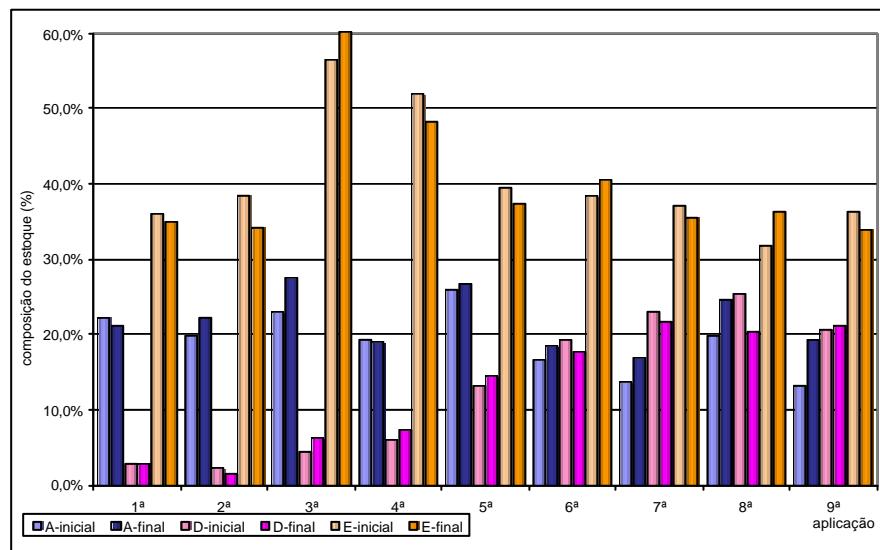


Figura 21 - Gráfico da composição real do estoque para as principais classificações do Tipo - Elaborada pela autora.

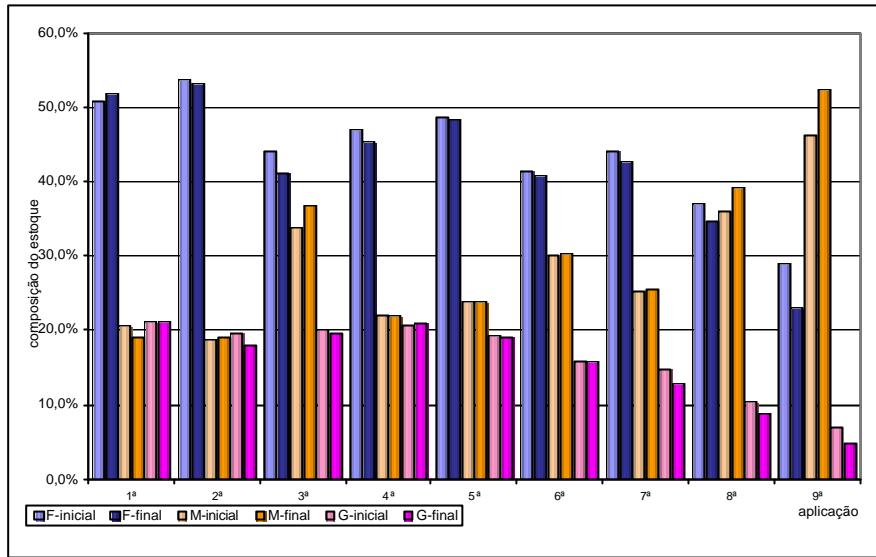


Figura 22 - Gráfico da composição do estoque obtida pelo modelo para as principais classificações de *micronaires* - Elaborada pela autora.

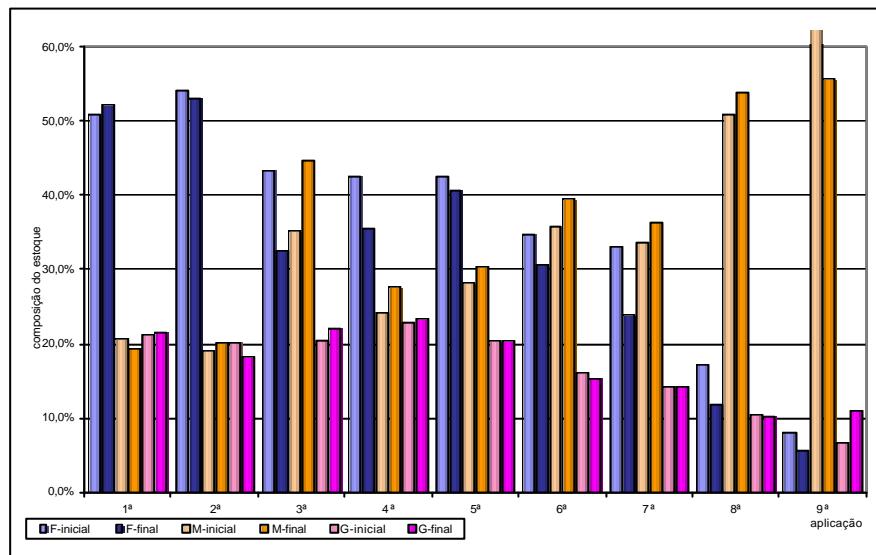


Figura 23 - Gráfico da composição real do estoque para as principais classificações de *micronaires* - Elaborada pela autora.

Os gráficos da Figura 20 à Figura 23 reforçam a análise já feita para o valor da função objetivo. A variação do estoque obtida pelo modelo é significativamente menor que a variação ocorrida pela aplicação realizada sem o seu auxílio.

Observe que, no gráfico da Figura 22, na maior parte das vezes em que ocorre grande variação entre o estoque final de uma aplicação e o estoque inicial da seguinte para uma mesma classificação a diferença entre este estoque inicial e o seu final também aumenta, quando comparada com a variação anterior. Este fato indica que a variação

do estoque poderia ser reduzida caso a variação permitida entre mistas fosse maior, o que permitiria que a composição da aplicação fosse mais similar à do novo estoque.

Note que a composição inicial dos estoques em cada aplicação é diferente da composição percentual final da aplicação imediatamente anterior. Por exemplo, na Figura 20, o tipo E após a segunda aplicação representa 33% do estoque, já no estoque inicial da terceira aplicação este mesmo tipo representa 55%, uma diferença percentual de 22%.

Essa diferença pode ser explicada pela forma como é calculado o estoque inicial. Para obter-se o estoque inicial da aplicação seguinte é somada a quantidade de fardos que entraram no estoque entre as duas aplicações e ainda subtraídos os fardos que foram consumidos na preparação das mistas das demais unidades da empresa.

Como citado no exemplo acima para o tipo E esta variação pode ser significativa. Este fato permite levantar algumas hipóteses para seu acontecimento:

- i) Os fardos que chegam ao estoque têm classificação diferente das dos fardos já armazenados o que, portanto gera uma variação em sua composição percentual. Se esta for a motivação das altas diferenças entre o estoque final de uma aplicação e o inicial da seguinte então, apesar da compra do algodão ser realizada sem a certeza de qual a classificação final algodão terá, há a necessidade de verificar a possibilidade de prever as classificações que um fornecedor oferece baseado, por exemplo, em dados históricos. Sabendo o algodão que o fornecedor costuma entregar pode ser possível adquirir classificações mais adequadas às necessidades da empresa;
- ii) As aplicações realizadas para as demais plantas diferem muito das composições finais do estoque, tanto para as obtidas no modelo quanto para as reais. Se este for o motivo da diferença esta, provavelmente, deixará de acontecer quando o modelo for empregado para realizar as aplicações da empresa como um todo;
- iii) As duas hipóteses acima estão acontecendo simultaneamente. Neste caso ações combinadas para reduzir o impacto das duas hipóteses acima devem ser pensadas.

7.1.3 Análise da variação entre mistas

Como pôde ser verificada a variação do estoque foi minimizada. Mas ainda não foi comprovada que esta diminuição da variação do estoque refletiu em uma menor variabilidade da composição das mistas.

Para realizar esta análise foram elaborados gráficos com a composição das mistas para os principais tipos (A, D, E, J, K e Outros) e *micronaires* (F, M e G) de cada mistura tanto para a aplicação já praticada quanto para a sugerida pelo modelo para as três variações entre mistas testadas.

As figuras a seguir (Figura 24 a Figura 29) ilustram a composição das mistas para variação máxima permitida entre mistas igual a 5%, para as demais variações os gráficos estão presentes no ANEXO 10. Analisando os gráficos é possível dizer que a menor variação permitida testada, ou seja, igual a 5% obteve as variações mais próximas das desejadas. As outras duas variações fizeram com que as mistas ficassem oscilando, isto é, numa aplicação a percentagem de uma classificação aumenta e na aplicação seguinte ela é reduzida e assim sucessivamente. O tipo “outros” presente nos gráficos é a soma dos demais tipos não considerados individualmente, já que apresentam pequenas proporções tanto da mista sugerida quanto na efetivamente realizada.

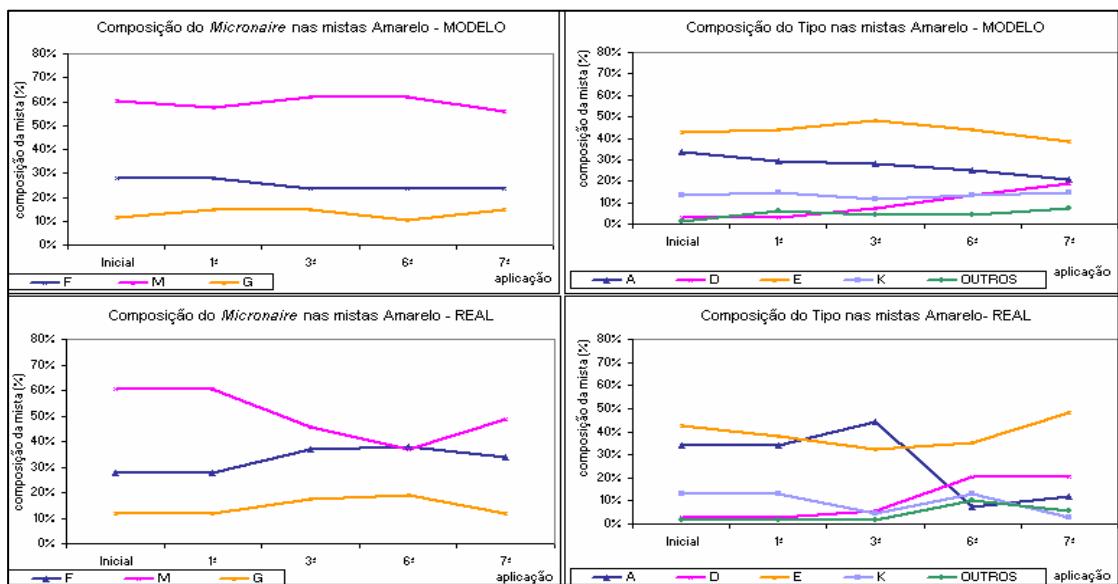


Figura 24 - Gráficos comparativos da composição das mistas amarelo reais e das obtidas pelo modelo
- Elaborada pela autora.

