

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

SILAS CORREIA LOBO

**MINIMIZAÇÃO DO TEMPO DO PROCESSO DE ENFESTO
UTILIZANDO PROGRAMAÇÃO LINEAR**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA
2016

SILAS CORREIA LOBO

**MINIMIZAÇÃO DO TEMPO DO PROCESSO DE ENFESTO
UTILIZANDO PROGRAMAÇÃO LINEAR**

Monografia de Especialização, apresentado ao Curso de Especialização em Automação Industrial, do Departamento Acadêmico de Eletrônica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista.

Orientador: Prof. Dr. Sérgio Leandro Stebel

CURITIBA
2016

RESUMO

CORREIA LOBO, Silas, **minimização no tempo do processo do enfesto utilizando programação linear**. 2016, 17 f., Monografia (Curso de Especialização em Automação Industrial), Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2016.

Este trabalho faz um estudo sobre o processo de enfiar uma malha na indústria têxtil com o objetivo de reduzir o tempo do processo entre a saída da malha crua para a tinturaria, que é um serviço terceirizado, o retorno da malha e o final do processo de enfiar. Os dados foram coletados de maneira que não houvesse distorção ou influências externas e posteriormente analisados. O método utilizado para buscar uma otimização no processo foi o da programação linear, havendo o levantamento da função objetivo e restrições das variáveis.

Palavras chave: Malharia. Enfiar. Tinturaria. Programação Linear.

ABSTRACT

CORREIA LOBO, Silas, **spreading process time minimization using linear programming**. 2016, 17 f., Monografia (Curso de Especialização em Automação Industrial), Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2016.

This academic work analisys the process of spreading a textile in the industry which objective is minimize the process' time between the knits dispatch to the dyer, that is a outsourcing process, and the knits return to the industry and the end of the spreading process. Data were collected in a way that no distortion or external influence could appear and lately were analyzed. The method used to optimize the process were the linear programming, getting the objetctive function and the variable`s restriction.

Palavras chave: Textile. Spreading. Dyer. Linear Programming.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma do processo produtivo	14
Figura 2 – Tear	15
Figura 3 – Enfestadeira manual	17
Figura 4 – Enfestadeira automatizada	18
Figura 5 – Serra fita	19
Figura 6 – Máquina de corte automatizada com cortador à lâmina	19
Figura 7 – Setor de separação	20
Figura 8 – Máquina de costura reta	21
Figura 9 – Máquina de costura galoneira	22
Figura 10 – Máquina de costura overloque	22
Figura 11 – Capacidade de produção de rolo de malha	37
Figura 12 – Limite de produção do fornecedor A	37
Figura 13 – Limite de produção do fornecedor B	38
Figura 14 – Região viável	39
Figura 15 – Solução ótima	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tempo de giro	30
Tabela 2 – Tempo para enfiar de malha	32
Tabela 3 – Capacidade produtiva dos fornecedores	33
Tabela 4 – Tempos totais	34
Tabela 5 – Ponto ótimo do sistema	40
Tabela 6 – Resultado final	41

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	09
1.1. Problema	10
1.2. Objetivos	11
1.2.1. Objetivo geral	11
1.2.2. Objetivos específicos	11
1.3. Justificativa	12
1.4. Estrutura do trabalho.....	12
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	13
2.1. O processo produtivo na indústria têxtil	13
2.1.1. Fluxograma do processo produtivo	13
2.1.2. Tecelagem	15
2.1.3. Tinturaria	15
2.1.4. Enfesto	16
2.1.5. Corte	18
2.1.6. Separação	20
2.1.7. Pré-Costura	21
2.1.8. Costura	21
2.1.9. Revisão	23
2.1.10. Embalagem	23
2.1.11. Expedição	23
2.2. Pesquisa operacional	24
2.2.1. Programação linear	24
3. DESENVOLVIMENTO DO TEMA	26
3.1. Metodologia	26
3.2. Estudo de caso	26
3.2.1. Tecelagem	27
3.2.2. Tinturaria	27
3.2.3. Enfesto	28
3.3. Definição das variáveis do sistema	29
3.4. Tempo de giro do material	30
3.5. Tempo de enfesto	31
3.6. Capacidade de produção de malha	33
3.7. Limite de produção dos fornecedores	33
3.8. Formulação matemática	34
3.8.1. Função objetivo	34
3.8.2. Restrições	35
3.9. Resolução do sistema	36

3.9.1. Região viável	36
3.9.2. Solução ótima	39
4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	41
4.1. Variáveis	41
4.2. Restrições.....	41
4.3. Minimização do tempo de processo	41
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	42
6. REFERÊNCIAS	43

1. INTRODUÇÃO

A alta concorrência de mercado no setor têxtil, principalmente com produtos de procedência chinesa a baixo custo, faz com que as indústrias do setor estejam sempre em busca de novas soluções que visam aumentar a produtividade, seja com a terceirização de determinadas áreas, automação de atividades chave ou até mesmo a otimização de alguns processos.

Muitas vezes há algumas limitações quanto a essas melhorias, seja pelo investimento inicial muito elevado ou o longo tempo de retorno dentro da volatilidade de uma indústria têxtil que trabalha com produtos em forma de coleções conforme a estação climática.

Ante essas observações anteriormente apresentadas, será analisado uma pequena indústria têxtil familiar, situada na cidade catarinense de Jaraguá do Sul, quanto ao processo de enfesto da malha.

Esse processo caracteriza-se como um dos poucos processos que não possuem controle dentro da empresa e tem gerado grande preocupação, pela falta de um gerenciamento mais conciso.

O enfesto de uma malha pode ser realizado utilizando ferramentas bem distintas quanto a sua tecnologia, as empresas menores ainda usam as máquinas de enfesto manuais, que é o caso da análise deste trabalho. Porém, grandes empresas já trabalham com máquinas automatizadas, com alta tecnologia embarcada.

Como mencionado anteriormente, o processo de enfesto dentro da indústria em questão, ainda é um processo manual, devendo ser gerado um cuidado muito grande no processo em si, bem como na padronização da qualidade do serviço. PORQUE?

Atualmente o fluxo de material dentro da empresa é muito bem definido, pois a malha é produzida na tecelagem e é encaminhada a dois fornecedores terceirizados de tinturaria, para que recebam as cores da coleção em produção e tenham um tratamento denominado ramada. O tratamento de ramada tem por objetivo reduzir o enrugamento das malhas para que elas fiquem planas e não

haja problemas no momento de enfiar as malhas sobre a mesa e reduzir o desperdício na hora de cortar.

