

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

CAMILLA BORELLI

**ESTUDO COMPARATIVO DOS COEFICIENTES DE ATRITO LONGITUDINAL E  
TRANSVERSAL ENTRE FIOS E PARTES DE MÁQUINAS TÊXTEIS**

Dissertação apresentada à Escola  
Politécnica da Universidade de  
São Paulo para obtenção do  
Título de Mestre em Engenharia.

São Paulo

2005

OK

CAMILLA BORELLI

**ESTUDO COMPARATIVO DOS COEFICIENTES DE ATRITO LONGITUDINAL E  
TRANSVERSAL ENTRE FIOS E PARTES DE MÁQUINAS TÊXTEIS**

Dissertação apresentada à Escola  
Politécnica da Universidade de  
São Paulo para obtenção do  
Título de Mestre em Engenharia.

Área de Concentração: Engenharia  
Mecânica de Projeto de Fabricação  
Orientador: Prof. Doutor João Paulo  
Pereira Marcicano

São Paulo

2005

## **RESUMO**

O presente trabalho apresenta um estudo comparativo entre os coeficientes de atrito longitudinal e transversal em processos têxteis. Os coeficientes de atrito longitudinal e transversal de amostras de cinco diferentes fios foram determinados experimentalmente nos ensaios capstan e de retorcimento. Os resultados foram comparados e verificou-se que os coeficientes de atrito são diferentes e o coeficiente de atrito transversal determinado pelo ensaio de retorcimento é mais adequado para determinar o coeficiente de atrito nos processos industriais de retorcimento.

**PALAVRAS-CHAVE:** Coeficiente de atrito, processos têxteis, retorcimento de fios.

**ABSTRACT**

The present work presents a comparative study of the of longitudinal and transversal friction coefficients in textile processes. The coefficients of longitudinal and transversal friction of samples of five different yarns were determined by capstan and twisting tests. The results were compared and it has verified that the longitudinal and transversal friction coefficients are different. The transversal friction coefficient determined by the twisting test is more appropriate to determine the friction coefficient of twisting yarns in the industrial processes.

Keywords: textile process, coefficient of friction, twisting yarns.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço à todos que colaboraram para a realização deste trabalho em especial ao Prof.Dr. João Paulo P. Marcicano pela sua contínua atenção, incentivo e apoio durante o processo de definição e orientação .

Ao Prof. Ryzard Majewski que , nos anos de convivência, muito me ensinou, contribuindo para meu crescimento intelectual, profissionalmente e pessoalmente.

Ao Prof. Dr. Carlos C.C. Tu ,pelas importantes contribuições e ao técnico Edson Tu, pela colaboração na preparação dos experimentos.

Ao Centro Universitário da Fundação Educacional Inaciana (FEI) pela oportunidade da realização do curso de mestrado.

Borelli, C. **Estudo comparativo dos coeficientes de atrito longitudinal e transversal entre fios e parte de máquinas têxteis**, 2005. 130 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos.

### ERRATA

<b>Folha</b>	<b>Linha</b>	<b>Onde se lê</b>	<b>Leia-se</b>
22	22	(FRASER, 1993)	(FRASER, 1993b)
22	23	(KOTHARI, 1979)	(KOTHARI, 1979a)
46	9	Fig. 3.7	Fig. 3.11
53	7	Fig. 3.11	Fig. 3.15
53	17	Fig. 3.11	Fig. 3.15
54	3	Fig. 3.11	Fig. 3.15
60	2	CORDANI	CORDANI, desenvolvido por Marcicano (MARCICANO,2000)

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1	FIBRAS TÊXTEIS.....	1
1.2	FIOS TÊXTEIS.....	2
1.2.1	<i>Produção de fios retorcidos.....</i>	<i>7</i>
1.3	ATRITO NOS PROCESSOS TÊXTEIS.....	13
1.4	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
1.5	OBJETIVOS.....	18
<b>2</b>	<b>TEORIA DO ATRITO EM TÊXTEIS.....</b>	<b>19</b>
2.1	TEORIA GERAL.....	19
2.2	A TEORIA DE ADESÃO.....	21
2.3	TEORIAS PARA O EFEITO DIFERENCIAL DO ATRITO PARA FIBRAS DE LÃ.....	23
2.4	TEORIA DA LUBRIFICAÇÃO.....	24
2.5	FATORES QUE AFETAM O ATRITO DOS FIOS TÊXTEIS.....	25
2.5.1	<i>Estrutura do fio.....</i>	<i>27</i>
2.5.2	<i>Parâmetros da fibra.....</i>	<i>28</i>
2.5.3	<i>Parâmetros operacionais.....</i>	<i>29</i>
2.5.4	<i>Tipo de acabamento e parâmetros do processo de acabamento.....</i>	<i>32</i>
<b>3</b>	<b>EXPERIMENTOS.....</b>	<b>34</b>
3.1	FIOS ENSAIADOS.....	34
3.1.1	<i>Características das Fibras dos Fios Ensaiaados.....</i>	<i>35</i>
3.1.2	<i>Medição do diâmetro dos fios.....</i>	<i>43</i>
3.2	ENSAIO CAPSTAN.....	45

3.2.1	<i>Descrição do Ensaio</i> .....	45
3.2.2	<i>Descrição dos Equipamentos</i> .....	46
3.2.3	<i>Descrição dos Procedimentos</i> .....	47
3.2.4	<i>Valores Medidos</i> .....	47
3.3	<b>ENSAIO DE RETORCIMENTO</b> .....	49
3.3.1	<i>Descrição do Ensaio</i> .....	49
3.3.2	<i>Descrição dos Equipamentos</i> .....	49
3.3.3	<i>Descrição do Procedimento de Ensaio</i> .....	52
3.3.4	<i>Valores medidos</i> .....	53
<b>4</b>	<b>CÁLCULO DOS COEFICIENTES DE ATRITO</b> .....	<b>58</b>
4.1	COEFICIENTE DE ATRITO LONGITUDINAL .....	58
4.2	COEFICIENTE DE ATRITO TRANSVERSAL .....	60
<b>5</b>	<b>DISCUSSÃO DOS RESULTADOS</b> .....	<b>68</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES</b> .....	<b>73</b>
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>74</b>
<b>8</b>	<b>ANEXOS</b> .....	<b>76</b>
8.1	ANEXO 1 - MODELO DO BALÃO .....	76
8.2	ANEXO 2 - COEFICIENTE DE ATRITO LONGITUDINAL EM FUNÇÃO DO ÂNGULO FINAL .....	82



## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.1 ESQUEMA FILATÓRIO DE ANÉIS (ARAÚJO, 1986 ).....	3
FIGURA 1.2 ESQUEMA FILATÓRIO À ROTOR (ARAÚJO, 1986 ).....	4
FIGURA 1.3 FLUXO FIBRAS SINTÉTICAS (ADAPTADO DE ARAÚJO, 1986 ).....	6
FIGURA 1.4 FIOS RETORCIDOS A DOIS CABOS .....	8
FIGURA 1.5 RETORCEDEIRA ASCENDENTE (UPTWISTER) (ARAÚJO, 1986 ).....	9
FIGURA 1.6 RETORCEDEIRA DE DUPLA TORÇÃO HORIZONTAL (ARAÚJO, 1986 ).....	10
FIGURA 1.7 RETORCEDORES DE DUPLA TORÇÃO VERTICAIS (ARAÚJO, 1986 ).....	12
FIGURA 1.8 ESQUEMA DE UM FUSO DE RETORCEDEIRA DOIS POR UM (FRASER, 1993).....	12
FIGURA 1.9 RETORCEDEIRA DUPLA – TORÇÃO .....	13
FIGURA 1.10.....DIREÇÃO LONGITUDINAL E TRANSVERSAL DO FIO (MARCICANO, 2004)	
15	
FIGURA 2.1 ASPECTO MORFOLÓGICO DA FIBRA DE LÃ .....	23
FIGURA 2.2 COMPORTAMENTO DO COEFICIENTE DE ATRITO EM FUNÇÃO DO PARÂMETRO ZV/W (ADAPTADO DE HONG, 2003 ).....	24
FIGURA 2.3 FATORES QUE AFETAM O ATRITO DOS FIOS (ADAPTADO DE HONG, 2003 ).....	26
FIGURA 2.4 A) FIBRAS COM MOLÉCULAS MUITO ORIENTADAS. B) FIBRAS COM MOLÉCULAS POUCO ORIENTADAS C DISTRIBUÍDAS ALEATORIAMENTE.....	28
FIGURA 3.1 MORFOLOGIA DA FIBRA DE ALGODÃO (RIBEIRO, 1984).....	36
FIGURA 3.2 VISTA LONGITUDINAL DO FIO 100% ALGODÃO.....	36
FIGURA 3.3 MORFOLOGIA DA FIBRA DE LÃ (RIBEIRO, 1984).....	37
FIGURA 3.4 VISTA LONGITUDINAL DO FIO 100% LÃ .....	38
FIGURA 3.5 MORFOLOGIA DA FIBRA DE POLIÉSTER (RIBEIRO, 1984).....	38
FIGURA 3.6 VISTA LONGITUDINAL DO FIO 100% POLIÉSTER .....	39

FIGURA 3.7 MORFOLOGIA DA FIBRA DE ACRÍLICO (RIBEIRO, 1984).....	40
FIGURA 3.8 VISTA LONGITUDINAL DO FIO 100% ACRÍLICO.....	40
FIGURA 3.9 VISTA LONGITUDINAL DO FIO 50% ACRÍLICO 50% ALGODÃO.....	41
FIGURA 3.10..... PROJETOR DE PERFIL – PROJEÇÃO E MEDIÇÃO DOS DIÂMETROS DOS FIOS	
45	
FIGURA 3.11 DISPOSITIVO PARA A REALIZAÇÃO DO ENSAIO CAPSTAN .....	46
FIGURA 3.12 MEDIÇÃO DOS VALORES DE TENSÃO 2 ( SAÍDA).....	47
FIGURA 3.13 .....ESQUEMA DO DISPOSITIVO UTILIZADO PARA O ENSAIO DE RETORCIAMENTO	
51	
FIGURA 3.14.....FOTO DO DISPOSITIVO UTILIZADO PARA O ENSAIO DE RETORCIMENTO	
52	
FIGURA 3.15 DETERMINAÇÃO DO ÂNGULO FINAL DO FIO. ....	54
FIGURA 5.1 COEFICIENTES DE ATRITO LONGITUDINAIS E TRANSVERSAIS .....	71
FIGURA 8.1 FORÇAS EM UM PEDAÇO DE FIO $DS$ E PONTO $P$ .....	76
FIGURA 8.2 FORMA DO BALÃO DO FIO PARA DIFERENTES VALORES DE $\mu_T$ . (A) GRÁFICO	
POLAR (B) GRÁFICO RADIAL.....	81

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1- CARACTERÍSTICAS DOS FIOS UTILIZADOS .....	34
TABELA 2- COMPOSIÇÕES E FABRICANTES DOS FIOS.....	35
TABELA 3- PARÂMETROS DE ESTRUTURA DOS FIOS .....	42
TABELA 4- PARÂMETROS DAS FIBRAS.....	42
TABELA 5- DIÂMETROS DE FIO MEDIDOS NO PROJETO DE PERFIL.....	44
TABELA 6- VALORES DE TENSÃO MEDIDOS NO ENSAIO CAPSTAN.....	48
TABELA 7- VALORES DA ALTURA E RAIOS FINAIS DOS BALÕES E DIÂMETRO DO LIMITADOR UTILIZADOS NOS ENSAIOS DE RETORCIMENTO. ....	53
TABELA 8- VALORES DAS TENSÕES E ÂNGULOS PARA O FIO 100% PAC.....	55
TABELA 9- VALORES DAS TENSÕES E ÂNGULOS PARA O FIO 50% PAC 50%CO.....	55
TABELA 10- VALORES DAS TENSÕES E ÂNGULOS PARA O FIO 100% PES.....	56
TABELA 11- VALORES DAS TENSÕES E ÂNGULOS PARA O FIO 100% CO.....	56
TABELA 12- VALORES DAS TENSÕES E ÂNGULOS PARA O FIO 100% WO.....	57
TABELA 13- VALORES DO COEFICIENTE DE ATRITO LONGITUDINAL PARA O FIO 100%PAC	58
TABELA 14- VALORES DO COEFICIENTE DE ATRITO LONGITUDINAL PARA O FIO 100%CO	59
TABELA 15- VALORES DO COEFICIENTE DE ATRITO LONGITUDINAL PARA O FIO 50%PAC 50%CO	59
TABELA 16- VALORES DO COEFICIENTE DE ATRITO LONGITUDINAL PARA O FIO 100%PES	59

**TABELA 17- VALORES DO COEFICIENTE DE ATRITO LONGITUDINAL PARA O FIO 100% WO**

**60**

**TABELA 18- VALORES ADIMENSIONAIS DAS CONDIÇÕES DE ENSAIO PARA O FIO 100% PAC**

**62**

**TABELA 19- VALORES ADIMENSIONAIS DAS CONDIÇÕES DE ENSAIO PARA O FIO 50% PAC**

**50% CO 63**

**TABELA 20- VALORES ADIMENSIONAIS DAS CONDIÇÕES DE ENSAIO PARA O FIO 100% CO**

**TABELA 21- VALORES ADIMENSIONAIS DAS CONDIÇÕES DE ENSAIO PARA O FIO 100% PES**

**64**

**TABELA 22- VALORES ADIMENSIONAIS DAS CONDIÇÕES DE ENSAIO PARA O FIO 100% WO**

**64**

**TABELA 23- VALORES DOS COEFICIENTES DE ATRITO TRANSVERSAL CALCULADOS PARA**

**O FIO 100 %PAC ..... 65**

**TABELA 24- VALORES DOS COEFICIENTES DE ATRITO TRANSVERSAL CALCULADOS PARA**

**O FIO 50%PAC 50%CO ..... 65**

**TABELA 25- VALORES DOS COEFICIENTES DE ATRITO TRANSVERSAL CALCULADOS PARA**

**O FIO 100%CO ..... 66**

**TABELA 26- VALORES DOS COEFICIENTES DE ATRITO TRANSVERSAL CALCULADOS PARA**

**O FIO 100%PES ..... 66**

**TABELA 27- VALORES DOS COEFICIENTES DE ATRITO TRANSVERSAL CALCULADOS PARA**

**O FIO 100%WO ..... 67**

**TABELA 28- VALORES MÉDIOS DOS COEFICIENTES DE ATRITO ..... 68**

**TABELA 29- INTERVALOS DE CONFIANÇA DOS COEFICIENTES DE ATRITOS CALCULADOS**

**72**

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\alpha$  : aceleração;

$\mu$  : coeficiente de atrito;

$\rho$  : densidade do ar;

$\mu_d$  : coeficiente de atrito longitudinal;

$\theta_f$  : ângulo final do fio;

$\mu_t$  : coeficiente de atrito transversal;

D : diâmetro do fio;

$F_f$  : força de atrito entre o fio e a parede do limitador;

$F_n$  : força normal a parede do limitador cilíndrico;

$F_p$  : força peso;

$F_t$  : resultante das forças de tração no fio;

g : aceleração da gravidade;

m : massa por unidade de comprimento do fio;

N : força normal;

P : Somatória das componentes radiais das forças externas;

$p_o$  : adimensional referente ao arrasto aerodinâmico;

Q : Somatória das componentes circunferenciais das forças externas;

r : coordenada r do ponto;

$R_e$  : numero de Reynolds;

$R_f$  : raio final do balão;

$R_o$  : raio do limitador;

T : força de tração no fio;

$T$  : período;

$t$  : tempo;

$T_{\theta}$  : componente  $\theta$  de  $T$ ;

$T_0$  tensão do fio no topo do balão;

$T_i$  : força de tração na extremidade inicial do fio mantida constante;

$T_o$  : força de tração na extremidade inicial do fio;

$T_r$  : componente  $r$  de  $T$ ;

$T_x$  : componente  $x$  de  $T$ ;

$T_y$  : componente  $y$  de  $T$ ;

$T_z$  : componente  $z$  de  $T$ ;

$V$  : velocidade de arrasto;

$x$  : coordenada  $x$  do ponto;

$X$  : força por unidade de comprimento na direção  $x$ ;

$y$  : coordenada  $y$  do ponto;

$Y$  : força por unidade de comprimento na direção  $y$ ;

$z$  : coordenada  $z$  do ponto;

$Z$  : força por unidade de comprimento na direção  $z$ ;

$z_1$  : coordenada  $z$  do ponto onde o fio começa a tocar o limitador;

$z_2$  : coordenada  $z$  do ponto onde o fio deixa de tocar o limitador;

$Z_f$  altura do balão;

$\omega$  : velocidade angular;

$\omega_0$  : velocidade inicial angular;

## 1 INTRODUÇÃO

A Indústria Têxtil tem por objetivo transformar a matéria-prima constituída de fibras naturais ou sintéticas em fios ou tecidos para diversos usos e aplicações.

Historicamente, a atividade têxtil é considerada uma das mais antigas do mundo, pois desde remotas épocas tem proporcionado ao homem vestuário e principalmente abrigo e proteção.

Com o passar do tempo, o homem aprendeu a usar fibras mais macias, como o linho, a lã, os pêlos de animais e o algodão, passando a obter fios por processo manual e posteriormente, a utilizar dispositivos que lhe proporcionaram maior rapidez na produção de fios. O primeiro destes dispositivos foi o Fuso, neste as fibras eram desembaraçadas e estiradas manualmente sendo posteriormente torcidas com a rotação do fuso, e finalmente o fio torcido era enrolado.

### 1.1 Fibras têxteis

As fibras têxteis são consideradas as unidades de matéria têxtil, são caracterizadas por sua flexibilidade, espessura e a elevada razão entre comprimento e espessura, estas propriedades devem ser adequadas para a produção de fios.

Essa definição também se aplica para determinar o tamanho de fibras sintéticas quando esta se apresenta cortada em comprimentos distintos de corte.

A Indústria Têxtil utiliza diferentes espécies de fibras, oriundas do reino vegetal, animal e mineral, existindo ainda as que são produzidas por processos químicos pelo homem através da utilização de materiais provenientes dos reinos vegetal e mineral.

Assim sendo, todo material da Natureza que apresente a capacidade de produzir fio pode ser considerado fibra.

As propriedades geométricas, físicas, mecânicas e químicas das fibras têxteis são fatores muito importantes para o seu processamento em qualquer espécie de artigo têxtil. Por

exemplo, em termos de comprimento de fibra, a fibra têxtil deve ser um filamento longo, que apresente uma forma seccional adequada. Os comprimentos aproximados de algumas fibras naturais são de 25 a 35 mm para o algodão e de 30 a 300 mm para a lã. A resistência dos fios de fibra aumenta, em geral, na proporção do comprimento da fibra usada dentro de uma certa faixa. No entanto, sob o ponto de vista de fabricação, existe um comprimento adequado de fibra para processar o material pelo emprego dos processos de fabricação de fios e tecidos.

As fibras químicas podem variar de comprimento, de espessura, ou de forma da seção (perfil) para atender a requisitos necessários. As fibras finas fornecem melhor aparência e conferem melhor manuseio quando transformadas em produtos têxteis. O perfil das fibras revela a estrutura da sua superfície. As fibras de perfil circular apresentam menor fricção inter - fibras e propriedades colantes nos não - tecidos.

A massa específica das fibras sintéticas é, normalmente, mais baixa do que a das fibras naturais. Por esta razão, as fibras sintéticas se mostram adequadas para fazer tecidos de menor peso.

As propriedades biológicas das fibras devem ser consideradas porque microrganismos podem danificar fibras sintéticas, tendo em vista que, quando da aplicação da encimagem, que é a aplicação de um óleo para lubrificar as fibras, a fim de facilitar as operações subseqüentes, esses microrganismos podem se desenvolver no óleo, atacando as superfícies dos filamentos e, conseqüentemente, vindo a prejudicar os processos posteriores, pelo rompimento de filamentos.

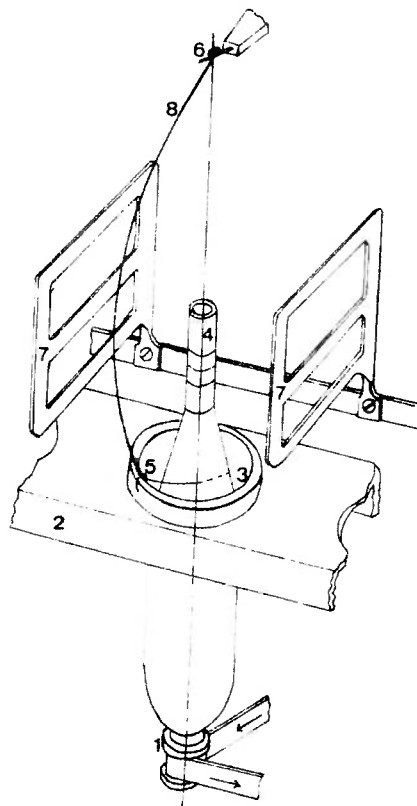
## **1.2 Fios têxteis**

Os fios têxteis são fabricados através de processos distintos conforme o tipo de fibra, naturais ou sintéticas.



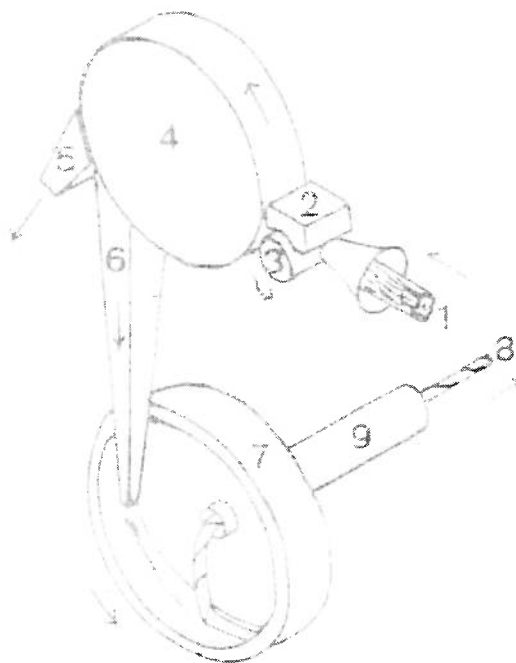
Os fios denominados fiados são caracterizados principalmente por serem compostos de fibras naturais e são formados por um conjunto de fibras em disposição paralela que passa por um processo de torção que dá coesão às fibras. Neste processo de fiação convencional há uma subdivisão na classificação de acordo com o sistema de fiação. O sistema de fiação fibras curtas é caracterizado pelas fibras de algodão, detalhadamente descrito por Carminatti (CARMINATTI,1960) e o sistema de fiação de fibras longas é caracterizado pelas fibras de lã. Ambos os sistemas de fiação tanto de fibras curtas como longas, podem utilizar o filatório de anéis. A fiação à rotor, também conhecida por fiação "open-end", é o método não-convencional utilizado principalmente na fiação de fibras de comprimento muito curto.

A figura 1.1 mostra o esquema de um filatório de anéis , responsável em produzir os fios fiados convencionais e a Figura 1.2 mostra o esquema de um filatório à rotor.



**Figura 1.1** Esquema Filatório de Anéis (ARAÚJO, 1986 ).

No filatório de anéis, o fuso (1) é acionado por meio de uma correia, projetando-se para cima através do porta-anéis (2) no qual se encontra fixo o anel (3). A espula (4) é montada no fuso de modo a girar integralmente com ele, podendo, no entanto, ser facilmente removida para descarregar. Na borda do anel, encontra-se um viajante (5) responsável em inserir torção ao fio e por cima do fuso encontra-se o guia-fio (6). A velocidade do fuso e a velocidade de enrolamento são constantes, enquanto o diâmetro da espula varia e consequentemente a velocidade do viajante também varia. Os separadores (7) evitam que o balão do fio (8) de um fuso, interfira no balão do fuso vizinho.



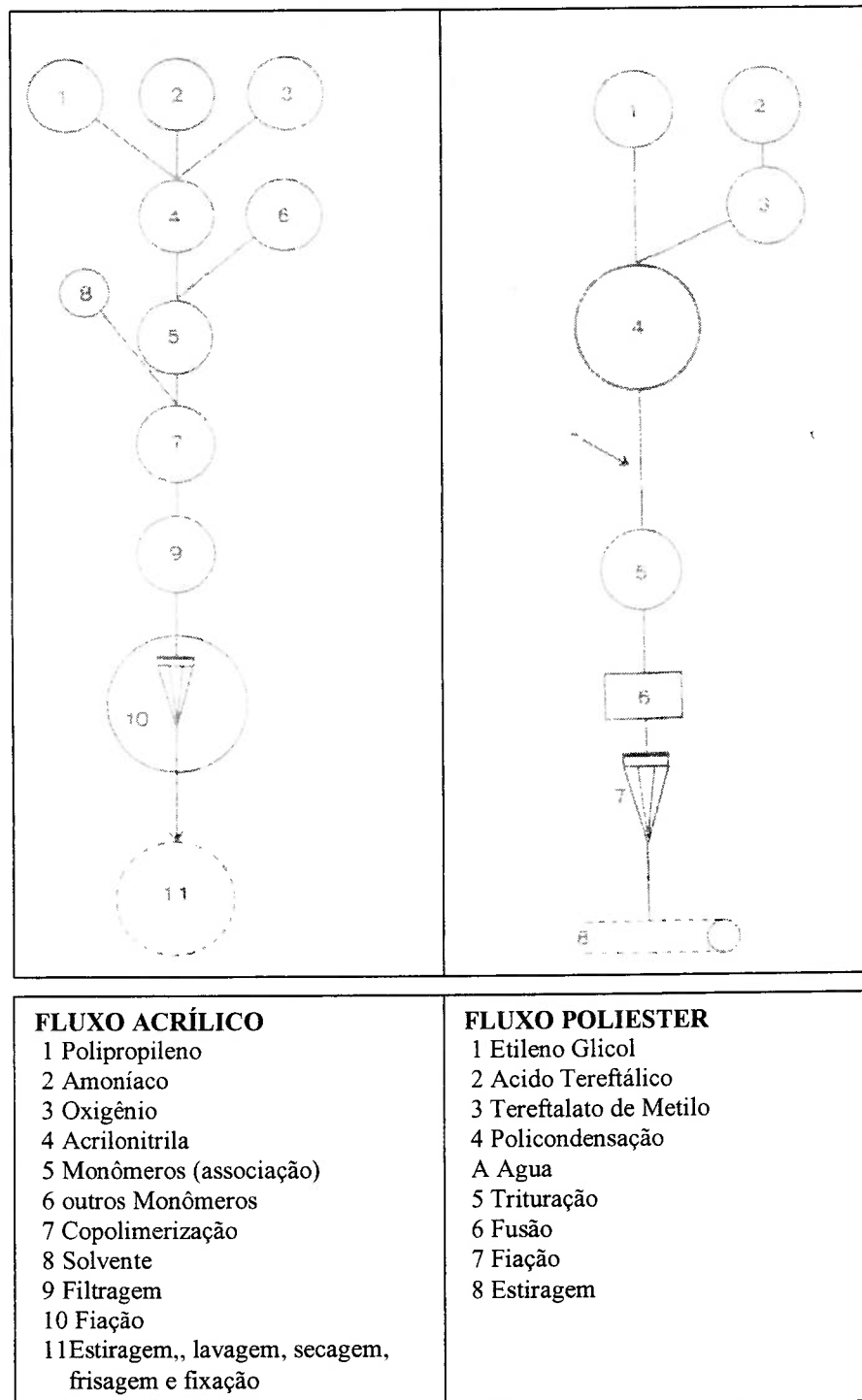
**Figura 1.2** Esquema Filatório à rotor (ARAÚJO, 1986).