Para a mistura Amarelo notam-se diferenças entre a aplicação realizada com e sem o modelo. O *micronaire* médio (M) nas mistas reais apresentou queda de participação na composição de 60% na mista realizada na 1^a aplicação para 37% na mista da 6^a aplicação, uma primeira queda de 14% seguida de outra de 9%. Esta mesma variação não é percebida nas mistas sugeridas pelo modelo, nas quais o *micronaire* M mantém-se, praticamente, com composição constante nas mistas e em torno de 60%.

Se a análise for estendida para a característica tipo, percebe-se que a queda brusca ocorrida no tipo A para a mista real na sexta aplicação não ocorre na realizada pelo modelo. Esta classificação apresenta tendência de queda no modelo, entretanto é uma variação gradual, como era o objetivo da construção do modelo.

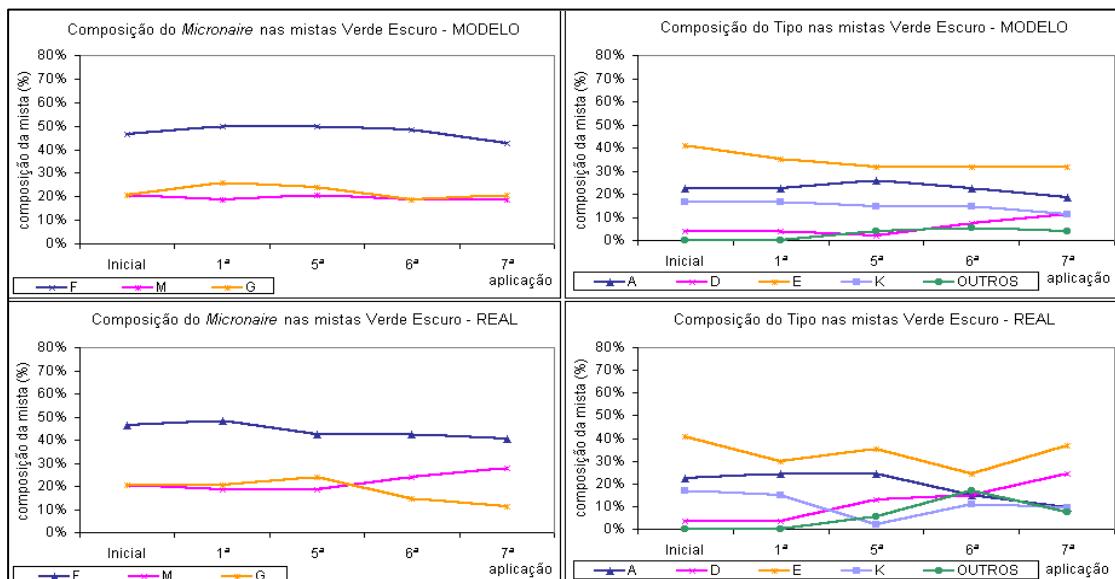


Figura 25 - Gráficos comparativos da composição das mistas verde escuro reais e das obtidas pelo modelo - Elaborada pela autora.

As aplicações reais e do modelo para a mista verde escuro são semelhantes para a característica *micronaire*, exceto nas duas últimas mistas onde a aplicação real aumentou gradualmente a participação percentual do *micronaire* M. Já para o tipo as aplicações reais apresentam variações maiores que as obtidas no modelo.

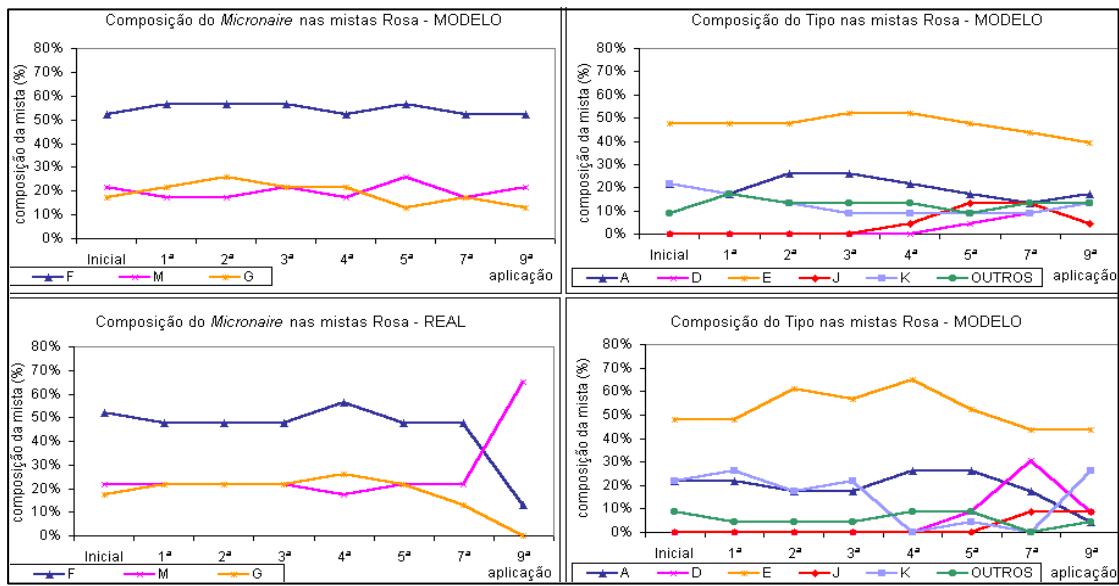


Figura 26 - Gráficos comparativos da composição das mistas rosa reais e das obtidas pelo modelo - Elaborada pela autora.

Analizando a composição dos *micronaires* nas mistas rosas tanto as reais quanto as sugeridas pelo modelo percebe-se que elas se assemelham até a sétima aplicação. Já na nona aplicação a mista real sofre uma grande variação, sendo que o mesmo não ocorre no modelo. Para a característica tipo, mais uma vez, nota-se menor variação entre as mistas realizadas pelo modelo.

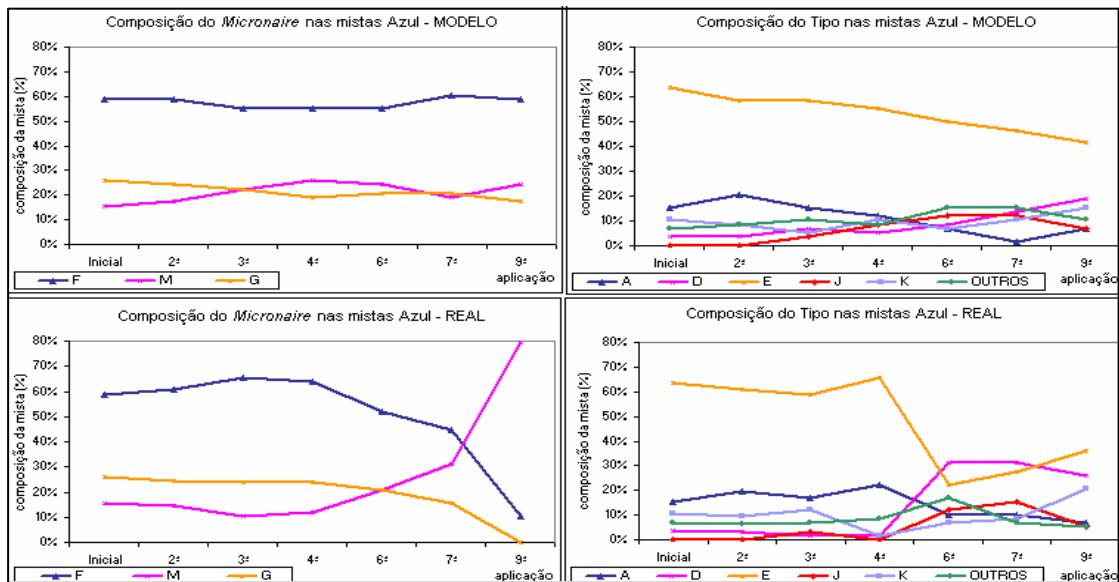


Figura 27 - Gráficos comparativos da composição das mistas azul reais e das obtidas pelo modelo - Elaborada pela autora.

As grandes variações na característica *micronaire* percebidas na aplicação real para a mistura Azul não foram necessárias nas mistas realizadas pelo modelo. Quanto ao tipo, assim como na mistura Amarelo constatou-se que enquanto a aplicação real

apresentava uma queda brusca do tipo A o modelo o decrescia gradualmente, na mistura Azul ocorre o mesmo fenômeno, entretanto agora para o tipo E.