Como uma forma de unir e aplicar este contexto (cuidado com o processo de enfiar e padronização da qualidade do serviço) será proposto nesse trabalho uma forma de otimizar o processo, reduzindo o tempo de giro do material entre as tinturarias terceirizadas e o final do processo de enfiar.

1.1. PROBLEMA

O fio é a matéria prima de toda indústria têxtil e nesse caso não poderia ser diferente. Ele é adquirido de cooperativas e ao chegar na indústria é estocado no setor da tecelagem, a qual irá dar a destinação correta conforme a programação de vendas. A tecelagem é composta pelos teares que são máquinas responsáveis por transformar o fio em malha crua. Chama-se de malha crua pois ela não recebeu nenhum beneficiamento até então.

Cada tear tem a capacidade de produzir um rolo de malha crua a cada duas horas de trabalho, e as características dos rolos são muito semelhantes, mesmo havendo ligeiras diferenças causadas pelo fato de que os teares são de diferentes épocas. Os rolos de malha produzidos são de aproximadamente vinte quilogramas e 240 metros de comprimento.

Os rolos de malha crua são enviados à tinturaria para que recebam as cores, estampas e sejam ramados conforme a necessidade dos clientes. Atualmente a indústria a ser estudada trabalha com dois fornecedores de tinturaria, que apresentam características bem diversas quanto ao produto final, tempo de giro do material e limitações quanto ao tempo de produção.

Ao retornar da tinturaria, o tecido é armazenado na casa de malha e será colocado em linha de produção. A linha de produção começa exatamente no processo de enfiar do tecido em rolo, que é a preparação do tecido para o setor de corte.

Como o objetivo desse trabalho será otimizar o processo de enfiar, trabalhando com as variáveis que influenciam o processo, ficarão de fora do trabalho os demais processos que vêm na sequência do enfiar.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo Geral

O objetivo dessa dissertação é analisar o processo de enfiar e levantar todas as variáveis internas e externas que interferem diretamente nele. Após encontrarmos as variáveis iremos propor uma otimização no tempo de processo fazendo uso dos conceitos de programação linear sem comprometer os demais setores da empresa e principalmente o prazo acordado com os clientes. Para as análises será utilizados os conceitos de programação linear para minimizar o tempo entre a saída do rolo de malha crua para a tinturaria e o final do processo de enfiar, trabalhando com os fornecedores terceirizados de tinturaria quanto a tempo de giro de material e impacto de tempo na produção do produto entregue por cada um deles.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Identificar as variáveis de decisão e os parâmetros do processo;
- Definir as restrições do problema
- Modelar uma função objetivo para minimizar o tempo entre o envio da malha para tinturaria e o final do processo de enfiar

1.3. JUSTIFICATIVA

A falta de controle em prazos e qualidade do material fornecido pelas tinturarias terceirizadas podem impactar diretamente na produtividade da empresa como um todo, já que todos os produtos produzidos pela fábrica são destinados a tinturaria, para receberem o tratamento adequado, conforme os pedidos dos clientes.

O fato de que as tinturarias oferecem materiais com qualidade diferente e prazos de entrega diferentes podem ocasionar gargalos nos demais setores, ou um momento de ociosidade muito grande, que corresponde um desperdício muito grande com folha de pagamento.

1.4. ESTRUTURA DO TRABALHO

No capítulo dois, é feita uma introdução aos processos da indústria têxtil, diretamente ligados ao sistema em análise, descrevendo seu funcionamento. Neste capítulo também será abordado o conceito de programação linear.

O capítulo três introduz o passo a passo para a formulação, apresentando a função objetivo e as restrições do sistema.

No capítulo quatro será apresentado o resultado obtido pela minimização do tempo do processo.

O último capítulo traz as conclusões obtidas com esse trabalho.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. O PROCESSO PRODUTIVO DA INDÚSTRIA TÊXTIL

O processo produtivo da indústria têxtil é uma sequência de atividades operacionais que se iniciam na manufatura da malha, passando por toda a produção até chegar ao setor de expedição.

De acordo com as políticas internas de cada indústria, algumas das etapas podem ser terceirizadas, mas para a obtenção do resultado final, produto acabado, os processos são os mesmos independente do tamanho da empresa ou do produto acabado da indústria têxtil.

2.1.1. FLUXOGRAMA DO PROCESSO PRODUTIVO

As etapas do processo produtivo interagem entre si e possuem as características de cliente e fornecedor.

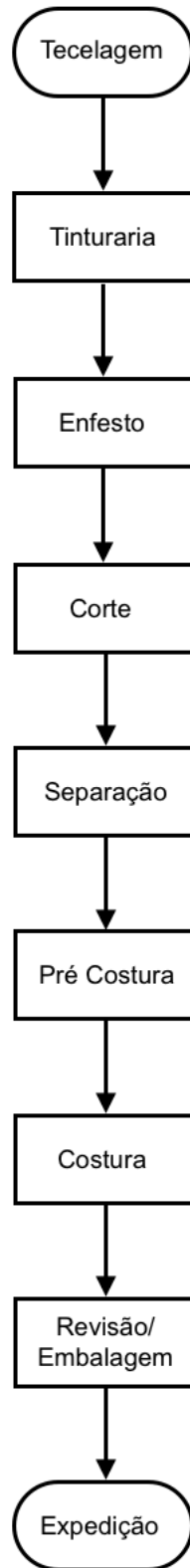


Figura 1 – Fluxograma do processo produtivo

2.1.2. TECELAGEM

A tecelagem é o setor da indústria responsável pelo processo de entrelaçamento dos fios, transformando-os na malha que será utilizado nos demais processos. Utilizando-se para isso máquinas denominadas de teares, que são as responsáveis por elaborar as tramas dos tecidos e trabalham num sistema circular e contam com mais de 4.000 agulhas para realizar o processo.

Os teares são alimentados por bobinas de fios que ficam alocados de forma circular ao entorno do tear em estantes chamadas de gremalheiras como na figura 2.