No filatório à rotor mostrado na Figura 1.2, a fita (1) alimenta lentamente a máquina por intermédio de um cilindro alimentador (2), trabalhando juntamente com uma placa alimentadora (3) que sobre ela exerce pressão. As pontas dianteiras das fibras entram então em contato com um cilindro abridor (4), que se desloca em grande velocidade, penteando as fibras até que estas se libertem e sejam transportadas quase que individualmente. As

impurezas existentes são removidas através de uma abertura (5) situada na blindagem do cilindro abridor quando as fibras são aspiradas através do tubo de passagem (6) para a parede interna do rotor (7) com superfície estriada. O tubo de passagem pode ser afinado a fim de criar uma corrente de ar aceleradora que tende a endireitar as fibras em vôo. As fibras são ainda endireitadas na entrada para o rotor uma vez que a velocidade das suas paredes é mais elevada que a do ar. A força centrífuga impele as fibras para o exterior, pressionando-as contra a superfície do rotor, onde se forma um anel constituído por muitas camadas de fibras. A fiação inicia-se com a introdução de uma ponta de fio auxiliar (8) pelo tubo de saída (9) para indicar a trajetória do fio.

Os fios denominados de filamentos são compostos por fibras sintéticas e têm sua origem na extrusão de uma massa polimérica formando filamentos contínuos que são unidos formando um único fio.

A Figura 1.3 mostra a sequência de polimerização e extrusão dos filamentos sintéticos de poliéster e acrílico.



**Figura 1.3 Fluxo fibras sintéticas (adaptado de ARAÚJO, 1986 ).**

As fibras sintéticas cortadas podem ser fiadas no sistema convencional de fiação, sendo neste caso normalmente misturadas com fibras naturais.

O processo de fiação convencional produz fios, que são geralmente designados por fios simples ou singelos, cuja característica essencial é o fato das fibras componentes se encontrarem torcidas em espiral à volta do eixo do fio. É possível reunir dois ou mais fios simples, combinando-os por meio de torção de modo a produzir um fio retorcido com características bem diferentes. Os fios singelos recebem também a denominação de cabos quando utilizados no processo de retorcção.

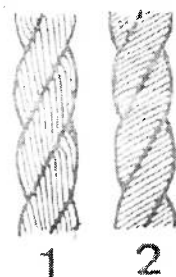
### **1.2.1 Produção de fios retorcidos**

A retorcção é um processo bastante utilizado e muito importante, pois tem como objetivo melhorar as características do fio relacionadas à regularidade e resistência.

O processo de retorcção consiste em unir dois ou mais fios singelos ou cabos através de máquinas denominadas retorcedeiras. O processo confere maior uniformidade ao fio produzido, pois as irregularidades eventuais presentes nos cabos são diluídas, já que dificilmente coincidem no mesmo trecho de fio. Por este motivo, e também pelo fato de a retorcção prender ainda mais as fibras dos cabos que formam o fio, estes fios são mais resistentes que os fios singelos.

É possível reunir dois ou mais fios simples, combinando-os por meio de torção de modo a produzir um fio retorcido com características bem diferentes.

A torção (ou retorcção) aplicada a um fio de vários cabos, é normalmente oposta à dos fios simples componentes, resultando num fio estável como indicado na figura 1.4. No entanto, para efeitos especiais (crepe) essa retorcção é aplicada no mesmo sentido da dos fios individuais, o que resulta em fios elásticos, (2) que quando não se encontram sob tensão se enrolam.



**Figura 1.4 Fios retorcidos a dois cabos**

- 1- fio estável – sentido da retorção oposto ao de torção  
2- fio elástico – sentido da retorção igual ao de torção

Atualmente existe uma enorme gama de máquinas de fiação não convencionais que produzem fios retorcidos diretamente na máquina de fiação, principalmente aquelas que utilizam o princípio do "fuso ôco" são de grande interesse na produção de fios de fantasia.

O princípio de funcionamento da retorceira consiste em alimentar os fios que serão retorcidos através de um par de cilindros, retorcendo-os em seguida por intermédio de um fuso em rotação. Existem vários tipos de retorceiras escolhidas de acordo com as características do fio a ser produzido:

- Retorceira ascendente
- Retorceira de anéis
- Retorceira de dupla torção
- Retorceiras especiais
- Retorceiras para fios fantasia

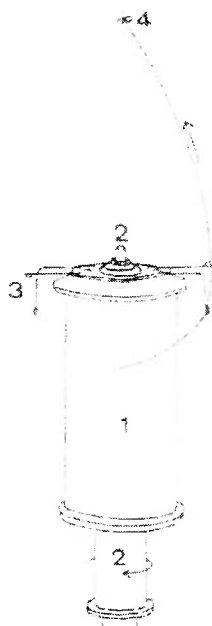
O sistema de alimentação das retorceiras tem grande variação dependendo do densidade linear do fio, número de fios componentes, do tamanho e tipo da bobina alimentadora. Algumas empresas preferem bobinar cones individuais para cada fio simples, enquanto que outras preferem alimentar diretamente de filatórios. Para a obtenção de uma paralelização

perfeita, qualidade e eficiência, muitas empresas preferem juntar os fios componentes (dois ou mais) numa bobina, antes de retorcer. Esta etapa chama-se dublagem.

### **Retorcedeira ascendente (up twister)**

Este tipo de retorcedeira (Figura 1.5) foi desenvolvido, inicialmente, para retorcer fios de seda e depois para fios de filamento contínuo ou fios finos.

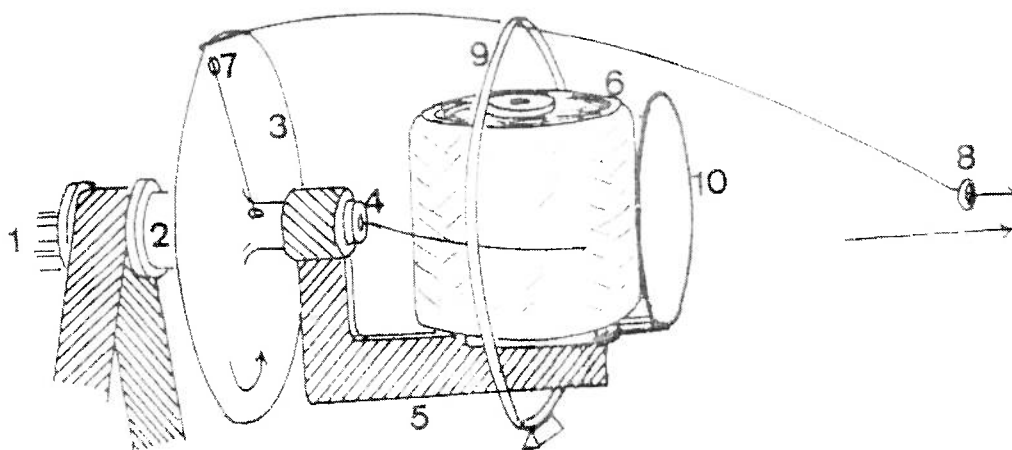
Os grupos de fios a ser retorcidos encontram-se já reunidos (sem torção) numa bobina montada no fuso. O fio sai da bobina e passa através de uma haste que gira livremente através do guia-fios para uma bobina, (queijo ou cone) que se move a velocidade constante por ação de um tambor.



**Figura 1.5 Retorcedeira ascendente (uptwister) (ARAÚJO, 1986 ).**  
1 Bobina, 2 fuso, 3 haste, 4guia-fio

### Retorcedeira de Anéis

Esta máquina difere do filatório de anéis, na medida em que o sistema de estiragem é substituído por um rolo alimentador; que alimenta os dois ou mais fios simples que vão ser retorcidos pelo fuso. Os processos de aplicação da torção e de enrolamento dos fio são idênticos ao do filatório de anéis.



**Figura 1.6 Retorcedeira de dupla torção horizontal (ARAÚJO, 1986).**

1- fuso oco, 2- encaixe, 3- disco, 4-tubo, 5-berço, 6-bobina, 7-orifício, 8-guia-fio, 9 e 10- anéis

### Retorcedeira de dupla torção

O princípio de funcionamento desta retorcedeira não é novo, tendo, no entanto, sido patenteado por Andrew e Langstreth em 1929.

As várias partes componentes deste tipo de retorcedeira encontram-se dispostas de tal modo que cada rotação do fuso insere duas voltas no fio em vez de uma.

Na figura 1.6, o fuso oco, que se encontra ligado a um disco 3, encontra-se montado num encaixe através de rolamentos. Na extremidade perfurada do eixo do fuso encontra-se

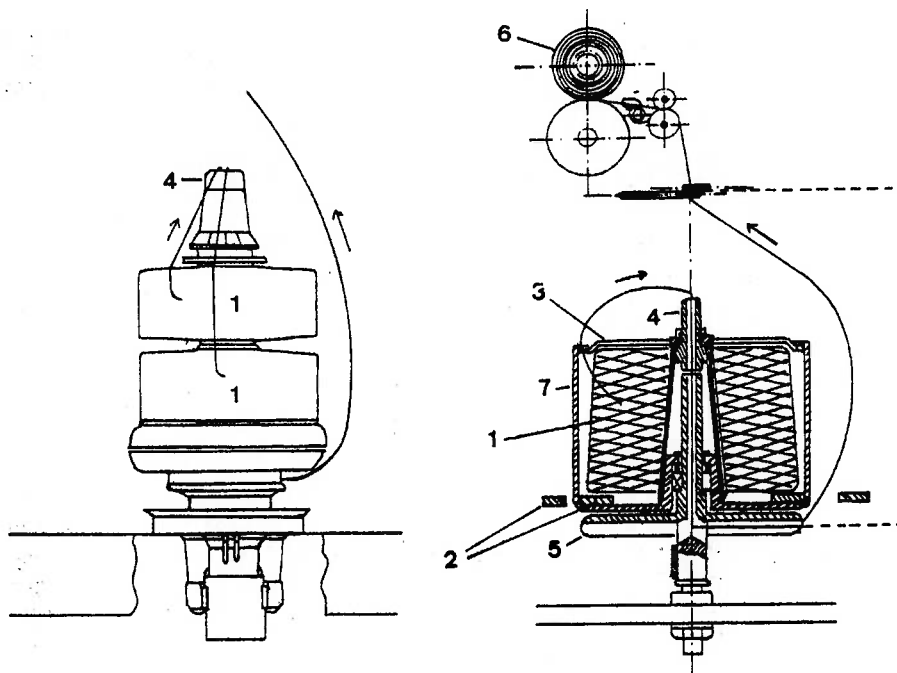


suspenso (tipo pêndulo), o berço através de rolamentos. A bobina, com os vários fios enrolados encontra-se no braço do berço. Os fios a ser retorcidos passam da bobina através do tubo e do orifício na borda do disco, e seguidamente, por cima da borda e através do guia-fios para a bobina enroladora (que pode ser de vários tipos).

O berço encontra-se pendurado, livremente no eixo do fuso, permanecendo estacionário enquanto o disco gira devido ao seu centro de gravidade se encontrar abaixo do fuso. Em cada rotação, no sentido anti-horário efetuada pelo disco, uma volta de torção S é inserida no fio entre a bobina e o orifício, e outra volta de torção S no fio entre o orifício e o guia fio . Por conseguinte, para cada rotação do disco são inseridas no fio duas voltas de torção.

O anel restringe o tamanho do balão e outro anel evita que o fio se enrole no berço durante o arranque e a parada

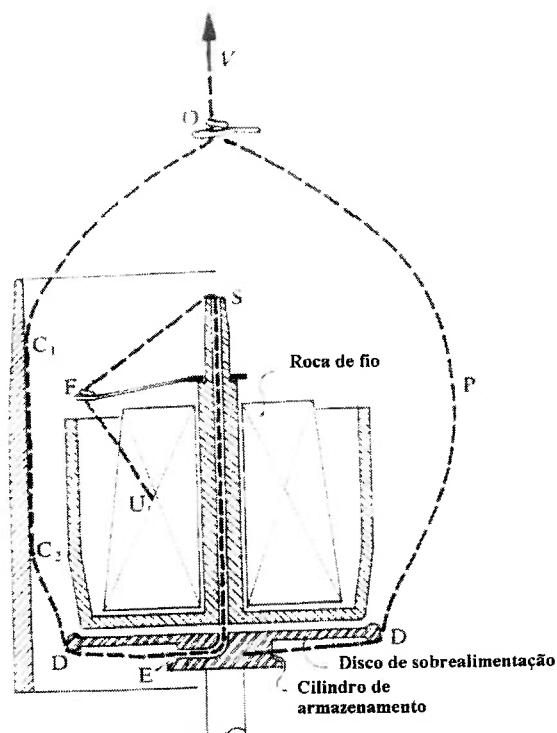
Outro tipo de retorcedeira, de dupla torção (Figura 1.7), utiliza uma ou duas bobinas verticais onde se encontram enrolados os fios a ser retorcidos. Essas bobinas encontram-se num suporte de metal que permanece estacionário por ação de magnetos permanentes fixados na parte inferior do pote e na estrutura da máquina. Em cima da bobina, existe uma haste gira livremente, e permite o desenrolamento correto do fio. Ao sair da haste o fio é puxado a fim de penetrar no fuso oco na parte superior do qual se encontra um tensor para assegurar a tensão uniforme no fio. No fuso encontra-se um disco de aço montado na parte inferior, no qual se encontra uma ranhura ou um guia-fio. O fio sai do fuso oco através de um orifício lateral, passa pela ranhura do disco circundando o pote em balão, passando num guia-fio através dos rolos extratores sendo enrolado em um cone. Para evitar um balão excessivo, cada unidade encontra-se colocada num invólucro cilíndrico preso ao interior dos magnetos exteriores. O trajeto do fio tem a forma de um U, e assim em cada rotação é introduzida uma torção em cada perna do U.



**Figura 1.7 Retorcedores de dupla torção verticais (ARAÚJO, 1986).**

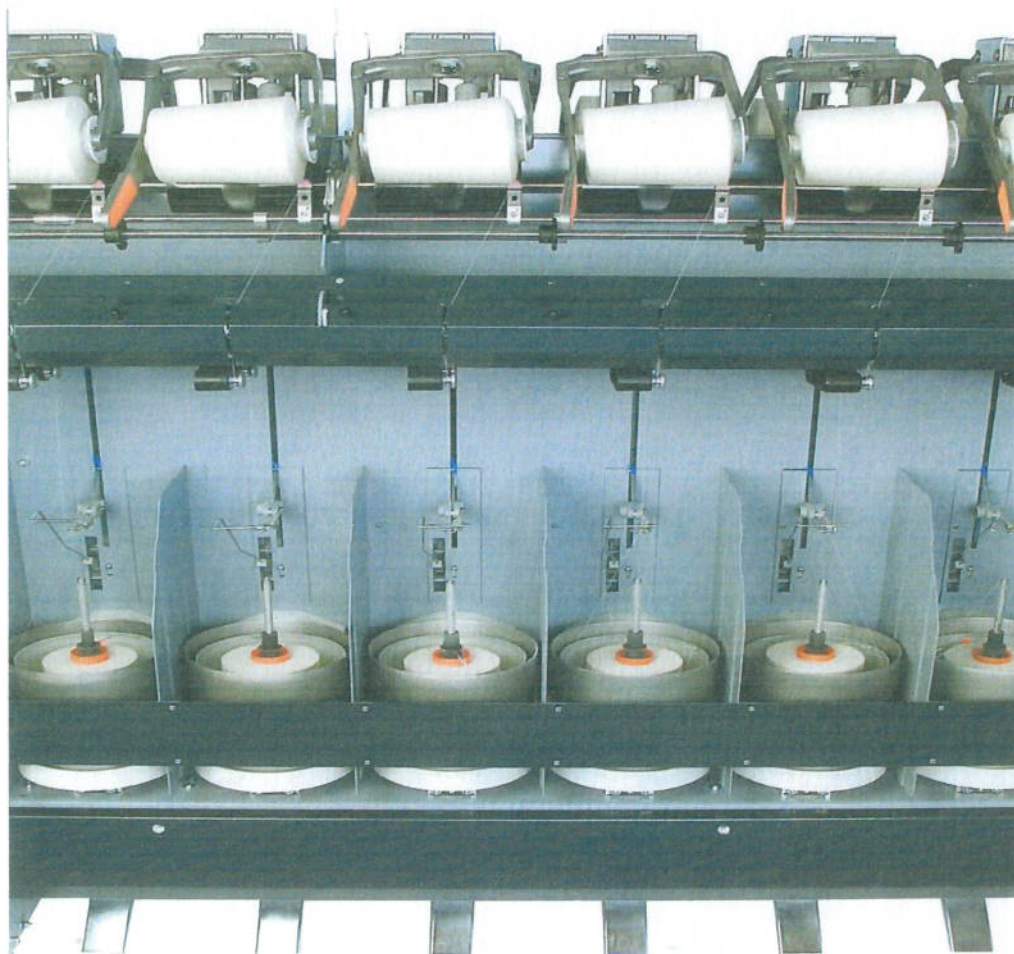
A= com duas bobinas ( fios separados) B = com uma bobina ( fios juntos)  
 1- bobinas de fio, 2- magnetos, 3- haste, 4- fuso oco, 5- disco de aço, - cone de enrolamento 7- involucro

A figura 1.9 mostra a foto de uma retorcedeira dupla torção em trabalho



**Figura 1.8**

**Esquema de um fuso de retorcedeira dois por um (FRASER, 1993)**



**Figura 1.9 Retorcedeira dupla – torção**

### **1.3 Atrito nos Processos Têxteis**

O estudo do atrito tem grande importância no processo de retorcimento, pois o deslocamento relativo entre o fio e o limitador do balão gera atrito. Este atrito tem dois tipos de conseqüências, uma relacionada à produtividade da máquina e outra relacionada às características físicas dos fios produzidos.

Por causa do atrito, em muitas situações limita-se a rotação do fuso, diminuindo a velocidade de entrega do fio e com isso diminuindo também a produtividade.

Como exemplo, os parâmetros de trabalho atuais apontam que em fios compostos de lã ou da mistura de poliéster e lã, a rotação não pode ser superior a 7000 RPM. E levando-se em conta

que as máquinas atuais podem chegar facilmente a 12000 RPM, vemos que a perda de produção pode chegar a 50% da capacidade instalada.

Esta é uma preocupação de muitos fabricantes que buscam aumentar a produtividade de seus equipamentos. Por outro lado, foi verificado que retirando o limitador de balão seria necessário aumentar o espaço entre os balões, aumentando o tamanho da máquina e causando dificuldades para os operadores da máquina.

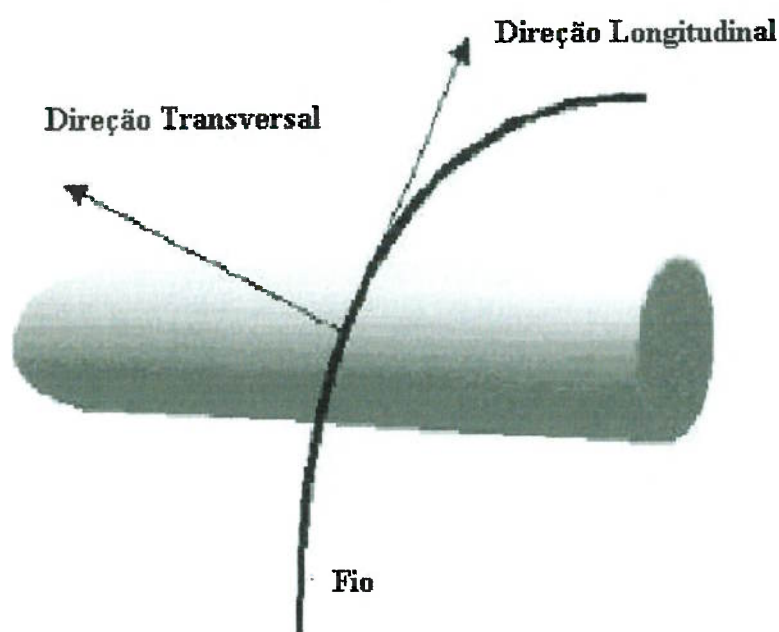
O atrito entre o fio e o limitador prejudica algumas características físicas dos fios como o pilling que é a formação de pêlos na superfície e a diminuição da resistência à ruptura. Outro problema é quando trabalhamos com algumas fibras sintéticas como o poliéster e o acrílico, que possuem a propriedade de se fundirem com o calor gerado pelo atrito. Existe também a possibilidade do atrito modificar algumas características de afinidade tintorial da fibra fazendo com apareçam alguns barramentos e manchas após o tingimento do tecido. A aplicação de óleos lubrificantes sobre o material também é bastante empregada. Entretanto, para fios que serão tintos após o processo de retorção, este procedimento gera um custo extra, pois torna necessário um banho para retirada dos óleos lubrificantes, visto que na maior parte dos casos não existe afinidade do óleo com o corante e a fibra têxtil gerando manchas nos processos de tingimento devido à dificuldade de igualização do corante.

Como será mostrado neste trabalho é importante distinguir as componentes do movimento relativo entre o fio e partes da máquina no estudo do atrito de fios têxteis. Estas componentes podem ser classificadas de acordo com a direção de deslocamento relativo em longitudinal e transversal.

O deslocamento longitudinal caracteriza-se por deslocar o fio no sentido das fibras que o compõem e ocorre nas etapas de fiação, preparação ao tecimento e durante o tecimento, onde o fio passa por vários componentes metálicos (guias). Na figura 1.8 que mostra o esquema de

uma retorcedeira, este tipo de movimento relativo ocorre nos pontos F e D e no trecho de S até E.

O deslocamento do fio no sentido transversal caracteriza-se por deslocar o fio no sentido transversal das fibras que o compõem e ocorre normalmente nos processos de retorção. Na figura 1.8 este tipo de movimento relativo ocorre no trecho entre os pontos  $C_1$  e  $C_2$ . Neste trecho também ocorre movimento longitudinal que é responsável pela alimentação do fio, mas com velocidade bem menor que o movimento relativo na direção transversal.. A figura 1.10 ilustra as direções do movimento relativo entre o fio e partes de máquinas .



**Figura 1.10** Direção Longitudinal e transversal do fio (MARCICANO, 2004)

A grande maioria das pesquisas sobre atrito entre fios e componentes de máquinas têxteis estudou o atrito que ocorre quando o fio é deslocado em seu sentido longitudinal, pois este tipo de deslocamento ocorre na maioria dos processos têxteis, além de ser medido e calculado com maior facilidade.

O estudo do atrito em deslocamento transversal do fio é bem recente , por isso ainda não foram realizados estudos que comparem os coeficientes de atrito longitudinal com o

coeficiente de atrito transversal e conseqüentemente a correlação entre estes é desconhecida. Por isso o objetivo deste trabalho é investigar a correlação entre os coeficientes de atrito longitudinal e transversal.

#### **1.4 Revisão Bibliográfica**

Em 1972, H. Linz (LINZ,1972) avaliou a dependência do coeficiente de atrito de fios têxteis sintéticos contra guias cerâmicas com a intensidade da força trativa, velocidade de alimentação do fio, número de torções por metro e rugosidade das guias. O autor estuda o comportamento do atrito com relação à vários parâmetros e verifica que coeficiente de atrito diminui com o aumento da força trativa, aumenta com o aumento da velocidade, diminui com o aumento do número de torções e com relação a rugosidade o coeficiente de atrito inicialmente diminui com o aumento da rugosidade média atingindo um mínimo a partir do qual o coeficiente de atrito aumenta com o aumento da rugosidade. Neste trabalho, as causas destes acréscimos ou diminuições do atrito não são comentadas pelo autor.

Em 1980, Schick (SCHICK,1980) apresentou resultados experimentais que demonstram a dependência da força de atrito com a temperatura, tipo de lubrificante e rugosidade dos guias. As fibras com ausência de lubrificação utilizadas nos ensaios, demonstram que a força de atrito aumenta com o incremento da temperatura. Quando lubrificadas, a força de atrito inicialmente diminuía para depois aumentar com o incremento da temperatura.. Nos experimentos com fios lubrificados, o autor utiliza três tipos de lubrificante sendo que um deles é formado pela mistura em partes iguais dos outros dois. Nas três condições de lubrificação o comportamento é similar e o autor destaca que a força de atrito com lubrificante misturado apresenta um valor intermediário. Entretanto o estudo foi baseado em fios multifilamentos sintéticos não sendo considerados os supostos efeitos dos fios de fibras naturais.