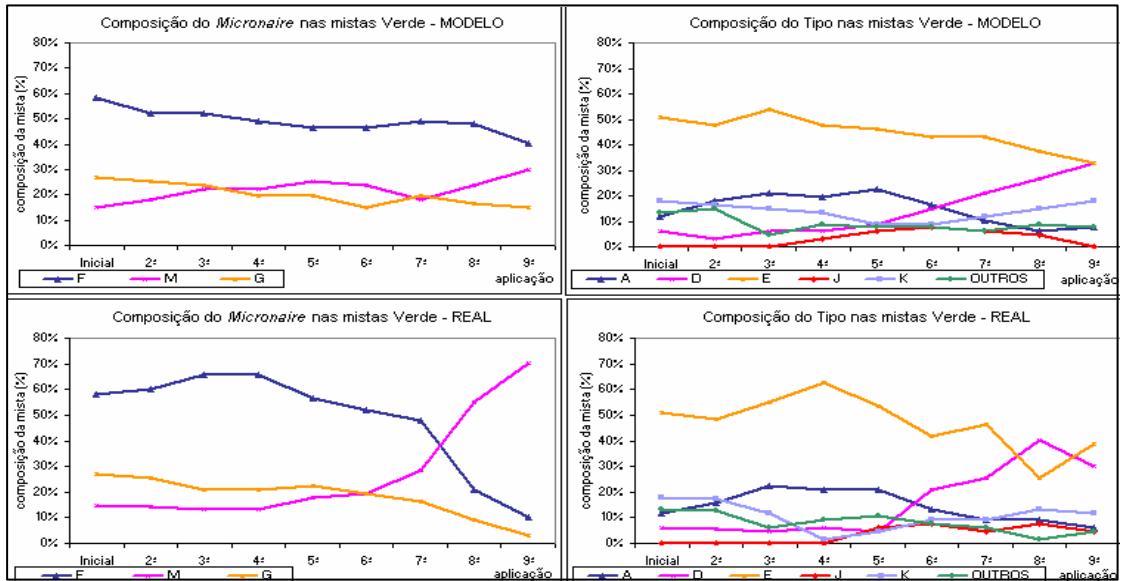


Figura 28 - Gráficos comparativos da composição das mistas verde reais e das obtidas pelo modelo - Elaborada pela autora.

Bem como para as demais misturas, as variações obtidas entre as mistas da mistura Verde foram bem menores nas aplicações sugeridas pelo modelo que nas efetivamente realizadas tanto para a característica *micronaire* como para a característica tipo.

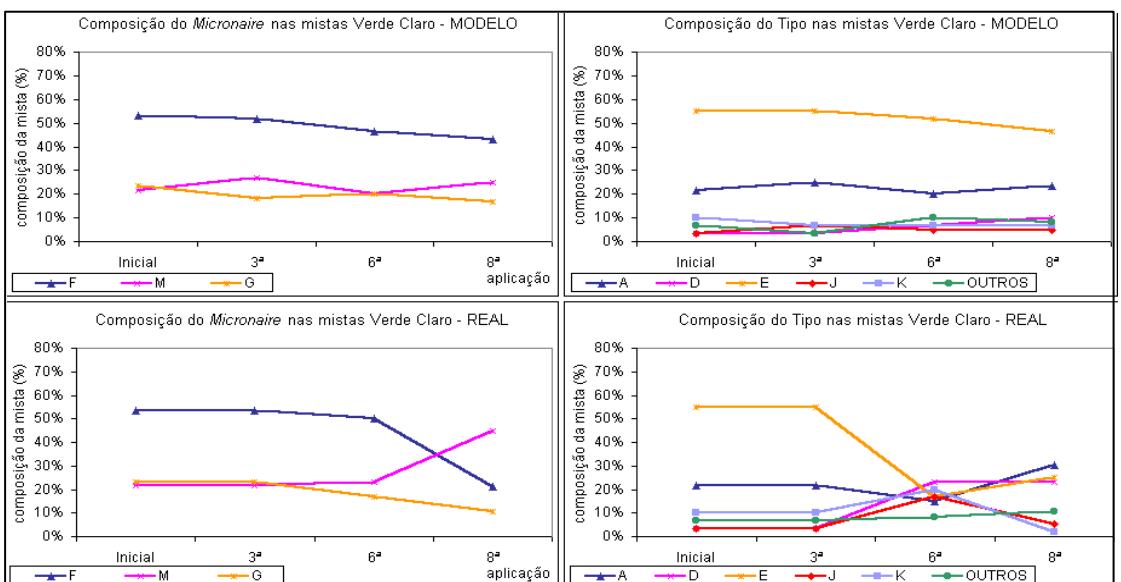


Figura 29 - Gráficos comparativos da composição das mistas verde claro reais e das obtidas pelo modelo - Elaborada pela autora.

Analizando as aplicações como um todo e não mais mistura a mistura é possível perceber que se o estoque de uma classificação está com alguma tendência de crescimento ou queda, a aplicação consegue entender esta tendência e passar para as mistas que estão sendo feitas. Para exemplificar, observe na Figura 20 que o tipo D apresenta tendência de crescimento a partir da quarta aplicação. Se, então, for verificada a composição das mistas para este tipo (Figura 24 a Figura 29) é possível perceber que todas as misturas tiveram suas mistas formadas com uma crescente quantidade percentual do tipo D.

7.2 Próximas etapas

O modelo demonstra estar de acordo com o que era necessário, isto é, adequar as aplicações de modo a diminuir a variabilidade das mistas ao longo do tempo. Ainda assim, não é possível concluir, analisando somente este período, que não haverá variações extremamente grandes com o passar do tempo, já que o período considerado para os testes não é tão grande. Todavia como os resultados encontrados para este período são animadores um próximo passo pode ser dado, visando a implantação do modelo proposto, já com fortes expectativas de sucesso do modelo.

Assim, as próximas etapas objetivando a implantação do modelo devem incluir um período em que a aplicação do algodão seja feita simultaneamente pela forma como hoje é realizada e com o uso do modelo. Este período deve ser relativamente grande, em torno de dois a três meses. Durante este período os limites de liberação considerados devem ser os mesmos para ambas as formas de aplicação, para evitar que ocorram distorções entre as formas de aplicação.

Para evitar a influência de aplicações diferentes para as outras unidades da Têxtil Brasil S.A. as simulações com o modelo devem ser estendidas para todas as plantas.

Ainda, durante este período deve-se verificar quais os impactos obtidos pela modificação dos valores da variação máxima permitida entre mistas e dos limites de liberação. Estudar, também, se caso esteja na eminência de ocorrer ou consiga-se prever com antecedência as grandes variações (se é que vão existir) qual deve ser o caminho a ser seguido. Assim, pode ser definido qual o parâmetro do modelo deve

ser modificado, a variação entre mistas ou os limites de liberação ou ambos para evitar que esta variação ocorra ou para minimizar seus efeitos no caso de sua ocorrência. Estes estudos devem envolver a área técnica da empresa para verificação dos impactos causados pela adoção de uma das estratégias ao longo do processo produtivo, verificando se há alteração da qualidade do produto final ou aumento de problemas na produção.

A simulação do modelo neste trabalho indicou que a variação máxima entre mistas igual a 5% é possível, permitindo que esta seja a variação adotada a princípio na sua implantação. Entretanto, como esta definição foi obtida somente por meio do estudo do modelo em um período relativamente curto há a necessidade de validação do valor com a área técnica da empresa. Caso a variação de 10% ou superior não represente problemas ao produto ou ao processo estas variações poderiam ser adotadas, beneficiando a variação do estoque e, consequentemente, diminuindo a possibilidade de ocorrência de variações bruscas entre mistas. Vale ressaltar que, atualmente na empresa não é plenamente conhecido o impacto causado pela variação da composição entre mistas, motivo pelo qual não foi possível a definição deste parâmetro antes da utilização do modelo.

Como pôde ser observado nos resultados a menor variação do estoque, ou seja, os menores valores da função objetivo, ocorreram nas aplicações em que uma maior variedade de misturas estavam sendo realizadas. Sendo assim, caso este comportamento seja comprovado no período de teste mais extenso proposto, surge a necessidade de desenvolver uma metodologia de aplicação que incentive esta ocorrência. Portanto, não deveria ocorrer uma aplicação de apenas uma mistura, seguida de outra com mais duas e assim por diante, mas sim uma com todas ou a grande parte das misturas. A técnica de aplicação deve ser capaz, então, de concentrar em uma aplicação o maior número de misturas possíveis, o que resultaria em uma freqüência menor de aplicação. A dificuldade, neste sentido, surge quando há grande variação no estoque devido às chegadas constante de novos carregamentos de algodão. Logo, se a distância entre uma aplicação e outra for grande a composição do estoque pode sofrer grandes variações que causariam a necessidade do aumento da variação máxima permitida entre mistas. Assim, é

preciso encontrar o equilíbrio entre a vantagem trazida pela aplicação de diversas misturas em uma única aplicação com desvantagem trazida pelo aumento do intervalo entre uma aplicação e outra.

Para possibilitar comparações entre as aplicações realizadas pelo modelo e as realizadas manualmente, sem a interferência causada pelo uso de condições diferentes, os limites de liberação superior e inferior foram definidos como sendo o maior e o menor valor que haviam sido utilizados na prática. Estes limites de liberação não são muito semelhantes aos limites de especificação para cada mistura. Desta forma o modelo pode ser, ainda, aproveitado para direcionar, gradualmente, estes limites para mais próximos dos limites de especificação já que hoje devido à dificuldade no processo de aplicação não é possível conseguir esta melhora.

CAPÍTULO 8

CONCLUSÃO



8 CONCLUSÃO

Este trabalho de formatura apresentou um modelo para auxiliar a realização da aplicação do algodão em uma indústria têxtil, cumprindo sua função de substituir a abordagem empírica vigente na empresa atualmente por uma abordagem científica e, portanto, menos dependente dos conhecimentos individuais.

O método de aplicação apresentado neste trabalho, composto pelo modelo de programação linear seguido da utilização de um método heurístico de arredondamento mostrou-se bastante eficiente em seu propósito, possibilitando redução significativa na variação percentual do estoque, em torno de 70% se considerada a maior variação entre mistas testadas e 60% para a menor valor de variação utilizado. Esse modelo foi simulado em apenas uma unidade da empresa, de maneira que o benefício tende a ser maior conforme o modelo seja estendido às demais plantas.