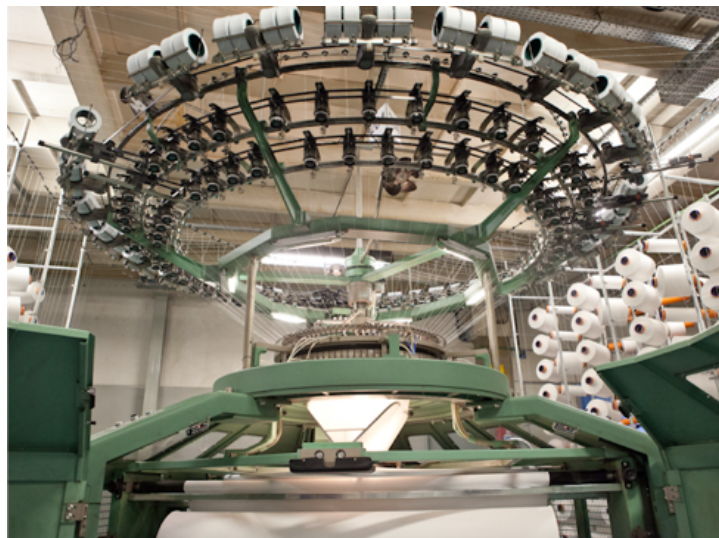


Figura 2 - Tear

2.1.3. TINTURARIA

A tinturaria é uma atividade responsável pelo beneficiamento da malha teada no setor da tecelagem. Esse beneficiamento tem por objetivo melhorar as características do produto e é dividido em três etapas.

O beneficiamento primário que tem por objetivo tratar a malha crua da tecelagem para que possa receber a tintura, estampa e acabamento final. Para isso, esse processo elimina todos os produtos químicos utilizados no processo de tear, como óleos, aditivos, gomas, etc.

O beneficiamento secundário é o tratamento responsável por conceder cor ou estampar a malha crua através da aplicação de corantes de acordo com a tonalidade desejada.

O beneficiamento terciário consiste em dar o acabamento final à malha, com o objetivo de melhorar as características do material como, aspecto físico, brilho, planicidade, ramada, etc.

2.1.4. ENFESTO

Enfesto é o setor responsável pela atividade de desenrolar o rolo de malha e estende-lo sobre uma mesa perfeitamente horizontal. O processo de enfesto pode ser realizado de forma manual, semi-automatizado ou totalmente automatizado.

Quando é realizado de forma manual, o rolo de malha é desenrolado sobre a mesa, sendo necessário três funcionários para realizar a atividade, e devido ao peso do rolo de malha o processo gera problemas de estiramento, prejudicando o processo de corte posteriormente.

A enfestadeira concede um grau de automatização ao processo, pois nesse caso o rolo de malha é fixado na enfestadeira através de um tubo metálico que passa por dentro do rolo de malha, dando a liberdade enrolar ou desenrolar o mesmo. A máquina pode ser operada por uma ou duas pessoas, e para isso existem alças laterais que auxiliam o transporte sobre trilhos figura 3.



figura 3 – Enfestadeira manual

No método totalmente automatizado, a enfestadeira é um carro automático e o operador apenas acompanha o processo caso seja necessário alguma intervenção. Esse método é utilizado em indústrias com grande produção, em que as mesas de enfesto são muito longas figura 4.



figura 4 – Enfestadeira automatizada

O setor de enfiado também é responsável por analisar a qualidade do tecido que está sendo enfiado, pois caso haja manchas, falhas, furos ou qualquer outro defeito ele deve ser eliminado antes de partir para o corte.

2.1.5. CORTE

O setor de corte é o responsável por uma das principais atividades dentro da indústria têxtil, pois nela são gerados os maiores desperdícios de todo o processo. Um erro nessa etapa é irreparável e todo um rolo de malha deve ser descartado.

O operador do corte recebe a malha enfiada do setor anterior e conforme a programação do PCP, ele irá realizar os cortes na malha.

O departamento de PCP é responsável por administrar a demanda dos setores administrativos, realizando as programações de quantidade de peças e tamanhos. Essa programação tem como resultado final um material denominado de encaixe, que é um arquivo com a dimensão da mesa de enfiado, distribuindo os moldes de cada uma das peças que serão cortados.

A atividade de corte pode ser realizada manualmente, através de tesouras, máquinas de lâmina vertical, serra fita, etc. que são indicados para pequenas quantidades (pouca altura) de enfiado, pois não proporcionam precisão (figura 5).

Desde que o encaixe pode ser digitalizado no formato CAD, já é possível a utilização de máquinas computadorizadas para realizar esse processo, e o corte pode ser feito através sistema que utilizam cortadores a laser e a lâmina (figura 6).



figura 5 – serra fita



figura 6 – máquina de corte automatizada com cortador à lâmina

2.1.6. SEPARAÇÃO

O setor de separação é o responsável por separar, etiquetar e amarrar as peças provenientes do setor de corte. As peças são identificadas através da etiqueta de marcação por tamanho (P-M-G-GG), coleção e posicionamento no produto final, por exemplo identificar as mangas direitas e esquerdas.

As etiquetas são utilizadas pelos demais processos posteriores à separação, facilitando a identificação de cada um dos moldes

Normalmente esse setor localiza-se no final da mesa de corte para evitar o traslado das peças, reduzindo a perda com materiais (figura 7).



figura 7 – setor de separação

2.1.7. PRÉ-COSTURA

A etapa denominada de pré costura é a responsável por preparar todo o material que necessita de alguma alteração para que seja costurado posteriormente como chuleados, bainhas, bordados e estampas.

2.1.8. COSTURA

O setor de costura é o responsável por dar corpo as peças, pois é nesse setor que os moldes são encaixados. Existem diversos modelos de máquina de costurar e cada uma delas tem uma utilização específica, seja pelo tecido ou o acabamento necessário. As principais são as máquinas de costura reta (figura 8), a máquina galoneira (figura 9) e a overloque (figura 10).



figura 8 – máquina de costura reta



figura 9 – Máquina de costura galoneira



figura 10 – máquina de costura overloque

2.1.9. REVISÃO

O processo de revisão é o processo final de inspeção das peças. As peças são analisadas individualmente para localizar algum defeito no processo de fabricação, como pequenas falhas na costura, a falta de algum acessório, como um botão, manchas no tecido, etc.

Esse processo também é responsável por realizar a limpeza das peças, removendo fios e pequenos pontos de linha. Caso haja algum retrabalho a ser feito a peça é enviada ao setor de costura e lá são feitas as melhorias necessárias.

Devido a atividade desenvolvida a iluminação do setor deve ser diferenciada para que não haja interferência de cores e a projeção de sombras.

