UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ARTES, CIÊNCIAS E HUMANIDADES

FRANCISCO GUILHERME PREVIDELLI

FALSA TORÇÃO DE POLIÉSTER:
A INFLUÊNCIA DA RELAÇÃO D/Y E CONFIGURAÇÃO DOS DISCOS DO
AGREGADO DE TEXTURIZAÇÃO NOS PARÂMETROS DE EKB DE FIOS
TEXTURIZADOS CONVENCIONAIS

São Paulo
2014

FRANCISCO GUILHERME PREVIDELLI

Falsa torção de poliéster: a influência da relação D/Y e configuração dos discos do agregado de texturização nos parâmetros de EKB de fios texturizados convencionais

Versão original

Dissertação apresentada à Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências do Programa de Pós-Graduação em Têxtil e Moda.

Área de Concentração: Materiais e Processos Têxteis

Orientador: Prof. Dr. João Paulo Pereira Marcicano.

São Paulo
2014

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

CATALOGAÇÃO-NA-PUBLICAÇÃO
Biblioteca da
Escola de Artes, Ciências e Humanidades da
Universidade de São Paulo

Previdelli, Francisco Guilherme

Falsa torção de poliéster : a influência da relação D/Y e configuração dos discos do agregado de texturização nos parâmetros de EKB de fios texturizados convencionais / Francisco Guilherme Previdelli ; orientador, João Paulo Pereira Marcicano. – São Paulo , 2014.

74 f. : il.

Dissertação (Mestrado em Ciências) - Programa de Pós-Graduação em Têxtil e Moda, Escola de Artes, Ciências e Humanidades, Universidade de São Paulo.
Versão original.

1. Fios (Indústria têxtil). 2. Tecnologia têxtil. 3. Poliéster.
4. Fibras artificiais. I. Marcicano, João Paulo Pereira, orient. II. Título.

CDD 22.ed. – 677.02862

PREVIDELLI, Francisco Guilherme. **Falsa torção de poliéster:** a influência da relação D/Y e configuração dos discos do agregado de texturização nos parâmetros de EKB de fios texturizados convencionais. Dissertação apresentada à área de Materiais e Processos Têxteis, Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo, como requisito para a obtenção do título de Mestre.

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof. Dr. _____ Instituição: _____
Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____ Instituição: _____
Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____ Instituição: _____
Julgamento: _____ Assinatura: _____

À minha esposa Marina e aos meus pais.

AGRADECIMENTOS

À professora Regina Aparecida Sanches pelo incentivo e contribuições no desenvolvimento da dissertação.

Ao programa de Mestrado em Têxtil e Moda da Escola de Artes , Ciências e Humanidades da USP pela oportunidade de realização do curso de mestrado.

"Em quase todas as tarefas relativas às formas há milhares de elementos que por vontade humana são forçados a trabalhar em harmonia. Só pela arte se pode alcançar essa harmonia."

Alvar Aalto.

RESUMO

PREVIDELLI, F. G. **Falsa torção de poliéster**: a influência da relação D/Y e configuração dos discos do agregado de texturização nos parâmetros de EKB de fios texturizados convencionais. 2012. 74f. Dissertação (Mestrado em Ciências). Escola de Artes, Ciências e Humanidades, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

O trabalho investiga a influência dos parâmetros de processo: relação D/Y e número dos discos do agregado de texturização nas propriedades de frisagem dos filamentos de poliéster texturizados por falsa torção. São realizados ensaios numa texturizadeira industrial simulando diferentes níveis dos fatores D/Y e número de discos. Análises estatísticas são apresentadas e comprovam a influência dos fatores nas características de frisagem com nível de confiança de 5%. Verifica-se que a combinação de D/Y elevado com número de discos elevado aumenta os valores dos parâmetros de frisagem do fio texturizado.

Palavras-chave: Poliéster; texturização; EKB.

ABSTRACT

PREVIDELLI, F. G. **Polyester false twist:** the influence of D / Y and configuration of the disks in the aggregate texturing parameters EKB conventional textured yarn. 2014. 74p. Dissertation (Master). School of Arts, Sciences and Humanities, University of São Paulo, São Paulo, 2014.

The work investigates the influence of process parameters: the factor D / Y and the aggregate number of disks in the texturing properties crimping of textured polyester filaments for false twist. Tests were performed in an industrial texturing machine simulating different levels of factors D / Y and number of discs. Results of statical analyses are presented and show the influence of factors on the characteristics of crimping with a confidence level of 5%. It is found that the combination of D / Y with a high number of discs increases the high values of the parameters of the crimp textured yarn.

Keywords: Polyester; texturing; EKB.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABRAFAS – Associação Brasileira de Produtores de Fibras Artificiais e Sintéticas

ANOVA – Análise de Variância

CEP – Controle Estatístico de Processo

DOE – *Design of Experiments*

EG – Etileno Glicol

EKB – Contração do encrespamento, módulo do encrespamento, estabilidade do encrespamento

DMT – Dimetil Teraftalado

FOY – Completa Orientação Molecular

ISO – *International Organization for Standardization*

LOY – Baixa Orientação Molecular

MOY – Média Orientação Molecular

PET – Polietileno Teraftalato (Poliéster)

PE – Planejamento de Experimentos

POY – Parcial Orientação Molecular

PTA – Ácido Teraftálico

PU – Poliuretano

LISTA DE SÍMBOLOS

$^{\circ}\text{C}$ – graus Celsius

cN – Centinewton

D – Velocidade periférica do disco

dtex – unidade em gramas por 10.000 metros de comprimento

tex - Unidade do sistema internacional utilizada para medir o grau de pureza das fibras em gramas por 1000 metros de comprimento

T_g – Temperatura de Transição Vítrea

T_m – Temperatura de Fusão

m – metro

m/min – metros por minuto

Y – Velocidade de entrega

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 Processos de fabricação de filamentos (ABRAFAS,2012).....	19
Figura 2.1 Esterificação e policondensação do poliéster (DEMIR, 1997).	22
Figura 2.2 Estrutura do poliéster (DEMIR,1997).....	23
Figura 2.3 Estrutura cristalina do PET (MORTON,2008).	23
Figura 2.4 Fluxo de produção do chip de PET (Deopura ,2008).....	26
Figura 2.5 Fluxo de fiação do fio multifilamento de PET(Deopura ,2008).	26
Figura 2.6 Fluxo de produção contínua do PET e do fio multifilamento de PET (Deopura ,2008).....	27
Figura 2.7 Esquema de fiação de filamento PET (DEOPURA, 2008).	28
Figura 2.8 Efeito do processo térmico na estrutura da fibra, à esquerda antes do tratamento térmico, e a direita após o tratamento térmico (DEOPURA,2008).	29
Figura 2.9 Característica dos fios texturizados (DEMIR, 1997)	35
Figura 2.10 Texturização por <i>flyer</i> .(ANDREOLI; FRETI ,2004).....	36
Figura 2.11 Unidade de texturização por atrito (HEARLE,2011).....	38
Figura 3.1 Representação gráfica de um efeito principal	49
Figura 3.2 Representação gráfica de efeitos de fatores sem interação, adaptado de Montgomery(1997).....	49
Figura 3.3 Representação gráfica de efeitos de fatores com interação, adaptado de Montgomery(1997).....	50
Figura 3.4 Representação gráfica da distribuição F de Snedecor para testar a hipótese H_0	53
Figura 4.1 Gráfico de Pareto para E%	65
Figura 4.2 Interação entre D/Y e o número de discos para E%.	66
Figura 4.3 Principais efeitos de D/Y para E%.....	66
Figura 4.4 Influência dos fatores e sua interação com K%.	68
Figura 4.5 Interação entre os fatores D/Y e número de Discos para K%	69
Figura 4.6 Principais efeitos de D/Y para K%.....	69
Figura 4.7 Gráfico de Pareto dos efeitos sobre B%	70
Figura 4.8 Interação D/Y para B%.....	71
Figura 4.9 Principais efeitos de D/Y para B%.....	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 Técnicas de texturização (DEMIR,1997)	34
Tabela 3.1 propriedades dos filamentos de poliéster parcialmente orientados	40
Tabela 3.2 Experimento fatorial de dois fatores (Montgomery,1997)	47
Tabela 3.3 Níveis dos fatores e interações de um planejamento fatorial 2 ² (Montgomery,1997).	47
Tabela 3.4 Valores dos fatores e parâmetros de processo utilizados nos experimentos	55
Tabela 4.1 Parâmetros de operação da texturizadora	56
Tabela 4.2 Variação do D/Y no E% (Disco 1.7.1 fixo).....	57
Tabela 4.3 Variação do D/Y no E% (Disco 1.5.1 fixo).....	57
Tabela 4.4 Variação dos Discos (5 x 7) no E% (D/Y fixo).....	58
Tabela 4.5 Variação dos Discos (5 x 7) no E% (D/Y fixo).....	58
Tabela 4.6 Variação do D/Y no K% (Disco 1.5.1 fixo).	58
Tabela 4.7 VARIAÇÃO DO D/Y NO K% (DISCO 1.7.1 FIXO)	59
Tabela 4.8 Variação dos discos (5 x 7) no K% (D/Y fixo).	59
Tabela 4.9 Variação dos discos (5 x 7) no K% (D/Y fixo).	60
Tabela 4.10 Variação do D/Y no B% (Disco 1.7.1 fixo).....	60
Tabela 4.11 Variação do D/Y no B% (Disco 1.5.1 fixo).	61
Tabela 4.12 Variação dos Discos (5 x 7) no B% (D/Y fixo).....	61
Tabela 4.13 Variação dos Discos (5 x 7) no B% (D/Y fixo).....	62
Tabela 4.14 Matriz de experimentos com os resultados dos testes realizados.	63
Tabela 4.15 Resumo da tabela ANOVA para análise da significância dos fatores de controle e da interação da contração do encrespamento (E%).	64
Tabela 4.16 Teste de Tukey para detectar diferenças entre os tratamentos	64
Tabela 4.17 Resumo da tabela ANOVA para análise da significância dos fatores de controle e da interação do módulo do encrespamento (K%).	67
Tabela 4.18 Teste de Tukey para detectar diferenças entre os tratamentos.....	67
Tabela 4.19 Resumo da tabela ANOVA para análise da significância dos fatores de controle e da interação da estabilidade do encrespamento (B%).	70

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	17
1.1	Importância do trabalho	20
1.2	Objetivos	21
1.3	Perguntas de pesquisa	21
1.4	Hipóteses de pesquisa	21
2	REVISÃO DA LITERATURA	22
2.1	Fibra poliéster	22
2.2	Fiação	25
2.3	Texturização.....	30
2.4	Técnicas de texturização	33
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	40
3.1	Materiais	40
3.1.1	Filamento	40
3.1.2	Texturizadora	40
3.1.3	Discos e Agregado	40
3.2	Métodos	40
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	56
5	CONCLUSÃO.....	72
6	REFERÊNCIAS	74

1 INTRODUÇÃO

O conhecimento da caracterização de um produto permite um melhor entendimento de suas particularidades, bem como um profundo entendimento de seu processo produtivo a fim de encurtar o tempo de resposta ao cliente.

Diante de tais considerações, tem-se que, desde o início da produção de fios sintéticos, o homem busca dar propriedades de fibras naturais a esses fios. Desta necessidade surgiu a texturização, que possibilitou uma maior difusão dos fios sintéticos no mercado.

O consumo das fibras e filamentos de poliéster no Brasil vem aumentando desde 1970, chegando a 443 mil toneladas no ano de 2011 (Abrafas,2012).

O poliéster é um material classificado como plástico, palavra de origem grega que significa aquilo que pode ser moldado e dentre os plásticos ele é sub classificado em termoplástico. Praticamente não possui absorção de umidade, 0,4% e depende do efeito da capilaridade para transportar umidade.

O poliéster é uma fibra derivada do petróleo a partir do Nafta obtida através do ácido tereftálico puro (PTA) ou do dimetiltereftalato (DMT) e etileno glicol pelo processo de polimerização.

A polimerização do poliéster ocorre a partir do PTA ou DMT e o mono etileno glicol liquido que é um álcool derivado do petróleo. O polímero poliéster é então obtido através de duas etapas, a primeira chamada de esterificação, sendo a reação química entre PTA ou DMT e o álcool glicol resultando na nova molécula chamada éster. Esse processo ocorre no esterificador ou reator sob condições de pressão e temperatura próprios obtendo-se o monômero de poliéster na forma pastosa. Na segunda etapa o monômero é transferido para o polimerizador onde ocorrerá a união das moléculas do monômero produzindo o polímero.

Nesta etapa do processo podem ser adicionados aditivos a massa do polímero como, por exemplo, dióxido de titânio, responsável pelo grau de opacidade e ou pigmentação.

Essa massa então será extrudada na forma de fita, solidificada em água e cortada, originando os chips que serão enviados as fiações.

No processo de fiação os polímeros granulados ou chips são fundidos voltando a forma pastosa para em seguida serem extrudados, ou seja, passagem da

massa pastosa de poliéster por furos capilares, dando origem aos filamentos que reunidos formarão o fio final. Em outras palavras temos a massa pressionada sobre um disco com furos de diâmetro muito pequeno, chamado de fieira, por uma bomba de vazão constante, chamada de bomba de título. Em seguida passam pelo processo de solidificação em contato com um sopro de ar controlado, o ar sopra fio. Ao final os filamentos são agrupados da forma desejada e recebem uma emulsão de óleo e água, a ensimagem que lubrifica e une os filamentos para em continuo serem enrolados em suportes, as bobinas.

As fiações podem ser classificadas em:

- LOY: baixa orientação molecular;
- MOY: media orientação molecular;
- POY: parcial orientação molecular;
- FOY: completa orientação molecular.

Após a fiação podemos seguir para a estiragem que geram os fios lisos ou para a texturização gerando os fios texturizados.

A estiragem é um processo no qual o fio sofre um alongamento controlado através da aplicação de força e calor, conseqüentemente ocorre uma reorganização das moléculas no fio conferindo aumento de resistência, uniformidade de diâmetro e homogeneização no tingimento.

