

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE A REDAÇÃO FINAL DA
TESE DEFENDIDA POR REGINA APARECIDA
SANCHES E APROVADA
PELA COMISSÃO JULGADORA EM 23/07/2006
ORIENTADOR
FRANCESCO GIUSEPPE DEDINI
FAC-HE, C0063-3
LUAZIL - LUIZ CARLOS

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Procedimento para o Desenvolvimento de Tecidos de Malha a partir de Planejamento de Experimentos

Autor: **Regina Aparecida Sanches**

Orientador: **Franco Giuseppe Dedini**

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
MECÂNICA

Procedimento para o Desenvolvimento de Tecidos de Malha a partir de Planejamento de Experimentos

Autora: **Regina Aparecida Sanches**
Orientador: **Franco Giuseppe Dedini**

Curso: Engenharia Mecânica
Área de Concentração: Projeto Mecânico

Tese de doutorado apresentada à comissão de Pós Graduação da Faculdade de Engenharia Mecânica, como requisito para a obtenção do título de Doutor em Engenharia

Campinas, 2006
S.P. – Brasil

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

Sa55p Sanches, Regina Aparecida
Procedimento para o desenvolvimento de tecidos de malha a partir de planejamento de experimentos / Regina Aparecida Sanches. – Campinas, SP: [s.n.], 2006.

Orientador: Franco Giuseppe Dedini.
Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica.

1. Malhas. 2. Vestuário. 3. Planejamento experimental.
I. Dedini, Franco Giuseppe. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Mecânica. III. Título.

Titulo em Inglês: Proceeding to develop knitted fabrics with design of experiments.

Palavras-chave em Inglês: Knitted fabrics, Textile fabrics, Design of experiments.

Área de concentração: Mecânica dos Sólidos e Projeto Mecânico.

Titulação: Doutor em Engenharia Mecânica.

Banca examinadora: Acires Dias, Paulo Carlos Kaminski, Milton Dias Júnior e Robson Pederiva.

Data da defesa: 31/07/2006

Programa de Pós-Graduação: Engenharia Mecânica.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
DEPARTAMENTO DE PROJETO MECÂNICO
TESE DE DOUTORADO

**Procedimento para o Desenvolvimento de Tecidos
de Malha a partir do Planejamento de
Experimentos**

Autora: Regina Aparecida Sanches

Orientador: Franco Giuseppe Dedini

A Banca Examinadora composta pelos membros abaixo aprovou esta Tese:



Prof. Dr. Franco Giuseppe Dedini
Instituição: UNICAMP/FEM



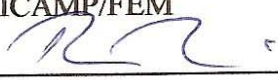
Prof. Dr. Acirés Dias
Instituição: UFSC/EMC



Prof. Dr. Paulo Carlos Kaminski
Instituição: USP/EP



Prof. Dr. Milton Dias Júnior
Instituição: UNICAMP/FEM



Prof. Dr. Robson Pederiva
Instituição: UNICAMP/FEM

Campinas, 31 de julho de 2006

Dedicatória:

Dedico este trabalho à minha família.

Agradecimentos

Este trabalho não seria possível sem a ajuda das pessoas e instituições às quais presto minha homenagem:

A minha mãe e meu irmão pelo incentivo em todos os momentos da minha vida.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Franco Giuseppe Dedini pela sugestão do tema, pela orientação, e pelo apoio durante o desenvolvimento deste trabalho. Aos professores Dr Sergio Tonini Button e Dra Katia L. Cavalca Dedini pelas considerações feitas no exame de qualificação deste trabalho.

À Fundação Educacional Inaciana Pe Sabóia de Medeiros S.J., à Reitoria do Centro Universitário da FEI e à Coordenação dos Laboratórios de Mecânica que viabilizaram a realização da parte experimental deste trabalho.

Aos professores Toshiko Watanabe, Paulo Alfieri, Pedro Luiz Rodrigues da Silva, Rubens Nicolini, Alexandre Massote e Wilson Hilsdorf cujas sugestões tanto auxiliaram no desenvolvimento da Tese.

Ao Sr. Arthur Radzavicius e Sra Tereza Quaresma Neres pela colaboração na produção dos tecidos de malha e na realização dos ensaios. Neste último item, contou-se, também, com a colaboração dos alunos Gustavo Vanucci Savignano e Priscila Malta.

À Profa Vilma Ferreira Sanches e Sra Gabrielle Renée Treumann, pelo auxílio na correção do trabalho.

À Profa Maria Aparecida Cisneiros Santos, pela sua colaboração para o desenvolvimento deste trabalho e pelo apoio e incentivo nas horas mais difíceis.

Resumo

SANCHES, Regina Aparecida, Procedimento para o Desenvolvimento de Tecidos de Malha a partir de Planejamento de Experimentos, Campinas,: Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2006. 230 p. Tese (Doutorado)

As características que determinam a qualidade de um produto de vestuário começam com a seleção das matérias primas, fibras, fios e tecidos, passando pelas fases de criação, desenvolvimento, confecção e acabamento. O objetivo deste trabalho é propor um procedimento para a seleção de matéria prima que será utilizada na fabricação de artigos para vestuário. Foram escolhidos fios de algodão, visando à produção de artigos confortáveis e fios de poliamida e de poliéster texturados ao ar, que possibilitam a produção de artigos com aspecto e toque de fibra natural. Para cada matéria prima, foi montado um planejamento fatorial 2^2 , com o objetivo de identificar os fatores de controle da máquina circular que irão influenciar nas características das malhas. Utilizando a programação linear foi feita a otimização dos parâmetros de controle da máquina e produzidos tecidos de malha com mesmas características. A seleção da matéria prima ideal para a produção dos artigos foi feita utilizando o AHP – Método de Análise Hierárquica.

Palavras Chave

Malhas, Artigos de vestuário, Planejamento de experimentos

Abstract

SANCHES, Regina Aparecida, Proceeding to Develop Knitted Fabrics with Design of Experiments, Campinas,: Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2006. 230 p. Tese (Doutorado)

The characteristics which determine the quality of a clothing product begin with the choice of raw materials, fibers, yarns and fabrics passing through the creation, development, apparel industry and finishing. The purpose of this work is to propose a proceeding for helping the development of textile products. Cotton yarns were chosen aiming at the production of comfortable goods and polyamide and polyester air textured yarns, which enable the production of goods with natural fiber look and hand. For each raw material, it was provided a 2^2 factorial design, aiming at identifying the control factors of the circular machine which influence the knitted fabrics. Using the linear programming, the optimization of the machine control parameters was done and knitted fabrics, with the same characteristics, were produced. The choice of the ideal raw material for the production of the goods has been done using the AHP – Analytic Hierarchy Process.

Key Words

Knitted fabrics, Textile fabrics, Design of experiments

Índice

Lista de Figuras	xv
Lista de Tabelas.....	xx
Nomenclatura	xxiv
Definições.....	xxviii
 1. INTRODUÇÃO	 1
1.1 Objetivo do trabalho	2
1.2 Justificativa do trabalho.....	2
1.3 Fios Têxteis	3
1.3.1 Fios produzidos a partir de fibras ou fios fiados	3
1.3.2 Fios produzidos a partir de filamentos contínuos.....	3
1.4 O Algodão	4
1.5 A Poliamida	5
1.6 O Poliéster	5
1.7 Tecelagem.....	6
1.8 Malharia.....	7
1.9 Organização do trabalho.....	8
 2. REVISÃO DA LITERATURA	 9

2.1	A cadeia têxtil.....	10
2.2	Fibras têxteis.....	12
2.2.1	Fibras naturais.....	12
2.2.2	Fibras químicas.....	13
2.3	Fiação	14
2.4	Malharia.....	15
2.5	Beneficiamento têxtil.....	16
2.6	Confeção	17
2.7	Conforto e vestuário	18
2.8	Características relacionadas aos artigos de vestuário	20
2.8.1	Propriedades físico-mecânicas	21
2.8.2	Propriedades de transferência de calor	21
2.8.3	Propriedades de transferência de umidade	25
2.8.4	Tecido – Vestuário – Microclima.....	25
2.9	Produto	27
2.10	Desenvolvimento de produto.....	29
2.10.1	Desenvolvimento do produto de vestuário	30
2.11	Qualidade do produto	32
2.12	Considerações finais.....	36
3.	MATERIAIS E MÉTODOS.....	37
3.1	Materiais	37
3.1.1	Algodão	37
3.1.2	Poliamida.....	39
3.1.3	Poliéster	40

3.1.4	Texturização a ar	42
3.1.5	Tecido de Malha	43
3.1.6	Características dos tecidos de malha de trama	46
3.2	Métodos	49
3.2.1	Desenvolvimento de produtos em malharia	49
3.2.2	Procedimento proposto	49
3.3	Considerações finais	51
4.	MÁQUINA CIRCULAR	52
4.1	Histórico	52
4.2	Principais órgãos da máquina circular	57
4.2.1	Gaiola de alimentação	58
4.2.2	Sistema de alimentação	59
4.2.3	Sistema de alimentação positiva	60
4.2.4	Guia-fios	61
4.2.5	Blocos	61
4.2.6	Agulhas	62
4.2.7	Platina	63
4.2.8	Sistema de puxamento das malhas	63
4.3	A Malha	64
4.3.1	Malha Unitária	64
4.3.2	Possibilidades de Tricotagem	65
4.3.3	Formação da Malha	65
4.3	Sistema de Alimentação Negativa	68
4.3.1	Tensores	72
4.4	Sistema de Alimentação Positiva	73

4.5	Finura (Jauge).....	73
4.6	Considerações finais.....	74
5.	CONCEITOS BÁSICOS DE PLANEJAMENTO DE EXPERIMENTOS.....	75
5.1	Condicionamento estatístico dos valores experimentais	76
5.2	Planejamento Fatorial.....	77
5.2.1	Planejamento fatorial 2k.....	78
5.3	Cálculo dos efeitos principais e das interações	81
5.3.1	Efeito dos fatores principais	81
5.3.2	Efeito das interações.....	82
5.4	Análise de variância (ANOVA)	83
5.4.1	Cálculo das somas dos quadrados	84
5.4.2	Cálculo dos quadrados médios	85
5.4.3	Cálculo da razão F	85
5.4.4	Grau de liberdade.....	85
5.4.5	Cálculo do nível de significância.....	86
5.5	Intervalo de confiança	87
5.6	Erro experimental	88
5.7	Gráfico de probabilidade normal.....	88
5.8	Etapas que devem ser cumpridas para utilizar a metodologia de planejamento de experimentos	90
5.8.1	Reconhecimento e definição do problema.....	90
5.8.2	Escolha dos Fatores e Níveis	90
5.8.3	Escolha da Variável de Resposta.....	91
5.8.4	Escolha do Planejamento Experimental	91

5.8.5	Execução dos experimentos.....	92
5.8.6	Análise dos resultados	92
5.8.7	Conclusões e recomendações	93
5.9	Considerações finais.....	93
6.	ESTUDO EXPERIMENTAL	94
6.1	Planejamento de experimentos.....	94
6.1.1	Reconhecimento e definição do problema.....	94
6.1.2	Escolha dos fatores e níveis.....	95
6.1.3	Escolha da variável resposta.....	97
6.1.4	Escolha do planejamento experimental	98
6.1.5	Execução dos experimentos.....	98
6.1.6	Análise dos resultados	98
6.1.7	Conclusões e recomendações	99
6.2	Considerações finais.....	100
7.	ANÁLISE DA SUPERFÍCIE RESPOSTA	101
7.1	Construção de modelos.....	102
7.2	A estimativa dos parâmetros	104
7.3	Modelo ajustado	105
7.3.1	Tecidos de malha 100% algodão	105
7.3.2	Tecidos de malha 100% poliéster.....	106
7.3.3	Tecidos de malha 100% poliamida.....	106
7.4	Adição de pontos centrais.....	106
7.5	Estimativa da curvatura da superfície.....	107

7.5.1	Verificação da curvatura na região central	108
7.5.2	Análise dos resultados	110
7.6	Resíduo	110
7.7	Gráfico Probabilístico de Resíduo	110
7.7.1	Análise dos Resultados	117
7.8	Superfície Resposta	117
7.9	Análise dos resultados	123
7.10	Considerações finais	123
8.	TOMADA DE DECISÃO	124
8.1	Introdução	124
8.2	Método AHP (Analytic Hierarchy Process)	125
8.3	Etapas para a aplicação do método	129
8.4	Aplicação do método AHP para seleção de matéria prima que será utilizada na fabricação de artigos para vestuário	130
8.4.1	Estruturação da hierarquia	130
8.4.2	Determinação dos julgamentos comparativos para cada nível	131
8.4.3	Quadro de comparações	132
8.4.4	Resultados obtidos	133
8.4.5	Consistência dos julgamentos	133
9.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES DE TRABALHOS FUTUROS	134
9.1	Conclusões	134
9.2	Recomendações de Trabalhos Futuros	136
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	137

APÊNDICE A	145
A.1 Tecido de malha 100% algodão	145
A.2 Tecido de malha 100% poliéster	148
A.3 Tecido de malha 100% poliamida	151
APÊNDICE B	155
B.1 Procedimento de Chauvenet.....	155
B.1.1 Valores de gramatura (g/m ²) para malhas 100% algodão.....	155
B.1.2 Número de carreira por centímetro para as malhas 100% algodão	156
B.1.3 Número de colunas por centímetro para as malhas 100% algodão	157
B.1.4 LFA para as malhas 100% algodão	159
B.1.5 Valores de gramatura (g/m ²) para as malhas 100% poliéster	160
B.1.6 Número de carreira por centímetro para as malhas 100% poliéster	161
B.1.7 Número de colunas por centímetro para as malhas 100% poliéster	162
B.1.8 LFA para as malhas 100% poliéster	163
B.1.9 Valores de gramatura (g/m ²) para as malhas 100% poliamida	164
B.1.10 Número de carreira por centímetro para as malhas 100% poliamida.....	165
B.1.11 Número de colunas por centímetro para as malhas 100% poliamida.....	167
B.1.12 LFA para as malhas 100% poliamida.....	168
B.2 Fatores de controle e de interação	169
B.3 Análise da variância	182
APÊNDICE C	189

Lista de Figuras

1.1	Fio multifilamento sem torção.....	4
1.2	Fibras de poliéster.....	6
1.3	Amostras de tecidos de linho encontrada na caverna de Nahal Hemar.....	7
2.1	Sistema térmico: homem – vestuário – meio ambiente.....	22
2.2	Representação esquemática do isolamento térmico provocado pelo vestuário.....	23
2.3	Representação dos principais mecanismos de transferência de calor pelo tecido.....	23
2.4	Representação da transmissão de umidade pelo sistema pele – microclima – tecido.....	26
3.1	Fluxo de obtenção da fibra.....	38
3.2	Fluxo de obtenção da fibra.....	40
3.3	Fluxo de obtenção da fibra.....	41
3.4	Processo de texturização.....	42
3.5	Fio texturizado a ar.....	43
3.5	Tecido Plano.....	43
3.6	Tecido de malha (trama).....	44
3.7	Malharia de trama.....	44
3.8	Malharia de urdume.....	45
3.9	Formação da malha de trama.....	46
3.10	Formação da malha de urdume.....	46
3.11	Malha normal.....	47

3.12	Malha tensionada no sentido transversal	47
3.13	Malha tensionada no sentido longitudinal	47
3.14	Máquina circular de pequeno diâmetro	51
4.1	Tricô feito à mão usando agulhas flexíveis.	52
4.2	Tear manual do Reverendo Lee.	53
4.3	Tear circular com agulhas fixas.	54
4.4	Agulha de lingueta	54
4.5	Máquina manual circular	55
4.6	Representação da formação da malha com agulhas de cabeça dupla	56
4.7	Máquina circular	58
4.8	Representação esquemática das máquinas circulares com gaiolas laterais (a) e com gaiolas circulares (b)	59
4.9	Representação esquemática do sistema de alimentação da máquina circular	60
4.10	Principais órgãos de um alimentador positivo	60
4.11	Representação do guia-fio responsável pela alimentação das agulhas	61
4.12	Representação em corte do bloco de tecimento	62
4.13	Agulha de lingueta	62
4.14	Representação do contorno de uma platina	63
4.15	Representação do sistema de puxamento	63
4.16	Laçada (a), cabeça (b), pernas (c) e pés (d)	64
4.17	Pontos de entrelaçamento das malhas	64
4.18	Representação de (a) malha, (b) fang e (c) de não trabalha	65
4.19	Representação esquemática da formação das malhas em 5 sistemas de uma máquina circular	66
4.20	Ângulo de inclinação: (a) Malha tubular e (b) malha aberta	66

4.21	Processo de formação das malhas.....	67
4.22	A linha horizontal é chamada de carreira e a vertical de coluna.	68
4.23	Representação esquemática da variação de tensão	68
4.24	Representação esquemática do percurso do fio na região de formação da malha.....	69
4.25	Gráfico de evolução das tensões.....	70
4.26	Esquema ilustrativo do fenômeno roubo de malha.....	71
4.27	Gráfico da variação de tensão	71
4.28	Tensores de mola	72
5.1	Representação gráfica de um efeito principal.....	82
5.2	Representação gráfica de efeitos de fatores sem interação (a) e com interação (b) em experimento fictício (Adaptada de Montgomery, 1997).	83
5.3	Representação gráfica da distribuição F de Snedecor para testar a hipótese H_0	87
5.4	Gráfico normal dos efeitos para um exemplo fictício.....	89
7.1	Gráfico probabilístico dos resíduos para a gramatura do tecido 100% algodão.....	111
7.2	Gráfico probabilístico dos resíduos para o número de carreiras por centímetro do tecido 100% algodão.....	111
7.3	Gráfico probabilístico dos resíduos para o número de colunas por centímetro do tecido 100% algodão	112
7.4	Gráfico probabilístico dos resíduos para o LFA do tecido 100% algodão	112
7.5	Gráfico probabilístico dos resíduos para a gramatura do tecido 100% poliéster.....	113
7.6	Gráfico probabilístico dos resíduos para o número de carreiras por centímetro do tecido 100% poliéster.....	113
7.7	Gráfico probabilístico dos resíduos para o número de colunas por centímetro do tecido 100% poliéster	114
7.8	Gráfico probabilístico dos resíduos para o LFA do tecido 100% poliéster	114

7.9	Gráfico probabilístico dos resíduos para a gramatura do tecido 100% poliamida	115
7.10	Gráfico probabilístico dos resíduos para o número de carreiras por centímetro do tecido 100% poliamida	115
7.11	Gráfico probabilístico dos resíduos para o número de colunas por centímetro do tecido 100% poliamida	116
7.12	Gráfico probabilístico dos resíduos para o LFA do tecido 100% poliamida.....	116
7.13	Representação gráfica da superfície resposta em três dimensões da gramatura do tecido 100% algodão.....	117
7.14	Representação gráfica da superfície resposta em três dimensões do número de carreiras por centímetro do tecido 100% algodão	118
7.15	Representação gráfica da superfície resposta em três dimensões do número de colunas por centímetro do tecido 100% algodão	118
7.16	Representação gráfica da superfície resposta em três dimensões do LFA do tecido cru .	119
7.17	Representação gráfica da superfície resposta em três dimensões da gramatura do tecido 100% poliéster.....	119
7.18	Representação gráfica da superfície resposta em três dimensões do número de carreiras por centímetro do tecido 100% poliéster	120
7.19	Representação gráfica da superfície resposta em três dimensões do número de colunas por centímetro do tecido 100% poliéster	120
7.20	Representação gráfica da superfície resposta em três dimensões do LFA do tecido 100% poliéster	121
7.21	Representação gráfica da superfície resposta em três dimensões da gramatura do tecido 100% poliamida	121
7.22	Representação gráfica da superfície resposta em três dimensões do número de carreiras por centímetro do tecido 100% poliamida	122
7.23	Representação gráfica da superfície resposta em três dimensões do número de colunas por centímetro do tecido 100% poliamida.....	122

7.24	Representação gráfica da superfície resposta em três dimensões do LFA do tecido 100% poliamida	123
8.1	Representação gráfica da árvore de decisão hierárquica	130
8.2	Árvore de decisão hierárquica	131
b.1	Gráfico de probabilidade normal para a gramatura do tecido 100% algodão	170
b.2	Gráfico de probabilidade normal para o número de carreiras por centímetro do tecido 100% algodão	171
b.3	Gráfico de probabilidade normal para o número de colunas por centímetro do tecido 100% algodão	172
b.4	Gráfico de probabilidade normal para os valores de LFA do tecido 100% algodão	173
b.5	Gráfico de probabilidade normal para a gramatura do tecido 100% poliéster	174
b.6	Gráfico de probabilidade normal para o número de carreiras por centímetro do tecido 100% poliéster	175
b.7	Gráfico de probabilidade normal para o número de colunas por centímetro do tecido 100% poliéster	176
b.8	Gráfico de probabilidade normal para os valores de LFA do tecido 100% poliéster	177
b.9	Gráfico de probabilidade normal para a gramatura do tecido 100% poliamida	178
b.10	Gráfico de probabilidade normal para o número de carreiras por centímetro do tecido 100% poliamida	179
b.11	Gráfico de probabilidade normal para o número de colunas por centímetro do tecido 100% poliamida	180
b.12	Gráfico de probabilidade normal para os valores de LFA do tecido 100% poliamida.....	181

Lista de Tabelas

5.1	Valores de DR0 em função de n	77
5.2	Experimento Fatorial de dois fatores, caso geral	79
5.3	Níveis dos fatores e interações de um projeto fatorial do tipo 22	80
5.4	Resumo da tabela ANOVA para análise dos resultados	84
8.1	Escala Fundamental de Saaty	127
8.2	Quadro de comparações	128
8.3	Valore de CA em função da ordem da matriz	129
8.4	Matriz de Comparação Paritária	132
8.5	Classificação AHP	132
A.1.1	Resultados dos ensaios de gramatura (g/m2) – ASTM [D 3776/96]	145
A.1.2	Resultados dos ensaios de nº carreiras/cm (car/cm) – ASTM [D 3887/96]	145
A.1.3	Resultados dos ensaios de nº colunas/cm (col/cm) – ASTM [D 3887/96]	146
A.1.4	Resultados dos ensaios de LFA (mm) – AFNOR [NF G 07-101/85]	146
A.1.5	Resultados dos ensaios de gramatura (g/m2) – Adição de pontos centrais	147
A.1.6	Resultados dos ensaios de nº carreiras/cm (car/cm) – Adição de pontos centrais	147
A.1.7	Resultados dos ensaios de nº colunas/cm (col/cm) – Adição de pontos centrais	147
A.1.8	Resultados dos ensaios de LFA (mm) – Adição de pontos centrais	148
A.2.1	Resultados dos ensaios de gramatura (g/m2) – ASTM [D 3776/96]	148
A.2.2	Resultados dos ensaios de nº carreiras/cm (car/cm) – ASTM [D 3887/96]	149

A.2.3	Resultados dos ensaios de nº colunas/cm (col/cm) – ASTM [D 3887/96].....	149
A.2.4	Resultados dos ensaios de LFA (mm) – AFNOR [NF G 07-101/85]	149
A.2.5	Resultados dos ensaios de gramatura (g/m2) – Adição de pontos centrais.....	150
A.2.6	Resultados dos ensaios de nº carreiras/cm (car/cm) – Adição de pontos centrais	150
A.2.7	Resultados dos ensaios de nº colunas/cm (col/cm) – Adição de pontos centrais	150
A.2.8	Resultados dos ensaios de LFA (mm) – Adição de pontos centrais.....	151
A.3.1	Resultados dos ensaios de gramatura (g/m2) – ASTM [D 3776/96].....	151
A.3.2	Resultados dos ensaios de nº carreiras/cm (car/cm) – ASTM [D 3887/96]	152
A.3.3	Resultados dos ensaios de nº colunas/cm (col/cm) – ASTM [D 3887/96].....	152
A.3.4	Resultados dos ensaios de LFA (mm) – AFNOR [NF G 07-101/85]	152
A.3.5	Resultados dos ensaios de gramatura (g/m2) – Adição de pontos centrais.....	153
A.3.6	Resultados dos ensaios de nº carreiras/cm (car/cm) – Adição de pontos centrais	153
A.3.7	Resultados dos ensaios de nº colunas/cm (col/cm) – Adição de pontos centrais	153
A.3.8	Resultados dos ensaios de LFA (mm) – Adição de pontos centrais.....	154
b.1	Valores do efeito dos fatores de controle e da interação para a gramatura do tecido 100% algodão	169
b.2	Valores do efeito dos fatores de controle e da interação para o número de carreira por cm do tecido 100% algodão.....	170
b.3	Valores do efeito dos fatores de controle e da interação para o número de colunas por cm do tecido 100% algodão.....	172
b.4	Valores do efeito dos fatores de controle e da interação para o LFA do tecido 100% algodão.....	173
b.5	Valores do efeito dos fatores de controle e da interação para a gramatura do tecido 100% poliéster	174
b.6	Valores do efeito dos fatores de controle e da interação para o número de carreira por cm do tecido 100% poliéster.....	175

b.7	Valores do efeito dos fatores de controle e da interação para o número de colunas por cm do tecido 100% poliéster.....	176
b.8	Valores do efeito dos fatores de controle e da interação para o LFA do tecido 100% poliéster.....	177
b.9	Valores do efeito dos fatores de controle e da interação para a gramatura do tecido 100% poliamida	178
b.10	Valores do efeito dos fatores de controle e da interação para o número de carreira por cm do tecido 100% poliamida	179
b.11	Valores do efeito dos fatores de controle e da interação para o número de colunas por cm do tecido 100% poliamida	180
b.12	Valores do efeito dos fatores de controle e da interação para o LFA do tecido 100% poliamida	181
b.13	Resumo da tabela ANOVA para análise da significância dos fatores de controle e da interação da gramatura do tecido 100% algodão	182
b.14	Resumo da tabela ANOVA para análise da significância dos fatores de controle e da interação do número de carreiras por centímetro do tecido 100% algodão.....	183
b.15	Resumo da tabela ANOVA para análise da significância dos fatores de controle e da interação do número de colunas por centímetro do tecido 100% algodão	183
b.16	Resumo da tabela ANOVA para análise da significância dos fatores de controle e da interação do LFA do tecido 100% algodão	184
b.17	Resumo da tabela ANOVA para análise da significância dos fatores de controle e da interação da gramatura do tecido 100% poliéster.....	184
b.18	Resumo da tabela ANOVA para análise da significância dos fatores de controle e da interação do número de carreiras por centímetro do tecido 100% poliéster.....	185
b.19	Resumo da tabela ANOVA para análise da significância dos fatores de controle e da interação do número de colunas por centímetro do tecido 100% poliéster	185

b.20	Resumo da tabela ANOVA para análise da significância dos fatores de controle e da interação do LFA do tecido 100% poliéster	186
b.21	Resumo da tabela ANOVA para análise da significância dos fatores de controle e da interação da gramatura do tecido 100% poliamida.....	186
b.22	Resumo da tabela ANOVA para análise da significância dos fatores de controle e da interação do número de carreiras por centímetro do tecido 100% poliamida	187
b.23	Resumo da tabela ANOVA para análise da significância dos fatores de controle e da interação do número de colunas por centímetro do tecido 100% poliamida	187
b.24	Resumo da tabela ANOVA para análise da significância dos fatores de controle e da interação do LFA do tecido 100% poliamida	188

Nomenclatura

Letras Latinas

- A** – Efeito do fator A
- a** – a-ésimo nível do fator A
- $\hat{a}, \hat{b}, \hat{c}, \hat{d}$ – Valores preditos para as características das malhas de poliéster
- a_{ij} – Representa o valor da linha i e coluna j
- AxB** – Efeito da interação dos fatores A e B
- B** – Efeito do fator B
- b** – b-ésimo nível do fator B
- $C_1, \dots, C_n$ – Características de direcionadores
- C_i, C_j – Par de características
- car/cm** – Número de carreiras por centímetro
- cN** – centiNewton
- cN/tex** – centiNewton por tex
- col/cm** – Número de colunas por centímetro
- $D \subset \mathfrak{R}^k$ – Região experimental
- e** – Erro experimental
- F** – Estatística com distribuição de Snedecor
- f – Função que liga os fatores ao valor esperado de y
- F_{exp}** – Valor experimental
- $F_{n-1, \alpha}$ – Valor crítico
- g/m²** – gramas por metro quadrado
- H₀** – Hipótese nula

- H_1 – Hipótese alternativa
 k – Número de tratamentos
 K' – Quantidade de fatores ou interações possíveis
 $\log$ – logaritmo
 mm – milímetros
 N – Número de unidades experimentais
 n – Tamanho da Amostra ou Número de Replicações
 n_c – Número de observações no ponto central
 $\hat{r}, \hat{s}, \hat{t}, \hat{u}$ – Valores preditos para as características das malhas de poliamida
 rpm – Rotações por minuto
 S^2 – Variância amostral
 T – Auto vetor normalizado
 t_{exp} – Valor experimental
 $t_{n-1, \alpha}$ – Valor crítico
 $t_{n-1, \alpha/2}$ – Valor crítico
 u – Unidades
Valor p – Nível de significância do teste baseado na distribuição de aleatorização
 x – Vetor de variáveis independentes ou fatores controlados
 $\bar{X}$ – Média amostral
 $\bar{\bar{Y}}$ – Valor da média das médias para uma característica de qualidade
 y_{ci} – Observação do ponto central
 $\bar{y_c}$ – Média das obsevações do ponto central
 $\bar{y}_F$ – Média dos resultados obtidos
 $\hat{y}, \hat{z}, \hat{w}, \hat{k}$ – Valores preditos para as características das malhas de algodão
 Z – Variável normal padronizada
 W_i – Auto vetor da matriz

Letras Gregas

- α – Nível de significância

- β – Vetor de parâmetros do modelo matemático do valor esperado
- θ – Parâmetro populacional
- μ – Média populacional
- τ_i – Efeito principal do fator A
- β_j – Efeito principal do fator B
- $(\tau\beta)_{ij}$ – Efeito da interação dos fatores A e B
- ε_{ijk} – Erro experimental
- ϕ, ψ, φ – Funções de ligação
- σ^2 – Variância populacional
- $\lambda_{\text{Máx}}$ – Maior autovalor da matriz
- $(1 - \alpha)$ – Nível de confiança
- Erros β** – Probabilidade de aceitar H_0 sendo esta falsa
- Erros α** – Probabilidade de rejeitar H_0 sendo esta verdadeira

Abreviações

- AHP** – “*Analytic Hierarchy Process*”
- ANOVA** – Análise de Variância
- C** – Concentração de umidade
- CA** – Consistência aleatória
- C_b** – Concentração de umidade na camada de ar dos espaços internos do tecido
- C_e** – Concentração de umidade do meio ambiente
- C_i** – Concentração de umidade na camada próxima à superfície interna do tecido
- C_m** – Concentração de umidade no microclima
- C_o** – Concentração de umidade na camada próxima à superfície externa do tecido
- cp** – Corpo de Provas
- Cs** – Na camada de ar próxima à superfície da pele
- CV** – Coeficiente de Variação
- DR** – Razão de desvio padrão
- DR₀** – Razão padrão
- FC** – Fator de cobertura

- gl** – Graus de Liberdade
- Ia** – Meio ambiente
- Ic** – Isolamento térmico do vestuário
- IC** – Índice de consistência
- k_y** – Condução pelos filamentos
- k_a** – Condução através do ar
- LFA** – “*Longuer de Fil Absorbée*”
- MSR** – Metodologia de superfície resposta
- NS** – Nível de significância
- q** – Taxa de transmissão de umidade (fase de vapor)
- q_a** – Fluxo pelos espaços abertos (maiores) do tecido.
- q_f** – Fluxo pelos espaços entre as fibras ou filamentos
- QFD** – “*Quality Function Deployment*”
- QM** – Quadrado médio
- q_s** – Fluxo de transpiração da pele
- q▲** – Fluxo para o meio ambiente
- RC** – Razão de consistência
- S-S** – Radiação entre as superfícies
- S-Y** – Radiação entre as superfícies e os filamentos
- SS** – Soma dos quadrados
- TQM** – “*Total Quality Management*”
- VAP** – Velocidade de alimentação positiva
- Y-S** – Radiação entre os filamentos e a superfície
- Y-Y** – Radiação entre os filamentos

Siglas

- ABNT** – Associação Brasileira de Normas Técnicas
- AFNOR** – “*Association Française de Normalisation*”
- ASTM** – “*American Society for Testing and Materials*”

Definições

Abrasão. É o desgaste causado por uma parte do material têxtil devido ao atrito deste material com outra superfície.

Aleatorização. É o processo de definir a ordem dos tratamentos no experimento. Podendo ser através de sorteio ou por limitações específicas do experimento.

Alongamento. É a capacidade de um material têxtil alongar quando submetido a forças mecânicas.

ANOVA (Análise da variância). Método estatístico para tomada de decisões baseadas nas causas de variação de um experimento.

Aparência. Capacidade do tecido de reter sua aparência original.

Atributos e propriedades. Um conjunto de alternativas é comparado em relação a um conjunto de propriedades (critérios).

Caimento. Resistência para dobrar.

Confundimento. Ser incapaz de decompor entre si determinadas fontes de variação de um experimento específico; mistura de efeitos fatoriais dentro de uma coluna específica do arranjo ortogonal, matematicamente impossível de ser separado.

Efeito Principal. É a mudança da variável resposta produzida pela mudança no nível do fator de controle.

Elasticidade. Porcentagem de retorno do tecido após a aplicação de uma força (cinco ciclos).

Erro Experimental. Resíduo; variação observada quando são realizados experimentos sob condições “idênticas”, sendo que parte desta variação é repetitividade do instrumento de medição.

Estabilidade Dimensional. Alteração das medidas no sentido das carreiras e ou das colunas após um tratamento.

Experimento Fatorial. Experimento que extrai informações relacionadas a diversos fatores de projeto de forma mais eficiente do que o experimento tradicional com um único fator.

Fatores de Controle. São os fatores alterados deliberadamente no experimento, com a finalidade de avaliar o efeito produzido nas variáveis de resposta e assim, poder determinar os principais fatores do processo.

Fator de cobertura. É um valor empírico que define o grau de aperto de um tecido em função do título do fio e do comprimento da laçada.

Fatores de Ruído. São os fatores conhecidos ou não, que influenciam nas variáveis de resposta do experimento. Alguns podem ser controlados, outros não. Neste caso, cuidados devem ser tomados na hora de realizar os testes. Este processo evita que os efeitos produzidos pelos fatores de controle, que estão avaliados no experimento, fiquem misturados ou mascarados com os efeitos dos fatores de ruído.

Gramatura. Peso do tecido por unidade de área (g/m^2)

Interação (A x B). Efeito sinérgico de dois ou mais fatores em um experimento fatorial. O efeito de um fator depende de outro fator.

Laçada. Unidade estrutural dos tecidos de malha.

L.F.A. Consumo de fio por laçada.

Níveis dos Fatores. São as condições de operação dos fatores de controle do processo ou sistema. Ao realizar os experimentos procura-se determinar os níveis ótimos do fator de controle ou o valor mais próximo do definido pelos projetistas.

Pilling. Resistência à formação de “bolinhas” na superfície do tecido.

Pilosidade. Fibras que saem da superfície do fio.

Pressão de ruptura. Força ou pressão requerida para romper o material têxtil por alongamento com uma força aplicada perpendicularmente, em condições especificadas, na superfície do tecido.

Regain. Quantidade de água absorvida pelo material seco sob condições especificadas de temperatura e umidade, comparada com a massa do material seco.

Replicação. Diz-se que um experimento contém replicações quando pelo menos duas unidades experimentais recebem o mesmo tratamento.

Retenção de odor. É a capacidade do tecido em reter determinados odores.

Snag. É o fio ou parte do fio puxado na superfície do tecido.

Título. O título de produtos têxteis é representado por um número que expressa uma relação entre um determinado comprimento e o peso correspondente. É a densidade linear do produto.

Título tex (tex). O título tex de um fio ou de qualquer outro material têxtil é igual ao peso em gramas de 1000 metros de fio.

Título Inglês (Nec). O título inglês de um fio de algodão é igual ao número de meadas de 840 jardas em cada uma, necessárias para obter o peso de 1 libra.

Tratamentos. São as combinações específicas dos níveis dos fatores de controle no experimento, isto é, cada uma das corridas do experimento representará um tratamento.

Variáveis de Resposta. São as variáveis que sofrem algum efeito no experimento, quando mudanças, provocadas propositalmente, são produzidas nos fatores que regulam ou ajustam as máquinas no processo de fabricação. Nos testes, podem existir uma ou mais variáveis de resposta que sejam importantes de avaliar.

Capítulo 1

Introdução

Um produto deve ser projetado e desenvolvido, visando à satisfação do cliente. As características desejadas são fornecidas pelos clientes e no processo produtivo são criadas condições para que o produto atenda aos anseios do consumidor, inclusive em termos de adequação do preço (Juran, 1991)

No projeto do produto, pode-se desenvolver um protótipo básico que desempenha as funções desejadas e exigidas com mínima variação possível das especificações projetadas. Experimentos podem ser realizados para se encontrar os níveis dos fatores do sistema que minimizam os desvios das características funcionais em relação aos valores nominais do projeto. São estabelecidos, desta forma, os níveis ótimos dos fatores e as tolerâncias aceitáveis (Taguchi, 1993).

Concluído o projeto do produto, busca-se determinar processos que possam fabricá-lo com menor custo, mas dentro dos limites e tolerâncias previamente especificadas. Nesta fase, recorre-se também a experimentos para determinar os níveis operacionais do processo, que levam as características funcionais do produto tão mais próximas possível dos valores projetados.

No processo produtivo, a qualidade é construída nas diversas etapas do sistema produtivo. As atividades do sistema devem se interagir para que os produtos tenham suas características funcionais com desvios mínimos dos valores fixados no projeto, pois estes desvios constituem em um exemplo típico de perda. Mantendo-se as características funcionais suficientemente próximas

dos valores projetados, tem-se uma redução da perda para o consumidor e uma diminuição dos custos da qualidade (Taguchi, 1990)

Uma das formas de alcançar as características de competitividade e atender às necessidades e expectativas dos consumidores é a utilização de Técnicas de Planejamento e Análise de Experimentos no desenvolvimento de produtos e nos processos de fabricação.

O experimento planejado é um teste ou uma série de testes onde são induzidas mudanças nas variáveis de entrada do processo, de maneira que seja possível observar e identificar as causas das mudanças nas variáveis de saída (respostas). Ao identificar as causas que provocam as perdas de qualidade nos produtos, poderão ser realizadas ações de melhoria (Montgomery, 1997)

1.1 Objetivo do trabalho

O objetivo deste trabalho é desenvolver um procedimento para auxiliar o desenvolvimento de produtos têxteis, utilizando técnicas de planejamento de experimentos e métodos de apoio à tomada de decisão.

1.2 Justificativa do trabalho

O trabalho tem como objetivo propor uma seqüência de etapas que oriente o processo de tomada de decisão sobre a escolha de uma matéria prima para fabricação de artigos para vestuário.

Partindo da idéia de que a tomada de decisão é um processo inevitável, surge a necessidade de criar métodos ou formas de facilitar a tomada de decisão. Estes métodos acompanham o ser humano em suas mais variadas atividades. Com base nestas convicções, foram surgindo alternativas para ajudar o indivíduo a chegar a uma melhor escolha.

Estes métodos, conhecidos como Sistemas de Apoio à Decisão, podem ser definidos como ferramentas geralmente computacionais que envolvem modernas técnicas de sistemas de

informação, inteligência artificial, métodos quantitativos de estatística, psicologia cognitiva e comportamental, sociologia das organizações, entre outros, e visam oferecer ao usuário condições favoráveis (suporte) para melhor escolher uma entre diversas alternativas, minimizando a chance de erro na tomada de decisão. Dentre os métodos de apoio à decisão, estão as Metodologias Multicritério de Apoio à Decisão (Roy, 1985).

O método escolhido para a execução deste trabalho foi o AHP (Analytic Hierarchy Process), traduzido para o português como Método de Análise Hierárquica. Trata-se de um método útil quando é necessário considerar nas decisões aspectos quantitativos e qualitativos. (Person, 2002).

1.3 Fios Têxteis

Os fios têxteis são produzidos através de um conjunto de operações que compreendem o tratamento dos diversos materiais fibrosos, sejam de origem natural ou química (regeneradas ou sintéticas), até a sua transformação em fio. A tecnologia da fiação se subdivide em sistema de fiação para obtenção de fio a partir de fibras descontínuas e sistema de fiação para obtenção de fios a partir de filamentos contínuos.

1.3.1 Fios produzidos a partir de fibras ou fios fiados

O princípio de produção destes fios consiste em paralelizar as fibras em forma de mechas, que são estiradas (afinadas) e torcidas para formar o fio.

1.3.2 Fios produzidos a partir de filamentos contínuos

Na maioria das vezes as fibras químicas são fabricadas procedendo a extrusão de um fluído de fiação (polímero) através de pequenas perfurações de uma fieira. Uma fieira é uma boquilha, que contém múltiplas micro perfurações, por onde passa o fluído de fiação, que por solidificação posterior, transforma-se em um filamento.

Os fios de filamentos contínuos são aqueles obtidos pela extensão e estiragem de polímeros, podendo ser constituídos de um único filamento contínuo (monofilamento) ou vários filamentos paralelos (multifilamentos). Na figura 1.1 pode-se observar o fio multifilamento sem torção, eventualmente, o fio multifilamentos pode ser torcido em função do tipo de aplicação.



Figura 1.1: Fio multifilamento sem torção

1.4 O Algodão

As fibras de algodão são os elementos estruturais usados para formar fios e tecidos. O algodão é uma fibra vegetal, de fato a mais importante dentre as fibras naturais, usado para vários fins, mas especialmente para a manufatura de uma grande proporção de roupas usadas pelo homem. Também deve ser considerada uma fibra básica que oferece grandes possibilidades de usos especializados, pelas modificações físicas e químicas e em misturas.

A fibra de algodão é prontamente diferenciada de todas as outras fibras têxteis pela alta qualidade de suas características, devido à estrutura interna única, pela forma e dimensões.

O desenvolvimento da fibra de algodão tem recebido uma atenção crescente de um grande número de pesquisadores. Como resultado disso, o número de trabalhos publicados sobre a iniciação da fibra e alongamento é consideravelmente alto, e em paralelo são realizadas tentativas para transformar os resultados desses trabalhos em aplicações apropriadas para melhorar a qualidade do algodão.

Tecidos de algodão se tornaram conhecidos e largamente usados mundo afora há centenas de anos. A fiação da fibra de algodão em fio, o uso de tecidos de algodão, e diversos processos de acabamento para algodão foram descobertos e naturalmente serviram de assunto para pesquisas. O algodão tem sido utilizado há tanto tempo que a sua versatilidade é quase ilimitada e constantemente são descobertos novos processos. Ele pode ser utilizado para muitas finalidades.

1.5 A Poliamida

As fibras poliamídicas ou simplesmente *nylons* mais comuns são a poliamida 6 e a 66. Embora as duas sejam similares do ponto de vista da fabricação assim como o poliéster por fusão e extrusão, suas propriedades são diferentes. Tanto para exemplificar o ponto de fusão da PA6 é 215°C e da PA66 255°C.

As fibras poliamídicas são produzidas principalmente na forma de fios multifilamentos contínuos, pensando em artigos para vestuário. A seção pode ser qualquer, depende do furo da fiação, ou seja, de acordo com o orifício se produz o filamento. Furos redondos geram fibras redondas, furos em Y geram fibras trilobais e assim por diante. No Brasil são produzidos filamentos de seção redonda e trilobada. Através do uso ou não de aditivos os filamentos podem ser brilhantes, semi-opacos ou opacos para atender às diversas aplicações e efeitos solicitados pela moda.

As poliamidas em fios multifilamentos contínuos têm uma ampla aplicação na moda banho (maiôs, biquínis, etc.), vestuário esportivo, lingerie, moda feminina em malhas, passamanaria, etc.

1.6 O Poliéster

Os fios de poliéster são produzidos por fusão de grânulos de poliéster e extrusão, obtendo-se fios multifilamentos ou fibras descontínuas, isto é, fibras cortadas. As fibras descontínuas servem para fabricar fios fiados como os de algodão.

As fibras descontínuas bem como os fios multifilamentos de poliéster se apresentam com seção transversal geralmente redonda e superfície lisa.

As fibras descontínuas que servem para fazer fios como os de algodão são frisadas como se observa na figura 1.2.

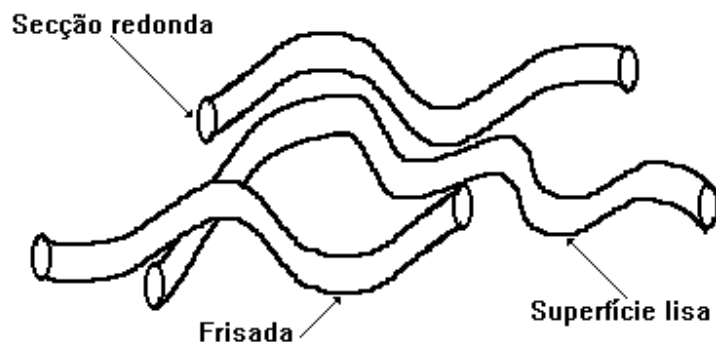


Figura 1.2: Fibras de poliéster

A morfologia das fibras de poliéster também depende do furo da fieira, ou seja, de acordo com o formato do orifício se produz uma fibra ou filamento de seção relativa. Pode-se dizer que o perfil das fibras de poliéster é ilimitado e é definido de acordo com as necessidades de aplicação do produto final.

Para os fios multifilamentos contínuos as aplicações também são inúmeras tanto nas roupas femininas quanto nas masculinas. O poliéster multifilamentos se presta bem para gravatas e, como microfibra tem assumido importância no vestuário masculino (calças, ternos, paletós, etc.) e feminino em tecidos planos e malhas para vestidos, saias, blusas, etc.

1.7 Tecelagem

A tecelagem é uma das primeiras artes que o homem conheceu. Egípcios, persas, assírios, fenícios, incas e outros povos dedicaram-se meticulosamente a essa atividade e tornaram-se notáveis pela sua habilidade.

Segundo fontes históricas, oriundas de etnólogos, os primeiros tecidos datam de 7000 a.C. As condições ambientais extremamente secas da caverna de Nahal Hemar, nas proximidades do mar Morto, contribuíram para preservar uma gama mais ampla de materiais, entre os quais se encontram fragmentos de tecidos e de fabrico de cestos assim como utensílios e contas de madeira. Os tecidos revelam um nível surpreendentemente alto de habilidade técnica. Na figura 1.3, podem ser observadas as amostras mais antigas de manufaturados têxteis que datam do

período acerâmico do Neolítico. A amostra (a) mostra um tecido mais pesado, a (b) um mais leve e na (c) um tecido com gramatura intermeriária.

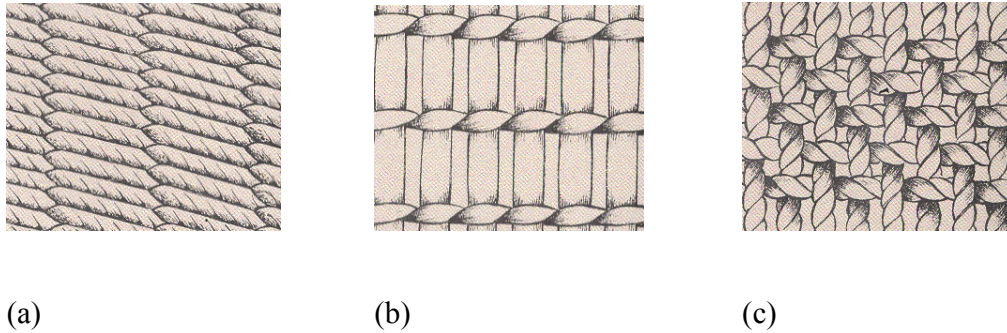


Figura 1.3: Amostras de tecidos de linho encontrada na caverna de Nahal Hemar.

Fonte: (Roaf, 1996)

O tecido plano ou comum é constituído por dois grupos de fios – urdume e trama – que se entrelaçam perpendicularmente. O entrelaçamento de urdumes e tramas obedecem às regras ou seqüências de entrelaçamento que conferem aos tecidos características próprias como: aspecto visual, maleabilidade, resistência à abrasão, resistência ao esgarçamento e resistência à tração entre outras.

1.8 Malharia

A malharia é um processo industrial para a obtenção de tecidos de malha a partir do entrelaçamento de fios. Existem dois tipos de malharia: a de trama e a de urdume.

Não se sabe ao certo quando apareceram os primeiros tecidos de malha. No Victoria and Albert Museum de Londres existe um pedaço de malha tricotada a mão pelos egípcios no século XII a.C. e no Museu do Louvre em Paris, também existem peças de tecido de malha encontradas em escavações feitas no Egito. Segundo o pensamento de Nilkemm, o tecido que Penélope fazia esperando que Ulisses voltasse da guerra (lenda do tear de Penélope) era um tecido de malha, pois do contrário seria impossível desfazer à noite o trabalho realizado durante o dia, seria então, o tear de Penélope, uma rústica máquina de malharia? Consta que, nos primeiros séculos de nossa era, os tecidos de malha eram fabricados por gregos e romanos. Somente por volta do século XIII

apareceram na França as primeiras peças de tecido de malha. Até então não se tinha notícia de nenhuma fabricação mecanizada desse tipo de tecido.

1.9 Organização do trabalho

O presente trabalho está estruturado em nove capítulos.

O primeiro deles, a introdução, faz um apanhado geral do que será tratado nos oito capítulos subsequentes.

O capítulo 2 apresenta a constituição da cadeia têxtil, as principais propriedades dos artigos de vestuário, conceito de produto e de desenvolvimento de produto. Este capítulo busca preparar o leitor, dando uma visão geral para melhor entendimento do assunto.

O capítulo 3 descreve os materiais que foram utilizados na fabricação dos tecidos e os métodos que foram utilizados na avaliação da metodologia proposta.

O capítulo 4 apresenta um histórico das máquinas circulares, a descrição dos principais órgãos dessas máquinas e suas funções.

O capítulo 5 apresenta os conceitos básicos para planejamento de experimentos e as etapas para a realização deste estudo.

O capítulo 6, através da ANOVA, verifica os fatores de controle que realmente influenciam nas principais características dos tecidos.

O capítulo 7 expõe as análises de superfície resposta e estimativas das curvaturas de superfície.

O capítulo 8 conceitua o método AHP para tomada de decisões, detalha sua filosofia, aplicação, características e seus conceitos matemáticos. Apresenta, ainda, uma aplicação prática do método.

O capítulo 9 apresenta as conclusões e dá sugestões para trabalhos futuros.

Capítulo 2

Revisão da Literatura

Este capítulo apresenta de forma resumida a constituição da cadeia têxtil, as principais características dos artigos de vestuário, conceito de produto e de desenvolvimento de produtos na área de confecção.

A necessidade do uso pelo homem de um vestuário para proteger-se das condições de meio ambiente, surgiu provavelmente com os movimentos migratórios do *Homo sapiens*, das regiões quentes da África para as temperadas e frias da Europa, onde se estima que tenha alcançado há 50.000 ou 60.000 anos.

Pesquisas arqueológicas comprovam que as primeiras vestimentas eram elaborados de pele de animais, que por tornarem-se secas e rígidas, eram tratadas com óleo de peixe para conferir maciez e flexibilidade, sendo este o primeiro registro de um tratamento utilizado relacionando conforto e vestimenta. Fibras vegetais trançadas também eram utilizadas, sendo que a confecção de peças de vestimenta pela junção de partes menores, formando um conjunto que melhor se adapta ao corpo e seus movimentos, pode ter surgido há 40.000 anos, data atribuída a uma agulha de marfim com olhal (Ryder, 2000).