2.1.10. EMBALAGEM

O setor de embalagem, popularmente conhecido como dobração, tem por principal atividade dobrar as peças inspecionadas da revisão e embalá-las conforme a padronização do pedido. Geralmente são embaladas em pacotes plásticos e posteriormente agrupadas em caixa de papelão para facilitar o transporte.

2.1.11. EXPEDIÇÃO

A expedição tem por objetivo embalar as peças conforme os pedidos dos clientes e encaminhá-los para o transporte.

2.2. PESQUISA OPERACIONAL

O termo pesquisa operacional, tem origem militar durante a segunda guerra mundial, quando militares britânicos recorreram a cientistas e engenheiros para analisarem sérios problemas de ordem militar, como logística de suprimentos e tática.

Segundo Winston (1994), pesquisa operacional é um método científico para orientar nas tomadas de decisões de uma melhor forma, normalmente em condições em que os recursos são escassos.

2.2.1. PROGRAMAÇÃO LINEAR

A programação linear é uma das técnicas mais utilizadas de pesquisa operacional, com o intuito de otimizar um processo, tendo como base um grupo de restrições lineares. Esse método é muito utilizado pois a linearidade dos sistemas torna a sua aplicabilidade simples.

O objetivo dos processos de programação linear é maximizar ou minimizar uma função linear, denominado função objetivo, respeitando um sistema de desigualdades, denominadas restrições do modelo.

Essas restrições determinam a região denominada de conjunto viável, ou seja, todas as soluções para o problema estão limitadas em um espaço do plano cartesiano, e a que melhor soluciona o sistema é chamada de solução ótima do sistema.

Segundo Winston (1994), existem sete passos para a aplicação dos métodos de pesquisa operacional e colher os resultados finais, são eles:

- i. **Orientação do problema:** consiste em identificar qual é o problema.
- ii. **Definição do problema:** essa etapa resume-se em compreender o problema mais profundamente e identificar quais são as variáveis que afetam o sistema como um todo.
- iii. **Coletar informações:** após identificadas quais as variáveis essa etapa nos orienta a coletar as informações pertinentes a cada uma delas, como medições de tempo de processo, capacidade produtiva de um determinado setor, etc.
- iv. **Formulação do modelo matemático:** nesse ponto, devemos encontrar qual o modelo matemático que gere o sistema como um todo, e é nessa etapa do processo que serão formuladas as funções objetivos do sistema bem como as restrições.
- v. **Solução do problema:** após obter todas as informações necessárias o problema deve ser solucionado utilizando alguns dos métodos de programação linear, podendo-se trabalhar com o método gráfico, branch and bound, etc.
- vi. **Validação e análise de dados:** quando se obtiver os valores de otimização do sistema deve-se validar os dados, comparando os valores obtidos com a função objetivo (responsável por maximizar ou minimizar um processo) para uma análise de validação.
- vii. **Implementação e validação:** depois de validar os dados o correto é colocar as informações obtidas em prática e ter a possibilidade de poder validar os dados na prática.

3. DESENVOLVIMENTO DO TEMA

3.1. METODOLOGIA

Para realização do trabalho uma série de etapas foram elaboradas e cumpridas para a obtenção dos dados e informações.

A primeira etapa foi aprofundar os conhecimentos nos métodos industriais de uma indústria têxtil, e para isso foi realizado um estágio intensivo por cada um dos setores.

A etapa seguinte foi o levantamento da revisão bibliográfica, que foi focada em literaturas técnicas da confecção e matérias sobre pesquisa operacional com enfoque em programação linear.

A terceira etapa foi o levantamento das etapas primordiais para a elaboração desse trabalho, objetivando otimizar o processo de enfiar, reduzindo o tempo do sistema como um todo.

3.2. ESTUDO DE CASO

Esse trabalho foi realizado na empresa Kaelly, localizada na cidade de Jaraguá do Sul, no estado de Santa Catarina.

Foram analisados os processos de tecelagem, tinturaria e enfiar da empresa em questão, com o intuito de compreender o *modus operandi* dos setores e identificar quais as informações mais relevantes.

3.2.1. TECELAGEM

A tecelagem é o setor na empresa responsável por receber a matéria prima, o fio, e transformá-lo em malha, que será utilizada para a confecção dos demais produtos. Atualmente a indústria conta com seis teares que trabalham ininterruptamente entre o primeiro e segundo turno de trabalho, ou seja, uma atividade que dura 16 horas entre segunda e sexta-feira.

O setor de tecelagem está localizado numa área de 800 m² onde estão os seis teares mencionados anteriormente, todo o estoque de fio (matéria prima) e as malhas cruas que foram tecidas (produto acabado da tecelegem).

Todas as máquinas são operadas por apenas um funcionário por turno, devido a facilidade de manuseio dos equipamentos. A principal atividade do operador é repor o fio gremalheira de fio, remover os rolos de malha tecidas pelos teares e prestar qualquer manutenção técnica caso seja necessário.

3.2.2. TINTURARIA

Após a malha crua ter sido teada pela setor da tecelagem, os rolos são estocados e aguardam a equipe da tinturaria vir retirá-los. Eles ficam estocados na própria tecelagem e o transporte até a tinturaria é diário. No processo eles trazem rolos tingidos e levam os crus para realizar o trabalho necessário.

O processo terceirizado da tinturaria é responsável por tingir, estampar e realizar o processo de ramada nas malhas conforme a programação da coleção do momento.

Esses processos influenciam diretamente na etapa seguinte, que é o enfesto, pois se os procedimentos não forem seguidos a risca, poderá haver muito retrabalho por parte da equipe de enfesto.

Não entraremos nos detalhes de como são feitos cada um dos processos por eles serem terceirizados, e no capítulo seguinte iremos medir e analisar os impactos que cada um deles geram no nosso processo em estudo.

3.2.3. ENFESTO

O processo do enfesto consiste em abrir e espalhar o rolo de malha sobre uma mesa (mesa de enfesto) através de um equipamento denominado enfestadeira. Atualmente existem enfestadeiras manuais e automatizadas, na indústria em estudo utilizam-se apenas as manuais.

O funcionamento da enfestadeira é muito simples, pois o equipamento conecta-se a mesa de enfesto através de dois trilhos localizados um de cada lado de mesa. Através desse trilho ela percorre toda a extensão da mesa.

O rolo de malha é fixado na enfestadeira através de um tubo metálico que passa por dentro do rolo dando a liberdade de enrolar ou desenrolar o mesmo. A máquina pode ser operada por uma ou duas pessoas, e para isso existem alças laterais que auxiliam no transporte (sobre os trilhos) da máquina de enfesto para deslocar ela até o outro lado da mesa.