Figura 1.1 Processos de fabricação de filamentos (ABRAFAS,2012)

O outro processo é a texturização, objeto de estudo deste trabalho, que de forma resumida consiste em gerar volume e/ou elasticidade nos fios sintéticos termoplásticos por meio de um processo de estiragem controlada e embaralhamento dos filamentos através de torção e destorção, método falsa torção, mistura de água e ar comprimido, método de texturização a ar entre outros.

Fios texturizados a ar tem como principais características baixo alongamento e pilosidade, ou seja, loops sobressalentes ao eixo do fio. Isso por que a texturização a ar busca deixar os fios de filamentos sintéticos com aspecto mais próximo possível dos fios fiados que pelo próprio processo de fiação tem fibras sobressalentes ao eixo do fio.

A texturização por falsa torção, objeto de estudo do presente trabalho, objetiva conferir ao fio volume e elasticidade consequentemente melhorando a

sensação de toque, o poder de cobertura, transporte de umidade e isolamento térmico nos produtos têxteis finais. No capítulo 2.3 será detalhado este processo.

No decorrer deste trabalho estudaremos o processo de texturização por falsa torção, com ênfase na influência dos parâmetros de processo: número de discos e fator D/Y nas propriedades de encrespamento.

As modificações do volume do fio serão analisadas através das propriedades mecânicas de contração, modulo e estabilidade da textura expressos pelo teste de contração do encrespamento, modulo do encrespamento e estabilidade do encrespamento.

Segundo Gosh e Rodgers (2012), a texturização é um dos processos mais críticos para a formação de filamentos volumosos para malharia e tecelagem. Pequenas mudanças nas condições de texturização podem afetar as propriedades do fio texturizado e gerar inconstância no fio as quais acarretarão em barramentos ou riscos no produto final.

1.1 Importância do trabalho

Este trabalho foi motivado por um caso real ocorrido na indústria nacional, a procura por fios texturizados com características especiais vem crescendo exponencialmente e um grande fabricante nacional precisou pesquisar mais profundamente a relação entre os parâmetros de processo e as características de encrespamento dos fios texturizados.

Ao que se saiba , até a presente data , a influência do número de discos do conjunto de agregado nas características de encrespamento não foi investigada.

A influência do fator D/Y e grau de estiragem na texturização por falsa torção foi investigada por Yildirim et al.(2009). Onemano e Fashola (2011) compara as propriedades físicas e mecânicas entre títulos diferentes de matéria prima POY, e a influência da sobrealimentação nas características de texturização foi investigada por Kamble et al.(2007).

O trabalho contribui na avaliação da influência do número de discos nas características de encrespamento do fio, e pode auxiliar no desenvolvimento de novos produtos texturizados.

1.2 Objetivos

O presente trabalho tem como objetivo geral investigar a influência da relação D/Y e o número de discos do agregado de texturização nas características de encrespamento.

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Avaliar a relação influência da relação D/Y sobre as características físicas o fio expressas por EKB;
- Avaliar a relação influência do número de discos do agregado de texturização sobre as características físicas do fio expressas por EKB.

1.3 Perguntas de pesquisa

Qual a influência da relação D/Y sobre as características físicas do fio expressas por EKB?

Qual a influência da configuração dos discos do agregado de texturização sobre as características físicas do fio expressas por EKB?

1.4 Hipóteses de pesquisa

Levando ao máximo a relação entre torção dos discos de texturização e a velocidade de entrega do fio, D/Y, combinado com o limite máximo de configuração dos discos do agregado de texturização é possível obter um fio texturizado por falsa torção com maior volume e elasticidade possíveis, respectivamente expressos por E%, K% e B% mantendo a estabilidade e qualidade do produto têxtil final.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Fibra poliéster

O mais importante polímero policondensado utilizado hoje é o poliéster, amplamente empregado em garrafas, filmes, recipientes, fibras e fios têxteis.

Uma fibra de poliéster é uma fibra manufaturada formada por uma cadeia longa de polímero sintético composto por pelo menos 85% em peso de um álcool ester di-hídrico e ácido tereftálico (FASHOLA; ONEMANO, 2011, p. 439).

Segundo Demir (1997, p. 12) e de acordo com a norma ISSO 1043/1978, a sigla para a fibra convencional de poliéster é PET.

O termo poliéster é utilizado para polímeros que possuem grupos ésteres na principal cadeia polimérica (DEOPURA, 2008, p. 3).

Demir (1997, p. 12) diz que a primeira formação de fibra de poliéster foi registrada em 1941 por J. R. Whinfield e J. T. Dickson, sendo comercializada no início dos anos de 1950 no Reino Unido.

Segundo Fourné (1998, p. 67), a patente foi vendida por Whinfield e Dickson para a empresa *Imperial Chemical Industrie* (ICI), respectivamente licenciada para DuPont, que depois sublicenciou para *Farbwerke Hoechst AG* e para *Vereinigte Glanzstoff-Fabriken AG*. A patente básica expirou em 1966.

Figura 2.1 Esterificação e policondensação do poliéster (DEMIR, 1997).

Figura 2.2 Estrutura do poliéster (DEMIR,1997).

O poliéster é polimerizado pela reação entre um álcool e um ácido. O mais usual é a polimerização do ácido tereftálico, este feito de paraxileno, que é destilado do petróleo e altamente purificado, com etileno glicol. O óleo é craquelado para obter gás etileno, que é oxidado ao ar com um catalisador para formar oxido etileno, que é em seguida hidratado para produzir etileno glicol. No vácuo, por um mecanismo de condensação a elevadas temperaturas, em torno de 270°C, é formado o Polietileno tereftálico (PET), como mostrado nas Figura 2.1 e Figura 2.2.

Figura 2.3 Estrutura cristalina do PET (MORTON,2008).

A sequência alifática – $\text{CO.O.CH}_2\text{.CH}_2\text{.O.CO}$ – é flexível e dá origem às fracas interações de van der Waals com cadeias vizinhas. Os anéis benzenos dão rigidez à cadeia, o que impede a deformação das regiões desordenadas. Além disso, há uma interação eletrônica entre anéis benzeno vizinhos, o que promove uma colagem intermolecular resultando em resiliência. A estrutura cristalina do PET é mostrada na Figura 2.3.

De acordo com Deopura (2008, p. 62), o poliéster possui excelentes características físico-químicas em comparação com as fibras naturais, como por exemplo, a ótima estabilidade dimensional, excelente robustez, boa elasticidade e toque quente devido ao seu volume. Com o poliéster veio o conceito do fácil cuidado ou manutenção do artigo, pois devido à sua baixa absorção de água, o poliéster seca rápido, possui boa resistência aos tratamentos de lavagem e a micróbios e bactérias.

A indústria de confecção exige que o fio de poliéster tenha alta resistência, boa cristalinidade, boa resistência à luz etc. Desta forma, o poliéster aromático de alta temperatura de extrusão foi escolhido para produção (DEOPURA, 2008, p. 67).

O fio de poliéster é atacado de duas maneiras por substâncias básicas, sendo uma a ação do metil amina, base orgânica que penetra nas regiões amorfas da estrutura e a outra são alcalis fortes que provocam a dissolução da superfície da fibra. Os ácidos minerais têm boa resistência, exceto ao ácido sulfúrico concentrado que dissolve o poliéster decompondo parcialmente o material. Possui excelente resistência aos alvejantes, solventes para limpeza e surfactantes. Sua resistência é função do grau de cristalinidade e orientação molecular (DEOPURA, 2008, p. 17).

De acordo com Demir (1997, p. 13) a temperatura de transição vítrea (T_g) do poliéster é de 80°C.

O poliéster possui alta recuperação elástica, particularmente para pequenas deformações. As propriedades mecânicas do poliéster, quando umedecido, podem ser consideradas as mesmas do material seco. A baixa absorção de umidade, 0,4% sob condições normalizadas, faz com que o poliéster fique sujeito à eletricidade estática.

Por falta de pontos de ligações químicas entre as fibras de poliéster e os corantes, normalmente são utilizados corantes dispersos. As fibras de poliéster devem ser tintas em meio aquoso com temperatura superior a 100°C ou com a utilização de bifenil e fenil salicilato. O tingimento do poliéster é mais lento do que o

tingimento do triacetato de celulose ou do acetato de celulose (DEOPURA, 2008, p. 17).

Dentre as aplicações têxteis, podemos dizer que os fios de poliéster com maior peso molecular são usados para o desenvolvimento de filamentos industriais, que podem ser mais grossos para aplicação em pneus, correias transportadoras, cintos de segurança, cordas, mangueiras e laminados pesados ou podem ser do tipo mais fino para aplicação em linha de costura, tecidos laminados leve, etc. As fibras são muito utilizadas para produção de tecidos com misturas. As fibras com título fino são utilizadas para misturas com algodão, por exemplo, e fibras com título grosso são utilizadas em misturas com fios como lã. Tecidos feitos com PET microfilamentado com estrutura cristalina parcialmente orientada geram artigos respiráveis, repelentes à água, com leve caimento e toque agradável (DEOPURA, 2008, p. 19).

2.2 Fiação

Existem vários processos comerciais de fiação de poliéster classificados de acordo com o grau de orientação molecular final da fibra (FASHOLA; ONEMANO, 2011):

- Baixa orientação molecular (LOY), com velocidade de fiação entre 500 e 1500 m/min.
- Média orientação molecular (MOY), com velocidade de fiação entre 1500 e 2500 m/min; alta orientação molecular.
- Alta orientação molecular (HOY), com velocidade de fiação entre 2500 e 4000 m/min.
- Orientação molecular completa (FOY), com velocidade de fiação acima de 6000 m/min.

O poliéster é fiado em três etapas. A primeira etapa consiste na produção do chip de poliéster, que é produzido através de polimerização. O chip de poliéster é, então, derretido por aquecimento ou por dissolução em algum solvente.

Na segunda etapa, a massa derretida é extrudada através de fieiras e é convertida a filamentos visco-elásticos.

O terceiro estágio consiste na solidificação dos filamentos, que pode ocorrer de três maneiras diferentes, dependendo do processo de derretimento da massa na primeira etapa. Caso o processo de derretimento tenha sido através de calor, a solidificação dos filamentos ocorrerá por resfriamento do material. Caso o derretimento seja por dissolução em um solvente, a solidificação pode ocorrer por imersão em um banho coagulante ou através da passagem do material por uma câmara aquecida onde por evaporação o solvente é removido (DEOPURA, 2008, p. 77).

De acordo com Deopura (2008, p. 67) comercialmente as fibras de poliéster aromático PET são obtidas usando etileno glicol (EG) e dimetil teraftalado (DMT) ou etileno glicol e ácido tereftálico (PTA), conforme o processo mostrado na Figura 2.4.

Existem dois procedimentos no processo de produção da fibra de PET. O primeiro é a produção do PET propriamente dito, enquanto o segundo é o processo de fiação do PET mostrado na Figura 2.5. Esses processos podem ocorrer de maneira continua mostrado na Figura 2.6 ou de batelada.

Figura 2.4 Fluxo de produção do chip de PET (Deopura ,2008).

Figura 2.5 Fluxo de fiação do fio multifilamento de PET(Deopura ,2008).

Figura 2.6 Fluxo de produção contínua do PET e do fio multifilamento de PET (Deopura ,2008).

Segundo Deopura (2008, p. 78), a fibra de PET é formada pela extrusão do polímero derretido. O polímero derretido (D) é conduzido com velocidade constante e sob alta pressão até os pequenos orifícios da fieira (E). Os filamentos visco-elásticos são extrudados e seguem verticalmente para o resfriamento (F), solidificando e então sendo enrolado em bobinas. A mostra Figura 2.7 esquematicamente o processo.

A. Funil de carga com chips de PET

B. Recipiente da fiação

C. Grelha aquecida

D. PET derretido

E. Fieira

F. Ar Frio

G. Rolos de entrada

H. Defletor

I. Rolos de saída

Figura 2.7 Esquema de fiação de filamento PET (DEOPURA, 2008).

A estiragem dos filamentos do PET pode acontecer dependendo do tipo da fibra, sob condições frias ou quentes gerando, como consequência, o afinamento do filamento e tornando-o mais longo. O processo de estiragem normalmente é realizado com temperatura superior à temperatura de transição vítrea (T_g) da fibra PET. O processo de estiragem ocorre com o alongamento da fibra entre dois rolos, chamados *godets*, sendo que o rolo de saída gira em com uma velocidade superior ao rolo de entrada. O processo de estiragem pode ocorrer continuamente ao processo de fiação ou em um processo posterior, como parte da texturização (DEOPURA, 2008, p. 82).

Na fiação são formadas as regiões cristalinas e amorfas nos filamentos recém extrudados de PET. As cadeias moleculares do PET podem ser orientadas para que fiquem mais paralelas as paredes dos filamentos pela estiragem do material antes de sua completa solidificação. Isso resulta em um filamento mais cristalizado e resistente. Com isso, os fios multifilamentos podem ser divididos em dois grupos de acordo com o grau de estiragem. Os filamentos que não são completamente estirados são chamados de fios parcialmente orientados (*POY*), enquanto os fios que foram completamente estirados são chamados de fios totalmente orientados (*FOY*) (DEOPURA, 2008, p. 83).

De acordo com Deopura (2008, p. 85), o tempo de formação das fibras é muito curto no processo de fiação. Isso resulta em diferentes níveis do estado de relaxamento ao longo da cadeia polimérica da fibra de PET e pode causar estresses

internos desuniformes, ou seja, muitos problemas de cristalização podem aparecer. Além disso, instabilidades na estrutura podem causar encolhimento nos filamentos, que podem ocasionar uma série de dificuldades nos processos posteriores de acabamento. Portanto, é necessário que os processos térmicos da fibra sejam muito bem controlados antes do uso do material.

Os parâmetros térmicos determinam a morfologia e a estabilidade dimensional das fibras termoplásticas. Esses parâmetros incluem três principais fatores: temperatura, tempo e velocidade. A temperatura é ajustada para ser maior que a temperatura de transição vítrea (T_g) e inferior que a temperatura de fusão (T_m). As regulagens térmicas causam movimentos na cadeia polimérica da fibra, que ocasionam estresses internos, produzindo uma fibra completa e estável, conforme apresentado na Figura 2.8:

Figura 2.8 Efeito do processo térmico na estrutura da fibra, à esquerda antes do tratamento térmico, e a direita após o tratamento térmico (DEOPURA, 2008).