Desde que o homem quis usar outras vestes que não a pele dos animais, teve de encontrar meios para fabricar tecidos. Isso sucedeu nos tempos mais remotos da história humana e em várias zonas do mundo, mais ou menos ao mesmo tempo.

Alguns povos mais avançados do que outros encontraram rapidamente a forma de fiar e de tecer. Outros demoraram mais tempo. Talvez não tivessem a mesma necessidade de tecidos, por viverem em climas mais amenos.

Depois, o que começou por ser apenas uma necessidade, transformou-se num meio para definir a classe social, o clã, a etnia, o povo a que se pertencia. Ao objetivo inicial do tecido (o de vestir), uniu-se um outro: utilizá-lo para marcar a diferença entre os homens. Isto deu origem aos intercâmbios de tecelões do mundo inteiro. A arte têxtil depressa se transformou num poder imenso que incentivava os artesãos cada vez mais a aperfeiçoarem nos seus ofícios e a conseguir produzir trabalhos cada vez mais requintados e bonitos.

O conforto de vestir uma roupa, cujo tecido ajusta-se primorosamente ao corpo, deve-se à evolução da indústria têxtil. Não se pode negar a utilidade de novos conhecimentos e técnicas que possibilitam o homem moderno a vestir-se adequadamente: a roupa deve servir ao homem, de modo que o aqueça no inverno e o refresque no verão. O avanço da indústria têxtil permitiu não só o aprimoramento dos tecidos tornando a roupa mais confortável e funcional, mas também permitiu sua produção em maior escala e, conseqüentemente, ajudou a viabilizar sua distribuição no mercado.

A moda representa quem somos, o que pensamos e o que queremos dos outros, das maneiras mais objetivas ou subjetivas possíveis. Também reflete uma época e os costumes de uma sociedade. Através dela, a roupa sempre foi utilizada como instrumento social para exibir riqueza e posição. As roupas podem revelar nossas prioridades, nossas aspirações, nosso liberalismo ou conservadorismo. Elas emprestam elegância e cor ao nosso ambiente e dão forma aos nossos sentimentos. Assim como a arte e a sociedade afetam a moda, também a indústria, o comércio e a ciência o fazem. A tecnologia está a serviço da moda. Além de se preocupar com as tendências da moda, os estilistas e a indústria têxtil procuram aliar a beleza à praticidade, considerando-se que os artigos têxteis cobrem 80% do nosso corpo (Cherem, 2004).

2.1 A cadeia têxtil

Segundo Silva (2002), a cadeia produtiva têxtil pode ser dividida em cinco segmentos:

Fibras e Filamentos;

Indústria Têxtil;

Indústria da Confeção;

Insumos Químicos;

Máquinas e Equipamentos.

O primeiro elo da cadeia têxtil é o de matérias primas. O insumo básico da indústria têxtil é a fibra ou o filamento. Fazem parte deste segmento a produção de fibras naturais e os processos químicos relacionados ao processamento das fibras químicas (regeneradas e sintéticas).

No segmento indústria têxtil encontram-se as fases de fiação, tecelagem, malharia e beneficiamento. A fiação produz o fio que será transformado em tecido plano pela tecelagem ou tecido de malha pela malharia. Dependendo da aplicação do fio nas fases seguintes, ele será produzido pela fiação com características técnicas específicas. Após a fabricação do tecido, na fase de beneficiamento, será realizado o tingimento e o acabamento final.

A indústria de confecção é o último elo da cadeia têxtil e é composta pelos segmentos de vestuário e artigos confeccionados. O segmento de vestuário é composto pelas classes de roupa íntima, de dormir, de esporte, de praia, de gala, social, de lazer, infantil e das classes de roupas especiais, como as de segurança, profissionais e de proteção. O segmento de artigos confeccionados é composto pela fabricação de meias, modeladores, acessórios para vestuário, artigos de cama, mesa, banho, copa, cozinha e limpeza, artigos para decoração e artigos industriais e de uso técnico (IPT, 2003).

Os outros dois segmentos, dão a sustentação necessária em termos de insumos, auxiliares químicos e corantes, assim como as máquinas e equipamentos para o processamento e manufatura dos bens das diversas etapas da cadeia produtiva.

A dinâmica entre estes segmentos é que delinea e define a cadeia têxtil. Eles são interdependentes e apresentam diversos elos entre si e com outros setores industriais.

2.2 Fibras têxteis

Segundo o CONMETRO (2005), fibra ou filamento têxtil é toda matéria natural de origem vegetal, animal ou mineral, assim como todo material químico artificial ou sintético, que pela alta relação entre comprimento e seu diâmetro, e ainda, por suas características de flexibilidade, suavidade, alongamento e finura, o tornem apto a aplicações têxteis.

As fibras têxteis podem ter várias origens, e é esse o critério comumente utilizado para sua classificação. Assim as fibras podem ser: de origem natural se são produzidas pela natureza sob uma forma que as torne aptas para o processamento têxtil; ou de origem não natural que são produzidas por processos industriais, quer a partir de polímeros naturais transformados por ação de reagentes químicos (fibras regeneradas), quer por polímeros obtidos por sínteses químicas (fibras sintéticas) (Araújo e Castro, 1987).

Os nomes genéricos das fibras têm a missão de distinguir uma fibra das demais. No caso das fibras naturais, o critério diferenciador é a origem da fibra. Quando se trata de fibras químicas, a classificação se realiza quase sempre atendendo a diferenças químicas, das quais costumam derivar diferentes propriedades que se distinguem das demais; quando é necessário são incluídas outras características. Os nomes genéricos das fibras costumam ser utilizados como adjetivos para descrever a natureza da fibra ou filamentos componentes dos produtos correspondentes. Os critérios seguidos na especificação dos nomes genéricos das fibras químicas não coincidem necessariamente com os empregados na denominação das moléculas químicas correspondentes (Guillén, 2003).

2.2.1 *Fibras naturais*

As fibras naturais vêm exercendo um papel fundamental na história da civilização. Desde o início dos tempos até o presente e certamente no futuro, as fibras naturais nunca deixarão de ter uma participação significativa na produção dos mais variados artigos industrializados. Estas fibras são facilmente encontradas nos segmentos de vestuário e de artigos confeccionados.

As fibras mais disseminadas na atividade têxtil são as encontradas na natureza: a seda, a lã, os pêlos e as crinas de origem animal (carneiro, alpaca, vicunha etc.) e os caules, folhas e sementes de diversas plantas (algodão, linho, juta, rami etc.), que permitem a extração de fibras de origem vegetal. O amianto é a única fibra mineral com valor comercial (Goularti Filho e Jenoveva Neto, 1997).

O algodão representa no geral cerca de 97% do total das fibras naturais consumidas. No Brasil, as fibras de algodão representam 90% das fibras naturais, seguidas, em ordem de importância, pela lã, juta, rami e seda (IEMI, 2005).

No período de 1995 a 2000, a participação do algodão no consumo global de fibras têxteis mostrou-se decrescente, de 37% para 33%, enquanto a das fibras sintéticas evoluiu de 45% para 53%. No Brasil, apesar da sua inserção na dinâmica mundial no sentido da intensificação do uso de fibras não naturais, a partir da década de setenta, o algodão ainda mantém a sua hegemonia, representando 64% do consumo industrial de fibras contra 34,0% do das sintéticas, dado obtido em 2001 (IEA, 2006).

A perspectiva de aumento no consumo das fibras sintéticas no mundo tem como principais fatores o crescimento do setor automobilístico, a expansão do mercado de produtos de uso doméstico, como tapetes, cortinas e carpetes, e a maior sofisticação do vestuário. Cabe, no entanto, destacar que o algodão não deve ter seu consumo reduzido ainda mais, embora o aumento no uso das sintéticas tende a ser mais intenso, uma vez que a fibra de algodão apresenta múltiplas e variadas aplicações, proporcionando aos tecidos características dificilmente imitáveis, pode-se dizer que o algodão deverá, pelo menos, manter sua posição na demanda mundial de fibras têxteis.

2.2.2 *Fibras químicas*

As fibras químicas surgiram como uma nova opção de matéria-prima a ser utilizada por diversas indústrias, que antes eram completamente dependentes das fibras provenientes da natureza. Devido às suas qualidades e sua grande aceitação no mercado, observou-se um

incremento em sua utilização. O segmento de confecção é um dos grandes demandantes dessas fibras.

As fibras químicas podem ser qualificadas em regeneradas e sintéticas. As primeiras são geradas a partir da celulose, substância fibrosa originária da pasta da madeira ou do línter de algodão, sendo também conhecidas como fibras celulósicas. As fibras sintéticas são originárias da petroquímica, e são compostas pelo acrílico, poliamida, poliéster, polipropileno e a fibra elastomérica (Araújo e Castro, 1987).

A produção das fibras químicas originou-se com o intuito de copiar e melhorar as características e propriedades das fibras naturais. As fibras químicas passaram a ter elevada aceitabilidade, tornando-se uma necessidade, especialmente pelo fato de o crescimento da população solicitar vestuários confeccionados com maior rapidez e a um custo menor, diminuindo também a dependência da indústria têxtil das eventuais crises de escassez de fibras naturais.

Um exemplo de evolução das fibras químicas foi citado por Guillén (2000), a primeira geração de produtos similares à seda apareceu na década de 60 e se baseava em fibras com uma seção transversal triangular, com um brilho semelhante ao da seda natural. A segunda geração se desenvolveu na década de 70 e correspondia a produtos resultantes da mistura de filamentos com diferentes respostas ao encolhimento térmico, a mistura de filamentos de diferente seção transversal ou título e aplicação. Com estes fios foram fabricados tecidos com excelente aspecto, toque e caimento utilizados principalmente na fabricação de artigos femininos. A terceira geração apareceu em 1990 e estava baseada em fibras de seções transversais não circulares e fibras de título muito baixo. Com estes fios são fabricados os tecidos com aspecto de pele de pêssego, toque seco, toque frio, toque úmido etc. Foram fabricadas fibras especiais para aplicações muito variadas, destacando, o conforto térmico e a saída rápida da transpiração do corpo humano.

2.3 Fiação

Dentro das atividades do setor têxtil, a fiação é a responsável pelo processo de produção de fios. O objetivo da fiação é transformar as fibras individuais em um fio contínuo, coeso e

maleável. Nas fibras naturais o processo compreende basicamente abertura e limpeza, cardagem, estiragem, torção e enrolamento.

Os fios usados na fabricação de artigos têxteis possuem diversas características, que devem ser controladas dependendo da aplicação do produto final. Como exemplo pode-se citar o número de torções por unidade de comprimento. A torção é uma importante característica do fio fiado, que confere, ao mesmo, resistência e elasticidade necessárias para o seu uso nas tecelagens, ao mesmo tempo em que determina a sua estrutura, como brilho, suavidade, rigidez e afinidade tintorial (Yamashita e Sanches, 2002).

As fibras químicas, de modo geral, seguem o mesmo processo de produção, por extrusão, que consiste em pressionar a resina, em forma pastosa, através de furos finíssimos numa peça denominada fieira. Os filamentos que saem desses furos são imediatamente solidificados. As fibras tomam sua forma final através de estiramento, realizado através de dois processos básicos; no primeiro, as fibras são estiradas durante o processo de solidificação; no segundo, o estiramento é feito após estarem solidificadas.

Os tecidos utilizados para práticas esportivas e de lazer pertencem ao grupo dos produtos mais vendidos pela indústria têxtil mundial. Cada material têxtil tem suas propriedades particulares e devem ser utilizados de forma correta. As funções desejadas nas roupas esportivas são conseguidas, principalmente, usando fibras químicas e aplicando um acabamento posterior apropriado. O comportamento correto da roupa durante a realização de uma atividade corporal é influenciado pela combinação apropriada das seguintes partes: fibras, processos de fiação, tecelagem ou malharia, densidade, espessura e gramatura do material, tingimento, acabamento e confecção (Rupp, 1998).

2.4 Malharia

É o processo de transformação mecânica dos fios em tecidos de malha. A malha e o tricô são resultantes do processo de malharia, técnica que consiste na passagem de uma laçada de fio através de outra laçada, conferindo ao tecido de malha flexibilidade e elasticidade. Os tecidos e

roupas produzidos pela malharia são confortáveis e de baixo custo. Os artigos de malha respiram melhor, são mais absorventes e exige menor custo de manutenção.

As malhas são estruturas dimensionalmente instáveis e potencialmente pouco rígidas. Possuem um comportamento não linear à tração e deformam-se facilmente debaixo de pequenas tensões. As variações dimensionais (encolhimentos e crescimentos) são devidas à recuperação de deformações produzidas durante o processo de fabricação (Araújo e Figueira, 2004).

Um dos problemas freqüentemente vivido nas malharias é produzir um tecido dentro das especificações fornecidas pelo cliente, ou seja, com uma determinada relação de metros/quilos, ou como é muito comum ouvir, mantendo-se uma determinada gramatura. Se a máquina circular não for regulada adequadamente alguns defeitos poderão ser encontrados nos tecidos produzidos. O mais comum é a distorção do tecido.

A distorção do tecido, arqueamento e a espiralidade, que degradam a qualidade dos tecidos de malha, influenciando tanto no desempenho estético quanto funcional desses tecidos e das vestimentas produzidas por eles. O arqueamento é a deformação do tecido no sentido da carreira, causada pelo tecimento com muitos alimentadores ou pela tensão irregular de liberação do fio na máquina de malharia. A espiralidade é a deformação da laçada. Frequentemente as tinturarias tentam corrigir este problema no acabamento, impondo uma deformação ao tecido de maneira que a coluna se alinhe, e acabam reduzindo a estabilidade dimensional da malha (Vijayakumar e Subramaniam, 2002).

2.5 Beneficiamento têxtil

O termo beneficiamento define a última etapa de processamento têxtil e engloba o conjunto de operações que um tecido é submetido após a sua fabricação até estar apto ao processo de confecção.

O objetivo desta etapa é transformar os tecidos, a partir do estado cru, em artigos brancos ou tintos, estampados e acabados. São realizadas operações mecânicas, físicas, químicas, bioquímicas e físico-químicas conferindo ao produto final, conforto, durabilidade e propriedades específicas.

Nos tecidos de algodão podem ser feitos acabamentos químicos com o objetivo de melhorar a estética, as propriedades químicas e físicas e a performance desta fibra a fim de igualá-la a outras fibras, como por exemplo as sintéticas, utilizada na produção de têxteis e confecções (Holme, 2005).

Nos têxteis de competições, durante séculos, seu comportamento foi determinado, quase que exclusivamente, pelo tipo de matéria prima utilizada. No final dos anos 70 e, sobretudo no início dos anos 80, surgiram novos conceitos como o de tecidos funcionais. Nestes tecidos são realizados acabamentos posteriores, conferindo o mesmo conforto e algumas funções de proteção ao organismo (Rupp et al, 2001).

Oliveira (2004), ressalta que o mercado têxtil busca tecidos que atendam à necessidade de uso e aplicação. Para o desenvolvimento de tecidos ser eficiente é necessário partir da escolha das fibras, do título do fio, dos processos de fiação e dos acabamentos que em alguns casos podem ser aplicados na fiação e em outros diretamente nos tecidos.

2.6 Confecção

O segmento de confecção é intensivo em mão de obra e, por essa característica, é o que exige menor inversão de capital por posto de trabalho dentre todos os segmentos da cadeia têxtil, grande empregadora em qualquer parque industrial do mundo.

Quanto ao processo produtivo, as etapas de confecção de roupas são: pré-montagem, que inclui criação, modelagem e corte; montagem (ou costura) e acabamento.

Além de muito segmentada, a indústria de vestuário em todo o mundo caracteriza-se por um alto grau de diferenciação em relação às matérias primas utilizadas, processos produtivos, padrões de concorrência e estratégias empresariais. No Brasil, a diversidade da estrutura industrial é amplificada pela própria heterogeneidade do mercado consumidor, no qual convivem segmentos de renda, padrões de informações e exigências extremamente diferenciados (Goularti Filho e Jenoveva Neto, 1997).

As indústrias de confecção que comercializam produto de “Moda” têm enorme dificuldade em definir quais produtos serão lançados em uma determinada coleção e em que proporções. Essa dificuldade reside no fato de que os lançamentos de produtos são feitos em todas as coleções e em grande número, isto é, o ciclo de vida desses produtos é extremamente curto, havendo a necessidade constante de ser vislumbrada as expectativas do mercado e percepção suficientes para detectar os modismos e alterações de tendências.

Normalmente uma indústria de confecção comercializa três tipos de produtos:

- artigos que são vendidos o ano todo com pequenas variações de vendas nas regiões em que são comercializados;
- artigos sazonais que são lançados ano após ano no mesmo período para um público alvo devidamente estabelecido e consolidado;
- artigos que são desenvolvidos para uma determinada coleção seguindo tendências estabelecidas pelo mercado e que terá um ciclo de vida finito.

Nenhuma outra indústria tem de acompanhar tão rapidamente as mudanças de estilo de vida dos consumidores quanto a de vestuário. Seus produtos devem atender aos requisitos da moda e têm curta vida útil. O mercado das confecções de vestuário caracteriza-se por ser volátil e dinâmico em progressão crescente, vista a rapidez de resposta de empresas que atuam globalmente. Mesmo não dependendo tanto da moda, mas de tendências, empresas que produzem artigos de demanda menos oscilante e impermanente (como básicos ou clássicos) e que têm vantagens de tecnologia e escala de produção, da mesma forma enfrentam mercados altamente competitivos: *commodities* são produzidas e comercializadas por inúmeras confecções do mundo, que buscam sempre custos mais baixos na sobrevivência em um mercado de grande concorrência.

2.7 Conforto e vestuário

O conforto é um dos mais importantes atributos da vida. O ser humano está permanentemente, consciente ou inconscientemente, procurando manter ou melhorar seu estado de conforto, físico ou psicológico, na escolha do curso de suas ações.

É reconhecida a dificuldade da descrição de um estado de conforto em contrapartida ao seu oposto, ou seja, de desconforto que pode ser descrito simplesmente com termos como áspero, irritante, apertado, frio, quente, úmido etc.

Durante os últimos anos muitos pesquisadores estão se dedicando ao estudo deste tema, mas até agora, não houve ninguém que definisse claramente o conforto, uma vez que esta percepção difere de pessoa a pessoa. Para Fourt e Azevinhos (1970) o conforto pode ser altamente influenciado por sensações táteis e térmicas de contato entre a pele e o ambiente.

Slater (1986) definiu o conforto como um estado agradável de harmonia fisiológica, psicológica e física entre o ser humano e o ambiente.

Uma expressão geralmente aceita define conforto como sendo um estado de harmonia física e mental com o meio ambiente, baseado na ausência de qualquer sensação de incômodo.

À primeira vista, conforto é uma questão puramente subjetiva e, na verdade, não existe um sistema que possa medi-lo diretamente. No entanto, em se tratando de artigos têxteis, conforto é um fenômeno que pode ser quantificado, medindo-se objetivamente as propriedades físicas dos tecidos e relacionando-as à avaliação subjetiva de especialistas.

Determinar a medida do conforto que um tecido proporciona é importante para a reprodutibilidade dessas características e para a produção de artigos que vão agradar o consumidor.

No vestuário, além do fator relacionado ao ajuste da confecção ao corpo, o conforto é determinado por três aspectos: físico, fisiológico e psicológico, que interagem em diferentes situações. O físico está relacionado às sensações provocadas pelo contato do tecido com a pele e do ajuste da confecção ao corpo e a seus movimentos. O fisiológico está ligado à interferência do vestuário nos mecanismos do metabolismo do corpo, em especial o termo regulador. O psicológico é função de fatores relacionados à estética, aparência, situação, meio social e cultural (Hatch, 1993).

Segundo Li (2001), no caso do conforto oferecido por um vestuário, alguns aspectos psicológicos e fisiológicos devem ser considerados:

- a) Termofisiológicos: manutenção de um estado confortável em relação à temperatura e umidade, envolvendo a transferência de calor e de umidade através do tecido.
- b) Sensoriais: relacionados às diversas sensações provocadas pelo contato do tecido com a pele.
- c) Estéticos: percepção subjetiva do vestuário que contribui para a sensação de bem estar do usuário, como cor, desenho, estilo etc.
- d) Caimento: ajuste ao corpo e não interferência na liberdade de movimentos.

A percepção subjetiva do conforto envolve processos complexos, nos quais um grande número de estímulos derivados do contato e da influência do vestuário e do meio ambiente são comunicados ao cérebro através de multi-canais de respostas sensoriais.

Estudos de mercado mostram que o consumidor atual considera o conforto como um dos mais importantes atributos de tomada de decisão na compra de uma peça de vestuário. Nessas circunstâncias existe uma necessidade urgente de compreender e definir, de uma forma científica, a percepção psicológica da sensação de conforto.

2.8 Características relacionadas aos artigos de vestuário

Segundo Hatch (1993), a qualidade de um artigo de vestuário pode ser avaliada por quatro itens principais: estética, conforto, durabilidade, facilidade de manutenção.

O conforto sendo um item qualitativo cada vez mais valorizado, a possibilidade de se efetuar medições que permitam avaliar o grau de conforto que um tecido ou artigo oferecerá ao usuário é uma valiosa ferramenta para o desenvolvimento de produtos, matérias prima, processos de acabamento, controle de qualidade e estudos de modernização, na previsão do comportamento ou performance dos mesmos.

O conforto sendo um fenômeno subjetivo, não pode ser diretamente quantificado, contudo as propriedades físicas dos tecidos podem ser objetivamente medidas por instrumentos e relacionadas com suas respectivas influencias nos aspectos físicos e fisiológicos do conforto.

2.8.1 Propriedades físico-mecânicas

Os tecidos são estruturas complexas, anisotrópicas, altamente deformáveis e que respondem de forma não linear às solicitações mecânicas a que são submetidas.

As principais características físico-mecânicas mensuráveis de um tecido e relacionadas aos aspectos físicos do conforto são o peso, espessura, elasticidade, flexibilidade e as características de superfície (Ukponmwan, 1993).

2.8.2 Propriedades de transferência de calor

A temperatura do corpo humano é um dos fatores mais críticos de influência para um estado de conforto e bem-estar, a qual depende do metabolismo natural e da atividade física.

A temperatura interna varia normalmente entre 35 a 37 °C, enquanto que a superfície da pele entre 32 a 35 °C, temperaturas estas mantidas em nível estável pelo sistema termo-regulador do corpo, controlado pelo hipotálamo. Temperaturas acima dos limites (hipertermia) ou abaixo (hipotermia) levam de um estado de desconforto até a morte nos casos extremos. O sistema termo-regulador deve manter os níveis adequados de temperatura, nas mais diversas condições de atividades físicas e de meio ambiente, sendo constituído dos mecanismos de controle do metabolismo, do fluxo sanguíneo na superfície da pele (vasco-constricção e vasco-dilatação), dos sistemas de transferência de calor e da transpiração. Este sistema natural de controle, contudo, não tem capacidade de manter um estado de conforto frente à grande diversidade de condições do meio ambiente, obrigando o homem a utilizar uma proteção auxiliar, na forma de vestuário (Hatch, 1993).

No que se refere ao conforto fisiológico, a principal função do vestuário é auxiliar o sistema termo-regulador do corpo, na manutenção de um balanço térmico adequado para a obtenção de um estado de conforto nas diversas condições de atividades físicas e de meio ambiente.

A figura 2.1 mostra o sistema térmico homem – vestuário – meio ambiente. A transferência de calor assim como a umidade gerada pela transpiração, são dois fatores de vital importância para o conforto térmico oferecido pelo uso de um vestuário. A transferência de calor da superfície da pele para o meio ambiente é efetuada por três processos básicos: convecção, condução e radiação, sendo os dois últimos os mais significativos considerando a relação corpo-vestuário. O processo de condução é influenciado pela condutividade térmica das fibras/filamentos, do ar e da espessura do tecido (Ukponmwan, 1993).

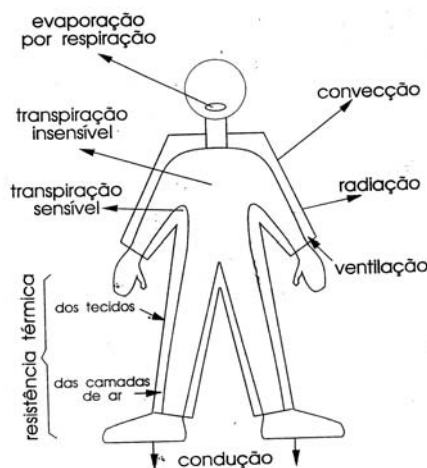


Figura 2.1: Sistema térmico: homem – vestuário – meio ambiente

O vestuário interfere no balanço entre o calor gerado e o dissipado principalmente pela formação de uma camada de ar entre a superfície externa do tecido e a pele, denominada de microclima (Saville, 1999).

Segundo Ukponwan (1993), a resistência térmica desta camada de ar é o fator de maior influência (50%) na capacidade de isolamento térmico do vestuário como mostra a figura 2.2, onde: I_c representa o isolamento térmico vestuário é resistência térmica do tecido mais a camada de ar que está entre o tecido e a pele e I_a o meio ambiente.

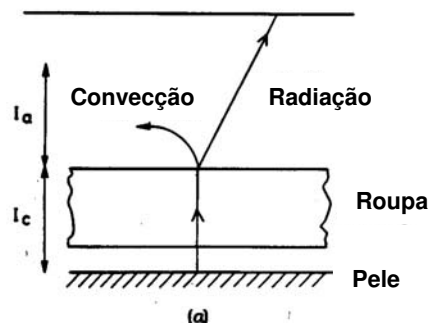


Figura 2.2: Representação esquemática do isolamento térmico provocado pelo vestuário
Adaptado de Ukponwan (1993)

A figura 2.3 mostra o esquema dos principais mecanismos de transferência de calor pelo tecido, onde:

1 – Radiação

S-S = Entre as superfícies

S-Y = Entre as superfícies e os filamentos

Y-S = Entre os filamentos e superfícies.

Y-Y = Entre os filamentos

2 – Condução

k_y = Pelos filamentos

k_a = Através do ar

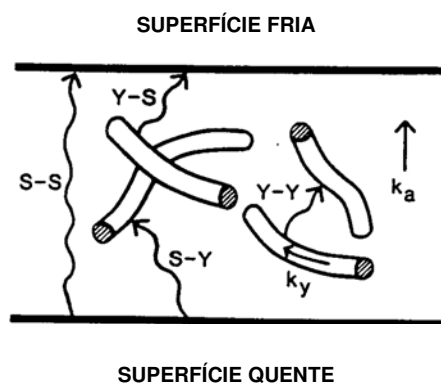


Figura 2.3: Representação dos principais mecanismos de transferência de calor pelo tecido
Adaptado de Ukponwan (1993)

Nos climas temperados e frios, a temperatura do corpo sendo mais alta que a do meio ambiente, o vestuário deve controlar a transferência de calor para impedir o resfriamento do corpo e a conseqüente sensação de desconforto, nas diferentes condições de atividade física e de ambiente.

A resistência térmica de um tecido é determinada pela estrutura do mesmo e de seus componentes, destacando-se o título, a torção e pilosidade dos fios, finura, crimp e secção dos filamentos, densidade e espessura do tecido, sendo estas duas últimas consideradas as de maior importância na formação do microclima, admitindo-se a existência de uma relação linear entre a espessura e a resistência térmica do tecido (NT Nuovi Tessili, 2006).

O processo de acabamento e os produtos aplicados podem influir na resistência térmica de um tecido, sendo que a natureza da matéria prima dos componentes tem uma influência relativamente reduzida.

Uma propriedade importante de um tecido quanto à característica térmica é a sensação de frio ou quente ao toque. No instante de se vestir um artigo, normalmente a temperatura do tecido é inferior à do corpo, havendo portanto uma transferência momentânea de calor, até que as temperaturas das superfícies em contato se equilibrem. Quanto mais rápido for este processo maior a sensação instantânea de frio (Ukponmwan, 1993).

Denominada de absorção térmica, esta propriedade é definida como a quantidade de calor absorvida pelo tecido, num determinado decurso de tempo, quando sua superfície entra em contato com outra de temperatura mais elevada (Hatch, 1993).

Esta medida avalia a sensação térmica obtida no primeiro instante do contato da pele com o tecido, sendo que quanto mais elevado o valor de “b”, maior a sensação de frio do toque. Esta característica é significativamente influenciada pela estrutura da superfície do tecido.

Comparando, por exemplo, um tecido liso de algodão, com o mesmo tecido flanelado, este último terá um toque inicialmente menos frio, pois a área de contato com a pele é menor, exigindo mais tempo de transição de calor.

2.8.3 *Propriedades de transferência de umidade*

A transpiração é o mecanismo mais eficaz do corpo para eliminação do calor, quando os mecanismos de transferência citados anteriormente não forem capazes de manter a temperatura da pele nos níveis normais (a evaporação de 1g de água a 35°C absorve cerca de 578 cal).

A evaporação da umidade deve ocorrer de forma rápida e contínua, denominada de “transpiração insensível”, na forma de vapor de água, pois a condensação da mesma em fase líquida sobre a pele, causa sensação de desconforto.

O corpo humano elimina em condições normais cerca de 600 a 700 ml/dia de água pela transpiração insensível.

Portanto a resistência oferecida pelo tecido à passagem do vapor de água deve ser a menor possível, em qualquer situação de atividade física ou condição de meio ambiente.

2.8.4 *Tecido – Vestuário – Microclima*

Os dois principais mecanismos de transferência da umidade pelo tecido são a difusão do vapor pelos espaços vazios internos do mesmo e pela absorção e desabsorção da fase líquida pelas fibras componentes.

O tecido deve absorver e transferir de forma rápida e contínua a umidade da superfície da pele para a superfície externa do tecido, para sua dispersão no meio ambiente.

Hong et al (1988) apresenta o sistema de transmissão da umidade pelo sistema pele, microclima e tecido, conforme pode ser visto na figura 2.4, onde:

C é a concentração de umidade

C_s é a concentração de umidade na camada de ar próxima à superfície da pele

C_m é a concentração de umidade no microclima

C_i é a concentração de umidade na camada próxima à superfície interna do tecido

C_b é a concentração de umidade na camada de ar dos espaços internos do tecido

C_o é a concentração de umidade na camada próxima à superfície externa do tecido

C_e é a umidade do meio ambiente

q é a taxa de transmissão de umidade (fase de vapor)

q_s é o fluxo de transpiração da pele

q_a é o fluxo pelos espaços abertos (maiores) do tecido.

q_f é o fluxo pelos espaços entre as fibras ou filamentos

q_{Δ} é o fluxo para o meio ambiente

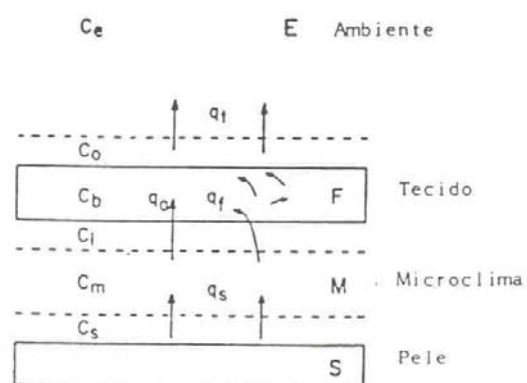


Figura 2.4: Representação da transmissão de umidade pelo sistema pele – microclima – tecido

Adaptado de Hong et al (1988)

Para efeito da manutenção de um estado de conforto, a condensação da umidade e sua retenção pelo tecido devem ser evitadas, pois provocam efeitos como a diminuição da quantidade de ar retida no tecido, reduzindo, portanto sua capacidade de isolamento térmico (a água possui uma condutividade térmica 25 vezes maior que a do ar), resultando em sensação de frio, aderência do tecido à pele e aumento do peso, provocados pela absorção e retenção de umidade no caso de fibras de elevada capacidade de absorção, efeitos que conduzem a uma sensação de desconforto (Farnworth, 1990).

As fibras celulósicas, como o algodão por exemplo, além do aumento de peso, apresentam entumescimento pela absorção de umidade, o que provoca redução da porosidade do tecido.

A porosidade do tecido é o fator de maior influência na propriedade de permeabilidade ao vapor de água.

Uma condição favorável é obtida quando a transferência de umidade é efetuada predominantemente pelos processos de capilaridade e absorção. As estruturas de construção do fio e do tecido, assim como o caimento e ajuste da confecção, são fatores relevantes a serem considerados.

Assim, as transferências de calor e de umidade são propriedades que têm grande influência no conforto e, que, por sua vez, são afetadas pela espessura do tecido e pela quantidade de ar mantida no chamado microclima. Portanto, para o bem-estar do usuário, em qualquer situação, seja em repouso ou em atividade física, o tecido deve evitar a retenção de calor, de resfriamento, de umidade e a adesão à pele. Ao contrário, são essenciais a adequada velocidade de transporte e transferência de umidade para o ambiente, a manutenção do isolamento térmico e a manutenção do microclima.

2.9 Produto

Para produto existem diversas definições, porém todas elas levam a concluir que produto é mais que um objeto tangível que desempenha funções específicas e que, para ser construído, necessita de meios de produção e matérias primas. Todas as definições são mais abrangentes e levam a concluir que produto trata-se também de satisfações físicas e psicológicas proporcionadas ao comprador.

Segundo Juran (1997), não existe uma padronização da nomenclatura associada ao desenvolvimento de produtos, ele utiliza a palavra produto, como o resultado final de qualquer processo.

Para Kotler e Armstrong (1999), produto é qualquer coisa que possa ser oferecida a um mercado para atenção, aquisição, uso ou consumo, e que possa satisfazer a um desejo ou

necessidade. Os produtos vão além de bens tangíveis. De forma mais ampla, os produtos incluem objetos físicos, serviços, pessoas, locais, organizações, idéias ou combinações desses elementos.

Segundo Deming (1990), projeto adequado não significa apenas atenção à cor, a um grau adequado de uniformidade, com melhor qualidade, mas também o resultado final com custo mais baixo e melhora da posição na concorrência, orientado pela pesquisa de mercado.

Para Campos (1992), um produto ou serviço de qualidade é aquele que atende perfeitamente, de forma confiável, de forma acessível, de forma segura e no tempo certo às necessidades do cliente.

Kotler e Armstrong (1999) divide os produtos em três níveis:

- a) Produto básico: é aquele que corresponde ao que o consumidor está realmente interessado em comprar.
- b) Produto real: é gerado a partir do produto básico, com cinco peculiaridades: nível de qualidade, características, design, marca e embalagem.
- c) Produto ampliado: é fruto da união do produto básico com o produto real, com a oferta de serviços e benefícios extras ao consumidor.

Segundo o IEMI (1997), o mercado dos produtos de vestuário é dividido em dois segmentos: no segmento de produtos básicos, os preços dos produtos são baixos e a distribuição é extensiva, já que a produção trabalha somente com grandes lotes de produtos. Enquanto no segmento de produtos de moda, os lotes de produção são pequenos, os preços dos produtos são considerados altos e a distribuição é seletiva, apenas em grandes centros urbanos e em canais especializados.

Pode-se definir um produto de moda como qualquer elemento ou serviço que conjugue as propriedades de criação, qualidade, versatilidade, aparência e preço a partir das vontades e anseios do segmento de mercado ao qual o produto se destina.

2.10 Desenvolvimento de produto

Segundo Juran (1997), o desenvolvimento de produtos consiste em vários estágios sucessivos de um processo, partindo do conceito (idéia) até o cliente, com a finalidade de desenvolver produtos com características que atendam às necessidades dos clientes. Embora afirme que a terminologia não está padronizada, utiliza a definição de desenvolvimento de produto como sendo o processo experimental de escolha das características dos mesmos que correspondem às necessidades dos clientes.

Gurgel (1995) define o desenvolvimento de projeto de produtos como uma sucessão estruturada de trabalhos em que cada etapa fornece as informações para o trabalho da etapa posterior. O processo de desenvolvimento de produtos decorre de uma alternância entre passos de trabalho e decisão e pode ser entendido como uma transformação de informações. Cada passo determina o prosseguimento do processo ou uma repetição do passo de trabalho anterior com um nível de informação maior, com o objetivo de obter melhores resultados.

Segundo Slack et al (2002), o objetivo do projeto de produtos é a satisfação das necessidades e expectativas atuais e futuras dos consumidores. Assim, considera-se o consumidor como início e o fim do projeto de produto. Os principais pontos do projeto são: (a) satisfazer as necessidades dos consumidores; (b) aplica-se tanto a produtos como a processos; (c) é um processo de transformação; (d) inicia com um conceito e termina na tradução desse conceito em uma especificação de algo que possa ser produzido.

Segundo Moltani (2005), nos têxteis de vestuário vem crescendo o processo de inovação que está levando a um enriquecimento contínuo das propriedades funcionais dos tecidos para confecção. Os resultados já podem ser bem visíveis em setores do vestuário como o esportivo, onde o conforto e a performance devem caminhar juntos. Já a escolha da matéria prima é o parâmetro fundamental que permite mudanças no design de produto e no design ambiental.

No desenvolvimento de novos produtos ou no lançamento de novas linhas de produtos, a empresa deve voltar-se incisivamente para a captação dos desejos e das necessidades dos consumidores, são estes anseios (condicionados pelos objetivos gerais da empresa), a

disponibilidade de materiais e o uso efetivo de recursos que orientam o processo de criação de moda.

Duas questões devem permear o projeto do produto de moda quando se pensa em criar uma nova coleção: a análise do produto quanto à sua elaboração e quanto à sua adequação. Ao analisar um produto quanto à sua elaboração, deve-se considerar três pontos importantes. O primeiro é o objeto de inspiração. Sem um ponto de partida, uma idéia, um estímulo, o estilista não terá condições de desenhar e configurar nenhuma coleção. Um segundo ponto é a contemporaneidade da forma, a atualidade é o principal aspecto a ser considerado no produto. A estética é outro aspecto a ser considerado, a noção do belo quanto ao estilo, forma, cores, estampas e aviamentos.

Na análise do produto quanto à adequação, deve-se considerar a funcionalidade e os aspectos comercial e cultural do produto. Uma coleção de moda deve preconizar a praticidade e a funcionalidade das roupas. Os produtos da moda devem ser desenvolvidos com o objetivo de garantir conforto, de possibilitar movimentos e de se adequar ao local onde deve ser usado. A criação de moda não pode omitir o seu lado comercial. Para isto é necessário uma previsão de custos por peça e por coleção, compatíveis com o que o mercado pode assimilar. Outro ponto a ser avaliado é a adequação cultural do produto. A origem étnica e costumes determinam e influem diretamente na escolha da cor e do estilo.

2.10.1 Desenvolvimento do produto de vestuário

Segundo Rigueiral (2002), cada vez mais, a conscientização da importância “estética” está norteando o desenvolvimento de produtos em todas as áreas. O fenômeno de necessidades de lançamentos por parte do consumidor se repete em quase todas as áreas da indústria e com maior frequência na moda, que chega a ultrapassar inclusive os dois tradicionais lançamentos de coleções anuais (inverno e verão). Esse interesse se explica por uma grande exposição e exploração dos assuntos relacionados à Moda em todos os meios de comunicação. Na verdade, a procura pelo novo é tão afoita, e a concorrência entre as indústrias de confecção é tão acirrada, que este fator acaba gerando uma quantidade de “novas tendências antecipadas” que tentam preencher as necessidades do mercado consumidor.

Existem vários mecanismos e fórmulas na literatura que propõem como desenvolver e montar uma coleção (Rigueiral 2002). Estas fórmulas têm variações sutis que usam basicamente, como principal parâmetro, estudos de tendências feitos por empresas nacionais e internacionais especializadas em moda. Atualmente existem outras fontes de pesquisa que podem ser utilizadas para complementar as informações destas empresas especializadas em tendência. Como exemplo, pode-se citar: livrarias, bibliotecas, publicações de moda, sites especializados, entre outros.

Este processo pode ser dividido em duas etapas bem distintas:

- em um primeiro momento, os gerentes de produtos – as pessoas responsáveis em especificar cada novo produto – trabalham com estudos mercadológicos fornecidos por *bureaux* especializados (escritórios de tendências) e estudos climáticos por região – principalmente quando se está definindo coleções de inverno. Com estas informações os artigos que foram previamente esboçados serão prototipados e posteriormente escolhidos por uma comissão para especificar quais destes têm mais apelo mercadológico.
- em um segundo momento, define-se qual será a primeira previsão de venda para os produtos. Para esta tarefa são reunidos os gerentes de produtos e a pessoa que faz a ponte com o setor produtivo. Como parâmetros para esta decisão, são usadas informações históricas de vendas de produtos similares, tendências de vendas baseadas em amostragens colhidas entre clientes pela força de vendas, dados de franquias, características do produto – tipo de produto, público alvo a que se destina e o feeling dos gerentes de produto.

No caso específico das confecções, o produto de moda é aquele que foi projetado para um determinado público consumidor conforme o seu estilo de vida, inspirado nas tendências de moda da estação; com fibras, fios e acabamentos desenvolvidos tecnologicamente. O conforto e a durabilidade quanto ao uso e lavagens são primordiais. Uma modelagem perfeita para o corpo do consumidor; acessórios adequados, etiquetas decorativas e explicativas (contendo a composição do material têxtil e instruções de lavagens), embalagem correta para o tipo de produto, aliados a um preço compatível no mercado são fundamentais. Complementando, um produto de moda deve ter qualidade de criação e de produção.

2.11 Qualidade do produto

A qualidade de um produto deve ser executada a partir do seu projeto. Faz-se necessário portanto, o conhecimento das necessidades e preferências dos clientes antes da execução do projeto.

Segundo Oakland (1994), qualidade é simplesmente o atendimento das exigências do cliente e isso tem sido expresso de muitas maneiras por outros autores:

- adequação à finalidade ou uso – Juran.
- a totalidade dos aspectos e características de um produto ou serviço são importantes para que ele possa satisfazer às necessidades exigidas ou implícitas – BS – 4778, 1987 (ISO 8402,1986) – Vocabulário da Qualidade: Parte I – Termos Internacionais.
- a qualidade deve ter como objetivo as necessidades do usuário, presentes e futuras – Deming.
- o total das características de um produto e de um serviço referentes a marketing, engenharia, manufatura e manutenção, pelas quais o produto ou serviço, quando em uso, atenderá às expectativas do cliente – Feigenbaum.
- conformidade com as exigências – Crosby.

Segundo Carvalho et al (2005), Taguchi define a qualidade como sendo a diminuição das perdas geradas por um produto, desde a produção até seu uso pelos clientes.

Qualidade é um termo utilizado cotidianamente, mas, se for perguntado a diversas pessoas o significado deste termo, dificilmente chegar-se-á a um consenso. Garvin (1992), após pesquisar várias definições de qualidade coletadas no ambiente corporativo e na literatura, definiu cinco abordagens da qualidade:

- a) A abordagem transcendental considera que é possível reconhecer a qualidade de um produto, embora não tenham sido feitas maiores análises a respeito dela. Assim como

atributos físicos ou estéticos de um ser humano, a qualidade, segundo esta abordagem, seria primitivamente definida, ou seja, é apenas observável, mas não pode ser descrita.

- b) A abordagem centrada no produto entende qualidade como uma variável passível de medição e até mesmo precisa. Melhor qualidade seria maior número de melhores características que um produto apresenta. Nesta abordagem é possível avaliar a qualidade de um produto sem o uso de opiniões, preferências, pontos de vistas e outras formas subjetivas, pois existe um modelo de avaliação da qualidade baseado em padrões objetivos com unidades de medidas que integram uma escala contínua e bem definida.
- c) A abordagem centrada no valor agrega qualidade aos custos de produção e considera que um produto é de boa qualidade se apresentar alto grau de conformação a um custo aceitável. Como consequência, o produto pode ser vendido a um preço razoável, que, no final, é o que interessa. Assim, um produto apresenta qualidade se oferecer melhor desempenho a um preço aceitável.
- d) A abordagem centrada na fabricação fixa-se no esforço feito, pela fábrica, para produzir um item em completo acordo com suas especificações básicas, determinadas em nível de projeto. Assim, se o processo de fabricação não pode desenvolver um produto conforme suas especificações, automaticamente a qualidade estará comprometida. A idéia de excelência, aqui, pode ser entendida como produzir, logo no primeiro esforço, um produto que atenda plenamente às suas especificações.
- e) A abordagem centrada no usuário se fixa no usuário como fonte de toda a avaliação sobre a qualidade de um produto. Segundo ela, ninguém pode pensar em qualidade se não se fixar, primeiro, no que o consumidor quer ou deseja e, a partir daí, procurar desenvolver um produto que o atenda. Desta forma, portanto, a qualidade de um produto fica condicionada ao grau com que ela atende às necessidades e conveniências do consumidor.

O fato de existirem diversas abordagens e, por decorrência, muitos conceitos de qualidade, não constitui entrave à sua compreensão, embora possa causar alguns conflitos quando de sua aplicação prática. Segundo Carvalho et al (2005), os conflitos são minimizados se a questão for

analisada globalmente e utilizados enfoques diferentes nas várias fases, desde o projeto até a expedição.

Slack et al (2002) define as características de qualidade de um produto como sendo:

- a) Funcionalidade: significa o quão bem o produto ou serviço faz o trabalho para o qual foi destinado. Isso inclui seu desempenho e suas características.

Um dos maiores exemplos de sucesso da produção têxtil ao longo dos anos é o jeans. A corrida de mineradores para o oeste norte-americano no século XIX, em busca de ouro, levou o comerciante Levi Strauss a abrir uma loja de tecidos nas proximidades onde havia mineração, com o intuito de vender lona para os mineradores cobrirem suas barracas e carroças. O insucesso de seu empreendimento, pois o tecido não era resistente o bastante para a finalidade a que se propunha, fez que Strauss encontrasse outra utilidade para seu material. Ao observar que os mineradores gastavam muito com calças pouco resistentes ao trabalho árduo da mineração, eis que lhe surgiu a brilhante idéia de fabricar calças específicas para este fim, a partir da lona. Surgiu assim a calça jeans, em 1850 (O'Hara, 1992).

- b) Aparência: refere-se às características sensoriais do produto ou serviço: seu apelo estético, visual, sensorial sonoro e olfativo.

Tecidos de vestimenta, em contato direto com a pele, são contaminados rapidamente por suor, substâncias graxas e outras secreções, devido aos esforços físicos. Juntamente com o calor do corpo humano e a umidade, essas substâncias proporcionam condições ideais para o crescimento rápido de bactérias e fungos, por exemplo, micose. O mau cheiro é gerado, entre outras causas, pela transformação do suor corporal, em ácidos carbônicos, aldeídos e aminas, substâncias de odores fortes. Frequentemente, os artigos têxteis infestados por microrganismos, sofrem descoloração, bem como a perda de propriedades funcionais, como por exemplo, elasticidade ou resistência à ruptura. Para roupa de esporte ou vestuário de lazer, uma proteção eficiente contra micróbios não representa apenas uma função complementar sensata, mas sim uma necessidade. Esta proteção é aplicada ao tecido em forma de acabamento posterior e é conhecida como tratamento antibacteriano (Mariano, 2000).

- c) Confiabilidade: é a probabilidade de um sistema ou item desempenhar satisfatoriamente a função requerida, sob condições de operação estabelecidas, por um período de tempo predeterminado.

Para Broega e Silva (2004), a moda e os novos mercados exigem cada vez mais que os produtos respondam às exigências dos consumidores, que passam pelo conforto dos têxteis e dos confeccionados. Esta tendência, em conjunto com a procura de tecidos cada vez mais leves e “soltos”, tem influenciado de forma significativa a evolução recente da indústria têxtil e do vestuário. O tecido tradicional, para vestuário, sofreu um redimensionamento, provavelmente irreversível, o que torna necessárias intervenções nas tecnologias existentes, particularmente na fiação, acabamentos e confecção, baseados em conceitos inovadores de controle dos processos. Como consequência desta evolução, o conceito de qualidade vem tornando-se mais abrangente. Para além do desempenho técnico dos materiais, caracterizados por propriedades como a resistência, a solidez ao tinto, a durabilidade; a qualidade engloba também parâmetros como o “toque”, o conforto fisiológico, a constância da aparência das peças durante o uso, etc.

- d) Durabilidade: significa a vida útil total do produto ou serviço, supondo ocasionais reparos e modificações.

Um artigo têxtil é considerado útil enquanto serve para a finalidade proposta. Após um período de uso, ele sofre desgastes e já não satisfaz o consumidor da mesma forma de quando era novo. Os fatores que determinam a vida útil de um artigo têxtil estão profundamente relacionados à sua utilização. No caso de uma peça de vestuário o aspecto visual é muito importante. Ela será descartada quando sua aparência mudar, seja pelo desbotamento, pela deterioração do aspecto de superfície, pelo caimento, ou, mesmo quando se tornar fora de moda (Gresta et al, 2003).

- e) Recuperação: significa a facilidade com que os problemas do produto ou serviço podem ser retificados ou resolvidos.

Segundo Vogelsanger e Ferraro (1999), a espiralidade pode ser definida como a condição do tecido em que as carreiras e as colunas são desviadas de sua perpendicularidade, e podem ser expressos em porcentagem ou em ângulo. Quando o tecido de malha é desenrolado e preparado

para os processos de acabamento, sofre um enviesamento das colunas. Isto é provocado pelo relaxamento da torção do fio e do estresse causado durante o tecimento da malha. Para se obter uma peça de vestuário confeccionada a partir de meia malha de algodão, que não sofra um enviesamento após a primeira lavagem, ou mesmo durante o uso, é necessário que a tinturaria conheça, através de ensaios prévios, o ângulo de total relaxamento das colunas de malha do tecido, a fim de fornecer ao confeccionista o tecido com as colunas nesta inclinação.

- f) Contato: refere-se à natureza do contato pessoa a pessoa que pode acontecer. Por exemplo, poderia incluir a cortesia, a empatia, a sensibilidade e o conhecimento do pessoal de contato.

Ao comprar produtos heterogêneos como roupas e móveis, os consumidores geralmente consideram as características do produto mais importantes do que o seu preço. Quem pretende comprar um terno novo presta mais atenção ao corte, caimento e aparência do terno do que em pequenas diferenças de preço. Portanto, quem trabalha com estes tipos de produtos deve ter um grande sortimento de artigos para satisfazer aos gostos variados, e vendedores bem treinados para informar e aconselhar o consumidor (Kotler, 1999).

Portanto, pode-se dizer que as características que determinam a qualidade de um produto de vestuário começam com a seleção das matérias-primas (fibras, fios e tecidos), passando pelas fases de criação, desenvolvimento, confecção e acabamento.

2.12 Considerações finais

O capítulo 2 apresentou os segmentos que compõem a cadeia têxtil, as principais propriedades dos têxteis de vestuário, conceitos de produto, qualidade e desenvolvimento desses produtos.

Capítulo 3

Materiais e Métodos

Este capítulo apresenta um breve histórico sobre a origem dos tecidos: fibras de algodão, de poliéster e de poliamida. Conceitua a técnica de texturização a ar e as principais características dos tecidos de malha. Descreve como é realizado o desenvolvimento de novos produtos nas malharias e apresenta um novo procedimento para o desenvolvimento dos tecidos, baseado em planejamento de experimentos.

3.1 Materiais

Foram produzidos tecidos de malha utilizando-se fios 19,7x1tex 100% algodão, 160dtex f144 poliamida texturado ao ar e 201dtex f144 poliéster texturado ao ar.

Os fios de algodão foram escolhidos porque são produzidos a partir de fibras celulósicas (naturais) que são macias e absorventes, permitindo a produção de artigos confortáveis. Os fios de poliamida e de poliéster texturados ao ar foram escolhidos, pois foram desenvolvidos visando à obtenção de artigos de filamentos contínuos com aspecto e toque de fibra natural.