Morton (1975), estudou o atrito entre as fibras e o atrito entre os fios e os guias das máquinas. Para a formação de um fio fiado é necessário que haja atrito entre as fibras que o compõem para torná-lo mais resistente, pois este atrito não permite que as fibras deslizem por sobre as outras deixando poucas fibras na secção transversal do fio resultando em seu rompimento. No estudo do atrito entre os fios e os guias, o atrito é prejudicial pois aumenta a força trativa necessária para mover este fio e com o aumento desta força o fio pode sofrer danos e até chegar ao seu limite de tração, ou seja, seu rompimento.

Foram publicados muitos trabalhos que estudam as variáveis que influenciam o atrito em têxteis, a maioria destes trabalhos têm cunho experimental e alguns apresentam modelos para o atrito. Muitos destes trabalhos foram revisados por Howell et al. (HOWELL,1959). No livro são abordados as teorias de atrito e lubrificação, atrito no processamento e métodos de determinação de coeficiente de atrito. E mais recentemente, Hong e Jayaraman (HONG,2003) publicaram uma revisão bastante abrangente sobre atrito em têxteis.

Em 2003, Ramkumar determinou o coeficiente de atrito de fios de composições diferentes retorcidos pelo processo “friction-spinning” em condições também diferentes. O atrito dos fios foi estudado executando o ensaio do tipo “Capstan” onde os fios eram pressionados contra um cilindro de vidro. Na análise dos resultados o autor verifica que o coeficiente de atrito é influenciado pela intensidade da força normal e pelas condições de retorção. Este modelo foi proposto por Howell e Manzur (1953) onde a relação entre a força normal e a força de atrito não são proporcionais e apresentam um comportamento exponencial.

Com relação ao trabalho de Howell onde as constantes exponenciais são calculadas por uma expressão de Capstan que leva em conta a não linearidade das forças normais e de atrito, Ramkumar calcula o coeficiente de atrito utilizando a expressão convencional de Capstan e depois relaciona os valores deste coeficiente com a intensidade uma das forças trativas aplicadas ao fio.

O primeiro estudo sobre o coeficiente de atrito transversal dos fios nos processos de retorção foi realizado em 2003 por J. P. P. Marcicano, C. Tu e H. G. Rylander (2004), através de uma simulação de balões em contato com um limitador e o método utilizado foi a medição dos ângulos do balão através de fotos da vista superior do balão. Este ângulo foi teoricamente correlacionado a outros parâmetros de fácil medição e ao coeficiente de atrito transversal. Porém, neste estudo, só o método foi desenvolvido; falta agora fazer as medições do atrito para poder compreender os mecanismos e os parâmetros que controlam este atrito. Outra limitação do aparelho usado é de que a força normal não pôde ser variada independentemente da velocidade de deslizamento do fio na parede do limitador. Isto limita o estudo do componente aerodinâmico do atrito final.

## **1.5 Objetivos**

Na revisão da literatura verifica-se a quase ausência de trabalhos que investigaram a relação entre os coeficientes de atrito longitudinal e transversal, embora existam evidências pela natureza do atrito entre polímeros e metais que o mesmo é influenciado também pela direção das fibras no fio. Considerando a influência do atrito no aspecto econômico do processamento têxtil principalmente em operações de retorcimento justifica-se a investigação da influência da direção de deslocamento do fio com relação às superfícies da máquina na componente de força de atrito. Os dois tipos de coeficiente de atrito serão determinados com dados obtidos em experimentos. O coeficiente de atrito longitudinal será determinado com os resultados do ensaio conhecido como Capstan e o transversal dos resultados do ensaio de retorcimento. Nos ensaios serão utilizados fios com composições diferentes. Os coeficientes de atrito longitudinal e transversal serão comparados e analisados em função das características dos fios.



## 2 TEORIA DO ATRITO EM TÊXTEIS

### 2.1 Teoria Geral

O comportamento tribológico das fibras que compõem os fios têxteis afetam sobremaneira o seu processamento, as suas propriedades e o desempenho do produto final. A importância do atrito nesta área tem levado a pesquisas abrangentes sobre a natureza do atrito, suas implicações no processamento e aos efeitos nas propriedades dos fios e tecidos.

O comportamento tribológico dos fios é governado pelas características tribológicas das fibras que o compõem e pela estrutura do fio, ou seja, da forma como as fibras são agrupadas. O comportamento tribológico de fios retorcidos ainda não é completamente conhecido devido a complexidade da sua estrutura.

As propriedades dos tecidos são influenciadas pelas características tribológicas dos fios utilizados na sua fabricação e também na forma como são tecidos. A resistência, rigidez e o conforto estão entre as propriedades mais afetadas pelas características tribológicas.

Os processos químicos e mecânicos utilizados no acabamento dos fios podem alterar as características de atrito dos fios. A lubrificação de fibras ou fios modificam as suas características tribológicas sendo utilizada para a melhorar o desempenho dos processos têxteis.

Nos diferentes processos têxteis, o atrito entre os fios e entre os fios e partes de máquina podem afetar o desempenho do processo. Os atritos mencionados provocam aumento das forças trativas nos fios que podem levá-los à ruptura e também podem provocar danos aos fios por aquecimento e abrasão. Por isso, o atrito é considerado o principal limitante ao aumento das velocidades de processamento das máquinas têxteis.

Howell et al. (HOWELL,1959) apresentam em seu livro uma detalhada revisão de um grande número de pesquisas relacionadas ao atrito em têxteis. No livro são abordados as teorias de atrito e lubrificação, atrito no processamento e métodos de determinação de coeficiente de atrito. Mais recentemente, Hong e Jayaraman (HONG,2003) publicaram uma revisão bastante abrangente sobre atrito em têxteis. O texto apresentado neste capítulo se baseia nestas duas obras e pretende reproduzir os principais modelos e evidências experimentais que podem explicar a influência das variáveis de processo no comportamento do atrito.

A teoria do atrito para artigos têxteis pode ser dividida em quatro grupos:

O primeiro grupo explica o atrito com base no deslizamento de asperezas de um material sobre as asperezas de outro material. O coeficiente de atrito é determinado como a tangente do ângulo de inclinação das asperezas individuais. Neste caso o material é assumido como perfeitamente rígido.

O segundo grupo explica o atrito como um resultado das forças de atração molecular entre dois sólidos. Foi proposto que o atrito é a força necessária para desfazer as junções formadas entre os sólidos como resultado de suas interações. Este grupo inclui a teoria do atrito molecular, sendo o atrito atribuído ao trabalho necessário para formar uma nova superfície. A nova teoria baseada na cinética molecular da estrutura de materiais poliméricos está inclusa neste grupo.

O terceiro grupo explica o atrito proveniente da deformação de certo volume de material que é penetrado pela aspereza de outro sólido. Foi sugerido que o atrito é a resistência ao movimento produzida pela deformação do material por sulcagem.

O quarto grupo consiste na teoria do atrito composto. Este grupo defende que a teoria molecular - mecânica do atrito e a teoria da adesão propostas para os metais também se aplicam ao atrito em têxteis. A teoria da adesão explica o atrito como o resultado da adesão da região interfacial seguido do processo de sulcamento da região deformada.

Algumas dessas teorias do atrito contradizem evidências experimentais em ensaios com materiais têxteis fibrosos. A teoria da adesão por sua vez tem sido o modelo adotado para explicar o atrito em materiais fibrosos.

De acordo com a lei de Amonton's , a força do atrito é independente da área de contato dos corpos que estão deslizando uns sobre os outros e a força de atrito é proporcional à força que age perpendicularmente à superfície e a razão entre a força de atrito e a força normal é denominada coeficiente de atrito e esta razão é constante.

Esta lei aplica-se aos metais e materiais com alto módulo de elasticidade. Experimentos com materiais têxteis demonstraram que o coeficiente de atrito diminui com o aumento da força normal, com o aumento da rugosidade superficial e com a diminuição da área de contato. por isso a lei de Amonton's em princípio deve ser empregada com critério na avaliação do atrito em materiais têxteis.

## **2.2 A teoria de adesão**

Esta teoria considera que as características de atrito dos materiais fibrosos são semelhantes às dos metais.

A força do atrito nos metais é composta por duas componentes: uma de adesão e outra de sulcagem. Tabor propôs que o atrito verificado no deslizamento entre polímeros pode ser uma somatória destas duas componentes. A primeira provém do cisalhamento das adesões formadas na região de contato real, e a segunda da sulcagem de uma superfície pelas asperezas mais duras da outra superfície. Em geral o termo da adesão é predominante. A teoria da adesão descreve que quando a superfície é pressionada por uma força, o contato ocorre apenas no topo das asperezas que deformadas formam junções. As junções são cisalhadas para o deslizamento ocorrer e a força necessária para promover este cisalhamento é a força de atrito.

Este é um modelo simplificado visto que a área de contato é determinada pelas propriedades dos polímeros como a tensão de escoamento, a força normal, e pela geometria e tempo sob tensão.

A maioria dos materiais poliméricos apresentam forte adesão, enquanto o polytetrafluoretileno mostra uma fraca adesão intrínseca com baixa energia de superfície.

A Lei de atrito de Amontons pode ser explicada pela teoria da adesão, de acordo com a teoria de adesão o coeficiente de atrito para dois materiais idênticos colocados em contato é a razão entre a tensão de escoamento ao cisalhamento e a tensão de escoamento à tração do material.

Muitas teorias de atrito para não metais se baseiam na teoria da adesão e foram desenvolvidas para explicar a relação exponencial entre a força de atrito e a força normal verificadas em testes práticos. Estas teorias, de uma forma geral, admitem que a área de contato real entre as superfícies não é definida pela razão entre a força normal e a tensão de escoamento do material, mas sim pela deformação elástica e plástica da superfície levando dessa forma a relações não lineares entre a área real de contato e a força normal. Os polímeros de uma forma geral estão sujeitos a este efeito devido ao baixo módulo de elasticidade desses materiais. A força de atrito é determinada pelo produto da tensão de cisalhamento das áreas em contato e da área real de contato. Como resultado a relação entre a força de atrito e a força normal não é linear.

Apesar destas constatações, em muitos trabalhos verificou-se que o valor numérico do expoente do termo de força normal é próximo da unidade para diversos fios têxteis (HOWELL, 1959), (RAMKUMAR; 2003), por isso, em muitas aplicações considera-se desprezível estas diferenças e admitir-se válida a lei de Amontons (FRASER,1993) , (KOTHARI, 1979).

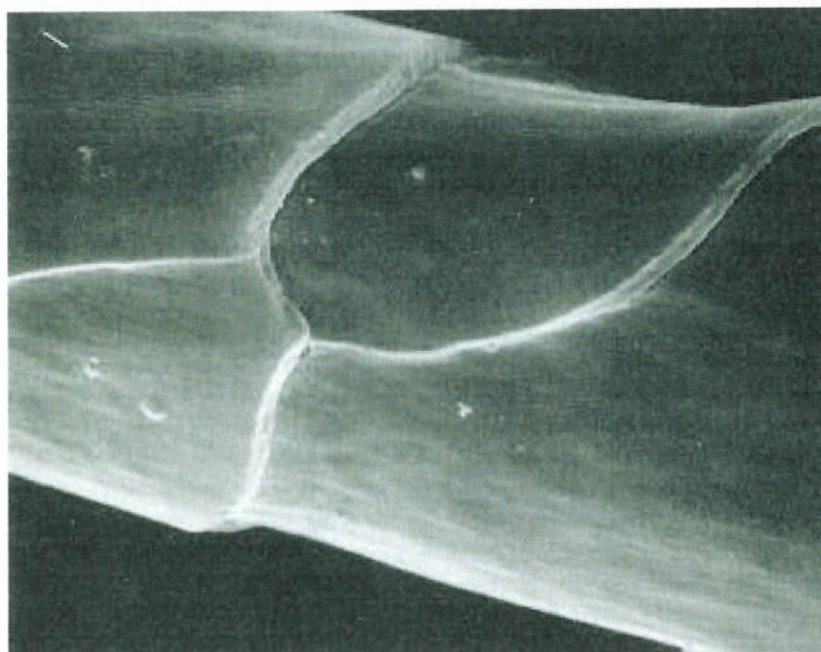
### 2.3 Teorias para o efeito diferencial do atrito para fibras de lã

O atrito para fibras de lã depende da direção do deslizamento, do topo à base ou da base ao topo da fibra. O deslizamento do topo à base requer uma força de atrito maior do que da base ao topo. Esta anisotropia determina as características de sensibilidade ao toque e de processamento de fibras de lã. A feltragem e o encolhimento estão também relacionadas às características tribológicas da lã.

O Efeito diferencial do atrito (DFE- differential Frictions Effect) das fibras de lã tem sido explicado pela componente de sulcagem ou pela teoria de atrito de Coulomb.

A fibra de lã tem estrutura semelhante ao fio de cabelo. A parte externa da fibra é revestida por uma membrana que apresenta protuberâncias de forma serrilhada (Figura 2.1).

De acordo com a teoria baseada na componente de sulcagem, a membrana que reveste a fibra é deformada, sendo deformação mais fácil em uma direção do que em outra. A explicação do DFE pela teoria de Coulomb assume que a tensão de cisalhamento na interface muda conforme a direção de movimento.



**Figura 2.1** Aspecto morfológico da fibra de lã .

## 2.4 Teoria da lubrificação

Os lubrificantes são aplicados nos materiais têxteis para reduzir o atrito, o desgaste, e a eletricidade estática. O comportamento tribológico de fibras e fios têxteis lubrificados tem sido analisado com a teoria de lubrificação dos metais.

Na lubrificação de metais, desenvolvida por Bowden e por Tabor, dependendo da velocidade relativa, são considerados dois regimes de lubrificação: a lubrificação de contorno ou limite e a hidrodinâmica. O atrito diminui com o aumento da velocidade na região de lubrificação de contorno, enquanto que o atrito aumenta com o aumento da velocidade na região de lubrificação hidrodinâmica. O atrito mínimo é observado na região de transição entre a lubrificação de contorno e a hidrodinâmica. A transição do regime de lubrificação hidrodinâmica para o regime de lubrificação de contorno ocorre pela diminuição da velocidade de deslizamento ou pelo aumento da força normal.

No regime de lubrificação hidrodinâmico o desgaste das partes que estão se movendo e o atrito são extremamente pequenos.

No caso de fibras têxteis lubrificadas, verifica-se que o atrito depende do parâmetro  $ZV/W$  onde  $Z$  é a viscosidade do lubrificante,  $V$  a velocidade relativa na direção da força de atrito e  $W$  a força normal. A figura 2.2 apresenta o gráfico que mostra o comportamento do coeficiente de atrito em função do parâmetro  $ZV/W$ .

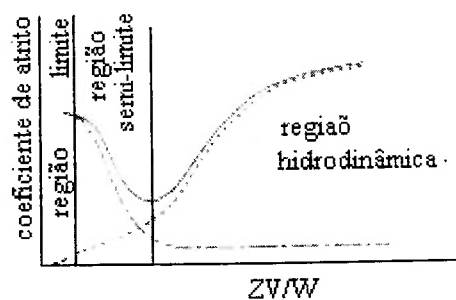


Figura 2.2 Comportamento do coeficiente de atrito em função do parâmetro  $ZV/W$  (adaptado de HONG, 2003).

O atrito é afetado pela natureza das superfícies, assim como pelos constituintes químicos dos lubrificantes. Na lubrificação hidrodinâmica, as superfícies são separadas completamente por uma película contínua de lubrificante.

Verifica-se que a redução do atrito em fibras pela aplicação de lubrificantes é menor do que em metais. Este fato é explicado pela força de cisalhamento da película de lubrificante que no caso dos metais é consideravelmente menor do que aquela do metal e no caso dos polímeros, a força de cisalhamento do lubrificante não é muito diferente da do polímero. Outra razão se deve a menor quantidade de ligações polares formadas entre a superfície lubrificada e as moléculas de cadeias longa dos lubrificantes em polímeros. Estas ligações auxiliam na retenção das moléculas do lubrificante formando uma película mais espessa que reduz o atrito.

Em muitas operações têxteis, o atrito sob a lubrificação de contorno tem papel importante.

Os fatores que afetam o atrito sob a lubrificação de contorno são:

o absorção do lubrificante pelas fibras do fio na superfície lubrificada da guia;

a aspereza da superfície do fio;

as propriedades reológicas e estrutura química do lubrificante; e

a quantidade de lubrificante e a geometria das superfícies de deslizamento.

O atrito sob a lubrificação de contorno pode em algumas situações ser maior que o atrito entre as superfícies limpas.

## **2.5 Fatores que afetam o atrito dos fios têxteis**

O atrito dos fios têxteis formados por fibras é afetado pelas características superficiais e internas do fio e interação com o meio.

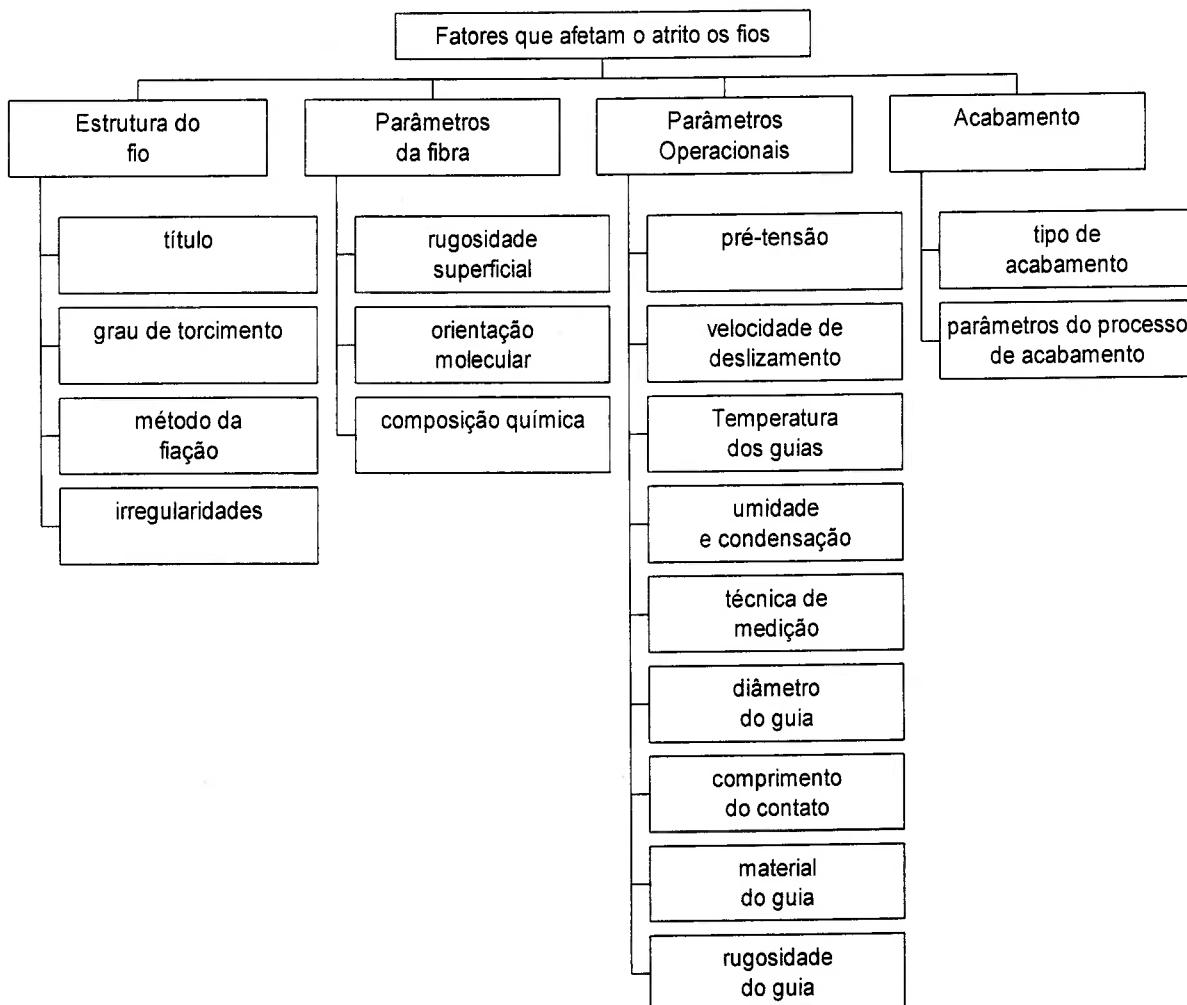
Os fatores que afetam o atrito podem classificados em quatro grupos :

- características da fibra;

- estrutura do fio;
- parâmetros de processamento;
- acabamento.

As características da fibra são a sua rugosidade, a estrutura molecular e composição química dos materiais das fibras. Os parâmetros da estrutura do fio incluem a torção do fio, o método de fição e título. Os parâmetros operacionais consistem na força normal, velocidade, umidade e temperatura. Os parâmetros do acabamento dependem do seu tipo, viscosidade e presença de lubrificantes.

A figura 2.3 apresenta um fluxograma que mostra os principais parâmetros que afetam o atrito em fios têxteis.



**Figura 2.3** Fatores que afetam o atrito dos fios (adaptado de HONG, 2003).



### 2.5.1 Estrutura do fio

#### **Título do fio:**

O título do fio tem um efeito crescente no coeficiente de atrito devido a um aumento na área de contato.

#### **Grau de torcimento:**

Um maior número de torções por unidade de medida do fio, diminui a sua compressibilidade, resultando em uma área menor de contato e assim uma menor força do atrito.

Outra situação é que a introdução da torção no fio gera ondulações no fio e a união das irregularidades da guia com a superfície ondulada do fio gerada pelas torções, pode aumentar o coeficiente do atrito

#### **Método da Fiação:**

Os principais métodos de fiação existentes são: fiação à anel e fiação à rotor (open-end) e suas características são bem distintas, porém não causam tanta influência no atrito se comparado às características estruturais da superfície do fio e compressibilidade, que podem ser consideradas como os fatores mais importantes que afetam o atrito do fio.

#### **Aspereza da superfície do fio:**

O atrito do fio tende a diminuir com o aumento da aspereza de sua superfície, porém para uma superfície de fio muito áspera, o atrito de fio tende a aumentar.

### **Irregularidades:**

Irregularidades no fio tendem a influenciar as forças do atrito. Com o aumento das irregularidades, a força do atrito tende a aumentar.

### **2.5.2 Parâmetros da fibra**

#### **Rugosidade Superficial:**

As fibras geometricamente mais lisas como as multifilamentos apresentam uma maior força de atrito entre fios e metais, quando medido o coeficiente de atrito longitudinal. Sob lubrificação limite, um aumento na rugosidade da superfície da fibra aumenta o atrito entre a fibra e o metal, e isto é atribuído ao aumento do desgaste da fibra devido à sua aspereza. Porém, deve-se salientar que o efeito da rugosidade da guia é muito maior do que o efeito da rugosidade da superfície da fibra.

#### **Orientação Molecular:**

No arranjo molecular de uma fibra, as moléculas podem ser muito orientadas, o que significa que elas são paralelas entre si e ao eixo longitudinal, ou podem apresentar uma baixa orientação e ter vários ângulos em relação ao eixo "x", que podem estar cruzadas umas às outras.



**Figura 2.4** a) Fibras com moléculas muito orientadas. b) Fibras com moléculas pouco orientadas e distribuídas aleatoriamente.

A orientação molecular da fibra tem uma forte correlação com o atrito da fibra e o atrito entre as fibras. A organização molecular é responsável pela superfície do material. Quanto maior a orientação molecular, mais lisa será a superfície e maior o atrito.

## **Composição química**

As fibras têxteis se subdividem em dois grandes grupos – o das fibras naturais e o das fibras químicas.

No grupo das Fibras Naturais estão as Fibras Vegetais , Animais e Minerais.

No grupo das fibras químicas estando incluídas as fibras Artificiais Regeneradas (Viscose), as Fibras Artificiais Modificadas (Acetatos), e as Fibras Sintéticas (atualmente de grande importância) e as Fibras Não Sintéticas (fios metálicos).

Dentro desta classificação as composições químicas das fibras são muito variadas. As fibras naturais são basicamente compostas por celulose, enquanto as fibras sintéticas tem sua composição baseada na formação de polímeros de cadeias longas.

Estas diferentes matérias –primas conferem as características físicas e químicas das fibras têxteis e portanto, interfere no comportamento com relação ao atrito.

### **2.5.3 Parâmetros operacionais**

#### **Pré-tensão:**

Um aumento na pré-tensão resulta em um aumento no atrito . Isto porque o aumento da pré-tensão gera o aumento da pressão na superfície entre fibra e metal e portanto um aumento na área de contato, resultando no aumento no atrito.

#### **Velocidade de deslizamento:**

A dependência da velocidade do fio no atrito nas condições lubrificadas segue os preceitos da teoria de lubrificação de metais.

Por outro lado, sem lubrificação verifica-se o aumento do atrito de com o aumento de velocidade, isto ocorre porque à altas velocidades, as fibrilas podem dobrar devido ao movimento do fio, aumentando assim a área de contato.

### **Temperatura da guia:**

Os efeitos da temperatura no atrito do fio foram relacionados à condutividade térmica dos materiais da guia. Com a utilização de guias de porcelana que não são consideradas bons condutores, o coeficiente do atrito diminui com o uso e após resfriar, o coeficiente do atrito aumenta. Para guias de aço inoxidável, não se percebe nenhuma alteração do comportamento do coeficiente de atrito durante o uso.