Os operadores carregam a máquina de enfesto com o rolo de malha e transportam a máquina como o intuito de desenrolar o rolo de malha sobre a mesa, realizando idas e vindas, formando uma camada com 20 níveis de malha, preparando-a para o setor de corte.

Como mencionado anteriormente essa máquina poderia ser operada por apenas um operador, mas devido a qualidade do tecido de proveniência das tinturarias é necessário dois operadores para esticar o tecido, pois um dos fornecedores de tinturaria entrega o material não tão esticado como se precisa,

e isso gera um retrabalho que cabe aos operadores da máquina de enfesto ajustar.

Com o término do enfesto (desenrolar da malha sobre a mesa) ela já está apta a ir para a próxima etapa que é o corte.

O setor de enfesto conta com três mesas para o processo e os operadores trabalham alternadamente de mesa em mesa, pois assim que o enfesto é preparado a máquina de corte começa a fazer uso da mesa para transporte do enfesto e posterior corte, conforme a figura 4.

3.3. DEFINIÇÃO DAS VARIÁVEIS DO SISTEMA

O primeiro passo é identificar quais as do sistema. Como o objetivo desse trabalho é reduzir o tempo entre a saída da malha para tinturaria e o final do processo de enfesto, sabe-se as variáveis serão todas aquelas que alteram o tempo de execução do processo.

A primeira variável é o tempo em que cada um dos fornecedores de tinturaria leva para recolher a malha crua e retornar com o produto acabado – tempo de giro (variável 1).

Como são dois fornecedores e de antemão já se sabe que o produto entregue por eles são diferentes, tem-se que levar em conta o tempo que cada operador leva para realizar o enfesto para cada um dos fornecedores (variável 2).

Outra variável do processo é a capacidade da indústria em produzir rolos de malha (variável 3).

A última variável é a capacidade de cada um dos fornecedores em produção mensal, pois essa variável é fundamental para a determinação de quantas peças por fornecedor serão distribuídas, respeitando-se a capacidade máxima de atendimento de cada um deles (variável 4).

3.4. TEMPO DE GIRO DE MATERIAL

O tempo de giro de material é aqui definido com o tempo em que a malha crua leva para ser recolhida pelo fornecedor até a entrega do produto acabado. Os materiais recebem diversos processos, conforme a programação da fábrica, e podem ser caracterizados como tingimento, estamparia ou ramada.

Todas as malhas recebem o processo de ramada, já mencionado anteriormente, e algumas malhas são tingidas e outras estampadas.

Contratualmente cada um dos fornecedores tem um prazo diferente para entregar o material e esse prazo é seguido a risca por ambos, pois nunca ocorreram adiantamentos na entrega do material (exceto casos específicos) e houveram 3 atrasos na entrega do material nos últimos 12 meses. Com isso, pode-se considerar que o tempo de giro do material pode ser considerado como o tempo contratual.

Cada um dos fornecedores será denominado como fornecedor A e fornecedor B, para que não sejam expostos suas razões sociais.

A tabela 1 mostra qual o tempo de giro de material para cada um dos fornecedores.

Tabela 1 – Tempo de giro

Fornecedor	Tempo de Giro (dias úteis)
Fornecedor A	8
Fornecedor B	7

3.5. TEMPO DE ENFESTO

O tempo de enfeito é caracterizado pelo tempo que um operador leva para desenrolar um rolo de malha sobre a mesa de enfeito respeitando-se os padrões mínimos de qualidade da empresa.

Durante o processo de enfeito é necessário observar que o operador da enfeitadeira deve sempre manter a malha sobre a mesa o mais esticada possível. O fornecedor A entrega um material de alta qualidade, tirando do operador a necessidade de ajustes da malha durante o processo.

Já o fornecedor B oferece um material de qualidade um pouco inferior, e o processo de ramada não é bem executado, causando um retrabalho durante o processo de enfeito. Esse retrabalho gera um pequeno atraso causando uma improdutividade.

Para determinar o impacto que cada um dos fornecedores causa no processo deve-se contabilizar o tempo de enfeito para o produto de cada um deles. Com isso coletou-se vinte amostras de tempo de enfeito para cada um dos fornecedores, representada na tabela 2.

Para não gerar vícios no processo de coleta das amostras, foi estabelecido que as amostras seriam coletadas no mesmo período do dia. As amostras foram colhidas durante duas semanas consecutivas entre os horários de 7:15 da manhã e 9:30 da manhã.

A partir das coletas todas as amostras foram excluídas o menor e o maior tempo para que não influenciassem os demais valores, e foi realizada a média aritmética simples entre os demais tempos restantes

Tabela 2 – Tempo para enfiar de malha

Tempo	Fornecedor A (tempo em segundos)	Fornecedor B (tempo em segundos)
1	541	732
2	454	762
3	510	738
4	498	722
5	508	719
6	534	718
7	531	735
8	520	736
9	536	748
10	538	743
11	542	727
12	541	722
13	533	726
14	533	730
15	532	722
16	525	718
17	518	719
18	539	700
19	527	752
20	539	766
Média	525	732

3.6. CAPACIDADE DE PRODUÇÃO DE MALHA

Para definir a capacidade de produção de malha pela indústria deve-se olhar para dentro da tecelagem, pois ela é a responsável pela produção da malha.

Já foi descrito anteriormente que a tecelagem é um setor que trabalha com seis máquinas em produção contínua de dezesseis horas diárias, pois é o único setor da empresa que trabalha em dois turnos.

Cada um dos teares leva duas horas trabalhadas para produzir um rolo de malha dentro das especificações da empresa, especificações essas que são rolo de 20 quilogramas, que possuem aproximadamente 204 metros de comprimento

Com as informações coletadas chega-se ao número total de 640 rolos de malha por mês.

3.7. LIMITE DE PRODUÇÃO DOS FORNECEDORES

Sabe-se que a empresa não está entre os principais clientes dos fornecedores, e isso impõe algumas situações, que geram interferências externas que devemos nos adaptar, não tendo a capacidade de muda-las.

A principal de todas é o limite que cada um dos fornecedores de tinturaria concedem em sua produção conforme a tabela 3, os valores são trabalhados de forma a manter um relacionamento forte com nossos fornecedores, não enviando toda a produção para um dos fornecedores e nada para o outro.

Porém, não há nenhum controle de retorno para a indústria sobre quantos rolos enviar para cada um dos fornecedores.