3.1.1 Algodão

A maioria das fontes indica que a mais importante das fibras têxteis seja originária da Índia. Quanto à sua disseminação e datas existem, contudo, controvérsias. Textos chineses datados de 2.200a.C fazem referência a tecidos de algodão. No Egito, onde se desenvolveram as espécies

produtoras de fibras mais longas, existem evidências de sua utilização antes do linho. No museu têxtil de Lyon (França) encontram-se tecidos muito finos de algodão, que envolviam múmias da XVIII dinastia (1570 a.C).

As expedições de Alexandre Magno (356-326 a.C) levaram a fibra para a Grécia e a ocupação árabe da Europa entre os séc. IX e X introduziu a fibra na Espanha (Valencia) e na Itália (Sicília), com sementes provenientes da Síria. As campanhas das cruzadas entre os séc. XI e XIII auxiliaram na disseminação da fibra pelo continente europeu.

Na América, o cultivo teve início no México e Peru, onde Cristovão Colombo encontrou vastas plantações. Na América do Norte, o cultivo teve início no sec XVII, onde teve grande impulso pelo desenvolvimento da máquina de descaroçamento do algodão, criada em 1791 por Eli Whitney na Georgia, o que liberou a mão de obra escrava para a expansão da agricultura. Em 1871 foi criada a primeira bolsa para o comércio de algodão em New Orleans. Devido a suas excepcionais características, permitindo seu emprego numa vasta gama de aplicações, o algodão no final do sec. XIX já dominava por completo o mercado têxtil mundial, com uma participação de 80%.

Com o desenvolvimento das fibras químicas, a participação do algodão vem decrescendo, mas ainda continua majoritária, atualmente em torno de 60% no mercado de vestuário. A figura 3.1 apresenta um fluxograma para sua obtenção em pluma

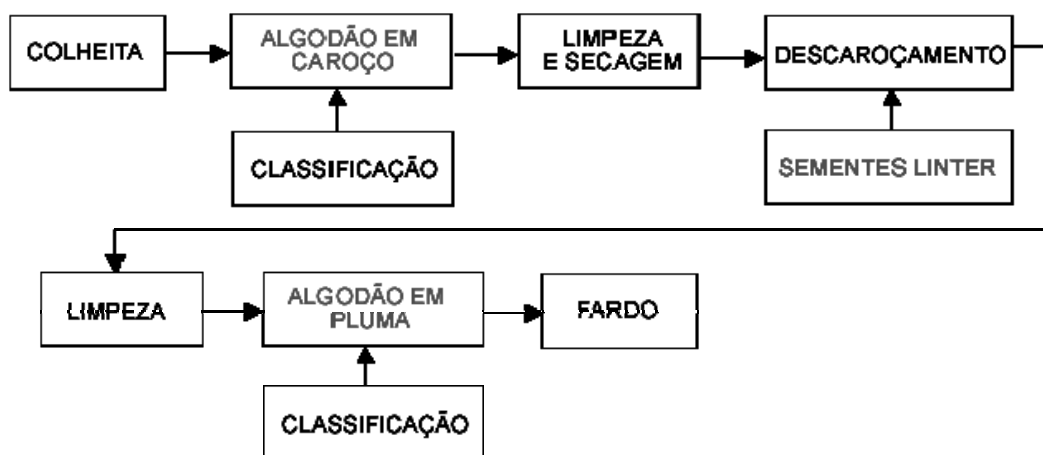


Figura 3.1: Fluxo de obtenção da fibra

3.1.2 Poliamida

Para suprir a necessidade de fibras têxteis resistentes e baratas, surgiram as fibras sintéticas, que são polímeros artificiais, moldados na forma de fios, com os quais se fabricam os tecidos.

O desenvolvimento da poliamida 6.6. remonta a 1927, com a implantação pela empresa norte americana, E. I. Du Pont de Nemours de um programa de pesquisa em química orgânica para o desenvolvimento de processos e produtos químicos. Em 1928 o Dr. Wallace Hume Carothers, da Universidade de Harvard, assume a direção das pesquisas, sendo que em 1929, o objetivo dos trabalhos estava direcionado para obtenção de novas fibras para aplicação têxtil no desenvolvimento de polímeros por policondensação (Kadolph e Langford, 1998).

O primeiro processo de síntese de um polímero a partir da hexametilenodiamina e do ácido adípico, foi efetuado em 28 de fevereiro de 1935 e denominado inicialmente de polímero 6.6.

Em 1938 foram iniciados os testes para produção industrial em uma unidade da Du Pont em Seaford, Delaware e em 1940 o fio denominado de nylon foi lançado comercialmente na produção de meias femininas (Araújo e Castro, 1987).

A poliamida 6.6 é derivada da policondensação do ácido adípico com hexametilenodiamina. Na figura 3.2 é apresentado um fluxograma para a obtenção da poliamida 6.6 (Demir, 1997).

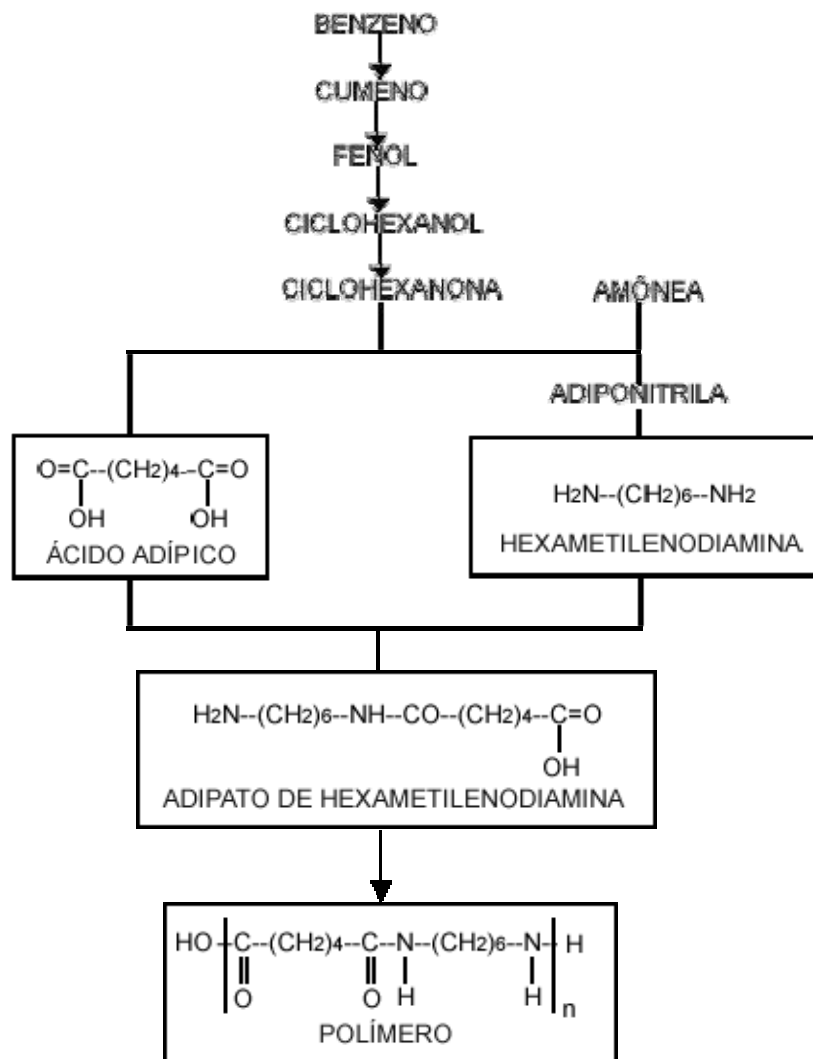


Figura 3.2: Fluxo de obtenção da fibra

3.1.3 Poliéster

Wallace Hume Carothers, pesquisador norte americano que desenvolveu em 1935 a poliamida 6.6, também efetuou estudos sobre polímeros de poliéster, mas com resultados insatisfatórios, pois os produtos obtidos apresentavam baixa resistência à hidrólise e baixo ponto de fusão, impossibilitando a aplicação como fibra têxtil.

Trabalhando nos laboratórios de Calico Printers Association na Inglaterra, em 1940, dois químicos ingleses, James Dickson e John Whinfield, retomaram as pesquisas iniciadas por Carothers e alcançaram êxito com o tereftalato de polietileno, polímero poliéster que pelas suas excelentes propriedades, originou uma das mais importantes fibras sintéticas já desenvolvidas (Araújo e Castro, 1987).

Em 1950, a empresa inglesa ICI lançou comercialmente a fibra com a marca Terilene, seguida nos Estados Unidos pela Du Pont com a fibra Dacron.

O poliéster é derivado do ácido tereftálico puro, substância cristalina na forma de um pó cor branca, pouco solúvel em água e do etileno glicol, líquido viscoso, incolor, com ponto de ebulição a 198°C. Na figura 3.3 é apresentado um fluxograma para a obtenção do poliéster (Demir, 1997) .

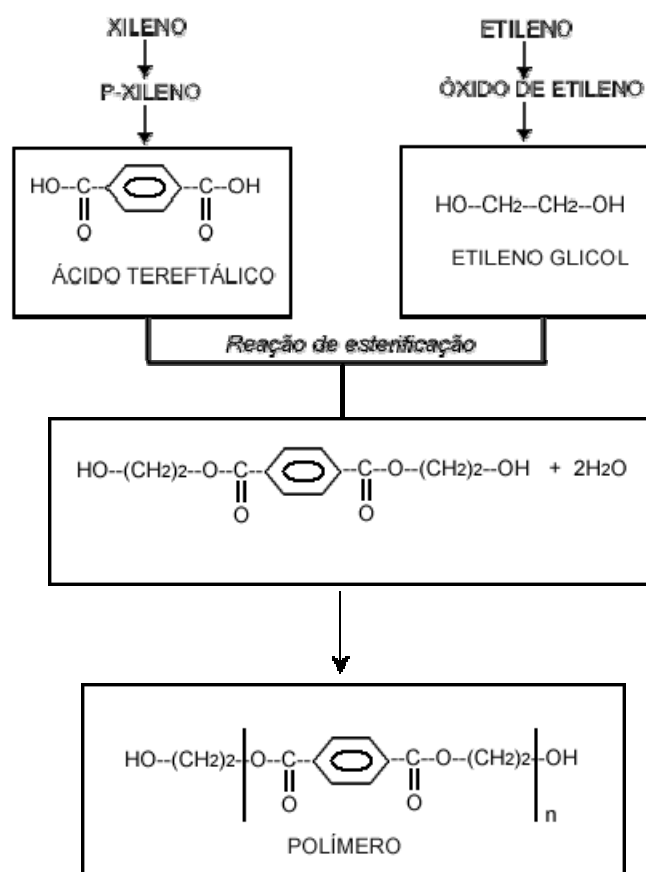


Figura 3.3: Fluxo de obtenção da fibra

3.1.4 Texturização a ar

A técnica de texturização a ar começou a ser desenvolvida em 1950, visando produzir com fios de filamentos, fios de aspecto e toque parecidos aos fios fiados de algodão. Com o passar do tempo e a evolução tecnológica, muitos outros tipos de produtos puderam ser feitos com a técnica e hoje este processo é um dos mais versáteis e apreciados para atender tanto os requisitos de moda e estilo, como para atender aplicações técnicas e industriais.

A técnica consiste basicamente em submeter filamentos a um fluxo de ar que leva a um turbilhonamento destes filamentos e cria laços, loops, bouclets de pequenas dimensões e muito próximos, de modo que a olho nu e a certa distância tem-se a impressão de observar a textura de um fio fiado, que é formada pelas ondas da torção e pela pilosidade do fio.

A figura 3.4 mostra a parte central do dispositivo de texturização, que é denominado jet ou núcleo. Os filamentos recebem na parte central do Jet um fluxo de ar contínuo sob pressão. Os filamentos sobre-alimentados, transformam os excessos de comprimento em loops e laços aleatórios ao longo dos eixos dos filamentos (Hearle, 2001).

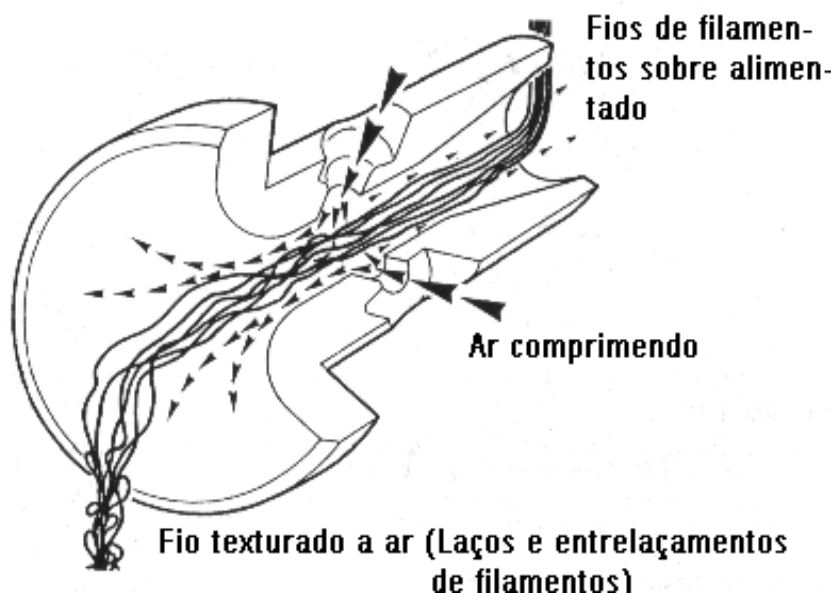


Figura 3.4: Processo de texturização

A figura 3.5 mostra a representação esquemática do fio texturizado a ar



Figura 3.5: Fio texturizado a ar

3.1.5 *Tecido de Malha*

Tricotar é a arte de construir tecidos utilizando agulhas, entrelaçando os fios em diversas séries de laçadas (malhas), que se ligam umas as outras (Spencer, 2001).

A estrutura e a geometria dos artigos de malha diferenciam-se substancialmente dos tecidos de tecelagem, pois esses são obtidos pelo cruzamento de dois grupos de fios: urdume (sentido do comprimento) e trama (sentido da largura). Como pode ser visto na figura 3.5.

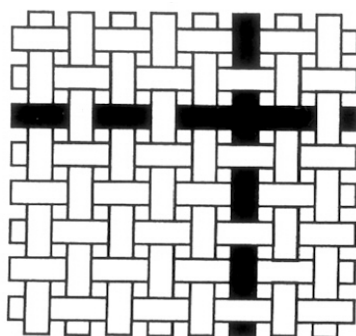


Figura 3.5: Tecido Plano

Os pontos de ligação são rígidos, não permitindo que os fios deslizem uns sobre os outros quando o tecido é tencionado.

Na malha, ao contrário, o fio assume a forma de uma laçada (malha), passando por dentro de outras laçadas e assim sucessivamente. Os pontos de ligação são móveis, uma vez que essas laçadas podem deslizar umas sobre as outras quando o tecido é tencionado, conforme representado na figura 3.6.

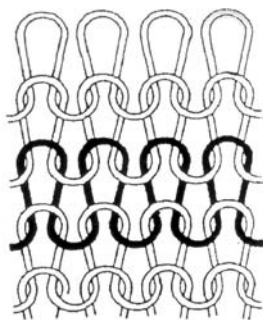


Figura 3.6: Tecido de malha (trama)

Dentro da malharia, existem duas maneiras dessas laçadas (malhas) serem formadas e de se ligarem, formando o tecido. Desses dois processos resulta a Malharia de Trama (figura 3.7) e a de Urdume (figura 3.8).

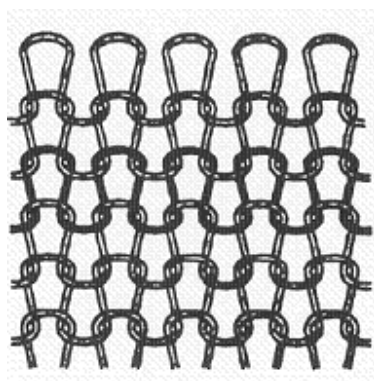


Figura 3.7: Malharia de trama

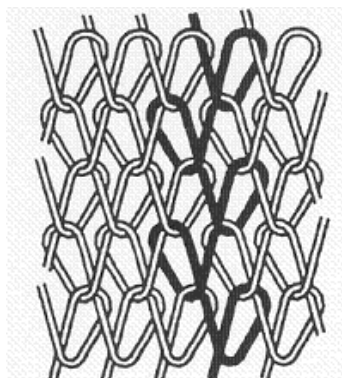


Figura 3.8: Malharia de urdume

Segundo Tremelloni e Ceriani (1982), as principais diferenças entre esses dois sistemas são:

Na malharia de trama: um mesmo fio alimenta todas as agulhas, formando as malhas no sentido da largura; o movimento das agulhas é individual, assim as malhas são formadas sucessivamente; a agulha pega o fio; a largura do tricô é determinada pelo número de agulhas em trabalho; as malhas vizinhas são formadas pelo mesmo fio ou grupo de fios; os artigos são desmalháveis, ou seja, uma vez tricotados podem ser facilmente desmanchados e as malhas possuem pouca estabilidade dimensional, deformando-se com relativa facilidade. A movimentação das agulhas na malharia de trama está representada na figura 3.9.

Na malharia de urdume: cada agulha é alimentada por um fio diferente, formando as malhas no sentido do comprimento; o movimento das agulhas é coletivo, assim as laçadas são formadas simultaneamente; cada agulha é alimentada por um ou mais fios; o fio é passado na agulha; a largura é determinada pelo número de fios de urdume em trabalho; as malhas vizinhas são formadas por fios diferentes; os artigos são na sua maioria indesmalháveis, isto é, uma vez tricotados não podem ser desmanchados; as malhas possuem grande estabilidade dimensional, não se deformando facilmente. A movimentação das agulhas na malharia de urdume está representada na figura 3.10.

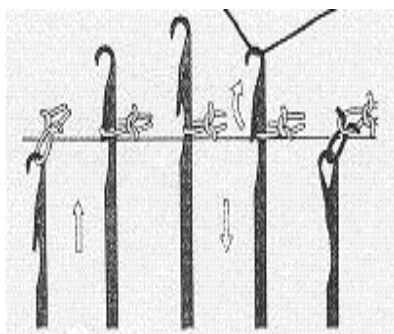


Figura 3.9: Formação da malha de trama

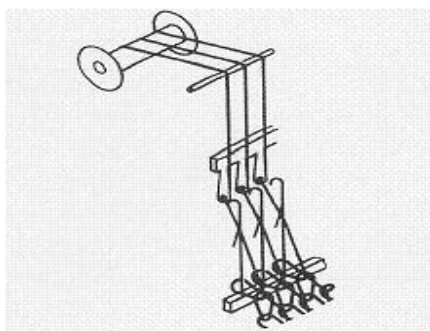


Figura 3.10: Formação da malha de urdume

3.1.6 Características dos tecidos de malha de trama

Os artigos produzidos na Malharia de trama podem ser obtidos a partir de um único fio que faz evoluções em diversas agulhas formando uma carreira de sucessivas laçadas que irão se entrelaçar com laçadas da carreira seguinte. Essas laçadas, conforme figura 3.11, de formato senoidal sustentam-se entre si e são livres para se mover umas sobre as outras quando submetidas à tensão, seja no sentido da largura, figura 3.12, seja no sentido do comprimento do artigo, figura 3.13.

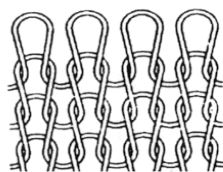


Figura 3.11: Malha normal



Figura 3.12: Malha tensionada no sentido transversal

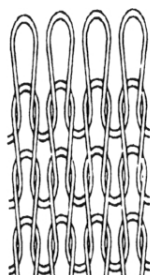


Figura 3.13: Malha tensionada no sentido longitudinal

Segundo Cestare (2005), devido à estrutura da laçada, os tecidos de malha possuem as seguintes características:

- a) Flexibilidade ou capacidade de modelagem – muito grande. As malhas se adaptam às formas do corpo humano e acompanham seus movimentos, pois como o entrelaçamento das malhas não tem ponto de ligação firme, as laçadas podem deslizar umas sobre as outras (ao contrário do tecido plano). Assim as ondulações das laçadas permitem que o artigo de malha abrace formas complexas. Essa característica varia em

função do tipo e da densidade da malha e também da natureza, espessura e flexibilidade do fio.

- b) Elasticidade ou recuperação elástica – quando a malha é tencionada ela assume dimensão diferente daquela em repouso, e quando esta ação cessa, a malha recupera parcialmente a sua forma inicial. A elasticidade da malha depende da sua estrutura (forma e disposição) e do tipo de fio utilizado. Fios com propriedades elásticas como os fios texturizados e principalmente, fios elastoméricos permitem melhorar substancialmente essa característica.
- c) Porosidade – pelos contornos das laçadas e da espessura da malha, o tricô é mais poroso que o tecido plano, permitindo construir artigos de excelente conforto fisiológico térmico. Em temperaturas elevadas a transpiração é facilitada, permitindo evaporação da transpiração através dos espaços existentes no artigo. Em temperaturas baixas combina-se porosidade ao aspecto volumoso com que são construídos os produtos de inverno, formando dentro do artigo um colchão de ar que atua como isolante térmico, dificultando a perda de calor do corpo para o meio ambiente.
- d) Deformação – os tecidos de malha tendem a se deformar com mais facilidade que os tecidos planos devido à sua flexibilidade. Quanto mais flexível for a estrutura da malha maior será sua tendência à deformação.
- e) Estabilidade dimensional – os artigos de malhas apresentam maior tendência de alterar as suas dimensões durante o uso, pois exigem mais cuidados no seu acabamento final. Para evitar esse inconveniente, principalmente nas malhas produzidas com fibras naturais e regeneradas, é necessário respeitar o formato de equilíbrio da malha. Quando isso não acontece, após o uso e lavagem, a laçada assumirá essa posição, alterando as dimensões do tecido. A utilização de fios sintéticos de características termoplásticas permite minimizar esse efeito.

É necessário reforçar o fato de que as características citadas, conforme a aplicação, podem variar de intensidade em função dos seguintes parâmetros de construção: tipo de fibra; tipo e título de fio; estrutura da malha (ligação) e densidade; tipo de máquina; acabamento/beneficiamento final da Malha.

3.2 Métodos

3.2.1 Desenvolvimento de produtos em malharia

Para a fabricação de um novo tecido, a malharia recebe do cliente as especificações do produto e normalmente segue as etapas abaixo relacionadas para fazer o seu desenvolvimento:

- 1 – Análise da amostra
- 2 – Regulagem da máquina circular
- 3 – Fabricação de um metro de tecido
- 4 – Análise do tecido cru

4.1 – O produto será aprovado se a malha tiver um bom aspecto visual e os resultados dos ensaios físicos estiverem dentro do esperado

4.2 – Caso contrário o produto será reprovado. Neste caso a máquina sofrerá nova regulagem para a fabricação de um novo tecido

3.2.2 Procedimento proposto

A procedimento proposto utiliza técnicas de planejamento de experimentos para determinar os níveis ótimos de regulagem da máquina circular e permite testar várias matérias-primas. Para a seleção da matéria-prima adequada foi utilizado um método multicriterial de auxílio à tomada de decisão. A máquina circular usada na fabricação das malhas, pode ser vista na figura 3.14, é uma máquina de laboratório que produz tecidos com características similares aos produzidos nas máquinas industriais. As principais etapas deste procedimento são:

- 1 – Escolha das matérias-primas que serão analisadas
- 2 – Escolha do processo de fabricação do tecido
- 3 – Fabricação dos tecidos com as mesmas características
- 3.1 – Escolha do planejamento experimental

a – Determinação dos parâmetros de regulação da máquina

b – Escolha dos fatores e níveis

c – Escolha da variável resposta

d – Montagem do planejamento experimental

3.2 – Fabricação dos tecidos

4 – Ensaio físico no tecido

4.1 – Análise dos resultados

a – Condicionamento estatístico dos valores experimentais (Procedimento de Chauvenet)

b – Cálculo dos efeitos dos fatores de controle e interações

c – Análise da significância dos fatores de controle e da interação (ANOVA)

d – Análise do resíduo

e – Caso for usado um experimento fatorial com dois níveis, verificar se existe curvatura significativa na região experimental

5 – Montagem de um programa para a determinação das regulações ótimas da máquina

a – Confeção dos tecidos com parâmetros médios estatisticamente iguais

6 – Seleção das características que irão garantir a performance do produto final

7 – Aplicação da metodologia para a tomada de decisão



Figura 3.14: Máquina circular de pequeno diâmetro

3.3 Considerações finais

O capítulo 3 apresentou as matérias-primas selecionadas para a elaboração deste trabalho, às justificativas de escolha destas matérias-primas e a tecnologia de fabricação dos tecidos que serão utilizados na avaliação da metodologia proposta.

Capítulo 4

Máquina Circular

O capítulo 4 traz um breve histórico sobre as máquinas circulares e descreve seus principais órgãos. Apresenta as possibilidades de tricotagem e o processo de formação da laçada. Descreve os sistemas de alimentação da máquina: positivo e negativo, detalhando as fontes de variação em cada sistema.

4.1 Histórico

O tricô manual, que hoje em dia voltou a ser uma atividade de lazer útil e popular, foi o precursor de formação mecânica das malhas. Sabe-se que existiam na Itália meias de tecidos tricotados desde a metade do século 13. O tipo de formação de malha manteve-se o mesmo por vários séculos. As agulhas de tricotar eram feitas a partir de alfinetes, que eram afiados e trabalhados para ficar com a forma de agulha. As agulhas de tricotar flexíveis, para tricô manual, como pode ser vista na figura 4.1, são invenção do nosso século (Iyer et al, 1997).



Figura 4.1: Tricô feito à mão usando agulhas flexíveis.

Foi um sacerdote protestante inglês, Willian Lee, o inventor da máquina de tricotar. Nascido em Woodborough, um pequeno povoado vizinho de Nottingham, fez o curso da teologia na Universidade de Cambridge. O tear de Lee pode ser visto na figura 4.2 (Iyer et al, 1997).

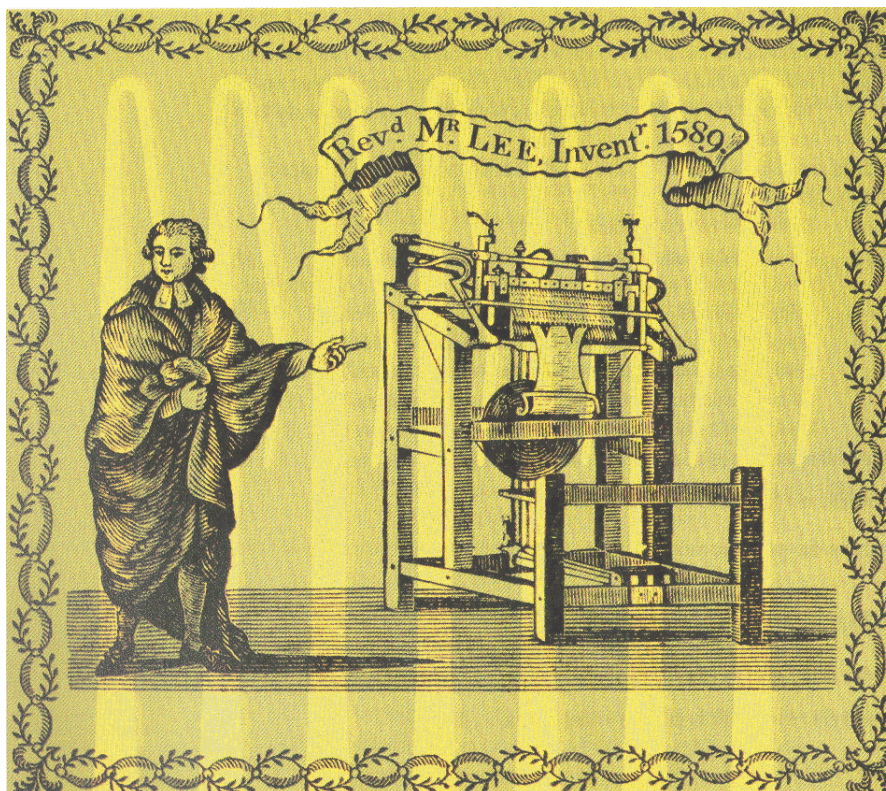


Figura 4.2: Tear manual do Reverendo Lee.

Em 1589: William Lee inventou a técnica mecânica de formação de malhas. Uma invenção genial recompensou seus esforços: a máquina de tricotagem manual. Depois de algum tempo ele tricotou a primeira meia, mecanicamente produzida nessa máquina, na qual ele gastou todas as suas economias. Entretanto ele desenvolveu princípios básicos de formação de malha que são usados ainda hoje (Araújo e Castro, 1987).

Em 1758: Jededith Strutt, inventou a técnica de tricotagem dupla (Rechts–Rechts). Essa invenção se refere a uma ligação com a máquina de tricotagem manual, que se tornou mundialmente famosa pelo nome de “máquina Rib Derby”.

Em 1798: Monsieur Decroix dispôs as agulhas radialmente em uma coroa, que gira e então movimenta as agulhas uma atrás da outra, em estágios de formação da malha. Nasce então a máquina circular. Essa idéia foi uma conclusão lógica que surgiu do trabalho com o mecanismo da máquina de tricotagem retilínea, na qual somente tecidos planos podem ser produzidos. Este tear pode ser visto na figura 4.3 (Iyer et al, 1997).

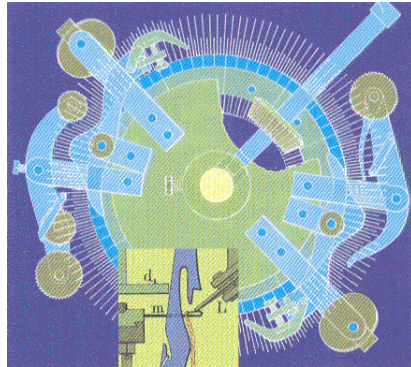


Figura 4.3: Tear circular com agulhas fixas.

Em 1847: Matthew Townsend obteve a patente pela sua invenção da agulha de lingüeta. Começou uma nova geração nas técnicas de tricotagem. Com a ajuda dessas agulhas a formação da laçada se tornou mais fácil, porque a pressão não era mais necessária. O resultado foi à simplificação do mecanismo, aumento da velocidade de produção e a redução de custos. Na figura 4.4 pode-se observar a agulha de lingüeta (Iyer et al, 1997).

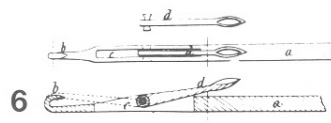


Figura 4.4: Agulha de lingueta

Em 1850: A máquina circular foi desenvolvida em cima da frontura circular de tricotagem Inglesa. Era inicialmente equipada com agulhas chanfradas estacionárias na posição vertical. Logo então foi construída com agulhas de lingüeta, que podem se movimentar individualmente, o

que é uma característica para uma máquina circular. A figura 4.5 representa uma pequena máquina manual circular.

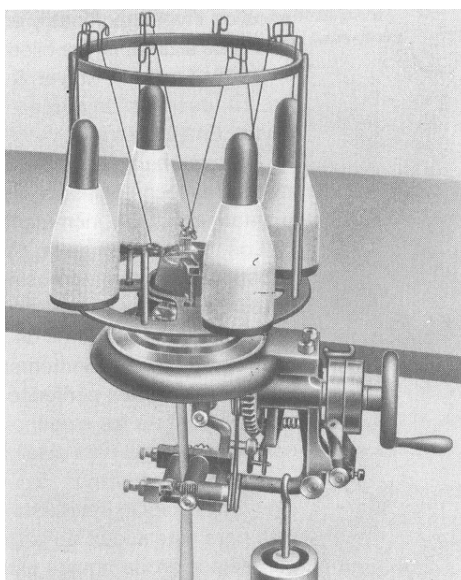


Figura 4.5: Máquina manual circular

Não se sabe exatamente quando e quem construiu esta máquina, mas ela provavelmente foi construída entre 1850 e 1860. Essas máquinas foram usadas para produzir tecidos de malha tubular, com a qual eram produzidas peças confeccionadas. Num segundo momento as máquinas foram construídas com um diâmetro maior (Iyer et al, 1997).

Em 1878: D. Griswold obteve a patente da máquina de tricotagem circular, a qual produz tecidos tubulares Jersey ou Rib em qualquer distribuição desejada. As agulhas do cilindro vertical foram aumentadas pelas agulhas do disco horizontal, também movimentada individualmente em cada canaleta.

Em 1910: A empresa Robert Walter Scott que fica na Filadélfia foi privilegiada com a patente do tecido Interlock. O tecido interlock é um tecido dupla face composto de uma malha dupla cruzada.

Em 1918: A primeira máquina de duplo cilindro, máquina de tricotar de pequeno cilindro com agulhas de cabeça dupla, foi construída na Inglaterra pela empresa Wildt.

Essa máquina de tricotar PURL (links-links) trabalha com um cilindro rotativo e agulha de transferência, é usada na produção da mundialmente famosa meia Derby. As agulhas de cabeça dupla podem ser vistas na figura 4.6.

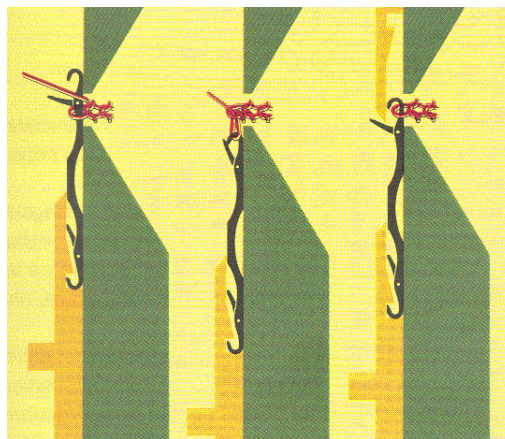


Figura 4.6: Representação da formação da malha com agulhas de cabeça dupla

Em 1920: Além dos teares retilíneos, é crescente o uso de teares circulares na fabricação de tecidos coloridos trabalhados. Isso é feito com a ajuda de dispositivos de troca de fio e seleção de agulhas via cilindros modelados e fitas perfuradas feitas de aço ou papel. O desejo de produzir tecidos com efeitos trabalhados maiores mostrou os resultados de anos de pesquisa e experimentos buscando a perfeição máxima no dispositivo Jacquard, ligado ao comando das platinas por seleção individual.

Depois de 1946, notavelmente, mais desenvolvimentos foram feitos nas máquinas circulares com a intenção de melhorar o desempenho e desenvolver novos produtos como resultado do aumento do número de alimentadores, do aumento de velocidade de produção e do uso de novas tecnologias nas agulhas.

O antigo sistema de alimentação negativa foi substituído por um novo dispositivo de entrega de fio com fitas de alimentação e reserva de fio para fabricar tecidos mais delicados e trabalhados, bem como alimentador com armazenamento para Jacquard.

Esses novos dispositivos incrivelmente tomaram conta do controle e monitoramento de alimentação do fio. Esse equipamento periférico tem cada vez mais importância para o aumento da velocidade de produção e para o aumento de qualidade do tecido.

Em 1963: A nova era eletrônica começa na ITMA 1963 em Hanover. A primeira seleção de agulhas é demonstrada pela empresa Morat no seu sistema Moratronik, que mais tarde seria produzido em série. Hoje o computador é usado para o armazenamento de dados e o disquete para transferi-los.

Em 1967: A legendária OVJA 36, que é provavelmente a mais bem sucedida máquina circular até hoje, é exibida na ITMA em Basle. Mais de 7000 máquinas deste modelo foram fabricadas nos anos seguintes.

Em 1987: A empresa Mayer & Cie começou com a produção em série da Relanit, uma máquina circular com movimento relativo (contrário) entre as agulhas e as platinas. Foram produzidas mais de 1000 máquinas até a ITMA de 1991.

A tecnologia das máquinas circulares modernas será determinada pela melhora no desempenho, redução do tempo de set-up e aumento da flexibilidade de uso.

4.2 Principais órgãos da máquina circular

A figura 4.7 apresenta um máquina circular com seus principais órgãos.



- 1. Gaiola
- 2. Automáticos Superiores
- 3. Alimentação Positiva
- 4. Região de formação da malha
- 5. Puxamento do tecido

Figura 4.7: Máquina circular

4.2.1 *Gaiola de alimentação*

Sua função é de acondicionar todos os cones necessários para a alimentação da máquina, incluindo os cones reservas.

Existem dois tipos de gaiolas que são usados atualmente, as gaiolas laterais e as circulares. A figura 4.8 mostra em duas vistas (planta e elevação) estes tipos de gaiolas.

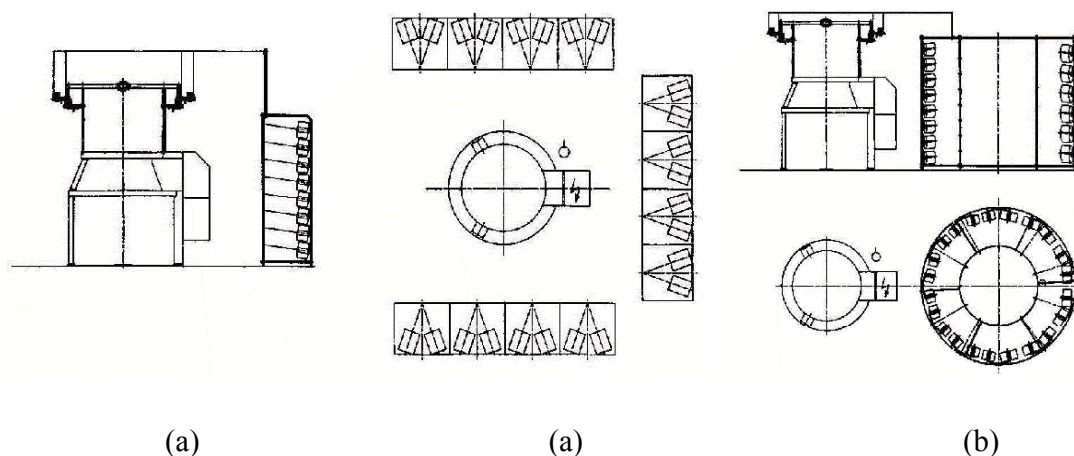


Figura 4.8: Representação esquemática das máquinas circulares com gaiolas laterais (a) e com gaiolas circulares (b)

4.2.2 Sistema de alimentação

O sistema de alimentação é responsável pela constante alimentação de fio, isso acontece pelo movimento sincronizado entre o sistema de alimentação positiva e o cilindro da máquina.

É formado por uma engrenagem de acionamento, uma polia de alimentação, um rolete de alimentação, uma polia tensora e uma correia de alimentação. A figura 4.9 mostra os principais órgãos do sistema de alimentação positiva de uma máquina circular.

A correia de alimentação transmite o movimento que vem da polia de alimentação para os roletes de alimentação. É através da polia tensora que se regula a tensão da correia de alimentação, que não deve estar nem frouxa nem muito apertada. O rolete de alimentação controla a quantidade de fio que está sendo puxado pelo alimentador positivo. A polia de alimentação controla a velocidade da correia de transmissão. Aumentando o diâmetro da polia de alimentação, conseqüentemente, a velocidade da correia também será aumentada, o que fará que a quantidade de fio alimentada seja maior.

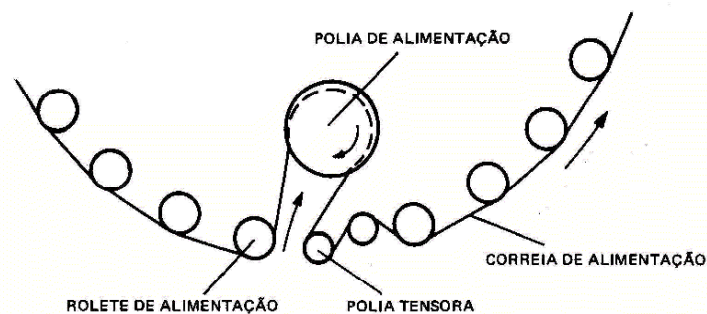


Figura 4.9: Representação esquemática do sistema de alimentação da máquina circular

4.2.3 Sistema de alimentação positiva

O alimentador positivo tem a função de entregar às agulhas o fio necessário para formar a laçada. O fio entra no alimentador, passa pelo sensor de ruptura, e é acumulado na bobina, em seguida vai para o guia-fios para alimentar as agulhas com o fio. A figura 4.10 mostra os principais órgãos do alimentador positivo.

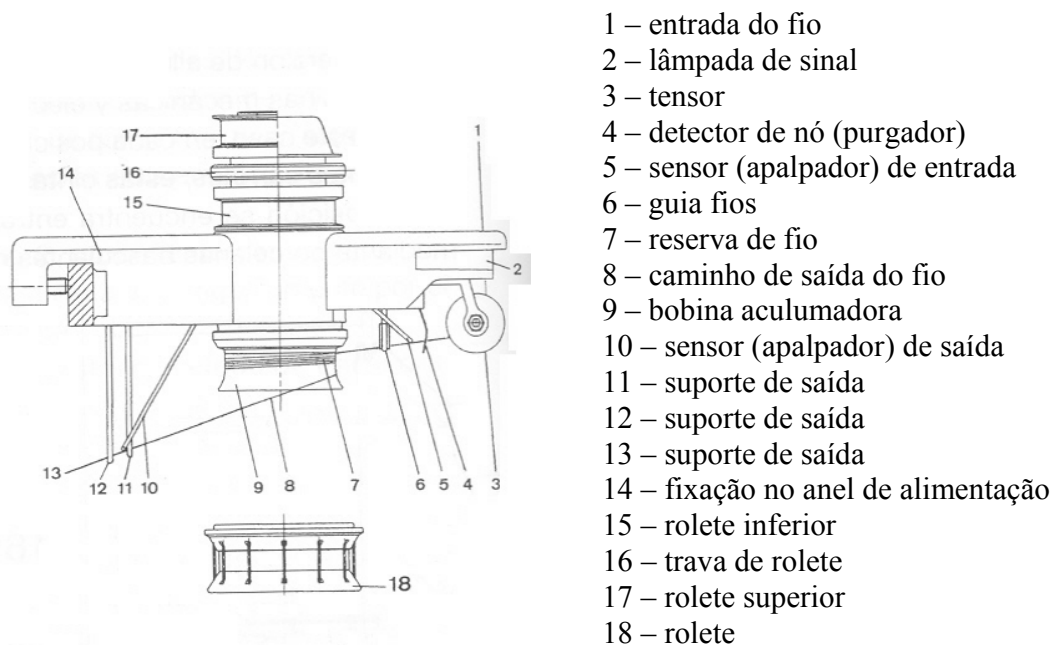


Figura 4.10: Principais órgãos de um alimentador positivo

4.2.4 Guia-fios

A função do guia-fios é de levar o fio até uma posição em que as agulhas possam recolhê-lo.

Em teares circulares de grande diâmetro deve existir pelo menos um guia-fios por alimentador, que fica junto do anel de platinas e possui um orifício é por onde o fio passa para ser entregue às agulhas. A figura 4.11 mostra um exemplo de guia-fios.

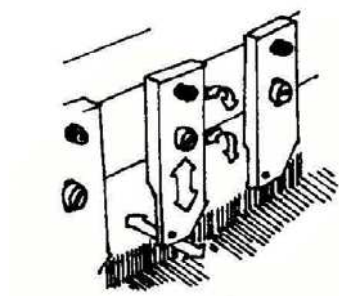
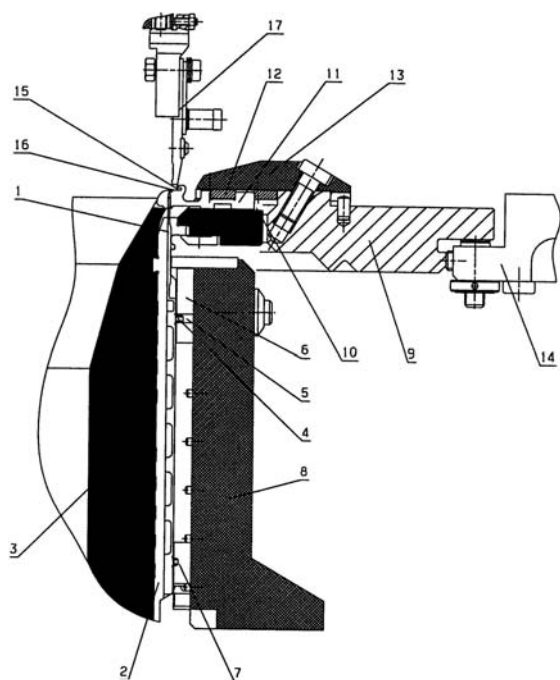


Figura 4.11: Representação do guia-fio responsável pela alimentação das agulhas

4.2.5 Blocos

Nesta parte da máquina onde acontece a formação da malha, todo o resto da máquina trabalha em função deste conjunto de peças. As gaiolas, o conjunto de alimentação, o alimentador positivo, o guia-fios, todos eles trabalham para alimentar o bloco de tecimento e o conjunto de enrolamento trabalha para retirar as malhas formadas. A figura 4.12 mostra o bloco de uma máquina circular com os seus principais órgãos.

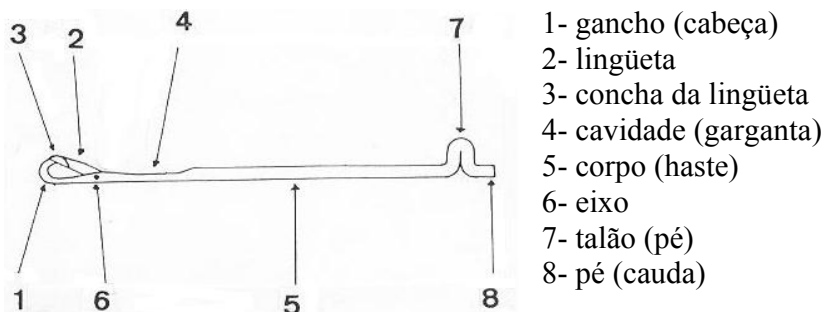


- 1 – agulha
- 2 – ranhura do cilindro
- 3 – cilindro
- 4 – pé da agulha
- 5 – ranhura da pedra
- 6 – pedra
- 7 – pedra
- 8 – bloco
- 9 – anel de platina
- 10 – canaleta do anel de platina
- 11 – platina
- 12 – segmento de pedra de platina
- 13 – anel de pedra para platina
- 14 – ponto de fixação
- 15 – canal de retenção da platina
- 16 – cabeça da agulha
- 17 – guia fios

Figura 4.12: Representação em corte do bloco de tecimento

4.2.6 Agulhas

As agulhas de lingüeta têm um talão (pé) sobre o qual agem os excêntricos que provocarão os movimentos necessários na formação da malha na outra extremidade há uma haste móvel, chamada lingüeta, que se abre e se fecha sobre o gancho (cabeça) da agulha. A figura 4.13 representa a agulha de lingüeta.



- 1- gancho (cabeça)
- 2- lingüeta
- 3- concha da lingüeta
- 4- cavidade (garganta)
- 5- corpo (haste)
- 6- eixo
- 7- talão (pé)
- 8- pé (cauda)

Figura 4.13: Agulha de lingüeta

4.2.7 Platina

As platinas trabalham entre duas agulhas adjacentes, com o objetivo de frisar o fio entre as agulhas para formar a laçada. As platinas apresentam três finalidades ao mesmo tempo, reter o tecido, igualar a malha, formar o plano de desprendimento. Na figura 4.14 pode-se visualizar a platina e seus principais componentes.

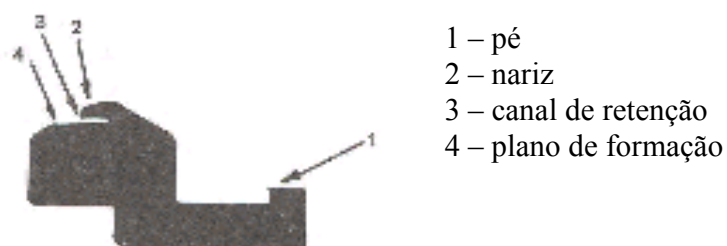


Figura 4.14: Representação do contorno de uma platina

4.2.8 Sistema de puxamento das malhas

A figura 4.15 mostra a representação esquemática do sistema de puxamento das malhas. Os cilindros puxadores têm a função de dar uma certa tensão à malha no momento em que ela está sendo tecida e ao mesmo tempo puxar a malha para que ela possa ser enrolada.

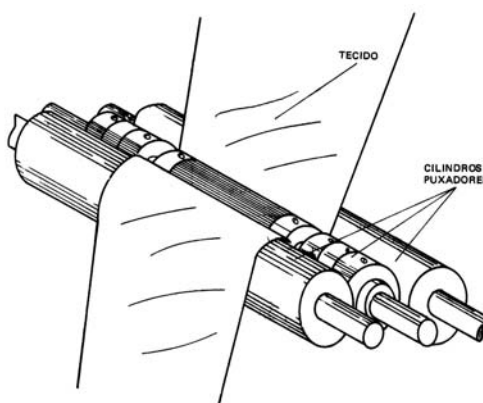


Figura 4.15: Representação do sistema de puxamento

4.3 A Malha

4.3.1 Malha Unitária

A laçada é o elemento fundamental de um tecido de malha e é constituída pelas seguintes partes: cabeça, pernas e pés, conforme ilustrado na figura 4.16.

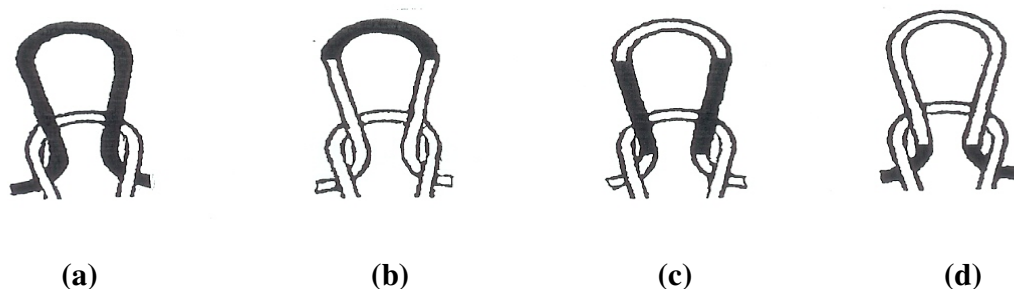


Figura 4.16: Laçada (a), cabeça (b), pernas (c) e pés (d)

A malha é formada por um determinado comprimento de fio, que chamaremos de LFA (Longueur de Fil Absorbée – Comprimento de Fio Absorvido).

O tecido de malha resulta do entrelaçamento das malhas unitárias. Na figura 4.17, cada malha tem dois pares de pontos de entrelaçamento, sendo dois inferiores e dois superiores. Na parte inferior tem-se os pés da malha passando pela cabeça da malha anterior e na parte superior pode-se ver a cabeça passando pelos pés da malha seguinte.

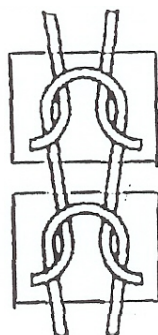


Figura 4.17: Pontos de entrelaçamento das malhas

4.3.2 Possibilidades de Tricotagem

Conforme mostra a figura 4.18 as agulhas podem ser programadas para produzirem (a) malha, (b) fang ou (c) de não trabalharem.

Quando uma agulha não trabalha, o seu fio flutuará e a malha anterior se alongará para ocupar o seu espaço. Quando uma agulha é programada para *fang*, ocorrerá uma retenção desse fio (não flutuará) e a malha anterior também ocupará esse espaço.