Filamentos somente estirados podem ser direcionados para as aplicações de enrolamento, torcidos ou podem ser direcionados para o processo de texturização. Muitos fios para vestuários precisam ser texturizados para que possuam aparência e propriedades têxteis desejadas (McINTYRE, 2005, p. 133).

De acordo com Demir (1997, p. 13) as propriedades do poliéster são fortemente influenciadas pela estrutura da fibra. A estrutura da fibra a qual tem forte influencia na aplicação do poliéster, depende severamente dos parâmetros de processo na formação da fibra. A estrutura é determinada pela velocidade de fiação, relaxamento, estresse e calor empregado.

A tensão no trem de estiro é aumentada pelo aumento da velocidade de enrolamento, as moléculas são estendidas, resultando em fibras com melhor uniformidade, baixo alongamento e alta resistência a tração, orientação e cristalinidade (DEMIR, 1997, p. 13).

2.3 Texturização

Fio texturizado é um termo genérico para filamentos ou fios fiados com volume aparente maior que os fios ou filamentos convencionais de mesmo título, ou filamentos que se tornaram mais extensíveis pela ação de distorção física, química ou térmica ou ainda a combinação entre elas. A texturização introduz frisados ou laços permanentes mantendo a continuidade dos filamentos (FASHOLA; ONEMANO, 2011).

A aparência da superfície depende da maneira que a luz reflete sobre ela. Uma superfície com topografia irregular reflete luz de forma aleatória, criando uma aparência tatame. Já uma superfície lisa reflete a luz de maneira organizada, como um espelho, criando assim uma aparência brilhante. Fios e fibras também se comportam da mesma maneira. Um filamento não texturizado reflete luz em uma só direção e cria brilho. Tecidos fabricados com esses fios carregam a característica de brilho dos fios (DEMIR, 1997, p. 36).

Um das principais desvantagens dos fios de filamentos sintéticos é a geometria plana e superfície lisa. Para conferir volume, ondulação, friso, melhora da resiliência e absorção de umidade veem sendo desenvolvidos muitas formas de texturização, sendo a mais comum a texturização por falsa torção (YILDIRIM et al., 2009).

Fourné (1998, p. 431) afirma que a texturização busca converter a aparência “sintética” dos fios lisos para um artigo mais aceitável e conferir aos fios propriedades dos fios naturais como algodão e lã.

A texturização objetiva agregar propriedades de fios fiados naturais, com o aumento do volume, proporcionando isolamento térmico, cobertura, maciez e transporte de umidade (McINTYRE, 2005, p. 43).

Demir (1997, p. 38) diz que há um apelo mútuo entre os aspectos visuais e táteis de um artigo têxtil que é sentido pelo toque. Não é fácil separar os aspectos visuais dos táteis, pois a maioria está acostumada a ver e sentir um artigo têxtil de forma simultânea. As características táteis de um fio e artigo têxtil são seu volume, poder de cobertura, isolamento térmico e toque.

Segundo Stein (2012), as características de um fio texturizado são volume elevado, como as de um fio fiado e as menos citadas extensibilidade e elasticidade.

O volume de um fio ou tecido é definido pelo volume que ocupa em um espaço livre. Um fio pode ser considerado volumoso quando ocupa um volume consideravelmente maior do que o necessário para os próprios filamentos. Essa propriedade é diretamente relacionada com o poder de cobertura podendo utilizar uma quantidade menor de fio para uma mesma cobertura (DEMIR, 1997, p. 38).

Segundo Demir (1997, p. 39), a elasticidade é também referida à elasticidade de conforto, conferindo a estética ideal e funcionalidade nos tecidos feitos com esse tipo de fio.

O ar que circula entre o tecido e o corpo e entre as fibras é um excelente isolante térmico. Por esse motivo, os fios fiados tem bom isolamento térmico. Isso pode ser obtido com fios de filamentos contínuos aplicando a texturização, crimpagem e ou tangleamento.

Independentemente da matéria prima das fibras, o isolamento térmico é dependente do aprisionamento de ar segundo as condições de clima, temperatura, ventos e umidade. Também é verdade que em estruturas têxteis, a taxa de transferência de calor depende muito da área de contato entre a pele e o tecido do que do tipo de fibra utilizada (DEMIR, 1997, p. 39).

O toque é uma propriedade subjetiva definida como “o aspecto subjetivo de um material têxtil obtido pela sensação de tocar”. Assim, o toque é um fenômeno fisiológico. Isso implica na habilidade dos dedos de serem sensíveis e avaliar discriminadamente e expressar o juízo em valor único (DEMIR, 1997, p. 39).

A sensação percebida quando há contato entre a pele humana e o tecido é determinada pela rigidez dos pelos do corpo ou *loops* projetados da superfície do tecido. Quanto mais finos esses pelos ou fibras, mais suave será o toque do tecido. As sensações que vão de um leve toque a uma forte compressão são regidos por propriedades distintas, sendo a última envolvendo as propriedades de flexão e cisalhamento e levando-se em conta que a função da estrutura do artigo e a primeira estão relacionadas às fibras de superfícies e *loops*.

As deformações destas superfícies são, de fato, impossíveis de serem quantificadas, portanto, os métodos subjetivos são julgamentos únicos e verdadeiros. Assumisse que as mãos têm quatro sensores que correspondem por suavidade, rigidez e sensação térmica (DEMIR, 1997, p. 40).

Segundo Demir (1997, p. 40), o termo textura define e descreve atributos percebidos pelo homem como características visuais ou táteis.

As principais propriedades da textura nos artigos têxteis são maciez, opacidade, flexibilidade e conforto ao vestir juntamente com um bom aspecto visual e fácil manutenção. Todas essas propriedades são inerentes dos fios fiados naturais como a lã, algodão e linho.

A boa qualidade de um têxtil não técnico é intimamente relacionada com as características de sua superfície, que está em constante contato com os sentidos humanos tanto táteis como visuais. Esses sentidos podem ser descritos pelo termo textura o qual relaciona volume, cobertura, toque e isolamento térmico como propriedades táteis e lustro e brilho como visuais (DEMIR, 1997, p. 40).

Quando um tecido plano ou malha feito com fibra cortada é tocada pelo homem a sensação é de conforto e isolamento térmico natural, porém o mesmo tecido plano ou malha feito com fio liso de filamento contínuo a sensação é de desconforto. O similar acontece no aspecto visual onde o fio de filamento liso confere brilho e lustro ao material. Comparação similar é válida para os aspectos visuais. A superioridade dos produtos de fibras naturais é dada pela dispersão aleatória das fibras nos fios fiados. Quanto às sensações táteis, essas fibras ou pelos protuberantes sob um toque leve dão a sensação de maciez natural.

Segundo Demir (1997, p. 41), por conta da crescente demanda por bons artigos têxteis e o decréscimo dos recursos naturais, a produção de fios sintéticos é inevitável para suprir a indústria têxtil. Esses fios sintéticos de filamentos contínuos, como a poliamida e o poliéster, mesmo que fiados, não apresentam alguns recursos já vistos anteriormente como os dos fios naturais, ainda que possuam superioridade, no que tange à alta resistência, boa elasticidade, alongamento e resistência à abrasão.

A texturização dos filamentos é desejada, pois os espaços vazios na estrutura dão isolamento térmico modificam a densidade do fio tornando-o mais leve, porém com melhores propriedades de cobertura, a superfície desorganizada destes fios, dispersão a reflexão da luz criando uma superfície menos brilhante, proporcionam maciez e melhor elasticidade das estruturas em comparação a um fio liso (FASHOLA; ONEMANO, 2011, p. 440).

Isolamento térmico, toque, textura natural e aparência são considerados desejáveis para a maioria dos têxteis. Fios lisos não possuem essas qualidades

porem são mais fortes e mais uniformes que os fios naturais. Quando um fio de filamento sintético é produzido tem-se como objetivo unir as boas propriedades dos fios naturais com as dos fios sintéticos, mas isso é uma meta inalcançável. Portanto, o objetivo primário de todos os filamentos sintéticos é chegar o mais próximo possível das qualidades dos fios naturais (DEMIR, 1997, p. 41).

Um método de conseguir essas propriedades é cortar os filamentos em fibras e fiar como no processo de fiação do algodão ou da lã, porem, é um processo demorado e com alto índice de desperdícios e é mais utilizado para misturas de fibras feitas pelo homem e fibras naturais. Alternativamente, filamentos contínuos podem ser convertidos através de diversos métodos de texturização a baixos custos, mas muitas vezes são inadequadamente comparados a fios fiados.

Segundo Demir (1997, p. 41), texturização em linhas gerais é a modificação da estrutura regular dos fios de filamentos sintéticos em uma estrutura desorientada, aleatória. Outra definição de texturização é dada por meio pelo qual as destorções permanentes, dobras, *laços*, espirais ou rugas são introduzidos na estrutura original sem destruir o filamento contínuo original.

A maioria das fibras termoplásticas tem baixa absorção de umidade quando comparadas com as fibras naturais. No entanto, o ar aprisionado na textura retém umidade e proporciona bom conforto (DEMIR, 1997, p. 41).

2.4 Técnicas de texturização

Para conferir as qualidades desejadas de fios naturais aos fios sintéticos há basicamente três formas de texturizar de acordo com a matéria prima e a utilização pretendida como demonstrado na tabela abaixo:

Tabela 2.1 Técnicas de texturização (DEMIR,1997)

Técnicas de Texturização		
Técnicas termomecânicas de texturização		
Técnica	Título	Aplicação
Falsa torção	20 - 200 dtex	Lingerie
Suffer box	200 - 2000 dtex	Carpets, estofamento
Knife-edge crimping		
Gear-mesh		
Knit-deknit		
Técnicas mecânicas de texturização		
Técnica	Título	Aplicação
Jato de ar	20 - 2000 dtex	Vestuário, industrial
Intermingling	20 - 2000 dtex	Malhas retílineas
Outras técnicas de texturização		
Técnica	Título	Aplicação
Bicomponente		
Diferença de encolhimento		
Química		

Segundo Demir (1997, p. 45), a texturização por falsa torção é responsável por 85% dos fios texturizados e essa texturização é enquadrada na técnica de texturização termomecânica. A texturização termomecânica consiste em utilizar as propriedades termoplásticas dos fios sintéticos. Aplicando calor, tensão e torção ao fio sintético gerando *crimp*, *loops* ou *bucles* permanentes aos fios.

A Figura 2.9 apresenta as características físicas do fio nos diversos tipos de técnicas de texturização.

TIPO DE FIO	Tipo 1: Original	Tipo 2: Modificado
Fio de filamento liso
Fio de fibra cortada
Texturizado por falsa torção
Frizagem
Malha - desmalha
Texturizado a ar
Entrelaçado
Textura de bicomponente
Diferença de encolhimento

Figura 2.9 Característica dos fios texturizados (DEMIR, 1997)

De acordo com Fourné (1998, p. 439), a texturização por falsa torção é predominante dentre as tecnologias utilizadas no mercado.

Segundo Demir (1997), 85% dos fios texturizados são produzidos pela tecnologia de falsa torção.

Andreoli e Freti (2004, p. 39) explicam que o processo de texturização por falsa torção, conhecida como primeira geração, é a texturização por *flyer*. O mecanismo de aplicação da torção consiste em um tubo oco, com um pino em seu meio, por onde o fio passa e dá uma volta em torno do pino. A torção vai sendo aplicada ao fio de acordo com a rotação do pino, conforme a Figura 2.10.

Figura 2.10 Texturização por *flyer*.(ANDREOLI; FRETÍ,2004)

Porém, devido à baixa velocidade de produção, cerca de 200 m/min, mesmo com toda evolução do processo, essa tecnologia tornou-se obsoleta.

O processo de falsa torção pode ser dividido em três elementos fundamentais, sendo que a forma em que estes elementos são combinados e controlados que geram o produto desejado. Esses elementos são: tensão, torção e temperatura. Ao controlar essas três variáveis fundamentais, diferentes produtos podem ser feitos partindo de uma mesma matéria prima (HEARLE, 2001, p. 97).

De acordo com Hearle (2001, p. 98), as máquinas de texturização possuem vários tipos de perfis, seção transversal da máquina, referindo-se ao primeiro forno e as placas frias, tipo M, V, L e a exceção S relacionada ao perfil reto. Esses perfis definem claramente o desempenho da máquina e as características de seus fios. Em linhas gerais, podemos dizer que quanto menor o número de ângulos o fio sofre durante sua trajetória, menores as tensões de processamento.

Mesmo apresentando as diferenças mencionadas acima, as máquinas de texturização têm componentes básicos, como gaiola para matéria prima, dois eixos entre os quais o fio é aquecido, texturado e resfriado, dois eixos subsequentes onde o fio pode ser aquecido sob relaxamento parcial, dispositivo para aplicação de óleo e sistema de enrolamento.

Os fornos primários longos são fornos de contato. Esses vêm sendo utilizados há anos para suprir as necessidades de diferentes mercados e têm a vantagem de serem confiáveis, de baixo custo operacional, porém não são indicados em máquinas de alta velocidade. É neste forno que o fio recebe a torção. Fornos de contato geralmente são preenchidos com líquidos e trabalham com este em fase de

vapor aquecido por resistências e controlado por termopares de resistência. O líquido é uma mistura de eutética ou difásica de dois componentes misturados de tal maneira que produzem vapor em uma pressão relativamente baixa (HEARLE, 2001, p. 103).

Comercialmente o líquido difásico é conhecido como *Dowtherm* e o tipo utilizado para o poliéster é o *Dowtherm A*, que garante a operação entre 180 - 235°C. O forno é selado e trabalha com vácuo.