O efeito da temperatura da guia no atrito deve ser considerado juntamente com a velocidade.

Os lubrificantes termicamente estáveis são necessários para impedir o derretimento das fibras termoplásticas em contato com as superfícies metálicas, devido às altas temperaturas. Para o efeito da temperatura, a diminuição inicial no coeficiente de atrito através do aumento da temperatura pode ser atribuída à diminuição na viscosidade do lubrificante. O aumento subsequente do coeficiente de atrito pode ser atribuído à volatilização e/ou decomposição térmica do lubrificante deixando a superfície do polímero mais lisa.

O atrito entre fios de lã lubrificadas ou não lubrificadas e metais, geralmente diminui com o aumento da temperatura.

### **Umidade e condensação:**

Os efeitos da umidade relativa e do índice de umidade dos fios no atrito afetam a resistência à ruptura do fio e a qualidade dos produtos. O coeficiente de atrito do fio aumenta com o aumento da umidade principalmente a umidade relativa. O atrito de fios de acrílico aumenta ao estarem molhados. Sendo materiais hidrofóbicos, os resultados foram atribuídos ao fato da água penetrar entre as fibras, aumentando a área de contato entre estas fibras e também

devido à contribuição do cisalhamento da água na superfície. A umidade tem um grande efeito no atrito de fios de algodão. Uma amostra molhada resulta em um atrito maior do que uma amostra seca. Este resultado pode ser uma das razões para o aumento provisório na força de tração do fio de algodão no estado molhado.

O aumento do coeficiente do atrito entre fios de lã e metal com o aumento da umidade foi atribuído à diminuição do módulo de compressão e assim o aumento da área de contato. O aumento do atrito de fios de acrílico quando molhados foi atribuído ao aumento na área de contato, causado pelo inchamento destes fios.

Por outro lado, para fibras como o poliéster, durante a realização da texturização à jato de ar, os fios são molhados durante o processo e os resultados mostram que a água tem um efeito lubrificante reduzindo o atrito entre dois filamentos e entre filamentos e superfície sólidas, melhorando o movimento longitudinal relativo dos filamentos.

#### **Técnica de medição:**

Na prática industrial os valores dos coeficientes de atrito variam conforme o método de medição e equipamentos utilizados.

#### **Diâmetro do guia:**

O efeito do diâmetro da guia no atrito do fio depende do diâmetro do fio em proporção ao diâmetro da guia. Os efeitos do diâmetro da guia no atrito do fio são obtidos, dependendo de se (a) o diâmetro da guia é relativamente maior do que o diâmetro do fio, ou (b) o diâmetro da guia é similar ao diâmetro do fio.

O aumento do coeficiente de atrito do fio em contato com um diâmetro relativamente maior do guia pode ser atribuído à maior área de contato. O coeficiente de atrito entre o fio e uma guia com um diâmetro muito pequeno (quase idêntico ao diâmetro do fio) diminuiu de acordo com o diâmetro do guia.

Geralmente as maiores forças de atrito são geradas por guias com raios pequenos, e mesmo um aumento na margem do raio da guia pode ter uma vantagem significativa. O aumento no diâmetro da guia resulta em uma diminuição no atrito do fio até um diâmetro de 5 mm e então o atrito dos fios aumenta com diâmetros maiores da guia.

#### **Comprimento do contato:**

Com o aumento do ângulo de contato e do diâmetro do guia o coeficiente de atrito entre fio e metal geralmente aumenta, provavelmente devido ao aumento da área de contato. Sob a lubrificação limite, com o aumento do ângulo de contato, a área de contato e o desgaste da fibra aumentam. Sob a lubrificação hidrodinâmica, com aumento do ângulo de contato o coeficiente de atrito também aumenta devido ao aumento da área de contato.

#### **Material e rugosidade do guia:**

Os materiais utilizados para a confecção dos guias apresentam características físicas diferentes, portanto os coeficientes de atrito variam de acordo com as composições dos materiais utilizados para a confecção dos guias.

Uma característica do material que compõe o guia que exerce grande influencia nos valores dos coeficientes de atrito é a rugosidade do guia regida pelo tamanho dos grãos do material e pelos processos de fabricação utilizados na fabricação da guia . Com o aumento do tamanho de grão nos guias o atrito entre a fibra e o guia diminui.

Como mencionado anteriormente, o efeito da aspereza da guia é muito maior do que o efeito da aspereza da superfície da fibra.

#### **2.5.4 Tipo de acabamento e parâmetros do processo de acabamento**

O principal acabamento dado aos fios têxteis é a aplicação de lubrificantes, cujas ações são:

- reduzir a abrasão das fibras, dos fios e das peças da máquina;
- reduzir a eletricidade estática durante o processo têxtil; e
- assegurar uma força de tensão adequada aos fios fiados e de seus produtos finais.

Sob a lubrificação limite, o atrito é governado pela natureza química dos lubrificantes e das superfícies deslizantes, pela força de cisalhamento dos lubrificantes, pela rigidez dos substratos e pela pressão nas áreas de contato. Sob a lubrificação hidrodinâmica, o atrito é dependente da velocidade, da viscosidade do lubrificante, da temperatura, da quantidade de lubrificante, do título dos filamentos, da tensão do fio, da rugosidade da guia, da rugosidade superficial do fio e do diâmetro do guia. Quando o atrito opera na região semi-limite de lubrificação, os danos e o desgaste da fibra ocorrem freqüentemente .

Na região hidrodinâmica, a viscosidade do lubrificante tem grande influência no coeficiente de atrito entre fio e metal, porém nas regiões limite e semi-limite esta influencia é muito pequena , podendo ser atribuída à existência de numerosas penetrações na película interfacial, assim como ao contato direto entre fio e metal.

O aumento do coeficiente de atrito sob a lubrificação hidrodinâmica com o aumento da viscosidade do lubrificante é atribuídos ao aumento da tensão de cisalhamento da película líquida contínua que separa as superfícies de deslizamento no atrito.

Geralmente com um aumento da aplicação de cera lubrificante entre as superfícies metálicas e os fios de lã , pode-se observar um aumento no coeficiente de atrito, atribuído ao aumento da área de contato. Há uma relação direta entre a quantidade de lubrificante e o coeficiente do atrito do fio. A utilização de pouco ou muito lubrificante resulta em um aumento do coeficiente do atrito.

### 3 EXPERIMENTOS

Para a obtenção de dados experimentais foram executados dois experimentos: o Capstan e de Retorcimento.

O ensaio “Capstan” é bastante conhecido e é utilizado para a determinação do coeficiente de atrito longitudinal. Este ensaio é padronizado pela norma da ASTM D3108 que apresenta uma série de recomendações para a sua execução.

O ensaio de retorcimento recebeu esta denominação por neste é feita a simulação do processo de retorcimento com limitador cilíndrico. Este ensaio foi utilizado para determinar o coeficiente de atrito transversal, já que neste ensaio o movimento relativo entre o fio e o limitador é predominantemente na direção transversal do fio.

Em ambos ensaios foram utilizados os mesmos fios para a comparação dos resultados.

#### 3.1 Fios ensaiados

Nos ensaios foram utilizados cinco fios diferentes. As características dos fios utilizados foram medidas e são apresentadas na Tabela 1 e as composições químicas prováveis e os fabricantes dos fios são apresentados na Tabela 2.

Tabela 1- Características dos fios utilizados

<b>Fios</b>	<b>Título</b>	<b>Quantidade de cabos</b>	<b>Densidade linear (g/km)</b>	<b>Diâmetro (mm)</b>	<b>Torções (torções/m)</b>
100%PAC	Nm16	1	62,50	0,3908	232
50%PAC 50%CO	Nm15	1	66,70	0,4930	136
100%CO	Nec30/1	2	40,00	0,3260	800
100%PES	Dtex175/34	2	35,00	0,3053	0
100%WO	Nm40	1	25,00	0,2052	360



Tabela 2- Composições e fabricantes dos fios

<b>Fio</b>	<b>Composição</b>	<b>Fabricante</b>
100% PAC	100% acrílico	Lan Sul
50% PAC 50%CO	50% acrílico/ 50% algodão	Lan Sul
100% CO	100% algodão	Kuraishiki
100% PES	100% poliéster	Rhodia
100% WO	100% lã	Lan Sul

### 3.1.1 Características das Fibras dos Fios Ensaiaados

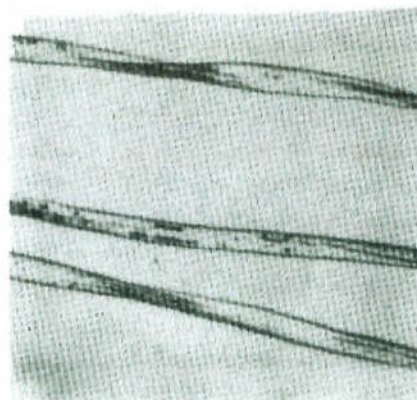
#### **Algodão (CO)**

O algodão é uma fibra de semente vegetal. Quando seca, a fibra de algodão é quase inteiramente composta por celulose (de 88 à 96%). Além de celulose, ela contém pequenas porções de proteína, pectina, cera, cinzas, ácidos orgânicos e pigmentos.

As figuras 3.1 e 3.2 mostram a morfologia característica da fibra de algodão e a vista longitudinal do fio de algodão utilizado nos ensaios.



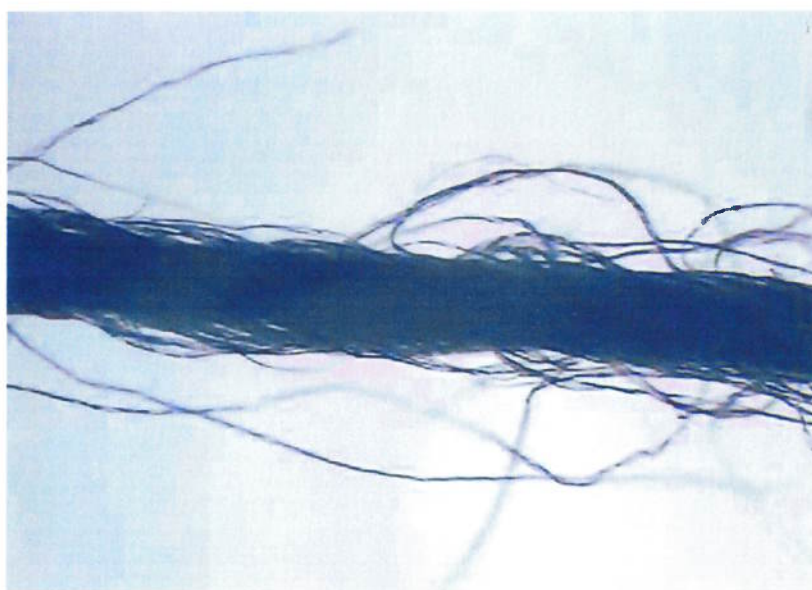
Seção transversal



Vista longitudinal

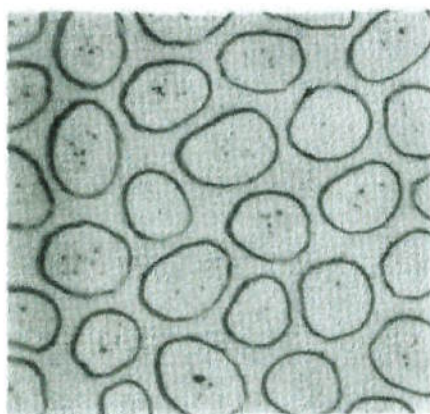
**Figura 3.1 Morfologia da fibra de algodão (RIBEIRO, 1984)**

O algodão apresenta um baixo nível de orientação molecular e especificamente no fio ensaiado, apresentou a maior quantidade de torções por metro em relação aos outros fios. Seu processo de fiação é a fiação convencional à anéis devido ao tamanho natural das suas fibras que para terem uma boa coesão devem ser torcidas entre si .

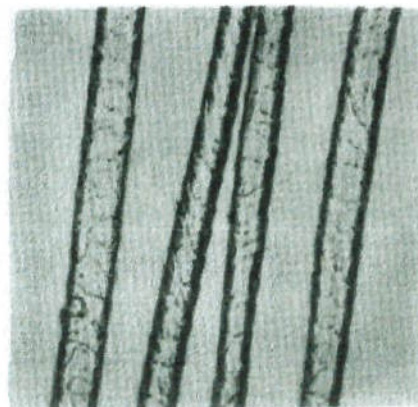
**Figura 3.2 Vista longitudinal do Fio 100% ALGODÃO**

## Lã (WO)

A lã é uma fibra animal. Sua composição média é formada por: Carbono (50%), Hidrogênio(7%), Oxigênio (de 22 a 25%), Nitrogênio (de 16 a 17%) e Enxofre (de 2 a 4%). As figuras 3.3 e 3.4 mostram a morfologia característica da fibra de lã e a vista longitudinal do fio utilizado nos ensaios.



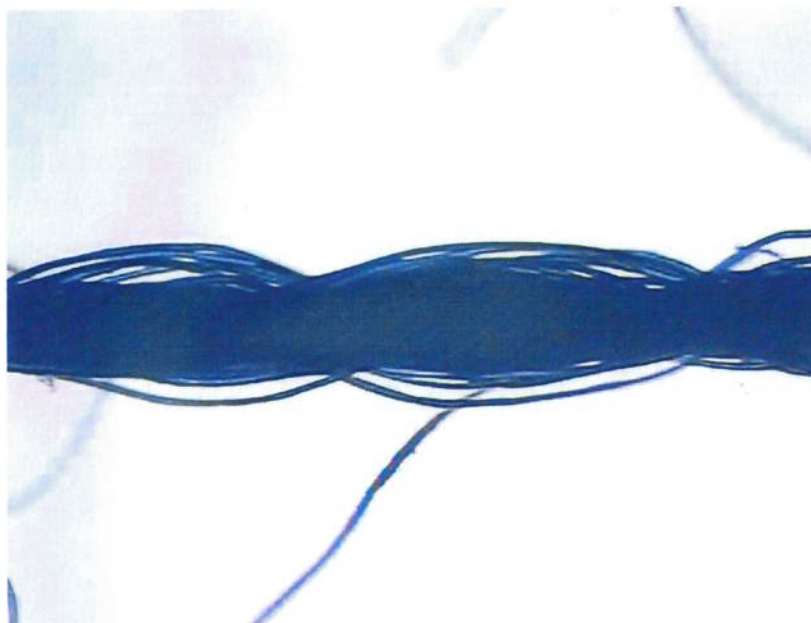
Seção transversal



Vista longitudinal

**Figura 3.3 Morfologia da fibra de lã (RIBEIRO, 1984)**

A fibra de lã apresenta a maior desorientação molecular e uma grande rugosidade superficial devido ao fato de apresentar escamas ao longo do seu comprimento. Como comentado anteriormente, a lã apresenta coeficiente de atrito longitudinal diferente dependendo do lado que é tracionada, se a favor ou contra o sentido das suas escamas.

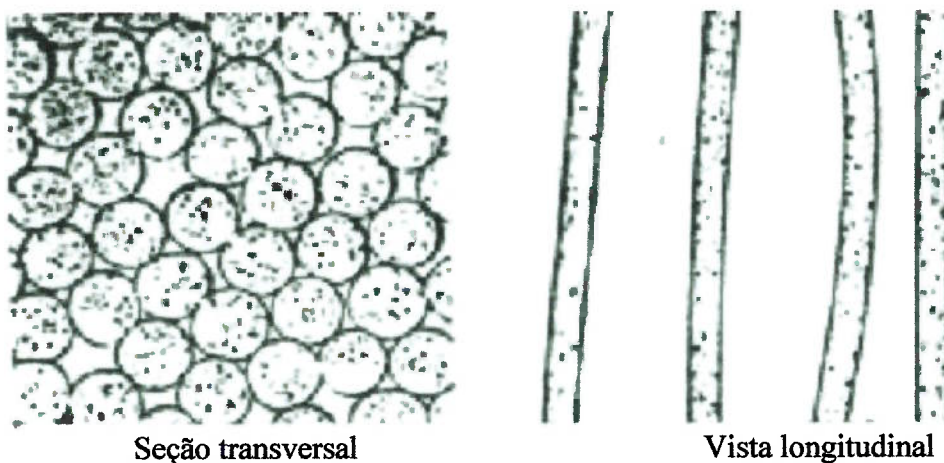


**Figura 3.4** Vista longitudinal do Fio 100% LÃ

### **Poliéster (PES)**

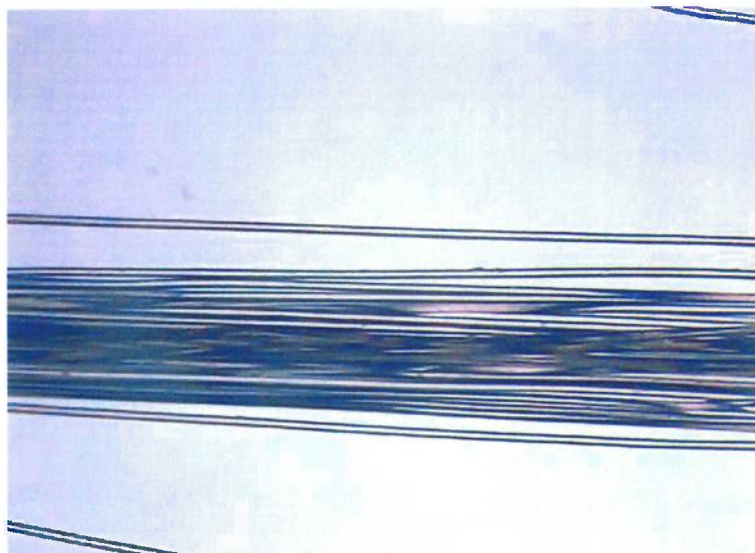
O produto químico básico a partir do qual se obtém a fibra de poliéster é o Polietileno Tereftalato (proveniente do petróleo).

A figura 3.5 mostra a morfologia de uma fibra de poliéster regular com seção transversal circular, semelhante à fibra utilizada nos ensaios (figura 3.6).



**Figura 3.5** Morfologia da fibra de poliéster (RIBEIRO, 1984)

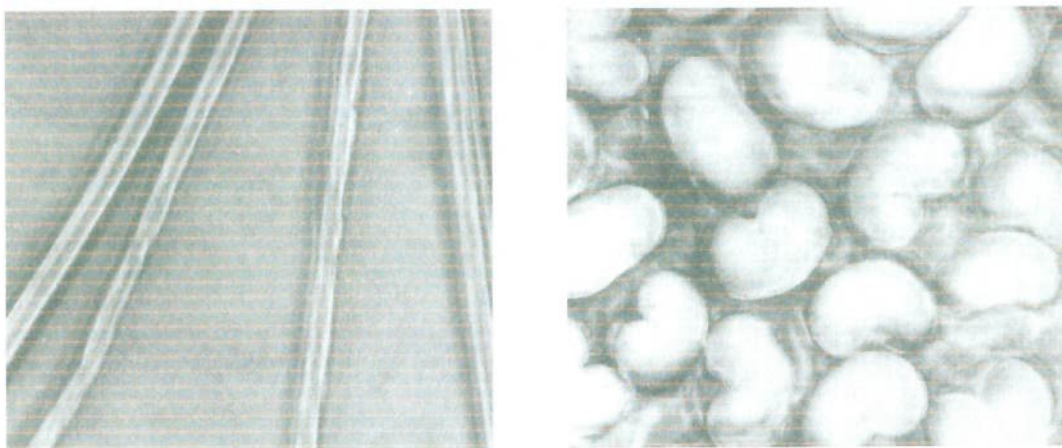
O fio de poliéster utilizado nos ensaios é composto por filamentos provenientes da extrusora. Por seu aspecto liso e por ser formado por multifilamentos, apresentou um maior coeficiente de atrito longitudinal, comparado aos demais fios.



**Figura 3.6** Vista longitudinal do Fio 100% POLIÉSTER

### **Acrílico (PAC)**

As fibras de acrílico são obtidas a partir de um composto químico denominado acrilonitrila. Esse composto (cujo nome deriva o nome das fibras de acrílico) é feito de produtos químicos oriundos de elementos encontrados no carvão, na água, no petróleo e na pedra calcária. As figuras 3.7 e 3.8 mostram a morfologia característica da fibra de acrílico e a vista longitudinal do fio utilizado no ensaio



Seção transversal

Vista longitudinal

**Figura 3.7 Morfologia da fibra de Acrílico (RIBEIRO, 1984)**

Considerando a fibra de acrílico quanto à sua orientação, este apresenta a maior orientação molecular. Quanto maior a orientação molecular, mais lisa é a superfície de contato das fibras e portanto menor será o coeficiente de atrito. Este fio apresentou um número de torções médio o que também não influenciou no aumento do coeficiente de atrito longitudinal, porém é um fio que foi retorcido sendo atribuída mais irregularidades aos fios devido à esta retorcção.

**Figura 3.8 Vista longitudinal do Fio 100% ACRÍLICO**

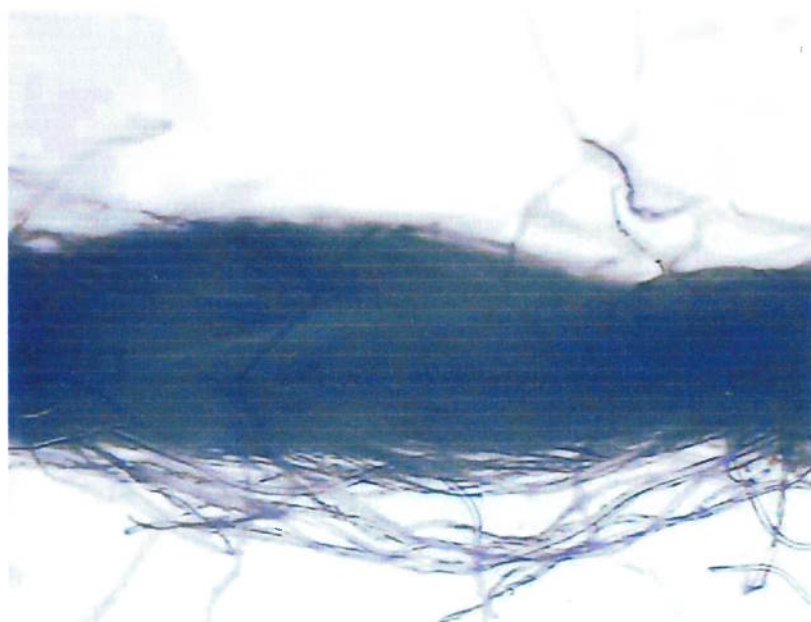
### **Acrílico (PAC) e Algodão(CO):**

Por se tratar de uma mistura entre duas fibras de constituições e comportamentos diferentes, é necessário avaliar a influência dos parâmetros em cada fibra e compará-los, já que alguns destes parâmetros não podem ser mensurados individualmente.

Como comentado, a fibra de acrílico apresenta uma grande orientação molecular sendo descompensada pela baixa orientação molecular da fibra de algodão .

Outro parâmetro é a irregularidade da superfície do fio provocada pelo processo de fiação, onde os filamentos de acrílico são cortados em tamanho pré- definidos com a finalidade de serem compatíveis ao tamanho natural das fibras de algodão e fiados no sistema de fiação convencional. Além deste parâmetro da irregularidade, outros parâmetros são descompensados pelas diferenças nas características individuais de cada fibra.

A figuras 3.9 mostra a vista longitudinal do fio de 50%PAC/50%CO utilizado nos ensaios.



**Figura 3.9 Vista longitudinal do Fio 50% ACRÍLICO 50% ALGODÃO**

Como é possível observar nas figuras das vistas longitudinais dos fios utilizados nos ensaios, existem muitas diferenças no aspecto físico e além disso as composições químicas são

diferentes. Estes aspectos foram levados em conta na seleção dos fios para o estudo para verificar a influência das características dos fios nos coeficientes de atrito longitudinais e transversais.

Com base nas características dos fios foram preparadas duas tabelas comparativas, uma com os parâmetros relacionados à estrutura do fio (Tabela 3) e outra com os parâmetros relacionados à fibra (Tabela 4).

Tabela 3- Parâmetros de estrutura dos fios

Parâmetros / fio	100% PAC	100% CO	50% PAC/CO	100% PES	100% LÃ
Título	4	3	5	2	1
Grau de torcimento	4	5	2	1	3
Método da fiação	Fibra longa	Fibra curta		extrusão	Fibra longa
Irregularidades	5	3	4	1	2

Os valores foram atribuídos de acordo com os tipos de fio e o comportamento em relação ao parâmetro, onde 1=menor e 5=maior

Tabela 4- Parâmetros das fibras.

Parâmetros / fio	100% PAC	100% CO	50% PAC/CO	100% PES	100% LÃ
Rugosidade superficial	2	1		4	5
Orientação molecular	2	4		3	5

Os valores foram atribuídos de acordo com os tipos de fio e o comportamento em relação ao parâmetro, onde 1=menor e 5=maior

De acordo com a tabela 1 e tabela 3, cada tipo de fio apresenta um título diferente. O título é a relação entre a massa e o comprimento do fio. O título pode ser expresso em diferentes unidades de medida.



A densidade linear em g/km que corresponde à designação Tex do sistema direto, onde o número apresentado é a massa em gramas de 1000 m de fio.

A unidade DTEX é um submúltiplo (décimo) do Tex onde o número apresentado é a massa em gramas de 10000 m de fio.

As unidades Nm e Ne fazem parte do sistema indireto e por definição Nm é a quantidade de metros necessária para se obter a massa de 1 g de fio e Ne é a quantidade de ranks necessária para se obter a massa de 1 libra (1 rank=840 jardas).

### 3.1.2 Medição do diâmetro dos fios

O diâmetro do fio é um dado muito importante para a determinação dos coeficientes de atrito principalmente do coeficiente de atrito transversal devido à influência do arraste aerodinâmico.