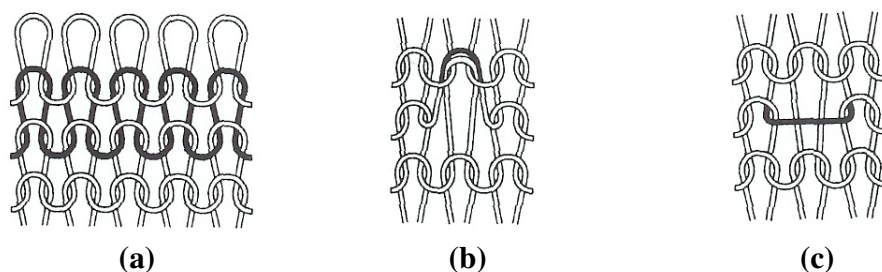


Figura 4.18: Representação de (a) malha, (b) *fang* e (c) de não trabalha.

4.3.3 Formação da Malha

A malha de trama pode ser obtida com o auxílio de um só fio. Este fio é recurvado de maneira a formar as laçadas ou malhas entrelaçadas umas às outras. Este processo pode ser visualizado na figura 4.19.

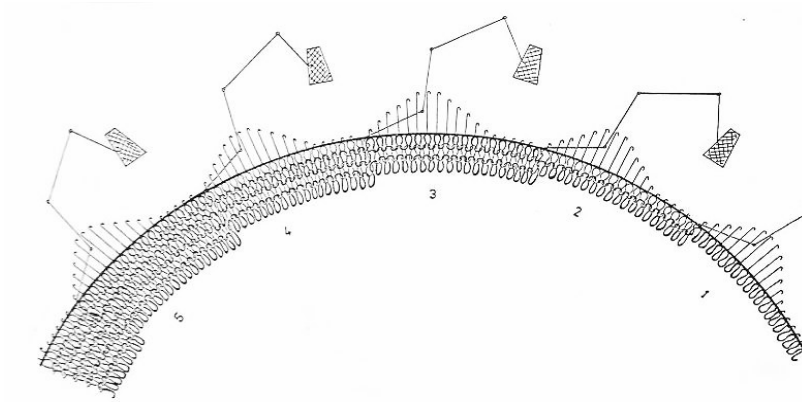
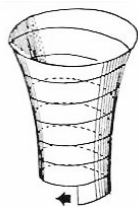


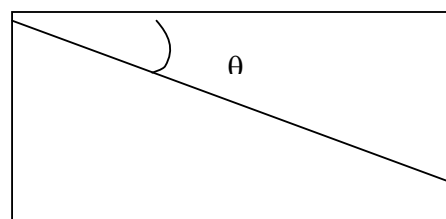
Figura 4.19: Representação esquemática da formação das malhas em 5 sistemas de uma máquina circular

O artigo formado em uma máquina circular é tubular e cada carreira percorre o tecido helicoicamente, sendo que o passo da hélice (inclinação das carreiras) é proporcional ao número de sistemas, como pode se visto na figura 4.20.

Esta inclinação é prejudicial à confecção na medida em que dificulta o corte e/ou propicia a torção do artigo confeccionado.



(a)



(b)

Figura 4.20: Ângulo de inclinação: (a) Malha tubular e (b) malha aberta

O processo de formação de malha utilizando agulha de lingüeta, conforme a figura 4.21, passa pelas seguintes fases:

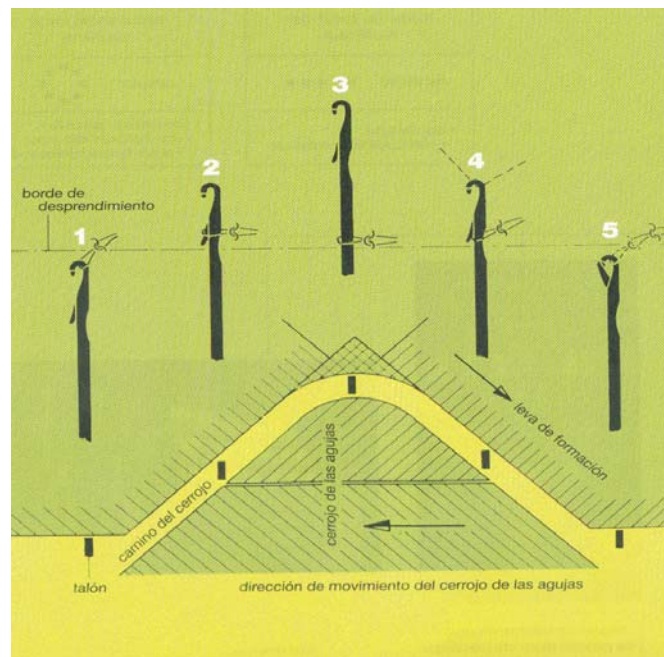


Figura 4.21: Processo de formação das malhas

Posição 1: A agulha está pronta para iniciar um novo ciclo de formação de malha.

Posição 2: A agulha está subindo e a malha formada está a caminho do corpo da agulha.

Posição 3: A agulha subiu até a posição máxima e a malha antiga está no corpo da agulha.

Posição 4: A agulha desce, pega o novo fio e a malha antiga começa a fechar a lingüeta.

Posição 5: A agulha desce até sua posição mais baixa. O fio alimentado passa por dentro da malha antiga formando a nova malha (Iyer et al, 1997).

Densidade de um tecido de malha é o número de malhas em uma determinada área, normalmente expressa em malhas/cm².

Colunas de malhas são sucessão de malhas consecutivas no sentido do comprimento do tecido. Na figura 4.22 a linha vertical é chamada de coluna.

Carreiras de malhas são sucessão de malhas consecutivas no sentido da largura do tecido. Na figura 4.22 a linha horizontal é chamada de carreira.

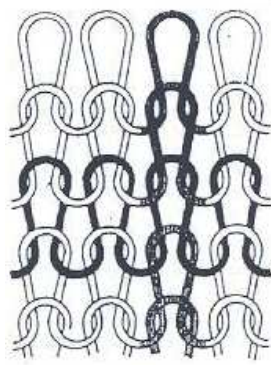


Figura 4.22: A linha horizontal é chamada de carreira e a vertical de coluna.

4.3 Sistema de Alimentação Negativa

Ao usar máquinas com sistema de alimentação negativa, durante a formação da malha, existe um fator sistemático de variação de tensão que não pode ser eliminado: a força centrífuga. Para ela valem duas causas de variação, sendo que a primeira é a mudança do ponto de desenrolamento do fio no cone em relação ao primeiro guia-fio da máquina. Isso varia a massa de fio em rotação (distância e em relação a e') e a segunda é a diminuição no diâmetro do enrolamento (diâmetro d em relação a d'). Essas variações podem ser vistas na figura 4.23.

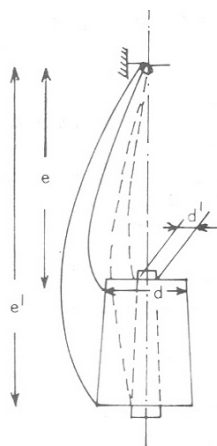


Figura 4.23: Representação esquemática da variação de tensão

Considerando a equação da força centrífuga: $F_c = \frac{mv^2}{r}$, tem-se que, no primeiro caso, variando a massa varia a força e conseqüentemente a tensão no fio. No segundo caso, diminuindo o raio e conseqüentemente aumentando a velocidade aumenta a força centrífuga e portando, a tensão no fio. Essas variações de tensão independem garantir a qualidade do enrolamento sendo, portanto, inevitáveis (Tremelloni e Ceriani, 1982).

Segundo Araújo e Castro (1987), durante a formação da malha, o fio é puxado pelas agulhas ficando sujeito a tensões progressivas na região de formação da malha. O fio entra em contato com a primeira agulha com uma tensão inicial T_1 . À medida que as agulhas descem puxando o fio do conical, o fio passa por elas e pelas platinas pendentes. A cada desvio de direção do fio na região de formação das malhas, ou seja, a cada passagem em torno de uma agulha ou platina, conforme mostra a figura 4.24, o fio recebe um acréscimo de tensão da forma:

$$T_2 = T_1 e^{\alpha\mu} \quad (\text{eq. 4.1})$$

Onde:

T_1 é a tensão do fio antes do ponto de desvio

T_2 é a tensão do fio depois do ponto de desvio

e é a base do logaritmo neperiano

α é o ângulo descrito pelo fio em torno do ponto de desvio

μ é o coeficiente de atrito entre o fio e o material que forma o ponto de desvio

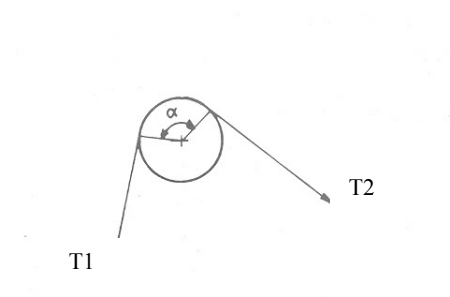


Figura 4.24: Representação esquemática do percurso do fio na região de formação da malha.

À medida que a agulha se aproxima do ponto de descida máxima, a tensão sobre o fio se torna tão elevada que a certo momento se iguala à tensão necessária para “roubar” o fio de malhas já formadas. Desta forma, a partir deste ponto o fluxo de fios passa a ser inverso e o tamanho das malhas será determinado não pelo ponto de descida da agulha (dh), mas pela altura em que ficam as agulhas depois de terem seu fio roubado (ds). As figuras 4.25 e 4.26 ilustram este processo (Tremelloni e Ceriani, 1982).

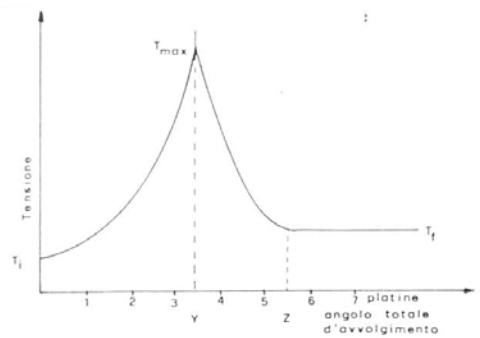


Figura 4.25: Gráfico de evolução das tensões

A figura 4.25, expõe a curva de evolução das tensões mostrando no traço ascendente a tensão para puxar o fio do conical e no descendente a tensão para “roubar” o fio das malhas já formadas. Na região A e na Y o fio é puxado do conical. Na região B e Z processa-se o roubo de fio. A região W é determinada a partir da tensão de puxamento do tecido e, portanto, invariável para um determinado puxamento. Por outro lado o traço ascendente é determinado a partir da tensão com que o fio chega às agulhas e que pode variar em função do desenrolamento.

A figura 4.26 mostra que variando a tensão inicial do fio, o ponto de interseção dos dois traços da curva desloca-se para a esquerda, ou seja, o fenômeno do roubo de malha processa-se antes e com maior intensidade, formando no final malhas menores (Tremelloni e Ceriani, 1982).

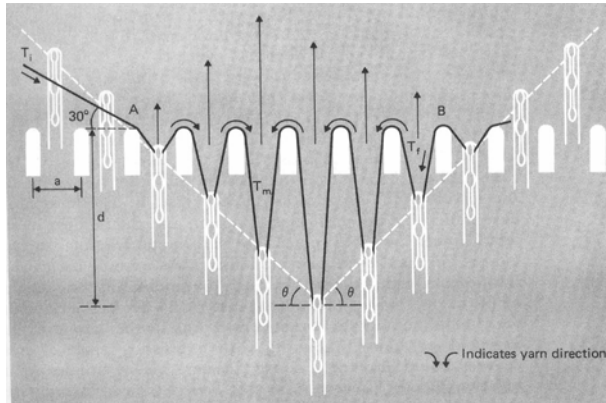


Figura 4.26: Esquema ilustrativo do fenômeno roubo de malha

Portanto, quanto maior for a tensão máxima, mais cedo ocorre o roubo de malhas e mais fio é roubado das malhas já formadas. As malhas menores do que o definido pela regulagem de ponto são variáveis em função da tensão de entrada do fio e do coeficiente de atrito. A figura 4.27 mostra este fenômeno.

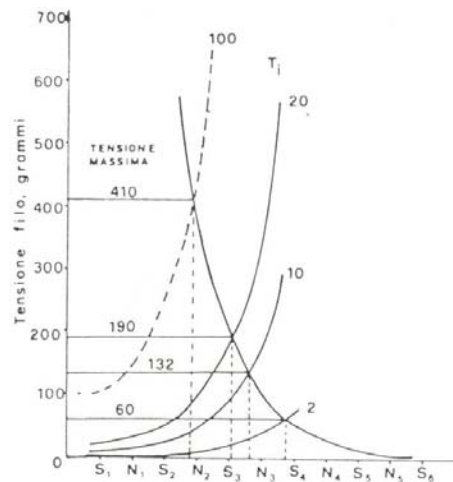


Figura 4.27: Gráfico da variação de tensão

4.3.1 Tensores

Sua função é regularizar a tensão do fio a qual pode ser controlada de acordo com o tipo de fio e da estrutura da malha, apertando-se ou soltando-se a sua mola.

Os tensores funcionam matematicamente segundo a expressão:

$$T_s = T_e + P \cdot \mu \quad (\text{eq. 4.2})$$

T_s : tensão de saída do tensor

T_e : tensão de entrada do tensor

P : força exercida pelo tensor sobre o fio

μ : coeficiente de atrito entre o fio e o material do tensor.

Os tensores que seguem esta equação estão representados na figura 4.28

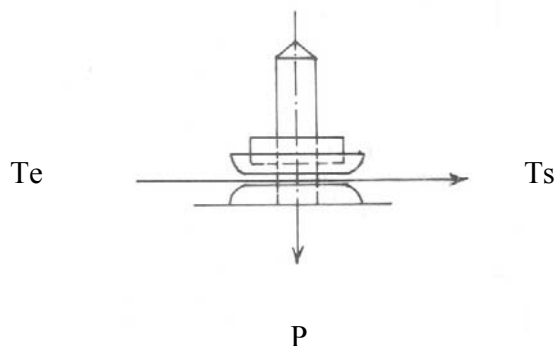


Figura 4.28: Tensores de mola

Quanto maior for a pressão aplicada pelo tensor, menor será o percentual de variação de tensão do fio após passar pelo sistema. No entanto, se ultrapassarmos certos limites estaremos aumentando a tensão média de trabalho do fio e sujeitando-o a maiores possibilidades de ruptura. O sistema de tensores ameniza as variações, porém não as eliminam.

4.4 Sistema de Alimentação Positiva

Para minimizar os inconvenientes advindos da variação de tensão de desenrolamento foi desenvolvido o sistema de alimentação positiva, que tem como objetivos fornecer fios às agulhas, de forma que elas não tenham que exercer força para puxar o fio do conical.

Quando as máquinas são providas de sistema de alimentação positiva, este assegura a manutenção de um valor constante de quantidade de fio que entra na região de formação de malha em relação ao consumo necessário. Assim sendo, não são mais as agulhas que têm que puxar o fio, mas este é que é entregue a elas conforme necessitam (Araújo e Castro, 1987).

Desta forma, o encontro dos dois traços do gráfico de tensões se dá no ponto de descida máxima da agulha o que vale dizer que não se processará o “roubo” de fio em funções das variações de tensão decorrentes do desenrolamento.

No entanto, existem outros fatores, como por exemplo, a passagem de nós, pontos grossos, variação na aspereza do fio que farão aumentar a tensão do fio já na região de formação da malha causando variações no tamanho das malhas que fogem à ação dos alimentadores positivos. No entanto, estes fatores dependem basicamente da qualidade do fio utilizado.

4.5 Finura (Jauge)

As agulhas são colocadas em uma placa metálica (frontura) que pode variar a distância entre cada uma. A quantidade de agulhas em um determinado espaço da frontura é chamado de finura (Jauge). Na malharia existem diferentes sistemas para especificar a finura de uma máquina.

No sistema direto, Jauge é o espaço ocupado por um número fixo de agulhas. É chamado de Jauge Suíço ou Métrico; é definido pelo número de milímetros ocupados por 10 agulhas. No indireto, Jauge é o número de agulhas encontradas em um espaço padrão. O mais utilizado é o Jauge Inglês, definido como sendo o número de agulhas por uma polegada.

Além desses dois sistemas, existem vários outros métodos para definir a finura de uma máquina. Em todos os casos o objetivo é classificar a máquina de acordo com o tamanho dos elementos tricotadores. E para cada finura existirá um título de fio mais adequado a ser utilizado, influenciando diretamente a espessura e o peso do artigo final.

4.6 Considerações finais

O capítulo 4 apresentou os principais órgãos das máquinas circulares e o processo de formação das malhas. Foram conceituados os sistemas de alimentação positiva e negativa, descrevendo os fatores que influenciam as características dos tecidos de malhas em cada um dos sistemas.

Capítulo 5

Conceitos Básicos de Planejamento de Experimentos

Este capítulo apresenta os conceitos básicos sobre planejamento de experimentos que vão ser utilizados na estruturação da parte experimental e na análise dos resultados. E também descreve as etapas que devem ser cumpridas para a utilização destas técnicas.

Conforme descrito por Montgomery (1997), experimentos são realizados por investigadores das mais variadas áreas, usualmente para descobrir alguma coisa sobre um processo ou sistema particular. Literalmente, um experimento é um teste. Um experimento planejado é um teste, ou uma série de testes, nos quais são feitas alterações planejadas nas variáveis de entrada do processo ou sistema, permitindo observar e identificar os efeitos das mudanças na variável de saída (resposta).

É aconselhável a realização de uma análise exploratória dos dados para, como sondagem, avaliar características técnicas, por exemplo: ocorrência de resultados anômalos. Medidas descritivas de tendência central como a média, e de variabilidade, como o desvio-padrão, podem também ser utilizadas e, do mesmo modo, medidas de distribuição, como os coeficientes de assimetria e de curtose.

Após esta análise, procuram-se os fatores e interações que interferem de maneira significativa no valor médio das observações. A análise dos dados de um experimento inicia-se, então, com a identificação dos efeitos, ou seja, aqueles fatores com diferentes valores esperados para a resposta em seus diferentes níveis.

Em experimentos com replicações, a identificação desses efeitos pode ser realizada por técnicas estatísticas formais como o teste F da análise da variância. A estatística F tem seu cálculo baseado em estimativas da variância, feitas para cada fator investigado, para cada interação possível, assim como para o erro experimental.

Várias técnicas estatísticas, tanto gráficas como analíticas, podem ser utilizadas para analisar dados de um experimento. As técnicas formais exigem que os erros sejam variáveis aleatórias independentes, com distribuição normal de valor esperado nulo e variância constante.

Sir Ronald A. Fisher, cientista britânico, foi o inovador no uso dos métodos estatísticos e da análise dos dados no *Rothamsted Agricultural Experiment Station*, de Londres, em 1920. Fisher desenvolveu o primeiro uso da análise de variância, assim como os primeiros métodos de estatística no DOE. Em 1930, Fisher levou seu trabalho para a Universidade de Londres. Além da contribuição de Fisher, houve muitas outras para a literatura DOE, incluindo-se as de F. Yates, R.C. Bose, W.G. Cochran, R. H. Myers, J. S. Hunter e G. E. P. Box (Montgomery, 1997).

A análise de variância (ANOVA) é usada para descobrir os efeitos principais e as interações das variáveis independentes e uma variável dependente do intervalo. A versão modelo linear geral da ANOVA suporta também um número maior de variáveis dependentes. Um efeito principal é o efeito direto de uma variável independente na variável dependente. Um efeito de interação é o efeito comum a duas ou mais variáveis independentes na variável dependente (Thuner e Thayer, 2001).

5.1 Condicionamento estatístico dos valores experimentais

Segundo Button (2001), é comum, ao analisar uma série de medições, que alguns dados pareçam errados. As causas de ocorrerem tais fatos são: avaliação equivocada da indicação, erro de registro, mau posicionamento do corpo de prova, etc. Como estes valores não pertencem à amostra, eles devem ser descartados. Porém deve ser feita uma análise criteriosa para se ter certeza de que não há explicação plausível para sua permanência na amostra. Uma ferramenta bastante utilizada para verificar se existem resultados anômalos em uma amostra é o Procedimento de Chauvenet.

Este procedimento especifica que um dado deve ser rejeitado caso a probabilidade de obter-se o desvio padrão relativo a este dado seja menor que $1/2n$, onde n é o tamanho da amostra.

O critério consiste no cálculo da razão de desvio padrão DR para cada componente y_i da amostra, posteriormente, compara-se com uma razão padrão DR_0 , obtida na tabela 5.1, onde:

$$DR = \frac{y_i - \bar{y}}{S} \quad (\text{eq. 5.1})$$

Tabela 5.1: Valores de DR_0 em função de n

Número de Medidas (n)	Razão padrão (DR_0)	Número de Medidas (n)	Razão padrão (DR_0)
2	1,15	15	2,13
3	1,38	25	2,33
4	1,54	50	2,57
5	1,65	100	2,81
7	1,80	300	3,14
10	1,96	500	3,29

O componente y_i será rejeitado se $|DR| > DR_0$ e mantido caso $|DR| \leq DR_0$. Caso um componente y_i seja rejeitado, ele será removido da sequência e os valores de $\bar{y}$ e S^2 recalculados. Este procedimento pode ser aplicado somente uma vez para remover resultados questionáveis.

5.2 Planejamento Fatorial

Um experimento fatorial consiste de um conjunto de provas, onde se mudam os níveis dos fatores que se deseja estudar de uma prova para outra. Depois de conduzir o experimento, os dados são analisados para determinar os efeitos dos fatores. Um dos objetivos é otimizar o produto ou processo, isto é, determinar os níveis ótimos para cada fator.

Nos experimentos fatoriais, a relação existente entre todos os fatores considerados é cruzada. 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 provas 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 existem $p_1 \times p_2 \times \dots \times p_n$ 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. Por exemplo, um fatorial $3 \times 3 \times 2$ necessita de dezoito 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. 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. Como exemplo, um fatorial 3×3 pode ser representado como 3^2 .

Este tipo de planejamento é indicado quando se deseja estudar os efeitos de duas ou mais variáveis de influência. Em cada réplica, todas as combinações possíveis dos níveis de cada variável são investigadas. Quando o efeito de uma variável depende do nível das outras variáveis, diz-se que há interação dessas variáveis.

O planejamento fatorial tem sido muito aplicado em pesquisas básicas e tecnológicas 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.

5.2.1 *Planejamento fatorial 2^k*

O planejamento fatorial 2^k é um caso particular do planejamento fatorial com k fatores e dois níveis. Os fatores e os níveis são pré determinados, configurando este planejamento como

um modelo de efeitos fixos. Para que a análise seja objetiva, as hipóteses de normalidade devem ser satisfeitas.

A tabela 5.2 ilustra 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 5.2: Experimento Fatorial de dois fatores, caso geral

	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	$y_{a11}, y_{a12}, \dots, y_{a1n}$	$y_{a21}, y_{a22}, \dots, y_{a2n}$	...	$y_{ab1}, y_{ab2}, \dots, y_{abn}$

Segundo Montgomery (1997), com um experimento planejado desta forma é possível verificar: se a resposta é alterada significativamente quando muda o nível do fator A, se a resposta é alterada significativamente quando muda o nível do fator B e se a interação dos fatores altera significativamente a resposta.

O autor também define que o modelo estatístico deste planejamento fatorial é dado pela equação 5.2

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk} \quad (\text{eq. 5.2})$$

μ é a média dos resultados

τ_i é o efeito principal do fator A

β_j é o efeito principal do fator B

$(\tau\beta)_{ij}$ é o efeito da interação dos fatores A e B

ε_{ijk} é o erro experimental

Dentre os planejamentos fatoriais, o mais utilizado na área industrial, talvez por necessitar de uma menor quantidade de ensaios, é o do tipo 2^k , que também costuma servir de base para outros tipos de planejamento mais complexos. Um projeto desse tipo envolve k fatores ensaiados em apenas dois níveis, 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 5.3 mostra um planejamento de experimento, com dois fatores (A e B), ensaiados em dois níveis (-1 e +1). Este planejamento fatorial gera $2^2 = 4$ condições experimentais. As combinações possíveis entre os níveis dos dois fatores estão apresentadas nas colunas (3) e (4).

Tabela 5.3: Níveis dos fatores e interações de um projeto fatorial do tipo 2^2

Ensaio	Tratamentos	Fator A	Fator B	Int. AxB	Respostas (g/m ²)	
1	ab	+ 1	+ 1	+ 1	$y_{1,1}$	$y_{1,2}$
2	a	+ 1	- 1	- 1	$y_{2,1}$	$y_{2,2}$
3	b	- 1	+ 1	- 1	$y_{3,1}$	$y_{3,2}$
4	(1)	- 1	- 1	+ 1	$y_{4,1}$	$y_{4,2}$

Por meio 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.

Também é possível avaliar, e esta é uma das grandes vantagens da utilização do projeto fatorial, 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 5.3 apresenta o sinal a ser adotado no cálculo das interações no projeto fatorial citado anteriormente.

5.3 Cálculo dos efeitos principais e das interações

As estimativas dos efeitos dos fatores principais e das interações podem ser feitas pelo método a seguir, descrito por Devor et al (1992) e Montgomery (1997).

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 devem ser construídas as colunas 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 5.3, 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. Em seguida, os valores obtidos devem ser somados e divididos pela metade do número de ensaios realizados.

5.3.1 Efeito dos fatores principais

Efeito dos fatores 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 é dado pela média dos dois efeitos apresentados:

$$A = \frac{ab + a}{2n} - \frac{b + (1)}{2n} \Rightarrow A = \frac{1}{2n} [ab + a - b - (1)] \quad (\text{eq. 5.3})$$

Analogamente, o efeito médio do fator B é representado por:

$$B = \frac{ab+b}{2n} - \frac{a+(1)}{2n} \Rightarrow B = \frac{1}{2n}[ab+b-a-(1)] \quad (\text{eq. 5.4})$$

5.3.2 Efeito das interações

Efeito das interações são alterações na variável resposta, alterações produzidas pela combinação dos efeitos de dois ou mais fatores. 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:

$$AxB = \frac{ab+(1)}{2n} - \frac{a+b}{2n} \Rightarrow AxB = \frac{1}{2n}[ab+(1)-a-b] \quad (\text{eq. 5.5})$$

A figura 5.1 ilustra a representação gráfica de um efeito principal. Este gráfico linear mostra a variação média das respostas em função da mudança no nível (-1) para (+1) de um fator, mantendo o outro fator constante.

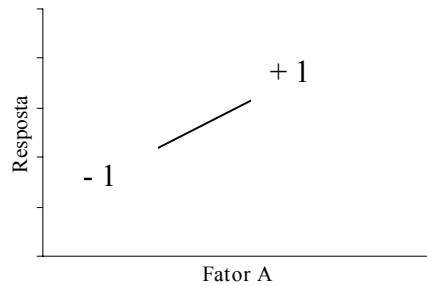


Figura 5.1: Representação gráfica de um efeito principal

Os gráficos (a) e (b) da figura 5.2 descrevem as variações provocadas por dois fatores, também identificados por A e B, ensaiados em dois níveis. O gráfico (a) mostra não existir interação entre os fatores, pois a variação no valor esperado da resposta nos diferentes níveis do fator B é, aproximadamente, a mesma para os diferentes níveis do fator A.

É importante salientar que outros métodos podem ser utilizados no cálculo dos efeitos, conforme apresentados por (Devor et al, 1992) e (Montgomery, 1997).

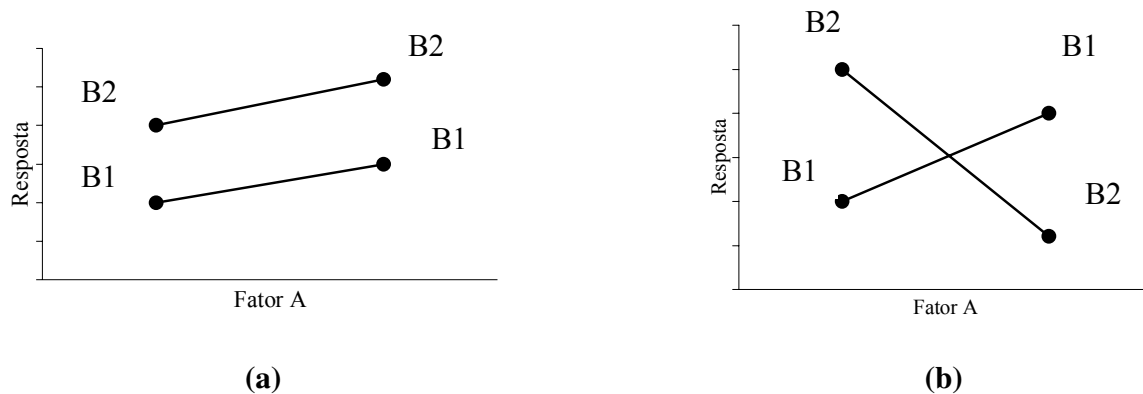


Figura 5.2: Representação gráfica de efeitos de fatores sem interação (a) e com interação (b) em experimento fictício (Adaptada de Montgomery, 1997).

Estes autores comentam que 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, os autores recomendam aplicar técnicas de análise de variância (ANOVA).

5.4 Análise de variância (ANOVA)

As técnicas estatísticas de experimentos são utilizadas para analisar, interpretar e apresentar informações dos experimentos planejados. O princípio básico é usar os conceitos matemáticos e as informações obtidas dos experimentos realizados com os produtos ou os processos de fabricação.

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

Os resultados da ANOVA são geralmente apresentados em uma tabela, conforme mostra a tabela 5.4. Estes resultados representam a análise do experimento fatorial dois fatores, cada um deles com dois níveis. As colunas desta tabela incluem as 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 5.4: 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

5.4.1 Cálculo das somas dos quadrados

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

$$SS_A = \frac{[ab + a - b - (1)]^2}{4n} \quad (\text{eq. 5.6})$$

$$SS_B = \frac{[ab + b - a - (1)]^2}{4n} \quad (\text{eq. 5.7})$$

$$SS_{AxB} = \frac{[ab + (1) - a - b]^2}{4n} \quad (\text{eq. 5.8})$$

$$SS_T = \left(\sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^n y_{ijk}^2 \right) - \frac{y_{\dots}^2}{4n} \quad (\text{eq. 5.9})$$

$$SS_E = SS_T - SS_A - SS_B - SS_{AxB} \quad (\text{eq. 5.10})$$

5.4.2 Cálculo dos quadrados médios

O Quadrado Médio (QM) é a razão entre a soma de quadrados e os graus de liberdade:

$$QM_A = \frac{SQ_A}{(a-1)} \quad (\text{eq. 5.11})$$

$$QM_B = \frac{SQ_B}{(b-1)} \quad (\text{eq. 5.12})$$

$$QM_{A \times B} = \frac{SQ_{A \times B}}{(a-1)(b-1)} \quad (\text{eq. 5.13})$$

$$QM_{\text{Erro}} = \frac{SQ_{\text{Erro}}}{ab(n-1)} \quad (\text{eq. 5.14})$$

5.4.3 Cálculo da razão F

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.

$$F_A = \frac{QM_A}{QM_{\text{Erro}}} \approx F(a-1, ab(n-1)) \quad (\text{eq. 5.15})$$

$$F_B = \frac{QM_B}{QM_{\text{Erro}}} \approx F(b-1, ab(n-1)) \quad (\text{eq. 5.16})$$

$$F_{A \times B} = \frac{QM_{A \times B}}{QM_{\text{Erro}}} \approx F(a-1)(b-1, ab(n-1)) \quad (\text{eq. 5.17})$$

5.4.4 Grau de liberdade

Um grau de liberdade, no sentido estatístico, está associado a cada parcela de informação que é estimada dos dados. Por exemplo, a média é estimada de todos os dados e exige um grau de

liberdade para este propósito. Outro modo de refletir sobre o conceito de graus de liberdade é permitir 1 g.l. para cada comparação real (independente) que pode ser feita com os dados. Somente uma comparação pode ser realizada entre a média de todos os dados (há apenas uma média) e zero, o ponto de referência, portanto há apenas um g.l. associado à média que representa somente uma parcela da informação.

a) Graus de liberdade de um efeito fatorial

Cada fator tem apenas dois níveis. Então só é possível estimar o efeito linear de cada fator. Uma reta é um polinômio de primeiro grau, então cada fator tem um grau de liberdade.

Se uma interação entre fatores é representada na matriz de planejamento como um produto das colunas referentes a estes fatores, pode-se compreender a lógica do número de graus de liberdade de uma interação ser o produto dos graus de liberdade dos fatores envolvidos na interação.

b) Graus de liberdade de um experimento

O número total de graus de liberdade de um experimento equivale ao número total de observações menos 1, ou seja, se em um experimento for realizada n corridas experimentais, o experimento tem $n-1$ graus de liberdade.

5.4.5 Cálculo do nível de significância

Nível de significância de um teste estatístico é a probabilidade de se cometer o erro tipo I. Geralmente o pesquisador pode controlar a probabilidade do erro tipo I decidindo o nível de risco α que se pode tolerar. O nível de significância (valor α) é a área à esquerda do critério F na curva de distribuição de referência, conforme mostra a figura 5.3.

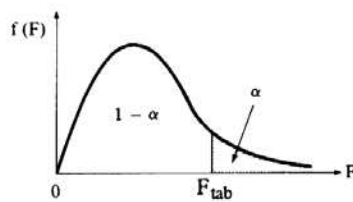


Figura 5.3: Representação gráfica da distribuição F de Snedecor para testar a hipótese H_0

É usual considerar como referência o valor 0,05 para comparar o nível de significância. Se o N.S. 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.

5.5 Intervalo de confiança

Segundo Guerra (1982) e Costa Neto (1977), as estimativas por ponto são usadas quando se necessita, ao menos aproximadamente, conhecer o valor do parâmetro para utilizá-lo em uma expressão analítica qualquer. No entanto como os estimadores são variáveis aleatórias, muitas vezes contínuas, as estimativas obtidas quase certamente serão distintas do valor do parâmetro (a probabilidade é, em geral, praticamente nula), ou seja, quase certamente estar-se-á cometendo um erro de estimação.

Desse fato surge a idéia de se construir um intervalo em torno da estimativa por ponto, de modo que esse intervalo tenha uma probabilidade conhecida (que será designada por $1-\alpha$) de conter o verdadeiro valor do parâmetro. Essa é a configuração da estimação por intervalo e o intervalo assim constituído é denominado intervalo de confiança.

O valor da probabilidade ($1-\alpha$), que usualmente assume os valores 90%, 95%, 98%, etc., é denominado nível de confiança e o valor α é chamado nível de significância, isto é, representa o erro que se está cometendo quando se afirma que a probabilidade do intervalo $[\hat{\theta}_1 \leq \theta \leq \hat{\theta}_2]$ de conter o verdadeiro valor do parâmetro populacional θ é ($1-\alpha$).

Salvo menção contrária, supõem-se os intervalos de confiança simétricos em probabilidade, isto é, a probabilidade de o parâmetro ficar fora do intervalo à sua esquerda é igual à probabilidade de ficar à direita, ambas iguais a $\alpha/2$. Entretanto a construção de intervalos de confiança assimétricos em probabilidade é perfeitamente possível, podendo-se inclusive considerar toda a probabilidade α de erro de um único lado do intervalo.

5.6 Erro experimental

É percebido por quem realiza experimentos que duas unidades experimentais submetidas ao mesmo tratamento usualmente apresentam respostas diferentes. Essa variabilidade nas respostas é devido ao erro experimental.

Através da análise estatística é possível medir a precisão das quantidades estimadas, como por exemplo as médias ou diferenças de médias, e, conseqüentemente, avaliar se os valores encontrados diferem significativamente de um valor pré estabelecido, ou ainda estabelecer intervalos de confiança para as quantidades estimadas.

No contexto da estatística o termo erro se refere à variabilidade que ocorre nas respostas devido à atuação de fatores não controlados, embora possa incorporar erros grosseiros de procedimento.

O erro experimental é devido a duas causas: a primeira delas é devido à variabilidade que existe entre as unidades experimentais e a segunda é devido à impossibilidade de se manter uniforme as condições de realização de um experimento.

5.7 Gráfico de probabilidade normal

O gráfico de probabilidade normal é construído em um sistema de coordenadas cartesianas, no qual são plotados pontos que têm, como coordenadas, uma estimativa do efeito (x_k ; $k = 1, 2, \dots, K'$) e seu valor teórico esperado (z_k ; $k = 1, 2, \dots, K'$), de acordo com uma distribuição normal padronizada $[N(0;1)]$. Para traçá-lo, as K' estimativas dos efeitos (x_k) são ordenadas. Em

seguida, encontram-se escores padronizados (z_k), correspondentes aos pontos medianos de K' intervalos consecutivos, definidos a partir da divisão da área sob uma curva $N(0;1)$ em K' partes iguais. Se os efeitos reais forem nulos, haverá uma relação aproximadamente linear entre suas estimativas: x_k e os escores padronizados esperados: z_k .

A figura 5.4 mostra um gráfico de probabilidade normal, no qual é evidenciada a existência dos seguintes efeitos de dispersão: fator A, fator B e a interação $A \times C$.

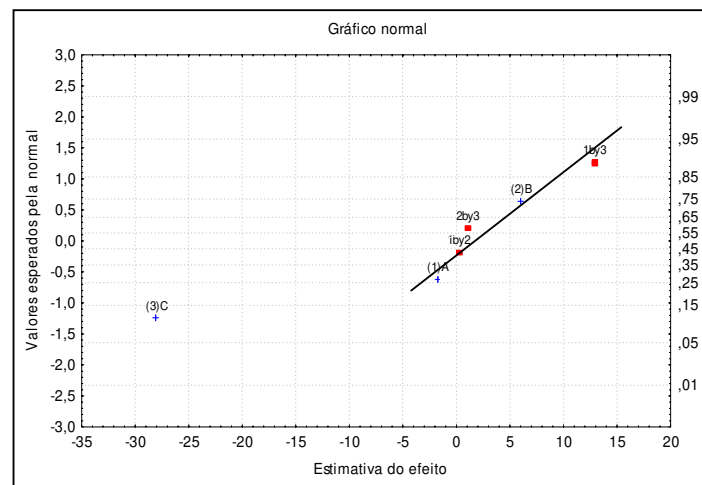


Figura 5.4: Gráfico normal dos efeitos para um exemplo fictício

O uso de gráficos de probabilidade normal é baseado no fato de que os efeitos principais ou de interação que não são significativos se distribuem segundo uma distribuição normal centrada em zero e com variância σ^2 . Estes efeitos tendem a se concentrar ao longo de uma reta normal no gráfico. No entanto, se os pontos marcados no gráfico parecerem se desviar de algum modo desta linha imaginária, existem motivos para acreditar que estes dados obtidos não estão distribuídos de maneira normal, portanto, são efeitos significativos que devem ser analisados com mais detalhes (Levine et al., 1998).

5.8 Etapas que devem ser cumpridas para utilizar a metodologia de planejamento de experimentos

A seguir será mostrado um procedimento para o planejamento de experimentos e para a análise dos resultados indicados por Montgomery (1997). Nos trabalhos de Werkema e Aguiar (1996) também podem ser encontrados detalhes deste procedimento.

5.8.1 *Reconhecimento e definição do problema*

Depende em grande parte da experiência adquirida no estudo de processos semelhantes. Todo o conhecimento disponível deve ser utilizado no problema estudado, definindo claramente os objetivos do experimento. É a etapa de organização das idéias, em que se explicita o que se conhece e o que se pretende conhecer com o experimento. Definem-se claramente os objetivos do experimento a ser realizado.

Nesta fase, a formalização do objetivo do pesquisador é transformada em hipóteses estatísticas. A primeira hipótese é nula (H_0). Essa hipótese parte do princípio de que não existe nenhuma diferença significativa entre os fatores analisados em uma população e será sempre a hipótese testada no experimento. A segunda hipótese é a alternativa (H_1) e parte do princípio de que será verdadeira caso a hipótese nula não seja aceita.

Ao utilizar a metodologia do teste de hipótese para analisar resultados experimentais podem ser cometidos dois tipos de erros: o primeiro erro (erro do tipo I) ocorre se a hipótese nula for rejeitada quando ela é verdadeira e o erro do tipo II ocorre quando a hipótese nula não for rejeitada sendo falsa.

5.8.2 *Escolha dos Fatores e Níveis*

Nesta fase são feitas as escolhas das variáveis (fatores principais) das faixas de valores em que essas variáveis serão avaliadas e os níveis destes fatores com que os ensaios serão realizados. Deve-se verificar como essas variáveis serão controladas nos níveis escolhidos e como elas serão

medidas. No planejamento de experimento, os fatores de níveis a serem considerados precisam ser definidos a priori.

Recomenda-se utilizar conhecimento não estatístico para identificar os fatores cujos níveis irão variar, aqueles cujos níveis permanecerão constantes e os que não poderão ser encontrados durante a realização do experimento. Escolhem-se também as faixas de variação dos fatores e o número de níveis de cada fator para os quais as medidas da variável resposta serão obtidas. Deve-se planejar a forma de controle dos fatores quantitativos nos níveis desejados e determinar o método de medição dos níveis destes fatores, assim como a escala de medida a ser utilizada (Werkema e Aguiar, 1996).

5.8.3 Escolha da Variável de Resposta

Deve-se utilizar uma variável resposta que realmente forneça informações sobre o problema em estudo. Deve-se determinar o método de medição da variável resposta, a escala de medidas a ser utilizada e a exatidão das medidas da variável resposta. O critério principal para essa escolha é que o erro experimental de medida da variável resposta seja mínimo, permitindo a análise estatística dos dados com um número mínimo de réplicas

5.8.4 Escolha do Planejamento Experimental

É nesta fase que é escolhida a técnica experimental, selecionada a variável de resposta e definido o número de réplicas e a ordem dos testes (aleatorização), de modo que com o menor número de amostras e ensaios seja possível obter o máximo de informações sobre os fatores individuais e também sobre as interações entre eles.

Sendo a experimentação um processo iterativo, em processos complexos, com diversas variáveis influentes, não se deve partir de um conjunto extenso de experimentos, que envolva um grande número de variáveis estudadas em diversos níveis. É mais produtivo estabelecer um conjunto inicial com número reduzido de ensaios (poucas variáveis, poucos níveis de avaliação), aprendendo sobre o processo e acrescentando novas variáveis e níveis aos poucos e eliminando

variáveis que não se apresentem influentes. Desta forma, reduz-se o número total de ensaios e reservam-se os recursos para os ensaios realmente importantes.

Aleatorização é o princípio mais importante da experimentação. Aleatorizar um experimento é alocar as unidades experimentais aos tratamentos. Seus objetivos são evitar vícios de seleção e gerar uma distribuição de referência para medir a significância das hipóteses testadas.

Um experimento contém replicações quando pelo menos duas unidades experimentais recebem o mesmo tratamento. A função básica da replicação é fornecer informações sobre o erro experimental.

5.8.5 Execução dos experimentos

Essa etapa é extremamente importante pois garante a validade experimental e exige do pesquisador um conhecimento profundo dos instrumentos, equipamentos e métodos de controle e monitoramento.

Na realização do experimento o procedimento de coleta de dados deve ser feito de acordo com o que foi planejado. Deve-se monitorar o progresso do experimento, registrando dados auxiliares (datas, número de ordem dos ensaios, dados omissos, ensaios adicionais) e quaisquer modificações que tenham sido feitas no planejamento experimental inicial (Werkema e Aguiar, 1996).

5.8.6 Análise dos resultados

Normalmente a análise dos resultados é feita com o uso de métodos estatísticos para que as conclusões estabelecidas sejam objetivas. Estes métodos não permitem afirmar se uma dada variável apresenta ou não um determinado efeito, apenas garantem a confiabilidade e a validade dos resultados, de modo que se possa determinar o erro associado nas conclusões, de acordo com um dado grau de confiança previamente estabelecido.

Nesta fase deve-se executar um processo de revisão dos dados com o objetivo de detectar possíveis erros de registro e omissões e verificar a adequação do modelo matemático adotado. Deve ser feito um exame crítico do modelo adotado e das hipóteses a ele associadas.

5.8.7 Conclusões e recomendações

As conclusões e recomendações permitirão que decisões sejam tomadas a respeito do processo em estudo. Uma documentação extensa, com o uso de gráficos e tabelas permite que se apresentem os resultados obtidos, a análise efetuada, bem como futuras repetições do procedimento empregado.

Devem-se estabelecer conclusões somente a partir dos resultados obtidos pelo experimento que foi realizado evitando fazer extrapolações para outras condições que não tenham sido incluídas no estudo. Os resultados devem ser estabelecidos em termos de suas probabilidades associadas, que irão medir a confiabilidade das conclusões obtidas. As conclusões devem ser interpretadas sob o ponto de vista técnico de modo que traduza seu significado para as aplicações de interesse. Também devem ser registradas as possíveis limitações impostas pelos dados ou pelos métodos de análise utilizados (Werkema e Aguiar, 1996).

5.9 Considerações finais

O capítulo 5 apresentou os conceitos básicos utilizados em planejamento de experimentos. O capítulo 6 irá mostrar a aplicação desses conceitos tanto na estruturação do estudo experimental como na análise dos resultados. O objetivo deste estudo é avaliar se a metodologia proposta é eficiente na determinação da significância dos parâmetros de controle da máquina circular

Capítulo 6

Estudo Experimental

Este capítulo mostra como foi montado o planejamento de experimentos, como foram executados os ensaios e como foi realizada a análise dos resultados.

6.1 Planejamento de experimentos

A máquina escolhida foi uma L. Degoisey, com diâmetro de 95,25 mm (3 3/4 polegadas), 236 agulhas, com uma finura de 20 agulhas/polegada e sistema de alimentação positiva.

6.1.1 Reconhecimento e definição do problema

Existem dois tipos de parâmetros que podem influenciar a resposta na análise de um produto: os parâmetros contínuos e os discretos. Os parâmetros contínuos podem ser medidos em escala que vai de um valor muito baixo para um valor muito alto e pode-se admitir qualquer valor intermediário. Os parâmetros discretos admitem apenas valores específicos, como ligado ou desligado, material A, B, C, etc. Portanto, se forem utilizados no experimento apenas parâmetros contínuos, devem-se usar fatores em dois níveis, pois caso haja necessidade, a interpolação ou a extrapolação podem ser utilizadas para determinar outros níveis. Se fatores discretos estão sendo analisados, mais de dois níveis podem ser exigido nos experimentos iniciais, pois neste caso a interpolação ou extrapolação não fazem sentido (Ross, 1991).

Os parâmetros contínuos de regulação da máquina escolhida são:

- 1 – Velocidade de Alimentação Positiva
- 2 – Tensão de puxamento do tecido
- 3 – Rotação da máquina
- 4 – Tensão de entrada do fio

As características dimensionais dos tecidos de malha dependem quase que exclusivamente do comprimento de fio contido em uma laçada. Trabalhando-se com o sistema de alimentação positiva, o comprimento da laçada é o parâmetro fundamental no controle da qualidade e das dimensões do tecido (Araújo, 1984).

Assim, os parâmetros de regulação da máquina circular: Velocidade de Alimentação positiva (Fator A) e Tensão de entrada do fio (Fator B) poderão influenciar nas características finais do tecido.

6.1.2 Escolha dos fatores e níveis

a) Fator de Cobertura (FC)

O fator de cobertura irá influenciar as propriedades dimensionais dos tecidos de malhas pois quanto maior for o valor do fator de cobertura maior será a quantidade de carreiras/cm, ou seja, menor será o comprimento da laçada e vice-versa. Já o número de colunas/cm é uma variável que está ligada à finura da máquina (Araújo, 1984).

Existem tabelas que relacionam o fator de cobertura para as principais ligações usadas em malharia, por exemplo, para fabricar um tecido de meia malha usando-se fio 24,6x1 tex deve-se usar um fator de cobertura $13 \leq FC \leq 17$. Se o tecido for produzido com um fator de cobertura maior que o limite superior, ele será rígido e terá pouco alongamento. Se o FC utilizado for menor que o limite inferior, o tecido produzido será mole, sem estabilidade. O $FC = 15$ é o mais comum, sendo denominado Fator de Cobertura Padrão (Tremelloni e Ceriani, 1982).

b) Cálculo da Velocidade de Alimentação Positiva

$$VAP(m/min) = \frac{N^{\circ} agullhas \times rpm \times L.F.A.(Teórico)}{100} \quad (\text{eq. 6.1})$$

c) Cálculo do L.F.A. (Teórico)

$$L.F.A.(Teórico) = \frac{\sqrt{tex}}{FC} \quad (\text{eq. 6.2})$$

Para determinar os níveis máximo e mínimo da velocidade de alimentação positiva (VAP) foram usados os limites superior e inferior do fator de cobertura admissíveis para este fio. E a rotação da máquina foi fixada em 200 rpm.

Para determinar os níveis máximo e mínimo da altura da pedra de descida foram colocadas as pedras no nível mais baixo possível (ponto mais aberto) e verificada a tensão de entrada do fio nesta posição (maior valor de tensão). Em seguida, as pedras foram colocadas no nível mais alto (ponto mais fechado) e verificada o valor da tensão nesta posição (menor valor de tensão).

Os valores obtidos para os fatores de controle, foram:

a) Fios de algodão

Fator A: Velocidade de Alimentação Positiva

$$A(+) \Rightarrow FC = 16 \Rightarrow V.A.P. = 131,4 \text{ m/min}$$

$$A(-) \Rightarrow FC = 13 \Rightarrow V.A.P. = 161,4 \text{ m/min}$$

Fator B: Altura da Pedra de Descida

$$B(+) = \text{Tensão de Entrada} = 10\text{cN (pedra nível mais baixo)}$$

$$B(-) = \text{Tensão de Entrada} = 2\text{cN (pedra nível mais alto)}$$

b) Fios de poliéster

Fator A: Velocidade de Alimentação Positiva

A(+) $\Rightarrow$ FC = 16 $\Rightarrow$ VA.P.= 132,2 m/min

A(-) $\Rightarrow$ FC = 13 $\Rightarrow$ VA.P.= 162,8 m/min

Fator B: Altura da Pedra de Descida

B(+) = Tensão de Entrada = 10cN (pedra nível mais baixo)

B(-) = Tensão de Entrada = 2cN (pedra nível mais alto)

c) Fios de poliamida

Fator A: Velocidade de Alimentação Positiva

A(+) $\Rightarrow$ FC = 15,8 $\Rightarrow$ VA.P.= 130,3 m/min

A(-) $\Rightarrow$ FC = 13 $\Rightarrow$ VA.P.= 160,5 m/min

Fator B: Altura da Pedra de Descida

B(+) = Tensão de Entrada = 10cN (pedra nível mais baixo)

B(-) = Tensão de Entrada = 2cN (pedra nível mais alto)

6.1.3 Escolha da variável resposta

Segundo a norma ASTM 3887, os principais parâmetros de um tecido de malha cru são: gramatura, número de carreira e colunas por centímetro. A norma AFNOR NFG 07.101 recomenda determinar o valor de LFA para verificar a regularidade do tecido fabricado.

Desta forma, foram selecionadas as seguintes variáveis resposta: gramatura, número de carreiras por centímetro, número de colunas por centímetro e L.F.A.

6.1.4 Escolha do planejamento experimental

O planejamento escolhido foi um fatorial 2^2 mostrado na tabela 5.3. Como são dois fatores de controle (A e B) em dois níveis (+ e -), têm-se quatro combinações possíveis de regulagem da máquina.

Teste de Hipóteses

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

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

6.1.5 Execução dos experimentos

Para cada matéria prima, foi usado um plano experimental completamente aleatorizado e para cada regulagem da máquina foi feita uma replicação.