A placa fria está situada entre a saída do primeiro forno e a entrada do agregado de texturização e tem duas principais funções: entregar o fio para o agregado de texturização em uma temperatura entre 86 – 90°C e, com isso, conferir estabilidade ao processo, já que se o fio entrasse no agregado de texturização diretamente após o forno o fio tenderia a inchar levando a uma baixa produtividade (HEARLE, 2001, p. 105).

De acordo com Hearle (2001, p. 106), o coração de uma máquina de texturização é o agregado de texturização, pois é ele que torce os filamentos estirados e aquecidos e consequentemente destorce dando ao fio a característica de dobragem e volume, daí vem o nome falsa torção. Ao longo dos anos foram desenvolvidos vários tipos de agregado de texturização, sendo o mais utilizado o agregado de texturização composto pelo empilhamento de discos mostrado na Figura 2.11.

Figura 2.11 Unidade de texturização por atrito (HEARLE,2011).

De acordo com Lord (2003, p. 89), a texturização tem como objetivo criar fios com alto volume que atendam aos requisitos:

1. Isolamento térmico dado pelos espaços vazios entre os filamentos;
2. Em consequência do volume, do vazio entre os filamentos, o fio confere melhor poder de cobertura;
3. Fio com aparência mais fosca, pois a reflexão da luz em uma superfície em desordem;
4. Artigos mais macios devido ao volume do fio;
5. Maior elasticidade aos artigos produzidos com o fio.

De acordo com Demir (1997, p. 49), os requisitos básicos para a texturização termomecânica são:

1. Aquecer os filamentos acima da temperatura de transição vítrea (T_g), porém abaixo da temperatura de fusão (T_m);
2. Deformar o filamento da maneira desejada, como por exemplo, com torção;
3. Resfriar os filamentos abaixo da T_g , enquanto ainda mantém a aplicação da deformação;

4. Rearranjar os filamentos já resfriados, para que possam apresentar o seu volume (textura).

Conforme Andreoli e Freti (2004, p. 37), na década de 1950 surgiram as primeiras máquinas de texturização por falsa torção contínua, onde já existia um forno para a formação da textura, forno de texturização e um segundo forno utilizado para a fixação da textura, caso necessário.

A quantidade de torção aplicada é uma relação da velocidade periférica do disco e a velocidade linear do fio que está sendo texturizado (D/Y).

A relação da velocidade de superfície do disco para a velocidade do fio, D/Y é calculada segundo a equação abaixo (YILDIRIM et al., 2009).

$$D/Y = \frac{\text{velocidade da superfície do disco}}{\text{velocidade do fio}}$$

A eficiência do processo depende de uma série de parâmetros, como por exemplo, a configuração do agregado, geometria, composição dos discos e número de torções aplicadas.

Ainda de acordo com Andreoli e Freti (2004, p. 40), um dos parâmetros mais importantes para o bom andamento do processo de texturização por falsa torção é a composição dos discos de texturização. Dentre as composições mais utilizadas existem a de poliuretano, a de revestimento de cerâmica e a de cerâmica pura.

A tecnologia de texturização por falsa torção, que é a mais importante dentre os atuais processos de texturização, apresentou uma extraordinária evolução desde o seu desenvolvimento (ANDREOLI; FRETI, 2004, p. 37 - 41).

De acordo com Yildirim et al.(2009, p. 1), as propriedades dos fios texturizados por falsa torção nas características de dobragem e o comportamento a tensão depende principalmente da velocidade de texturização e relação D/Y .

Os três principais parâmetros da texturização por falsa torção são a temperatura dos fornos, o grau de estiragem e a razão entre a velocidade da superfície dos discos e a velocidade linear do fio, D/Y (RODGERS; GOSH, 2012).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais

3.1.1 Filamento

Poliéster parcialmente orientado (POY), 167 dtex, 48 filamentos, merge 2021 do produtor Reliance, as propriedades do filamento são apresentadas na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 propriedades dos filamentos de poliéster parcialmente orientados

	Média	Mínimo	Máximo	Desvio
Título	301,44	294,60	398,30	10,37
Tenacidade	20,65	19,18	21,88	0,15
Alongamento	128,04	120,58	135,30	0,81
CV - Eveness	1,56	0,00	4,80	0,18
Fil. Quebrados	0,26	0,00	2,57	0,27
Força	77,22	70,37	81,71	0,80
CV - Força	1,11	0,77	2,04	0,09

3.1.2 Texturizadora

Texturizadora marca Barmag modelo AFK – M, primeiro forno com 2,5 m, segundo forno com 1,3 m helicoidal e placa fria de 2,5 m.

3.1.3 Discos e Agregado

Foram utilizados dois jogos de discos de Poliuretano (PU), nas configurações com cinco discos representados por 1.5.1 e com sete discos representados por 1.7.1.

3.2 Métodos

Ao longo do tempo, cada vez mais tem se tornado evidente a grande contribuição dos conceitos estatísticos tanto no que se refere à sua aplicação matemática e metodológica quanto à sua aplicação para a evolução da qualidade industrial.

Nesse sentido, para Balestracci(2007), a estatística não significa simplesmente um conjunto de técnicas a serem usadas somente nos projetos. Devido o ritmo acelerado de mudanças que ocorrem no ambiente econômico, conjuntamente com o “*benchmarking*,” a “re-engenharia,” e a “satisfação total do cliente”, esses métodos estatísticos são necessários para o trabalho do dia-dia e uma vez entendidos e aplicados, proporcionará habilidade e o entendimento que irá lhe garantir melhores análises, comunicação e tomada de decisões.

Coleman e Montgomery (1993) afirmam que, dentro da indústria, em especial no desenvolvimento de produto, muitas vezes é necessário obter informações sobre produtos e processos empiricamente. Neste momento, o trabalho das pessoas envolvidas com o problema assemelha-se ao de pesquisadores ou cientistas que precisam projetar experimentos, coletar dados e analisá-los. Experimentos são empregados para resolver problemas de fabricação, decidir entre diferentes processos de manufatura, diferentes conceitos de produto, entender a influência de determinados fatores, etc. Além disso, esta tarefa torna-se cada vez mais importante na medida em que se intensifica a base tecnológica dos produtos e as exigências governamentais e de clientes aumentando a necessidade de emprego de experimentos durante todas as etapas do ciclo de vida do produto.

Assim, o conhecimento e consequente aplicação de ferramentas como histogramas, gráficos de dispersão entre outras são comuns no ambiente industrial.

Nessa mesma linha de pensamento foi criado o Controle Estatístico de Processo (CEP) que, ao utilizar ferramentas estatísticas, descreve a capacidade de um determinado processo em atender a uma determinada especificação e, aqui, uma das ferramentas mais importantes é o Planejamento e Análise de Experimentos.

Também Box et al.(1978) mostram que o Planejamento de Experimentos é uma técnica utilizada para se planejar experimentos, ou seja, para definir quais dados, em que quantidade e em que condições devem ser coletados durante um determinado experimento, buscando, basicamente, satisfazer dois grandes objetivos: a maior precisão estatística possível na resposta e o menor custo. É, portanto, uma técnica de extrema importância para a indústria, pois seu emprego permite resultados mais confiáveis economizando dinheiro e tempo, parâmetros fundamentais em tempos de concorrência acirrada. A sua aplicação no desenvolvimento de novos produtos é muito importante, onde uma maior qualidade

dos resultados dos testes pode levar a um projeto com desempenho superior seja em termos de suas características funcionais como também sua robustez.

No entanto, conforme os trabalhos revisados a ferramenta estatística não substitui o conhecimento técnico do especialista da empresa sobre o assunto e nem mesmo trata-se de uma “receita de bolo” de como realizar um planejamento. O domínio do problema é de fundamental importância. O conhecimento do especialista sobre o problema conjugado com a técnica (em casos especiais somando-se ainda o auxílio de especialistas em planejamentos de experimentos) é que irá permitir bons planejamentos de experimentos, ou seja, planejamentos mais rápidos (menos pontos), de menor custo e que possibilitem aos seus idealizadores responderem, baseado em inferência estatística, a resposta a seus problemas.

Segundo Montgomery (1997), apesar de novas, as principais técnicas de planejamento de experimentos já existiam e potencialmente poderiam estar sendo sistematicamente aplicadas na indústria desde muitos anos. Porém, a grande maioria destas técnicas requer uma quantidade exaustiva de cálculos tornando fundamental o emprego dos recursos de informática. Um fator que tem impulsionado a aplicação industrial do planejamento de experimentos são as ferramentas computacionais de análise estatística e soluções corporativas que cada vez mais facilitam a realização das análises e manutenção e gerenciamento de dados. Neste sentido a tendência é que tais técnicas tornem-se cada vez mais próximas de aplicações práticas e, portanto, cada vez mais utilizadas.

Assim, é preciso estar claro também que, em estatística, Planejamento de Experimentos designa toda uma área de estudos que desenvolve técnicas de planejamento e análise de experimentos. Há atualmente todo um arsenal de técnicas, com vários níveis de sofisticação e uma quantidade não menor de livros sobre o assunto.

Para Tahara (2008), os planejamentos de experimentos podem ser usados tanto no desenvolvimento do processo quanto na solução de problemas do processo, para melhorar o seu desempenho ou obter um processo que seja robusto ou não-sensível a fontes externas de variabilidade.

Os métodos de planejamento de experimentos podem também ser úteis no estabelecimento do controle estatístico de um processo. Por exemplo, suponha que um gráfico de controle indique que o processo está fora de controle, e que o processo tenha várias variáveis de entrada controláveis. A menos que saibamos

quais variáveis de entrada são as importantes, poderá ser muito difícil trazer o processo de volta ao controle. Os métodos de planejamento experimental podem ser usados para identificar essas variáveis influentes do processo (TAHARA, 2008).

O planejamento de experimentos é uma ferramenta de engenharia importante para melhorar um processo de fabricação, mas tem também extensiva aplicação no desenvolvimento de novos processos. A aplicação dessas técnicas bem cedo no desenvolvimento do processo pode resultar em:

1. Produção melhorada
2. Variabilidade reduzida e conformidade mais próxima da nominal;
3. Tempo de desenvolvimento reduzido
4. Custos totais reduzidos.

No planejamento de novos processos os benefícios são:

1. Avaliação e comparação de configurações de planejamento básicas;
2. Avaliação de materiais alternativos;
3. Determinação dos parâmetros-chave do planejamento do produto que têm impacto sobre o desempenho (TAHARA, 2008).

Aqui, Davenport (1993) lembra que um processo é um conjunto de atividades com um ou mais tipos de entrada que gera uma saída que tenha valor para o cliente. O pensamento baseado nos processos é um requisito básico quando se trabalha com melhorias de processos. Logo, a compreensão do processo existente corresponde a uma etapa bastante importante no início do projeto.

Davenport (1993) cita quatro razões para a importância desta etapa: o entendimento dos processos existentes facilita a comunicação entre os participantes; na maioria das organizações complexas, não há como passar para um novo processo sem compreender o processo existente; o reconhecimento dos problemas de um processo existente pode ajudar a evitar a sua repetição no novo processo.

Assim, conforme Calegare (2001), o controle estatístico de processos tenta “manter” o processo em faixas de controle denominadas limites de controle. A média do processo não coincide com a dimensão nominal especificada pelo projeto. Para tentar se manter e trabalhar com as dimensões nominais, devem-se realizar experimentos com as variáveis envolvidas no processo e observar as respostas neles obtidas. Tais experimentos têm justamente por objetivo:

1. Determinar os fatores que influenciam na saída do processo.

2. Ajustar e fixar os fatores controláveis para obter respostas dentro dos valores que, normalmente, sejam os valores nominais especificados em projeto (CALEGARE, 2001).

3. Tornar o projeto robusto, sendo mais robusto quanto menos for impactado por fatores de ruído interno ou externo. A robustez de um produto ocorre mais função de um bom projeto que da rigidez dos controles dos processos de fabricação (BOX et al., 1978).

O planejamento de experimentos, por conseguinte, é usado para aperfeiçoar o processo, aproximando os valores de saída aos requisitos nominais, igualmente, para reduzir a variabilidade e os custos totais. Em projetos, usa-se, para selecionar parâmetros que tornem o projeto robusto, avaliar materiais alternativos e fixar os parâmetros-chave do projeto, ou seja, os parâmetros que impactam no desempenho do produto (CALEGARE, 2001).

Para Montgomery (1997), experimentos são realizados em todos os campos de estudo, seja para descobrir algo sobre um processo em particular, seja para comparar os efeitos de diversos fatores sobre um dado fenômeno. No contexto industrial, os experimentos são quase sempre relacionados a uma intervenção ou modificação em um processo rotineiro, que são realizados com a finalidade de medir o efeito dessa intervenção.

A ferramenta de delineamento de experimentos consiste em avaliar, através de métodos ou técnicas estatísticas, o impacto das entradas de um processo (e das interações entre elas) sobre as suas saídas, através de testes conduzidos de forma planejada, com o objetivo de obter um maior controle sobre o processo e de reduzir a variabilidade de suas respostas (FARIA, 1992; GALDÁMEZ, 2002; ROTONDARO, 2002).

Antes da apresentação da metodologia do delineamento de experimentos, faz-se necessária a definição de alguns conceitos fundamentais para a aplicação das técnicas de planejamento e análise de experimentos industriais (GALDÁMEZ, 2002; MONTGOMERY, 1997).

Variáveis de resposta: são as variáveis a serem medidas durante a realização dos testes e cujo valor depende das entradas do processo.

Fatores de controle: são as entradas do processo, que podem ter seus valores alterados de acordo com o experimento em questão a fim de se analisar o efeito produzido nas variáveis de resposta.

Níveis dos fatores: são os valores que podem ser assumidos pelos fatores de controle. No caso em que se utilizam dois níveis por fator, estes níveis são identificados por nível baixo (-1) e nível alto (+1).

Efeito principal: “é a diferença média observada na resposta quando se muda o nível do fator de controle investigado” (GALDÁMEZ, 2002, p. 12).

Efeito de interação: ocorre quando o impacto da interação entre dois ou mais fatores sobre o resultado é multiplicativo, e não aditivo (ROTONDARO, 2002).

Matriz de experimentos: apresenta os fatores de controle, os níveis e os tratamentos do experimento e é utilizada para conduzir o estudo.