Tabela 3 – Capacidade produtiva dos fornecedores

Fornecedor	Limite de Produção (Rolo/mês)
Fornecedor A	300
Fornecedor B	400

3.8. FORMULAÇÃO MATEMÁTICA

Essa etapa do trabalho tem por objetivo utilizar-se das informações anteriormente coletadas e elaborar a função objetivo (minimizar o tempo entre a saída da malha para a tinturaria e o final do processo de enfesto) e identificar as restrições para cada uma das variáveis.

3.8.1. FUNÇÃO OBJETIVO

Da forma como a indústria trabalha com seus clientes quanto mais peças forem produzidas maior o seu faturamento, por isso nesse momento a função objetivo tem por finalidade minimizar da atividade de enfesto, levando em consideração os tempos entre a saída da malha para a tinturaria e o final do processo de enfesto, pois quanto menos tempo levar esse processo mais peças serão produzidas e conseqüentemente maior o faturamento.

O primeiro passo é transformar os tempos de giro e o tempo do processo de enfesto, anteriormente coletados, para se trabalhar na mesma base, que será em segundos. Essa análise será elaborada para cada um dos fornecedores para posterior comparação.

Após essa análise ser elaborada, o resultado final foi convertido para horas para facilitar a forma de trabalho.

Os resultados obtidos estão demonstrados na tabela 4.

Tabela 4 – Tempos totais

	Tempo de Giro (segundos)	Tempo de Enfesto (segundos)	Tempo total (segundos)	Tempo total (horas)
Fornecedor A	691.200	525	691.725	192,15
Fornecedor B	604.800	732	605.532	168,20

Para elaborar a função objetivo precisa-se, além dos tempos, trabalhar com as variáveis que representam a quantidade de rolos de malha que devem ser encaminhados a cada uma das tinturarias. As quantidades por tinturaria serão definidas da seguinte forma:

- Tinturaria A – X_1
- Tinturaria B – X_2

Com todas as informações coletadas pode-se partir para a função objetivo que é representada pela minimização da função Z em relação as variáveis X_1 e X_2 , conforme (1).

$$MIN Z: 192,15 \times X_1 + 168,20 \times X_2 \quad (1)$$

3.8.2. RESTRIÇÕES

As restrições delimitam as variáveis, para que seus valores estejam dentro da expectativa da indústria.

A primeira restrição é em função da capacidade de produção de rolos de malha por parte da tecelagem, ou seja, a somatória das variáveis X_1 e X_2 não pode ser maior que a capacidade de produção (2).

Sabendo que X_1 é a quantidade de rolos de malha que serão destinados ao fornecedor A, a segunda restrição irá limitar a capacidade do fornecedor A (3).

A terceira restrição possui exatamente a mesma linha de raciocínio da função 2, porém aplicada ao fornecedor B (4).

As variáveis devem ser um número Real e positivo, e essa restrição está representada nas funções 5 e 6.

$$X1 + X2 \geq 640 \quad (2)$$

$$X1 \leq 300 \quad (3)$$

$$X2 \leq 400 \quad (4)$$

$$X1 \geq 0 \quad (5)$$

$$X2 \geq 0 \quad (6)$$

3.9. RESOLUÇÃO DO SISTEMA

Agora que já se tem todo o modelo do sistema, pode-se partir para a sua resolução através do método gráfico de programação linear.

3.9.1. REGIÃO VIÁVEL

O primeiro passo para solucionar o problema é encontrar a região viável que satisfazem todas as restrições.

Da restrição da capacidade de produção dos fornecedores (função 2) é representado pela figura 11. Para definição dos pontos foi estipulado ($X1 = 0$, $X2=0$).

Já a restrição referente a capacidade produtiva de cada um dos fornecedores está graficamente demonstrada nas figuras 12 e 13.