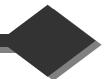
Quando observada a variabilidade das composições das mistas das diferentes misturas percebe-se que o ganho com o uso do modelo foi relevante, eliminando, no período considerado, todas as variações bruscas da composição que ocorrem freqüentemente nas mistas montadas sem o auxílio do modelo. E mesmo quando comparadas às pequenas variações que ocorrem entre as aplicações pode-se notar que as variações ocorridas nas mistas propostas pelo modelo são, em geral, menores e tendem a acompanhar a tendência do estoque.

A solução do problema foi obtida com a utilização de um modelo linear associado a um método heurístico de arredondamento da solução obtida, uma vez que as variáveis do modelo deveriam ser inteiras. Esta simplificação do modelo, de programação inteira para linear, possibilitou uma redução do tempo computacional extremamente significativa dando a possibilidade real de implantação do modelo. Caso o tempo de processamento fosse alto surgiria resistência por parte das pessoas responsáveis por fazerem a aplicação, uma vez que hoje este processo é rápido e relativamente fácil, apesar de gerar mistas não tão boas.

Como pontos fortes do trabalho pode-se citar, além dos resultados obtidos, a interface amigável que facilita a interpretação do modelo e dos resultados mesmo para pessoas que não sejam especialistas em modelos de otimização. Este fato foi possibilitado pelo uso do *software What's Best!* que utiliza a planilha de *Excel* para a entrada e saída de seus dados e pela automatização do método heurístico de arredondamento proposto dentro da mesma planilha. Outro fator relevante deste trabalho foi a introdução de um modelo de otimização na empresa. No setor têxtil e, em especial, na Têxtil Brasil S.A. as ferramentas de otimização ainda não estão bem difundidas, tendo este trabalho contribuído para tornar tais ferramentas alternativas possíveis para a solução de outros problemas detectados na empresa.

Como sugestão de melhoria, propõe-se a ampliação deste modelo, centrado apenas na aplicação do algodão, para um modelo que englobe desde a compra da matéria prima até a fabricação do fio objetivando a diminuição do custo desta parcela do processo produtivo.

BIBLIOGRAFIA



BIBLIOGRAFIA

BEZDUDNYI, F.F. **Planning the most Economic Blend in Cotton Spinning.** Techinical textile ind (USSR) 5, 1965, p. 3-7.

EL MOGAHZY, Y. Optimizing Cotton Blend Cost With Respect to Quality Using HVI Fiber Proprieties and Linear Programming, Textile Res. J. 62 (1), 1992, p.1-8.

EL MOGAHZY, Y.; CHEWNING, C.H. **Cotton Fiber to Yarn – Manufacturing Technology.** 1st edition, Cary: Cotton Incorporated, 2001.

EL MOGAHZY, Y. **Specific Approaches for Cutting Manufacturing Cost and Increasing Profitability Using the EFS® System.** Cary: Cotton Incorporated, 2005.

GOLDBARG, M.C.; LUNA H.P. **Otimização Combinatória e Programação Linear – Modelos e Algoritmos.** 6^a edição, Rio de Janeiro: Editora Campus, 2000.

IGNIZIO, J.P. **Linear Programming in Single & Multiple Objective Systems.** Englewood Cliffs: Prentice-Hall, Inc., 1982.

MOORE, J.H.; WEATHERFORD, L.R. **Decision Modeling with Microsoft® Excel.** 6th edition, New Jersey: Prentice Hall, 2001.

RAM, V.B. ; GUPTA, D.A.C. ; SACKDEV, R.N. **Take the Guesswork out of Blending.** Textile ind 128 (2), 1964, p.75-77.

SCHUSTER, E.W.; ALLEN, S.J. **Raw Material Management at Welch's. Inc.** Interfaces, 28:5 September-October 1998, p.13-24.

VIANNA, N.A. **Resolução de um Problema de Transporte Escolar Utilizando Métodos de Otimização.** 2002. 90p. Dissertação (Trabalho de Formatura) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

WILLIAMS, H.P. **Model Building in Mathematical Programming**. 4th edition, Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 2005.

WINSTON, W.L. **Introduction to Mathematical Programming – Applications and Algorithms**. 2nd edition, Indiana: International Thompson Publishing, 1995.

What's Best!: The Spreadsheet Solver – User's Manual. Lindo Systems Inc. Chicago, 1996.

ZANAKIS, S.H. ; EVANS, J.R. ; VAZACOPOULOS, A.A. **Heuristic Methods and Applications: A Categorized Survey**. European Journal of Operations Research 43, 1989, p. 88-110.

ANEXO 1

CÓDIGOS DAS CARACTERÍSTICAS



ANEXO 1 – CÓDIGOS DAS CARACTERÍSTICAS

Após a classificação do fardo, este recebe uma etiqueta identificando suas 4 características para, então ser armazenado em sua pilha apropriada. A identificação das classificações na etiqueta é feita por meios do uso de uma codificação como mostrado a seguir.

Redução	Código
Padrão	0
Exceção	T

FARDOS PADRÃO (0)		FARDOS EXCEÇÃO (T)	
Tipo	Código	Tipo	Código
11	A	Fino (3,0 a 3,4)	X
12	B	Fino (3,5 a 3,8)	F
13	C	Médio (3,9 a 4,3)	M
21	D	Grosso (4,4 a 4,9)	G
22	E		
23	F		
24	G		
31	H	Categoria	Código
32	I	3 a 4	3
33	J	5 a 7	5
34	K		
40	L		
41	M		
42	N		
43	O		
44	P		
51	Q		
52	R		
53	S		
54	T		
61	U		
62	V		
63	X		

ANEXO 2

ESTOQUES REAIS



ANEXO 2 – ESTOQUES REAIS

ESTOQUE INICIAL - 5ª APLICAÇÃO						
	Procedência					
	1	2	3	4	5	6
A03F	6					
A03M	6					
A05X	42		25	6		
A05F	559	52		25		
A05M	72	402		3		
A05G	3			2		
D03G	47					
D05X			9	13		
D05F	319			63		
D05M	10	31	23	11		
D05G	23	12		46		
E03X	6					
E03F	6	12				
E03M	96	49				
E03G	9					
E05X	108		6	26		
E05F	268	180	48	124		
E05M	53	270	74	85		
E05G	347	23		39		
F03G		12				
F05X	27					
F05F	6	15				
F05M	6					
F05G	10	13				
I03G	6					
J03G	116					
J05F	4				63	
J05M	4	12				
J05G	70	6		6		
K03F					83	
K03M					6	
K03G	5	19				
K05F		3			73	
K05M	12	22		17		
K05G		23				
L05G		4				
O05M	5					
O05G	12					
P03F					12	
P05M	6	3				
P05G			6	1		
Q03F					46	
Q03M					6	
Q05F					4	
Q05M		5				
Q05G		6				
R05M		12				
T05M	3					
3T3L					33	
3T5L						94
3T5G					77	

ESTOQUE FINAL - 5ª APLICAÇÃO						
	Procedência					
	1	2	3	4	5	6
A05X		42		25		
A05F	418	52		25		
A05M	72	333		3		
A05G	3			2		
D03G	47					
D05X				9	1	
D05F	267				57	
D05M	10	31	23	11		
D05G	23				46	
E03M	96	49				
E03G	3					
E05X	80				26	
E05F	81	156	24	124		
E05M	53	270	40	73		
E05G	252	12			28	
F05X	16					
F05F		4				
F05G	10	13				
J03G	116					
J05F	4					63
J05M	4					
J05G	58					
K03F						83
K03G	5	19				
K05F		3				73
K05M	5					17
K05G		23				
L05G		4				
O05M	5					
P05M		3				
P05G					1	
Q03F						46
Q05F						4
Q05M		5				
T05M	3					
3T3L						27
3T5L						94
3T5G					77	

ESTOQUE INICIAL - 6ª APLICAÇÃO						
	Procedência					
	1	2	3	4	5	6
A03F		2				
A05X		110		25		
A05F	358	52		25		
A05M	12	226	21	3		
A05G	3			2		
C05X	1					
D03F	1					
D03M	6					
D03G	47					
D05X	123		9			
D05F	370			57		
D05M	88	31	171	11		
D05G	13	2		46		
E03X	2					
E03F	14					
E03M	96	37				
E03G	3					
E05X	131			26		
E05F	198	156	25	119		
E05M	114	387	283	73		
E05G	237	12		28		
F03F	3					
F05X	21					
F05F	19	4				
F05M	3					
F05G	90	13				
J03F	3					
J03M	133					
J03G	106					
J05X	1					
J05F	15				63	
J05M	26		1			
J05G	58					
K03X	2					
K03F	13				83	
K03M	10					
K03G	1	9				
K05X	21					
K05F	52	3			73	
K05M	37		2	12		
K05G	1	18				
LO3X	2					
LO5X	17					
LO5F	1					
LO5M	2					
LO5G	40	4				
O05X	3					
O05F	3					
PO3M	3					
PO5X	6					
PO5F	6					
PO5M	6	3				
O03F					37	
Q05F					4	
Q05M	6					
RO5F	3					
RO5M	3					
T05M	3					
2T1M	3					
2T5L	64					
3T3L					27	
3T5L					89	
3T5G		77				

ESTOQUE FINAL - 6ª APLICAÇÃO						
	Procedência					
	1	2	3	4	5	6
A03F		2				
A05X		107		25		
A05F	256	52		16		
A05M	12	226	21	3		
A05G	3			2		
C05X	1					
D03F	1					
D03M	6					
D03G	47					
D05X	90		6			
D05F	193			45		
D05M	82	31	135	11		
D05G	4	2		40		
E03X	2					
E03F	14					
E03M	84	37				
E03G	3					
E05X	104			26		
E05F	159	120	4	92		
E05M	114	363	214	64		
E05G	162	3		28		
F03F	3					
F05X	15					
F05F	4	4				
F05M	3					
F05G	54	10				
J03F	3					
J03M	73					
J03G	94					
J05X	1					
J05F					63	
J05M	17		1			
J05G	40					
K03X	2					
K03F	1					77
K03M	4					
K03G	1					
K05X	12					
K05F	22	3			55	
K05M	25		2	12		
K05G	1	3				
LO3X	2					
LO5X	14					
LO5F	1					
LO5M	2					
LO5G	25	4				
PO5M	3					
Q03F					13	
Q05F					4	
Q05M	6					
T05M	3					
2T5L	64					
3T3L					24	
3T5L					83	
3T5G		77				