Aleatorização: consiste a realizar os tratamentos em uma ordem aleatória a fim de balancear os efeitos dos fatores de ruído sobre as variáveis de resposta.

Repetição: trata-se da repetição de cada uma das combinações da matriz experimental com o objetivo de estimar o erro experimental e assim determinar se as diferenças observadas entre os dados são estatisticamente significativas.

Após a realização das duas etapas apresentadas anteriormente, Montgomery (1997) e Rotondaro (2002) enumeram seis etapas básicas para se executar corretamente um delineamento de experimentos:

Escolha dos fatores de controle e dos níveis dos fatores: nesta fase, devem ser selecionados os fatores de controle de forma a priorizar os fatores mais críticos que afetam as respostas do experimento. Em seguida, determinam-se as faixas de variação dos níveis de ajustagem desses fatores e seus métodos de medição.

Seleção das variáveis de resposta: aqui são definidas as variáveis de resposta que serão consideradas na análise dos experimentos e a escala numérica que será utilizada para se avaliar as respostas do experimento.

Escolha do tipo de experimento: esta etapa consiste na definição da matriz de experimentos a partir do número de fatores de controle e do número de níveis desses fatores. Algumas técnicas que podem ser utilizadas nesta etapa serão detalhadas posteriormente.

Execução do experimento: é a fase de realização dos experimentos propriamente dita, onde deve-se tomar o cuidado de respeitar a matriz de experimentos e as regras estabelecidas durante a etapa de definição do problema.

Análise dos dados: nesta etapa, analisam-se os resultados dos experimentos através de ferramentas estatísticas. O objetivo é descrever o

comportamento das variáveis de controle e da relação entre elas e estimar os efeitos produzidos nas respostas observadas.

Conclusões e recomendações: a partir dos resultados da etapa anterior, devem-se extrair conclusões práticas que servirão na formulação de recomendações de ações de melhoria para o processo estudado.

O planejamento fatorial é indicado quando se deseja estudar os efeitos de duas ou mais variáveis de influência. Em cada repetição, todas as combinações possíveis dos níveis de cada variável são investigadas. Quando o efeito de um fator depende do nível dos outros fatores, diz-se que há interação desses fatores.

Um experimento fatorial consiste de um conjunto de experimentos, onde se mudam os níveis dos fatores que se deseja estudar. Os resultados são analisados para determinar os efeitos dos fatores. Um dos objetivos é otimizar o produto ou processo, ou seja, determinar os níveis ótimos para cada fator.

Nos experimentos fatoriais, os efeitos de um número de diferentes fatores são investigados simultaneamente. Os tratamentos consistem de todas as combinações que podem ser formadas a partir dos diversos fatores. Os fatoriais completos se caracterizam pela realização de experimentos com todos os tratamentos, ou seja, todas as combinações possíveis de níveis dos fatores são testadas.

Para executar um plano fatorial completo, um investigador seleciona um número fixo de níveis para cada um dos fatores. Se existirem $p_1 \times p_2 \times \dots \times p_n$ provas é chamado experimento fatorial $p_1 \times p_2 \times \dots \times p_n$. O resultado da multiplicação $p_1 \times p_2 \times \dots \times p_n$ representa o número de tratamentos. Deste modo, ele indica o número de provas a serem realizadas para se obter um fatorial completo. Quando todos os fatores possuem o mesmo número de níveis é mais comum utilizar a conotação p^k , onde k é o número de fatores e p o número de níveis de cada fator. Por exemplo, um fatorial 2^2 (2×2) necessita de quatro provas.

Um experimento no qual cada tratamento é aplicado uma vez constitui uma única replicação do experimento. Se cada tratamento é replicado n vezes, o experimento é dito ser replicado n vezes ou envolver n réplicas. Caso se tenham réplicas, o número total de provas será um múltiplo do número de tratamentos.

O planejamento fatorial tem sido muito aplicado em pesquisas e é classificado como um método do tipo simultâneo, onde as variáveis de interesse que

realmente apresentam influências significativas na resposta são avaliadas ao mesmo tempo.

O planejamento fatorial 2^k é um caso particular do planejamento fatorial com k fatores e dois níveis. Os fatores e os níveis são predeterminados, configurando este planejamento como um modelo de efeitos fixos. Para que a análise seja objetiva, as hipóteses de normalidade devem ser satisfeitas.

A Tabela 3.2 mostra um experimento com dois fatores (A e B), o fator A será testado em “a” níveis e o B em “b” níveis. Portanto, neste experimento existem ab combinações de teste. Essa matriz representa o caso geral do experimento fatorial em dois fatores, para uma resposta (y_{ijk}) observada quando o fator A está i-ésimo nível ($i=1, 2, \dots, a$). É importante ressaltar que as abn observações do experimento devem ser realizadas aleatoriamente (Montgomery, 1997).

Tabela 3.2 Experimento fatorial de dois fatores (Montgomery,1997)

	Níveis	Fator B			
		1	2	...	b
Fator A	1	$y_{111}, y_{112}, \dots, y_{11n}$	$y_{121}, y_{122}, \dots, y_{12n}$	...	$y_{1b1}, y_{1b2}, \dots, y_{1bn}$
	2	$y_{211}, y_{212}, \dots, y_{21n}$	$y_{221}, y_{222}, \dots, y_{22n}$	...	$y_{2b1}, y_{2b2}, \dots, y_{2bn}$
	:	:		...	
	a	$y_{a11}, y_{a12}, \dots, y_{a1n}$	$y_{a21}, y_{a22}, \dots, y_{a2n}$	...	$y_{ab1}, y_{ab2}, \dots, y_{abn}$

Dentre os planejamentos fatoriais o 2^k é o mais utilizado na área industrial e também costuma servir de base para outros tipos de planejamento mais complexos. Esse tipo de planejamento envolve k fatores ensaiados em apenas dois níveis, que podem ser codificados como: -1 (o nível mais baixo ou inferior) e +1 (o nível mais alto ou superior), sendo especialmente indicado quando se supõe uma relação linear entre os fatores considerados e a resposta.

A Tabela 3.3 mostra um planejamento de experimento, com dois fatores (A e B), ensaiados em dois níveis (-1 e +1). Este planejamento fatorial gera 4 (2^2) condições experimentais. As combinações possíveis entre os níveis dos dois fatores estão apresentadas nas colunas (3) e (4).

Tabela 3.3 Níveis dos fatores e interações de um planejamento fatorial 2^2 (Montgomery,1997).

Ensaio	Tratamentos	Fator A	Fator B	Int. AxB	Respostas
--------	-------------	---------	---------	----------	-----------

1	Ab	+ 1	+ 1	+ 1	$y_{1,1}$	...	$y_{1,10}$
2	A	+ 1	- 1	- 1	$y_{2,1}$	...	$y_{2,10}$
3	B	- 1	+ 1	- 1	$y_{3,1}$	...	$y_{3,10}$
4	(1)	- 1	- 1	+ 1	$y_{4,1}$	...	$y_{4,10}$

Através desse experimento é possível avaliar o efeito isolado de cada um dos fatores investigados, denominado efeito principal, pela diferença produzida na resposta quando o fator muda de um nível para outro e também o efeito das interações entre os fatores. Diz-se existir interação entre fatores quando a diferença na resposta entre os níveis de um fator não é a mesma segundo os níveis de outro ou de outros fatores. A coluna (4) da tabela 4 apresenta o sinal a ser adotado no cálculo das interações neste projeto fatorial.

Segundo Devor et al (1992) e Montgomery (1997), as estimativas dos efeitos dos fatores principais e das interações podem ser calculadas. Os efeitos principais correspondem à mudança da resposta média quando o nível de um fator é alterado de (-1) para (+1), mantendo os outros fatores constantes.

O procedimento consiste em multiplicar os resultados da coluna y_i pelos valores (+1) e (-1) associados à coluna da matriz experimental correspondente ao efeito principal que se deseja estimar. Em seguida, os valores obtidos devem ser somados e divididos pela metade do número de ensaios realizados.

Para determinar o efeito da interação, primeiramente deve-se construir a coluna das interações na matriz de planejamento. Estas colunas são formadas por meio da multiplicação das colunas dos efeitos principais. Por exemplo, a coluna (5) da tabela 4, foi montada pela multiplicação das colunas dos fatores A e B. Em seguida, os valores (+1) e (-1) associados à coluna da interação na matriz experimental são utilizados para estimar seu efeito. Por fim, os valores obtidos devem ser somados e divididos pela metade do número de ensaios realizados.

Efeito dos fatoriais são alterações na variável resposta, produzidas por mudanças no nível do fator, após a combinação dos efeitos de dois ou mais fatores. O efeito médio do fator A pode ser calculado pela equação:

$$A = \frac{1}{2n}[ab + a - b - (1)]$$

Analogamente, o efeito médio do fator B pode ser calculado pela equação:

$$B = \frac{1}{2n}[ab + b - a - (1)]$$

Efeito das interações são alterações na variável resposta, o efeito AxB representa a diferença média entre o efeito de A no nível máximo de B e o efeito de A no nível mínimo de B, o efeito da interação pode ser calculado pela equação:

$$AxB = \frac{1}{2n}[ab + (1) - a - b]$$

A **Erro! Fonte de referência não encontrada.** mostra um efeito principal. Este gráfico linear apresenta a variação média das respostas em função da mudança no nível (-1) para (+1) de um fator, mantendo o outro fator constante.

Figura 3.1 Representação gráfica de um efeito principal

Figura 3.2 Representação gráfica de efeitos de fatores sem interação, adaptado de Montgomery(1997).

Os gráficos da Figura 3.2 e da Figura 3.3 descrevem as variações provocadas por dois fatores, também identificados por A e B, ensaiados em dois níveis. No gráfico Figura 3.2 mostra não existe interação entre os fatores e no gráfico da Figura 3.3 a interação é significativa.

Figura 3.3 Representação gráfica de efeitos de fatores com interação, adaptado de Montgomery(1997).

Como regra geral, quando não existir interação entre os fatores, basta estudar os seus efeitos principais, mas quando existir a interação, devem ser estudados o efeito de um fator em cada nível do outro. Na ausência de interação entre os fatores, as retas são paralelas, significando que o efeito de um fator é o mesmo independente do nível do outro. A interação é positiva quando os fatores apresentam efeito sinérgico. O efeito conjunto dos fatores, neste caso, é aumentar o resultado da combinação de seus níveis mais altos. Quando os fatores têm efeitos antagônicos a interação é negativa.

Embora seja simples a determinação dos efeitos, muitas vezes é difícil definir qual é realmente o fator de controle que produz uma diferença significativa nas respostas. Nestes casos, além da determinação dos efeitos principais e da interação, recomenda-se aplicar técnicas de análise de variância (ANOVA), Montgomery (1997).

A análise de variância é utilizada para aceitar ou rejeitar, estatisticamente, as hipóteses investigadas com os experimentos. O objetivo da técnica é analisar a variação média dos resultados dos testes e identificar quais são os fatores principais e interações que realmente produzem efeitos significativos nas respostas de um sistema.

Ross (1991) explica que a análise da variância consiste em uma técnica matemática na qual a variação total é decomposta em seus componentes apropriados. O número de fatores determina o tipo de análise a ser realizada, bem como seus graus de liberdade. Um grau de liberdade, no sentido estatístico, está associado a cada parcela de informação que é estimada dos dados.

O autor também explica que a variabilidade total é obtida pela soma dos quadrados dos desvios do valor médio. Estima-se, assim, a contribuição de cada parâmetro e do residuo com relação à variabilidade.

Os resultados da ANOVA são geralmente apresentados em uma tabela, conforme mostra a tabela 5. Estes resultados representam a análise do experimento fatorial dois fatores, cada fator com dois níveis. As colunas da tabela foram divididas em: fontes de variação, a soma dos quadrados (SS_A , SS_B , ..., SS_T), os graus de liberdade, os quadrados médios (QM_A , ..., QM_{Erro}), a razão F (F_A , F_B e F_{AB}) e os valores de p (nível de significância para testar a hipótese H_0).

Tabela 5: Resumo da tabela ANOVA para análise dos resultados

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrados Médios	F _{exp}	Valor p
Fator A	SS_A	$a - 1$	QM_A	F_A	Valor p (A)
Fator B	SS_B	$b - 1$	QM_B	F_B	Valor p (B)
Int. AxB	SS_{AB}	$(a - 1)(b - 1)$	QM_{AB}	F_{AB}	Valor p (AB)
Erro	SS_E	$ab(n - 1)$	QM_{Erro}		
Total	SS_T	$abn - 1$			

a = Níveis do Fator A e b = Níveis do Fator B

As Somas dos Quadrados (SS), que representa a variabilidade dos dados, podem ser calculadas pelas expressões:

$$SS_A = \frac{[ab + a - b - (1)]^2}{4n}$$

$$SS_B = \frac{[ab + b - a - (1)]^2}{4n}$$

$$SS_{AxB} = \frac{[ab + (1) - a - b]^2}{4n}$$

$$SS_T = \left(\sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^n y_{ijk}^2 \right) - \frac{y_{\dots}^2}{4n}$$

$$SS_E = SS_T - SS_A - SS_B - SS_{A \times B}$$

O Quadrado Médio (QM) é a razão entre a soma de quadrados e os graus de liberdade, podem ser calculados pelas expressões:

$$QM_A = \frac{SQ_A}{(a-1)}$$

$$QM_B = \frac{SQ_B}{(b-1)}$$

$$QM_{A \times B} = \frac{SQ_{A \times B}}{(a-1)(b-1)}$$

$$QM_{Erro} = \frac{SQ_{Erro}}{ab(n-1)}$$

A Razão F, para cada fonte de variação da tabela ANOVA, será a razão entre os respectivos Quadrados Médios e o Quadrado Médio do Erro, pode ser calculada pelas expressões:

$$F_A = \frac{QM_A}{QM_{Erro}} \approx F(a-1, ab(n-1))$$

$$F_B = \frac{QM_B}{QM_{Erro}} \approx F(b-1, ab(n-1))$$

$$F_{A \times B} = \frac{QM_{A \times B}}{QM_{Erro}} \approx F((a-1)(b-1), ab(n-1))$$

Um grau de liberdade, no sentido estatístico, está associado a cada parcela de informação que é estimada dos dados. O número de graus de liberdade de um efeito fatorial é calculado pelo números de níveis dos fatores menos 1. apenas dois níveis. Então só é possível estimar o efeito linear de cada fator. Ou seja, em um experimento fatorial de dois níveis cada fator tem um grau de liberdade. O número total de graus de liberdade de um experimento equivale ao número total de observações menos 1.