Para a medição dos diâmetros dos fios, foi utilizado um projetor de perfil da marca: Nikon e modelo: V-12B, sendo realizadas 5 medições para cada fio. A figura 3.10 mostra uma foto do equipamento em operação.

Os fios foram colocados na mesa de medição e submetidos à tensões nas duas extremidades simulando a tensão a que são submetidos nos ensaios. Quando não tracionados os filamentos que compõem os fios se acomodam e ocupam um espaço maior e portanto podem dar a impressão de um diâmetro maior. Quando foram utilizados dois fios, estes receberam um retorcimento manual com a finalidade de estarem próximos e apresentarem um comportamento semelhante à um único fio.

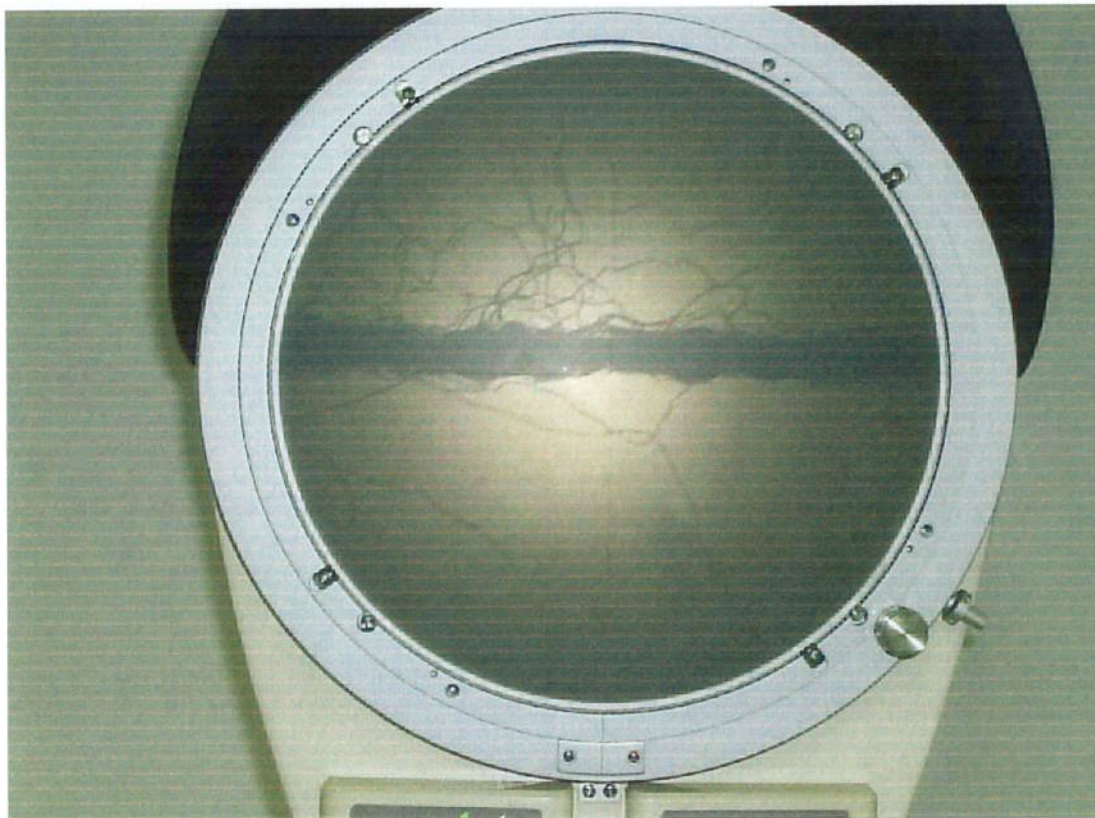
Após o posicionamento do fio na mesa de medição é necessário ajustar o foco e localizar o posicionamento da sua imagem no eixo de medição. Este posicionamento é feito na parte inferior da imagem do fio no eixo de medição e após estar em contato com o eixo o contador é zerado. Para deslocar a imagem da parte superior do fios sobre o eixo de medição é acionada

a manivela que desloca a mesa de medição. Neste ponto o valor demonstrado no visor digital indica o valor do diâmetro do fio, mostrando a distância entre o ponto inferior e superior do fio.

Os valores medidos são apresentados na tabela 5, assim como as médias e o coeficiente de variação.

Tabela 5- Diâmetros de fio medidos no projetor de perfil.

MEDIÇÕES	100% PAC	100%CO	100% PES	100%WO	50%PAC / CO
		2 fios	2 fios		
1	0.4030	0.3150	0.3350	0.2105	0.4939
2	0.3595	0.3395	0.2969	0.2035	0.4895
3	0.3810	0.3260	0.2950	0.1830	0.4825
4	0.4040	0.3285	0.3015	0.2080	0.4735
5	0.4065	0.3210	0.2980	0.2210	0.5255
média	0.3908	0.3260	0.3053	0.2052	0.4930
desv padrão	0.02028	0.00914	0.01678	0.01398	0.01975
cv %	5.2%	2.8%	5.5%	6.8%	4.0%



**Figura 3.10** Projetor de Perfil – projeção e medição dos diâmetros dos fios

## **3.2 Ensaio Capstan**

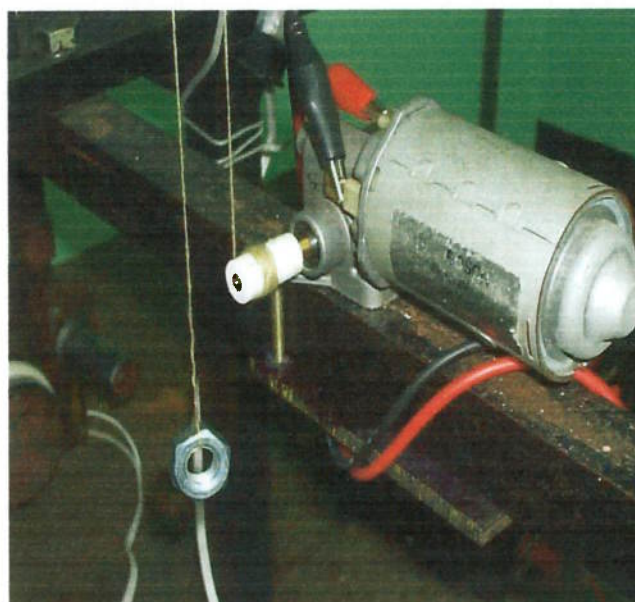
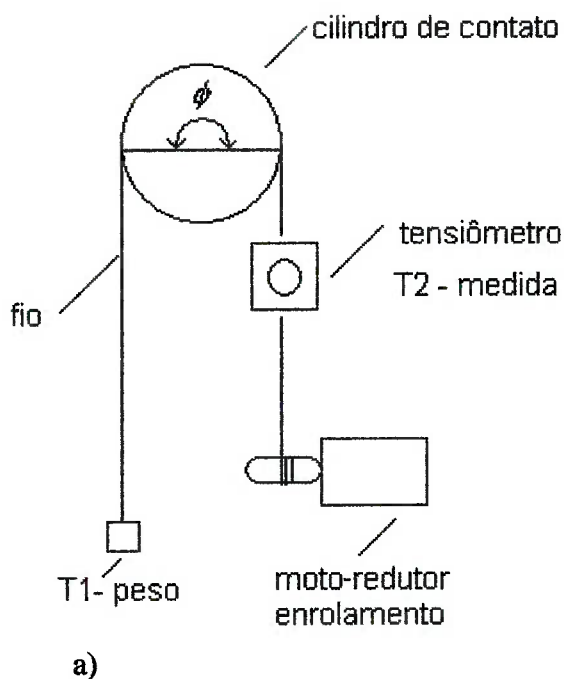
### **3.2.1 Descrição do Ensaio**

O ensaio mais conhecido para a determinação do coeficiente de atrito de fios têxteis é conhecido como “Capstan” e o procedimento para realização deste ensaio é padronizado pela norma ASTM D3108-95 denominada “ Método padronizado para o coeficiente de atrito, entre fios e material solido”. Neste trabalho foi construído um dispositivo para a execução desse ensaio. Esse ensaio foi utilizado para determinar o coeficiente de atrito longitudinal  $\mu_d$ .

### 3.2.2 Descrição dos Equipamentos

O dispositivo preparado para a execução do ensaio é composto por um moto redutor com uma polia para enrolamento do fio, um pino que faz o papel da superfície de atrito, um tensiômetro para medir a força trativa do fio à jusante do cilindro, e um conjunto de pesos utilizados para ajustar a tração fio à montante do cilindro. O moto-redutor utilizado é da marca Bosch, modelo AHP 12 V, e o tensiômetro é da marca Schmidt Walkraiburg modelo MK 2T20.

Durante o ensaio o fio teve uma extremidade enrolada na polia do moto-redutor e outra extremidade unida a pesos que foram utilizados para ajustar a tensão inicial ( $T_1$ ). Entre as duas extremidades o fio sobrepassa o pino de atrito e quando em movimento a tração de saída ( $T_2$ ) é medida pelo tensiômetro. A figura 3.7 apresenta o esquema do dispositivo e a foto do dispositivo em funcionamento.



**Figura 3.11** Dispositivo para a realização do ensaio Capstan  
a) Esquema do Dispositivo; b) Detalhe do enrolamento do fio durante ensaio

### 3.2.3 Descrição dos Procedimentos

Foram executadas 4 medições para cada fio sendo que em cada uma delas com tensão inicial  $T_1$  diferente, a tensão foi ajustada pela utilização de pesos diferentes.

Seguindo a recomendação da norma, os ensaios foram realizados utilizando um ângulo de contato de  $180^\circ$ , ou seja,  $\pi$  radianos e o pino de atrito foi construído com diâmetro de 0,5 in.

Para a coleta de dados  $T_2$ , foi medido com o tensiômetro posicionado manualmente no fio após o mesmo ter passado pelo cilindro de atrito.

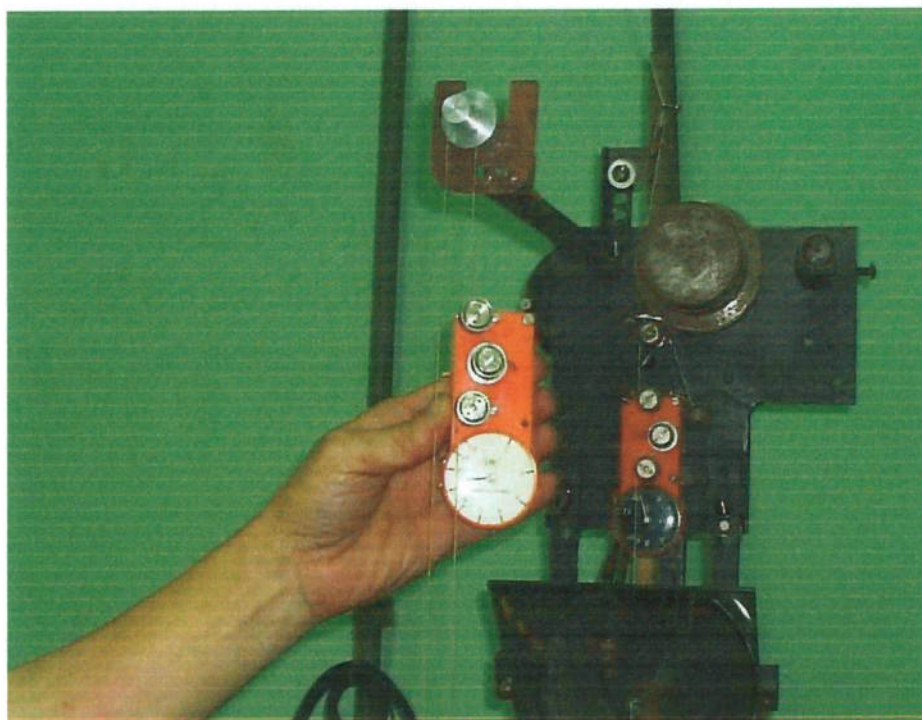


Figura 3.12 Medição dos valores de tensão 2 ( saída)

### 3.2.4 Valores Medidos

Os valores medidos são as tensões de saída ( $T_2$ ) para uma dada tensão de entrada ( $T_1$ ) para os diferentes fios. A tabela 6 apresenta os valores medidos no ensaio Capstan. O cálculo dos coeficientes de atrito é apresentado no capítulo 4.

Tabela 6- Valores de tensão medidos no ensaio Capstan

100%PAC	T <sub>1</sub> (gf)	T <sub>2</sub> (gf)
	2,58	5,70
	4,65	10,00
	10,40	22,00
	20,70	44,00

100%CO	T <sub>1</sub> (gf)	T <sub>2</sub> (gf)
	2,58	5
	4,65	11
	10,40	--*
	20,70	--

- Para o fio de algodão, não foi possível colher mais valores, pois durante o ensaio o fio rompeu quando foram aplicadas tensões maiores que 5 gf.

50%PAC 50%CO	T <sub>1</sub> (gf)	T <sub>2</sub> (gf)
	2,58	6,50
	4,65	11,00
	10,40	23,50
	20,70	46,00

100%PES	T <sub>1</sub> (gf)	T <sub>2</sub> (gf)
	2,58	6,50
	4,65	13
	10,40	27
	20,70	50

<b>100%WO</b>	<b>T<sub>1</sub> (gf)</b>	<b>T<sub>2</sub>(gf)</b>
	2,58	5,70
	4,65	10,00
	10,40	23,00
	20,70	55,00

### **3.3 Ensaio de Retorcimento**

#### **3.3.1 Descrição do Ensaio**

No ensaio de retorcimento foi feita a simulação do processo de retorcimento com limitador. Um dispositivo anteriormente construído foi utilizado para a realização desses ensaios. Os dados obtidos nesse ensaio são utilizados para a determinação do coeficiente de atrito transversal. O coeficiente de atrito entre o fio e o limitador cilíndrico é determinado pela solução de um sistema de equações não lineares que relacionam o formato do balão às variáveis de processo.

O formato do balão, depende das variáveis de velocidade angular do fuso, velocidade de alimentação do fio, tração inicial no fio, massa por unidade de comprimento do fio, diâmetro aparente do fio, altura do balão, diâmetro do cilindro limitador, raio final do balão, coeficiente de atrito entre o fio e a parede do cilindro limitador, aceleração da gravidade, densidade do ar e coeficiente de viscosidade dinâmica do ar.

#### **3.3.2 Descrição dos Equipamentos**

Foi utilizado para o experimento um dispositivo dotado de um fuso oco acionado eletricamente semelhante aos fusos utilizados em retorceiras comerciais.

No dispositivo de retorcimento o fio entra pela parte superior, é enrolado no rolo motorizado superior, passa pelo tensiômetro, passa pela guia de regulagem de altura, passa pelo olhal do fuso, atravessa o eixo do motor e é enrolado no rolo motorizado inferior. O dispositivo utilizado no ensaio foi idealizado por Marcicano, Tu e Rylander (2004), e foi utilizado na determinação do coeficiente de atrito transversal.

Além do fuso o dispositivo é dotado de um limitador cilíndrico de alumínio com diâmetro de 144 mm preparado com rugosidade superficial Ra de 1,104 verificada com rugosímetro da marca Taylor Hobson modelo Surtronic 3+ em cinco diferentes pontos da peça. O dispositivo possui também um espelho posicionado de forma a possibilitar o registro por método fotográfico da vista superior do balão. Para a obtenção das fotos da vista superior do balão foi utilizada uma máquina fotográfica digital marca Canon.

A figura 3.9 apresenta o esquema do dispositivo e a figura 3.10 apresenta a foto do dispositivo utilizado.

Os motores elétricos utilizados nos rolos tensores e de entrega e no fuso são do tipo universal e tem a sua rotação ajustada por três fontes de alimentação de corrente contínua uma para cada motor com ajuste de tensão elétrica. Este arranjo permite o ajuste da velocidade de alimentação do fio, a tensão do fio e a rotação do fuso.

A rotação do fuso é medida por um fototransistor que gera um sinal com um pulso a cada volta do fuso. Esse sinal é analisado em um osciloscópio digital onde o período de rotação foi determinado.

A tensão do fio foi medida por um tensiômetro mecânico marca Schmidt Walkraiburg modelo MK 2T20.



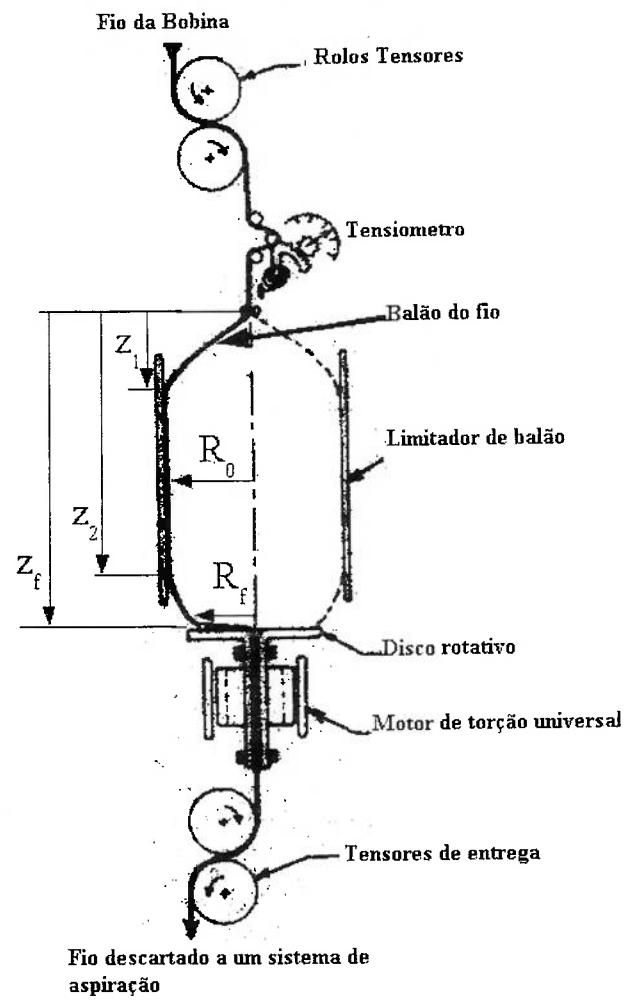


Figura 3.13 Esquema do dispositivo utilizado para o ensaio de retorcimento

Uma vez que o dispositivo foi ajustado, o período de rotação foi lido no osciloscópio e passou-se a tirar fotos da vista superior do balão e do mostrador do tensiômetro porque durante o ensaio a tensão do fio sofria variações. Para cada um dos fios foram tiradas cerca de 30 fotografias.

No início dos ensaios foram ajustadas e registradas: a altura do balão 249 mm e o raio final do balão 50mm.

Na Figura 3.11 é apresentada uma foto da vista superior do balão tirada da imagem refletida no espelho.

### 3.3.4 Valores medidos

Durante os ensaios de retorcimento foram registrados os períodos de rotação e as fotos da vista superior dos balões e do mostrador do tensiômetro. Outras variáveis como altura do balão, raio do limitador, raio final foram ajustadas e mantidas inalteradas e são apresentadas na tabela 7.

Nas fotografias com o programa Open Office no módulo gráfico foi determinado o parâmetro denominado ângulo final  $\theta_f$  que corresponde ao ângulo entre a linha tangente ao fio em  $z = 0$  e a linha que passa no centro e no olhal do fuso.

A Figura 3.11 mostra uma fotografia após a marcação das duas linhas usadas para determinar  $\theta_f$ . Após a traçagem das linhas o programa informa o ângulo de cada uma delas com relação a uma origem, calculando-se a diferença dos dois ângulos determina-se  $\theta_f$ .

Tabela 7- Valores da altura e raio final dos balões e diâmetro do limitador utilizados nos ensaios de retorcimento.

ALTURA DO BALÃO (MM)	249
Raio final do balão (mm)	50
Diâmetro do limitador (mm)	144



**Figura 3.15** Determinação do ângulo final do fio.

Os valores de tensão do fio foram lidos diretamente nas fotos pela observação do valor indicado no mostrador do tensiômetro. Este procedimento permite o registro da tensão correspondente ao formato do balão registrado na foto. Na figura 3.11, a tensão indicada para o balão é de 6,2 gf.

As Tabelas 8, 9, 10, 11 e 12 mostram os valores das tensões, ângulos das linhas auxiliares, ângulo final e períodos determinados para os diferentes fios e repetições.

Tabela 8- Valores das tensões e ângulos para o fio 100% PAC

100%PAC	PERÍODO DE ROTAÇÃO : 15.8 ms.			
número da foto	tensão (gf)	Ângulo linha tangente (graus)	ângulo linha centro-olhal (graus)	ângulo final (graus)
451	6.8	32	-101	133
456	6.9	109	-42	151
457	7.1	164	79	85
458	6.8	117	16	100
459	7.1	117	15	102
460	7.0	33	-17	50
461	6.8	100	34	67
464	7.4	160	62	98
465	7.0	235	155	80
467	6.5	151	32	119

Tabela 9- Valores das tensões e ângulos para o fio 50% PAC 50%CO

50%PAC 50%CO	PERÍODO DE ROTAÇÃO : 18.6 ms.			
número da foto	tensão (gf)	Ângulo linha tangente (graus)	ângulo linha centro-olhal (graus)	ângulo final (graus)
510	5.6	-110	-180	70
511	5.6	-11	-93	82
513	5.4	176	100	76
514	5.4	36	-26	62
515	5.2	67	-46	114
516	5.2	77	-10	87
520	5.7	171	117	53
521	5.4	-14	-90	75
524	5.4	12	-67	79
525	5.3	42	-34	76

Tabela 10- Valores das tensões e ângulos para o fio 100% PES

100%PES		PERÍODO DE ROTAÇÃO : 12.6 ms.		
número da foto	tensão (gf)	Ângulo linha tangente (graus)	ângulo linha centro-olhal (graus)	ângulo final (graus)
541	5.8	-14	-111	97
542	5.7	153	67	86
543	5.8	32	-64	96
544	5.7	-22	-120	98
546	5.8	186	87	98
547	5.6	-58	-163	106
548	5.7	179	79	100
550	5.8	145	34	111
553	6.4	254	179	75
554	5.8	146	46	100

Tabela 11- Valores das tensões e ângulos para o fio 100% CO

100%CO		PERÍODO DE ROTAÇÃO : 17.2 ms		
número da foto	tensão (gf)	Ângulo linha tangente (graus)	ângulo linha centro-olhal (graus)	ângulo final (graus)
637	5.5	183	122	61
638	5.2	248	173	75
639	5.8	26	-24	49
640	5.3	165	106	59
642	5.5	178	123	55
643	5.3	22	-43	65
644	5.5	105	55	49
645	5.0	250	175	75
646	5.5	113	59	54
648	5.4	149	87	61

Tabela 12- Valores das tensões e ângulos para o fio 100% WO

100%WO		PERÍODO DE ROTAÇÃO : 13.2 ms.		
número da foto	tensão (gf)	Ângulo linha tangente (graus)	ângulo linha centro-olhal (graus)	ângulo final (graus)
566	5.5	9	-54	62
567	5.4	43	-27	70
568	5.5	19	-61	81
569	5.2	-14	-113	100
570	5.9	-12	-104	92
571	6.0	213	156	57
572	5.5	49	-35	84
573	5.4	-123	-177	55
575	5.7	148	86	62
576	5.8	51	-16	66

## 4 CÁLCULO DOS COEFICIENTES DE ATRITO

### 4.1 Coeficiente de atrito longitudinal

O coeficiente de atrito longitudinal  $\mu_d$  foi calculado para os dados experimentais do ensaio Capstan. A equação 4.1 foi utilizada para calcular o valor do coeficiente de atrito longitudinal. As tabelas 13,14,15,16 e 17 apresentam os valores calculados dos coeficientes de atrito longitudinal em função das tensões trativas  $T_1$  e  $T_2$  para os diferentes fios.

$$\mu_d = \frac{\ln(T_2/T_1)}{\phi} \quad (4.1)$$

Onde:

$T_1$  é a tensão de entrada do fio, em mN ou gf

$T_2$  é a tensão de saída do fio, em mN ou gf

$\phi$  é o ângulo de contato, em radianos

Tabela 13- Valores do coeficiente de atrito longitudinal para o fio 100%PAC

100%PAC	$T_1$ (gf)	$T_2$ (gf)	$\mu_d$
	2.58	5.70	0.2523
	4.65	10.00	0.2437
	10.40	22.00	0.2385
	20.70	44.00	0.2400
valor médio			0.2436
desvio padrão			0.0062

Tabela 14- Valores do coeficiente de atrito longitudinal para o fio 100%CO

<b>100%CO</b>	<b>T<sub>1</sub> (gf)</b>	<b>T<sub>2</sub> (gf)</b>	<b><math>\mu_d</math></b>
	2.58	5	0.2106
	4.65	11	0.2741
	10.40	--	
	20.70	--	--
Média			0.2423
desvio padrão			0.0449

Tabela 15- Valores do coeficiente de atrito longitudinal para o fio 50%PAC 50%CO

<b>50%PAC 50%CO</b>	<b>T<sub>1</sub> (gf)</b>	<b>T<sub>2</sub> (gf)</b>	<b><math>\mu_d</math></b>
	2.58	6.50	0.2941
	4.65	11.00	0.2741
	10.40	23.50	0.2595
	20.70	46.00	0.2542
média			0.2705
desvio padrão			0.0179

Tabela 16- Valores do coeficiente de atrito longitudinal para o fio 100%PES

<b>100%PES</b>	<b>T<sub>1</sub> (gf)</b>	<b>T<sub>2</sub> (gf)</b>	<b><math>\mu_d</math></b>
	2.58	6.50	0.2941
	4.65	13	0.3272
	10.40	27	0.3037
	20.70	50	0.2807
média			0.3014
desvio padrão			0.0196



Tabela 17- Valores do coeficiente de atrito longitudinal para o fio 100%WO

100%WO	T <sub>1</sub> (gf)	T <sub>2</sub> (gf)	$\mu_d$
	2.58	5.70	0.2523
	4.65	10.00	0.2437
	10.40	23.00	0.2526
	20.70	55.00	0.3111
média			0.2649
desvio padrão			0.0310

#### 4.2 Coeficiente de atrito transversal

Os coeficientes de atrito transversais foram calculados com o auxílio de um programa de computador denominado CORDANI. Este programa calcula o coeficiente de atrito resolvendo por método numérico o sistema de equações diferenciais não lineares. O sistema de equações é formado pela equação de movimento do fio e pela equação constitutiva do fio. O modelo matemático do balão é apresentado no anexo 1.