ESTOQUE INICIAL - 7ª APLICAÇÃO						
	Procedência					
	1	2	3	4	5	6
A03F	6					
A05X	87		25			
A05F	107	52		16		
A05M	6	40	57			
D03F	6					
D03M	6					
D03G	47					
D05X	110					
D05F	187			45		
D05M	57	23	124	11		
D05G	12			40		
E03F	24					
E03M	62	25				
E05X	98			26		
E05F	121	57		88	6	
E05M	52	107	288	57	3	
E05G	38			28		
F03G	6					
F05X	12					
F05F	5					
F05M	6					
F05G	46					
I05F	10					
J03M	24					
J03G	71					
J05X	11					
J05F	26				63	
J05M	9					
J05G	30					
K03F					57	
K05X	13					
K05F	15				50	
K05M	5			11	3	
L05X	8					
L05G	18					
O05X	2					
O05F	5					
P05F	15					
T05M	3					
2T5L	64					
3T3L					24	
3T5L					73	
3T5G		77				

ESTOQUE FINAL - 7ª APLICAÇÃO						
	Procedência					
	1	2	3	4	5	6
A05X	67			25		
A05F	35	46			4	
A05M			28	57		
D03G	23					
D05X	68					
D05F	51				33	
D05M	35	2	79		8	
D05G					40	
E03M	32	19				
E03G						
E05X	53				26	
E05F	40				70	6
E05M	34	53	174	39	3	
E05G	5				8	
F05X	6					
F05F	5					
F05G	16					
I05F	10					
J03G	50					
J05X	2					
J05F		5				51
J05G	2					
K03F						15
K05X	4					
K05F						5
K05M	5				2	
L05X	8					
O05X	2					
O05F	2					
2T5L	58					
3T3L						18
3T5L						61
3T5G		77				

ANEXO 3

VOLUME DE FARDOS



ANEXO 3 – VOLUMES DE FARDOS

As tabelas a seguir apresentam os volumes de fardos que foram somados ao estoque final obtido em uma aplicação pelo modelo a fim de se encontrar o valor do estoque inicial para a próxima aplicação.

	APÓS A 1ª APLICAÇÃO					
	Procedência					
	1	2	3	4	5	6
A05X		-15				
A05F		-98	-20			
A05M	31		-14			
A05G	-21					
D05X	-8					
D05F	-30					
D05M	-3					
E03F		52				
E03M		88				
E03G	24					
E05X	-16					
E05F	114	-62				
E05M	90	-156	-74	-10		
E05G	-19	-36				
F05F	-29	-12				
F05M	-3					
F05G	-6					
J05F	6					
K05X	-5					
K05F	7	-6				
K05M	-13		-15			
K05G	-64					
L05G	-5					
Q03F					-24	
Q03M					-6	
Q05F					-15	
2T5L						1

	APÓS A 2ª APLICAÇÃO					
	Procedência					
	1	2	3	4	5	6
A05F		283				
A05M		4	411			
A05G					2	
D05F	103				35	
D05M	9	2				
D05G					58	
E03X	-2					
E03F						
E03M	135	-9				
E03G	88					
E05X	1					
E05F	619	-2	140	2		
E05M	8	522	83		138	
E05G	484				39	
F03X	-1					
F05F	3					
F05M	10					
F05G	-2					
J05F	28					-65
J05M	50	2				
J05G					1	
K03X	-1					
K03F						-106
K03M						-10
K05F	180	-1				-72
K05M	64	14	-2			
K05G	-3					
PO3F						-4
PO5F						-2
PO5M		3				
PO5G					1	
Q03F						-84
Q03M						-6
Q05F						-4
Q05M		4				
3T3L						-35
3T5L						-118

APÓS A 3 ^a APLICAÇÃO							APÓS A 4 ^a APLICAÇÃO						
	Procedência							Procedência					
	1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	6
A05X		42		25	1		A03F		6				
A05F		60	2				A03M		6				
A05M	-99	-51	5	3			A05X					5	
A05G	1						A05F		318	50		25	
D05X			9	7			A05M		69	114	-2		
D05F	-18				18		A05G		3				
D05M	-6	19	23	11			D03G		47				
E03X	7						D05X				6		
E03M	-9	-18					D05F		255			41	
E05X	138		6	26			D05M		8	10			
E05F	376	20	-16	15			D05G		-6	12			
E05M	-452	35	66	40			E03X		6				
E05G	158						E03F		6	11			
F05X	30						E03M		6				
F05F	51	7					E03G		5				
F05M	2	2					E05X		-28				
F05G	3						E05F		-129	175	-12	113	
J03G	70						E05M		27	125	-6	-6	
J05F					63		E05G		-36	15			
J05G	70						F03G			12			
K03F							F05X		-3				
K03M							F05F		-17	-12			
K05F	3	2			9	73	F05M		5	-2			
K05M	43	3			17		F05G		-12	13			
K05G	14						I03G		6				
P03F							J03G		46				
Q03F							J05M		3	10			
Q03M							J05G			6		5	
Q05F							K03F						-3
Q05M		1					K03M						5
R05M		2					K03G		5	19			
3T3L							K05F		-9	1			
3T5L							K05M		-6	22			
							K05G			23			
							L05G			4			
							O05M		5				
							O05G		12				
							P03F						10
							P05M		6				
							P05G			6			
							Q03F						-6
							Q03M						2
							Q05G		6				
							R05M			10			
							T05M		3				
							3T5L						-6

APOS A 5ª APLICAÇÃO							APOS A 6ª APLICAÇÃO						
	Procedência							Procedência					
	1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	6
A03F	2						A03F	4					
A05X	68						A05X	-20					
A05F	-60						A05F	-149					
A05M	-60	-107	21				A05M	-6	-186	36	-3		
C05X	1						A05G	-3			-2		
D03F	1						C05X	-1					
D03M	6						D03F	5					
D05X	123				-1		D05X	20		-6			
D05F	103						D05F	-6					
D05M	78		148				D05M	-25	-8	-11			
D05G	-10	2					D05G	8	-2				
E03X	2						E03X	-2					
E03F	14						E03F	10					
E03M		-12					E03M	-22	-12				
E05X	51						E03G	-3					
E05F	117		1		-5		E05X	-6					
E05M	61	117	243				E05F	-38	-63	-4	-4	6	
E05G	-15						E05M	-62	-256	74	-7	3	
F03F	3						E05G	-124	-3				
F05X	5						F03F	-3					
F05F	19						F03G	6					
F05M	3						F05X	-3					
F05G	80						F05F	1	-4				
J03F	3						F05M	3					
J03M	133						F05G	-8	-10				
J03G	-10						I05F	10					
J05X	1						J03F	-3					
J05F	11						J03M	-49					
J05M	22		1				J03G	-23					
K03X	2						J05X	10					
K03F	13						J05F	26					
K03M	10						J05M	-8		-1			
K03G	-4	-10					J05G	-10					
K05X	21						K03X	-2					
K05F	52						K03F	-1			-20		
K05M	37	-5	2	-5			K03M	-4					
K05G	1	-5					K03G	-1					
LO3X	2						K05X	1					
LO5X	17						K05F	-7	-3		-5		
LO5F	1						K05M	-20		-2	-1		
LO5M	2						K05G	-1	-3				
LO5G	40						LO3X	-2					
O05X	3						LO5X	-6					
O05F	3						LO5F	-1					
O05M	-5						LO5M	-2					
PO3M	3						LO5G	-7	-4				
PO5X	6						O05X	2					
PO5F	6						O05F	5					
PO5M	6						PO5F	15					
PO5G					-1		PO5M	-3					
Q03F						-9	Q03F				-13		
Q05M	6	-5					Q05F				-4		
RO5F	3						Q05M	-6					
RO5M	3						3T5L				-10		
2T1M	3												
2T5L	64												
3T5L						-5							

APÓS A 7 ^a APLICAÇÃO							APÓS A 8 ^a APLICAÇÃO						
	Procedência							Procedência					
	1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	6
A05X	-4						A05X	1					
A05F	-30				-2		A05F	-5	-12			-2	
A05M	134	-26					A05M	-36	-2				
D05F	-42						D03G	-2					
D05M	138	-2			-4		D05F	-9			4		
E05X	-22						D05M	100		1			
E05F	-6				-11		D05G				-1		
E05M	79	-23	-20	-5			E03X	7					
E05G	1				-8		E03F	2					
F05X	-6						E03M	-21	-1				
F05F	-5						E05X	86					
F05G	-15						E05F	16			-2		
I05F	2						E05M	113	-24	-22	4		
J03G	-22						F03X	1					
J05X	7						F03F	1					
J05F	1						F05X	1					
J05G	-2						F05F	7					
K03F						3	F05M	6					
K05F	6					4	F05G	-1					
K05M	25				-2		J03G	-1					
L05X	-8						J05F					-3	
O05X	-2						J05M	27					
O05F	-2						K03M	4					
							K05X	-4					
							K05M	191					
							L05M	12					
							P03M	1					
							Q05M	2					
							2T5L	-5					
							3T3L					2	
							3T5L					2	
							3T5G		-2				