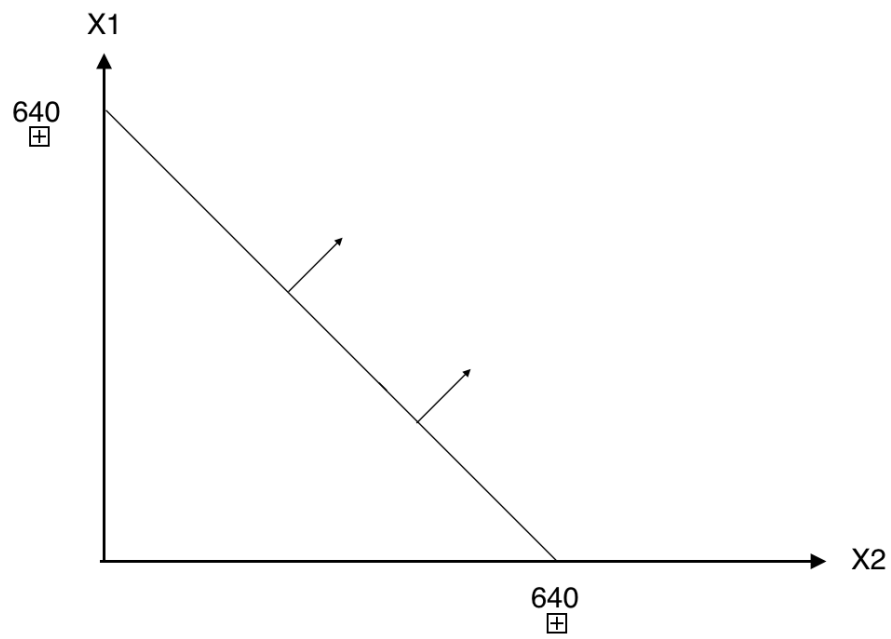


Figura 11 – Capacidade de produção de rolo de malha

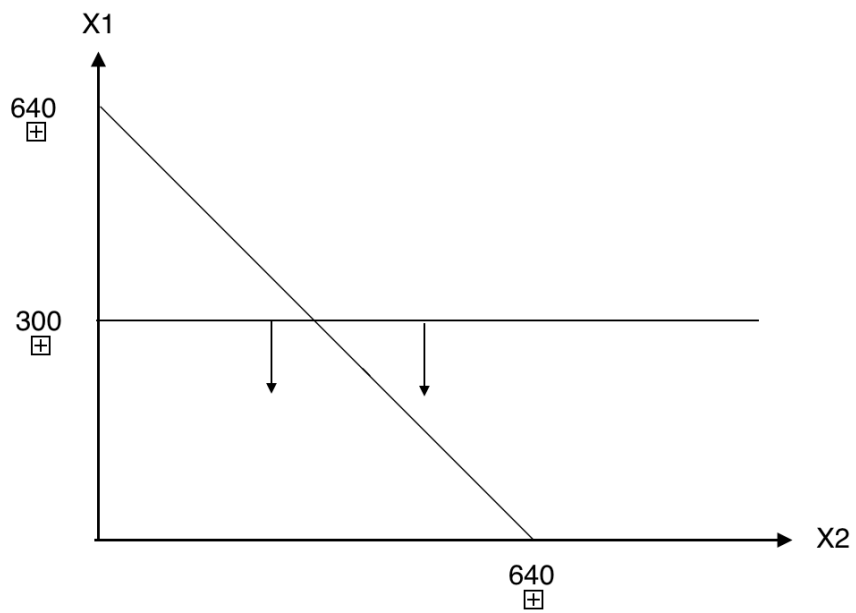


Figura 12 – Limite de produção do fornecedor A

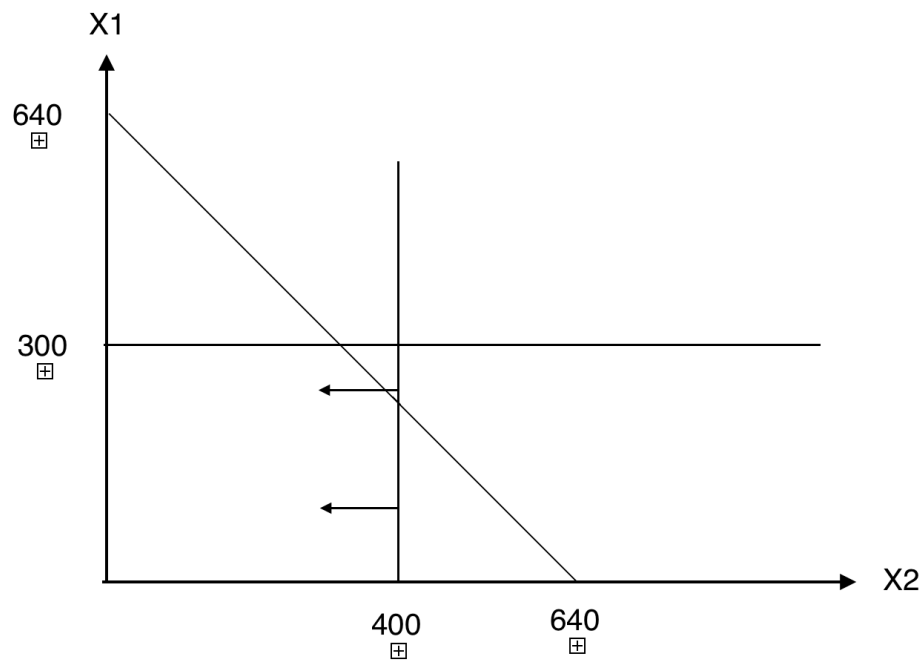


Figura 13 – Limite de produção do fornecedor B

A região viável é delimitada pela área resultante de todas as intersecções das restrições do modelo. Através da figura 14, podemos identificar três tipos de soluções viáveis, os pontos internos, os pontos de fronteira e os pontos que são os vértices.

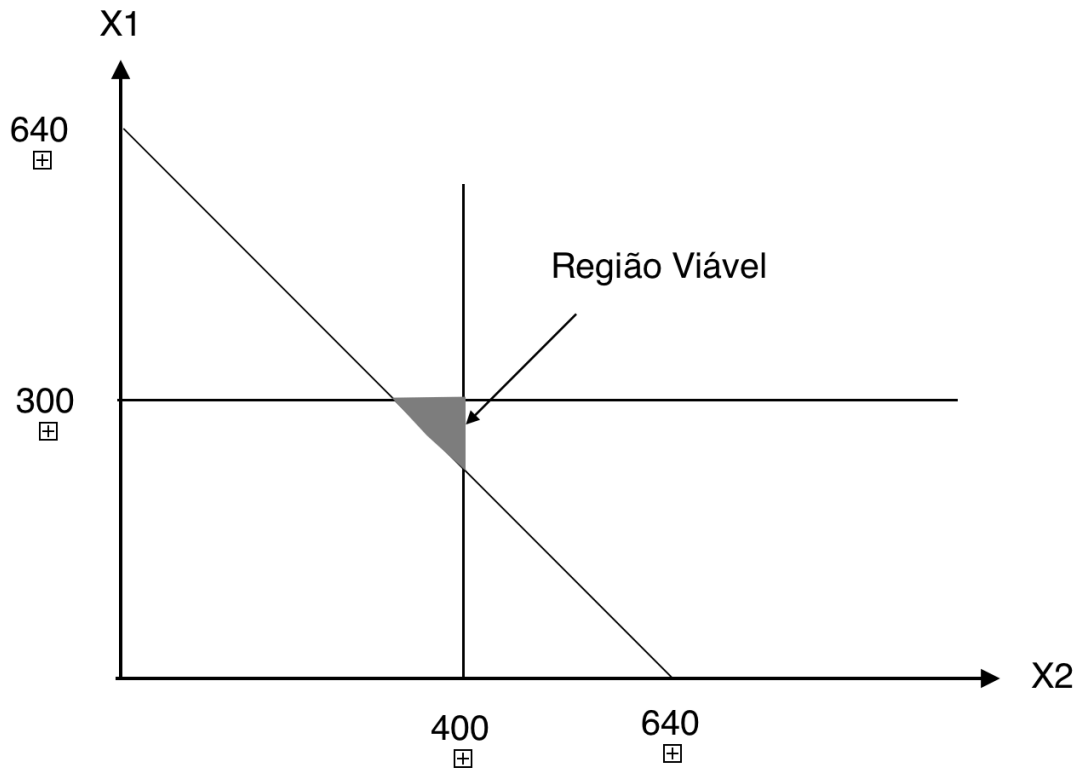


Figura 14 – Região viável

3.9.2. SOLUÇÃO ÓTIMA

Para a definição da solução ótima, deve-se recorrer a função objetivo (função 1) e gerar, para cada um dos valores possíveis, retas paralelas, a qual corta tangencialmente a solução viável (figura 15). Como a função objetivo é de minimização, o primeiro ponto em que a reta tangenciar a região viável, será a solução ótima para o sistema. A reta paralela a função objetivo inicia na origem do plano e é levada até o ponto ótimo do sistema.