Os dados de entrada do programa correspondem às variáveis do modelo adimensionalizadas, condições de contorno e parâmetros de controle do programa. A utilização de adimensionais foi feita para minimizar problemas de precisão numérica nos cálculos. A impressão dos arquivos com os dados de entrada e valores calculados pelo programa são apresentados no anexo 2.

Os adimensionais utilizados pelo programa são:

- a altura do balão  $Z_f$ ;
- a tensão do fio no topo do balão  $T_0$ ;
- o raio do balão na base  $R_f$  e;

– o arraste aerodinâmico  $p_0$

O adimensional da altura do balão foi calculado pela equação:

$$Z_f = z_f / R_0 \quad (4.2)$$

Onde  $z_f$  é a altura do balão e  $R_0$  o raio do limitador cilíndrico.

O adimensional da tensão no fio foi calculado pela equação .:

$$T_o = T_o / m \omega^2 R_0^2 \quad (4.3)$$

Na equação 4.3,  $T_0$  é a tensão do fio no topo do balão,  $m$  a densidade linear do fio,  $\omega$  a velocidade angular do fio e  $R_0$  o raio do limitador cilíndrico. A velocidade angular é calculada pela equação 4.4.

$$\omega = 2 \pi / T \quad (4.4)$$

Na equação 4.4  $T$  é o período de rotação.

O raio na base do balão adimensionalizado foi calculado por:

$$R_f = r_f / R_0. \quad (4.5)$$

Onde  $r_f$  é o raio do balão na base e  $R_0$  o raio do limitador cilíndrico.

O adimensional de arraste aerodinâmico  $p_0$  foi calculado pela equação 4.6:

$$p_0 = 8 R_0 C_d \rho D / m \quad (4.6)$$

Na equação 4.6  $C_d$  é o coeficiente de arrasto aerodinâmico,  $R_0$  o raio do limitador cilíndrico,  $\rho$  é a densidade do ar,  $D$  o diâmetro do fio e  $m$  a densidade linear do fio. O coeficiente de arrasto aerodinâmico depende do número de Reynolds  $Re$  que foi calculado com a equação 4.7.

$$Re = \rho V D / \mu \quad (4.7)$$

Na equação 4.7.  $\rho$  é a densidade do ar na temperatura e altitude onde foi realizado o ensaio,  $V$  é a velocidade de arrasto que foi estimada como  $\omega R_0$ ,  $D$  o diâmetro do fio e  $\mu$  é a viscosidade cinemática do ar. Na temperatura e altitude em que foi realizado o ensaio, as tabelas de propriedades do ar indicam o valor de  $1,225 \text{ kg/m}^3$  para a densidade e de  $2.10^{-5} \text{ N.s/m}^2$  para  $\mu$ .

O ângulo do fio na base do balão  $\theta_f$  foi determinado nas fotografias e também foi utilizado na determinação do coeficiente de atrito transversal.

Os valores dos adimensionais correspondentes aos dados dos ensaios de retorcimento são apresentados nas Tabelas 18,19,20,21 e 22.

O programa calcula o coeficiente de atrito de modo iterativo partindo de um valor tentativa do coeficiente de atrito que é ajustado pelo algoritmo de Newton-Raphson até que o ângulo final do balão calculado coincida com o ângulo final do balão medido no ensaio.

Os valores dos coeficientes de atrito transversal  $\mu_t$  calculados com os dados dos ensaios de retorcimento são apresentados nas Tabelas 23,24,25,26 e 27.

Tabela 18- Valores adimensionais das condições de ensaio para o fio 100% PAC

ensaio	$T_0$	hf	rf	p0	tf	Re	Cn
451	1.300601994	3.458333	0.694444	4.411976	-2.32792	685.356	1
456	1.319728494	3.458333	0.694444	4.411976	-3.403392	685.356	1
457	1.357981493	3.458333	0.694444	4.411976	-1.492082	685.356	1
458	1.300601994	3.458333	0.694444	4.411976	-1.752311	685.356	1
459	1.357981493	3.458333	0.694444	4.411976	-1.778316	685.356	1
460	1.338854993	3.458333	0.694444	4.411976	-1.919862	685.356	1
461	1.300601994	3.458333	0.694444	4.411976	-2.094395	685.356	1
464	1.415360993	3.458333	0.694444	4.411976	-1.708852	685.356	1
465	1.338854993	3.458333	0.694444	4.411976	-1.37881	685.356	1
467	1.243222494	3.458333	0.694444	4.411976	-2.07764	685.356	1

Tabela 19- Valores adimensionais das condições de ensaio para o fio 50% PAC 50% CO

ensaio	T <sub>0</sub>	hf	rf	p0	tf	Re	Cn
510	1.390879249	3.458333	0.694444	5.215093	-1.216494	734.404	1
511	1.390879249	3.458333	0.694444	5.215093	-1.427156	734.404	1
513	1.34120499	3.458333	0.694444	5.215093	-1.328894	734.404	1
514	1.34120499	3.458333	0.694444	5.215093	-1.088213	734.404	1
515	1.291530731	3.458333	0.694444	5.215093	-1.981123	734.404	1
516	1.291530731	3.458333	0.694444	5.215093	-1.512502	734.404	1
520	1.415716378	3.458333	0.694444	5.215093	-0.933402	734.404	1
521	1.34120499	3.458333	0.694444	5.215093	-1.317375	734.404	1
524	1.34120499	3.458333	0.694444	5.215093	-1.380032	734.404	1
525	1.31636786	3.458333	0.694444	5.215093	-1.325054	734.404	1

Tabela 20- Valores adimensionais das condições de ensaio para o fio 100% CO

ensaio	T <sub>0</sub>	hf	rf	p0	tf	Re	Cn
637	1.947874347	3.458333	0.694444	5.75064	-1.064651	525.179	1
638	1.841626655	3.458333	0.694444	5.75064	-1.312488	525.179	1
639	2.054122039	3.458333	0.694444	5.75064	-0.862367	525.179	1
640	1.877042553	3.458333	0.694444	5.75064	-1.027999	525.179	1
642	1.947874347	3.458333	0.694444	5.75064	-0.959931	525.179	1
643	1.877042553	3.458333	0.694444	5.75064	-1.125737	525.179	1
644	1.947874347	3.458333	0.694444	5.75064	-0.858702	525.179	1
645	1.770794861	3.458333	0.694444	5.75064	-1.306379	525.179	1
646	1.947874347	3.458333	0.694444	5.75064	-0.949459	525.179	1
648	1.91245845	3.458333	0.694444	5.75064	-1.070759	525.179	1

Tabela 21- Valores adimensionais das condições de ensaio para o fio 100% PES

ensaio	T <sub>0</sub>	hf	rf	p <sub>0</sub>	tf	Re	Cn
541	1.36177039	3.458333	0.694444	6.154848	-1.691573	645.764	1
542	1.33829159	3.458333	0.694444	6.154848	-1.497842	645.764	1
543	1.36177039	3.458333	0.694444	6.154848	-1.680752	645.764	1
544	1.33829159	3.458333	0.694444	6.154848	-1.713739	645.764	1
546	1.36177039	3.458333	0.694444	6.154848	-1.718451	645.764	1
547	1.31481279	3.458333	0.694444	6.154848	-1.846558	645.764	1
548	1.33829159	3.458333	0.694444	6.154848	-1.748994	645.764	1
550	1.36177039	3.458333	0.694444	6.154848	-1.942551	645.764	1
553	1.502643189	3.458333	0.694444	6.154848	-1.308997	645.764	1
554	1.36177039	3.458333	0.694444	6.154848	-1.739046	645.764	1

Tabela 22- Valores adimensionais das condições de ensaio para o fio 100% WO

ensaio	T <sub>0</sub>	hf	rf	p <sub>0</sub>	tf	Re	Cn
566	1.835574	3.458333	0.694444	5.791565	-1.089085	430.7466	1
567	1.8022	3.458333	0.694444	5.791565	-1.226443	430.7466	1
568	1.835574	3.458333	0.694444	5.791565	-1.408481	430.7466	1
569	1.735452	3.458333	0.694444	5.791565	-1.738348	430.7466	1
570	1.96907	3.458333	0.694444	5.791565	-1.608845	430.7466	1
571	2.002444	3.458333	0.694444	5.791565	-0.989776	430.7466	1
572	1.835574	3.458333	0.694444	5.791565	-1.470265	430.7466	1
573	1.8022	3.458333	0.694444	5.791565	-0.953997	430.7466	1
575	1.902322	3.458333	0.694444	5.791565	-1.079312	430.7466	1
576	1.935696	3.458333	0.694444	5.791565	-1.15855	430.7466	1

TABELA 23- Valores dos coeficientes de atrito transversal calculados para o fio 100 %PAC

100 %PAC	ENSAIO	$\mu_t$
	451	--
	452	--
	457	0.2850
	458	0.3190
	459	0.3860
	460	0.4090
	461	0.4070
	464	0.4300
	465	0.2290
	467	0.5530
	valor médio	0.3773
desvio padrão		0.0997

Tabela 24- Valores dos coeficientes de atrito transversal calculados para o fio 50%PAC 50%CO

50%PAC 50%CO	ENSAIO	$\mu_t$
	510	0.1430
	511	0.2230
	513	0.1560
	514	--
	515	--
	516	--
	520	--
	521	0.1520
	524	0.1730
	525	0.1410
	média	0.1647
desvio padrão		0.0308

Tabela 25- Valores dos coeficientes de atrito transversal calculados para o fio 100%CO

100%CO	ENSAIO	$\mu_t$
	637	0.5170
	638	0.6760
	639	0.3240
	640	0.3430
	642	0.3430
	643	0.4750
	644	0.1930
	645	0.5070
	646	0.3270
	648	0.4580
	média	0.4163
desvio padrão		0.1367

Tabela 26-  
100%PES

Valores dos coeficientes de atrito transversal calculados para o fio

100%PES	ENSAIO	$\mu_t$
	541	0.2130
	542	0.1410
	543	0.2100
	544	0.2030
	546	0.2200
	547	--
	548	0.2120
	550	0.2720
	553	0.1670
	554	0.2260
	média	0.2071
desvio padrão		0.0367

Tabela 27- Valores dos coeficientes de atrito transversal calculados para o fio 100%WO

100%WO	ENSAIO	$\mu_t$
	566	0.3350
	567	0.4650
	568	0.8100
	569	0.9840
	570	--
	571	0.4780
	572	0.9350
	573	0.1780
	575	0.4430
	576	0.6520
	média	0.5867
desvio padrão		0.2763



## 5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Para facilitar a análise dos resultados foi preparada a Tabela 28. Nesta são apresentados lado a lado os valores médios e os respectivos desvios padrões dos coeficientes de atrito transversal e longitudinal calculados para os diferentes fios ensaiados.

Tabela 28- Valores médios dos coeficientes de atrito

FIO	TÍTULO TEX	$\mu_d$	DESVIO PADRÃO $\mu_d$	$\mu_t$	DESVIO PADRÃO $\mu_t$	$(\mu_t - \mu_d) / \mu_d$
100%wo	25	0.27	0.03	0.59	0.28	121
100%pes	35	0.30	0.02	0.21	0.04	-31
100%co	40	0.24	0.05	0.42	0.14	72
100%pac	63	0.24	0.01	0.38	0.10	55
50%pac50%co	67	0.27	0.02	0.16	0.03	-39

Pela análise dos desvios padrões verifica-se que os resultados experimentais de forma geral apresentam uma grande dispersão, o coeficiente de variação vai de 4 a 21% nos ensaios Capstan e de 19 a 47% nos ensaios de retorcimento. Apesar dessas dispersões elevadas verificou-se que mesmo aumentando-se a quantidade de amostras não houve ganho significativo. A causa da dispersão provavelmente está relacionada à natureza irregular de alguns dos fios ensaiados e a fenômenos de natureza dinâmica que não são considerados no modelo teórico do balão e também não são registrados pelo tensiômetro mecânico.

A comparação dos coeficientes de atrito determinados neste trabalho com resultados de outros autores deve ser feita com critério, já que o coeficiente de atrito mesmo o longitudinal que já foi bastante explorado depende de diversos parâmetros. Como referência Morton (1975) determinou o coeficiente de atrito longitudinal para o 100%CO sobre guias de aço vale 0,29.

Nesse trabalho foi determinado o valor de 0,24 do 100%CO sobre guia de alumínio. A diferença de 17% apesar de grande pode ser considerada aceitável dadas as diferenças nas condições de ensaio. No caso do 100%PES (poliéster), Robins (1988) determinou o valor de 0,23 a 0,30 para o coeficiente de atrito longitudinal para guia de aço inoxidável com velocidade relativa de 1 m/min, no trabalho foi determinado o valor de 0,30, portanto compatível com o de Robins.

Na comparação dos resultados dos ensaios Capstan e de retorcimento deve-se levar em conta que em ambos foram utilizados os mesmos fios e as superfícies de atrito são do mesmo material e com acabamento semelhante que foi obtido por lixamento. As diferenças estão na direção de movimento, na velocidade e na introdução de torções no fio, sabe-se que dependendo do tipo de fio a velocidade relativa e a direção de movimento exercem forte influência no coeficiente de atrito.

No ensaio Capstan a velocidade relativa entre o fio e a superfície do pino de atrito foi de cerca de 1 m/min enquanto que no retorcimento a velocidade relativa foi de aproximadamente 1800 m/min. Para as fibras sintéticas (100%PES e 100%PAC) espera-se um aumento do coeficiente de atrito com a velocidade. No caso do 100%PAC esse efeito foi observado e no 100%PES o efeito foi oposto, o coeficiente de atrito diminuiu. No caso do 100%PES a diminuição do coeficiente de atrito pode ser explicada pelo torcimento do fio que no ensaio Capstan não existia e no de retorcimento o fio foi retorcido durante o ensaio, e como foi visto com o aumento do grau de retorcimento o coeficiente de atrito diminui.

No caso dos fios 100%WO e 100%CO o coeficiente de atrito transversal foi maior que o longitudinal provavelmente por causa da parcela do arraste aerodinâmico do fio em contato com a parede que é desprezada no modelo do balão. Esta parcela que é desprezada é creditada ao atrito aumentando o seu valor. O arraste aerodinâmico do fio em contato com a parede não foi introduzido no modelo devido à dificuldade de se encontrar os valores dos coeficientes

para esta geometria de escoamento. O ideal seria desenvolver um método experimental para determinar o coeficiente de arraste do fio em contato com a parede. O cálculo dos coeficientes de atrito transversal de todos os fios foram afetados mas, provavelmente os mais afetados foram o 100%WO e 100%CO por suas irregularidades que podem ser observadas nas figuras 3.3 e 3.5. No caso desses dois fios seria interessante em trabalhos futuros determinar o coeficiente de arrasto aerodinâmico até mesmo para o fio livre, porque devido a pilosidade desses fios pode-se introduzir erros na estimativa do coeficiente de arraste e afetar a determinação do coeficiente de atrito.

O valor do coeficiente de atrito transversal do fio 50%PAC50%CO é menor que o coeficiente de atrito longitudinal, pela sua composição PAC e CO esperava-se um comportamento semelhante a das fibras que lhe deram origem e nestas o coeficiente aumentou, a diminuição pode ser explicada pelo grau de retorcimento de 136 torções/m que era um dos menores como mostrado na tabela 1.

A Figura 5.1 apresenta o gráfico comparativo dos valores médios dos coeficientes de atrito longitudinal e transversal e os respectivos intervalos de confiança dos diferentes fios avaliados. Os intervalos de confiança foram calculados com 99,75% de confiança. Foi considerado que os valores seguem uma distribuição normal apesar do número reduzido de amostras (4 para o longitudinal e 10 para o transversal).

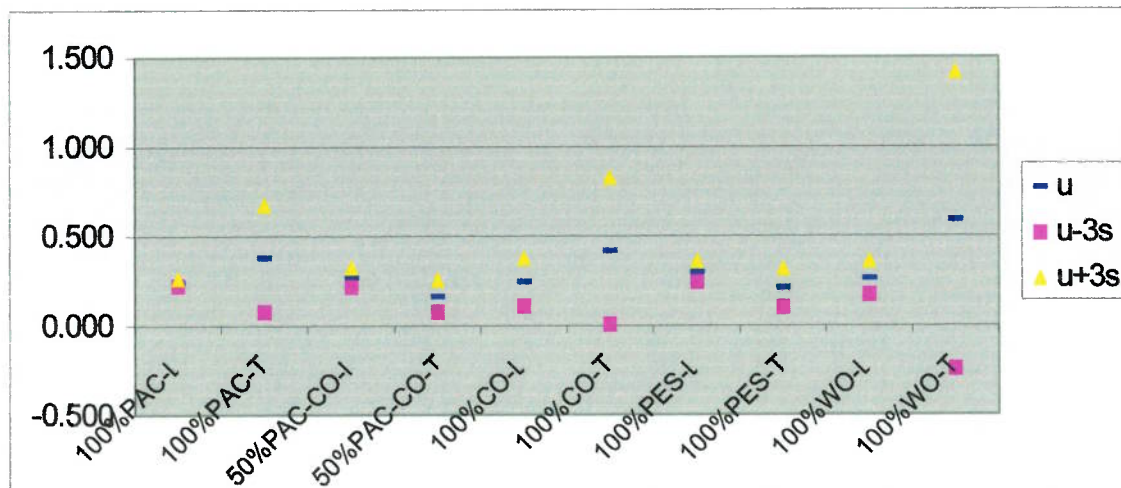


Figura 5.1 Coeficientes de atrito longitudinais e transversais

Pela análise dos resultados apresentados na Figura 5.1 pode-se dizer que o coeficiente de atrito longitudinal é diferente do transversal somente para os fios 50%PAC50%CO e 100%PES, para os demais devido a intersecção dos intervalos de confiança tal afirmativa pode ser feita considerando o grau de confiança de se afirmar que  $\mu_d \neq \mu_t$ . Os intervalos de confiança são apresentados na tabela 29, nesta tabela o L após a designação do fio significa que o resultado se refere ao coeficiente de atrito longitudinal e T se refere ao transversal. Esta análise deve ser aprofundada já que as velocidades relativas foram diferentes.

A comparação dos valores dos coeficientes de atrito longitudinal entre os fios ensaiados pode ser feita considerando-se inicialmente a composição química, os parâmetros do fio, das fibras e parâmetros de processamento. Como não foram utilizados fios de mesma composição e com parâmetros diferentes a análise da influência dos parâmetros do fio e de processamento no coeficiente de atrito não pode ser feita.

Tabela 29- Intervalos de confiança dos coeficientes de atritos calculados.

FIO	$\mu$	$\mu-3\sigma$	$\mu+3\sigma$	$\sigma$
100%PAC-L	0.244	0.2254	0.2626	0.0062
100%PAC-T	0.377	0.0782	0.6764	0.0997
50%PAC-CO-L	0.271	0.2173	0.3247	0.0179
50%PAC-CO-T	0.165	0.0723	0.2571	0.0308
100%CO-L	0.242	0.1073	0.3767	0.0449
100%CO-T	0.416	0.0062	0.8264	0.1367
100%PES-L	0.301	0.2422	0.3598	0.0196
100%PES-T	0.207	0.097	0.3172	0.0367
100%WO-L	0.265	0.1719	0.3581	0.0310
100%WO-T	0.587	-0.242	1.4156	0.2763

## 6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Analisando-se os resultados obtidos no trabalho pode-se concluir:

- O coeficiente de atrito transversal pode ser determinado pelo ensaio de retorcimento que simula de modo mais realístico as operações reais de retorcimento.
- Foi verificado que o coeficiente de atrito transversal determinado no ensaio de retorcimento é diferente do coeficiente de atrito longitudinal que normalmente é determinado no ensaio Capstan.
- O dispositivo e o método de ensaio de retorcimento precisam ser revistos para diminuir as variações que foram verificadas.
- Foi verificado na revisão da literatura e parcialmente nos ensaios executados que o atrito dos fios têxteis é influenciados por muitos fatores e por isso seria interessante a determinação em campo do coeficiente de atrito nas condições de processamento. O método utilizado no ensaio de retorcimento pode ser utilizado em retorceiras no chão de fábrica pela adaptação de um espelho para a obtenção da vista superior do balão ou sensores para determinar a variação angular do balão.

Em trabalhos futuros pode-se explorar:

- A análise da influência dos parâmetros do fio como grau de retorcimento e densidade linear e velocidade relativa no coeficiente de atrito transversal.
- Determinação dos coeficientes de arraste aerodinâmico do fio em contato com a parede do limitador.
- Utilização de sensores para determinação do ângulo total do balão.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASTM, 2003. **D3108-01** Standard Test Method for Coefficient of Friction, Yarn to Solid Material, *Annual Book of ASTM Standards*, **07.01**

**(ARAUJO,1986)** ARAUJO, M.; MELLO, E. M. **Manual de engenharia têxtil**. Lisboa: F. Calouste Gulbenkian, 1986. P. 1-281.

**(BARR,1965)** BARR,A.E.; CATLING,H. **The Principles and Theory of Ring Spinning**. The Textile Institute and Butterworth & Co Publishers Ltd, volume 5, 1965.

**(CARMINATI,1960)** CARMINATI, C. **Il Filatore di cotone** :guida completa da uso dei dirigenti e tecnici . Milano:Ulrico Hoepli, 1960 1043 p.

**(FRASER,1993a)** FRASER,W.B. On the dynamics of the two-for one twister.**Proc.Royal Soc. London**, London , A447, p. 409-425, 1993.

**(FRASER,1993b)** FRASER,W.B. On the theory of ring spinning. Phil.Trans. **Proc. Royal Soc. London**, London , p. 439-4468, 1993.

**(FRASER,1993c)** FRASER,W.B. Air Drag and Friction in the Two-for-One Twister: Results from the Theory, **J.Text.Inst**, London , V 84, no 3, 1993.

**(HANNAH,1955)** HANNAH.M. Applications of a theory of Spinning Balloon, Part I, **J.Text.Inst.**, London v.46, p. T1-T16, 1955.

**(HONG,2003)** HONG, J.;JAYARAMAN,S. Friction in Textiles,**Textile Progress**,v.34, p.1-35, 2003.

**(HOWELL,1953)** HOWELL H.G., MAZUR J. Amontons' Law and Fibre Friction **J.Text.Inst.**, London, p. T59 – T69, fev 1953.

**(HOWELL,1959)** HOWELL H.G; MIESZKIS,K.W.;TABOR,D. **Friction in Textiles** The Textile Institute, 1959. 263 p.

**(KOTHARI,1979a)** KOTHARI,V.K. ; LEAF,G.A.V. The Unwinding of Yarns from Packages Part IV: TWO-FOR-ONE Twisting: The Storage Disc and Balloon. **J.Text.Inst**, London , no 5, p. 184-192, 1979.

**(KOTHARI,1979b)** KOTHARI,V.K. ; LEAF,G.A.V. . The Unwinding of Yarns from Packages Part V: TWO-FOR-ONE Twisting: Before the Storage Disc. **J.Text.Inst**,London, No 5,p. 184-192, 1979.

**(LINZ,1972)** LINZ, H. **The Problem of Interplay between Yarn on Yarn Guide Elements on High Speed Textile Machines**. Melliand: Textilberichte (English Edition) 1972 p 481-485.

**(MARCICANO,2000)** MARCICANO, J.P.P. **Formato e Estabilidade do Balão Têxtil no Processo de Torção “Dois por Um” Descendente**. 2000,147 f. Dissertação (Doutorado em Engenharia Mecânica) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo., São Paulo, 2000.

**(MARCICANO,2004)** MARCICANO, J.P.P; TU, C.C.;RYLANDER H.G. Measurement of the Transverse Yarn-on-solid Coefficient of Friction , **J.Text.Inst.**, London,nº1-6, 2005,95.

**(MORTON,1975)** MORTON W.E.; HEARLE J.W.S., **Physical Properties of Textile Fibres**, London: The Textile Institute, 1975 , p. 611-641.

**(RAMKUMAR,2003)** RAMKUMAR, S.S. Experimental study of the frictional properties of friction spun yarns; **J.Applied Polymer Science**, v. 88;.p 2450-2454 , 2003.

**(RAMKUMAR,2003)** RAMKUMAR, S.S. **Method for determining the frictional properties of materials”** disponível em <<http://164.195.100.11/netacgi>> , acesso dia 28 de Julho de 2003.

**(RIBEIRO,1984)** RIBEIRO, L. G. **Introdução à tecnologia têxtil** - Rio de Janeiro: SENAI/CETIQT, 1984.V1, 214 p.

**(ROBINS,1988)** ROBINS, M.M; ARNELL, R.D. The friction of polyester staple fibres the effects of speed, processing, spin finish, humidity and counterface-surface roughness, **J.Text.Inst**,London, no1,p.126-139.

**(SCHICK,1980)** SCHICK, M. J. Friction and Lubrication of Synthetic Fibers. **Textile Research Journal** , London, p. 675-678, 1980.



## 8 ANEXOS

### 8.1 ANEXO 1 - MODELO DO BALÃO

O método mais simples para deduzir as equações do balão é usar um sistema rotativo em coordenadas cilíndricas. A velocidade de rotação do sistema de coordenadas, na direção do eixo  $z$ , é feita para coincidir com  $\omega_0$ , a velocidade do fuso e do disco. Desta maneira, o balão permanecerá estacionário para um observador rodando com o sistema de coordenadas cilíndricas.