ANEXO 4

LIMITES DE ESPECIFICAÇÃO E DE LIBERAÇÃO DAS MISTURAS



ANEXO 4 – LIMITES DE ESPECIFICAÇÃO E DE LIBERAÇÃO DAS MISTURAS

		AMARELO					VERDE ESCURO					ROSA					AZUL					VERDE					VERDE CLARO				
Item		LIL	LIE	STD	LSE	LSL	LIL	LIE	STD	LSE	LSL	LIL	LIE	STD	LSE	LSL	LIL	LIE	STD	LSE	LSL	LIL	LIE	STD	LSE	LSL	LIL	LIE	STD	LSE	LSL
Tipo	A	0%				44%	0%			27%	0%			26%	0%			22%	0%				21%	0%						30%	
	B																														
	C																														
	D	0%				20%	0%			24%				30%	0%			31%	0%			40%	0%						23%		
	E	32%	70%	80%	100%	100%	0%			44%				65%	0%			65%	0%			61%							55%		
	F	0%				13%	0%	68%	80%	96%	96%	9%	68%	80%	96%	96%	2%	71%	82%	100%	100%	0%	71%	82%	100%	100%	0%	71%	82%	100%	
	G																														
	H																														
	I						0%			2%																			0%	3%	
	J	0%				10%	0%			7%				9%	0%			15%	0%			7%	0%						5%		
	K	2%	10%	10%	15%	15%	0%			17%				26%	0%			20%	0%			17%	0%						20%		
	L	0%				3%	0%	0%	11%	17%	17%	0%	0%	11%	17%	17%	0%	10%	10%	16%	16%	0%	10%	10%	16%	16%	0%	10%	10%	16%	
	M																														
	N																														
	O						0%			4%																					
	P						0%			7%				0%				5%				0%							3%		
	Q	0%	10%	10%	15%	15%	0%			4%				0%				5%	0%			5%									
	R						0%	0%	5%	10%	10%	0%	0%	5%	10%	10%	0%	0%	8%	13%	13%	0%	0%	8%	13%	13%	0%	0%	8%	13%	
	S																														
	T																														
	U																														
	V																														
	X																														
Tipo Exceção	1																														
	2						0%	0%	0%	2%	4%	0%	0%	0%	2%	4%					0%			4%	0%			3%			
	3						3%	3%	4%	4%	4%	3%	3%	4%	4%	4%	0%			2%	0%		3%	0%			7%				
	4						0%	0%	0%	2%	2%	0%	0%	0%	2%	2%															
	5																														
Categoria	1						0%	0%	4%	4%	4%	0%	0%	4%	4%	4%															
	3	0%	0%	20%	30%	30%	0%	0%	81%	86%	86%	0%	0%	81%	86%	86%	0%	0%	70%	70%	70%	0%	0%	70%	70%	0%	0%	70%	70%		
	5	70%	70%	80%	100%	100%	9%	9%	15%	96%	96%	9%	9%	15%	96%	96%	30%	30%	30%	100%	100%	30%	30%	30%	100%	100%	30%	30%	100%	100%	
Micronaire	L						0%	0%	2%	2%	7%	0%	0%	2%	2%	4%								6%	0%				9%		
	X						6%				15%			17%	0%						9%			10%	0%			14%			
	F	0%	0%	0%	10%	38%	0%	0%	10%	25%	54%	0%	0%	10%	25%	56%	0%	0%	10%	25%	65%	0%	0%	10%	25%	65%	0%	0%	10%	25%	
	M	37%	90%	100%	100%	100%	18%	70%	72%	75%	75%	17%	70%	72%	75%	75%	10%	75%	80%	90%	90%	13%	75%	80%	90%	90%	22%	75%	80%	90%	90%
	G	0%	0%	0%	10%	19%	0%	0%	10%	25%	25%	0%	0%	10%	25%	25%	0%	0%	10%	24%	0%	0%	10%	25%	0%	0%	10%	23%			
Procedência	1	0%	0%				100%	100%	0%	0%	100%	100%	0%	0%	100%	100%	0%	0%	100%	100%	0%	0%	100%	100%	0%	0%	100%	100%			
	2	0%	0%				100%	100%	0%	0%	100%	100%	0%	0%	100%	100%	0%	0%	100%	100%	0%	0%	100%	100%	0%	0%	100%	100%			
	3	0%	0%				100%	100%	0%	0%	100%	100%	0%	0%	100%	100%	0%	0%	100%	100%	0%	0%	100%	100%	0%	0%	100%	100%			
	4	0%	0%				10%	10%	0%	0%	10%	10%	0%	0%	10%	10%	0%	0%	10%	10%	0%	0%	10%	10%	0%	0%	10%	10%			
	5	0%	0%				6%	6%	0%	0%	6%	6%	0%	0%	6%	6%	0%	0%	6%	6%	0%	0%	6%	6%	0%	0%	6%	6%			
	6	0%	0%				10%	10%	0%	0%	10%	10%	0%	0%	10%	10%	0%	0%	10%	10%	0%	0%	10%	10%	0%	0%	10%	10%			

ANEXO 5

PESOS DA FUNÇÃO OBJETIVO



ANEXO 5 – PESOS DA FUNÇÃO OBJETIVO

As tabelas abaixo mostram os pesos obtidos para cada aplicação. Como os pesos dependem do estoque inicial e este é resultante da aplicação que por sua vez depende da variação máxima permitida entre as mistas tem-se pesos diferentes para cada uma das variações aceitas. Assim das tabelas abaixo a primeira é para a aplicação considerando que a variação máxima entre mistas de 15%, a segunda de 10% e a terceira de 5%.

ANEXO 6

PARÂMETROS DO EXEMPLO REDUZIDO

ANEXO 6 – PARÂMETROS DO EXEMPLO REDUZIDO

Para a representação completa do exemplo seguem os parâmetros considerados.

- **Quantidade de fardos necessários em cada mistura:** A mistura branca é composta por 33 fardos e a mistura azul por 90 fardos.
- **Variação máxima permitida para cada característica entre a mista passada e a atual:** Para todas as classificações das características será admitida a mesma variação máxima e igual a 5%.
- **A quantidade de mistas necessárias de cada mistura:** A demanda de mistas será igual para as duas mistas e igual a 2.
- **Pesos da função objetivo:**

Característica		Quantidade de classificações no estoque	Fator	Peso
Tipo	PT	2	0,2	0,100
Categoria	PC	2	0,3	0,150
<i>Micronaire</i>	PM	2	0,45	0,225
Procedência	PP	2	0,05	0,025

- **Limites de liberação:**

		BRANCA		AZUL	
		LIL	LSL	LIL	LSL
Tipo	A	0%	15%	-	-
	B	85%	100%	0%	15%
	C	0%	15%	85%	100%
Categoria	1	-	-	0%	70%
	3	100%	100%	30%	100%
<i>Micronaire</i>	M	100%	100%	0%	100%
	G	-	-	0%	10%
Procedência	GO	0%	100%	0%	100%
	MT	0%	100%	0%	100%

ANEXO 7

*SAÍDAS DO WHAT'S BEST
PARA O EXEMPLO
REDUZIDO*

ANEXO 7 – SAÍDAS DO WHAT'S BEST PARA O EXEMPLO REDUZIDO

O exemplo foi simulado na versão *demo* do software.

1º CENÁRIO

MODEL INFORMATION:

CLASSIFICATION DATA	Current	Capacity	Limits
<hr/>			
Numerics	1383		
Variables	356		
Adjustables	78	300	
Constraints	150	150	
Integers/Binaries	22/0	30	
Nonlinear	0	30	
Coefficients	954		
<hr/>			
Minimum coefficient value:	0.0001	on Restrições!V13	
Minimum coefficient in formula:		Restrições!BJ3	
Maximum coefficient value:	90	on <RHS>	
Maximum coefficient in formula:		Restrições!J8	

MODEL TYPE: Mixed Integer / Linear

SOLUTION STATUS: GLOBALLY OPTIMAL

OBJECTIVE VALUE: 0

DIRECTION: Minimize

SOLVER TYPE: Branch-and-Bound

TRIES: 45

INFEASIBILITY: 0

BEST OBJECTIVE BOUND: 0

STEPS: 0

ACTIVE: 0

SOLUTION TIME: 0 Hours 0 Minutes 0 Seconds

NON-DEFAULT SETTINGS:

General Options / Warning Infeasible Constraint: On

End of Report

2º CENÁRIO

MODEL INFORMATION:

CLASSIFICATION DATA	Current	Capacity	Limits
Numerics	1440		
Variables	356		
Adjustables	78	300	
Constraints	150	150	
Integers/Binaries	22/0	30	
Nonlinears	0	30	
Coefficients	954		

Minimum coefficient value: 0.0001 on Restrições!V13
 Minimum coefficient in formula: Restrições!BJ3
 Maximum coefficient value: 140.716 on <RHS>
 Maximum coefficient in formula: Estoques!E36

MODEL TYPE: Mixed Integer / Linear

SOLUTION STATUS: **GLOBAL**Y OPTIMAL

OBJECTIVE VALUE: 0

DIRECTION: Minimize

SOLVER TYPE: Branch-and-Bound

TRIES: 210

INFEASIBILITY: 0

BEST OBJECTIVE BOUND: 0

STEPS: 0

ACTIVE: 1

SOLUTION TIME: 0 Hours 0 Minutes 0 Seconds

NON-DEFAULT SETTINGS:

General Options / Warning Infeasible Constraint: On

End of Report

ANEXO 8

*SAÍDA DO WHAT'S BEST
PARA O MODELO DE
PROGRAMAÇÃO INTEIRA*

ANEXO 8 – SAÍDA DO WHAT'S BEST PARA O MODELO DE PROGRAMAÇÃO INTEIRA

```
Solver memory allocated: 353280
```

Model Type: LINEAR / INTEGER

The smallest and largest coefficients in the model were:

0.1000000E-04	487.00000
---------------	-----------

The smallest coefficient occurred in constraint cell: Restrições!G1127
on optimizable cell: Restrições!C1127

The largest coefficient occurred in constraint cell: Restrições!I81
on optimizable cell: <RHS>

CLASSIFICATION STATISTICS	Current /	Maximum
<hr/>		
Numeric	219615 /	1500000
Adjustable	3730 /	32000
Constraints	4532 /	16000
Integers	379 /	3200
Optimizable	18331	
Nonlinear	0 /	0
Coefficients	49830	

Best integer value: NONE @ 0 tries. Theoretical limit: 1098.965

INTERRUPT

The optimizer was interrupted before the solution could
be found.

Solution Time: 39 Hours 51 Minutes 24 Seconds

End of report.