Neste trabalho, tanto a ordem de execução das regulagens como as de suas replicações foram determinadas por sorteio.

6.1.6 Análise dos resultados

Com o planejamento fatorial 2^2 para cada matéria prima, foram produzidos tecidos com quatro regulagens da máquina (1/1, 2/1, 3/1 e 4/1) e para cada regulagem foi feita uma replicação (1/2, 2/2, 3/2 e 4/2).

Os valores dos ensaios físicos obtidos na análise do tecido encontram-se no Apêndice A.

a) Procedimento de Chauvenet

Foi utilizado este procedimento para verificar a presença de resultados anômalos na amostra. Os valores determinados encontram-se no Apêndice B.

b) Fatores de controle e de interação

Com o objetivo de verificar quais os fatores que são realmente significativos para cada parâmetro investigado, foram calculados os efeitos dos fatores principais e da interação e montados os gráficos de probabilidade normal. Os gráficos e os valores calculados encontram-se no Apêndice B.

c) Análise da variância

Com o objetivo de verificar se estatisticamente a variação dos resultados experimentais é realmente produzida pelo fator A, foi utilizada a ferramenta análise da variância. Para análise dos resultados foi utilizado um intervalo de 95% ($p=0,05$). As tabelas ANOVA encontram-se no Apêndice B.

6.1.7 Conclusões e recomendações

Com a aplicação do procedimento de Chauvenet foi possível concluir que nenhum resultado deverá ser descartado, pois em todos os experimentos o valor de $DR_0 > |DR|$.

Os gráficos de probabilidade normal mostram, para as características do tecido de malha: gramatura, número de carreiras por centímetro e LFA, que a velocidade de alimentação positiva parece desviar da reta imaginária. Portanto, pode-se dizer que este efeito é significativo e que deve ser analisado com mais detalhe. Já a tensão de entrada do fio e a interação não são significativas pois, tendem a se concentrar ao longo da reta normal. Para os valores de número de colunas por centímetro, tanto os efeitos principais como a interação, tendem a se concentrar ao longo de uma reta normal, portanto, neste caso, nenhum dos efeitos é significativo.

Através da análise de variância podem-se confirmar as afirmações feitas na interpretação dos gráficos de probabilidade normal. A velocidade de alimentação positiva irá influenciar na gramatura, no número de carreiras por centímetro e no LFA, pois em todos os tecidos analisados, os valores de p são menores que 0,05. A tensão de entrada do fio e a interação, não são estatisticamente significantes para nenhuma das características verificadas, pois os valores de p

são maiores que 0,05. Para os valores de número de colunas por centímetro, tanto nos efeitos principais como na interação os valores de p são maiores que 0,05, portanto, nenhum deles é significativo.

6.2 Considerações finais

O capítulo 6 mostrou como foi montado o planejamento de experimentos, a execução dos ensaios e a análise dos resultados.

Capítulo 7

Análise da Superfície Resposta

Este capítulo descreve a metodologia de superfície de resposta, a metodologia utilizada para ajustar o modelo, o estudo de verificação de curvatura na região experimental, a análise do resíduo do modelo ajustado e mostra a representação do modelo através da superfície de resposta.

Segundo Myers et al. (1989), a Metodologia de Superfície Resposta (MSR) é um conjunto de técnicas de planejamento e análise de experimentos usadas na modelagem matemática de respostas. Este método foi desenvolvido por George Box, com a colaboração de outros autores, na década de 1950. O estudo foi motivado porque os pesquisadores sentiram a necessidade de utilizar um procedimento para determinar os níveis ótimos dos fatores de controle que interferem na resposta de um sistema.

Somente na década de 1980, a MSR passou a ser aplicada nas empresas, principalmente nas indústrias japonesas e americanas. Este método pode contribuir na melhoria da qualidade de produtos ou processos de fabricação, a aumentar a produtividade e a reduzir o tempo de desenvolvimento de produtos, entre outros fatores, Guedes (1996).

Depois de identificados os fatores significativos, o experimento pode ser aumentado com ensaios adicionais no centro da região experimental. Isto permite avaliar se a superfície de resposta linear é adequada ou se existe alguma curvatura, Myers e Montgomery (1995).

7.1 Construção de modelos

Com os valores experimentais, busca-se estimar uma superfície resposta, que relaciona uma resposta do processo com os fatores de entrada. Isto é feito através da análise de regressão. Stigler (1986) descreve que o termo regressão surgiu com os trabalhos de Galton, no final do século passado. Estes trabalhos procuravam explicar certas características de um indivíduo a partir das características de seus pais, este modelo estatístico ficou conhecido como regressão.

A análise de regressão é utilizada para descrever o possível relacionamento entre variáveis, ou seja, para descobrir se há uma relação entre as variáveis de entrada ou independentes e a variável de saída ou dependente, que possa ser descrita por uma equação matemática.

Matematicamente, uma equação de regressão pode ser descrita por:

$$Y = \phi (x_1, x_2, \dots, x_l), \quad (\text{eq. 7.1})$$

onde y é a variável dependente; $x_1, x_2, \dots, x_l$ as variáveis independentes e ϕ a função de ligação. Como é impossível controlar todas as variáveis independentes que podem influenciar a variável dependente e, até mesmo, a possível ocorrência de erro na medição dessas variáveis sob controle, a estatística descreve o modelo como:

$$y = \psi (x_1, x_2, \dots, x_k) + e \quad (\text{eq.7.2})$$

sendo ε o erro experimental. Para a n -ésima observação, tem-se:

$$y_n = \psi (x_{1i}, x_{2i}, \dots, x_{ki}) + e_i \quad (\text{eq.7.3})$$

supondo-se que e_i é aproximadamente $N(0; \sigma^2)$. A suposição de que os erros apresentem distribuição normal é necessária para poder ser utilizada a distribuição F para o teste das hipóteses a respeito dos parâmetros do modelo.

Em um estudo experimental para aplicar a técnica de regressão, as variáveis independentes, $x_1, x_2, \dots, x_k$, são os fatores controlados no experimento e a variável dependente, y , sua resposta. Determinar a equação de regressão, a partir dos resultados do experimento, permite prever o valor esperado da resposta, possibilitando encontrar x onde $x \in D \subset \mathfrak{R}^k$, sendo:

$E(y)$	o valor esperado para a resposta y ;
f	uma função de ligação;
x	o vetor de variáveis independentes;
β	o vetor de parâmetros do modelo matemático;
$D \subset \mathfrak{R}^k$	a região experimental.

Em projetos experimentais do tipo 2^k , a função f , normalmente utilizada, é a linear. Para identificar uma determinada superfície plana, é necessário obter estimativas para os elementos do vetor β , o que pode ser feito pelo método dos mínimos quadrados. Ele tem como princípio de que a melhor superfície que se ajusta a um conjunto de dados é aquela com a menor soma dos quadrados dos desvios de cada valor em relação ao correspondente valor predito pelo modelo.

Uma superfície de primeira ordem (ou linear) tem a seguinte forma:

$$f(x, \beta) = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_k x_k \quad (\text{eq.7.4})$$

Quando se modela a resposta do i -ésimo ensaio, y_i ($i = 1, 2, \dots, n$), deve-se considerar os ruídos gerados pela infinidade de fatores não incluídos no modelo e que agem de forma não sistemática sobre a resposta. Os ruídos produzirão um termo adicional na equação (7.5), o qual é chamado de *erro aleatório* e será denotado por e_i ($i = 1, 2, \dots, n$).

Uma superfície de resposta linear pode ser escrita em termos das observações y_i ($i = 1, 2, \dots, n$), como

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \dots + \beta_k x_{ik} + e_i \quad (\text{eq.7.5})$$

Esta superfície de resposta pode ser escrita em termos de um modelo linear geral, tal como

$$y = X\beta + \varepsilon \quad (\text{eq.7.6})$$

onde:

y é um vetor $n \times 1$, com as observações da variável resposta;

X é uma matriz $n \times p$, com as variáveis de entrada (matriz de planeamento);

β é um vetor $p \times 1$, com os parâmetros do modelo;

ε é um vetor $n \times 1$, com os erros aleatórios.

7.2 A estimativa dos parâmetros

Dada a forma do modelo, necessita-se estimar o vetor de parâmetros β . O método mais conhecido é o dos mínimos quadrados, que busca o vetor $\bar{\beta}$ que minimiza a soma quadrática dos erros, ou seja, $\bar{\beta}$ é o resultado da seguinte operação matricial:

$$\min_{\beta}(\varepsilon'\varepsilon) = \min_{\beta}\{(y - X\beta)'(y - X\beta)\}$$

cujas solução é

$$\bar{\beta} = (X'X)^{-1}X'y \quad (\text{eq.7.7})$$

Obtidas as estimativas dos parâmetros, torna-se conveniente avaliar se a forma funcional do modelo, previamente estabelecida, é adequada. Isto pode ser feito por um gráfico que relaciona as estimativas dos erros com os correspondentes valores preditos, chamado gráfico dos resíduos. O vetor de estimativas dos erros (ou resíduos) e o vetor dos valores preditos são calculados, respectivamente, por

$$\bar{\varepsilon} = y - X\bar{\beta} \quad \text{e} \quad \bar{y} = X\bar{\beta} \quad (\text{eq.7.8})$$

Se o modelo foi especificado adequadamente, os elementos de $\hat{\epsilon}$ devem apresentar-se aleatoriamente em torno de zero, independentemente da magnitude dos valores preditos. Além disso, é desejável que os resíduos sigam a forma de uma distribuição normal.

O modelo de regressão para um experimento com 2 fatores é representado por:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_{12} x_1 x_2 + \epsilon \quad (\text{eq.7.9})$$

onde: y é a variável resposta, os β 's são os parâmetros, x_1 e x_2 são as variáveis que representam os fatores A e B respectivamente e ϵ é um termo do erro aleatório.

Estimativas dos parâmetros (Método dos mínimos quadrados):

$$\hat{\beta}_1 = \frac{\text{Efeito de A}}{2} \quad (\text{eq.7.10})$$

$$\hat{\beta}_2 = \frac{\text{Efeito de B}}{2} \quad (\text{eq.7.11})$$

$$\hat{\beta}_{12} = \frac{\text{Efeito de AB}}{2} \quad (\text{eq.7.12})$$

$$\hat{\beta}_0 = \frac{y_{1,1} + y_{1,2} + y_{2,1} + y_{2,2} + y_{3,1} + y_{3,2} + y_{4,1} + y_{4,2}}{8} \quad (\text{eq.7.13})$$

7.3 Modelo ajustado

O ajuste foi feito utilizando-se o método de Mínimos Quadrados, ou seja, os parâmetros foram calculados de forma a minimizar a soma dos quadrados dos resíduos.

7.3.1 Tecidos de malha 100% algodão

$$\text{Gramatura: } \hat{y} = 135,97 + 14,32x_1 - 0,78x_2 + 0,55x_1x_2 \quad (\text{eq.7.14})$$

$$\text{Número de carreiras por centímetro: } \hat{z} = 17,25 + 2,70x_1 - 0,05x_2 + 0,00x_1x_2 \quad (\text{eq.7.15})$$

$$\text{Número de colunas por centímetro: } \hat{w} = 13,00 - 0,10x_1 + 0,00x_2 + 0,10x_1x_2 \quad (\text{eq.7.16})$$

$$\text{LFA: } \hat{k} = 3,10 - 0,25x_1 - 0,00x_2 + 0,01x_1x_2 \quad (\text{eq.7.17})$$

7.3.2 Tecidos de malha 100% poliéster

$$\text{Gramatura: } \hat{a} = 119,33 + 15,73x_1 - 0,33x_2 + 0,40x_1x_2 \quad (\text{eq.7.18})$$

$$\text{Número de carreiras por centímetro: } \hat{b} = 15,25 + 2,70x_1 + 0,00x_2 - 0,05x_1x_2 \quad (\text{eq.7.19})$$

$$\text{Número de colunas por centímetro: } \hat{c} = 13,00 - 0,10x_1 + 0,00x_2 + 0,10x_1x_2 \quad (\text{eq.7.20})$$

$$\text{LFA: } \hat{d} = 3,15 - 0,30x_1 + 0,00x_2 + 0,00x_1x_2 \quad (\text{eq.7.21})$$

7.3.3 Tecidos de malha 100% poliamida

$$\text{Gramatura: } \hat{r} = 132,19 + 20,44x_1 - 0,42x_2 + 0,33x_1x_2 \quad (\text{eq.7.22})$$

$$\text{Número de carreiras por centímetro: } \hat{s} = 16,75 + 3,20x_1 + 0,05x_2 + 0,00x_1x_2 \quad (\text{eq.7.23})$$

$$\text{Número de colunas por centímetro: } \hat{t} = 13,00 - 0,10x_1 + 0,00x_2 + 0,10x_1x_2 \quad (\text{eq.7.24})$$

$$\text{LFA: } \hat{u} = 3,19 - 0,34x_1 + 0,00x_2 + 0,01x_1x_2 \quad (\text{eq.7.25})$$

7.4 Adição de pontos centrais

Quando é realizado um experimento fatorial 2^k , dificilmente o experimentador sabe se a resposta varia de forma linear ou não linear em função dos fatores, pois estes estão sendo analisados em apenas dois níveis. Uma forma de verificar a existência de curvatura na superfície resposta é adicionar ao experimento pontos centrais. Este método consiste em adicionar pontos centrais, intermediário aos níveis $(-1, +1)$, para os fatores x_i ($i = 1, 2, \dots, k$).

Segundo Montgomery (1997), os pontos centrais são utilizados para conservar a linearidade dos efeitos provocados pelos fatores no experimento, assim como, para estimar os erros experimentais, sem influenciar os efeitos produzidos pelos fatores nas respostas.

Uma vantagem adicional de incluir os pontos centrais no experimento é a possibilidade de se obter uma estimativa da variância do erro. Se $y_{c1}, y_{c2}, \dots, y_{cn}$ são as observações no ponto central e $\bar{y}_c$ é a média das observações no ponto central, então a equação 7.26 fornece uma estimativa da variância do erro experimental.

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_{ci} - \bar{y}_c)^2}{n_c - 1} \quad (\text{eq.7.26})$$

7.5 Estimativa da curvatura da superfície

A análise de variância pode ser utilizada para verificar se variação dos coeficientes ($\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$) do modelo matemático interfere significativamente na modelagem da superfície resposta.

A linearidade do modelo matemático pode ser verificada ao estimar a diferença entre a média das respostas para os pontos fatoriais do experimento ($\bar{y}_F$), e a média dos resultados obtidos em n_c rodadas do ponto central ($\bar{y}_c$). Se $|\bar{y}_F - \bar{y}_c|$ for pequeno, então assume-se que o ponto central está próximo ao plano gerado pelas respostas obtidas nos pontos 2^k e a região é plana. Se $|\bar{y}_F - \bar{y}_c|$ for grande, então existe curvatura na região experimental (Montgomery, 1997 e Box & Hunter, 1957).

A estatística F deve ser utilizada para testar se a curvatura é significativa. Se $F_{\text{exp}} > F_{0,05,\{1,(nc-1)\}}$, a curvatura é significativa. Caso contrário, não existe uma curvatura acentuada no plano e portanto, o polinômio pode ser adotado como uma boa aproximação da superfície resposta.

7.5.1 Verificação da curvatura na região central

Foram realizados ensaios físicos de gramatura, número de carreiras por centímetro, número de colunas por centímetro e LFA, para verificar se existe curvatura na região experimental, os valores experimentais obtidos na análise dos tecidos encontram-se no Apêndice A.

a) Tecidos de malha 100% algodão

Gramatura

$$\bar{y}_c = 135,83g / m^2 \quad S = 0,10g / m^2$$

$$\bar{y}_F = 135,85g / m^2 \quad F = 0,06$$

Número de carreiras por centímetro

$$\bar{y}_c = 17,5car / cm \quad S = 0,14car / cm$$

$$\bar{y}_F = 17,25car / cm \quad F = 5,00$$

Número de colunas por centímetro

$$\bar{y}_c = 12,9col / cm \quad S = 0,14col / cm$$

$$\bar{y}_F = 13,00col / cm \quad F = 0,80$$

LFA

$$\bar{y}_c = 3,105mm \quad S = 0,01mm$$

$$\bar{y}_F = 3,096mm \quad F = 0,40$$

b) Tecidos de malha 100% poliéster

Gramatura

$$\bar{y}_c = 118,71g / m^2 \quad S = 0,72g / m^2$$

$$\bar{y}_F = 119,33g / m^2 \quad F = 1,18$$

Número de carreiras por centímetro

$$\bar{y}_c = 15,5car/cm \quad S = 0,14car/cm$$

$$\bar{y}_F = 15,25car/cm \quad F = 5,00$$

Número de columnas por centímetro

$$\bar{y}_c = 12,9col/cm \quad S = 0,14col/cm$$

$$\bar{y}_F = 13,00col/cm \quad F = 0,80$$

LFA

$$\bar{y}_c = 3,145mm \quad S = 0,01mm$$

$$\bar{y}_F = 3,15mm \quad F = 0,40$$

c) Tecidos de malha 100% poliamida

Gramatura

$$\bar{y}_c = 131,29g/m^2 \quad S = 0,93g/m^2$$

$$\bar{y}_F = 132,19g/m^2 \quad F = 1,49$$

Número de carreiras por centímetro

$$\bar{y}_c = 16,5car/cm \quad S = 0,14car/cm$$

$$\bar{y}_F = 16,75car/cm \quad F = 5,00$$

Número de columnas por centímetro

$$\bar{y}_c = 12,9col/cm \quad S = 0,14col/cm$$

$$\bar{y}_F = 13,00col/cm \quad F = 0,80$$

LFA

$$\bar{y}_c = 3,195mm \quad S = 0,01mm$$

$$\bar{y}_F = 3,19mm \quad F = 0,40$$

7.5.2 *Análise dos resultados*

Como, em todos os parâmetros analisados, $F_{0,05, 1,4} > F_{\text{exp}}$ então, as superfícies de resposta não apresentam curvatura significativa na região central. Desta forma, o modelo de 1ª ordem é adequado para descrever a superfície nesta região experimental.

7.6 **Resíduo**

O resíduo é a diferença entre o valor observado e o valor predito. Os resíduos de um modelo ajustado são elementos fundamentais para realizar o diagnóstico do ajuste.

7.7 **Gráfico Probabilístico de Resíduo**

Este gráfico fornece informações sobre distribuição do erro experimental e espera-se que esteja seguindo uma distribuição normal. Espera-se que o gráfico mostre os resíduos aproximadamente alinhados em torno de uma reta. Se esse não for o caso, é preciso investigar as possíveis anormalidades no experimento ou a necessidade de transformar os dados para uma escala mais conveniente. As figuras 7.1, 7.2, 7.3 e 7.4 apresentam os gráficos de probabilístico de resíduo para a gramatura, número de carreiras e de colunas por centímetro e LFA do tecido de malha 100% algodão. As figuras 7.5, 7.6, 7.7 e 7.8 mostram os gráficos para as mesmas características do tecido de malha 100% poliéster. As figuras 7.11, 7.12, 7.13 e 7.14 mostram os gráficos para as mesmas características do tecido de malha 100% poliamida.

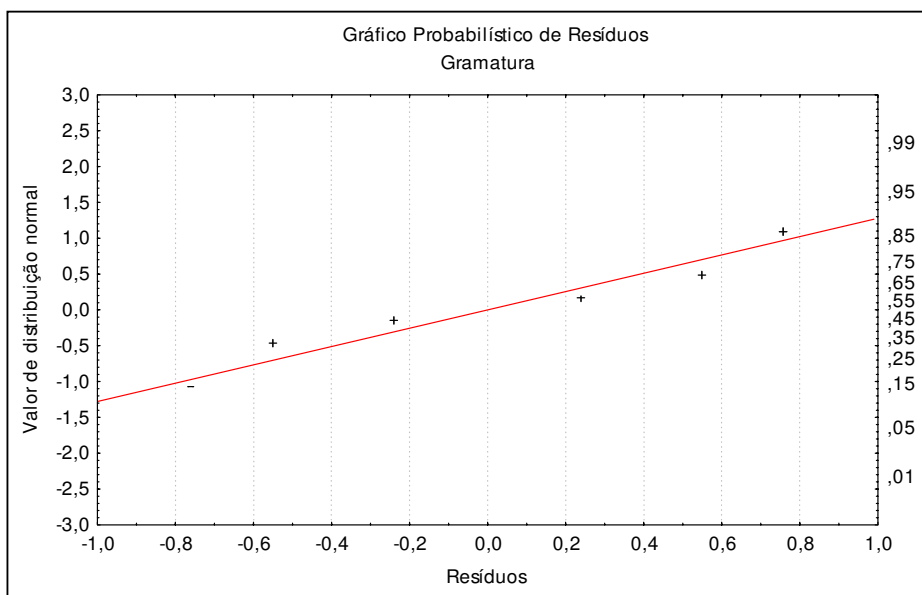


Figura 7.1: Gráfico probabilístico dos resíduos para a gramatura do tecido 100% algodão

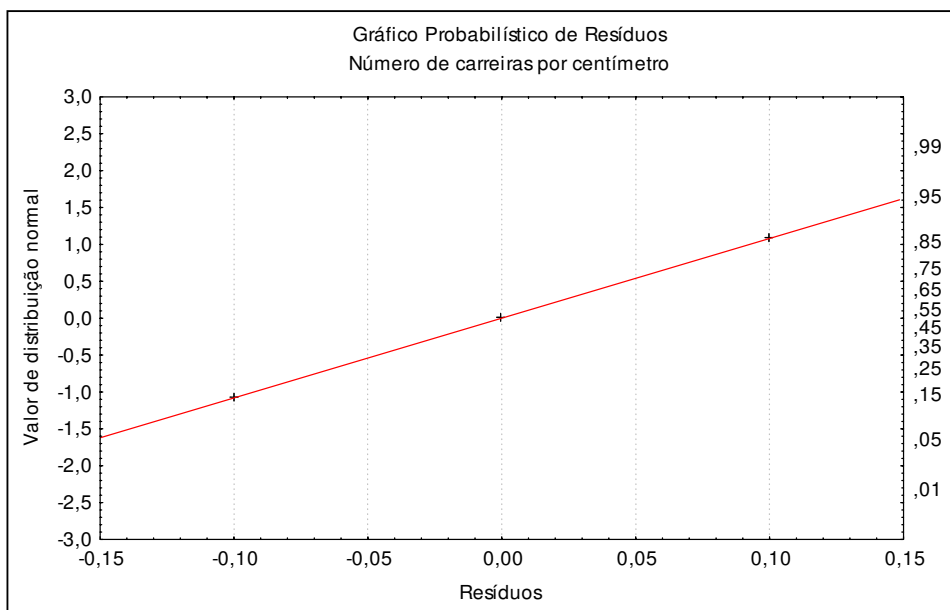


Figura 7.2: Gráfico probabilístico dos resíduos para o número de carreiras por centímetro do tecido 100% algodão

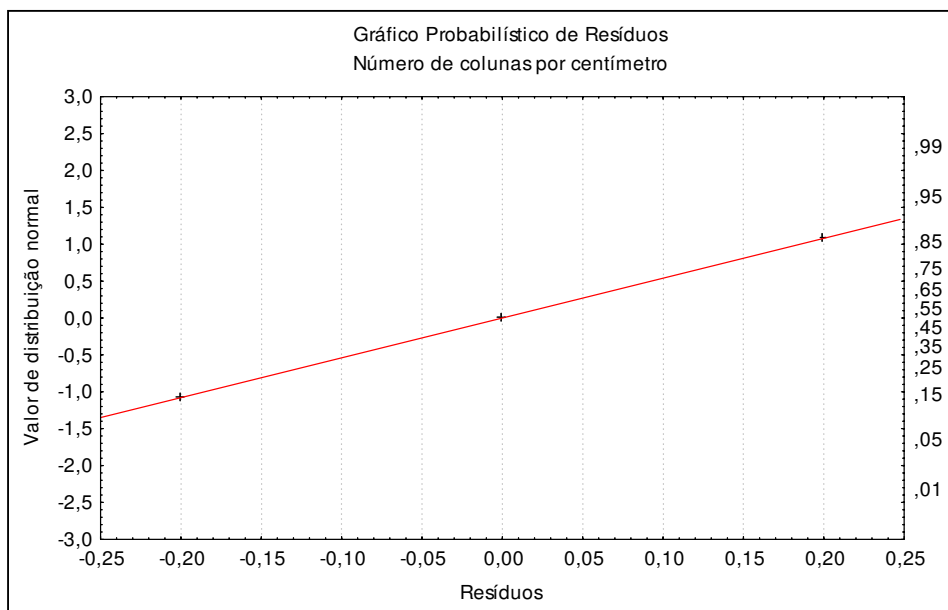


Figura 7.3: Gráfico probabilístico dos resíduos para o número de colunas por centímetro do tecido 100% algodão

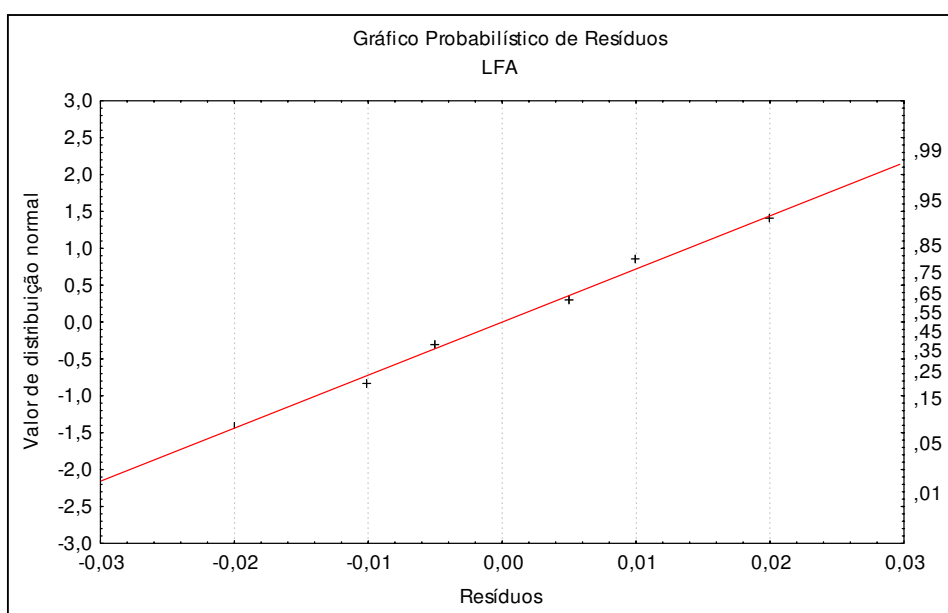


Figura 7.4: Gráfico probabilístico dos resíduos para o LFA do tecido 100% algodão

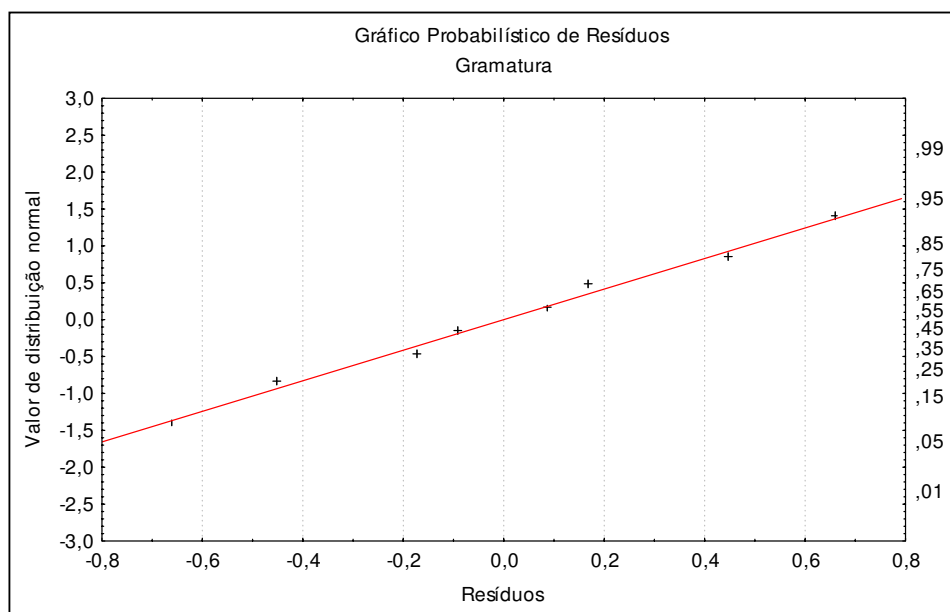


Figura 7.5: Gráfico probabilístico dos resíduos para a gramatura do tecido 100% poliéster

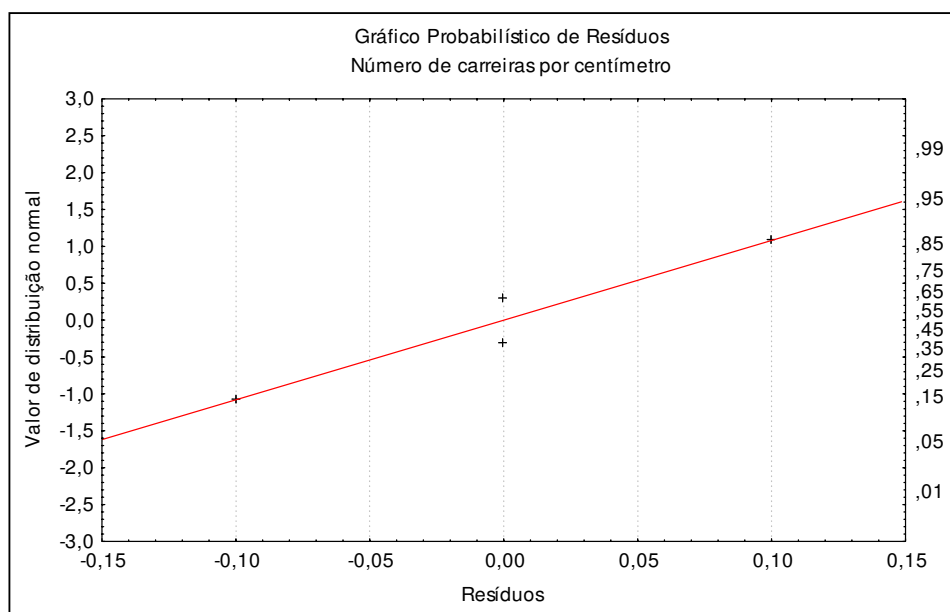


Figura 7.6: Gráfico probabilístico dos resíduos para o número de carreiras por centímetro do tecido 100% poliéster

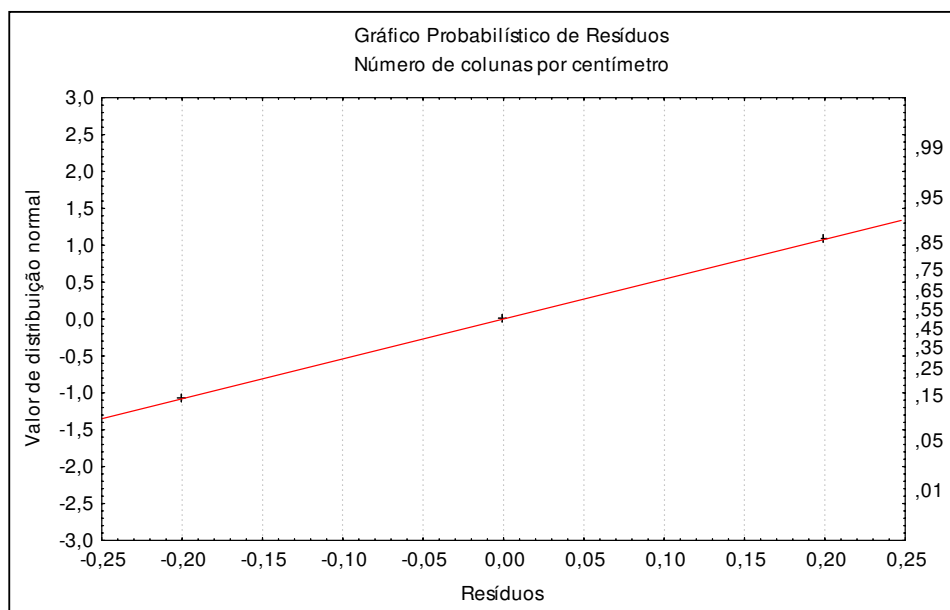


Figura 7.7: Gráfico probabilístico dos resíduos para o número de colunas por centímetro do tecido 100% poliéster

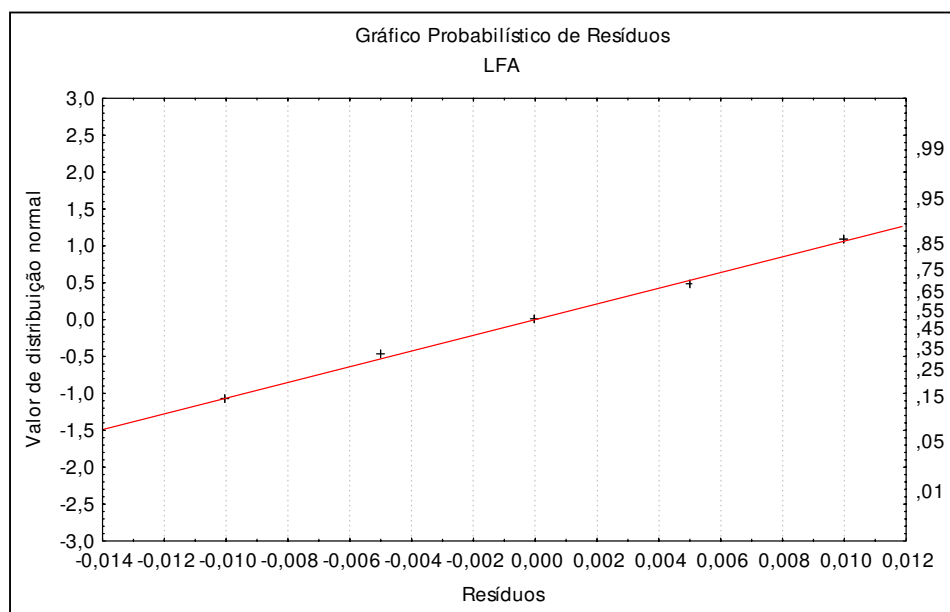


Figura 7.8: Gráfico probabilístico dos resíduos para o LFA do tecido 100% poliéster

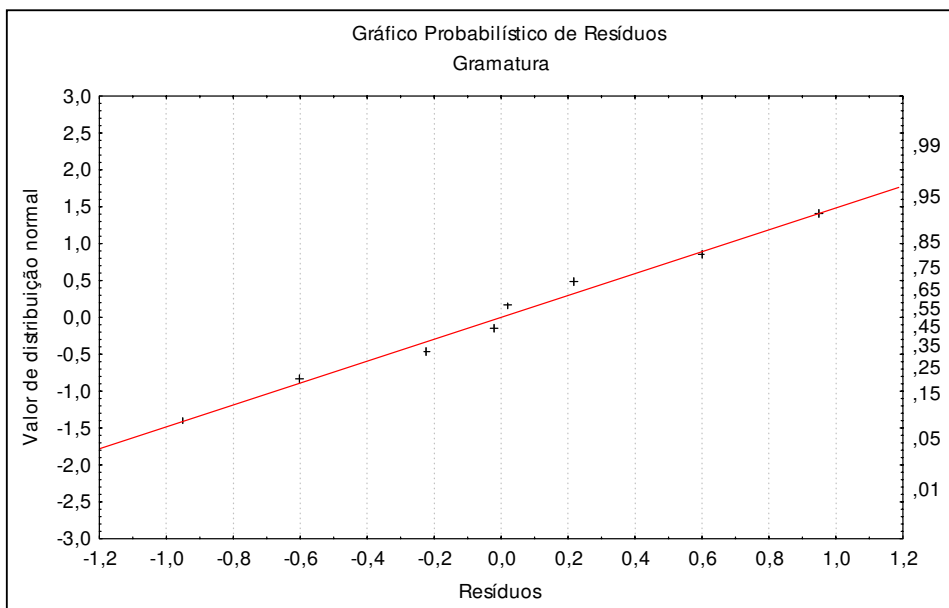


Figura 7.9: Gráfico probabilístico dos resíduos para a gramatura do tecido 100% poliamida

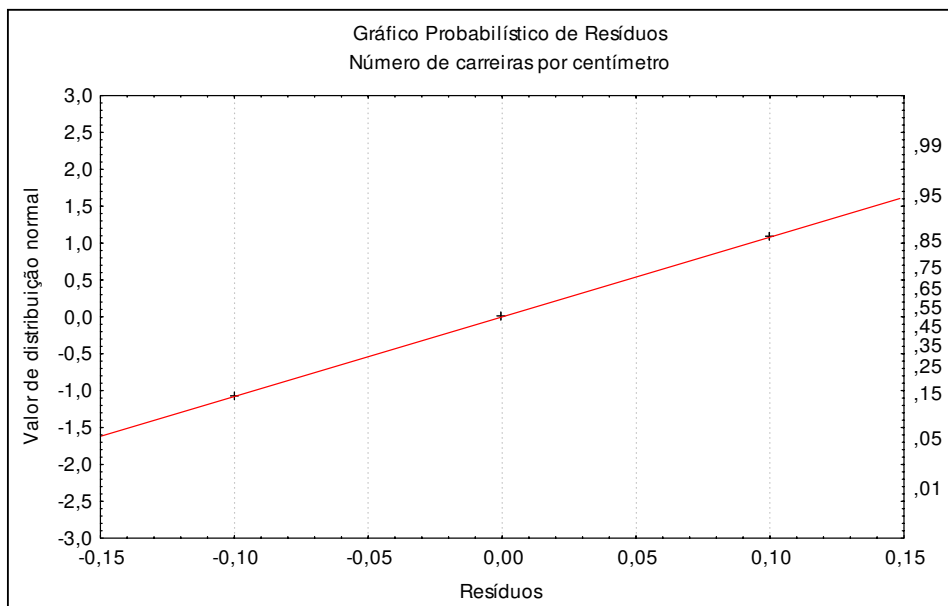


Figura 7.10: Gráfico probabilístico dos resíduos para o número de carreiras por centímetro do tecido 100% poliamida

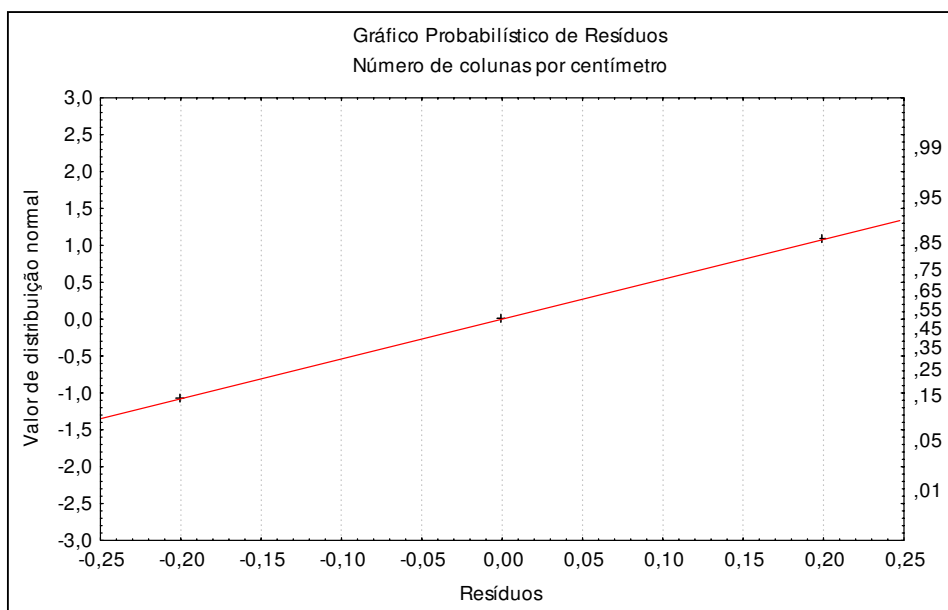


Figura 7.11: Gráfico probabilístico dos resíduos para o número de colunas por centímetro do tecido 100% poliamida

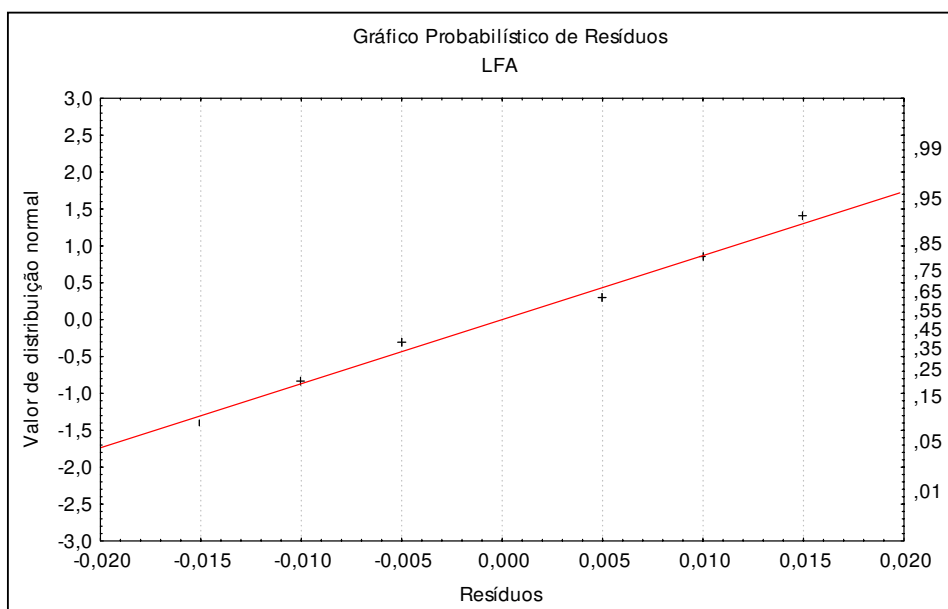


Figura 7.12: Gráfico probabilístico dos resíduos para o LFA do tecido 100% poliamida

7.7.1 Análise dos Resultados

Em todos os gráficos observa-se que os pontos estão se aproximando de uma reta portanto, pode-se concluir que a distribuição do erro experimental está seguindo a distribuição normal.

7.8 Superfície Resposta

O modelo ajustado pode ser expresso através da superfície resposta na forma de gráficos tridimensionais.

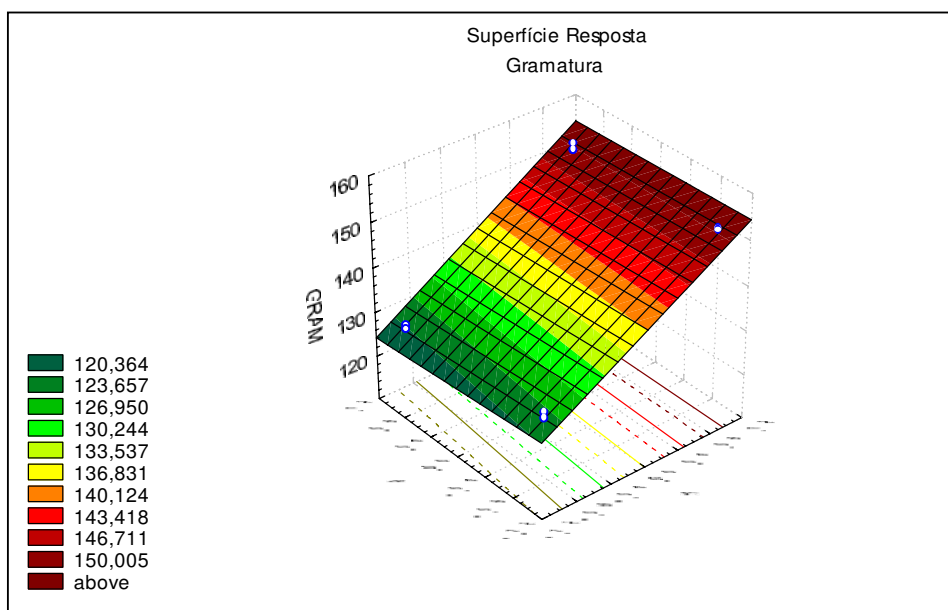


Figura 7.13: Representação gráfica da superfície resposta em três dimensões da gramatura do tecido 100% algodão

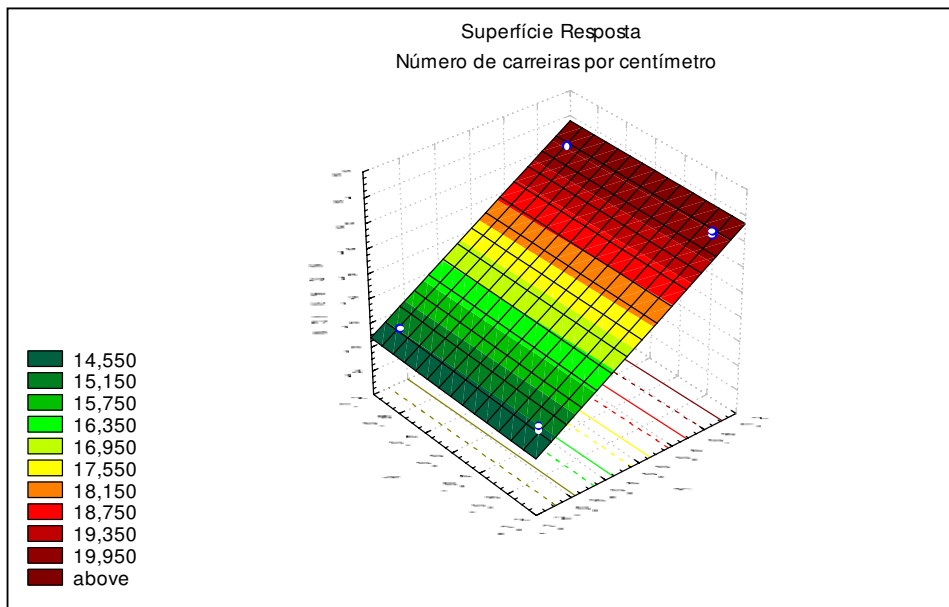


Figura 7.14: Representação gráfica da superfície resposta em três dimensões do número de carreiras por centímetro do tecido 100% algodão

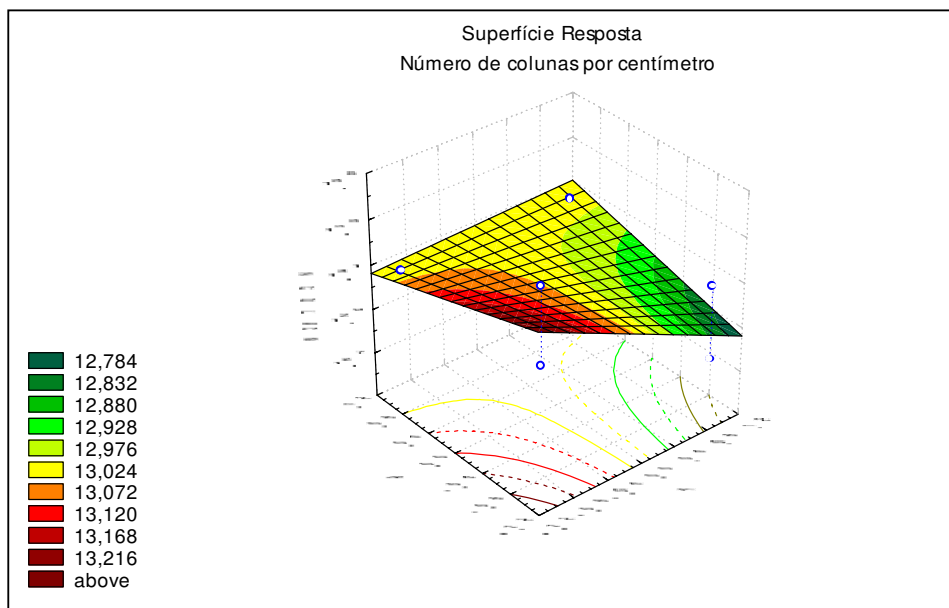


Figura 7.15: Representação gráfica da superfície resposta em três dimensões do número de colunas por centímetro do tecido 100% algodão

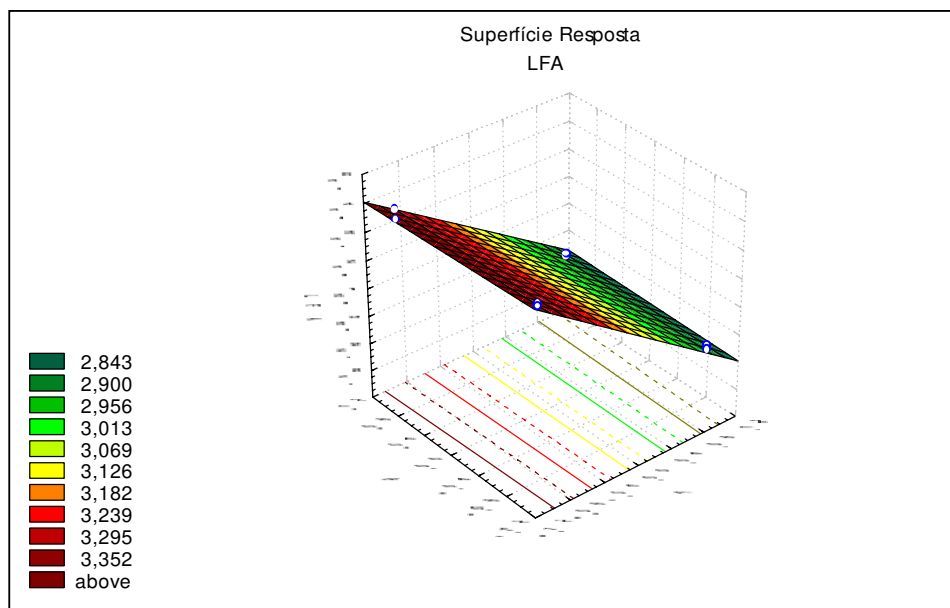


Figura 7.16: Representação gráfica da superfície resposta em três dimensões do LFA do tecido cru

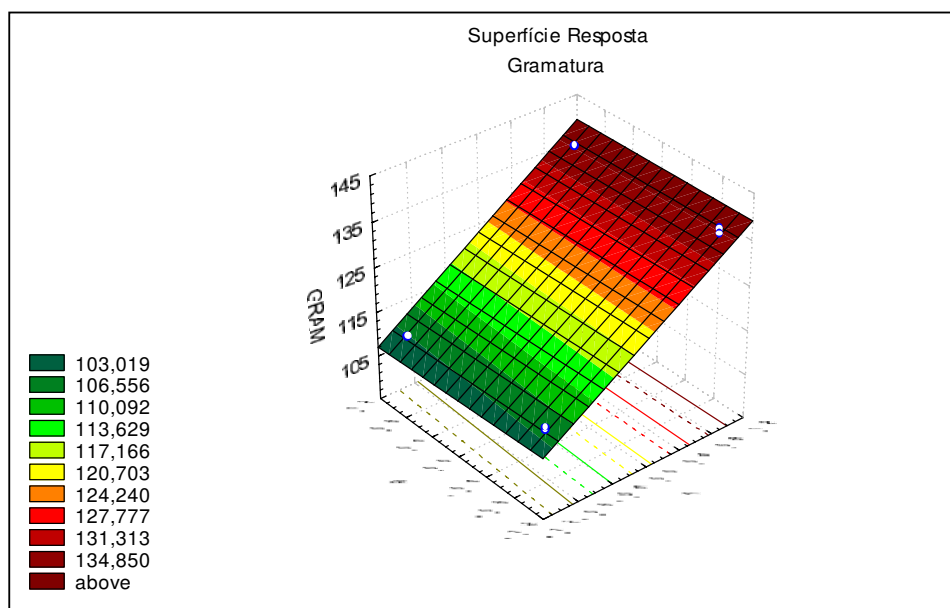


Figura 7.17: Representação gráfica da superfície resposta em três dimensões da gramatura do tecido 100% poliéster