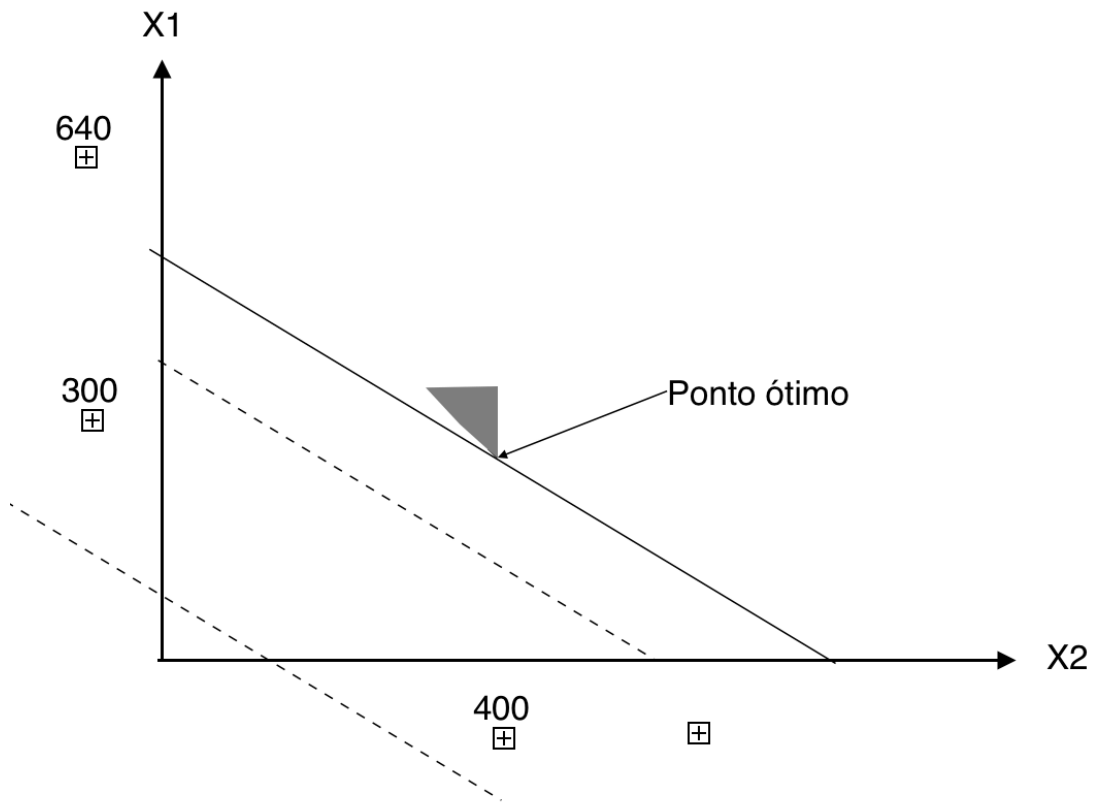


Figura 15 – Solução ótima

Tabela 5 – Ponto ótimo do sistema

Ponto	(X_1, X_2)
Ponto Ótimo do Sistema	(240,400)

Como observado na figura 15, o ponto ótimo para o sistema é (240,400).

Como podemos observar o método gráfico me apresenta uma quantidade variedade de opções que irão satisfazer a função objetivo e as restrições, porém só uma resposta irá minimizar minha função objetivo, otimizando de forma mais concisa.

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo serão mostrados os resultados obtidos no capítulo 3 e seus respectivos comentários.

4.1. VARIÁVEIS

Os resultados obtidos mostram a importância de se ter uma boa dimensão do sistema como um todo e delimitá-lo com as variáveis que o influenciam diretamente, pois foram coletados vários dados que influenciam o sistema, mas no momento de se definir a função objetivo percebeu-se que eram variáveis que não tinham nenhuma correlação com o processo.

4.2. RESTRIÇÕES

As restrições do sistema foram obtidas de forma a respeitar os limites operacionais da indústria e dos fornecedores terceirizados tornar a resolução do problema de forma real.

4.3. MINIMIZAÇÃO DO TEMPO DO PROCESSO

Os valores obtidos com a minimização no tempo do processo, mostrou que de forma organizada, há a possibilidade de otimizar o processo conforme os resultados apresentados na tabela 6.

Tabela 6 – Resultado final

Fornecedor	Quantidade de Rolo/mês
Fornecedor A	240
Fornecedor B	400

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo desse trabalho foi realizar um estudo específico de como otimizar o processo de enresto, reduzindo os prazos e distribuindo a matéria prima aos fornecedores de serviço da melhor forma possível.

Atualmente não há um controle inteligente para o direcionamento de serviço, o material é despachado sem um motivo, a única exigência é ser para um dos dois fornecedores.

Esse trabalho abriu um leque de oportunidades e outras visões dentro da própria empresa, pois existem diversos outros processos que podem ser otimizados utilizando os métodos de programação linear.

Uma das maiores dificuldades encontradas foi mapear o sistema de estudo para identificar as variáveis que realmente influenciam no processo. Paralelamente já foi iniciado um estudo para reduzir os custos do processo de enresto.

REFERÊNCIAS

Andrade Filho, J. F. & Santos, L. F. **Introdução à tecnologia têxtil**, VOL III, Rio de Janeiro: SENAI - Centro de Tecnologia da Indústria Química e Têxtil, 1980

Araújo, M. **Tecnologia do Vestuário**, 1. Ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1996

Bronson, R. & Naadmimuth, G., **Operations Research**, 2nd. Ed., New York (1997)

Ravindran, A., Phillips, D.T. & Solberg, J.J., **Operations Research, Principles and Practice**, 2nd Ed., New York (1987)

SEBRAE, **Cadeia Produtiva Têxtil e de Confecções**, Recife (2008)

Universidade Federal de Itajubá, **Pesquisa Operacional**, disponível em:
http://www.iepg.unifei.edu.br/arnaldo/ensino/pos/PQE15_Campinas/aulas/aula_02/grafico.pdf

Acesso em: 30 de Novembro de 2016

Universidade Federal de Itajubá, **Pesquisa Operacional**, disponível em:
<http://www.iepg.unifei.edu.br/edson/download/Engecon2/CAP5EE2PLapost.pdf>

Acesso em: 30 de Novembro de 2016

Winston, W.L., **Operations Research, Applications and Algorithm**, 3rd. Ed., Belmont (1994)