ANEXO 9

*SAÍDAS DO WHAT'S BEST
PARA O MODELO DE
PROGRAMAÇÃO LINEAR*



ANEXO 9 – SAÍDAS DO WHAT'S BEST PARA O MODELO DE PROGRAMAÇÃO LINEAR

- Variação máxima Permitida entre mistas igual a 5% - 1^a Aplicação

```

Solver memory allocated: 353280

Model Type: LINEAR

The smallest and largest coefficients in the model were:

      0.1000000E-07          487.00000

The smallest coefficient occurred in constraint cell: Restrições!G1127
on optimizable cell: Restrições!C1127

The largest coefficient occurred in constraint cell: Restrições!I81
on optimizable cell: <RHS>

CLASSIFICATION STATISTICS           Current / Maximum
-----
Numeric                      209808 / 1500000
Adjustable                   5488 / 32000
Constraints                  2890 / 16000
Integers                     0 / 3200
Optimizable                  15455
Nonlinear                    0 / 0
Coefficients                 41499

Tries: 5601 Infeasibility: 0 Objective: 44.0859

Solution Status: GLOBALLY OPTIMAL.

Solution Time: 0 Hours 0 Minutes 10 Seconds

End of report.

```

- Variação máxima Permitida entre mistas igual a 5% - 2^a Aplicação

```
Solver memory allocated: 396288

Model Type: LINEAR

The smallest and largest coefficients in the model were:

      0.10000000E-12          0.31000000E+13

The smallest coefficient occurred in constraint cell: Restrições!AE38
on optimizable cell: <RHS>

The largest coefficient occurred in constraint cell: Restrições!DM162
on optimizable cell: <RHS>

      CLASSIFICATION STATISTICS      Current /      Maximum
      -----
      Numeric                      211047 /      1100000
      Adjustable                   5488 /       32000
      Constraints                  4129 /       16000
      Integers                     0 /        3200
      Optimizable                  16549
      Nonlinear                    0 /         0
      Coefficients                 43435

      Tries: 5212 Infeasibility: 0 Objective: 66.05411

      Solution Status: GLOBALLY OPTIMAL.

      Solution Time: 0 Hours 0 Minutes 9 Seconds

      End of report.
```

- Variação máxima Permitida entre mistas igual a 5% - 3^a Aplicação

```
Solver memory allocated: 396288

Model Type: LINEAR

The smallest and largest coefficients in the model were:

      0.10000000E-12          0.10000000E+12

The smallest coefficient occurred in constraint cell: Restrições!AE38
on optimizable cell: <RHS>

The largest coefficient occurred in constraint cell: Restrições!CU132
on optimizable cell: Restrições!CU69

      CLASSIFICATION STATISTICS      Current /      Maximum
-----
      Numeric                      212372 /      1100000
      Adjustable                   5488 /       32000
      Constraints                  5454 /       16000
      Integers                     0 /        3200
      Optimizable                  17874
      Nonlinear                    0 /         0
      Coefficients                 47144

Tries: 6639 Infeasibility: 0 Objective: 20.45835

Solution Status: GLOBALLY OPTIMAL .

Solution Time: 0 Hours 0 Minutes 19 Seconds

End of report.
```

- Variação máxima Permitida entre mistas igual a 5% - 4^a Aplicação

```
Solver memory allocated: 396288

Model Type: LINEAR

The smallest and largest coefficients in the model were:

    0.10000000E-12          0.30000000E+12

The smallest coefficient occurred in constraint cell: Restrições!AE38
on optimizable cell: <RHS>

The largest coefficient occurred in constraint cell: Restrições!DY176
on optimizable cell: <RHS>

      CLASSIFICATION STATISTICS      Current /      Maximum
-----  
      Numeric                  211047 /      1100000
      Adjustable                5488 /       32000
      Constraints               4129 /       16000
      Integers                  0 /        3200
      Optimizable                16549
      Nonlinear                  0 /         0
      Coefficients              43455

Tries: 5052 Infeasibility: 0 Objective: 30.3503

Solution Status: GLOBALLY OPTIMAL.

Solution Time: 0 Hours 0 Minutes 8 Seconds

End of report.
```

- **Variação máxima Permitida entre mistas igual a 5% - 5^a Aplicação**

```
Solver memory allocated: 353280

Model Type: LINEAR

The smallest and largest coefficients in the model were:

      0.10000000E-12          0.30000000E+12

The smallest coefficient occurred in constraint cell: Restrições!AE38
on optimizable cell: <RHS>

The largest coefficient occurred in constraint cell: Restrições!DY176
on optimizable cell: <RHS>

      CLASSIFICATION STATISTICS      Current /      Maximum
      -----
      Numeric                      212102 /      1500000
      Adjustable                   5488 /       32000
      Constraints                  5187 /       16000
      Integers                     0 /        3200
      Optimizable                  17749
      Nonlinear                    0 /         0
      Coefficients                 46342

Tries: 6091 Infeasibility: 0 Objective: 12.24988

Solution Status: GLOBALLY OPTIMAL.

Solution Time: 0 Hours 0 Minutes 17 Seconds

End of report.
```

- **Variação máxima Permitida entre mistas igual a 5% - 6^a Aplicação**

```
Solver memory allocated: 353280

Model Type: LINEAR

The smallest and largest coefficients in the model were:

      0.10000000E-12          0.10000000E+12

The smallest coefficient occurred in constraint cell: Restrições!AE38
on optimizable cell: <RHS>

The largest coefficient occurred in constraint cell: Restrições!DA132
on optimizable cell: Restrições!DA69

      CLASSIFICATION STATISTICS      Current /      Maximum
-----
      Numeric                      213252 /      1500000
      Adjustable                   5488 /       32000
      Constraints                  6334 /       16000
      Integers                     0 /        3200
      Optimizable                  18754
      Nonlinear                    0 /         0
      Coefficients                 49111

Tries: 10250 Infeasibility: 0 Objective: 7.979741

Solution Status: GLOBALLY OPTIMAL.

Solution Time: 0 Hours 0 Minutes 35 Seconds

End of report.
```

- Variação máxima Permitida entre mistas igual a 5% - 7ª Aplicação

```
Solver memory allocated: 353280

Model Type: LINEAR

The smallest and largest coefficients in the model were:

      0.10000000E-12          0.30000000E+12

The smallest coefficient occurred in constraint cell: Restrições!AE38
on optimizable cell: <RHS>

The largest coefficient occurred in constraint cell: Restrições!DY176
on optimizable cell: <RHS>

      CLASSIFICATION STATISTICS      Current /      Maximum
      -----
      Numeric                      213967 /      1500000
      Adjustable                   5488 /       32000
      Constraints                  7049 /       16000
      Integers                     0 /        3200
      Optimizable                  19469
      Nonlinear                    0 /        0
      Coefficients                 50586

      Tries: 9049 Infeasibility: 0 Objective: 41.61681

      Solution Status: GLOBALLY OPTIMAL.

      Solution Time: 0 Hours 0 Minutes 28 Seconds

      End of report.
```

- **Variação máxima Permitida entre mistas igual a 5% - 8^a Aplicação**

```
Solver memory allocated: 353280

Model Type: LINEAR

The smallest and largest coefficients in the model were:

      0.10000000E-12          0.10000000E+12

The smallest coefficient occurred in constraint cell: Restrições!AE38
on optimizable cell: <RHS>

The largest coefficient occurred in constraint cell: Restrições!C0132
on optimizable cell: Restrições!C069

      CLASSIFICATION STATISTICS      Current /      Maximum
      -----
      Numeric                      209612 /      1500000
      Adjustable                   5488 /       32000
      Constraints                  2694 /       16000
      Integers                     0 /        3200
      Optimizable                  15259
      Nonlinear                    0 /        0
      Coefficients                 40416

Tries: 4879 Infeasibility: 0 Objective: 24.94309

Solution Status: GLOBALLY OPTIMAL.

Solution Time: 0 Hours 0 Minutes 9 Seconds

End of report.
```

- **Variação máxima Permitida entre mistas igual a 5% - 9^a Aplicação**

```
Solver memory allocated: 353280

Model Type: LINEAR

The smallest and largest coefficients in the model were:

      0.10000000E-12          0.30000000E+12

The smallest coefficient occurred in constraint cell: Restrições!AE38
on optimizable cell: <RHS>

The largest coefficient occurred in constraint cell: Restrições!DY176
on optimizable cell: <RHS>

CLASSIFICATION STATISTICS           Current / Maximum
-----
Numeric                      211047 / 1500000
Adjustable                   5488 / 32000
Constraints                  4129 / 16000
Integers                     0 / 3200
Optimizable                  16549
Nonlinear                    0 /
Coefficients                 43458

Tries: 6257 Infeasibility: 0 Objective: 34.50896

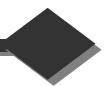
Solution Status: GLOBALLY OPTIMAL.

Solution Time: 0 Hours 0 Minutes 12 Seconds

End of report.
```