Figura 3.4 Representação gráfica da distribuição F de Snedecor para testar a hipótese H_0

O nível de significância (valor α) é a área à esquerda do critério F na curva de distribuição de referência, conforme mostra a Figura 3.4.

É usual considerar como referência o valor 0,05 para comparar o nível de significância. Se o nível de significância for menor que 0,05, então rejeita-se H_0 , caso contrário aceita-se H_0 . Este valor não deve ser usado em todos os casos. É preciso considerar os riscos associados com cada decisão.

Segundo Vieira (1996), a interpretação dos dados do quadro ANOVA são divididos em duas categorias:

- Os parâmetros que possuam razão F_{exp} maior que a estatística F tabelada são os fatores que exercem influência sobre o valor da média dos resultados. A estatística F, que segue uma distribuição com v_1 (numerador) e v_2 (denominador) graus de liberdade, para um dado nível de significância (α) são retiradas das tabelas apresentadas por vários autores (LEVINE *et al.*, 1998; DEVOR *et al.*, 1992; MONTGOMERY, 1997).

- Os parâmetros que possuam razão F_{exp} menor que a estatística F tabelada não causam efeitos sobre a média, portanto, a hipótese nula é verdadeira.

No entanto, conforme Galdámez (2002), a inferência estatística com a ANOVA é um processo que requer alguns cuidados:

- A equipe não pode esquecer que um efeito de interação indica que todos os fatores envolvidos na interação são significativos, apesar do fato de que seus efeitos principais na ANOVA possam não mostrar significância.

- Os fatores de ruído, *a priori*, não são completamente investigados. Neste caso, outras técnicas com um melhor desempenho podem ser utilizadas, como o Projeto Robusto, por exemplo.

O quadro ANOVA é facilmente construído com o auxílio de *softwares* estatísticos, como o *Microsoft Excel* e o *Minitab*. Além dessa vantagem, na maioria destes *softwares* está incluído o *P-value*, valor correspondente à área sob a qual a

estatística F é limite da razão F_{exp} calculada. Com este parâmetro estatístico, é possível concluir sobre as hipóteses nulas sem precisar recorrer a uma tabela de valores críticos de distribuição F . Isto é, se o $P\text{-value}$ for menor que o nível de significância escolhido (α), a hipótese nula é rejeitada.

Diante disso, no presente estudo foi utilizado o *Minitab*, um programa de computador voltado para fins estatísticos, tanto no que se refere aos cursos introdutórios de estatística quanto à utilização em empresas e estudos científicos. O programa possui um nível mais avançado de utilização, tendo funções mais específicas voltadas para gerenciamento. Sua interface é compatível com a de uma planilha eletrônica como a do *Microsoft Excel* ou *Cale* do *Open Office*, por exemplo, apresentando, no entanto, uma maior capacidade de executar análises estatísticas complexas.

Como diferencial, o *Minitab* oferece ferramentas de Controle da Qualidade, Planejamento de Experimentos (DOE), Análise de Confiabilidade e Estatística Geral, além de ser o *software* mais utilizado no desenvolvimento de projetos Seis Sigma.

O *Minitab* foi desenvolvido em 1972 e, desde então, vem sendo utilizado por milhares de entidades públicas e privadas no mundo (cerca de mais de 4.000 universidades em mais de 80 países) nos mais variados ambientes de trabalho.

Assim, com o auxílio do *software* de análise estatístico *Minitab* 14 foi feito a programação dos testes para o estudo da influência do D/Y e número de discos do processo de texturização por falsa torção.

O planejamento escolhido foi um fatorial 2^2 mostrado na tabela 4. Como são dois fatores de controle (D/Y = 2,60 e D/Y = 2,23) em dois níveis (1.7.1 e 1.5.1), têm-se quatro combinações possíveis de regulagem da máquina. Sendo, o fator A os valores de D/Y (+1 = 2,60 e -1 = 2,23) e o fator B a configuração dos discos (+1 = 1.7.1 e -1 = 1.5.1).

Teste de Hipóteses

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4$$

$$H_1: \mu_i \neq \mu_j, \text{ para qualquer par } i, j$$

A Tabela 3.4 mostra as regulagens utilizadas para a fabricação dos fios.

Tabela 3.4 Valores dos fatores e parâmetros de processo utilizados nos experimentos

	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4
Velocidade (m/min)	400	400	400	400
D/Y	2,60	2,60	2,23	2,23
Estiragem (%)	1,78	1,78	1,78	1,78
Temperatura de texturização (°C)	220	220	220	220
Temperatura de fixação (°C)	-	-	-	-
Número de discos do agregado de texturização	1.7.1	1.5.1	1.7.1	1.5.1

Foi produzida 1 bobina para cada regulagem. Após a produção dos fios de cada bobina foram preparadas 10 meadas de 2500 dtex. A determinação das propriedades mecânicas do encrespamento foi feita com o equipamento *Textechno Texturmat* ME.

O equipamento executou as seguintes etapas

- Aplicar carga de 2 cN/tex por 10 segundos e medir o comprimento L_g ;
- Aplicar carga de 0,01 cN/tex submeter ao ar seco e quente (120°C) por 10 minutos e medir o comprimento L_z ;
- Aplicar carga de 0,1 cN/tex por 10 segundo e medir o comprimento L_f ;
- Aplicar carga de 10 cN/tex por 10 segundo, em seguida aplicar carga de 0,01 cN/Tex por 10 minutos e medir o comprimento L_b ;
- Calcular as propriedades de encrespamento que seguem abaixo:
 - $E\% - \text{contração do encrespamento} = \frac{L_g - L_z}{L_g} \times 100(\%)$
 - $K\% - \text{módulo do encrespamento} = \frac{L_g - L_f}{L_g} \times 100(\%)$
 - $B\% - \text{estabilidade do encrespamento} = \frac{L_g - L_b}{L_g} \times 100(\%)$

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A texturizadora foi ajustada de acordo com os valores apresentados na Tabela 4.1 para produzir as bobinas de fios texturizados.

Tabela 4.1 Parâmetros de operação da texturizadora

Condições de operação	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4
Velocidade W2 (m/min)	400	400	400	400
Taxa de estiragem	1,78	1,78	1,78	1,78
D/Y	2,6	2,6	2,23	2,23
2nd Overfeed - WX	-5	-5	-5	-5
3rd Overfeed - W3	-5,3	-5,3	-5,3	-5,3
4th Overfeed - W4	-3,3	-3,3	-3	-3
Ângulo de cruzamento	30	30	30	30
Take Up Program	6	6	6	6
Vel. Eixo óleo (rpm)	0,7	0,7	0	0
T1 - Texturização - (°C)	220	220	220	220
T2 - Fixação - (°C)	0	0	0,000	0,000
Regulagens manuais				
Tipo Disco	PU T	PU T	PU T	PU T
Diposição dos discos	1.7.1	1.5.1	1.7.1	1.5.1
Torção	Z	Z	Z	Z
Ângulo de formação	80	80	80	80
# 1 Tipo de Buso	-	-	-	-
Pressão (psi)	0	0	0	0
# 2 Tipo de Buso	-	-	-	-
Pressão (psi)	0	0	0	0
Régua e Encosto				
P1-Constant Main	5,0	5,0	5,0	5,0
P2-Down Thr. Arm	1,8	1,8	1,8	1,8
P3-Down Cradle	0,9	0,9	0,9	0,9
P4-Up Cradle	1,4	1,4	1,4	1,4
Tensões				
Pre-Draw	43,3	43,4	41,0	41,3
T-1	61,0	61,1	55,8	56,0
T-2	29,7	49,8	30,2	48,9
T-3	15,2	24,5	15,2	23,0
T2/T1	0,5	0,8	0,5	0,9
UNITENS	30,88	53,04	26,88	44,06
C.V. UNITENS	1,05	0,94	0,94	0,56

Dez amostras de fio texturizado de cada combinação dos fatores foram produzidas e submetidas ao ensaio EKB , os valores determinados no ensaio são apresentados nas tabelas.

Tabela 4.2 Variação do D/Y no E% (Disco 1.7.1 fixo).

VARIAÇÃO DO D/Y NO E% (DISCO 1.7.1 FIXO)					
D/Y	Disco	E%	D/Y	disco	E%
2,6	1.7.1	36,98	2,23	1.7.1	39,00
2,6	1.7.1	37,37	2,23	1.7.1	39,16
2,6	1.7.1	36,93	2,23	1.7.1	37,63
2,6	1.7.1	37,16	2,23	1.7.1	37,87
2,6	1.7.1	37,65	2,23	1.7.1	38,27
2,6	1.7.1	37,00	2,23	1.7.1	38,81
2,6	1.7.1	37,12	2,23	1.7.1	39,00
2,6	1.7.1	37,44	2,23	1.7.1	39,34
2,6	1.7.1	37,14	2,23	1.7.1	39,37
2,6	1.7.1	37,21	2,23	1.7.1	40,10
Média		37,20			38,86
Desv. pad.		0,23			0,75
CV%		0,61			1,92
Máx.		37,65			40,10
Min.		36,93			37,63

Tabela 4.3 Variação do D/Y no E% (Disco 1.5.1 fixo).

VARIAÇÃO DO D/Y NO E% (DISCO 1.5.1 FIXO)					
D/Y	Disco	E%	D/Y	Disco	E%
2,23	1.5.1	36,63	2,6	1.5.1	40,29
2,23	1.5.1	37,39	2,6	1.5.1	39,36
2,23	1.5.1	37,47	2,6	1.5.1	39,41
2,23	1.5.1	37,67	2,6	1.5.1	39,24
2,23	1.5.1	37,46	2,6	1.5.1	38,51
2,23	1.5.1	36,74	2,6	1.5.1	38,7
2,23	1.5.1	36,18	2,6	1.5.1	40,22
2,23	1.5.1	35,87	2,6	1.5.1	40,6
2,23	1.5.1	35,78	2,6	1.5.1	41,04
2,23	1.5.1	36,84	2,6	1.5.1	41,32
Média		36,803			39,869
Desv. pad.		0,692276			0,965533
CV%		1,88103			2,421764
Máx.		37,67			41,32
Min.		35,78			38,51

Tabela 4.4 Variação dos Discos (5 x 7) no E% (D/Y fixo).

VARIAÇÃO DOS DISCOS (5 x 7) NO E% (D/Y FIXO)					
D/Y	Disco	E%	D/Y	Disco	E%
2,6	1.7.1	36,98	2,6	1.5.1	40,29
2,6	1.7.1	37,37	2,6	1.5.1	39,36
2,6	1.7.1	36,93	2,6	1.5.1	39,41
2,6	1.7.1	37,16	2,6	1.5.1	39,24
2,6	1.7.1	37,65	2,6	1.5.1	38,51
2,6	1.7.1	37,00	2,6	1.5.1	38,7
2,6	1.7.1	37,12	2,6	1.5.1	40,22
2,6	1.7.1	37,44	2,6	1.5.1	40,6
2,6	1.7.1	37,14	2,6	1.5.1	41,04
2,6	1.7.1	37,21	2,6	1.5.7	41,32
Média		37,20			39,87
Desv. pad.		0,23			0,97
CV%		0,61			2,42
Máx.		37,65			41,32
Min.		36,93			38,51

Tabela 4.5 Variação dos Discos (5 x 7) no E% (D/Y fixo).

VARIAÇÃO DOS DISCOS (5 x 7) NO E% (D/Y FIXO)					
D/Y	Disco	E%	D/Y	Disco	E%
2,23	1.5.1	36,63	2,23	1.7.1	39
2,23	1.5.1	37,39	2,23	1.7.1	39,16
2,23	1.5.1	37,47	2,23	1.7.1	37,63
2,23	1.5.1	37,67	2,23	1.7.1	37,87
2,23	1.5.1	37,46	2,23	1.7.1	38,27
2,23	1.5.1	36,74	2,23	1.7.1	38,91
2,23	1.5.1	36,18	2,23	1.7.1	39
2,23	1.5.1	35,87	2,23	1.7.1	39,34
2,23	1.5.1	35,78	2,23	1.7.1	39,37
2,23	1.5.1	36,84	2,23	1.7.1	40,1
Média		36,803			38,865
Desv. pad.		0,692276			0,745404
CV%		1,88103			1,917932
Máx.		37,67			40,1
Min.		35,78			37,63

Tabela 4.6 Variação do D/Y no K% (Disco 1.5.1 fixo).

VARIAÇÃO DO D/Y NO K% (DISCO 1.5.1 FIXO)
--

D/Y	Disco	K%	D/Y	Disco	K%
2,23	1.5.1	23,3	2,6	1.5.1	25,63
2,23	1.5.1	22,86	2,6	1.5.1	25,41
2,23	1.5.1	23,14	2,6	1.5.1	25,17
2,23	1.5.1	22,56	2,6	1.5.1	24,77
2,23	1.5.1	22,45	2,6	1.5.1	25,84
2,23	1.5.1	22,74	2,6	1.5.1	24,47
2,23	1.5.1	22,36	2,6	1.5.1	25,1
2,23	1.5.1	22,24	2,6	1.5.1	25,56
2,23	1.5.1	23,33	2,6	1.5.1	26,69
2,23	1.5.1	22,83	2,6	1.5.1	26,25
Média		22,78			25,49
Desv. pad.		0,39			0,67
CV%		1,69			2,61
Máx.		23,33			26,69
Min.		22,24			24,47

Tabela 4.7 VARIAÇÃO DO D/Y NO K% (DISCO 1.7.1 FIXO)

VARIAÇÃO DO D/Y NO K% (DISCO 1.7.1 FIXO)					
D/Y	Disco	K%	D/Y	Disco	K%
2,23	1.7.1	24,67	2,6	1.7.1	23,22
2,23	1.7.1	24,48	2,6	1.7.1	22,87
2,23	1.7.1	25,24	2,6	1.7.1	23,44
2,23	1.7.1	24,41	2,6	1.7.1	22,98
2,23	1.7.1	24,07	2,6	1.7.1	22,62
2,23	1.7.1	24,54	2,6	1.7.1	23,21
2,23	1.7.1	24,49	2,6	1.7.1	23,63
2,23	1.7.1	24,76	2,6	1.7.1	23,07
2,23	1.7.1	23,64	2,6	1.7.1	23,06
2,23	1.7.1	23,93	2,6	1.7.1	22,82
Média		24,42			23,09
Desv. pad.		0,45			0,30
CV%		1,85			1,29
Máx.		25,24			23,63
Min.		23,64			22,62

Tabela 4.8 Variação dos discos (5 x 7) no K% (D/Y fixo).