A equação em coordenadas cartesianas de equilíbrio de um fio num campo estático pode ser deduzido de acordo com o esquemático mostrado na Figura 8.1.

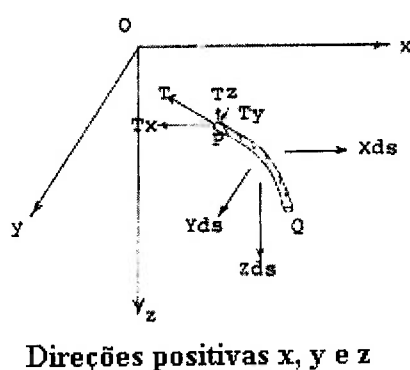


Figura 8.1 Forças em um pedaço de fio  $ds$  e ponto P.

Sejam  $T_x, T_y$  e  $T_z$  os componentes da tensão resultante,  $T$ , no ponto P. Como o fio pode ser admitido como infinitamente flexível, a resultante tem a direção do fio, essas componentes estão relacionados com  $T$  pelos cossenos diretores  $\cos \alpha_x = \frac{dx}{ds}$ ,  $\cos \alpha_y = \frac{dy}{ds}$ ,  $\cos \alpha_z = \frac{dz}{ds}$ . Para um segmento pequeno com comprimento,  $\Delta s$ , usando a expansão de Taylor e desprezando os termos superiores, o componente na direção  $x$  da tensão no ponto Q será:

$$T_x + \frac{dT_x}{ds} \Delta s \quad (8.1)$$

Somando as forças na direção x, resulta:

$$T_x + \frac{dT_x}{ds} \Delta s - T_x + X \Delta s = 0 \quad \text{ou} \quad \frac{dT_x}{ds} + X = 0 \quad (8.2)$$

onde  $X$  é a resultante das forças externas na direção x aplicado ao fio por unidade de comprimento. Analogamente, as equações de equilíbrio nas direções y e z podem ser deduzidas resultando no seguinte conjunto de equações:

$$\frac{dT_x}{ds} + X = 0 \quad T_x = T \frac{dx}{ds} \quad (8.3)$$

$$\frac{dT_y}{ds} + Y = 0 \quad T_y = T \frac{dy}{ds} \quad (8.4)$$

$$\frac{dT_z}{ds} + Z = 0 \quad T_z = T \frac{dz}{ds} \quad (8.5)$$

As equações de equilíbrio em coordenadas cilíndricas, por sua vez, podem ser obtidas usando as relações:

$$x = r \cos \theta$$

$$y = r \sin \theta$$

$$\frac{dx}{ds} = \cos \theta \frac{dr}{ds} - r \sin \theta \frac{d\theta}{ds} \quad (6) \quad \frac{dy}{ds} = \sin \theta \frac{dr}{ds} + r \cos \theta \frac{d\theta}{ds} \quad (8.7)$$

As equações de movimento em coordenadas cilíndricas resultam:

$$\frac{d}{ds} \left( T \frac{dr}{ds} \right) - T \cdot r \left( \frac{d\theta}{ds} \right)^2 + P = 0 \quad (8.8)$$

$$\frac{d}{ds} \left( T \cdot r \frac{d\theta}{ds} \right) + T \frac{dr}{ds} \frac{d\theta}{ds} + Q = 0 \quad (8.9)$$

$$\frac{d}{ds} \left( T \frac{dz}{ds} \right) = 0 \quad (8.10)$$

onde P e Q são as forças externas (por unidade de comprimento) nas direções radial e circunferencial respectivamente. Usando a condição de inextensibilidade e definindo as

componentes de  $T$  como  $T_r, T_\theta, T_z$ , nas direções  $r, \theta, z$  respectivamente a seguinte relação é obtida:

$$T^2 \left\{ \left( \frac{dr}{ds} \right)^2 + \left( r \frac{d\theta}{ds} \right)^2 + \left( \frac{dz}{ds} \right)^2 \right\} = T^2 \quad (8.11)$$

ou 
$$T_r^2 + T_\theta^2 + T_z^2 = T^2.$$

A equação (8.10) pode ser facilmente integrada uma vez para obter  $dz/ds = T_{z0}/T$  onde  $T_{z0}$  é um constante. Usando-se as regras de diferenciais implícitas e rearranjando os termos, as equações acima podem ser transformadas no seguinte conjunto de equações (8.12) ordinárias de primeira ordem (EDO's) em  $z$ :

$$\frac{dr}{dz} = \dot{r} = \frac{T_r}{T_{z0}} \quad \frac{d\theta}{dz} = \dot{\theta} = \frac{1}{r} \frac{T_\theta}{T_{z0}} \quad (8.12)$$

$$\frac{dT_r}{dz} = \dot{T}_r = \frac{T_\theta}{r} \frac{T_\theta}{T_{z0}} - P \cdot \frac{T}{T_{z0}} \quad \frac{dT_\theta}{dz} = \dot{T}_\theta = -\frac{T_r}{r} \frac{T_\theta}{T_{z0}} - Q \cdot \frac{T}{T_{z0}}$$

A velocidade de alimentação do fio é geralmente baixa e, portanto, a aceleração de Coriolis pode ser admitida desprezível. Também, usualmente o fio não é muito inclinado durante sua passagem através do balão e o arrasto aerodinâmico pode ser admitido como atuando somente na direção circunferencial. Portanto, o fio pode ser considerado como um cilindro vertical (Hannah, 1955). Para a porção do fio que não toca o limite do cilindro (i.e. arco livre), as forças externas são os seguintes:

$$P = m\omega^2 r \quad (8.13) \quad Q = -\frac{1}{2} C_d D \rho (\omega r)^2 \quad (8.14)$$

onde  $m$  é a massa do fio por unidade de comprimento,  $C_d$  é o coeficiente de arrasto aerodinâmico na maior velocidade transversal (ou  $\omega R_0$ ) do fio,  $\rho$  é a densidade do ar e  $D$  é o diâmetro equivalente (De Barr e Catling, 1965).

Entre  $z_1$  e  $z_2$  o fio se arrasta na superfície interna do cilindro e, portanto,  $r = R_0$  para esta porção (ou arco) do balão. Conseqüentemente pelas equações acima e a definição de  $T_r$ ,  $\dot{r} = \dot{T}_r = 0$ ,  $P = T_\theta^2 / (T \cdot R_0)$ , e  $T_r = 0$  para este arco do balão. Também, a força resultante na direção radial é agora  $P = m\omega^2 R_0 - N_r$  onde  $N_r$  é a componente normal da ação da parede no fio deslizante. Pela lei de Amonton, a força de arrasto tangencial resultante é agora somente  $Q = -\mu N_r$ . Na ausência de forças impulsivas,  $T_r, T_\theta, T_z$  são também contínuas no ponto onde se junta os arcos livres e o arco que desliza na superfície do limitador. Obtém-se dois modelos:

**a) Para os dois arcos livres**

$$\dot{r} = \frac{T_r}{T_{z0}} \quad (8.15)$$

$$\dot{\theta} = \frac{T_\theta}{rT_{z0}} \quad (8.16)$$

$$\dot{T}_r = \frac{T_\theta^2}{rT_{z0}} - m\omega^2 r \frac{T}{T_{z0}} \quad (8.17)$$

$$\dot{T}_\theta = \frac{1}{2} C_d D \rho (\omega r)^2 \frac{T}{T_{z0}} - \frac{T_r T_\theta}{rT_{z0}} \quad (8.18)$$

**b) Para o arco que desliza na superfície**

$$\dot{r} = 0 \quad (8.19)$$

$$\dot{\theta} = \frac{T_\theta}{R_0 T_{z0}} \quad (8.20)$$

$$\dot{T}_r = 0 \quad (8.21)$$

$$\dot{T}_\theta = \mu \left( m\omega^2 R_0 - \frac{T_\theta^2}{TR_0} \right) \frac{T}{T_{z0}} \quad (8.22)$$

As condições de contorno para os três arcos são:

**a) Para o arco livre superior**

em  $z=0$ :  $r = 0, \theta = 0, T_\theta = 0$ , ( $T_r$  a ser determinado)

em  $z=z_1$ :  $r = R_0, T_r = 0$  ( $z_1$  a ser determinado)

**b) Para o arco que desliza na superfície do limitador**

em  $z=z_1$ :  $r, \theta, T_r, T_\theta$  são contínuos

( $z_2$  a ser determinado)

**c) Para o arco livre inferior**

em  $z=z_2$ :  $r, \theta, T_r, T_\theta$  são contínuos

em  $z=z_f$ :  $r = R_f$

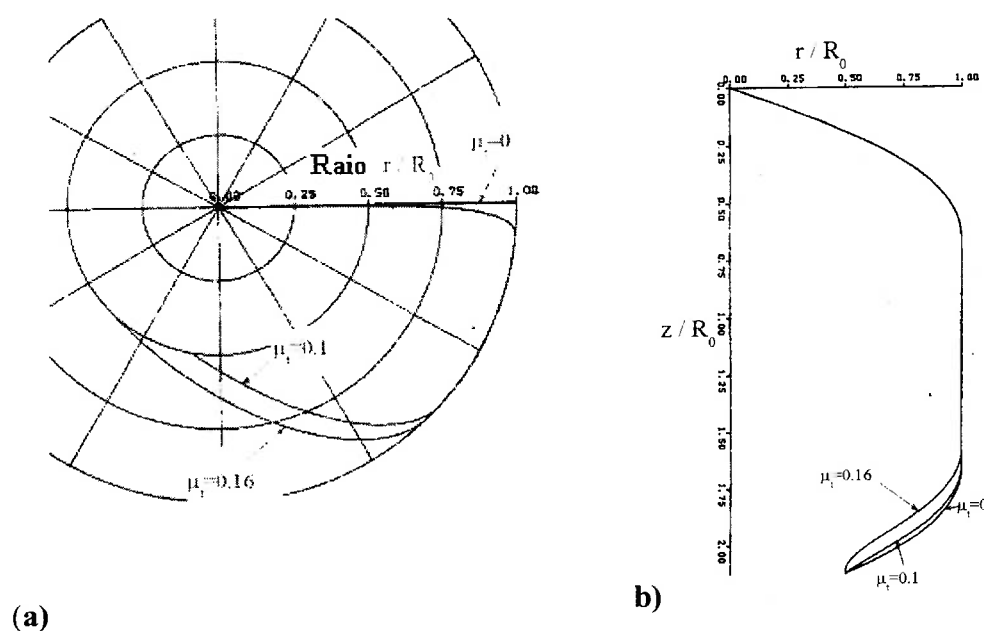
Um procedimento para resolver esses TPBVP's é primeiro determinar  $z_1$  e  $z_2$ .  $z_1$  depende unicamente do arco livre superior e pode ser determinado fazendo-se uma estimativa inicial para  $T_r$  no guia fio (isto fixa  $T_{z_0}$  pois  $T_{z_0}^2 = (T_\theta^2 - T_r^2)$  em  $z = 0$ ). Então as quatro equações do arco livres superior são integradas desde  $z = 0$  até  $r = R_0$  usando-se um integrador numérico simples como um Runge-Kutta de 4ª ordem com passos fixos. A condição de contorno  $T_r = 0$  é então verificada neste ponto  $z$  (onde  $r = R_0$ ). Se esta condição não é satisfeita, outro valor inicial é escolhido para  $T_r$  (usando-se o esquema Newton-Raphson) e nova integração é feita. O  $z$  obtido quando esse processo converge é o  $z_1$  desejado. Para determinar  $z_2$  uma estimativa inicial é também feita para este valor. Como  $r, \theta, T_r, T_\theta$  são contínuos em  $z_1$ , as EDO's podem ser integradas até  $z_2$ . Neste ponto as equações para o arco livre inferior são usadas para levar a integração até  $z = z_f$ . A condição de contorno em  $z_f$ ,  $r = R_f$  é em seguida verificada. Se não satisfeita, outra interação é feita estimando-se um novo valor para  $z_2$ . Quando a convergência é alcançada, o valor de  $z_2$  é determinado.

Embora não estritamente necessárias, as duas seguintes EDO's adicionais podem ser de muita ajuda na integração:

$$\frac{ds}{dz} = \dot{s} = \frac{T}{T_{z0}} \quad (8.23) \quad \text{e} \quad \frac{dT}{dz} = \dot{T} = -P \frac{T_r}{T_{z0}} - Q \frac{T_\theta}{T_{z0}}. \quad (8.24)$$

As condições iniciais associadas a essas EDO's que são ( $z=0$ ,  $s=0$  e  $T=T_0$ .  $s$ ) e  $T$  contínuo em  $z = z$  e  $z = z_2$ . são também contínuos em  $z = z_1$ . Essas EDO's podem ser convenientemente integradas em conjunto com as outras quatro. Quando  $z_1$  e  $z_2$  são encontrados, o resto das variáveis podem ser calculadas. Em particular  $r$  e  $\theta$  podem ser obtidas em função de  $z$ .

A figura 8.2 a e 8.2 b mostram um gráfico típico polar e radial dos resultados numéricos para dois valores de  $\mu_t$ , que diferem por pouco. Pode-se observar através desses pontos, que  $\theta$  é muito sensível a  $\mu_t$ , ao passo que  $r$  não é. Medindo  $\theta_f$ , portanto,  $\mu_t$  pode ser determinado.



**Figura 8.2** Forma do balão do fio para diferentes valores de  $\mu_t$ . (a) Gráfico polar (b) Gráfico radial.

Estas equações são resolvidas mediante um programa denominado CORDA codificado em linguagem FORTRAN para resolver as equações.

## 8.2 ANEXO 2 - COEFICIENTE DE ATRITO LONGITUDINAL EM FUNÇÃO DO ÂNGULO FINAL

### 100% PAC

```

X0= 0.000000000000000E+000
H= 1.000000000000000E-006
ERROMAX= 1.000000000000000E-005
ITERMAX= 10
DELTA = 1.000000000000000E-004
PASSO DE IMPRESSAO DA SOLUCAO= 0.000000000000000E+000
VALORES INICIAIS N= 10
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
1.240000000000000
0.760000000000000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
PARAMETROS NPAR= 15
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
4.600000000000000E-004
1.700000000000000
2.300000000000000
3.500000000000000
0.636000000000000
1.000000000000000
0.230000000000000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
Num Ensaio, T , Zf , Rf , p0 , Tetha F
451 0.130D+01 0.346D+01 0.694D+00 0.441D+01 -0.233D+01
Erro na determinacao do balao
Erro na determinacao do balao
Erro na determinacao do balao
Erro na determinacao do balao
Erro na determinacao do balao
u , thetaf , num.iter , erro, dr/ds (0) , z1 , theta1 , z2
0.162D+08 -0.313D+01 10 0.803D+00 0.787D+00 0.132D+01 -0.106D+00
0.714D+00

X0= 0.000000000000000E+000
H= 1.000000000000000E-006
ERROMAX= 1.000000000000000E-005
ITERMAX= 10

```

```

DELTA = 1.000000000000000E-004
PASSO DE IMPRESSAO DA SOLUCAO= 0.000000000000000E+000
VALORES INICIAIS N=      10
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
1.240000000000000
0.760000000000000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
PARAMETROS NPAR=      15
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
4.600000000000000E-004
1.700000000000000
2.300000000000000
3.500000000000000
0.636000000000000
1.000000000000000
0.230000000000000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
Num Ensaio, T , Zf , Rf , p0 , Tetha F
456 0.132D+01 0.346D+01 0.694D+00 0.441D+01 -0.340D+01
Erro na determinacao do balao
Erro na determinacao do balao
Erro na determinacao do balao
u , thetaf , num.iter , erro. dr/ds (0) , z1 , theta1 , z2
0.893D+00 -0.310D+01 20 0.307D+00 0.783D+00 0.134D+01 -0.106D+00 -
0.121D+01

```

```

X0= 0.000000000000000E+000
H= 1.000000000000000E-006
ERROMAX= 1.000000000000000E-005
ITERMAX=      10
DELTA = 1.000000000000000E-004
PASSO DE IMPRESSAO DA SOLUCAO= 0.000000000000000E+000
VALORES INICIAIS N=      10
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
1.240000000000000
0.760000000000000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
PARAMETROS NPAR=      15
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
4.600000000000000E-004

```



```

1.7000000000000000
2.3000000000000000
3.5000000000000000
0.6360000000000000
1.0000000000000000
0.2300000000000000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
Num Ensaio, T , Zf , Rf , p0 , Tetha F
 457  0.136D+01  0.346D+01  0.694D+00  0.441D+01  -0.149D+01
u , thetaf , num.iter , erro, dr/ds (0) , z1 , theta1 , z2
 0.285D+00  -0.149D+01  5  0.375D-05  0.774D+00  0.137D+01  -0.105D+00  0.256D+01

```

```

X0= 0.0000000000000000E+000
H= 1.0000000000000000E-006
ERROMAX= 1.0000000000000000E-005
ITERMAX= 10
DELTA = 1.0000000000000000E-004
PASSO DE IMPRESSAO DA SOLUCAO= 0.0000000000000000E+000
VALORES INICIAIS N= 10

```

```

0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
1.2400000000000000
0.7600000000000000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000

```

```

PARAMETROS NPAR= 15
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
4.6000000000000000E-004

```

```

1.7000000000000000
2.3000000000000000
3.5000000000000000
0.6360000000000000
1.0000000000000000
0.2300000000000000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000

```

```

Num Ensaio, T , Zf , Rf , p0 , Tetha F
 458  0.130D+01  0.346D+01  0.694D+00  0.441D+01  -0.175D+01
u , thetaf , num.iter , erro, dr/ds (0) , z1 , theta1 , z2
 0.319D+00  -0.175D+01  5  0.837D-05  0.787D+00  0.132D+01  -0.106D+00  0.253D+01

```

```

X0= 0.0000000000000000E+000
H= 1.0000000000000000E-006
ERROMAX= 1.0000000000000000E-005

```

```

ITERMAX=      10
DELTA = 1.000000000000000E-004
PASSO DE IMPRESSAO DA SOLUCAO= 0.000000000000000E+000
VALORES INICIAIS N=      10
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
1.240000000000000
0.760000000000000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
PARAMETROS NPAR=      15
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
4.600000000000000E-004
1.700000000000000
2.300000000000000
3.500000000000000
0.636000000000000
1.000000000000000
0.230000000000000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
Num Ensaio, T , Zf , Rf , p0 , Tetha F
459 0.136D+01 0.346D+01 0.694D+00 0.441D+01 -0.178D+01
u , thetaf , num.iter , erro, dr/ds (0) , z1 , theta1 , z2
0.386D+00 -0.178D+01 5 0.297D-05 0.774D+00 0.137D+01 -0.105D+00 0.245D+01

X0= 0.000000000000000E+000
H= 1.000000000000000E-006
ERROMAX= 1.000000000000000E-005
ITERMAX=      10
DELTA = 1.000000000000000E-004
PASSO DE IMPRESSAO DA SOLUCAO= 0.000000000000000E+000
VALORES INICIAIS N=      10
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
1.240000000000000
0.760000000000000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
PARAMETROS NPAR=      15
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
4.600000000000000E-004
1.700000000000000
2.300000000000000
3.500000000000000

```

```

0.6360000000000000
1.0000000000000000
0.2300000000000000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
Num Ensaio. T , Zf , Rf , p0 , Tetha F
  460  0.134D+01  0.346D+01  0.694D+00  0.441D+01  -0.192D+01
u , thetaf , num.iter , erro, dr/ds (0) , z1 , theta1 , z2
  0.409D+00  -0.192D+01  4  0.135D-05  0.778D+00  0.135D+01  -0.105D+00  0.240D+01

```

```

X0= 0.0000000000000000E+000
H= 1.0000000000000000E-006
ERROMAX= 1.0000000000000000E-005
ITERMAX= 10
DELTA = 1.0000000000000000E-004
PASSO DE IMPRESSAO DA SOLUCAO= 0.0000000000000000E+000
VALORES INICIAIS N= 10
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
1.2400000000000000
0.7600000000000000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
PARAMETROS NPAR= 15
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
4.6000000000000000E-004
1.7000000000000000
2.3000000000000000
3.5000000000000000
0.6360000000000000
1.0000000000000000
0.2300000000000000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
Num Ensaio. T , Zf , Rf , p0 , Tetha F
  460  0.134D+01  0.346D+01  0.694D+00  0.441D+01  -0.192D+01
u , thetaf , num.iter , erro, dr/ds (0) , z1 , theta1 , z2
  0.409D+00  -0.192D+01  4  0.135D-05  0.778D+00  0.135D+01  -0.105D+00  0.240D+01

X0= 0.0000000000000000E+000
H= 1.0000000000000000E-006
ERROMAX= 1.0000000000000000E-005
ITERMAX= 10
DELTA = 1.0000000000000000E-004
PASSO DE IMPRESSAO DA SOLUCAO= 0.0000000000000000E+000

```

```

VALORES INICIAIS N=      10
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
1.240000000000000
0.760000000000000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
PARAMETROS NPAR=      15
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
4.600000000000000E-004
1.700000000000000
2.300000000000000
3.500000000000000
0.636000000000000
1.000000000000000
0.230000000000000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
Num Ensaio, T , Zf , Rf , p0 , Tetha F
461  0.130D+01  0.346D+01  0.694D+00  0.441D+01  -0.209D+01
u , thetaf , num.iter , erro, dr/ds (0) , z1 , theta1 , z2
0.407D+00  -0.209D+01  7  0.328D-05  0.787D+00  0.132D+01  -0.106D+00  0.236D+01

X0= 0.000000000000000E+000
H= 1.000000000000000E-006
ERROMAX= 1.000000000000000E-005
ITERMAX= 10
DELTA = 1.000000000000000E-004
PASSO DE IMPRESSAO DA SOLUCAO= 0.000000000000000E+000
VALORES INICIAIS N=      10
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
1.240000000000000
0.760000000000000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
PARAMETROS NPAR=      15
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
4.600000000000000E-004
1.700000000000000
2.300000000000000
3.500000000000000
0.636000000000000
1.000000000000000
0.230000000000000
0.000000000000000E+000

```

0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000

Num Ensaio, T , Zf , Rf , p0 , Tetha F

464 0.142D+01 0.346D+01 0.694D+00 0.441D+01 -0.171D+01  
 u , thetaf , num.iter , erro, dr/ds (0) , z1 , theta1 , z2  
 0.430D+00 -0.171D+01 4 0.413D-05 0.762D+00 0.142D+01 -0.105D+00 0.241D+01

X0= 0.000000000000000E+000

H= 1.000000000000000E-006

ERROMAX= 1.000000000000000E-005

ITERMAX= 10

DELTA = 1.000000000000000E-004

PASSO DE IMPRESSAO DA SOLUCAO= 0.000000000000000E+000

VALORES INICIAIS N= 10

0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 1.240000000000000  
 0.760000000000000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000

PARAMETROS NPAR= 15

0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 4.600000000000000E-004  
 1.700000000000000  
 2.300000000000000  
 3.500000000000000  
 0.636000000000000  
 1.000000000000000  
 0.230000000000000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000

Num Ensaio, T , Zf , Rf , p0 , Tetha F

465 0.134D+01 0.346D+01 0.694D+00 0.441D+01 -0.138D+01  
 u , thetaf , num.iter , erro, dr/ds (0) , z1 , theta1 , z2  
 0.229D+00 -0.138D+01 3 0.420D-05 0.778D+00 0.135D+01 -0.105D+00 0.261D+01

X0= 0.000000000000000E+000

H= 1.000000000000000E-006

ERROMAX= 1.000000000000000E-005

ITERMAX= 10

DELTA = 1.000000000000000E-004

PASSO DE IMPRESSAO DA SOLUCAO= 0.000000000000000E+000

VALORES INICIAIS N= 10

0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000

```

1.2400000000000000
0.7600000000000000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
PARAMETROS NPAR=      15
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
4.6000000000000000E-004
1.7000000000000000
2.3000000000000000
3.5000000000000000
0.6360000000000000
1.0000000000000000
0.2300000000000000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
Num Ensaio, T, Zf, Rf, p0, Tetha F
  467  0.124D+01  0.346D+01  0.694D+00  0.441D+01  -0.208D+01
Erro na determinacao do balao
Erro na determinacao do balao
Erro na determinacao do balao
Erro na determinacao do balao
Erro na determinacao do balao
Erro na determinacao do balao
Erro na determinacao do balao
Erro na determinacao do balao
Erro na determinacao do balao
u , thetaf, num.iter, erro, dr/ds (0), z1, theta1, z2
  0.553D+00  -0.208D+01  4  0.774D-05  0.801D+00  0.126D+01  -0.107D+00  0.441D+01

```

## 100% CO

```

X0= 0.0000000000000000E+000
H= 1.0000000000000000E-006
ERROMAX= 1.0000000000000000E-005
ITERMAX=      10
DELTA = 1.0000000000000000E-004
PASSO DE IMPRESSAO DA SOLUCAO= 0.0000000000000000E+000
VALORES INICIAIS N=      10
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
1.2400000000000000
0.7600000000000000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000

```

```

PARAMETROS NPAR=      15
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
4.600000000000000E-004
1.700000000000000
2.300000000000000
3.500000000000000
0.636000000000000
1.000000000000000
0.230000000000000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
Num Ensaio, T, Zf, Rf, p0, Tetha F
  637  0.195D+01  0.346D+01  0.694D+00  0.575D+01  -0.106D+01
u , thetaf , num.iter , erro, dr/ds (0) , z1 , theta1 , z2
  0.517D+00  -0.106D+01   7  0.198D-05  0.667D+00  0.183D+01  -0.132D+00  0.229D+01

```

```

X0= 0.000000000000000E+000
H= 1.000000000000000E-006
ERROMAX= 1.000000000000000E-005
ITERMAX=      10
DELTA = 1.000000000000000E-004
PASSO DE IMPRESSAO DA SOLUCAO= 0.000000000000000E+000