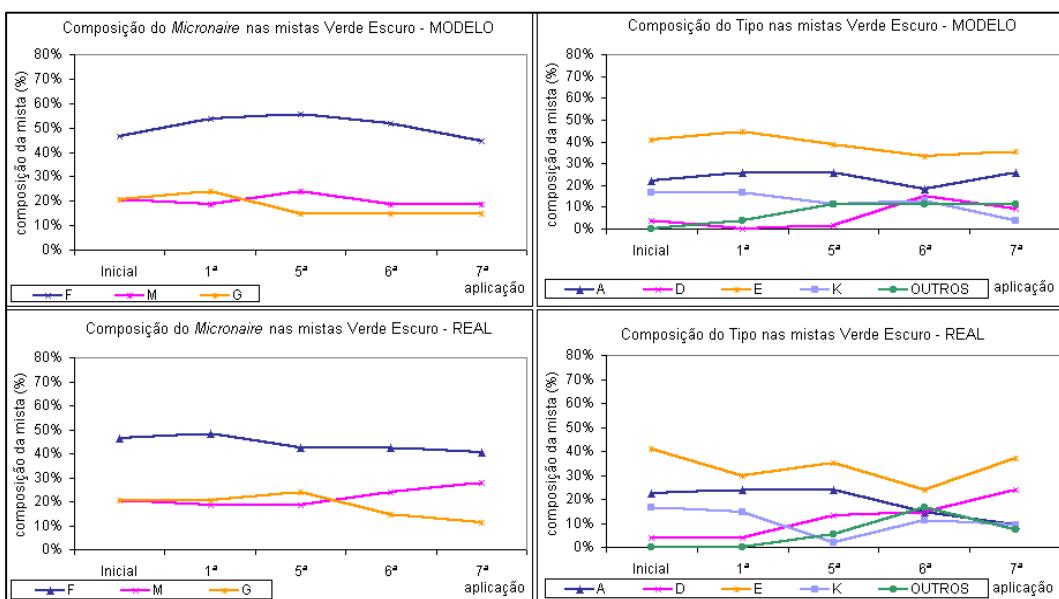
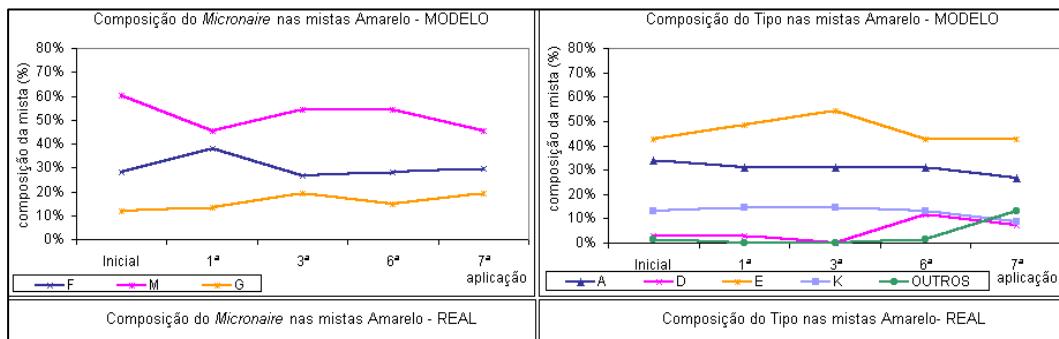
ANEXO 10

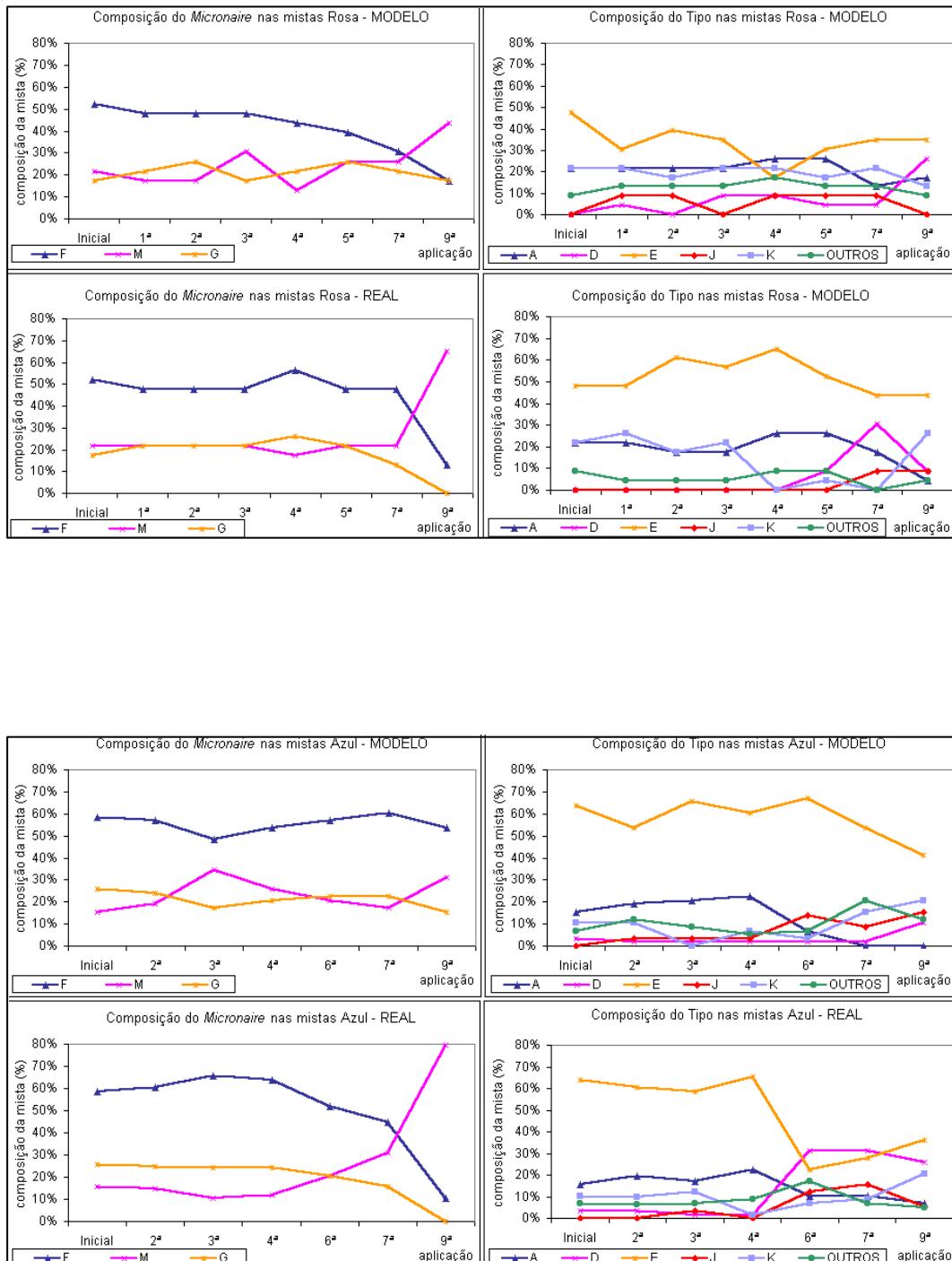
***COMPOSIÇÃO DAS MISTAS
OBTIDA PELO MODELO***

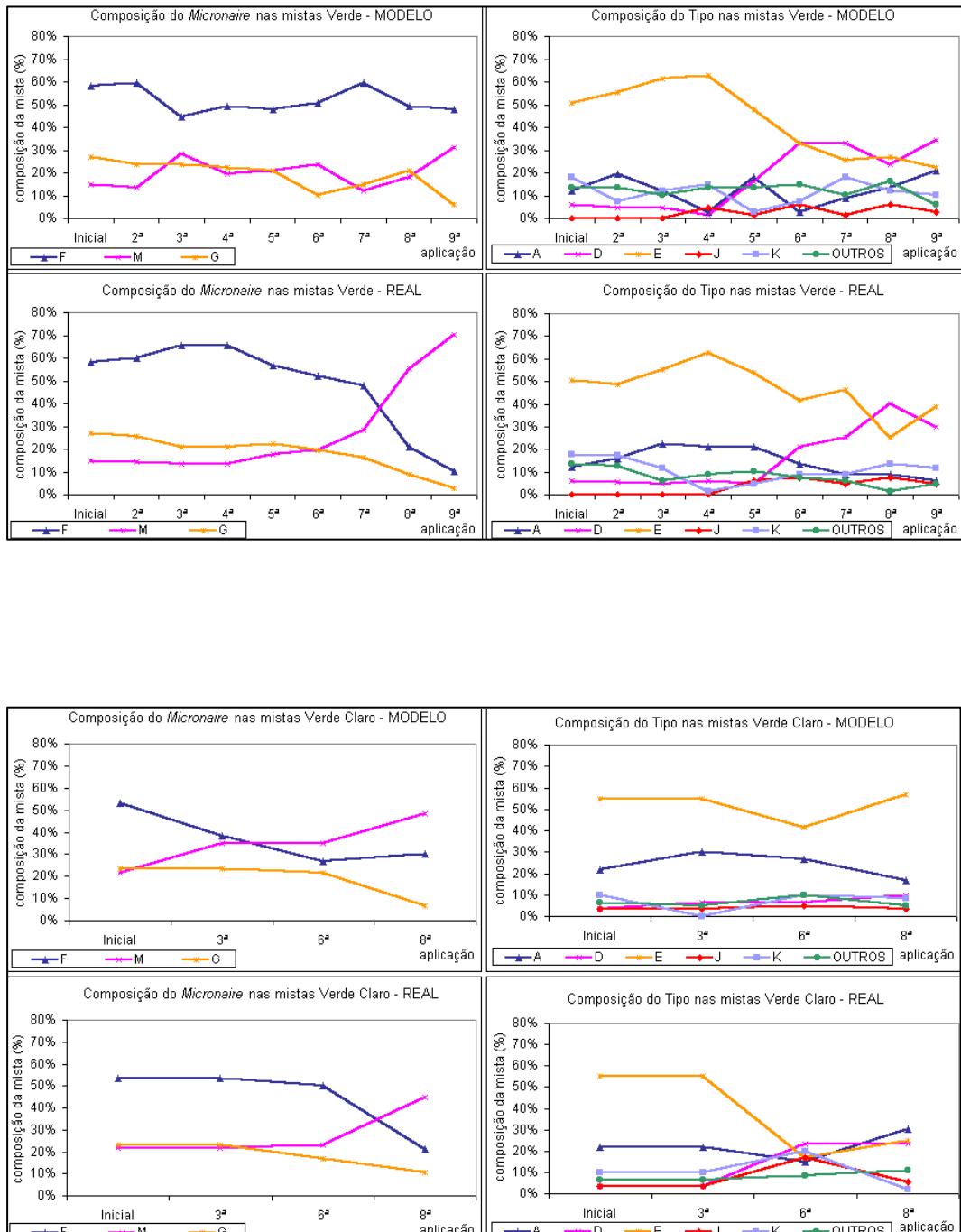


ANEXO 10 – COMPOSIÇÃO DAS MISTAS OBTIDA PELO MODELO

- Variação máxima Permitida entre mistas igual a 15%







- Variação máxima Permitida entre mistas igual a 10%