VARIAÇÃO DOS DISCOS (5 x 7) NO K% (D/Y FIXO)					
D/Y	disco	K%	D/Y	disco	K%
2,6	1.5.1	25,63	2,6	1.7.1	23,22
2,6	1.5.1	25,41	2,6	1.7.1	22,87

2,6	1.5.1	25,17	2,6	1.7.1	23,44
2,6	1.5.1	24,77	2,6	1.7.1	22,98
2,6	1.5.1	25,84	2,6	1.7.1	22,62
2,6	1.5.1	24,47	2,6	1.7.1	23,21
2,6	1.5.1	25,1	2,6	1.7.1	23,63
2,6	1.5.1	25,56	2,6	1.7.1	23,07
2,6	1.5.1	26,69	2,6	1.7.1	23,06
2,6	1.5.1	26,25	2,6	1.7.1	22,82
Média		25,49			23,09
Desv. pad.		0,67			0,30
CV%		2,61			1,29
Máx.		26,69			23,63
Min.		24,47			22,62

Tabela 4.9 Variação dos discos (5 x 7) no K% (D/Y fixo).

VARIAÇÃO DOS DISCOS (5 x 7) NO K% (D/Y FIXO)					
D/Y	Disco	K%	D/Y	Disco	K%
2,23	1.5.1	23,3	2,23	1.7.1	24,67
2,23	1.5.1	22,86	2,23	1.7.1	24,48
2,23	1.5.1	23,14	2,23	1.7.1	25,24
2,23	1.5.1	22,56	2,23	1.7.1	24,41
2,23	1.5.1	22,45	2,23	1.7.1	24,07
2,23	1.5.1	22,74	2,23	1.7.1	24,54
2,23	1.5.1	22,36	2,23	1.7.1	24,49
2,23	1.5.1	22,24	2,23	1.7.1	24,76
2,23	1.5.1	23,33	2,23	1.7.1	23,64
2,23	1.5.1	22,83	2,23	1.7.1	23,93
Média		22,78			24,42
Desv. pad.		0,39			0,45
CV%		1,69			1,85
Máx.		23,33			25,24
Min.		22,24			23,64

Tabela 4.10 Variação do D/Y no B% (Disco 1.7.1 fixo).

VARIAÇÃO DO D/Y NO B% (DISCO 1.7.1 FIXO)					
D/Y	Disco	B%	D/Y	Disco	B%
2,23	1.7.1	85,42	2,6	1.7.1	85,62
2,23	1.7.1	84,99	2,6	1.7.1	85,28
2,23	1.7.1	85,82	2,6	1.7.1	86,05
2,23	1.7.1	84,76	2,6	1.7.1	85,46
2,23	1.7.1	86,08	2,6	1.7.1	86,74
2,23	1.7.1	85,97	2,6	1.7.1	86,59

2,23	1.7.1	84,67	2,6	1.7.1	87,2
2,23	1.7.1	85,48	2,6	1.7.1	85,24
2,23	1.7.1	85,21	2,6	1.7.1	86,07
2,23	1.7.1	84,91	2,6	1.7.1	85,96
Média		85,33			86,02
Desv. pad.		0,51			0,66
CV%		0,59			0,76
Máx.		86,08			87,20
Min.		84,67			85,28

Tabela 4.11 Variação do D/Y no B% (Disco 1.5.1 fixo).

VARIAÇÃO DO D/Y NO B% (DISCO 1.5.1 FIXO)					
D/Y	Disco	B%	D/Y	Disco	B%
2,23	1.5.1	86,01	2,6	1.5.1	87,77
2,23	1.5.1	85,56	2,6	1.5.1	86,27
2,23	1.5.1	85,42	2,6	1.5.1	85,78
2,23	1.5.1	85,35	2,6	1.5.1	85,24
2,23	1.5.1	85,16	2,6	1.5.1	86,04
2,23	1.5.1	85,26	2,6	1.5.1	85,53
2,23	1.5.1	85,81	2,6	1.5.1	86,71
2,23	1.5.1	84,61	2,6	1.5.1	86,06
2,23	1.5.1	85,59	2,6	1.5.1	87,26
2,23	1.5.1	85,41	2,6	1.5.1	86,81
Média		85,42			86,35
Desv. pad.		0,38			0,79
CV%		0,45			0,91
Máx.		86,01			87,77
Min.		84,61			85,24

Tabela 4.12 Variação dos Discos (5 x 7) no B% (D/Y fixo).

VARIAÇÃO DOS DISCOS (5 x 7) NO B% (D/Y FIXO)					
D/Y	Disco	B%	D/Y	Disco	B%
2,6	1.7.1	85,62	2,6	1.5.1	87,77
2,6	1.7.1	85,28	2,6	1.5.1	86,27
2,6	1.7.1	86,05	2,6	1.5.1	85,78
2,6	1.7.1	85,46	2,6	1.5.1	85,24
2,6	1.7.1	86,74	2,6	1.5.1	86,04
2,6	1.7.1	86,59	2,6	1.5.1	85,53
2,6	1.7.1	87,2	2,6	1.5.1	86,71
2,6	1.7.1	85,24	2,6	1.5.1	86,06
2,6	1.7.1	86,07	2,6	1.5.1	87,26
2,6	1.7.1	85,96	2,6	1.5.1	86,81
Média		86,02			86,35

Desv. pad.		0,66			0,79
CV%		0,76			0,91
Máx.		87,20			87,77
Min.		85,24			85,24

Tabela 4.13 Variação dos Discos (5 x 7) no B% (D/Y fixo).

VARIAÇÃO DOS DISCOS (5 x 7) NO B%(D/Y FIXO)					
D/Y	Disco	B%	D/Y	Disco	B%
2,23	1.7.1	85,42	2,23	1.5.1	86,01
2,23	1.7.1	84,99	2,23	1.5.1	85,56
2,23	1.7.1	85,82	2,23	1.5.1	85,42
2,23	1.7.1	84,76	2,23	1.5.1	85,35
2,23	1.7.1	86,08	2,23	1.5.1	85,16
2,23	1.7.1	85,97	2,23	1.5.1	85,26
2,23	1.7.1	84,67	2,23	1.5.1	85,81
2,23	1.7.1	85,48	2,23	1.5.1	84,61
2,23	1.7.1	85,21	2,23	1.5.1	85,59
2,23	1.7.1	84,91	2,23	1.5.1	85,41
Média		85,33			85,42
Desv. pad.		0,51			0,38
CV%		0,59			0,45
Máx.		86,08			86,01
Min.		85,21			84,61

Tabela 4.14 Matriz de experimentos com os resultados dos testes realizados.

StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	D/Y	Disco	E%	K%	B%
20	1	1	1	2,6	1.7.1	36,98	22,62	86,74
19	2	1	1	2,23	1.7.1	39	24,07	86,08
24	3	1	1	2,6	1.7.1	37,37	23,21	86,59
25	4	1	1	2,23	1.5.1	36,63	22,36	85,81
40	5	1	1	2,6	1.7.1	36,93	22,82	85,96
5	6	1	1	2,23	1.5.1	37,39	22,86	85,56
36	7	1	1	2,6	1.7.1	37,16	23,06	86,07
23	8	1	1	2,23	1.7.1	39,16	24,54	85,97
9	9	1	1	2,23	1.5.1	37,47	23,14	85,42
28	10	1	1	2,6	1.7.1	37,65	23,63	87,2
16	11	1	1	2,6	1.7.1	37	22,98	85,46
35	12	1	1	2,23	1.7.1	37,63	23,64	85,21
1	13	1	1	2,23	1.5.1	37,67	23,3	86,01
2	14	1	1	2,6	1.5.1	40,29	25,63	87,77
39	15	1	1	2,23	1.7.1	37,87	23,93	84,91
33	16	1	1	2,23	1.5.1	37,46	23,33	85,59
26	17	1	1	2,6	1.5.1	39,36	25,1	86,71
7	18	1	1	2,23	1.7.1	38,27	24,48	84,99
15	19	1	1	2,23	1.7.1	38,91	24,41	84,76
21	20	1	1	2,23	1.5.1	36,74	22,74	85,26
32	21	1	1	2,6	1.7.1	37,12	23,07	85,24
6	22	1	1	2,6	1.5.1	39,41	25,41	86,27
10	23	1	1	2,6	1.5.1	39,24	25,17	85,78
14	24	1	1	2,6	1.5.1	38,51	24,77	85,24
27	25	1	1	2,23	1.7.1	39	24,49	84,67
22	26	1	1	2,6	1.5.1	38,7	24,47	85,53
3	27	1	1	2,23	1.7.1	39,34	24,67	85,42
30	28	1	1	2,6	1.5.1	40,22	25,56	86,06
18	29	1	1	2,6	1.5.1	40,6	25,84	86,04
31	30	1	1	2,23	1.7.1	39,37	24,76	85,48
4	31	1	1	2,6	1.7.1	37,44	23,22	85,62
38	32	1	1	2,6	1.5.1	41,04	26,25	86,81
34	33	1	1	2,6	1.5.1	41,32	26,69	87,26
8	34	1	1	2,6	1.7.1	37,14	22,87	85,28
12	35	1	1	2,6	1.7.1	37,97	23,44	86,05
11	36	1	1	2,23	1.7.1	40,1	25,24	85,82
13	37	1	1	2,23	1.5.1	36,18	22,56	85,35
17	38	1	1	2,23	1.5.1	35,87	22,45	85,16
29	39	1	1	2,23	1.5.1	35,78	22,24	84,61
37	40	1	1	2,23	1.5.1	36,84	22,83	85,41

A análise de variância foi realizada com o objetivo de verificar a significância dos fatores de controle e da interação, para análise dos resultados, foi utilizado um intervalo de confiança de 95% ($p=0,05$).

Tabela 4.15 Resumo da tabela ANOVA para análise da significância dos fatores de controle e da interação da contração do encrespamento (E%).

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrados Médios	Fexp	Valor p
D/Y	12,22130	1	12,22130	4,31196	0,045043
Disco	5,019720	1	5,019720	1,77107	0,191617
Int. AxB	81,82460	1	81,82460	28,86961	0,000005
Erro	2,834282	36	0,078700		
Total	101,8999	39			

Analisando a Tabela 4.15, pode-se dizer que há uma evidência muito forte de que H_0 seja falsa, pois o valor de p da variação D/Y é menor que 0,05, o valor de p do número de discos do agregado de texturização é maior que 0,05 e o valor de p da interação dos dois fatores é menor que 0,05. Desta forma, pode-se afirmar que o número de discos não influenciará na contração do encrespamento. Entretanto, a variação D/Y e a interação são estatisticamente significantes na determinação desta característica do fio.

Como a interação é significativa, devem ser estudados os efeitos da variação D/Y em cada configuração do disco. Com o objetivo de testar os contrastes entre duas médias foi utilizado o Teste de Tukey.

Tabela 4.16 Teste de Tukey para detectar diferenças entre os tratamentos

Fator A	Fator B		Interação AxB			
		Mediana	22,78100	24,42300	25,48900	23,09200
		Tratamentos	{1}	{2}	{3}	{4}
- 1	- 1	{1}		0,000159	0,000159	0,460898
- 1	+ 1	{2}	0,000159		0,000222	0,000160
+ 1	- 1	{3}	0,000159	0,000222		0,000159
+ 1	+ 1	{4}	0,460898	0,000160	0,000159	

Analisando a Tabela 4.16 pode-se concluir, dentro de um intervalo de confiança de 95% ($p=0,05$) que o tratamento {1} é igual ao {4} e o tratamento {2} é igual ao {3}, ou seja, os valores médios de contração do encrespamento não dependem da combinação de níveis dos fatores de controle. As demais combinações: {1} e {3}, {1} e {2}, {3} e {4} e {2} e {3}, possuem médias estatisticamente diferentes, ou seja, os valores médios de contração do

encrespamento dependem da combinação de níveis dos fatores de controle. Assim, pode-se concluir que para obter um fio com valores médios de contração do encrespamento mais altos deve-se utilizar a regulagem {2}, $D/Y = 2,23$ e configuração dos discos = 1.7.1, ou a {3}, $D/Y = 2,60$ e configuração dos discos = 1.5.1, e para fabricar um fio com valores médios de contração de encrespamento mais baixos deve-se utilizar a regulagem {1}, $D/Y = 2,23$ e configuração dos discos = 1.5.1, ou a {4}, $D/Y = 2,60$ e configuração dos discos = 1.7.1.

O gráfico da Figura 4.1 mostra a representação gráfica da influência exercida por D/Y, discos e D/Y x discos em E%:

Figura 4.1 Gráfico de Pareto para E%

O gráfico da Figura 4.1 já apresenta o grau de influência de cada fator em E%, sendo significantes os fatores que ultrapassam a linha de confiança alfa 0,05 e quanto maior a barra maior a influencia do fator em E%.

O gráfico da Figura 4.2 demonstra que existe interação entre D/Y e o número de discos, pois as retas se cruzam.

Figura 4.2 Interação entre D/Y e o número de discos para E%.

Podemos observar também que para a disposição 1.5.1 do conjunto de discos há uma maior influência em E% do que para 1.7.1, sendo que para o D/Y de 2,60 o de maior influência.