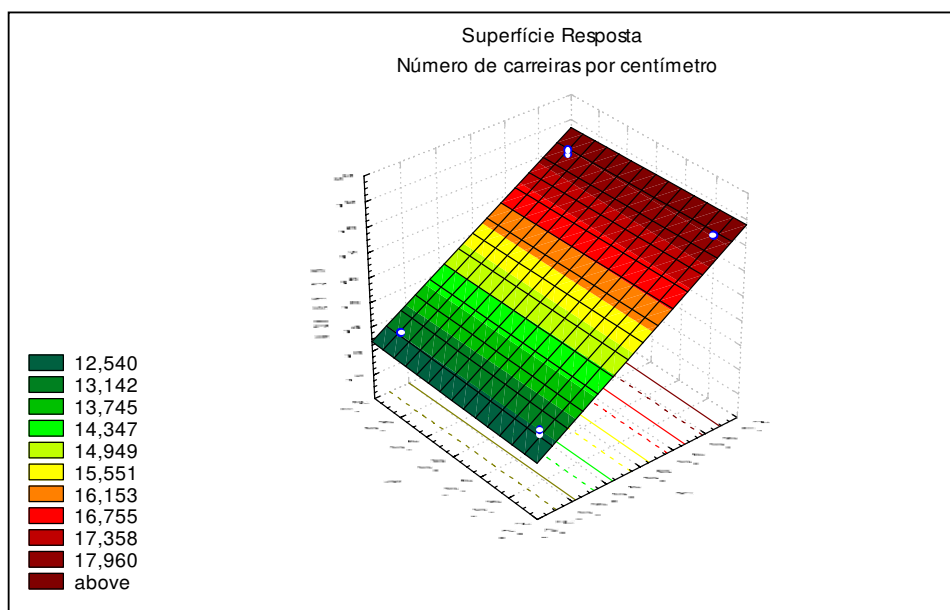


Figura 7.18: Representação gráfica da superfície resposta em três dimensões do número de carreiras por centímetro do tecido 100% poliéster

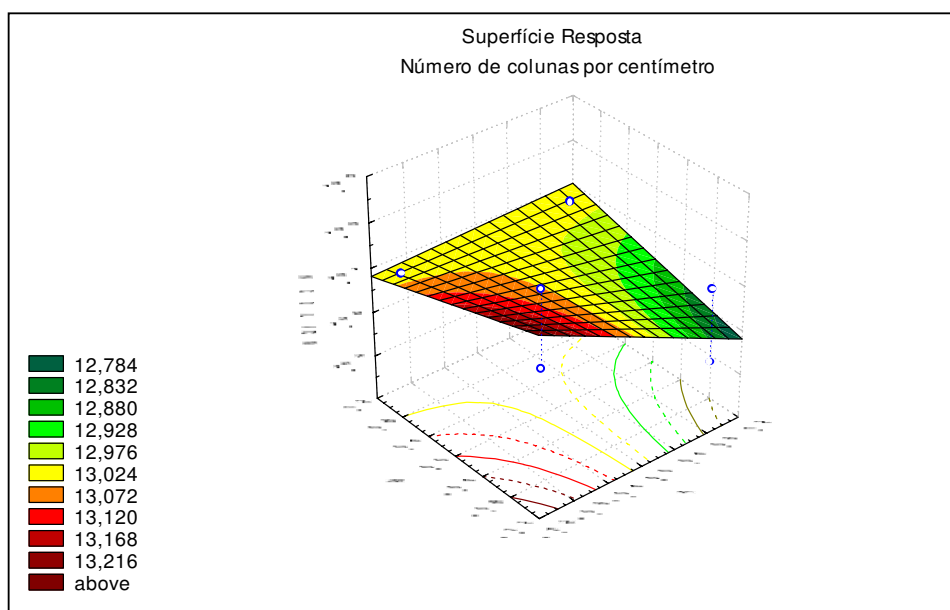


Figura 7.19: Representação gráfica da superfície resposta em três dimensões do número de colunas por centímetro do tecido 100% poliéster

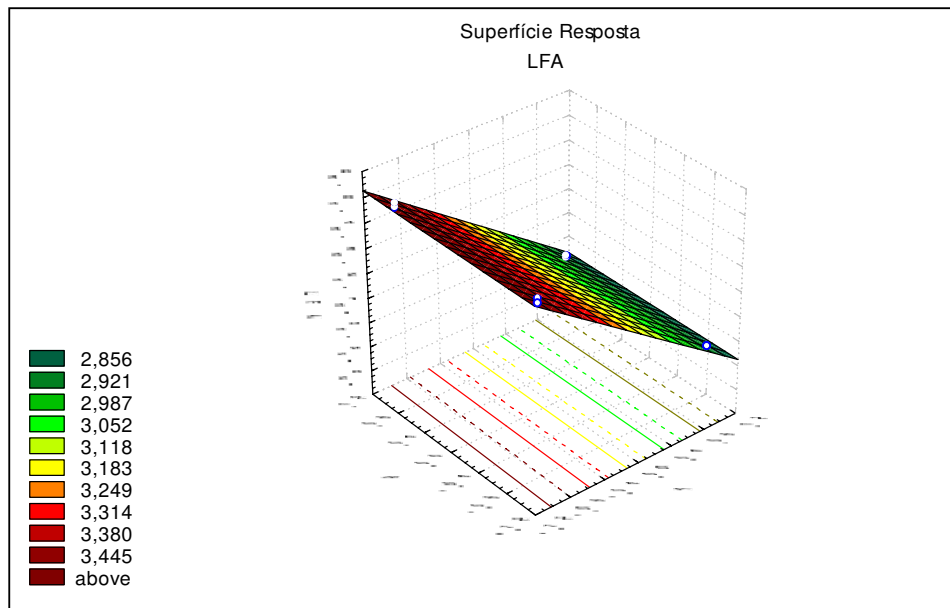


Figura 7.20: Representação gráfica da superfície resposta em três dimensões do LFA do tecido 100% poliéster

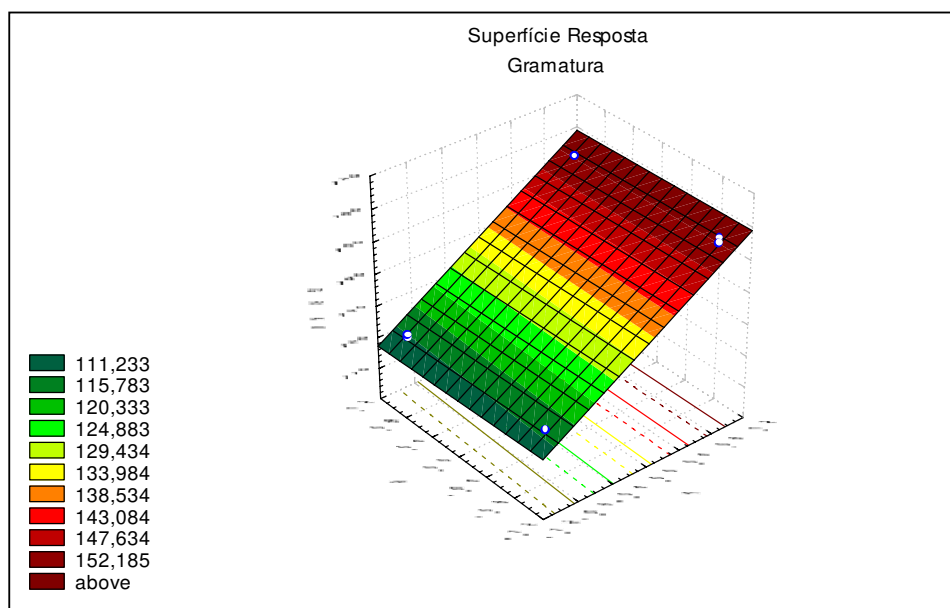


Figura 7.21: Representação gráfica da superfície resposta em três dimensões da gramatura do tecido 100% poliamida

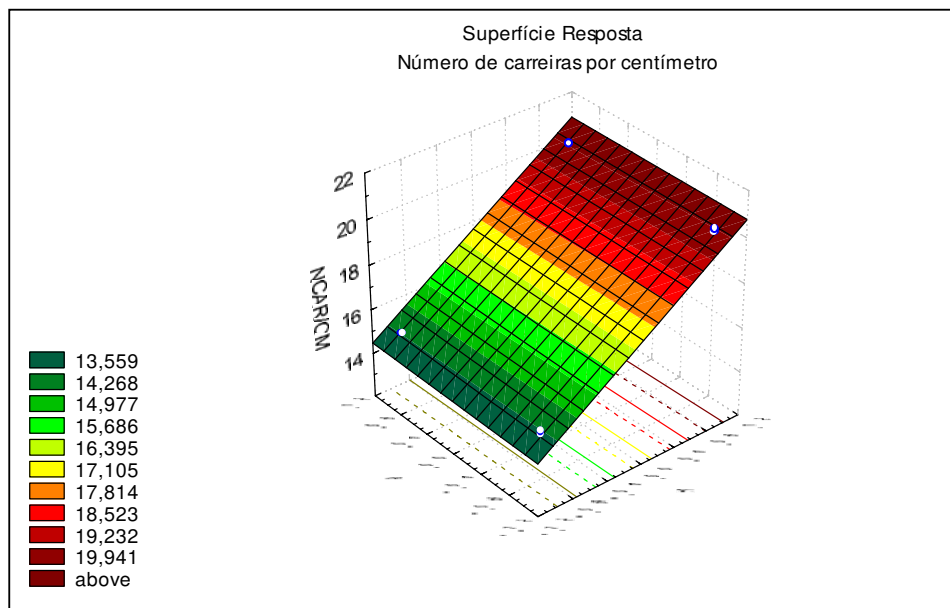


Figura 7.22: Representação gráfica da superfície resposta em três dimensões do número de carreiras por centímetro do tecido 100% poliamida

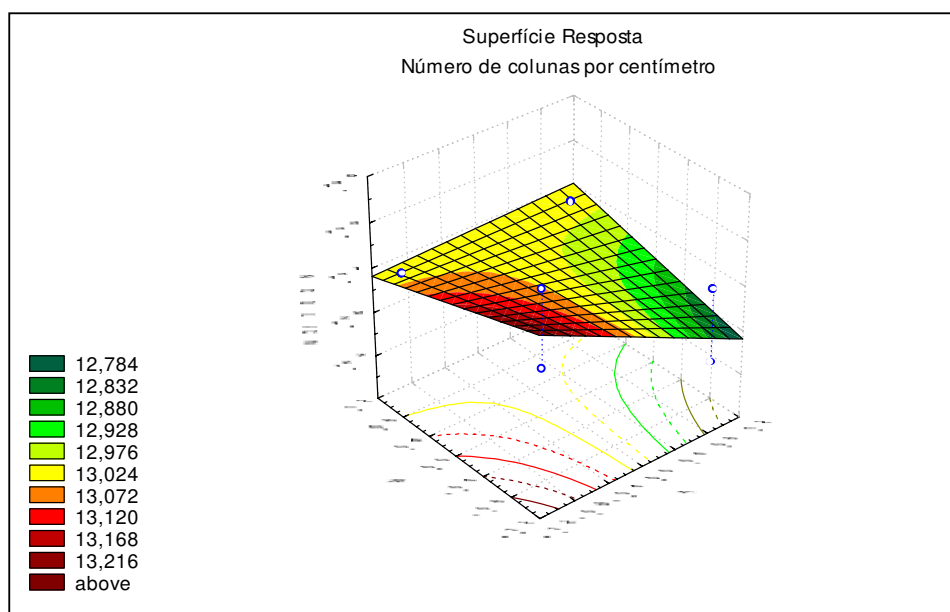


Figura 7.23: Representação gráfica da superfície resposta em três dimensões do número de colunas por centímetro do tecido 100% poliamida

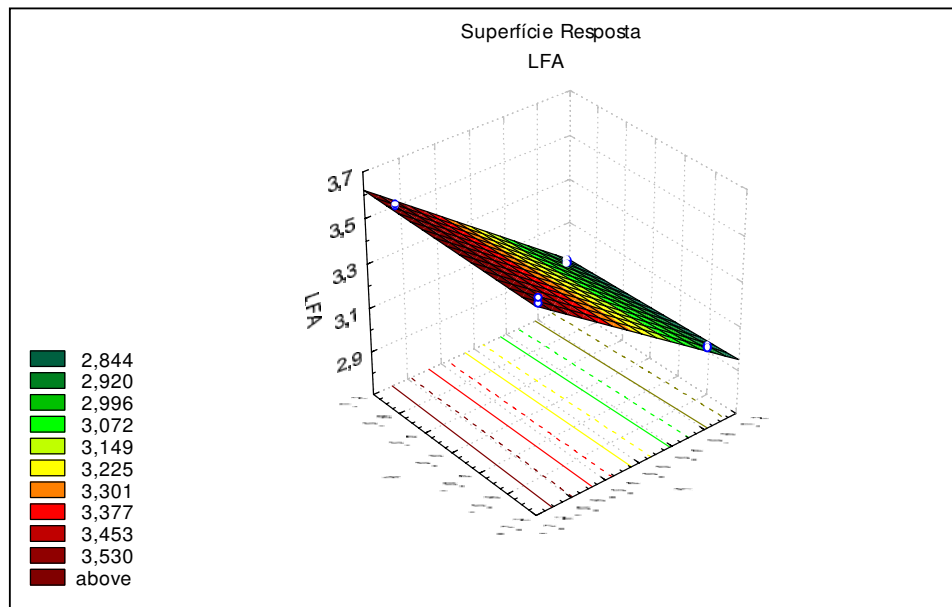


Figura 7.24: Representação gráfica da superfície resposta em três dimensões do LFA do tecido 100% poliamida

7.9 Análise dos resultados

Através da análise dos gráficos da superfície resposta observa-se que a velocidade de alimentação positiva é significativa para a gramatura, número de carreiras por centímetro e LFA. A altura da pedra de descida e a interação não são significativas para nenhuma das características analisadas.

7.10 Considerações finais

O capítulo 7 fez uma descrição sucinta da metodologia de superfície de resposta e da metodologia utilizada no ajuste do modelo.

Capítulo 8

Tomada de decisão

Este capítulo descreve o Método de Análise Hierárquica (AHP), seus fundamentos e características e mostra um estudo de caso que tem como objetivo selecionar a matéria-prima adequada para a utilização em vestuário

8.1 Introdução

Segundo Maximiano (2000), decisões são escolhas que as pessoas fazem para enfrentar problemas e aproveitar oportunidades.

Para Ehrlich (1996), um processo de decisão começa pela identificação do que eu desejo, do que eu posso fazer e da informação de que disponho. Espera-se que esses elementos, ordenados numa estrutura lógica, resultem na melhor decisão possível.

Com o objetivo de escolher a melhor alternativa de ação para resolver um problema surgiram métodos de auxílio à decisão que ajudam a comparar, classificar e escolher uma dentre as alternativas apresentadas.

Atualmente, há uma forte tendência de esclarecer a opinião dos tomadores de decisão em todos os níveis do processo de planejamento nas organizações, quanto à importância da utilização de múltiplos critérios na análise de problemas complexos. O objetivo da tomada de decisão multicriterial, atualmente, é identificar e selecionar o melhor curso de ação, quando se depara

com um problema de decisão complexo que envolve objetivos múltiplos e até certo ponto conflitantes. Esta nova forma de encarar o processo de tomada de decisão permite a consideração de diversos fatores relevantes que possibilitam uma análise mais detalhada das vantagens e desvantagens dos alternativos cursos de ação de um sistema. Dentre estes fatores, pode-se destacar os grupos envolvidos na tomada de decisão, bem como os interesses e critérios que movem cada um deles.

Todos os grupos de interesse, possuem conjuntos de interesses e critérios particulares a cada um. Estes critérios podem ser quantificáveis (tangíveis) ou não facilmente quantificáveis (intangíveis). Em um sistema real, os grupos envolvidos se interagem existindo fortes inter-relações entre os mesmos e os critérios que os governam. O surgimento dos métodos multicriteriais tornou possível a construção de modelos mais aproximados da realidade, considerando no processo decisório todas as interrelações necessárias à avaliação de alternativos cursos de ação.

De acordo com Saaty (1991), um modelo de tomada de decisão multicriterial para traduzir eficientemente um sistema e conduzir à escolha da melhor alternativa deve ser simples de construção; adaptável tanto aos grupos quanto aos indivíduos; natural à nossa intuição e ao pensamento geral; encorajar a formação de compromisso e do consenso e não exigir uma especialização excessiva para comunicar e administrar.

8.2 Método AHP (Analytic Hierarchy Process)

O método AHP foi criado por Saaty no início dos anos 70 no período em que trabalhava no departamento de defesa americano na área de planejamento. As primeiras aplicações surgiram em 1973 em estudos aplicados a rede de transportes do Sudão. Entre 1974 e 1978 houve um grande enriquecimento teórico do método.

Na literatura encontram-se métodos que apresentam semelhanças com o AHP, as matrizes de priorização, o QFD, entre outras, que também trabalham com comparações, preferências e intensidade das preferências, porém não utilizam métodos matemáticos iterativos para cálculo

dos resultados e verificação da consistência entre as comparações e avaliações (preferências e intensidades).

O Analytic Hierarchy Process – AHP tem como um dos objetivos representar os modelos de modo mais realista incluindo todas as medidas importantes tangíveis ou intangíveis, fatores quantitativamente mensuráveis ou qualitativos (Saaty, 1991).

O método consiste das quatro etapas básicas que se seguem (Cook e Russel, 1993):

- desenvolvimento dos níveis de hierarquia de decisão dos elementos inter-relacionados.
- determinação de preferências através de comparações paritárias.
- síntese e determinação de prioridade relativa ou peso de cada elemento de decisão em um dado nível usando o método do auto-valor ou outro método de aproximação.
- agregação das prioridades relativas para a escolha final.

O processo utilizado pelo Método AHP pode ser dividido em duas etapas: a estruturação hierárquica do problema de decisão e, a modelagem do método propriamente dito.

O decisor deve efetuar a estruturação do problema, combinando os critérios segundo os diversos níveis hierárquicos necessários, para que se obtenha uma fiel representação do problema. Dessa forma, determinam-se as alternativas do problema, que serão analisadas em cada critério do nível hierárquico mais baixo.

A estruturação do problema deve ser feita de tal forma que os critérios aplicados em cada nível devem ser homogêneos e não redundantes. Ou seja, os critérios de um determinado nível devem apresentar o mesmo grau de importância relativa dentro do seu nível (homogeneidade), e um critério de um determinado nível deve ser independente em relação aos critérios dos níveis inferiores (não redundância).

A hierarquia simples é formada por três níveis. O primeiro nível compõe-se de apenas um elemento, a meta ou objetivo geral. O segundo nível apresenta os critérios e o terceiro as alternativas, podendo estes dois últimos possuir vários elementos.

Depois de construir a hierarquia, cada decisor deve fazer uma comparação, par a par, de cada elemento em um nível hierárquico dado, criando-se uma matriz de decisão quadrada. Nessa matriz, o decisor representará, a partir de uma escala predefinida, sua preferência entre os elementos comparados, sob o enfoque do nível imediatamente superior.

Dessa maneira será gerada uma matriz quadrada que expressará o número de vezes que uma alternativa domina ou é dominada pelas demais, as alternativas são comparadas par a par. Esta comparação par a par das alternativas é realizada utilizando uma escala linear própria, que varia de 1 a 9, que é denominada Escala Fundamental de Saaty, conforme tabela 8.1.

Tabela 8.1: Escala Fundamental de Saaty

Intensidade de Importância	Definição	Explicação
1	Mesma importância	As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo
3	Importância pequena de uma sobre outra	A experiência e o julgamento favorecem levemente uma atividade em relação à outra
5	Importância grande ou essencial	A experiência e o julgamento favorecem fortemente uma atividade em relação à outra
7	Importância muito grande ou demonstrada	Uma atividade é muito fortemente favorecida em relação à outra, sua dominação de importância é demonstrada na prática
9	Importância absoluta	A evidência favorece uma atividade em relação à outra com o mais alto grau de certeza
2, 4, 6, 8	Valores intermediários	Quando se procura uma condição de compromisso entre duas definições

Suponha que $C_1, C_2, \dots, C_n$ sejam características de direcionadores, a matriz seria construída onde a_{ij} representa o julgamento quantificado do par de características C_i, C_j e é definido pelas seguintes regras:

Se $a_{ij} = \alpha$, então $a_{ji} = 1/\alpha$, $\alpha \neq 0$

Se C_i é julgado como de igual importância relativa a C_j , então $a_{ij} = 1$, $a_{ji} = 1$ e $a_{ii} = 1$, para todo i .

O autovetor da matriz pode ser estimado pela seguinte fórmula:

$$W_i = \left(\prod_{j=1}^n a_{ij} \right)^{1/n} \quad (\text{eq. 8.1})$$

Tabela 8.2: Quadro de comparações

	C1	C2	...	Cn
C1	1	a_{12}	...	a_{1n}
C2	$a_{21} = 1/a_{12}$	1	...	a_{2n}
...	...	...	...	...
Cn	$a_{n1} = 1/a_{1n}$	$a_{n2} = 1/a_{2n}$	...	1

O autovetor deve ser normalizado para que o somatório de seus elementos seja igual à unidade. Basta, para isto, calcular a proporção de cada elemento em relação à soma.

$$T = | W_1/\Sigma W_i \quad W_2/\Sigma W_i \quad \dots \quad W_n/\Sigma W_i | \quad (\text{eq. 8.2})$$

onde T é o autovetor normalizado e será utilizado para quantificar e ponderar a importância das várias características de um direcionador. Posteriormente será utilizado para priorizar os direcionadores frente a cada característica.

Para testar a consistência da resposta, o que indica se os dados estão logicamente relacionados, Saaty (1991) propõe o seguinte procedimento:

Estima-se inicialmente o autovalor ($\lambda_{\text{máx}}$). A estimativa pode ser feita pela equação 8.3.

$$\lambda_{\text{máx}} = T \times W \quad (\text{eq. 8.3})$$

onde W é calculado pela soma das colunas da matriz de comparações.

Calcula-se, então, o Índice de consistência (IC) através da equação 8.4.

$$IC = \frac{(\lambda_{\max} - n)}{(n - 1)} \quad (\text{eq. 8.4})$$

A razão de consistência (RC) é calculada através da equação 8.5. RC é a razão entre IC e um índice de consistência aleatória (CA). O índice CA, apresentado na tabela 8,3, é proveniente de uma amostra de 500 matrizes recíprocas positivas geradas aleatoriamente. Este índice foi proposto por Saaty (1991) e corrigido por Morita (1998) e depende do tamanho da Matriz de Comparação Paritária.

$$RC = \frac{IC}{CA} \quad (\text{eq. 8.5})$$

Tabela 8.3: Valore de CA em função da ordem da matriz

N	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
CA	0,52	0,89	1,11	1,25	1,35	1,40	1,45	1,49	1,51	1,54	1,56	1,57	1,58

Considera-se aceitável uma razão de consistência menor que 0,10. Para valores de RC maiores que 0,10 recomenda-se uma revisão na matriz de comparações, até que se obtenha RC menor ou igual a este valor.

8.3 Etapas para a aplicação do método

- 1 – Definir o problema
- 2 – Identificar os critérios que irão interferir na escolha das alternativas
- 3 – Estruturar a hierarquia dos critérios, sub-critérios e alternativas
- 4 – Definir os participantes para cada critério
- 5 – Estabelecer a matriz de comparação entre pares

- 6 – Fazer os julgamentos das comparações dos pares
- 7 – Fazer os cálculos estabelecidos pelo método
- 8 – Verificar se as opiniões relativas foram consistentes
- 9 – Estabelecer o ranking das alternativas
- 10 – Tomar a decisão

A estruturação do problema pode ser esquematizada conforme mostra a figura 8.1.

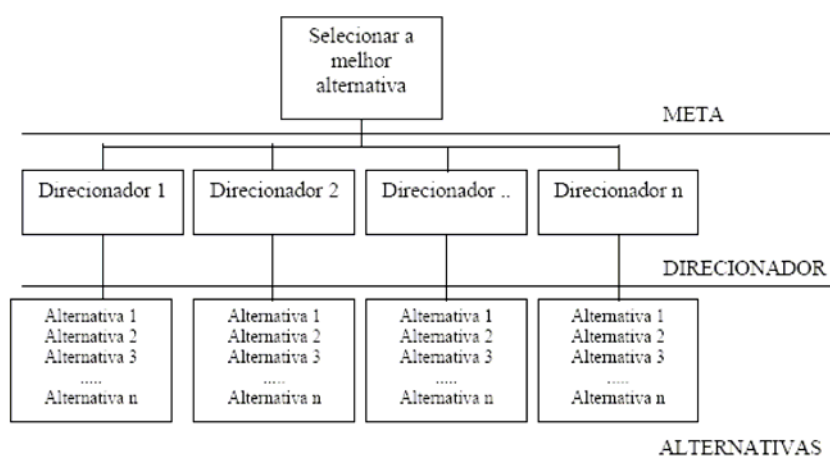


Figura 8.1: Representação gráfica da árvore de decisão hierárquica

8.4 Aplicação do método AHP para seleção de matéria prima que será utilizada na fabricação de artigos para vestuário

8.4.1 Estruturação da hierarquia

A figura 8.1 apresenta o desenvolvimento dos níveis de hierarquia para a estruturação do problema proposto pelo método AHP. Neste caso, todos os critérios quantitativos e qualitativos foram colocados em um mesmo nível.

O objetivo é selecionar entre as matérias primas, malhas de algodão, de poliamida e de poliéster, que normalmente são usadas na fabricação de artigos vestuário, qual satisfaz os desejos dos consumidores.

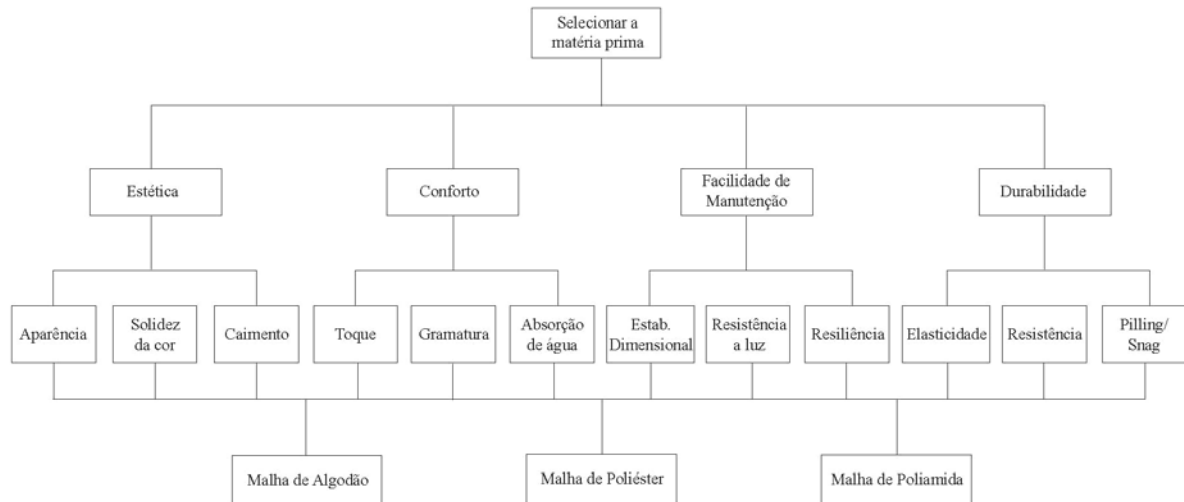


Figura 8.2: Árvore de decisão hierárquica

8.4.2 Determinação dos julgamentos comparativos para cada nível

Após a definição das características que mais influenciam na decisão e a estruturação hierárquica do problema conforme figura 8.2, iniciou-se a aplicação do método AHP.

Antes da avaliação, os avaliadores, que são especialistas da área têxtil, receberam orientações sobre o método AHP, de como proceder na avaliação e sobre os resultados a serem obtidos. Eles foram orientados a comparar e avaliar as características duas a duas, considerando-se todas as suas combinações.

Após as avaliações, os resultados foram tabulados para novamente serem discutidos e acordados. Após o consenso, com os valores atribuídos para cada característica, foi construída a Matriz de Comparação Paritária, conforme mostra a tabela 8.4.

Tabela 8.4: Matriz de Comparação Paritária

	Aparência	Solidez cor	Caimento	Toque	Gramatura	Abs de água	Estab. Dimen.	Res a luz	Resiliência	Elasticidade	Resist.	Pilling/snag
Aparência	1,00	0,25	5,00	3,00	5,00	6,00	0,50	3,00	4,00	5,00	3,00	2,00
Solidez cor	4,00	1,00	3,00	4,00	5,00	6,00	0,33	2,00	4,00	4,00	2,00	0,20
Caimento	0,20	0,33	1,00	0,50	2,00	4,00	0,14	0,50	2,00	2,00	0,20	0,33
Toque	0,33	0,25	2,00	1,00	2,00	3,00	0,13	0,33	3,00	4,00	0,33	0,25
Gramatura	0,20	0,20	0,50	0,50	1,00	3,00	0,13	0,17	2,00	2,00	0,50	0,20
Abs de água	0,17	0,17	0,25	0,33	0,33	1,00	0,13	0,33	0,50	0,50	0,33	0,33
Estab. Dimen.	3,00	3,00	7,00	8,00	8,00	8,00	1,00	7,00	7,00	7,00	4,00	3,00
Res a luz	0,33	0,50	2,00	3,00	6,00	3,00	0,14	1,00	3,00	3,00	0,33	0,33
Resiliência	0,25	0,25	0,50	0,33	0,50	2,00	0,14	0,33	1,00	0,33	0,33	0,33
Elasticidade	0,20	0,25	0,50	0,25	0,50	2,00	0,14	0,33	3,00	1,00	0,33	0,25
Resist.	0,33	0,50	5,00	3,00	2,00	3,00	0,25	3,00	3,00	3,00	1,00	0,33
Pilling / snag	0,50	5,00	3,00	4,00	5,00	3,00	0,33	3,00	3,00	4,00	3,00	1,00

8.4.3 Quadro de comparações

Como definido anteriormente, os julgamentos dos diversos critérios foram realizados quanto à importância relativa de cada um deles em relação ao objetivo proposto. A tabela 8.5 apresenta os pesos relativos das características analisadas e a ordem de classificação.

Tabela 8.5: Classificação AHP

Peso relativo	Característica	Classificação
15,02	Pilling/Snag	1
14,49	Solidez da cor	2
14,32	Estab. Dimensional	3
13,99	Resistência	4
13,71	Aparência	5
13,77	Resistência à luz	6
13,59	Absorção de água	7
13,33	Resiliência	8
13,03	Toque	9
12,92	Caimento	10
12,72	Gramatura	11
12,67	Elasticidade	12

Analisando os valores de peso relativo das características a comissão de especialistas considerou coerentes os resultados.

8.4.4 *Resultados obtidos*

De acordo com os critérios e números apresentados, a metodologia AHP definiu como adequado o tecido de malha fabricado com fios de poliamida texturizado à ar.

Dentro da pontuação do AHP, a característica mais importante pillig/snag desclassificou o fio de algodão. Na análise das características, solidez da cor, estabilidade dimensional, resistência, aparência e resistência à luz os fios de poliéster e de poliamida seguiram empatados. Na sétima característica, absorção de umidade, desclassificou os fios de poliéster texturizados à ar.

8.4.5 *Consistência dos julgamentos*

A principal verificação a ser realizada, após a inserção dos julgamentos nas matrizes de comparações paritárias, é a determinação da Razão de Consistência dessas matrizes. O valor de $\lambda_{Máx}$ foi determinado na planilha do Anexo C.

$$\lambda_{Máx} = 13,64$$

$$CA = 1,54$$

$$IC = \frac{(\lambda_{Máx} - n)}{(n - 1)} = 0,149$$

$$RC = \frac{IC}{CA} = 0,09$$

Como o valor de $RC \leq 0,10$, a matriz foi considerada consistente e portanto, os resultados obtidos são aceitáveis.

Capítulo 9

Conclusões e Recomendações de Trabalhos Futuros

9.1 Conclusões

O trabalho consistiu na elaboração de um procedimento para dar suporte ao processo de desenvolvimento de produtos realizado em uma malharia.

O procedimento foi apresentado e testado através de um estudo de caso que teve como objetivo selecionar a matérias-prima adequada para ser utilizada na fabricação de artigos de vestuário. Para a realização deste estudo foram selecionados fios de algodão, poliéster texturado à ar, e poliamida texturado à ar que são os mais usados para a fabricação deste tipo de artigo.

Utilizando planejamentos fatoriais foram identificados os fatores mais relevantes do processo e, depois, buscou-se a combinação de níveis dos fatores para maximizar o desempenho do processo. Com o uso da metodologia de planejamentos experimentais, foi possível obter as melhores características do produto, diminuir o tempo de desenvolvimento do produto, aumentar a produtividade do processo, minimizar a sensibilidade do produto e melhorar o planejamento do processo para assegurar a qualidade do produto.

Através da adição de pontos centrais em todos os ensaios foi verificado que as superfícies resposta não apresentaram curvatura significativa na região central. Utilizando a programação linear, foi montado um modelo, que determina a regulação ideal da máquina circular para produzir o tecidos com as características desejadas.

Os tecidos foram produzidos e beneficiados com as mesmas características. Para cada tecido foram analisadas as seguintes características: estética, conforto, facilidade de manutenção e durabilidade que são as características mais importante dos artigos de vestuário.

Pode-se considerar que o método multicriterial de auxílio à tomada de decisão adotado, o Método de Análise Hierárquica (AHP), apresenta uma forte dependência das fases de estruturação do problema. Grande parte da resolução do problema não está na fase de avaliação, ou seja, no preenchimento das matrizes através dos julgamentos paritários entre as características. A definição e estruturação dos direcionadores e das alternativas são de fundamental importância para o processo de decisão.

No estudo de caso realizado neste trabalho, onde várias características devem ser observadas para escolha final entre diversas alternativas, o Método de Análise Hierárquica (AHP) mostrou-se bastante útil na estruturação do problema e na modelagem matemática. A sua abordagem de divisão de critérios em hierarquias e correlação de alternativas com critérios, permitiu uma fácil compreensão e melhor avaliação do problema.

A aplicação das entrevistas com os especialistas da área têxtil mostrou-se eficiente, o mesmo acontecendo com o processo de tabulação adotado. Foram entrevistados 10 especialistas e os resultados obtidos possam ser considerados satisfatórios.

Considerando que somente as matrizes com mais de três elementos estão sujeitas a inconsistências, foi determinada a Razão de Consistência da matriz em estudo e verificada a sua consistência.

Os resultados obtidos indicam a viabilidade de aplicação da metodologia proposta e apontam para algumas vantagens na sua utilização (análise de variáveis não mensuráveis).

O estudo apresentado de escolha entre várias alternativas para um dado produto é um exemplo bastante comum no dia-a-dia das confecções. Entretanto, em muitos casos os fatores intangíveis pertinentes ao problema nem sempre são considerados e pode influenciar de maneira consistente em uma decisão.

9.2 Recomendações de Trabalhos Futuros

A partir da realização deste trabalho, podem ser desenvolvidos vários estudos na área acadêmica. Um primeiro estudo pode ser realizado envolvendo as etapas anteriores (fabricação do fio) e as posteriores (beneficiamento do tecido) à fabricação do tecido.

Seria interessante realizar a verificação a utilização método AHP, como ferramenta de tomada de decisões, nos outros processos de fabricação dos tecidos.

Referências Bibliográficas

- American Society for Testing and Materials, ASTM D 3887; *Knitted fabrics*. Philadelphia, 1992.
- Araújo, M., Castro, M.M. *Manual de engenharia têxtil*. v 1 Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 1987.
- Araújo, M., Castro, M.M. *Manual de engenharia têxtil*. v 2 Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 1987.
- Araújo, M., Fanguelima, R. . *Propriedades dimensionais das malhas: gestão do controlo dimensional*. II Simpósio Internacional de Engenharia Têxtil e XXI Congresso Nacional dos Técnicos Têxteis, Natal – R.N., 07 a 11 de Setembro 2004.
- Association Française de Normalization, Paris.NFG 07.101; *Longuer de fil absorbée*. Paris, 1985.
- Barnes, J. C., Holcombe, B. V., *Moisture Sorption and Transport in Clothing During Wear*. Textile Res. Journal, n. 66, p.777-786. 1996.
- Bonduelle, G.M., *Aplicação do planeamento de experimentos no controle da fabricação de chapas de fibra de madeira*. Revista Cerne, v.6, n.2. 2000
- Box, G.E.P., Hunter, J.S., *Experimental design for the exploration and exploitation of response surfaces*. Chew, V., *Experimental design in industry*. John Wiley & Sons, Inc. New York, 1957.
- Breueckmann, Ralf. *Conforto uma tendência séria na industrial têxtil*. II Simpósio Internacional de Engenharia Têxtil e XXI Congresso Nacional dos Técnicos Têxteis, Natal – R.N., 07 a 11 de Setembro 2004.
- Broega, A. C., *Contribuição para a quantificação do toque e conforto de tecidos super finos de lã*, Master Thesis, Universidade do Minho, Guimarães, 2001.

- Broega, A.C., Silva, M.E.C.. *O conforto têxtil como um fator competitivo no novo milênio*. II Simpósio Internacional de Engenharia Têxtil e XXI Congresso Nacional dos Técnicos Têxteis, Natal – R.N., 07 a 11 de Setembro 2004.
- Button, S.T. *Metodologia para planejamento experimental e análise de resultado*. Campinas: FEM, Universidade Estadual de Campinas, 2001. Apostila (IM 317) não publicada.
- Campos, V.F., *Controle da qualidade total: no estilo japonês*. Fundação Christiano Ottoni, Belo Horizonte, 1992.
- Carvalho, M.M., et al. *Gestão da qualidade total*. Ed. Elsevier Ltda. Rio de Janeiro. 2005.
- Cestare, J.F. *Tecnologia da malharia*.. São Bernardo do Campo: Depto Têxtil, Centro Universitário da FEI, 2005. Apostila (TX 5510) não publicada.
- Cherem, L.F.C. *Um modelo para predição da alteração dimensional em um tecido de malha de algodão*. Florianópolis, Faculdade de Engenharia de Produção Universidade Federal de Santa Catarina, 2004. Tese de doutorado.
- CONMETRO – Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. Brasília. Resolução n.6. *Regulamento Técnico de Etiquetagem de Produtos Têxteis*. Brasília, 2005. 7p.
- Cook, T.M., Russel, R.A., *Introduction to management science*. Ed. Prentice Hall. New Jersey, 1993.
- Costa Neto, P.L.O. *Estatística*. Ed. Edgard Blucher Ltda. São Paulo, 1977.
- Cunha, J., Neves, M. *Integrando o conforto e a estética no design do tecido*. II Simpósio Internacional de Engenharia Têxtil e XXI Congresso Nacional dos Técnicos Têxteis, Natal – R.N., 07 a 11 de Setembro 2004.
- Deming, W.E., *Qualidade: a revolução da administração*. Ed. Marques – Saraiva, Rio de Janeiro, 1990.
- Demir, A., Behery, H.M., *Synthetic filament yarn texturing technology*. Ed. Prentice-Hall, New Jersey, 1997.
- Devor, R.E., Chang, T., Sutherland, J.W., *Statistical quality design and control- contemporary concepts and methods*. Ed. Prentice Hall. New Jersey, 1992

- Ehrlich, P.J., *Modelos quantitativos de apoio às decisões*. Revista de Administração de Empresas, v. 36, n.1, p. 33 – 41. São Paulo, 1996.
- Farnworth B., et al., *Variation of water vapor resistance of microporous and hydrophilic films with relative humidity*. Textile Research. Journal, n. 60, p. 50-53. 1990.
- Felipe, M.G. , Medeiros, D.S., Andrade, S.M.B., *Elementos determinantes na terminologia têxtil: estudo dos conceitos dos tecidos*. II Simpósio Internacional de Engenharia Têxtil e XXI Congresso Nacional dos Técnicos Têxteis, Natal – R.N., 07 a 11 de Setembro 2004.
- Fourt, L., Azevinhos, N. R. S., *Clothing: Comfort and Function*, Marcel Dekker, New York, 1970.
- Ganssauge,D. et al., *How do fabric attributes influence the handle characteristics of a fabric?* Melland International, Germany, 1998.
- Garvin, D.A., *Gerenciando a qualidade: a visão estratégica e competitiva*, Ed. Qualitymark, Rio de Janeiro, 1992
- Goulart Filho, A. e Jenoveva Neto, R., *A indústria do vestuário : Economia, Estética e Tecnologia*. Florianópolis. Obra Jurídica, 1997.
- Gresta, M.M.P., Rewald, P., Watanabe, T., *Defeitos de superfície*. Revista Textília, n. 48, p. 42 – 48. 2003.
- Guedes, T.A . *Procedimentos de otimização no planejamento e controle da qualidade de produtos e processos*. Faculdade de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1998. Tese Doutorado,
- Guerra,M.J., *Estatística indutiva: teoria e aplicações*. Livraria Ciência e Tecnologia Editora. São Paulo, 1982.
- Guillén, J.G. *Modificação da voluminosidade dos fios*. Revista Química Têxtil, n. 58, p. 50 – 53, março 2000.
- Guillén, J.G., *Nomes genéricos das fibras químicas – normativa e legislação*. Revista Química Têxtil, n. 70, p. 16 – 37, março 2003.
- Gurgel, F.C.A., *Administração do produto*. Ed. Atlas, São Paulo, 1995.

- Hatch, K. L., *Textile Science*, West Publishing Company, New York, 1993.
- Hearle, J. W. S. et al, *Yarn Texturing Technology*, The Textile Institute, Cambridge, 2001.
- Hes, L., Dolezal, I., *New Method and Equipment for Measuring Thermal Properties of Textiles*, Journal Text. Mach. Soc. Japan, n. 8. 1989.
- Holme, Ian., *Acabamentos funcionais em tecidos de algodão*. Revista Textília, n. 56, p. 28-34. 2005.
- Hong K., et al., *Dynamic moisture vapor transfer through textiles*. Textile Research. Journal, n. 40, p. 697-700. 1988.
- IEA – Instituto de Economia Agrícola., *Perspectivas para a demanda de algodão e de fibras sintéticas*. Disponível em : <http://www/iea.sp.gov.br>. Acesso em: jan. 2006.
- IEMI – Instituto de Estudos e Marketing Industrial., *Estudos setoriais: o mercado e a industria de vestuário no Brasil*. IEMI, São Paulo, 1997.
- IEMI – Instituto de Estudos e Marketing Industrial. Disponível em: <http://www.iemi.com.br>. Acesso em: nov. 2005.
- IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas, O desempenho dos MPES – o setor têxtil – confecção. Disponível em: <http://www/sebraesp.com.br/novo/pesquisa/download/textconfs.doc>. Acesso em: nov. 2005.
- Iyer, C. et al., *Máquinas circulares: teoria y práctica de la tecnologia del punto*. Meisenbach, Bamberg, 1997.
- Jansen,L.K.C., Shimizu, T., Jansen, J.U., *Uma análise de investimentos considerando fatores intangíveis*. XXIV Encontro Nacional de Engenharia de Produção – Florianópolis, S.C. 03 a 05 de nov.2004.
- Juran, J.M., *A qualidade desde o projeto – os novos passos para o planejamento da qualidade em produtos e serviços*. Ed. Pioneira. São Paulo, 1997.
- Juran, J.M.; Gryna, F.M., *Controle da Qualidade : handbook*, v.1 . Ed. McGraw Hill. São Paulo, 1991
- Kadolph, S.J.; Langford, A.L., *Textiles*. Ed. Prentice Hall. New Jersey, 1998.

- Kawabata, S., *The Standardization and Analysis of Hand Evaluation*, 2nd Edition, Ed. The Textile Machinery Society, 1980.
- Kawabata, S., Niwa, M., e Yamashita, Y., *A Guide Line for Manufacturing “Ideal Fabrics”*, Int. J. Cloth. Sci. 11(2/3), p.134-144. 1999.
- Kawabata, S., Niwa, M., *Fabric Performance in Clothing and Clothing Manufacture*, J. The Textile Institute, n.1, p. 19-50. 1989.
- Kotler, P. ; Armstrong, G., *Princípios de marketing*. Ed. Livros Técnicos e Científicos, Rio de Janeiro, 1999.
- Lawrence, C.A., *Fundamentals of spun yarn technology*. The Textile Institute, Cambridge, 2003.
- Levine, D.M., Berenson, M.L., Stephan, D., *Estatística: teoria e aplicações*. Trad.Tereza Cristina Padilha de Souza e Sergio da Costa Cortes. Ed. Livros Técnicos e Científicos. Rio de Janeiro, 1998.
- Li, Y., Holcomb, B. V., Apcar, F., *Moisture Buffering Behavior of Hygroscopic Fabrics During Wear*, Textile Research. Journal, n. 62, p. 619-627. 2001.
- Lord, P.R., *Handbook of yarn production: technology, science and economics*. The Textile Institute, Cambridge, 2003.
- Lubos, H., *Últimos avanços na avaliação experimental do conforto termofisiológico e das propriedades do contato térmico do vestuário*. XIX CNTT 2000 – Congresso Nacional dos Técnicos Têxteis, Recife, setembro 2000.
- Mariano, M., *Desportistas necessitam proteção contra micróbios*. Textilia Têxteis Interamericanos , n. 38, p. 62 – 64. outubro 2000.
- Maximiano, A.C.A. , *Introdução à administração*. Ed. Atlas, 5 ed. São Paulo, 2000.
- Montani, C., *Tessili de performance*. Revista Action & Wear. n. 3, p. 44 – 48. Italia, 2005.
- Montgomery, D.C., *Design and analysis of experiments*. John Wiley & Sons, Inc. New Jersey, 1997.
- Montgomery, D.C., *Introduction to statistical quality control*. John Wiley & Sons, Inc. New Jersey, 1997.

- Morita, H., *Revisão do Método de Análise Hierárquica – MAH (AHP – Analytic Hierarchy Process)*. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998. Dissertação de Mestrado.
- Myers, R.H., Montgomery, D.C.. *Response surface methodology: process and product optimization using designed experiments*. John Wiley & Sons, Inc. New Jersey, 1995.
- Myers, R.H., Khuri, A.I., Carter, J.R.. *Response surface methodology*. Technometrics, v.31,n. 2 , p. 135 – 137. Maio, 1989.
- NT Nuovi Tessili, Comfort per il tessile-abbigliamento, Disponível em : <http://www.technica.net/NT/NT3/comfort.htm>. Acesso em: fev. 2006.
- Oakland, J., *Gerenciamento da qualidade total*. Livraria Nobel, São Paulo. 1994.
- O'Hara, G., *Enciclopédia da moda*. Ed. Companhia das letras, São Paulo, 1992
- Oliveira, B.R., *Em busca da roupa perfeita*. Revista Textília, n. 53, p. 6 – 12. 2004.
- Person, A.H., *Analytic Hierachy Process*. Disponível em: [http:// www. expertchoise. com / references /preamble.htm](http://www.expertchoise.com/references/preamble.htm). 2002. Acesso em: jan. 2006.
- Petenate, A.J. *Planejamento de experimentos industriais*. Campinas: IMECC, Universidade Estadual de Campinas, 1998. Apostila (MQ 604) não publicada.
- Rigueiral, F; e Rigueiral, C. *Design & Moda: como Agregar valor e diferenciar sua confecção*. IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas. São Paulo, 2002.
- Roaf, M., *Mesopotâmia e o antigo Médio Oriente*. Ed. Del Prado S.A. Gráficas Reunidas. Madri, 1996
- Ross, P. J., *Aplicações das técnicas de Taguchi na engenharia da qualidade*. Ed. McGraw Hill, São Paulo. 1991.
- Roy, B., *Méthodologie multicritère d'aide à la décision*. Econômica. Paris, 1985
- Rupp, J., *Ropa deportiva functional*. ITB – International Textile Bulletin. p. 14 – 20, abril 1998.
- Rupp, J., et al., *Tejidos de alta tecnologia o inteligentes?* ITB – International Textile Bulletin. p. 6 – 24, março 2001.

- Ryder, M.L., *The functional history of clothing -I* Textiles Magazine. The Textile Institute. n.3, p. 13-19. 2000.
- Saaty, T.L., *Método de análise hierárquica*. Ed. McGraw Hill, São Paulo. 1991.
- Saaty, T.L., *Decision making with dependence and feedback – The analytic network process*. RWS Publications, 2001.
- Saaty, T.L., Vargas, L.G., *Models, methods, concepts & application of the analytic hierarchic process*. Kluwer Academic Publishers, 2001.
- Salomon, V.P., Montevechi, J.A.B., Pamplona, E.O., *Justificativas para aplicação do método de análise hierárquica*. XIX ENEGEP. Rio de Janeiro, R.J. 1999
- Sanches, R.A., *Otimização dos parâmetros de regulação das máquinas circulares de malharia, utilizando a Metodologia Taguchi*. Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2001. Dissertação de Mestrado.
- Sanches, R.A., Watanabe, T., *Planejamentos fatoriais aplicados às máquinas circulares e principais ensaios realizados em tecidos malhas*. XX CNTT 2002 – Congresso Nacional dos Técnicos Têxteis, Blumenau – S.C., 13 a 16 de Agosto 2002.
- Saville, B.P., *Physical Testing of Textiles*, Ed. CRC Press, The Textile Institute, 1999.
- Silva, A., *A organização do trabalho na indústria do vestuário: uma proposta para o setor da costura*. Florianópolis : Faculdade de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, 2002. Dissertação de Mestrado.
- Silva, N.P., Saramago, S.F.P., *Uma introdução ao estudo de superfícies resposta*. Revista eletrônica, 2005. Disponível em www.propp.ufu.br. Acesso em 30/11/2004.
- Silva, R.M., Belderraian, M.C.N., *Considerações sobre métodos de decisão multicritério*. Disponível em www.bibl.ita.br/xencita/artigos/mec.03.pdf 2005. Acesso em 05/02/2006.
- Slack, N. , et al., *Administração da produção*. Ed. Atlas , São Paulo. 2002
- Slater, K., *The Assessment of Comfort*, Journal Textile Institute, n. 77. 1986.
- Spencer, D. J., *Knitting technology: a comprehensive handbook and practical guide*. 3rd. Ed. Cambridge, Pensylvania, 2001.

- Taguchi, G., *Taguchi on robust technology development: bringing quality upstream by Genichi Taguchi*. ASME. New York, 1993.
- Taguchi, G., Elsayed, A.E., Hsing, T.C.. *Engenharia da qualidade em sistemas de produção*. Ed. McGraw-Hill. São Paulo, 1990.
- Tremelloni, A.; Ceriani, L. , *Manuale di tecnologia per l'industria della maglia*. v. 1 Ed. Gesto, Milão, 1982.
- Ukponmwan, J. O., *The Thermal – Insulation Properties of Fabrics*, The Textile Institute, Manchester, 1993.
- Vijayakumar, H.L., Subramaniam, V., *O efeito do destorcimento na espiralidade e na estabilidade dimensional dos tecidos de malha de jérsei simples*. XX CNTT 2002 – Congresso Nacional dos Técnicos Têxteis, Blumenau – S.C., 13 a 16 de Agosto 2002.
- Vogelsanger, C.R., Ferraro, G., *Controle do enviesamento nos tecidos de malha*. Revista Textília, n. 31, 1999.
- Watanabe, E.M., *O método de análise hierárquica aplicado ao desenvolvimento do produto*. Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2004. Dissertação de Mestrado.
- Werkema, M.C.C., Aguiar, S. *Planejamento e análise de experimentos: como identificar as principais variáveis influentes em um processo*. Fundação Christiano Ottoni, v. 8. Belo Horizonte, 1996.
- Yamashita, T.M., Sanches, R.A. *A influência da pré-tensão no número de torções em fios de algodão*. Revista Textília, n. 45, p. 34-42. 2002.

Apêndice A

Para cada matéria-prima selecionada, foram produzidos tecidos com quatro regulagens de máquina (1/1, 2/1, 3/1 e 4/1) e uma replicação para cada regulagem (1/2, 2/2, 3/2 e 4/2). Também foram produzidos tecidos para testar a curvatura da região experimental (0/1, 0/2, 0/3, 0/4 e 0/5). Os valores experimentais dos ensaios de gramatura, número de carreiras por centímetro, número de colunas por centímetro e LFA, dos tecidos fabricados, encontram-se nas tabelas abaixo.

A.1 Tecido de malha 100% algodão

Tabela A.1.1: Resultados dos ensaios de gramatura (g/m²) – ASTM [D 3776/96]

Ensaios	Reg. 1/1	Reg. 1/2	Reg. 2/1	Reg. 2/2	Reg. 3/1	Reg. 3/2	Reg. 4/1	Reg. 4/2
CP 1	151,50	150,60	150,80	150,30	117,70	119,40	124,40	120,70
CP 2	149,80	148,50	149,50	148,70	120,40	122,00	124,50	124,00
CP 3	150,30	147,50	152,30	149,00	119,30	119,50	123,00	120,60
CP 4	151,30	149,70	150,80	151,20	122,40	121,00	123,10	123,80
CP 5	151,20	150,20	150,40	152,20	119,60	117,00	123,70	122,00
Média	150,82	149,30	150,76	150,28	119,88	119,78	123,74	122,22
Dv. Padrão	0,73	1,28	1,01	1,47	1,72	1,90	0,70	1,63

Tabela A.1.2: Resultados dos ensaios de n° carreiras/cm (car/cm) – ASTM [D 3887/96]

Ensaios	Reg. 1/1	Reg. 1/2	Reg. 2/1	Reg. 2/2	Reg. 3/1	Reg. 3/2	Reg. 4/1	Reg. 4/2
CP 1	20,00	19,00	19,00	20,00	15,00	15,00	14,00	15,00
CP 2	19,00	20,00	21,00	21,00	14,00	15,00	15,00	14,00
CP 3	20,00	21,00	20,00	20,00	15,00	14,00	14,00	15,00
CP 4	20,00	20,00	20,00	20,00	15,00	14,00	14,00	14,00
CP 5	21,00	20,00	19,00	19,00	14,00	15,00	15,00	15,00
Média	20,00	20,00	19,80	20,00	14,60	14,60	14,40	14,60
Dv. Padrão	0,71	0,71	0,84	0,71	0,55	0,55	0,55	0,55

Tabela A.1.3: Resultados dos ensaios de n° columnas/cm (col/cm) – ASTM [D 3887/96]

Ensaio	Reg. 1/1	Reg. 1/2	Reg. 2/1	Reg. 2/2	Reg. 3/1	Reg. 3/2	Reg. 4/1	Reg. 4/2
CP 1	13,00	13,00	14,00	12,00	13,00	13,00	13,00	13,00
CP 2	13,00	12,00	13,00	13,00	13,00	12,00	14,00	13,00
CP 3	12,00	13,00	12,00	13,00	14,00	14,00	13,00	12,00
CP 4	13,00	14,00	13,00	12,00	12,00	13,00	14,00	13,00
CP 5	14,00	13,00	13,00	13,00	13,00	13,00	13,00	14,00
Média	13,00	13,00	13,00	12,60	13,00	13,00	13,40	13,00
Dv. Padrão	0,71	0,71	0,71	0,55	0,71	0,71	0,55	0,71

Tabela A.1.4: Resultados dos ensaios de LFA (mm) – AFNOR [NF G 07-101/85]

Ensaio	Reg. 1/1	Reg. 1/2	Reg. 2/1	Reg. 2/2	Reg. 3/1	Reg. 3/2	Reg. 4/1	Reg. 4/2
CP 1	2,85	2,86	2,86	2,82	3,32	3,36	3,37	3,36
CP 2	2,85	2,86	2,86	2,84	3,33	3,35	3,37	3,35
CP 3	2,84	2,86	2,84	2,82	3,32	3,36	3,35	3,35
CP 4	2,85	2,86	2,85	2,82	3,33	3,35	3,35	3,35
CP 5	2,86	2,85	2,86	2,84	3,32	3,36	3,36	3,36
CP 6	2,86	2,85	2,84	2,83	3,31	3,36	3,37	3,34
CP 7	2,85	2,86	2,86	2,84	3,32	3,35	3,35	3,35
CP 8	2,86	2,85	2,84	2,83	3,33	3,37	3,36	3,34
CP 9	2,85	2,86	2,85	2,84	3,31	3,36	3,37	3,36
CP 10	2,85	2,84	2,85	2,84	3,31	3,35	3,35	3,36
CP 11	2,84	2,85	2,84	2,84	3,33	3,36	3,35	3,35
CP 12	2,85	2,86	2,86	2,83	3,31	3,36	3,36	3,34
CP 13	2,86	2,84	2,84	2,82	3,33	3,36	3,36	3,34
CP 14	2,84	2,84	2,84	2,83	3,31	3,37	3,37	3,34
CP 15	2,86	2,84	2,86	2,83	3,31	3,37	3,37	3,35
CP 16	2,86	2,86	2,84	2,84	3,31	3,37	3,36	3,35
CP 17	2,85	2,84	2,85	2,84	3,32	3,36	3,37	3,36
CP 18	2,85	2,85	2,85	2,82	3,33	3,35	3,35	3,35
CP 19	2,84	2,85	2,86	2,82	3,31	3,35	3,35	3,36
CP 20	2,85	2,86	2,86	2,83	3,32	3,36	3,35	3,34
Média	2,85	2,85	2,85	2,83	3,32	3,36	3,36	3,35
Dv. Padrão	0,007	0,008	0,008	0,010	0,008	0,008	0,009	0,009

Tabela A.1.5: Resultados dos ensaios de gramatura (g/m^2) – Adição de pontos centrais

Ensaio	Reg.0/1	Reg.0/2	Reg.0/3	Reg.0/4	Reg.0/5
CP 1	135,90	136,30	135,70	136,40	135,60
CP 2	135,30	135,90	135,50	135,80	134,80
CP 3	136,60	134,80	136,40	134,60	136,30
CP 4	134,70	136,40	135,90	136,40	136,20
CP 5	137,00	135,40	137,00	135,20	135,70
Média	135,90	135,76	136,10	135,68	135,72
Dv. Padrão	0,94	0,67	0,60	0,78	0,60

Tabela A.1.6: Resultados dos ensaios de n° carreiras/cm (car/cm) – Adição de pontos centrais

Ensaio	Reg.0/1	Reg.0/2	Reg.0/3	Reg.0/4	Reg.0/5
CP 1	18,00	17,00	17,00	17,00	18,00
CP 2	17,00	18,00	18,00	18,00	17,00
CP 3	17,00	18,00	18,00	17,00	18,00
CP 4	18,00	18,00	17,00	17,00	17,00
CP 5	17,00	17,00	18,00	18,00	17,00
Média	17,40	17,60	17,60	17,40	17,40
Dv. Padrão	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55

Tabela A.1.7: Resultados dos ensaios de n° colunas/cm (col/cm) – Adição de pontos centrais

Ensaio	Reg.0/1	Reg.0/2	Reg.0/3	Reg.0/4	Reg.0/5
CP 1	13,00	13,00	13,00	13,00	13,00
CP 2	12,00	13,00	13,00	12,00	13,00
CP 3	13,00	14,00	12,00	13,00	13,00
CP 4	13,00	13,00	13,00	13,00	13,00
CP 5	13,00	13,00	13,00	13,00	12,00
Média	12,80	13,20	12,80	12,80	12,80
Dv. Padrão	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45

Tabela A.1.8: Resultados dos ensaios de LFA (mm) – Adição de pontos centrais

Ensaio	Reg.0/1	Reg.0/2	Reg.0/3	Reg.0/4	Reg.0/5
CP 1	3,00	3,20	2,98	2,99	3,10
CP 2	2,90	3,10	3,00	3,30	3,00
CP 3	3,10	3,00	3,10	3,00	3,00
CP 4	3,20	3,20	3,00	3,00	2,99
CP 5	3,00	3,00	3,20	2,98	3,30
CP 6	3,10	3,10	3,00	3,10	3,00
CP 7	3,10	3,10	3,30	3,20	3,00
CP 8	3,20	3,00	2,99	3,00	3,10
CP 9	3,10	3,30	3,30	3,00	3,00
CP 10	2,98	2,98	3,10	3,10	3,20
CP 11	3,00	3,10	3,20	3,20	3,00
CP 12	3,10	3,20	3,30	3,30	3,20
CP 13	3,10	3,30	3,20	3,20	3,20
CP 14	3,20	3,00	3,20	3,20	3,10
CP 15	3,10	3,00	3,10	3,00	3,00
CP 16	3,30	3,30	3,00	3,00	3,20
CP 17	2,98	3,30	3,30	3,10	3,00
CP 18	3,20	3,30	3,10	3,10	2,99
CP 19	3,30	2,98	3,00	3,00	3,20
CP 20	3,10	2,99	3,30	3,00	3,00
Média	3,10	3,12	3,13	3,09	3,08
Dv. Padrão	0,137	0,173	0,152	0,055	0,111

A.2 Tecido de malha 100% poliéster

Tabela A.2.1: Resultados dos ensaios de gramatura (g/m²) – ASTM [D 3776/96]

Ensaio	Reg.1/1	Reg.1/2	Reg.2/1	Reg.2/2	Reg.3/1	Reg.3/2	Reg.4/1	Reg.4/2
CP 1	134,50	134,00	134,90	134,00	102,50	102,20	104,50	104,90
CP 2	136,30	137,50	136,20	133,30	103,10	103,20	102,50	103,90
CP 3	135,50	137,50	135,80	133,90	102,40	103,20	103,20	105,40
CP 4	133,40	133,80	136,00	134,50	102,30	102,60	104,70	105,10
CP 5	135,50	133,30	135,30	135,90	103,20	104,00	104,50	104,60
Média	135,04	135,22	135,64	134,32	102,70	103,04	103,88	104,78
Dv. Padrão	1,12	2,10	0,53	0,98	0,42	0,68	0,98	0,57

Tabela A.2.2: Resultados dos ensaios de n° carreiras/cm (car/cm) – ASTM [D 3887/96]

Ensaio	Reg. 1/1	Reg. 1/2	Reg. 2/1	Reg. 2/2	Reg. 3/1	Reg. 3/2	Reg. 4/1	Reg. 4/2
CP 1	17,00	18,00	18,00	17,00	13,00	13,00	12,00	12,00
CP 2	18,00	18,00	18,00	18,00	13,00	13,00	13,00	13,00
CP 3	19,00	17,00	19,00	18,00	12,00	12,00	12,00	13,00
CP 4	18,00	19,00	18,00	18,00	12,00	13,00	13,00	12,00
CP 5	17,00	18,00	17,00	19,00	13,00	12,00	12,00	13,00
Média	17,80	18,00	18,00	18,00	12,60	12,60	12,40	12,60
Dv. Padrão	0,84	0,71	0,71	0,71	0,55	0,55	0,55	0,55

Tabela A.2.3: Resultados dos ensaios de n° colunas/cm (col/cm) – ASTM [D 3887/96]

Ensaio	Reg. 1/1	Reg. 1/2	Reg. 2/1	Reg. 2/2	Reg. 3/1	Reg. 3/2	Reg. 4/1	Reg. 4/2
CP 1	14,00	13,00	13,00	13,00	13,00	13,00	13,00	13,00
CP 2	13,00	12,00	13,00	13,00	12,00	14,00	13,00	12,00
CP 3	13,00	13,00	14,00	12,00	13,00	13,00	14,00	13,00
CP 4	12,00	13,00	12,00	12,00	13,00	13,00	13,00	13,00
CP 5	13,00	14,00	13,00	13,00	14,00	12,00	14,00	14,00
Média	13,00	13,00	13,00	12,60	13,00	13,00	13,40	13,00
Dv. Padrão	0,71	0,71	0,71	0,55	0,71	0,71	0,55	0,71

Tabela A.2.4: Resultados dos ensaios de LFA (mm) – AFNOR [NF G 07-101/85]

Ensaio	Reg. 1/1	Reg. 1/2	Reg. 2/1	Reg. 2/2	Reg. 3/1	Reg. 3/2	Reg. 4/1	Reg. 4/2
CP 1	2,85	2,85	2,86	2,86	3,44	3,45	3,44	3,43
CP 2	2,86	2,85	2,85	2,84	3,45	3,45	3,46	3,43
CP 3	2,85	2,85	2,86	2,84	3,45	3,47	3,46	3,44
CP 4	2,84	2,85	2,85	2,85	3,43	3,45	3,44	3,42
CP 5	2,86	2,86	2,86	2,85	3,43	3,46	3,44	3,43
CP 6	2,86	2,86	2,85	2,84	3,43	3,45	3,45	3,42
CP 7	2,86	2,85	2,86	2,86	3,43	3,45	3,45	3,44
CP 8	2,86	2,85	2,86	2,84	3,44	3,46	3,44	3,44
CP 9	2,86	2,86	2,87	2,86	3,44	3,46	3,46	3,42
CP 10	2,84	2,86	2,87	2,86	3,44	3,47	3,44	3,42
CP 11	2,85	2,86	2,84	2,85	3,45	3,46	3,45	3,42
CP 12	2,84	2,87	2,84	2,84	3,45	3,46	3,46	3,42
CP 13	2,86	2,86	2,86	2,84	3,45	3,46	3,45	3,44
CP 14	2,84	2,86	2,86	2,85	3,43	3,45	3,46	3,42
CP 15	2,86	2,87	2,84	2,85	3,44	3,46	3,46	3,44
CP 16	2,86	2,85	2,84	2,86	3,45	3,46	3,44	3,43

Ensaio	Reg. 1/1	Reg. 1/2	Reg. 2/1	Reg. 2/2	Reg. 3/1	Reg. 3/2	Reg. 4/1	Reg. 4/2
CP 17	2,84	2,86	2,85	2,84	3,45	3,47	3,45	3,43
CP 18	2,85	2,87	2,84	2,86	3,43	3,47	3,46	3,42
CP 19	2,85	2,87	2,85	2,85	3,43	3,47	3,44	3,44
CP 20	2,86	2,85	2,86	2,86	3,45	3,45	3,45	3,42
Média	2,85	2,86	2,85	2,85	3,44	3,46	3,45	3,43
Dv. Padrão	0,008	0,010	0,008	0,009	0,011	0,009	0,008	0,008

Tabela A.2.5: Resultados dos ensaios de gramatura (g/m^2) – Adição de pontos centrais

Ensaio	Reg. 0/1	Reg. 0/2	Reg. 0/3	Reg. 0/4	Reg. 0/5
CP 1	120,40	117,70	119,50	118,50	117,40
CP 2	120,80	117,70	117,40	117,80	118,20
CP 3	118,80	118,70	118,30	119,50	117,10
CP 4	118,30	118,30	118,60	118,30	118,70
CP 5	117,80	119,80	120,60	119,90	119,60
Média	119,22	118,44	118,88	118,80	118,20
Dv. Padrão	1,32	0,87	1,22	0,87	1,01

Tabela A.2.6: Resultados dos ensaios de nº carreiras/cm (car/cm) – Adição de pontos centrais

Ensaio	Reg. 0/1	Reg. 0/2	Reg. 0/3	Reg. 0/4	Reg. 0/5
CP 1	16,00	15,00	15,00	15,00	15,00
CP 2	15,00	16,00	16,00	16,00	16,00
CP 3	15,00	16,00	16,00	15,00	15,00
CP 4	15,00	15,00	15,00	15,00	17,00
CP 5	16,00	16,00	15,00	16,00	15,00
Média	15,40	15,60	15,40	15,40	15,60
Dv. Padrão	0,55	0,55	0,55	0,55	0,89

Tabela A.2.7: Resultados dos ensaios de nº colunas/cm (col/cm) – Adição de pontos centrais

Ensaio	Reg. 0/1	Reg. 0/2	Reg. 0/3	Reg. 0/4	Reg. 0/5
CP 1	13,00	13,00	13,00	13,00	13,00
CP 2	13,00	13,00	13,00	12,00	13,00
CP 3	13,00	12,00	12,00	13,00	13,00
CP 4	12,00	13,00	13,00	13,00	14,00
CP 5	13,00	14,00	12,00	13,00	13,00
Média	12,80	13,00	12,60	12,80	13,20
Dv. Padrão	0,45	0,71	0,55	0,45	0,45

Tabela A.2.8: Resultados dos ensaios de LFA (mm) – Adição de pontos centrais

Ensaio	Reg.0/1	Reg.0/2	Reg.0/3	Reg.0/4	Reg.0/5
CP 1	3,15	3,15	3,14	3,16	3,18
CP 2	3,15	3,16	3,15	3,15	3,17
CP 3	3,14	3,14	3,15	3,14	3,16
CP 4	3,17	3,14	3,12	3,13	3,12
CP 5	3,15	3,14	3,14	3,14	3,15
CP 6	3,16	3,13	3,12	3,15	3,13
CP 7	3,15	3,14	3,15	3,13	3,15
CP 8	3,15	3,12	3,13	3,13	3,14
CP 9	3,17	3,15	3,13	3,12	3,16
CP 10	3,16	3,15	3,14	3,14	3,15
CP 11	3,14	3,14	3,15	3,14	3,18
CP 12	3,18	3,15	3,16	3,12	3,14
CP 13	3,15	3,14	3,15	3,15	3,16
CP 14	3,16	3,15	3,15	3,15	3,16
CP 15	3,15	3,15	3,14	3,16	3,15
CP 16	3,15	3,13	3,14	3,15	3,12
CP 17	3,16	3,15	3,16	3,15	3,14
CP 18	3,16	3,12	3,15	3,13	3,13
CP 19	3,15	3,14	3,15	3,12	3,14
CP 20	3,14	3,15	3,13	3,12	3,13
Média	3,15	3,14	3,14	3,14	3,15
Dv. Padrão	0,008	0,013	0,011	0,015	0,008

A.3 Tecido de malha 100% poliamida

Tabela A.3.1: Resultados dos ensaios de gramatura (g/m²) – ASTM [D 3776/96]

Ensaio	Reg.1/1	Reg.1/2	Reg.2/1	Reg.2/2	Reg.3/1	Reg.3/2	Reg.4/1	Reg.4/2
CP 1	153,00	153,00	153,80	151,30	110,70	110,70	114,00	112,90
CP 2	152,60	152,30	152,20	150,80	110,90	112,10	112,90	113,50
CP 3	151,50	152,10	156,20	151,80	110,10	112,90	111,00	113,70
CP 4	152,50	151,90	153,50	152,10	110,90	110,90	110,70	112,30
CP 5	153,20	153,30	152,60	152,80	109,40	111,40	112,80	111,20
Média	152,56	152,52	153,66	151,76	110,40	111,60	112,28	112,72
Dv. Padrão	0,66	0,60	1,56	0,76	0,65	0,91	1,39	1,01

Tabela A.3.2: Resultados dos ensaios de n° carreiras/cm (car/cm) – ASTM [D 3887/96]

Ensaio	Reg. 1/1	Reg. 1/2	Reg. 2/1	Reg. 2/2	Reg. 3/1	Reg. 3/2	Reg. 4/1	Reg. 4/2
CP 1	20,00	20,00	20,00	21,00	14,00	13,00	14,00	13,00
CP 2	19,00	20,00	20,00	20,00	14,00	14,00	13,00	13,00
CP 3	20,00	20,00	19,00	20,00	13,00	14,00	14,00	14,00
CP 4	21,00	19,00	19,00	20,00	14,00	13,00	13,00	14,00
CP 5	20,00	21,00	21,00	19,00	13,00	14,00	13,00	14,00
Média	20,00	20,00	19,80	20,00	13,60	13,60	13,40	13,60
Dv. Padrão	0,71	0,71	0,84	0,71	0,55	0,55	0,55	0,55

Tabela A.3.3: Resultados dos ensaios de n° colunas/cm (col/cm) – ASTM [D 3887/96]

Ensaio	Reg. 1/1	Reg. 1/2	Reg. 2/1	Reg. 2/2	Reg. 3/1	Reg. 3/2	Reg. 4/1	Reg. 4/2
CP 1	13,00	14,00	14,00	13,00	13,00	13,00	13,00	13,00
CP 2	14,00	13,00	12,00	13,00	12,00	12,00	13,00	12,00
CP 3	13,00	13,00	13,00	12,00	13,00	13,00	13,00	13,00
CP 4	13,00	12,00	13,00	12,00	14,00	13,00	14,00	14,00
CP 5	12,00	13,00	13,00	13,00	13,00	14,00	14,00	13,00
Média	13,00	13,00	13,00	12,60	13,00	13,00	13,40	13,00
Dv. Padrão	0,71	0,71	0,71	0,55	0,71	0,71	0,55	0,71

Tabela A.3.4: Resultados dos ensaios de LFA (mm) – AFNOR [NF G 07-101/85]

Ensaio	Reg. 1/1	Reg. 1/2	Reg. 2/1	Reg. 2/2	Reg. 3/1	Reg. 3/2	Reg. 4/1	Reg. 4/2
CP 1	2,85	2,83	2,87	2,86	3,53	3,54	3,51	3,55
CP 2	2,86	2,82	2,86	2,86	3,54	3,54	3,51	3,53
CP 3	2,85	2,83	2,88	2,86	3,53	3,53	3,52	3,55
CP 4	2,86	2,83	2,86	2,85	3,53	3,54	3,51	3,55
CP 5	2,86	2,83	2,87	2,86	3,54	3,55	3,51	3,53
CP 6	2,85	2,82	2,87	2,87	3,54	3,55	3,51	3,54
CP 7	2,86	2,83	2,87	2,86	3,53	3,55	3,52	3,55
CP 8	2,86	2,84	2,88	2,86	3,54	3,55	3,51	3,53
CP 9	2,85	2,82	2,86	2,87	3,53	3,53	3,51	3,53
CP 10	2,84	2,82	2,86	2,86	3,52	3,53	3,52	3,53
CP 11	2,84	2,83	2,88	2,85	3,53	3,54	3,52	3,54
CP 12	2,85	2,83	2,87	2,85	3,54	3,53	3,52	3,53
CP 13	2,85	2,84	2,86	2,86	3,52	3,54	3,51	3,53
CP 14	2,86	2,83	2,88	2,86	3,53	3,55	3,50	3,54
CP 15	2,85	2,82	2,88	2,85	3,54	3,53	3,52	3,53
CP 16	2,85	2,82	2,87	2,86	3,53	3,55	3,50	3,54

Ensaio	Reg. 1/1	Reg. 1/2	Reg. 2/1	Reg. 2/2	Reg. 3/1	Reg. 3/2	Reg. 4/1	Reg. 4/2
CP 17	2,85	2,84	2,86	2,85	3,52	3,55	3,52	3,53
CP 18	2,86	2,82	2,88	2,87	3,54	3,53	3,51	3,55
CP 19	2,84	2,82	2,88	2,86	3,52	3,54	3,51	3,55
CP 20	2,84	2,84	2,88	2,86	3,54	3,55	3,52	3,55
Média	2,85	2,83	2,87	2,86	3,53	3,54	3,51	3,54
Dv. Padrão	0,008	0,011	0,009	0,007	0,010	0,009	0,008	0,009

Tabela A.3.5: Resultados dos ensaios de gramatura (g/m^2) – Adição de pontos centrais

Ensaio	Reg. 0/1	Reg. 0/2	Reg. 0/3	Reg. 0/4	Reg. 0/5
CP 1	133,60	130,40	129,70	132,50	131,90
CP 2	130,20	132,90	130,50	131,60	132,50
CP 3	131,00	131,70	131,30	132,20	130,90
CP 4	128,70	128,90	129,60	131,90	131,60
CP 5	131,70	133,80	130,10	131,60	131,40
Média	131,04	131,54	130,24	131,96	131,66
Dv. Padrão	1,81	1,95	0,69	0,39	0,59

Tabela A.3.6: Resultados dos ensaios de nº carreiras/cm (car/cm) – Adição de pontos centrais

Ensaio	Reg. 0/1	Reg. 0/2	Reg. 0/3	Reg. 0/4	Reg. 0/5
CP 1	17,00	16,00	17,00	16,00	17,00
CP 2	17,00	16,00	16,00	16,00	16,00
CP 3	16,00	17,00	16,00	17,00	16,00
CP 4	16,00	17,00	17,00	16,00	17,00
CP 5	16,00	17,00	17,00	17,00	17,00
Média	16,40	16,60	16,60	16,40	16,60
Dv. Padrão	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55

Tabela A.3.7: Resultados dos ensaios de nº colunas/cm (col/cm) – Adição de pontos centrais

Ensaio	Reg. 0/1	Reg. 0/2	Reg. 0/3	Reg. 0/4	Reg. 0/5
CP 1	12,00	13,00	13,00	12,00	13,00
CP 2	13,00	13,00	13,00	13,00	13,00
CP 3	13,00	14,00	12,00	13,00	14,00
CP 4	13,00	13,00	13,00	13,00	13,00
CP 5	13,00	13,00	13,00	12,00	13,00
Média	12,80	13,20	12,80	12,60	13,20
Dv. Padrão	0,45	0,45	0,45	0,55	0,45

Tabela A.3.8: Resultados dos ensaios de LFA (mm) – Adição de pontos centrais

Ensaio	Reg.0/1	Reg.0/2	Reg.0/3	Reg.0/4	Reg.0/5
CP 1	3,19	3,20	3,21	3,18	3,20
CP 2	3,20	3,20	3,19	3,18	3,20
CP 3	3,20	3,19	3,20	3,19	3,21
CP 4	3,19	3,19	3,19	3,19	3,19
CP 5	3,19	3,20	3,18	3,20	3,18
CP 6	3,18	3,19	3,20	3,19	3,18
CP 7	3,20	3,19	3,21	3,20	3,19
CP 8	3,20	3,20	3,20	3,21	3,20
CP 9	3,18	3,21	3,21	3,19	3,20
CP 10	3,19	3,21	3,22	3,18	3,21
CP 11	3,18	3,19	3,18	3,22	3,20
CP 12	3,19	3,20	3,18	3,18	3,21
CP 13	3,18	3,20	3,20	3,19	3,20
CP 14	3,19	3,19	3,19	3,20	3,19
CP 15	3,20	3,20	3,19	3,18	3,18
CP 16	3,18	3,18	3,20	3,19	3,18
CP 17	3,19	3,21	3,20	3,20	3,19
CP 18	3,19	3,18	3,21	3,20	3,20
CP 19	3,18	3,20	3,21	3,20	3,20
CP 20	3,20	3,19	3,20	3,20	3,21
Média	3,19	3,20	3,20	3,19	3,20
Dv. Padrão	0,008	0,013	0,005	0,004	0,011

Apêndice B

O condicionamento estatístico dos valores experimentais foi realizado utilizando-se o Procedimento de Chauvenet. As significâncias dos fatores de controle e da interação foram testadas utilizando-se os gráficos de probabilidade normal e a análise de variância (ANOVA).

B.1 Procedimento de Chauvenet

Este procedimento foi utilizado para verificar a existência de valores anômalos n amostra.

B.1.1 Valores de gramatura (g/m^2) para malhas 100% algodão

Regulagem 1/1

$$DR_{\text{Máx}} = 0,76$$

Como

Então

$$DR_{\text{Mín}} = - 1,15$$

$$DR_0 = 1,65$$

$$DR_0 > |DR|$$

Regulagem 1/2

$$DR_{\text{Máx}} = 1,07$$

Como

Então

$$DR_{\text{Mín}} = - 1,41$$

$$DR_0 = 1,65$$

$$DR_0 > |DR|$$

Regulagem 2/1

$$DR_{\text{Máx}} = 0,53$$

Como

Então

$$DR_{\text{Mín}} = - 1,25$$

$$DR_0 = 1,65$$

$$DR_0 > |DR|$$

Regulagem 2/2

$$DR_{M\acute{a}x} = 1,31$$

$$DR_{M\acute{i}n} = - 1,08$$

Como

$$DR_0 = 1,65$$

Ent\~ao

$$DR_0 > |DR|$$

Regulagem 3/1

$$DR_{M\acute{a}x} = 1,47$$

$$DR_{M\acute{i}n} = - 1,27$$

Como

$$DR_0 = 1,65$$

Ent\~ao

$$DR_0 > |DR|$$

Regulagem 3/2

$$DR_{M\acute{a}x} = 1,17$$

$$DR_{M\acute{i}n} = - 1,46$$

Como

$$DR_0 = 1,65$$

Ent\~ao

$$DR_0 > |DR|$$

Regulagem 4/1

$$DR_{M\acute{a}x} = 1,09$$

$$DR_{M\acute{i}n} = - 1,06$$

Como

$$DR_0 = 1,65$$

Ent\~ao

$$DR_0 > |DR|$$

Regulagem 4/2

$$DR_{M\acute{a}x} = 1,09$$

$$DR_{M\acute{i}n} = - 0,99$$

Como

$$DR_0 = 1,65$$

Ent\~ao

$$DR_0 > |DR|$$

B.1.2 N\~umero de carreira por cent\~imetro para as malhas 100% algod\~ao

Regulagem 1/1

$$DR_{M\acute{a}x} = 1,41$$

$$DR_{M\acute{i}n} = - 1,41$$

Como

$$DR_0 = 1,65$$

Ent\~ao

$$DR_0 > |DR|$$

Regulagem 1/2

$$DR_{M\acute{a}x} = 1,41$$

$$DR_{M\acute{i}n} = - 1,41$$

Como

$$DR_0 = 1,65$$

Ent\~ao

$$DR_0 > |DR|$$

Regulagem 2/1

$$DR_{M\acute{a}x} = 1,43$$

$$DR_{M\acute{i}n} = - 0,95$$

Como

$$DR_0 = 1,65$$

Ent\~ao

$$DR_0 > |DR|$$

Regulagem 2/2

$$DR_{M\acute{a}x} = 1,41$$

$$DR_{M\acute{i}n} = - 1,41$$

Como

$$DR_0 = 1,65$$

Ent\~ao

$$DR_0 > |DR|$$

Regulagem 3/1

$$DR_{M\acute{a}x} = 0,73$$

$$DR_{M\acute{i}n} = - 1,09$$

Como

$$DR_0 = 1,65$$

Ent\~ao

$$DR_0 > |DR|$$

Regulagem 3/2

$$DR_{M\acute{a}x} = 0,73$$

$$DR_{M\acute{i}n} = - 1,09$$

Como

$$DR_0 = 1,65$$

Ent\~ao

$$DR_0 > |DR|$$

Regulagem 4/1

$$DR_{M\acute{a}x} = 1,09$$

$$DR_{M\acute{i}n} = - 0,73$$

Como

$$DR_0 = 1,65$$

Ent\~ao

$$DR_0 > |DR|$$

Regulagem 4/2

$$DR_{M\acute{a}x} = 0,73$$

$$DR_{M\acute{i}n} = - 1,09$$

Como

$$DR_0 = 1,65$$

Ent\~ao

$$DR_0 > |DR|$$

B.1.3 N\~umero de colunas por cent\~imetro para as malhas 100% algod\~ao

Regulagem 1/1

$$DR_{M\acute{a}x} = 1,41$$

$$DR_{M\acute{i}n} = - 1,41$$

Como

$$DR_0 = 1,65$$

Ent\~ao

$$DR_0 > |DR|$$

Regulagem 1/2

$$DR_{M\acute{a}x} = 1,41$$

$$DR_{M\acute{i}n} = - 1,41$$

Como

$$DR_0 = 1,65$$

Ent\~ao

$$DR_0 > |DR|$$

Regulagem 2/1

$$DR_{M\acute{a}x} = 1,41$$

$$DR_{M\acute{i}n} = - 1,41$$

Como

$$DR_0 = 1,65$$

Ent\~ao

$$DR_0 > |DR|$$

Regulagem 2/2

$$DR_{M\acute{a}x} = 0,73$$

$$DR_{M\acute{i}n} = - 1,09$$

Como

$$DR_0 = 1,65$$

Ent\~ao

$$DR_0 > |DR|$$

Regulagem 3/1

$$DR_{M\acute{a}x} = 1,41$$

$$DR_{M\acute{i}n} = - 1,41$$

Como

$$DR_0 = 1,65$$

Ent\~ao

$$DR_0 > |DR|$$

Regulagem 3/2

$$DR_{M\acute{a}x} = 1,41$$

$$DR_{M\acute{i}n} = - 1,41$$

Como

$$DR_0 = 1,65$$

Ent\~ao

$$DR_0 > |DR|$$

Regulagem 4/1

$$DR_{M\acute{a}x} = 1,09$$

$$DR_{M\acute{i}n} = - 0,73$$

Como

$$DR_0 = 1,65$$

Ent\~ao

$$DR_0 > |DR|$$

Regulagem 4/2

$$DR_{M\acute{a}x} = 1,41$$

$$DR_{M\acute{i}n} = - 1,41$$

Como

$$DR_0 = 1,65$$

Ent\~ao

$$DR_0 > |DR|$$

B.1.4 LFA para as malhas 100% algodão

Regulagem 1/1

$$DR_{M\acute{a}x} = 1,43$$

$$DR_{M\acute{i}n} = - 1,43$$

Como

$$DR_0 = 2,24$$

Então

$$DR_0 > |DR|$$

Regulagem 1/2

$$DR_{M\acute{a}x} = 1,25$$

$$DR_{M\acute{i}n} = - 1,25$$

Como

$$DR_0 = 2,24$$

Então

$$DR_0 > |DR|$$

Regulagem 2/1

$$DR_{M\acute{a}x} = 1,25$$

$$DR_{M\acute{i}n} = - 1,25$$

Como

$$DR_0 = 2,24$$

Então

$$DR_0 > |DR|$$

Regulagem 2/2

$$DR_{M\acute{a}x} = 1,00$$

$$DR_{M\acute{i}n} = - 1,00$$

Como

$$DR_0 = 2,24$$

Então

$$DR_0 > |DR|$$

Regulagem 3/1

$$DR_{M\acute{a}x} = 1,25$$

$$DR_{M\acute{i}n} = - 1,25$$

Como

$$DR_0 = 2,24$$

Então

$$DR_0 > |DR|$$

Regulagem 3/2

$$DR_{M\acute{a}x} = 1,25$$

$$DR_{M\acute{i}n} = - 1,25$$

Como

$$DR_0 = 2,24$$

Então

$$DR_0 > |DR|$$

Regulagem 4/1

$$DR_{M\acute{a}x} = 1,11$$

$$DR_{M\acute{i}n} = - 1,11$$

Como

$$DR_0 = 2,24$$

Então

$$DR_0 > |DR|$$

Regulagem 4/2

$$DR_{\text{Máx}} = 1,11$$

Como

Então

$$DR_{\text{Mín}} = - 1,11$$

$$DR_0 = 2,24$$

$$DR_0 > |DR|$$

B.1.5 Valores de gramatura (g/m^2) para as malhas 100% poliéster

Regulagem 1/1

$$DR_{\text{Máx}} = 1,13$$

Como

Então

$$DR_{\text{Mín}} = - 1,46$$

$$DR_0 = 1,65$$

$$DR_0 > |DR|$$

Regulagem 1/2

$$DR_{\text{Máx}} = 1,09$$

Como

Então

$$DR_{\text{Mín}} = - 0,91$$

$$DR_0 = 1,65$$

$$DR_0 > |DR|$$

Regulagem 2/1

$$DR_{\text{Máx}} = 1,06$$

Como

Então

$$DR_{\text{Mín}} = - 1,40$$

$$DR_0 = 1,65$$

$$DR_0 > |DR|$$

Regulagem 2/2

$$DR_{\text{Máx}} = 1,61$$

Como

Então

$$DR_{\text{Mín}} = - 1,04$$

$$DR_0 = 1,65$$

$$DR_0 > |DR|$$

Regulagem 3/1

$$DR_{\text{Máx}} = 1,19$$

Como

Então

$$DR_{\text{Mín}} = - 1,62$$

$$DR_0 = 0,95$$

$$DR_0 > |DR|$$

Regulagem 3/2

$$DR_{\text{Máx}} = 1,41$$

Como

Então

$$DR_{\text{Mín}} = - 1,24$$

$$DR_0 = 1,65$$

$$DR_0 > |DR|$$

Regulagem 4/1

$$DR_{M\acute{a}x} = 0,84$$

$$DR_{M\acute{i}n} = - 1,41$$

Como

$$DR_0 = 1,65$$

Ent\~ao

$$DR_0 > |DR|$$

Regulagem 4/2

$$DR_{M\acute{a}x} = 1,09$$

$$DR_{M\acute{i}n} = - 1,54$$

Como

$$DR_0 = 1,65$$

Ent\~ao

$$DR_0 > |DR|$$

B.1.6 N\~umero de carreira por cent\~imetro para as malhas 100% poli\~ester

Regulagem 1/1

$$DR_{M\acute{a}x} = 1,43$$

$$DR_{M\acute{i}n} = - 0,95$$

Como

$$DR_0 = 1,65$$

Ent\~ao

$$DR_0 > |DR|$$

Regulagem 1/2

$$DR_{M\acute{a}x} = 1,41$$

$$DR_{M\acute{i}n} = - 1,41$$

Como

$$DR_0 = 1,65$$

Ent\~ao

$$DR_0 > |DR|$$

Regulagem 2/1

$$DR_{M\acute{a}x} = 1,41$$

$$DR_{M\acute{i}n} = - 1,41$$

Como

$$DR_0 = 1,65$$

Ent\~ao

$$DR_0 > |DR|$$

Regulagem 2/2

$$DR_{M\acute{a}x} = 1,41$$

$$DR_{M\acute{i}n} = - 1,41$$

Como

$$DR_0 = 1,65$$

Ent\~ao

$$DR_0 > |DR|$$

Regulagem 3/1

$$DR_{M\acute{a}x} = 0,73$$

$$DR_{M\acute{i}n} = - 1,09$$

Como

$$DR_0 = 1,65$$

Ent\~ao

$$DR_0 > |DR|$$

Regulagem 3/2

$$DR_{M\acute{a}x} = 0,73$$

$$DR_{M\acute{i}n} = - 1,09$$

Como

$$DR_0 = 1,65$$

Ent\~ao

$$DR_0 > |DR|$$

Regulagem 4/1

$$DR_{M\acute{a}x} = 1,09$$

$$DR_{M\acute{i}n} = - 0,73$$

Como

$$DR_0 = 1,65$$

Ent\~ao

$$DR_0 > |DR|$$

Regulagem 4/2

$$DR_{M\acute{a}x} = 0,73$$

$$DR_{M\acute{i}n} = - 1,09$$

Como

$$DR_0 = 1,65$$

Ent\~ao

$$DR_0 > |DR|$$

B.1.7 N\~umero de colunas por cent\~imetro para as malhas 100% poli\~ester

Regulagem 1/1

$$DR_{M\acute{a}x} = 1,41$$

$$DR_{M\acute{i}n} = - 1,41$$

Como

$$DR_0 = 1,65$$

Ent\~ao

$$DR_0 > |DR|$$

Regulagem 1/2

$$DR_{M\acute{a}x} = 1,41$$

$$DR_{M\acute{i}n} = - 1,41$$

Como

$$DR_0 = 1,65$$

Ent\~ao

$$DR_0 > |DR|$$

Regulagem 2/1

$$DR_{M\acute{a}x} = 1,41$$

$$DR_{M\acute{i}n} = - 1,41$$

Como

$$DR_0 = 1,65$$

Ent\~ao

$$DR_0 > |DR|$$

Regulagem 2/2

$$DR_{M\acute{a}x} = 0,73$$

$$DR_{M\acute{i}n} = - 1,09$$

Como

$$DR_0 = 1,65$$

Ent\~ao

$$DR_0 > |DR|$$

Regulagem 3/1

$$DR_{M\acute{a}x} = 1,41$$

$$DR_{M\acute{i}n} = - 1,41$$

Como

$$DR_0 = 1,65$$

Ent\~ao

$$DR_0 > |DR|$$

Regulagem 3/2

$$DR_{M\acute{a}x} = 1,41$$

$$DR_{M\acute{i}n} = - 1,41$$

Como

$$DR_0 = 1,65$$

Ent\~ao

$$DR_0 > |DR|$$

Regulagem 4/1

$$DR_{M\acute{a}x} = 1,09$$

$$DR_{M\acute{i}n} = - 0,73$$

Como

$$DR_0 = 1,65$$

Ent\~ao

$$DR_0 > |DR|$$

Regulagem 4/2

$$DR_{M\acute{a}x} = 1,41$$

$$DR_{M\acute{i}n} = - 1,41$$

Como

$$DR_0 = 1,65$$

Ent\~ao

$$DR_0 > |DR|$$

B.1.8 LFA para as malhas 100% poli\^ester

Regulagem 1/1

$$DR_{M\acute{a}x} = 1,25$$

$$DR_{M\acute{i}n} = - 1,25$$

Como

$$DR_0 = 2,24$$

Ent\~ao

$$DR_0 > |DR|$$

Regulagem 1/2

$$DR_{M\acute{a}x} = 1,00$$

$$DR_{M\acute{i}n} = - 1,00$$

Como

$$DR_0 = 2,24$$

Ent\~ao

$$DR_0 > |DR|$$

Regulagem 2/1

$$DR_{M\acute{a}x} = 1,25$$

$$DR_{M\acute{i}n} = - 1,25$$

Como

$$DR_0 = 2,24$$

Ent\~ao

$$DR_0 > |DR|$$

Regulagem 2/2

$$DR_{M\acute{a}x} = 1,11$$

$$DR_{M\acute{i}n} = - 1,11$$

Como

$$DR_0 = 2,24$$

Ent\~ao

$$DR_0 > |DR|$$

Regulagem 3/1

$$DR_{M\acute{a}x} = 0,91$$

$$DR_{M\acute{i}n} = - 0,91$$

Como

$$DR_0 = 2,24$$

Ent\~ao

$$DR_0 > |DR|$$

Regulagem 3/2

$$DR_{M\acute{a}x} = 1,11$$

$$DR_{M\acute{i}n} = - 1,11$$

Como

$$DR_0 = 2,24$$

Ent\~ao

$$DR_0 > |DR|$$

Regulagem 4/1

$$DR_{M\acute{a}x} = 1,25$$

$$DR_{M\acute{i}n} = - 1,25$$

Como

$$DR_0 = 2,24$$

Ent\~ao

$$DR_0 > |DR|$$

Regulagem 4/2

$$DR_{M\acute{a}x} = 1,25$$

$$DR_{M\acute{i}n} = - 1,25$$

Como

$$DR_0 = 2,24$$

Ent\~ao

$$DR_0 > |DR|$$

B.1.9 Valores de gramatura (g/m^2) para as malhas 100% poliamida

Regulagem 1/1

$$DR_{M\acute{a}x} = 0,97$$

$$DR_{M\acute{i}n} = - 1,61$$

Como

$$DR_0 = 1,65$$

Ent\~ao

$$DR_0 > |DR|$$

Regulagem 1/2

$$DR_{M\acute{a}x} = 1,30$$

$$DR_{M\acute{i}n} = - 1,03$$

Como

$$DR_0 = 1,65$$

Ent\~ao

$$DR_0 > |DR|$$

Regulagem 2/1

$$DR_{M\acute{a}x} = 1,63$$

$$DR_{M\acute{i}n} = - 0,94$$

Como

$$DR_0 = 1,65$$

Então

$$DR_0 > |DR|$$

Regulagem 2/2

$$DR_{M\acute{a}x} = 1,37$$

$$DR_{M\acute{i}n} = - 1,26$$

Como

$$DR_0 = 1,65$$

Então

$$DR_0 > |DR|$$

Regulagem 3/1

$$DR_{M\acute{a}x} = 0,77$$

$$DR_{M\acute{i}n} = - 1,54$$

Como

$$DR_0 = 1,65$$

Então

$$DR_0 > |DR|$$

Regulagem 3/2

$$DR_{M\acute{a}x} = 1,43$$

$$DR_{M\acute{i}n} = - 0,99$$

Como

$$DR_0 = 1,65$$

Então

$$DR_0 > |DR|$$

Regulagem 4/1

$$DR_{M\acute{a}x} = 1,24$$

$$DR_{M\acute{i}n} = - 1,14$$

Como

$$DR_0 = 1,65$$

Então

$$DR_0 > |DR|$$

Regulagem 4/2

$$DR_{M\acute{a}x} = 0,97$$

$$DR_{M\acute{i}n} = - 1,51$$

Como

$$DR_0 = 1,65$$

Então

$$DR_0 > |DR|$$

B.1.10 Número de carreira por centímetro para as malhas 100% poliamida

Regulagem 1/1

$$DR_{M\acute{a}x} = 1,41$$

$$DR_{M\acute{i}n} = - 1,41$$

Como

$$DR_0 = 1,65$$

Então

$$DR_0 > |DR|$$

Regulagem 1/2

$$DR_{M\acute{a}x} = 1,41$$

$$DR_{M\acute{i}n} = - 1,41$$

Como

$$DR_0 = 1,65$$

Ent\~ao

$$DR_0 > |DR|$$

Regulagem 2/1

$$DR_{M\acute{a}x} = 1,43$$

$$DR_{M\acute{i}n} = - 0,95$$

Como

$$DR_0 = 1,65$$

Ent\~ao

$$DR_0 > |DR|$$

Regulagem 2/2

$$DR_{M\acute{a}x} = 1,41$$

$$DR_{M\acute{i}n} = - 1,41$$

Como

$$DR_0 = 1,65$$

Ent\~ao

$$DR_0 > |DR|$$

Regulagem 3/1

$$DR_{M\acute{a}x} = 0,73$$

$$DR_{M\acute{i}n} = - 1,09$$

Como

$$DR_0 = 1,65$$

Ent\~ao

$$DR_0 > |DR|$$

Regulagem 3/2

$$DR_{M\acute{a}x} = 1,09$$

$$DR_{M\acute{i}n} = - 0,73$$

Como

$$DR_0 = 1,65$$

Ent\~ao

$$DR_0 > |DR|$$

Regulagem 4/1

$$DR_{M\acute{a}x} = 1,09$$

$$DR_{M\acute{i}n} = - 0,73$$

Como

$$DR_0 = 1,65$$

Ent\~ao

$$DR_0 > |DR|$$

Regulagem 4/2

$$DR_{M\acute{a}x} = 0,73$$

$$DR_{M\acute{i}n} = - 1,09$$

Como

$$DR_0 = 1,65$$

Ent\~ao

$$DR_0 > |DR|$$

B.1.11 Número de colunas por centímetro para as malhas 100% poliamida

Regulagem 1/1

$DR_{Máx} = 1,41$	Como	Então
$DR_{Mín} = - 1,41$	$DR_0 = 1,65$	$DR_0 > DR $

Regulagem 1/2

$DR_{Máx} = 1,41$	Como	Então
$DR_{Mín} = - 1,41$	$DR_0 = 1,65$	$DR_0 > DR $

Regulagem 2/1

$DR_{Máx} = 1,41$	Como	Então
$DR_{Mín} = - 1,41$	$DR_0 = 1,65$	$DR_0 > DR $

Regulagem 2/2

$DR_{Máx} = 0,73$	Como	Então
$DR_{Mín} = - 1,09$	$DR_0 = 1,65$	$DR_0 > DR $

Regulagem 3/1

$DR_{Máx} = 1,41$	Como	Então
$DR_{Mín} = - 1,41$	$DR_0 = 1,65$	$DR_0 > DR $

Regulagem 3/2

$DR_{Máx} = 1,41$	Como	Então
$DR_{Mín} = - 1,41$	$DR_0 = 1,65$	$DR_0 > DR $

Regulagem 4/1

$DR_{Máx} = 1,09$	Como	Então
$DR_{Mín} = - 0,73$	$DR_0 = 1,65$	$DR_0 > DR $

Regulagem 4/2

$DR_{Máx} = 1,41$	Como	Então
$DR_{Mín} = - 1,41$	$DR_0 = 1,65$	$DR_0 > DR $

B.1.12 LFA para as malhas 100% poliamida

Regulagem 1/1

$$DR_{M\acute{a}x} = 1,25$$

Como

Então

$$DR_{M\acute{i}n} = - 1,25$$

$$DR_0 = 2,24$$

$$DR_0 > |DR|$$

Regulagem 1/2

$$DR_{M\acute{a}x} = 0,91$$

Como

Então

$$DR_{M\acute{i}n} = - 0,91$$

$$DR_0 = 2,24$$

$$DR_0 > |DR|$$

Regulagem 2/1

$$DR_{M\acute{a}x} = 1,11$$

Como

Então

$$DR_{M\acute{i}n} = - 1,11$$

$$DR_0 = 2,24$$

$$DR_0 > |DR|$$

Regulagem 2/2

$$DR_{M\acute{a}x} = 1,43$$

Como

Então

$$DR_{M\acute{i}n} = - 1,43$$

$$DR_0 = 2,24$$

$$DR_0 > |DR|$$

Regulagem 3/1

$$DR_{M\acute{a}x} = 1,00$$

Como

Então

$$DR_{M\acute{i}n} = - 1,00$$

$$DR_0 = 2,24$$

$$DR_0 > |DR|$$

Regulagem 3/2

$$DR_{M\acute{a}x} = 1,11$$

Como

Então

$$DR_{M\acute{i}n} = - 1,11$$

$$DR_0 = 2,24$$

$$DR_0 > |DR|$$

Regulagem 4/1

$$DR_{M\acute{a}x} = 1,25$$

Como

Então

$$DR_{M\acute{i}n} = - 1,25$$

$$DR_0 = 2,24$$

$$DR_0 > |DR|$$

Regulagem 4/2

$$DR_{M\acute{a}x} = 1,11$$

Como

Então

$$DR_{M\acute{i}n} = - 1,11$$

$$DR_0 = 1,65$$

$$DR_0 > |DR|$$

B.2 Fatores de controle e de interação

Para verificar significância dos fatores estudados foram calculados os efeitos dos fatores principais e da interação e montados os gráficos de probabilidade normal.

Tabela b.1: Valores do efeito dos fatores de controle e da interação para a gramatura do tecido 100% algodão

Ensaio	Tratamentos	Fator A	Fator B	Int. AxB	Respostas (g/m ²)	
1	ab	+ 1	+ 1	+ 1	150,82	149,30
2	a	+ 1	- 1	- 1	150,76	150,28
3	b	- 1	+ 1	- 1	120,88	119,78
4	(1)	- 1	- 1	+ 1	123,74	122,22
$\Sigma + / 4$		150,29	135,20	136,52		
$\Sigma - / 4$		121,66	136,75	135,43		
Efeito		28,63	-1,55	1,09		

Como pode ser visto na tabela b.1 um aumento da velocidade de alimentação positiva de 131,4 m/min para 161,4 m/min resultará em uma redução na gramatura média do tecido de aproximadamente 28,6 g/m². Já os efeitos da tensão de entrada do fio e da interação são insignificantes. Trabalhando com as pedras no nível mais baixo, haveria uma redução na gramatura média do tecido de aproximadamente 1,5 g/m² e de aproximadamente 1,1 g/m² respectivamente. Desta forma, pode-se concluir que para fabricar o tecido com a gramatura desejada basta regular a máquina com a velocidade de alimentação positiva adequada.