Figura 4.3 Principais efeitos de D/Y para E%.

Segundo o gráfico da Figura 4.3 notamos que o valor de D/Y de 2,60 tem maior influência em E% do que o D/Y de 2,23 e baseado em $P \geq 0,05$ o número de discos não exerceu influência significativa em E%.

Tabela 4.17 Resumo da tabela ANOVA para análise da significância dos fatores de controle e da interação do módulo do encrespamento (K%).

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrados Médios	Fexp	Valor p
D/Y	4,74032	1	4,74032	21,4173	0,000047
Disco	1,42506	1	1,42506	6,4386	0,015641
Int. AxB	40,78380	1	40,78380	184,2653	0,00000
Erro	0,221332	36	0,00610		
Total	47,17050	39			

Analisando a Tabela 4.17, pode-se dizer que há uma evidência muito forte de que H_0 seja falsa, pois os valores de p da variação D/Y, do número de disco do agregado de texturização e da interação são menores que 0,05. Desta forma, pode-se afirmar que a variação D/Y, o número de discos a interação são estatisticamente significantes na determinação desta característica do fio. Como a interação é significativa, devem ser estudados os efeitos da variação D/Y em cada configuração do disco.

Tabela 4.18 Teste de Tukey para detectar diferenças entre os tratamentos

Fator A	Fator B		Interação AxB			
		Mediana	36,80300	38,95500	40,76900	37,20000
		Tratamentos	{1}	{2}	{3}	{4}
- 1	- 1	{1}		0,034063	0,000194	0,951982
- 1	+ 1	{2}	0,034063		0,93438	0,109899
+ 1	- 1	{3}	0,000194	0,093438		0,000331
+ 1	+ 1	{4}	0,951982	0,109899	0,000331	

Analisando a tabela 20, pode-se concluir, dentro de um intervalo de confiança de 95% ($p=0,05$) que o tratamento {1} é igual ao {2}, o tratamento {1} é igual ao {4}, o tratamento {2} é igual ao {4} e o tratamento {3} é igual ao {2}, ou seja, os valores médios do módulo do encrespamento não dependem da combinação de níveis dos fatores de controle. As demais combinações: {1} e {3} e {3} e {4}, possuem médias estatisticamente diferentes, ou seja, os valores médios do módulo

do encrespamento dependem da combinação de níveis dos fatores de controle. Assim, pode-se concluir que para obter um fio com valores médios do módulo do encrespamento mais altos deve-se utilizar a regulagem {3}, $D/Y = 2,60$ e configuração dos discos = 1.5.1, e para fabricar um fio com valores médios de módulo do encrespamento mais baixos deve-se utilizar a regulagem {1}, $D/Y = 2,23$ e configuração dos discos = 1.5.1, ou a {4}, $D/Y = 2,60$ e configuração dos discos = 1.7.1.

Figura 4.4 Influência dos fatores e sua interação com K%.

O gráfico da Figura 4.4 mostra a influência dos fatores e sua interação com K%, bem como classifica a interação D/Y x Disco como a de maior influência.

Temos abaixo representada pelo gráfico da Figura 4.5 que há interação entre os fatores D/Y e número de Discos e que para a disposição 1.5.1 do agregado de discos o efeito D/Y teve maior influência em K%, sendo D/Y de 2,60 o de maior influência.

Figura 4.5 Interação entre os fatores D/Y e número de Discos para K%.

De acordo com o gráfico da Figura 4.6 é possível notar que quanto maior o D/Y mais influente ele é em K% e quanto menor o número de discos, para 1.5.1 e 1.7.1 menor a influência em K%.

Figura 4.6 Principais efeitos de D/Y para K%.

Tabela 4.19 Resumo da tabela ANOVA para análise da significância dos fatores de controle e da interação da estabilidade do encrespamento (B%).

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrados Médios	Fexp	Valor p
D/Y	6,552903	1	6,552903	18,02648	0,000146
Disco	0,426423	1	0,426423	1,173050	0,285976
Int. AxB	0,142803	1	0,142803	0,392840	0,534766
Erro	0,363515	36	0,010100		
Total	7,485644	39			

Analisando a Tabela 4.19, pode-se dizer que há uma evidência muito forte de que H_0 seja falsa, pois o valor de p da variação D/Y é menor que 0,05, os valores de p do número de discos do agregado de texturização e da interação são maiores que 0,05. Desta forma, pode-se afirmar que a número de discos e a interação não influenciarão na estabilidade do encrespamento. Entretanto, a variação D/Y é estatisticamente significativa na determinação desta característica do fio.

De acordo com a análise fatorial, somente temos $P < 0,05$, ou seja, significância em B% para D/Y.

O gráfico da Figura 4.7 ilustra P e suas significâncias:

Figura 4.7 Gráfico de Pareto dos efeitos sobre B%

Para B% não há interação entre D/Y e Discos, conforme ilustra o gráfico da Figura 4.8.

Figura 4.8 Interação D/Y para B%.

Para o único efeito significativo em B%, D/Y com $P < 0,05$ temos que quanto maior o D/Y maior a influência em B% conforme gráfico da Figura 4.9.

Figura 4.9 Principais efeitos de D/Y para B%.

5 CONCLUSÃO

Segundo Hearle (2001, p. 119) quando $T_2/T_1 < 1,0$, causado por um D/Y alto, os discos de fricção estão girando muito rápido, se considerarmos o conjunto de discos não só um dispositivo para transmissão de torção, mas também um transportador de fios significa que o fio está sendo empurrado através dos discos. Por sua vez, isto significa que o agregado está tentando armazenar fio ao invés de transferir torção ou transportá-lo. Caso $T_2/T_1 < 0,8$ podem ocorrer problemas como picos de grandes comprimentos de fio altamente trançados e/ou pontos finos sem textura de comprimento muito pequeno.

Quanto maior a tensão no processo maior a pressão sobre os discos e melhor a transmissão de movimento entre discos e o fio.

O ângulo limite de torção é de $70,5^\circ$ (HEARLE, 2001, p. 65).

Observando em E%, fixando o numero de discos em 1.7.1 e variando D/Y , 2,23 e 2,60, os valores são diferentes, porém essas diferenças são tão pequenas que do ponto de vista pratico são inexpressivas. Isto muito provavelmente tenha ocorrido por estarmos com D/Y muito próximos ao do limite de saturação da torção do fio em teste. Colaboram com esta afirmação as tensões T_1 e T_2 , 61,0 e 55,8 para T_1 e 29,7 e 30,2 para T_2 , pouco variarem mantendo T_2/T_1 em 0,5 para alterarem E%.

Fixando o numero de discos em 1.5.1 e variando D/Y , 2,23 e 2,60, observamos uma diferença maior em E%, porém do ponto de vista práctico não são relevantes. Essa mudança maior em E% pode ser observada em T_2/T_1 igual a 0,8 para numero de discos 1.5.1 e D/Y 2,60 e T_2/T_1 igual a 0,9 para número de discos em 1.5.1 e D/Y de 2.23. Neste caso, novamente é possível constatar que estávamos muito próximos do limite de saturação de torção para este fio.

Fixando D/Y em 2,60 e variando o número de discos, 1.5.1 e 1.7.1 observa-se uma mudança significativa de T_2 , porém o efeito práctico em E% é muito pequeno. Isto pode ser também observado se fixarmos D/Y em 2,23 e variarmos o numero de discos, 1.5.1 e 1.7.1. Nos dois casos a tensão T_2 aumenta com o menor numero de discos, 1.5.1, o que sugere uma melhor eficiência de transmissão de movimento e/ou que para o conjunto de 1.5.1 o fio já se encontrava muito próximo do limite de saturação de torção e um aumento do numero de discos para 1.7.1 não surtiu o efeito esperado, já que neste ponto provavelmente alcançamos a saturação de torção para este fio.

Para fins práticos em E% podemos afirmar que os fios analisados podem ser considerados iguais, ou seja, em nada alterariam as propriedades ligadas ao comportamento do fio nos materiais têxteis tais como toque, alongamento, elasticidade, isolamento térmica entre outras, mesmo os fios tendo sido submetidos a diferentes relações D/Y combinada com a troca do número de discos do agregado de texturização.

Esses fatos sugerem que o fio em estudo esteve muito próximo do limite de saturação de torção já que o mesmo não absorveu as mudanças propostas neste trabalho, isso em relação ao E%.

Pode-se afirmar que com nível de confiança de 5% que o módulo de encrespamento K% é influenciado pelo número de discos.

A estabilidade do encrespamento B% com nível de confiança de 5% não foi influenciada pelo fator número de discos, entretanto foi influenciada pelo fator relação D/Y.

Estudos adicionais com uma melhor escolha dos valores dos fatores devem ser realizados para comprovar a influência do número de discos do agregado nas propriedades dos fios texturizados.

6 REFERÊNCIAS

ABRAFAS. Estatísticas, [24/05/2012]. Disponível em:
<http://www.abrafas.org.br/estatisticas/index.html>.

ABRAFAS. Fibras, [24/05/2012]. Disponível em:
http://www.abrafas.org.br/fibras/rota_sintetica.html.

BALESTRACCI, D. *Quality improvement: "data sanity": statistical thinking applied to everyday data*. [s.l.]: 2nd Edition, 2007.

BOX, G.E.P.; HUNTER, W.G.; HUNTER, J.S. *Statistics for experimenters*. New York: John Wiley, 1978.

CALEGARE, A. J.A. *Introdução ao delineamento de experimentos*. São Paulo: Edgar Blucher, 2001.

CANOGLU, S. Effect of first heater temperature variation on the polyester yarn properties of false-twist texturing techniques. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. V. 17, n. 5, 2009.

COLEMAN, D. E.; MONTEGOMERY, D. C. A systematic approach to planning for a designed industrial experiment. *Technometrics*, v. 35, n. 1, 1993.

DAVENPORT, T. H. *Reengenharia de processos: como inovar na empresa através da tecnologia da informação*. Rio de Janeiro: Campus, 1993.

DEMIR, A.; BEHERY, H. M. *Synthetic filament yarn*. Nova Jersey: Prentice-Hall Inc., 1997.

DEOPURA, B. L. *et al.* Polyester and polyamides. In: KRISHNAN, P. Santhana; KULKARNI, S. T. *Polyester resins*. Cambridge: Woodhead Publishing Textiles, 2008.

_____. In: LIN, C. A. *Manufacture of polyester fibers*. Cambridge: Woodhead Publishing Textiles, 2008.

_____. In: KAMATH, M. G., BHAT, G. S. *Specialty fibers from polyester and polyamides*. Cambridge: Woodhead Publishing Textiles, 2008

DEVOR, R. E. *et al. Statistical quality design and control – contemporary concepts and methods*. New Jersey: Prentice Hall (Inc.), 1992.

DIN 53840. Testing of textiles: determination of parameters of curling of texture filaments yarns up to a linear density of 500 dtex. Alemanha, 1983.

FARIA, A. L. *Aplicação da metodologia Taguchi no estudo de um processo de pintura numa fábrica de caminhões*. 1992. Trabalho de Formatura – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1992.

FASHOLA, K. O.; ONEMANO, G. O. Studies on the physicommechanical properties of some locally manufactured polyester textured yarns. *Man-made Textiles in India*, December 2011.

FOURNÉ, Franz. *Synthetic fibers: machines and equipment, manufacture, properties*. Munich: Hanser, 1998.

GALDÁMEZ, E. V. C. *Aplicação das técnicas de planejamento e análise de experimentos na melhoria da qualidade de um processo de fabricação de produtos plásticos*. 2002. 133 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.

GUDIYAWAR, M. Y.; SINGH, Navdeep; BHURE, Ashwin; BHOJANE, A. A.; KAMBLE, S. B. Effect of take-up overfeed of draw texturing machine on shrinkage and crimp characteristics of textured yarns. *Man-made Textiles in India*, February 2007.

HEARLE, J. W. S.; HOLLICK, L.; WILSON, D. K. *Yarn Texturing Technology*. Inglaterra: CRC Press, 2001.

LEVINE, D.M. *et al. Estatística: teoria e aplicações*. Traduzido por Tereza Cristina Padilha de Souza e Sérgio da Costa Cortes. Rio de Janeiro: LTC, 1998.

LORD, Peter R. *Handbook of yarn production: technology, science and economics*. Cambridge: Woodhead Publishing Textiles, 2003.

McINTYRE, J. E. Synthetic fibers: nylon, polyester, acrylic, polyolefin. *In: EAST, A. J. Polyester fibres*. Cambridge: Woodhead Publishing Textiles, 2005.

MONTGOMERY, D. C. *Introduction to statistical quality control*. 3rd. ed. New York: Wile, 1997.

MONTGOMERY, C. D.; RUNGER, G. C. *Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros*. 2. ed. São Paulo: LTC, 2003.

RODGERS, J. E.; GOSH, Subhas. *Dynamic bulk measuring system of textured nylon and polyester filaments*. Artigo online. 2012.

ROSS, Philip J. *Aplicações das técnicas de Taguchi na engenharia da qualidade*. Rio de Janeiro: Makron Books, 1991.

ROTONDARO, R. G. Seis Sigma: estratégia gerencial para a melhoria de processos, produtos e serviços. São Paulo: Ed. Atlas, 2002.

SAYURI, Tahara. Planejamento de experimentos (DOE). Artigo publicado em: 17 dez. 2008. Atualizado em: 21 out. 2010. Disponível em: <<http://www.portaldeconhecimentos.org.br/index.php/por/content/view/full/9417>>. Acesso em: 07 jun. 2012.

STEIN, W. *Comparative study of testing methods for textured continuous filaments yarns*. Artigo online. 2012.

VIEIRA, S. R. B. *Um sistema de gerenciamento da qualidade para fábricas montadoras com ênfase no método Tagushi*. Dissertação de Mestrado. UFSC, 121p. Florianópolis, 1996.

YILDIRIM, Kenan; ALTUN, Sule; ULCAY, Yusuf. Relationship between properties and process parameters in false twist texturing yarn. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics* 32, v. 4, Issue 2, 2009. Disponível em: <<http://www.jeffjournal.org>>.