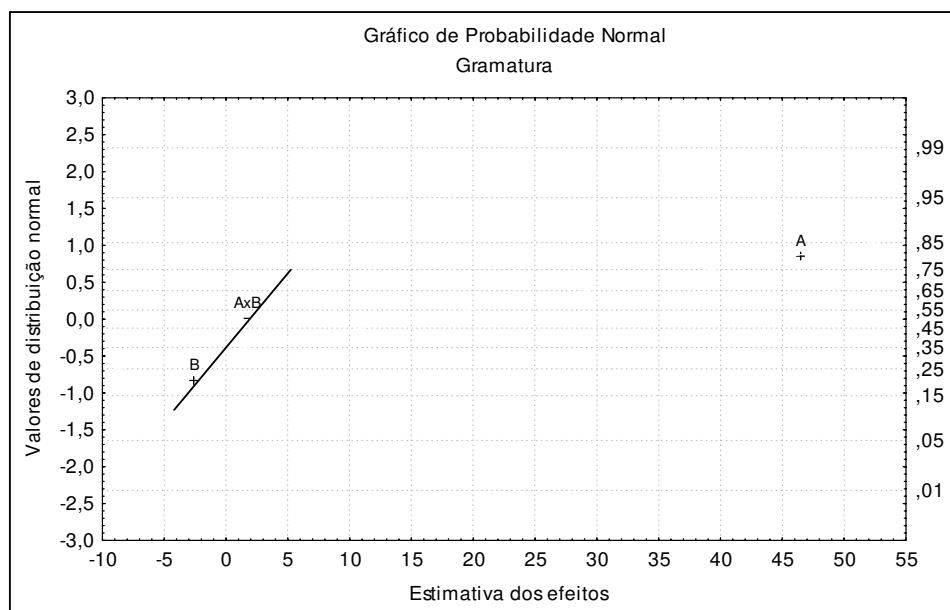


Figura b.1: Gráfico de probabilidade normal para a gramatura do tecido 100% algodão

Na figura b.1 observa-se que o efeito do fator A está distanciado da reta. Isto indica que este efeito é significativamente diferente de zero. Portanto, este gráfico confirma a hipótese do fator A produzir efeito significativo na gramatura da malha. Os efeitos do fator B e da interação AxB não são significativos para a gramatura do tecido de malha.

Tabela b.2: Valores do efeito dos fatores de controle e da interação para o número de carreira por cm do tecido 100% algodão

Ensaio	Tratamentos	Fator A	Fator B	Int. AxB	Respostas (car/cm)	
1	ab	+ 1	+ 1	+ 1	20,00	20,00
2	a	+ 1	- 1	- 1	19,80	20,00
3	b	- 1	+ 1	- 1	14,60	14,60
4	(1)	- 1	- 1	+ 1	14,40	14,60
$\Sigma + / 4$		19,95	17,30	17,25		
$\Sigma - / 4$		14,55	17,20	17,25		
Efeito		5,40	0,10	0,00		

Como pode ser visto na tabela b.2 um aumento da velocidade de alimentação positiva de 131,4 m/min para 161,4 m/min resultará em uma redução do número médio de carreiras por centímetro do tecido de 5,4 car/cm. Já os efeitos da tensão de entrada do fio e da interação são insignificantes. Trabalhando com as pedras no nível mais baixo, haveria um aumento no número médio de carreiras por centímetro do tecido de 0,1 car/cm e a interação não sofreria alteração. Desta forma, pode-se concluir que para fabricar o tecido com o número de carreiras por centímetro desejado basta regular a máquina com a velocidade de alimentação positiva adequada.

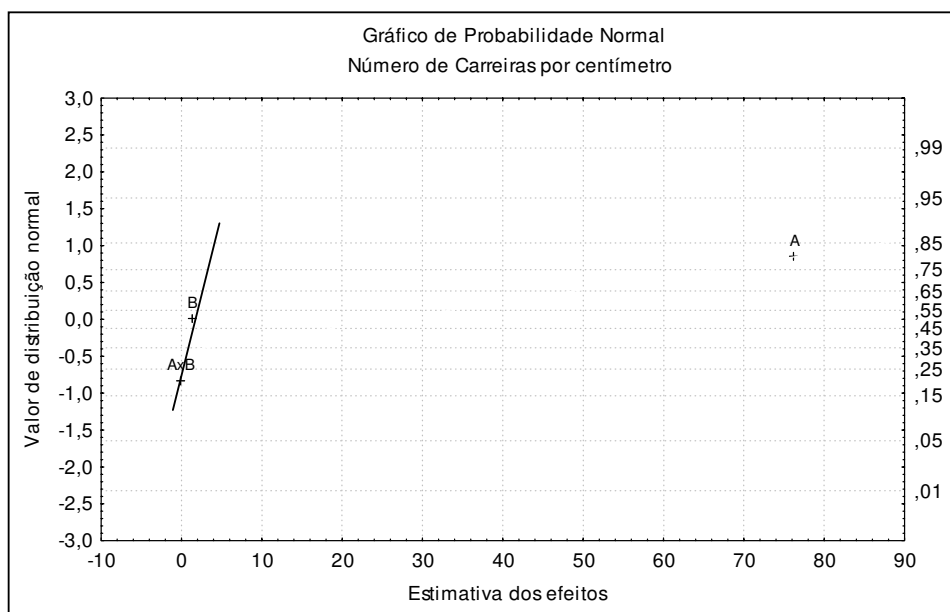


Figura b.2: Gráfico de probabilidade normal para o número de carreiras por centímetro do tecido 100% algodão

Na figura b.2 observa-se que o efeito do fator A está distanciado da reta. Isto indica que este efeito é significativamente diferente de zero. Portanto, este gráfico confirma a hipótese do fator A produzir efeito significativo na gramatura da malha. Os efeitos do fator B e da interação AxB não são significativos para o número de carreiras por centímetro do tecido de malha.

Tabela b.3: Valores do efeito dos fatores de controle e da interação para o número de colunas por cm do tecido 100% algodão

Ensaio	Tratamentos	Fator A	Fator B	Int. Ax B	Respostas (col/cm)	
1	ab	+ 1	+ 1	+ 1	13,00	13,00
2	a	+ 1	- 1	- 1	13,00	12,60
3	b	- 1	+ 1	- 1	13,00	13,00
4	(1)	- 1	- 1	+ 1	13,40	13,00
S + / 4		12,90	13,00	13,10		
S - / 4		13,10	13,00	12,90		
Efeito		-0,20	0,00	0,20		

Como pode ser visto na tabela b.3, os efeitos da velocidade de alimentação positiva, da tensão de entrada do fio e da interação são insignificantes. Variando-se a velocidade de alimentação positiva de 131,4 m/min para 161,4 m/min resultará em um aumento do número médio de colunas por centímetro tecido de 0,20 col/cm. Trabalhando com as pedras no nível mais baixo, não haveria alteração do número médio de colunas por centímetro e a variação devido à interação sofrerá uma redução de 0,20 col/cm. Desta forma, pode-se concluir que variando a velocidade de alimentação positiva e a tensão de entrada do fio o número de colunas por centímetro de um tecido de malha permanece constante.

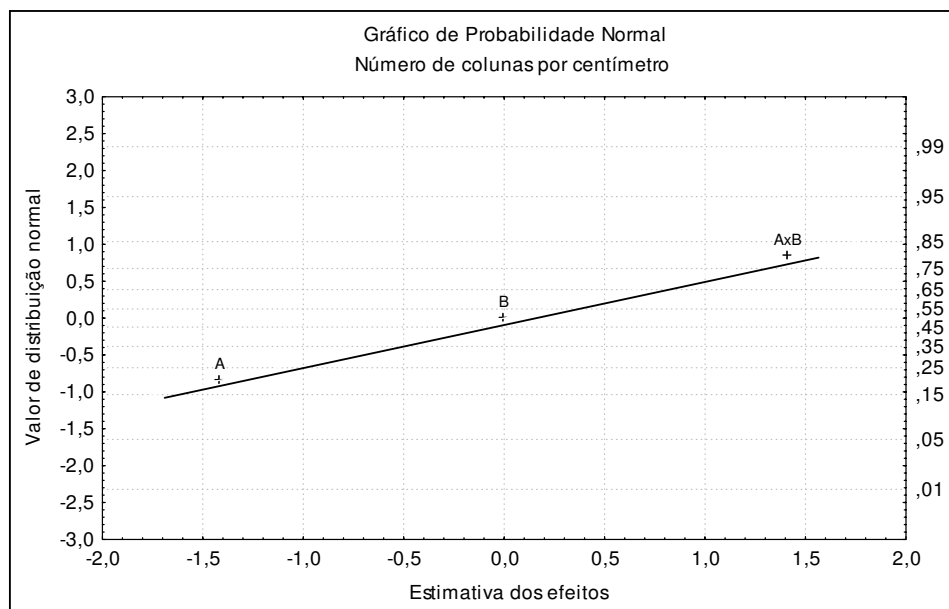


Figura b.3: Gráfico de probabilidade normal para o número de colunas por centímetro do tecido 100% algodão

Na figura b.3 observa-se que nenhum efeito está distanciado da reta. Portanto, este gráfico confirma a hipótese de que os efeitos dos fatores A e B e da interação AxB não são significativos para o número de colunas por centímetro do tecido de malha.

Tabela b.4: Valores do efeito dos fatores de controle e da interação para o LFA do tecido 100% algodão

Ensaio	Tratamentos	Fator A	Fator B	Int. AxB	Respostas (mm)	
1	ab	+ 1	+ 1	+ 1	2,85	2,86
2	a	+ 1	- 1	- 1	2,85	2,83
3	b	- 1	+ 1	- 1	3,32	3,36
4	(1)	- 1	- 1	+ 1	3,36	3,35
$\Sigma + / 4$		2,84	3,10	3,11		
$\Sigma - / 4$		3,35	3,10	3,10		
Efeito		-0,51	0,00	0,01		

Como pode ser visto na tabela b.4 um aumento da velocidade de alimentação positiva de 131,4 m/min para 161,4 m/min resultará em um aumento do LFA de 0,51 mm. Já os efeitos da tensão de entrada do fio e da interação são insignificantes, variando-se a altura da pedra de descida e a interação do nível mais alto para o mais baixo, não haverá alteração no LFA médio. Desta forma, pode-se concluir que para fabricar o tecido com o LFA desejado basta regular a máquina com a velocidade de alimentação positiva adequada.

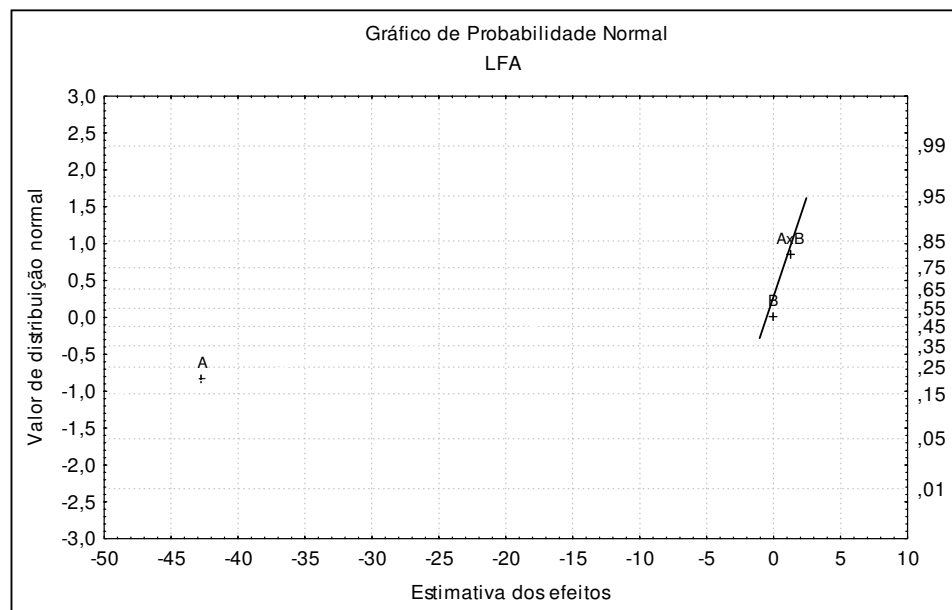


Figura b.4: Gráfico de probabilidade normal para os valores de LFA do tecido 100% algodão

Na figura b.4 observa-se que o efeito do fator A está distanciado da reta. Isto indica que este efeito é significativamente diferente de zero. Portanto, este gráfico confirma a hipótese do fator A produzir efeito significativo na gramatura da malha. Os efeitos do fator B e da interação AxB não são significativos para o número de carreiras por centímetro do tecido de malha.

Tabela b.5: Valores do efeito dos fatores de controle e da interação para a gramatura do tecido 100% poliéster

Ensaio	Tratamentos	Fator A	Fator B	Int. AxB	Respostas (g/m ²)	
1	ab	+ 1	+ 1	+ 1	135,04	135,22
2	a	+ 1	- 1	- 1	135,64	134,32
3	b	- 1	+ 1	- 1	102,70	103,04
4	(1)	- 1	- 1	+ 1	103,88	104,78
$\Sigma + / 4$		135,06	119,00	119,73		
$\Sigma - / 4$		103,60	119,66	118,93		
Efeito		31,46	-0,66	0,80		

Como pode ser visto na tabela b.5 um aumento da velocidade de alimentação positiva de 132,2 m/min para 162,8 m/min resultará em uma redução na gramatura média do tecido de aproximadamente 31,4 g/m². Já os efeitos da tensão de entrada do fio e da interação são insignificantes. Trabalhando com as pedras no nível mais baixo, haveria uma redução na gramatura média do tecido de aproximadamente 0,7 g/m² devido a tensão de entrada do fio e um aumento de 0,8 g/m² devido a interação. Desta forma, pode-se concluir que para fabricar o tecido com a gramatura desejada basta regular a máquina com a velocidade de alimentação positiva adequada.

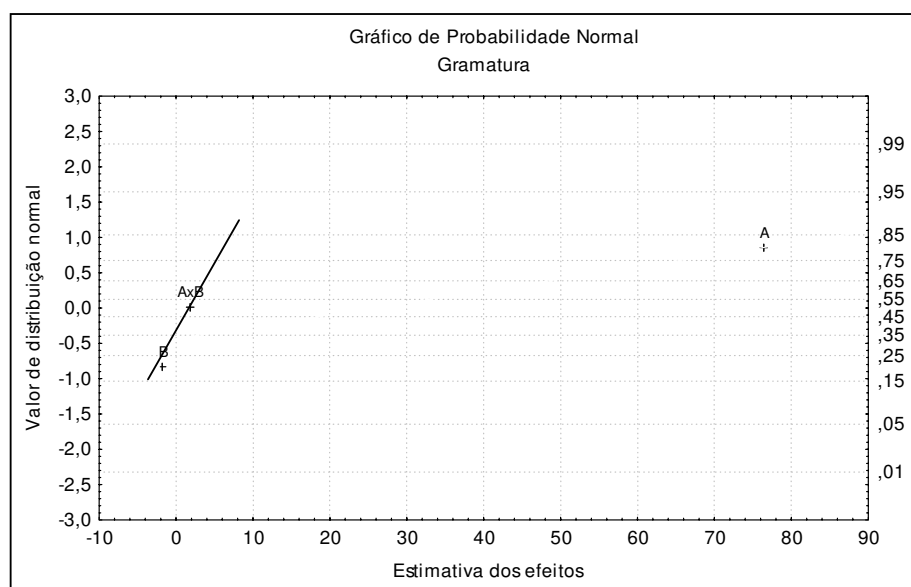


Figura b.5: Gráfico de probabilidade normal para a gramatura do tecido 100% poliéster

Na figura b.5 observa-se que o efeito do fator A está distanciado da reta. Isto indica que este efeito é significativamente diferente de zero. Portanto, este gráfico confirma a hipótese do fator A produzir efeito significativo na gramatura da malha. Os efeitos do fator B e da interação AxB não são significativos para a gramatura do tecido de malha.

Tabela b.6: Valores do efeito dos fatores de controle e da interação para o número de carreira por cm do tecido 100% poliéster

Ensaio	Tratamentos	Fator A	Fator B	Int. AxB	Respostas (car/cm)	
1	ab	+ 1	+ 1	+ 1	17,80	18,00
2	a	+ 1	- 1	- 1	18,00	18,00
3	b	- 1	+ 1	- 1	12,60	12,60
4	(1)	- 1	- 1	+ 1	12,40	12,60
$\Sigma + / 4$		17,95	15,25	15,20		
$\Sigma - / 4$		12,55	15,25	15,30		
Efeito		5,40	0,00	-0,10		

Como pode ser visto na tabela 6.6 um aumento da velocidade de alimentação positiva de 132,2 m/min para 162,8 m/min resultará em uma redução do número médio de carreiras por centímetro do tecido de 5,4 car/cm. Já os efeitos da tensão de entrada do fio e da interação são insignificantes. Trabalhando com as pedras no nível mais baixo, os efeitos da tensão de entrada não alterariam o número médio de carreiras por centímetro do tecido e os efeitos devido a interação aumentariam 0,10 car/cm. Desta forma, pode-se concluir que para fabricar o tecido com o número de carreiras por centímetro desejado basta regular a máquina com a velocidade de alimentação positiva adequada.

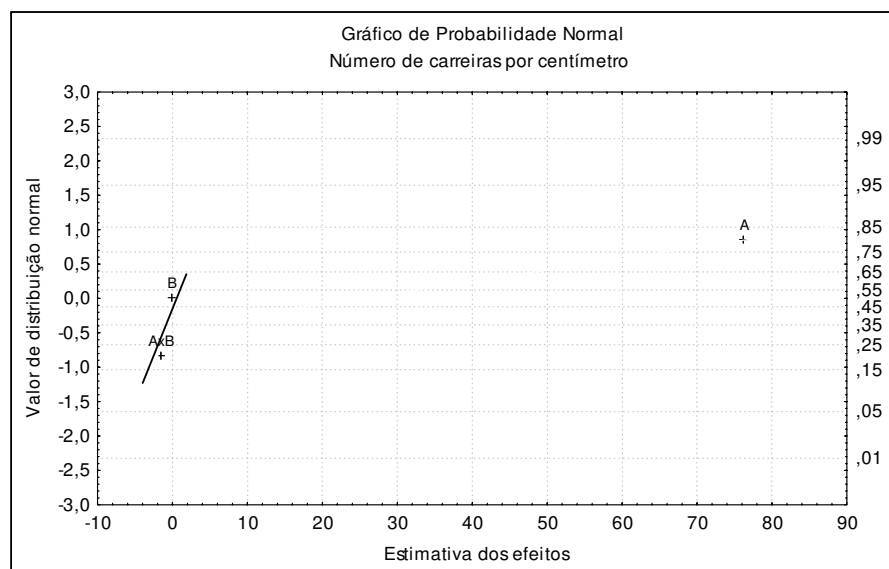


Figura b.6: Gráfico de probabilidade normal para o número de carreiras por centímetro do tecido 100% poliéster

Na figura b.6 observa-se que o efeito do fator A está distanciado da reta. Isto indica que este efeito é significativamente diferente de zero. Portanto, este gráfico confirma a hipótese do fator A produzir efeito significativo na gramatura da malha. Os efeitos do fator B e da interação AxB não são significativos para o número de carreiras por centímetro do tecido de malha.

Tabela b.7: Valores do efeito dos fatores de controle e da interação para o número de colunas por cm do tecido 100% poliéster

Ensaio	Tratamentos	Fator A	Fator B	Int. AxB	Respostas (col/cm)	
1	ab	+ 1	+ 1	+ 1	13,00	13,00
2	a	+ 1	- 1	- 1	13,00	12,60
3	b	- 1	+ 1	- 1	13,00	13,00
4	(1)	- 1	- 1	+ 1	13,40	13,00
S + / 4		12,90	13,00	13,10		
S - / 4		13,10	13,00	12,90		
Efeito		-0,20	0,00	0,20		

Como pode ser visto na tabela b.7, os efeitos da velocidade de alimentação positiva, da tensão de entrada do fio e da interação são insignificantes. Variando-se a velocidade de alimentação positiva de 132,2 m/min para 162,8 m/min resultará em um aumento do número médio de colunas por centímetro tecido de 0,20 col/cm. Trabalhando com as pedras no nível mais baixo, não haveria alteração do número médio de colunas por centímetro e a variação devido à interação sofrerá uma redução de 0,20 col/cm. Desta forma, pode-se concluir que variando a velocidade de alimentação positiva e a tensão de entrada do fio o número de colunas por centímetro de um tecido de malha permanece constante.

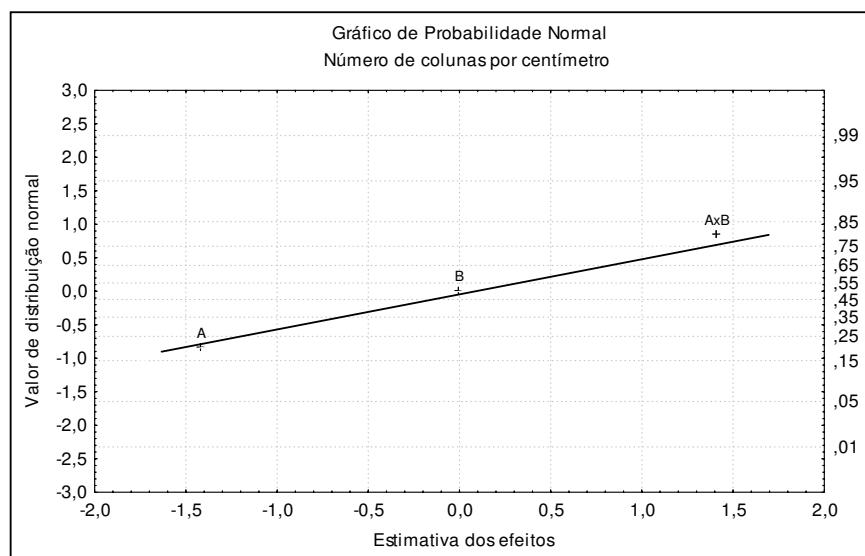


Figura b.7: Gráfico de probabilidade normal para o número de colunas por centímetro do tecido 100% poliéster

Na figura b.7 observa-se que nenhum efeito está distanciado da reta. Portanto, este gráfico confirma a hipótese de que os efeitos dos fatores A e B e da interação AxB não são significativos para o número de colunas por centímetro do tecido de malha.

Tabela b.8: Valores do efeito dos fatores de controle e da interação para o LFA do tecido 100% poliéster

Ensaio	Tratamentos	Fator A	Fator B	Int. AxB	Respostas (mm)	
1	ab	+ 1	+ 1	+ 1	2,85	2,86
2	a	+ 1	- 1	- 1	2,85	2,85
3	b	- 1	+ 1	- 1	3,44	3,46
4	(1)	- 1	- 1	+ 1	3,45	3,43
$\Sigma + / 4$		2,85	3,15	3,15		
$\Sigma - / 4$		3,45	3,15	3,15		
Efeito		-0,60	0,00	0,00		

Como pode ser visto na tabela 6.8 um aumento da velocidade de alimentação positiva de 132,2 m/min para 162,8 m/min resultará em um aumento do LFA de 0,60 mm. Já os efeitos da tensão de entrada do fio e da interação são insignificantes, variando-se a altura da pedra de descida e a interação do nível mais alto para o mais baixo, não haverá alteração no LFA médio. Desta forma, pode-se concluir que para fabricar o tecido com o LFA desejado basta regular a máquina com a velocidade de alimentação positiva adequada.

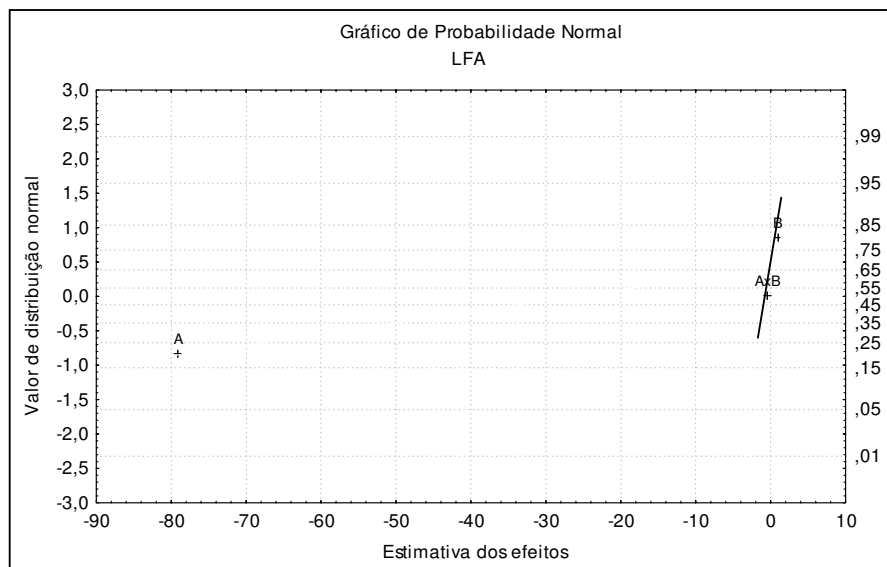


Figura b.8: Gráfico de probabilidade normal para os valores de LFA do tecido 100% poliéster

Na figura b.8 observa-se que o efeito do fator A está distanciado da reta. Isto indica que este efeito é significativamente diferente de zero. Portanto, este gráfico confirma a hipótese do fator A produzir efeito significativo na gramatura da malha. Os efeitos do fator B e da interação AxB não são significativos para o número de carreiras por centímetro do tecido de malha.

Tabela b.9: Valores do efeito dos fatores de controle e da interação para a gramatura do tecido 100% poliamida

Ensaio	Tratamentos	Fator A	Fator B	Int. AxB	Respostas (g/m ²)	
1	ab	+ 1	+ 1	+ 1	152,56	152,52
2	a	+ 1	- 1	- 1	153,66	151,76
3	b	- 1	+ 1	- 1	110,40	111,60
4	(1)	- 1	- 1	+ 1	112,28	112,72
$\Sigma + / 4$		152,63	131,77	132,52		
$\Sigma - / 4$		111,75	132,61	131,86		
Efeito		40,88	-0,84	0,66		

Como pode ser visto na tabela b.9 um aumento da velocidade de alimentação positiva de 130,3 m/min para 160,5 m/min resultará em uma redução na gramatura média do tecido de aproximadamente 40,9 g/m². Já os efeitos da tensão de entrada do fio e da interação são insignificantes. Trabalhando com as pedras no nível mais baixo, haveria uma redução na gramatura média do tecido de aproximadamente 0,8 g/m² devido a tensão de entrada do fio e um aumento de 0,7 g/m² devido a interação. Desta forma, pode-se concluir que para fabricar o tecido com a gramatura desejada basta regular a máquina com a velocidade de alimentação positiva adequada.

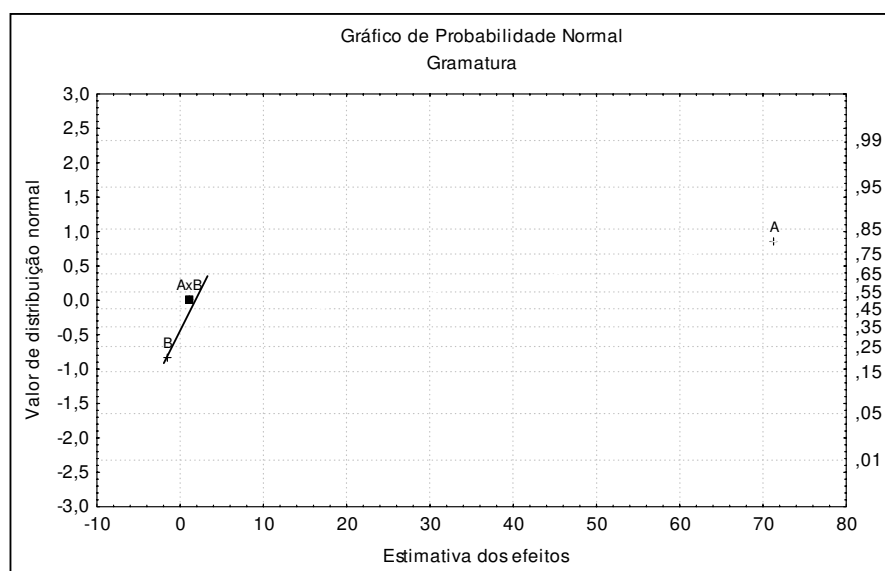


Figura b.9: Gráfico de probabilidade normal para a gramatura do tecido 100% poliamida

Na figura b.9 observa-se que o efeito do fator A está distanciado da reta. Isto indica que este efeito é significativamente diferente de zero. Portanto, este gráfico confirma a hipótese do fator A produzir efeito significativo na gramatura da malha. Os efeitos do fator B e da interação AxB não são significativos para a gramatura do tecido de malha.

Tabela b.10: Valores do efeito dos fatores de controle e da interação para o número de carreira por cm do tecido 100% poliamida

Ensaio	Tratamentos	Fator A	Fator B	Int. AxB	Respostas (car/cm)	
1	ab	+ 1	+ 1	+ 1	20,00	20,00
2	a	+ 1	- 1	- 1	19,80	20,00
3	b	- 1	+ 1	- 1	13,60	13,60
4	(1)	- 1	- 1	+ 1	13,40	13,60
$\Sigma + / 4$		19,95	16,80	16,75		
$\Sigma - / 4$		13,55	16,70	16,75		
Efeito		6,40	0,10	0,00		

Como pode ser visto na tabela b.10 um aumento da velocidade de alimentação positiva de 130,3 m/min para 160,5 m/min resultará em uma redução do número médio de carreiras por centímetro do tecido de 6,4 car/cm. Já os efeitos da tensão de entrada do fio e da interação são insignificantes. Trabalhando com as pedras no nível mais baixo, haveria um aumento no número médio de carreiras por centímetro do tecido de 0,1 car/cm e a interação não sofreria alteração. Desta forma, pode-se concluir que para fabricar o tecido com o número de carreiras por centímetro desejado basta regular a máquina com a velocidade de alimentação positiva adequada.

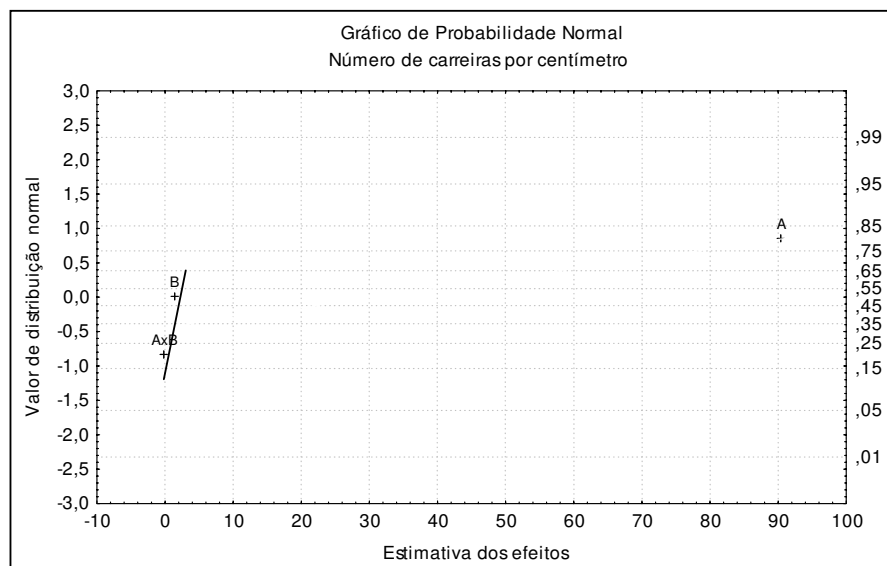


Figura b.10: Gráfico de probabilidade normal para o número de carreiras por centímetro do tecido 100% poliamida

Na figura b.10 observa-se que o efeito do fator A está distanciado da reta. Isto indica que este efeito é significativamente diferente de zero. Portanto, este gráfico confirma a hipótese do fator A produzir efeito significativo na gramatura da malha. Os efeitos do fator B e da interação AxB não são significativos para o número de carreiras por centímetro do tecido de malha.

Tabela b.11: Valores do efeito dos fatores de controle e da interação para o número de colunas por cm do tecido 100% poliamida

Ensaio	Tratamentos	Fator A	Fator B	Int. AxB	Respostas (col/cm)	
1	ab	+ 1	+ 1	+ 1	13,00	13,00
2	a	+ 1	- 1	- 1	13,00	12,60
3	b	- 1	+ 1	- 1	13,00	13,00
4	(1)	- 1	- 1	+ 1	13,40	13,00
S + / 4		12,90	13,00	13,10		
S - / 4		13,10	13,00	12,90		
Efeito		-0,20	0,00	0,20		

Como pode ser visto na tabela b.11, os efeitos da velocidade de alimentação positiva, da tensão de entrada do fio e da interação são insignificantes. Variando-se a velocidade de alimentação positiva de 130,3 m/min para 160,5 m/min resultará em um aumento do número médio de colunas por centímetro tecido de 0,20 col/cm. Trabalhando com as pedras no nível mais baixo, não haveria alteração do número médio de colunas por centímetro e a variação devido à interação sofrerá uma redução de 0,20 col/cm. Desta forma, pode-se concluir que variando a velocidade de alimentação positiva e a tensão de entrada do fio o número de colunas por centímetro de um tecido de malha permanece constante.

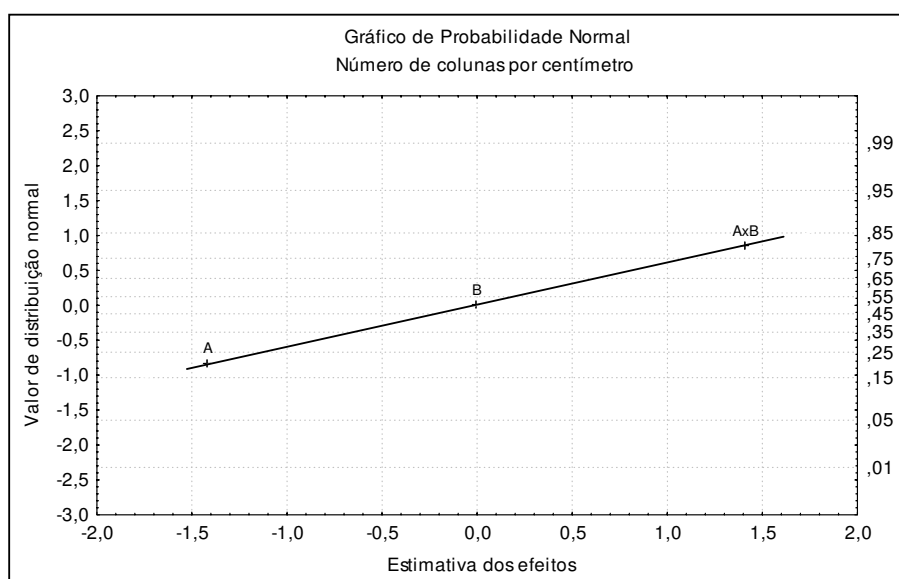


Figura b.11: Gráfico de probabilidade normal para o número de colunas por centímetro do tecido 100% poliamida

Na figura b.11 observa-se que nenhum efeito está distanciado da reta. Portanto, este gráfico confirma a hipótese de que os efeitos dos fatores A e B e da interação Ax B não são significativos para o número de colunas por centímetro do tecido de malha.

Tabela b.12: Valores do efeito dos fatores de controle e da interação para o LFA do tecido 100% poliamida

Ensaio	Tratamentos	Fator A	Fator B	Int. Ax B	Respostas (mm)	
1	ab	+ 1	+ 1	+ 1	2,85	2,83
2	a	+ 1	- 1	- 1	2,87	2,86
3	b	- 1	+ 1	- 1	3,53	3,54
4	(1)	- 1	- 1	+ 1	3,51	3,54
$\Sigma + / 4$		2,85	3,19	3,18		
$\Sigma - / 4$		3,53	3,20	3,20		
Efeito		-0,68	-0,01	-0,02		

Como pode ser visto na tabela b.12 um aumento da velocidade de alimentação positiva de 130,3 m/min para 160,5 m/min resultará em um aumento do LFA de 0,68 mm. Já os efeitos da tensão de entrada do fio e da interação são insignificantes. Trabalhando com as pedras no nível mais baixo, haveria um aumento no LFA médio do tecido de 0,01mm devido a tensão de entrada do fio e 0,02mm g/m^2 devido a interação. Desta forma, pode-se concluir que para fabricar o tecido com o LFA desejado basta regular a máquina com a velocidade de alimentação positiva adequada.

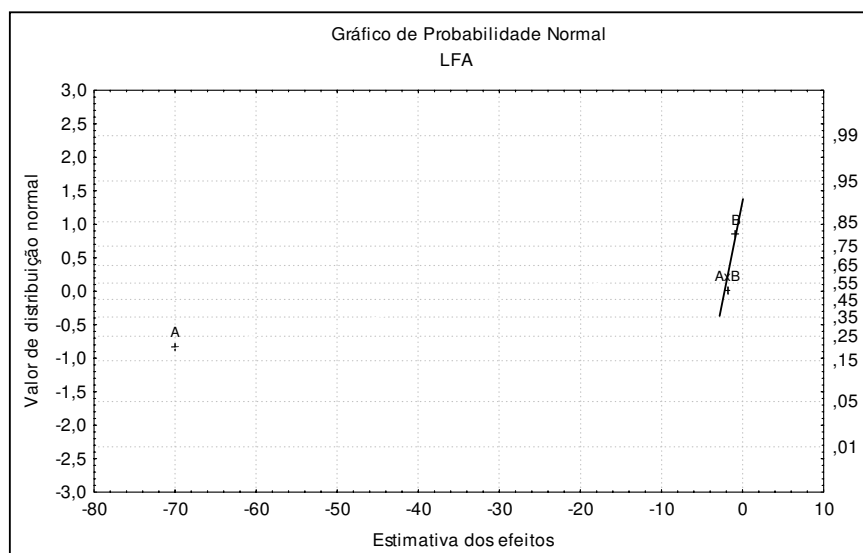


Figura b.12: Gráfico de probabilidade normal para os valores de LFA do tecido 100% poliamida

Na figura b.12 observa-se que o efeito do fator A está distanciado da reta. Isto indica que este efeito é significativamente diferente de zero. Portanto, este gráfico confirma a hipótese do fator A produzir efeito significativo na gramatura da malha. Os efeitos do fator B e da interação AxB não são significativos para o número de carreiras por centímetro do tecido de malha.

B.3 Análise da variância

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 95% ($p=0,05$).

Tabela b.13: Resumo da tabela ANOVA para análise da significância dos fatores de controle e da interação da gramatura do tecido 100% algodão

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrados Médios	Fexp	Valor p
V. A. P.	1639,93	1	1639,93	2164,49	0,000001
Alt. Pedra	4,84	1	4,84	6,38	0,064909
Int. AxB	2,40	1	2,40	3,17	0,149845
Erro	3,03	4	0,76		
Total	1650,2	7			

Analisando a tabela b.13, pode-se dizer que há uma evidência muito forte de que H_0 seja falsa, pois o valor de p da velocidade de alimentação positiva é menor que 0,05, e os valores de p da tensão de entrada do fio e da interação são maiores que 0,05. Desta forma, pode-se afirmar que a gramatura média do tecido depende apenas do valor da velocidade de alimentação positiva. Logo, a tensão de entrada do fio e a interação não são estatisticamente significantes na determinação desta característica do tecido.

Tabela b.14: Resumo da tabela ANOVA para análise da significância dos fatores de controle e da interação do número de carreiras por centímetro do tecido 100% algodão

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrados Médios	Fexp	Valor p
V. A. P.	58,32	1	58,32	58,32	0,000000
Alt. Pedra	0,02	1	0,02	2,00	0,230200
Int. AxB	0,00	1	0,00	0,00	1,000000
Erro	0,04	4	0,01		
Total	58,38	7			

Analisando a tabela b.14, pode-se dizer que há uma evidência muito forte de que H_0 seja falsa, pois o valor de p da velocidade de alimentação positiva é menor que 0,05, e os valores de p da tensão de entrada do fio e da interação são maiores que 0,05. Desta forma, pode-se afirmar que o número de carreiras por centímetro depende apenas do valor da velocidade de alimentação positiva. Logo, a tensão de entrada do fio e a interação não são estatisticamente significantes na determinação desta característica do tecido.

Tabela b.15: Resumo da tabela ANOVA para análise da significância dos fatores de controle e da interação do número de colunas por centímetro do tecido 100% algodão

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrados Médios	Fexp	Valor p
V. A. P.	0,08	1	0,08	2,00	0,230200
Alt. Pedra	0,00	1	0,00	0,00	1,000000
Int. AxB	0,08	1	0,08	2,00	0,230200
Erro	0,16	4	0,04		
Total	0,32	7			

Analisando a tabela b.15, pode-se dizer que há uma evidência muito forte de que H_0 seja verdadeira, pois os valores de p da velocidade de alimentação positiva, da tensão de entrada do fio e da interação são maiores que 0,05. Desta forma, pode-se afirmar que o número de colunas por centímetro não depende de nenhum dos fatores analisados. Logo, a velocidade de alimentação positiva, a tensão de entrada do fio e a interação não são estatisticamente significantes na determinação desta característica do tecido.

Tabela b.16: Resumo da tabela ANOVA para análise da significância dos fatores de controle e da interação do LFA do tecido 100% algodão

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrados Médios	Fexp	Valor p
V. A. P.	0,50000	1	0,50000	1818,18	0,000002
Alt. Pedra	0,00000	1	0,00000	0,00	1,000000
Int. AxB	0,00045	1	0,00045	1,64	0,2269991
Erro	0,00110	4	0,00028		
Total	0,50150	7			

Analisando a tabela b.16, pode-se dizer que há uma evidência muito forte de que H_0 seja falsa, pois o valor de p da velocidade de alimentação positiva é menor que 0,05, e os valores de p da tensão de entrada do fio e da interação são maiores que 0,05. Desta forma, pode-se afirmar o LFA depende apenas do valor da velocidade de alimentação positiva. Logo, a tensão de entrada do fio e a interação não são estatisticamente significantes na determinação desta característica do tecido.

Tabela b.17: Resumo da tabela ANOVA para análise da significância dos fatores de controle e da interação da gramatura do tecido 100% poliéster

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrados Médios	Fexp	Valor p
V. A. P.	1978,83	1	1978,83	5862,31	0,000000
Alt. Pedra	0,86	1	0,86	2,54	0,186081
Int. AxB	1,30	1	1,30	3,84	0,121627
Erro	1,35	4	0,34		
Total	1982,34	7			

Analisando a tabela b.17, pode-se dizer que há uma evidência muito forte de que H_0 seja falsa, pois o valor de p da velocidade de alimentação positiva é menor que 0,05, e os valores de p da tensão de entrada do fio e da interação são maiores que 0,05. Desta forma, pode-se afirmar que a gramatura média do tecido depende apenas do valor da velocidade de alimentação positiva. Logo, a tensão de entrada do fio e a interação não são estatisticamente significantes na determinação desta característica do tecido.

Tabela b.18: Resumo da tabela ANOVA para análise da significância dos fatores de controle e da interação do número de carreiras por centímetro do tecido 100% poliéster

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrados Médios	Fexp	Valor p
V. A. P.	58,32	1	58,32	5832	0,000000
Alt. Pedra	0,00	1	0,00	0,00	1,000000
Int. AxB	0,02	1	0,02	2,00	0,230200
Erro	0,04	4	0,01		
Total	58,38	7			

Analisando a tabela b.18, pode-se dizer que há uma evidência muito forte de que H_0 seja falsa, pois o valor de p da velocidade de alimentação positiva é menor que 0,05, e os valores de p da tensão de entrada do fio e da interação são maiores que 0,05. Desta forma, pode-se afirmar que o número de carreiras por centímetro depende apenas do valor da velocidade de alimentação positiva. Logo, a tensão de entrada do fio e a interação não são estatisticamente significantes na determinação desta característica do tecido.

Tabela b.19: Resumo da tabela ANOVA para análise da significância dos fatores de controle e da interação do número de colunas por centímetro do tecido 100% poliéster

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrados Médios	Fexp	Valor p
V. A. P.	0,08	1	0,08	2,00	0,230200
Alt. Pedra	0,00	1	0,00	0,00	1,000000
Int. AxB	0,08	1	0,08	2,00	0,230200
Erro	0,16	4	0,04		
Total	0,32	7			

Analisando a tabela b.19, pode-se dizer que há uma evidência muito forte de que H_0 seja verdadeira, pois os valores de p da velocidade de alimentação positiva, da tensão de entrada do fio e da interação são maiores que 0,05. Desta forma, pode-se afirmar que o número de colunas por centímetro não depende de nenhum dos fatores analisados. Logo, a velocidade de alimentação positiva, a tensão de entrada do fio e a interação não são estatisticamente significantes na determinação desta característica do tecido.

Tabela b.20: Resumo da tabela ANOVA para análise da significância dos fatores de controle e da interação do LFA do tecido 100% poliéster

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrados Médios	Fexp	Valor p
V. A. P.	0,70211	1	0,70211	6241	0000000
Alt. Pedra	0,00011	1	0,00011	1,00	0,373901
Int. AxB	0,000001	1	0,00001	0,11	0,755623
Erro	0,00045	4	0,00011		
Total	0,70268	7			

Analisando a tabela b.20, pode-se dizer que há uma evidência muito forte de que H_0 seja falsa, pois o valor de p da velocidade de alimentação positiva é menor que 0,05, e os valores de p da tensão de entrada do fio e da interação são maiores que 0,05. Desta forma, pode-se afirmar o LFA depende apenas do valor da velocidade de alimentação positiva. Logo, a tensão de entrada do fio e a interação não são estatisticamente significantes na determinação desta característica do tecido.

Tabela b.21: Resumo da tabela ANOVA para análise da significância dos fatores de controle e da interação da gramatura do tecido 100% poliamida

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrados Médios	Fexp	Valor p
V. A. P.	3341,53	1	3341,53	5096,52	0,000000
Alt. Pedra	1,39	1	1,39	2,13	0,218492
Int. AxB	0,88	1	0,88	1,35	0,310043
Erro	2,62	4	0,66		
Total	3346,42	7			

Analisando a tabela b.21, pode-se dizer que há uma evidência muito forte de que H_0 seja falsa, pois o valor de p da velocidade de alimentação positiva é menor que 0,05, e os valores de p da tensão de entrada do fio e da interação são maiores que 0,05. Desta forma, pode-se afirmar que a gramatura média do tecido depende apenas do valor da velocidade de alimentação positiva. Logo, a tensão de entrada do fio e a interação não são estatisticamente significantes na determinação desta característica do tecido.

Tabela b.22: Resumo da tabela ANOVA para análise da significância dos fatores de controle e da interação do número de carreiras por centímetro do tecido 100% poliamida

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrados Médios	Fexp	Valor p
V. A. P.	81,92	1	81,92	8192,00	0,000000
Alt. Pedra	0,02	1	0,02	2,00	1,230200
Int. AxB	0,00	1	0,00	0,00	1,000000
Erro	0,04	4	0,01		
Total	81,98	7			

Analisando a tabela b.22, pode-se dizer que há uma evidência muito forte de que H_0 seja falsa, pois o valor de p da velocidade de alimentação positiva é menor que 0,05, e os valores de p da tensão de entrada do fio e da interação são maiores que 0,05. Desta forma, pode-se afirmar que o número de carreiras por centímetro depende apenas do valor da velocidade de alimentação positiva. Logo, a tensão de entrada do fio e a interação não são estatisticamente significantes na determinação desta característica do tecido.

Tabela b.23: Resumo da tabela ANOVA para análise da significância dos fatores de controle e da interação do número de colunas por centímetro do tecido 100% poliamida

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrados Médios	Fexp	Valor p
V. A. P.	0,08	1	0,08	2,00	0,230200
Alt. Pedra	0,00	1	0,00	0,00	1,000000
Int. AxB	0,08	1	0,08	2,00	0,230200
Erro	0,16	4	0,04		
Total	0,32	7			

Analisando a tabela b.23, pode-se dizer que há uma evidência muito forte de que H_0 seja verdadeira, pois os valores de p da velocidade de alimentação positiva, da tensão de entrada do fio e da interação são maiores que 0,05. Desta forma, pode-se afirmar que o número de colunas por centímetro não depende de nenhum dos fatores analisados. Logo, a velocidade de alimentação positiva, a tensão de entrada do fio e a interação não são estatisticamente significantes na determinação desta característica do tecido.

Tabela b.24: Resumo da tabela ANOVA para análise da significância dos fatores de controle e da interação do LFA do tecido 100% poliamida

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrados Médios	Fexp	Valor p
V. A. P.	0,91800	1	0,91800	4896,07	0,000000
Alt. Pedra	0,00013	1	0,00013	0,60	0,481817
Int. AxB	0,00061	1	0,00061	3,27	0,144986
Erro	0,00075	4	0,00019		
Total	0,91949	7			

Analisando a tabela b.24, pode-se dizer que há uma evidência muito forte de que H_0 seja falsa, pois o valor de p da velocidade de alimentação positiva é menor que 0,05, e os valores de p da tensão de entrada do fio e da interação são maiores que 0,05. Desta forma, pode-se afirmar o LFA depende apenas do valor da velocidade de alimentação positiva. Logo, a tensão de entrada do fio e a interação não são estatisticamente significantes na determinação desta característica do tecido.

Apêndice C

Planilha para a determinação do autovalor ($\lambda_{\text{Máx}}$).

Método AHP														
	Aparência	Solidez cor	Caimento	Toque	Gramatura	Abs de água	Estab. Dimen.	Res a luz	Resiliên	Elasti	Resist.	Pilling / snag	Média	Classificação
Aparência	1,00	0,25	5,00	3,00	5,00	6,00	0,50	3,00	4,00	5,00	3,00	2,00	13,71	6
Solidez cor	4,00	1,00	3,00	4,00	5,00	6,00	0,33	2,00	4,00	4,00	2,00	0,20	14,49	2
Caimento	0,20	0,33	1,00	0,50	2,00	4,00	0,14	0,50	2,00	2,00	0,20	0,33	12,92	10
Toque	0,33	0,25	2,00	1,00	2,00	3,00	0,13	0,33	3,00	4,00	0,33	0,25	13,09	9
Gramatura	0,20	0,20	0,50	0,50	1,00	3,00	0,13	0,17	2,00	2,00	0,50	0,20	12,72	11
Abs de água	0,17	0,17	0,25	0,33	0,33	1,00	0,13	0,33	0,50	0,50	0,33	0,33	13,59	7
Estab. Dimen.	3,00	3,00	7,00	8,00	8,00	8,00	1,00	7,00	7,00	7,00	4,00	3,00	14,32	3
Res a luz	0,33	0,50	2,00	3,00	6,00	3,00	0,14	1,00	3,00	3,00	0,33	0,33	13,77	5
Resiliência	0,25	0,25	0,50	0,33	0,50	2,00	0,14	0,33	1,00	0,33	0,33	0,33	13,30	8
Elasticidade	0,20	0,25	0,50	0,25	0,50	2,00	0,14	0,33	3,00	1,00	0,33	0,25	12,67	12
Resist.	0,33	0,50	5,00	3,00	2,00	3,00	0,25	3,00	3,00	3,00	1,00	0,33	13,99	4
Pilling / snag	0,50	5,00	3,00	4,00	5,00	3,00	0,33	3,00	3,00	4,00	3,00	1,00	15,02	1
Imprimir λ máx 13,63														