```

```

VALORES INICIAIS N=      10
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
1.240000000000000
0.760000000000000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
PARAMETROS NPAR=      15
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
4.600000000000000E-004
1.700000000000000
2.300000000000000
3.500000000000000
0.636000000000000
1.000000000000000
0.230000000000000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
Num Ensaio, T, Zf, Rf, p0, Tetha F
  638  0.184D+01  0.346D+01  0.694D+00  0.575D+01  -0.131D+01
u , thetaf , num.iter , erro, dr/ds (0) , z1 , theta1 , z2
  0.676D+00  -0.131D+01   5  0.949D-05  0.683D+00  0.176D+01  -0.133D+00  0.223D+01

```

```

X0= 0.000000000000000E+000

```

```

H= 1.000000000000000E-006
ERROMAX= 1.000000000000000E-005
ITERMAX= 10
DELTA = 1.000000000000000E-004
PASSO DE IMPRESSAO DA SOLUCAO= 0.000000000000000E+000
VALORES INICIAIS N= 10
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
1.240000000000000
0.760000000000000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
PARAMETROS NPAR= 15
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
4.600000000000000E-004
1.700000000000000
2.300000000000000
3.500000000000000
0.636000000000000
1.000000000000000
0.230000000000000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
Num Ensaio, T , Zf , Rf , p0 , Tetha F
639 0.205D+01 0.346D+01 0.694D+00 0.575D+01 -0.862D+00
u , thetaf , num.iter , erro, dr/ds (0) , z1 , theta1 , z2
0.324D+00 -0.862D+00 4 0.158D-05 0.652D+00 0.190D+01 -0.132D+00 0.233D+01

X0= 0.000000000000000E+000
H= 1.000000000000000E-006
ERROMAX= 1.000000000000000E-005
ITERMAX= 10
DELTA = 1.000000000000000E-004
PASSO DE IMPRESSAO DA SOLUCAO= 0.000000000000000E+000
VALORES INICIAIS N= 10
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
1.240000000000000
0.760000000000000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
PARAMETROS NPAR= 15
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
4.600000000000000E-004
1.700000000000000
2.300000000000000

```



```

3.5000000000000000
0.6360000000000000
1.0000000000000000
0.2300000000000000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
Num Ensaio, T, Zf, Rf, p0, Tetha F
  640  0.188D+01  0.346D+01  0.694D+00  0.575D+01  -0.103D+01
u, thetaf, num.iter, erro, dr/ds (0), z1, theta1, z2
  0.343D+00 -0.103D+01  4  0.103D-05  0.678D+00  0.178D+01  -0.133D+00  0.236D+01

X0= 0.0000000000000000E+000
H= 1.0000000000000000E-006
ERROMAX= 1.0000000000000000E-005
ITERMAX= 10
DELTA = 1.0000000000000000E-004
PASSO DE IMPRESSAO DA SOLUCAO= 0.0000000000000000E+000
VALORES INICIAIS N= 10
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
1.2400000000000000
0.7600000000000000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
PARAMETROS NPAR= 15
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
4.6000000000000000E-004
1.7000000000000000
2.3000000000000000
3.5000000000000000
0.6360000000000000
1.0000000000000000
0.2300000000000000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
Num Ensaio, T, Zf, Rf, p0, Tetha F
  642  0.195D+01  0.346D+01  0.694D+00  0.575D+01  -0.960D+00
u, thetaf, num.iter, erro, dr/ds (0), z1, theta1, z2
  0.343D+00 -0.960D+00  4  0.499D-05  0.667D+00  0.183D+01  -0.132D+00  0.234D+01

X0= 0.0000000000000000E+000
H= 1.0000000000000000E-006
ERROMAX= 1.0000000000000000E-005
ITERMAX= 10
DELTA = 1.0000000000000000E-004
PASSO DE IMPRESSAO DA SOLUCAO= 0.0000000000000000E+000
VALORES INICIAIS N= 10
0.0000000000000000E+000

```

0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 1.240000000000000  
 0.760000000000000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000

PARAMETROS NPAR= 15

0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 4.600000000000000E-004  
 1.700000000000000  
 2.300000000000000  
 3.500000000000000  
 0.636000000000000  
 1.000000000000000  
 0.230000000000000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000

Num Ensaio, T, Zf, Rf, p0, Tetha F

643 0.188D+01 0.346D+01 0.694D+00 0.575D+01 -0.113D+01

u, thetaf, num.iter, erro, dr/ds (0), z1, theta1, z2

0.475D+00 -0.113D+01 5 0.370D-06 0.678D+00 0.178D+01 -0.133D+00 0.231D+01

X0= 0.000000000000000E+000

H= 1.000000000000000E-006

ERROMAX= 1.000000000000000E-005

ITERMAX= 10

DELTA = 1.000000000000000E-004

PASSO DE IMPRESSAO DA SOLUCAO= 0.000000000000000E+000

VALORES INICIAIS N= 10

0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 1.240000000000000  
 0.760000000000000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000

PARAMETROS NPAR= 15

0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 4.600000000000000E-004  
 1.700000000000000  
 2.300000000000000  
 3.500000000000000  
 0.636000000000000  
 1.000000000000000  
 0.230000000000000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000

0.000000000000000E+000

0.000000000000000E+000

0.000000000000000E+000

Num Ensaio, T, Zf, Rf, p0, Tetha F

644 0.195D+01 0.346D+01 0.694D+00 0.575D+01 -0.859D+00

u, thetaf, num.iter, erro, dr/ds (0), z1, theta1, z2

0.193D+00 -0.859D+00 5 0.693D-05 0.667D+00 0.183D+01 -0.132D+00 0.239D+01

X0= 0.000000000000000E+000

H= 1.000000000000000E-006

ERROMAX= 1.000000000000000E-005

ITERMAX= 10

DELTA = 1.000000000000000E-004

PASSO DE IMPRESSAO DA SOLUCAO= 0.000000000000000E+000

VALORES INICIAIS N= 10

0.000000000000000E+000

0.000000000000000E+000

0.000000000000000E+000

1.240000000000000

0.760000000000000

0.000000000000000E+000

0.000000000000000E+000

0.000000000000000E+000

0.000000000000000E+000

0.000000000000000E+000

0.000000000000000E+000

PARAMETROS NPAR= 15

0.000000000000000E+000

0.000000000000000E+000

4.600000000000000E-004

1.700000000000000

2.300000000000000

3.500000000000000

0.636000000000000

1.000000000000000

0.230000000000000

0.000000000000000E+000

0.000000000000000E+000

0.000000000000000E+000

0.000000000000000E+000

0.000000000000000E+000

0.000000000000000E+000

Num Ensaio, T, Zf, Rf, p0, Tetha F

645 0.177D+01 0.346D+01 0.694D+00 0.575D+01 -0.131D+01

u, thetaf, num.iter, erro, dr/ds (0), z1, theta1, z2

0.507D+00 -0.131D+01 5 0.374D-05 0.695D+00 0.171D+01 -0.134D+00 0.229D+01

X0= 0.000000000000000E+000

H= 1.000000000000000E-006

ERROMAX= 1.000000000000000E-005

ITERMAX= 10

DELTA = 1.000000000000000E-004

PASSO DE IMPRESSAO DA SOLUCAO= 0.000000000000000E+000

VALORES INICIAIS N= 10

0.000000000000000E+000

0.000000000000000E+000

0.000000000000000E+000

1.240000000000000



Num Ensaio, T, Zf, Rf, p0, Tetha F

648 0.191D+01 0.346D+01 0.694D+00 0.575D+01 -0.107D+01  
 u, thetaf, num.iter, erro, dr/ds (0), z1, theta1, z2  
 0.458D+00 -0.107D+01 6 0.849D-05 0.672D+00 0.181D+01 -0.133D+00 0.231D+01

### 50% PAC 50% CO

X0= 0.000000000000000E+000

H= 1.000000000000000E-006

ERROMAX= 1.000000000000000E-005

ITERMAX= 10

DELTA = 1.000000000000000E-004

PASSO DE IMPRESSAO DA SOLUCAO= 0.000000000000000E+000

VALORES INICIAIS N= 10

0.000000000000000E+000

0.000000000000000E+000

0.000000000000000E+000

1.240000000000000

0.760000000000000

0.000000000000000E+000

0.000000000000000E+000

0.000000000000000E+000

0.000000000000000E+000

0.000000000000000E+000

0.000000000000000E+000

PARAMETROS NPAR= 15

0.000000000000000E+000

0.000000000000000E+000

4.600000000000000E-004

1.700000000000000

2.300000000000000

3.500000000000000

0.636000000000000

1.000000000000000

0.230000000000000

0.000000000000000E+000

0.000000000000000E+000

0.000000000000000E+000

0.000000000000000E+000

0.000000000000000E+000

0.000000000000000E+000

Num Ensaio, T, Zf, Rf, p0, Tetha F

510 0.139D+01 0.346D+01 0.694D+00 0.522D+01 -0.122D+01

u, thetaf, num.iter, erro, dr/ds (0), z1, theta1, z2  
 0.143D+00 -0.122D+01 4 0.319D-05 0.767D+00 0.140D+01 -0.124D+00 0.262D+01

X0= 0.000000000000000E+000

H= 1.000000000000000E-006

ERROMAX= 1.000000000000000E-005

ITERMAX= 10

DELTA = 1.000000000000000E-004

PASSO DE IMPRESSAO DA SOLUCAO= 0.000000000000000E+000

VALORES INICIAIS N= 10

0.000000000000000E+000

0.000000000000000E+000

0.000000000000000E+000

1.240000000000000

0.760000000000000

0.000000000000000E+000

```

0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
PARAMETROS NPAR=      15
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
4.600000000000000E-004
1.700000000000000
2.300000000000000
3.500000000000000
0.636000000000000
1.000000000000000
0.230000000000000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
Num Ensaio, T , Zf , Rf , p0 , Tetha F
  511  0.139D+01  0.346D+01  0.694D+00  0.522D+01  -0.143D+01
u , thetaf , num.iter , erro, dr/ds (0) , z1 , thetal , z2
  0.223D+00  -0.143D+01  3  0.477D-05  0.767D+00  0.140D+01  -0.124D+00  0.256D+01

```

```

X0= 0.000000000000000E+000
H= 1.000000000000000E-006
ERROMAX= 1.000000000000000E-005
ITERMAX=      10
DELTA = 1.000000000000000E-004
PASSO DE IMPRESSAO DA SOLUCAO= 0.000000000000000E+000
VALORES INICIAIS N=      10
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
1.240000000000000
0.760000000000000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
PARAMETROS NPAR=      15
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
4.600000000000000E-004
1.700000000000000
2.300000000000000
3.500000000000000
0.636000000000000
1.000000000000000
0.230000000000000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
Num Ensaio, T , Zf , Rf , p0 , Tetha F

```

513 0.134D+01 0.346D+01 0.694D+00 0.522D+01 -0.133D+01  
 u , theta f , num.iter , erro, dr/ds (0) , z1 , theta l , z2  
 0.156D+00 -0.133D+01 3 0.192D-06 0.778D+00 0.136D+01 -0.125D+00 0.263D+01

X0= 0.000000000000000E+000  
 H= 1.000000000000000E-006  
 ERROMAX= 1.000000000000000E-005  
 ITERMAX= 10  
 DELTA = 1.000000000000000E-004  
 PASSO DE IMPRESSAO DA SOLUCAO= 0.000000000000000E+000  
 VALORES INICIAIS N= 10

0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 1.240000000000000  
 0.760000000000000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000

PARAMETROS NPAR= 15

0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 4.600000000000000E-004  
 1.700000000000000  
 2.300000000000000  
 3.500000000000000  
 0.636000000000000  
 1.000000000000000  
 0.230000000000000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000

Num Ensaio. T , Zf , Rf , p0 , Tetha F

514 0.134D+01 0.346D+01 0.694D+00 0.522D+01 -0.109D+01  
 u , theta f , num.iter , erro, dr/ds (0) , z1 , theta l , z2  
 0.728D-01 -0.109D+01 4 0.209D-05 0.778D+00 0.136D+01 -0.125D+00 0.268D+01

X0= 0.000000000000000E+000  
 H= 1.000000000000000E-006  
 ERROMAX= 1.000000000000000E-005  
 ITERMAX= 10  
 DELTA = 1.000000000000000E-004  
 PASSO DE IMPRESSAO DA SOLUCAO= 0.000000000000000E+000  
 VALORES INICIAIS N= 10

0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 1.240000000000000  
 0.760000000000000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000

```

PARAMETROS NPAR=      15
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
4.600000000000000E-004
1.700000000000000
2.300000000000000
3.500000000000000
0.636000000000000
1.000000000000000
0.230000000000000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
Num Ensaio, T , Zf , Rf , p0 , Tetha F
  515  0.129D+01  0.346D+01  0.694D+00  0.522D+01  -0.198D+01
Erro na determinacao do balao
Erro na determinacao do balao
Erro na determinacao do balao
Erro na determinacao do balao
Erro na determinacao do balao
Erro na determinacao do balao
u , thetaf , num.iter , erro, dr/ds (0) , z1 , theta1 , z2
  -0.225D+07  -0.317D+01  10  0.119D+01  0.789D+00  0.131D+01  -0.126D+00
0.113D+01

X0= 0.000000000000000E+000
H= 1.000000000000000E-006
ERROMAX= 1.000000000000000E-005
ITERMAX=      10
DELTA = 1.000000000000000E-004
PASSO DE IMPRESSAO DA SOLUCAO= 0.000000000000000E+000
VALORES INICIAIS N=      10
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
1.240000000000000
0.760000000000000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
PARAMETROS NPAR=      15
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
4.600000000000000E-004
1.700000000000000
2.300000000000000
3.500000000000000
0.636000000000000
1.000000000000000
0.230000000000000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000

```



```

0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
Num Ensaio. T , Zf , Rf , p0 , Tetha F
  516  0.129D+01  0.346D+01  0.694D+00  0.522D+01  -0.151D+01
Erro na determinacao do balao
Erro na determinacao do balao
Erro na determinacao do balao
Erro na determinacao do balao
Erro na determinacao do balao
Erro na determinacao do balao
u , thetaf , num.iter , erro, dr/ds (0) , z1 , theta1 , z2
-0.313D+07  -0.317D+01  10  0.166D+01  0.789D+00  0.131D+01  -0.126D+00
0.113D+01

```

```

X0= 0.000000000000000E+000
H= 1.000000000000000E-006
ERROMAX= 1.000000000000000E-005
ITERMAX= 10
DELTA = 1.000000000000000E-004
PASSO DE IMPRESSAO DA SOLUCAO= 0.000000000000000E+000

```

```

VALORES INICIAIS N= 10

```

```

0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
1.240000000000000
0.760000000000000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000

```

```

PARAMETROS NPAR= 15

```

```

0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
4.600000000000000E-004
1.700000000000000
2.300000000000000
3.500000000000000
0.636000000000000
1.000000000000000
0.230000000000000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000

```

```

Num Ensaio. T , Zf , Rf , p0 , Tetha F

```

```

  520  0.142D+01  0.346D+01  0.694D+00  0.522D+01  -0.933D+00
u , thetaf , num.iter , erro, dr/ds (0) , z1 , theta1 , z2
  0.399D-01  -0.933D+00  4  0.343D-05  0.761D+00  0.142D+01  -0.124D+00  0.266D+01

```

```

X0= 0.000000000000000E+000
H= 1.000000000000000E-006
ERROMAX= 1.000000000000000E-005
ITERMAX= 10
DELTA = 1.000000000000000E-004
PASSO DE IMPRESSAO DA SOLUCAO= 0.000000000000000E+000
VALORES INICIAIS N= 10
0.000000000000000E+000

```

0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 1.240000000000000  
 0.760000000000000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000

PARAMETROS NPAR= 15

0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 4.600000000000000E-004  
 1.700000000000000  
 2.300000000000000  
 3.500000000000000  
 0.636000000000000  
 1.000000000000000  
 0.230000000000000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000

Num Ensaio, T, Zf, Rf, p0, Tetha F

521 0.134D+01 0.346D+01 0.694D+00 0.522D+01 -0.132D+01

u, thetaf, num.iter, erro, dr/ds (0), z1, theta1, z2

0.152D+00 -0.132D+01 3 0.375D-06 0.778D+00 0.136D+01 -0.125D+00 0.263D+01

X0= 0.000000000000000E+000

H= 1.000000000000000E-006

ERROMAX= 1.000000000000000E-005

ITERMAX= 10

DELTA = 1.000000000000000E-004

PASSO DE IMPRESSAO DA SOLUCAO= 0.000000000000000E+000

VALORES INICIAIS N= 10

0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 1.240000000000000  
 0.760000000000000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000

PARAMETROS NPAR= 15

0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 4.600000000000000E-004  
 1.700000000000000  
 2.300000000000000  
 3.500000000000000  
 0.636000000000000  
 1.000000000000000  
 0.230000000000000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000



0.7600000000000000  
 0.0000000000000000E+000  
 0.0000000000000000E+000  
 0.0000000000000000E+000  
 0.0000000000000000E+000  
 0.0000000000000000E+000

PARAMETROS NPAR= 15

0.0000000000000000E+000  
 0.0000000000000000E+000  
 4.6000000000000000E-004  
 1.7000000000000000  
 2.3000000000000000  
 3.5000000000000000  
 0.6360000000000000  
 1.0000000000000000  
 0.2300000000000000  
 0.0000000000000000E+000  
 0.0000000000000000E+000  
 0.0000000000000000E+000  
 0.0000000000000000E+000  
 0.0000000000000000E+000  
 0.0000000000000000E+000  
 0.0000000000000000E+000

Num Ensaio, T, Zf, Rf, p0, Tetha F

537 0.131D+01 0.346D+01 0.694D+00 0.615D+01 -0.218D+01

Erro na determinacao do balao  
 Erro na determinacao do balao  
 Erro na determinacao do balao  
 Erro na determinacao do balao  
 Erro na determinacao do balao  
 Erro na determinacao do balao  
 Erro na determinacao do balao  
 Erro na determinacao do balao  
 Erro na determinacao do balao  
 Erro na determinacao do balao  
 Erro na determinacao do balao  
 Erro na determinacao do balao  
 Erro na determinacao do balao  
 Erro na determinacao do balao  
 Erro na determinacao do balao

u . thetaf, num.iter, erro, dr/ds (0), z1, theta1, z2

0.686D+00 -0.218D+01 5 0.446D-08 0.783D+00 0.134D+01 -0.149D+00 0.371D+01

X0= 0.0000000000000000E+000

H= 1.0000000000000000E-006

ERROMAX= 1.0000000000000000E-005

ITERMAX= 10

DELTA = 1.0000000000000000E-004

PASSO DE IMPRESSAO DA SOLUCAO= 0.0000000000000000E+000

VALORES INICIAIS N= 10

0.0000000000000000E+000  
 0.0000000000000000E+000  
 0.0000000000000000E+000  
 1.2400000000000000  
 0.7600000000000000  
 0.0000000000000000E+000  
 0.0000000000000000E+000  
 0.0000000000000000E+000  
 0.0000000000000000E+000  
 0.0000000000000000E+000  
 0.0000000000000000E+000  
 0.0000000000000000E+000

PARAMETROS NPAR= 15

0.0000000000000000E+000  
 0.0000000000000000E+000

4.600000000000000E-004

1.700000000000000

2.300000000000000

3.500000000000000

0.636000000000000

1.000000000000000

0.230000000000000

0.000000000000000E+000

0.000000000000000E+000

0.000000000000000E+000

0.000000000000000E+000

0.000000000000000E+000

0.000000000000000E+000

Num Ensaio, T, Zf, Rf, p0, Tetha F

538 0.131D+01 0.346D+01 0.694D+00 0.615D+01 -0.201D+01

Erro na determinacao do balao

Erro na determinacao do balao

Erro na determinacao do balao

Erro na determinacao do balao

Erro na determinacao do balao

Erro na determinacao do balao

Erro na determinacao do balao

Erro na determinacao do balao

Erro na determinacao do balao

Erro na determinacao do balao

u, thetaf, num.iter, erro, dr/ds (0), z1, theta1, z2

0.559D+00 -0.201D+01 4 0.707D-05 0.783D+00 0.134D+01 -0.149D+00 0.371D+01

X0= 0.000000000000000E+000

H= 1.000000000000000E-006

ERROMAX= 1.000000000000000E-005

ITERMAX= 10

DELTA = 1.000000000000000E-004

PASSO DE IMPRESSAO DA SOLUCAO= 0.000000000000000E+000

VALORES INICIAIS N= 10

0.000000000000000E+000

0.000000000000000E+000

0.000000000000000E+000

1.240000000000000

0.760000000000000

0.000000000000000E+000

0.000000000000000E+000

0.000000000000000E+000

0.000000000000000E+000

0.000000000000000E+000

PARAMETROS NPAR= 15

0.000000000000000E+000

0.000000000000000E+000

4.600000000000000E-004

1.700000000000000

2.300000000000000

3.500000000000000

0.636000000000000

1.000000000000000

0.230000000000000

0.000000000000000E+000

0.000000000000000E+000

0.000000000000000E+000

0.000000000000000E+000

```

0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
Num Ensaio, T, Zf, Rf, p0, Tetha F
  539  0.129D+01  0.346D+01  0.694D+00  0.615D+01  -0.200D+01
Erro na determinacao do balao
Erro na determinacao do balao
Erro na determinacao do balao
Erro na determinacao do balao
Erro na determinacao do balao
Erro na determinacao do balao
Erro na determinacao do balao
Erro na determinacao do balao
Erro na determinacao do balao
Erro na determinacao do balao
Erro na determinacao do balao
u, thetaf, num.iter, erro, dr/ds (0), z1, theta1, z2
  0.503D+00 -0.200D+01  6  0.565D-05  0.788D+00  0.131D+01  -0.150D+00  0.689D+01

X0= 0.000000000000000E+000
H= 1.000000000000000E-006
ERROMAX= 1.000000000000000E-005
ITERMAX= 10
DELTA = 1.000000000000000E-004
PASSO DE IMPRESSAO DA SOLUCAO= 0.000000000000000E+000
VALORES INICIAIS N= 10
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
1.240000000000000
0.760000000000000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
PARAMETROS NPAR= 15
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
4.600000000000000E-004
1.700000000000000
2.300000000000000
3.500000000000000
0.636000000000000
1.000000000000000
0.230000000000000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
Num Ensaio, T, Zf, Rf, p0, Tetha F
  541  0.136D+01  0.346D+01  0.694D+00  0.615D+01  -0.169D+01
u, thetaf, num.iter, erro, dr/ds (0), z1, theta1, z2
  0.213D+00 -0.169D+01  4  0.839D-05  0.772D+00  0.138D+01  -0.148D+00  0.251D+01

X0= 0.000000000000000E+000

```

```

H= 1.000000000000000E-006
ERROMAX= 1.000000000000000E-005
ITERMAX= 10
DELTA = 1.000000000000000E-004
PASSO DE IMPRESSAO DA SOLUCAO= 0.000000000000000E+000
VALORES INICIAIS N= 10
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
1.240000000000000
0.760000000000000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
PARAMETROS NPAR= 15
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
4.600000000000000E-004
1.700000000000000
2.300000000000000
3.500000000000000
0.636000000000000
1.000000000000000
0.230000000000000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
Num Ensaio. T , Zf , Rf , p0 , Theta F
542 0.134D+01 0.346D+01 0.694D+00 0.615D+01 -0.150D+01
u , thetaf . num.iter , erro. dr/ds (0) , z1 , theta1 , z2
0.141D+00 -0.150D+01 4 0.443D-05 0.778D+00 0.136D+01 -0.149D+00 0.260D+01

X0= 0.000000000000000E+000
H= 1.000000000000000E-006
ERROMAX= 1.000000000000000E-005
ITERMAX= 10
DELTA = 1.000000000000000E-004
PASSO DE IMPRESSAO DA SOLUCAO= 0.000000000000000E+000
VALORES INICIAIS N= 10
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
1.240000000000000
0.760000000000000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
PARAMETROS NPAR= 15
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
4.600000000000000E-004
1.700000000000000
2.300000000000000

```

3.500000000000000  
 0.636000000000000  
 1.000000000000000  
 0.230000000000000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 Num Ensaio, T, Zf, Rf, p0, Tetha F  
 543 0.136D+01 0.346D+01 0.694D+00 0.615D+01 -0.168D+01  
 u, thetaf, num.iter, erro, dr/ds (0), z1, theta1, z2  
 0.210D+00 -0.168D+01 4 0.493D-05 0.772D+00 0.138D+01 -0.148D+00 0.251D+01

X0= 0.000000000000000E+000  
 H= 1.000000000000000E-006  
 ERROMAX= 1.000000000000000E-005  
 ITERMAX= 10  
 DELTA = 1.000000000000000E-004  
 PASSO DE IMPRESSAO DA SOLUCAO= 0.000000000000000E+000  
 VALORES INICIAIS N= 10

0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 1.240000000000000  
 0.760000000000000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000

PARAMETROS NPAR= 15  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 4.600000000000000E-004  
 1.700000000000000  
 2.300000000000000  
 3.500000000000000  
 0.636000000000000  
 1.000000000000000  
 0.230000000000000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000

Num Ensaio, T, Zf, Rf, p0, Tetha F  
 544 0.134D+01 0.346D+01 0.694D+00 0.615D+01 -0.171D+01  
 u, thetaf, num.iter, erro, dr/ds (0), z1, theta1, z2  
 0.203D+00 -0.171D+01 4 0.403D-05 0.778D+00 0.136D+01 -0.149D+00 0.252D+01

X0= 0.000000000000000E+000  
 H= 1.000000000000000E-006  
 ERROMAX= 1.000000000000000E-005  
 ITERMAX= 10  
 DELTA = 1.000000000000000E-004  
 PASSO DE IMPRESSAO DA SOLUCAO= 0.000000000000000E+000  
 VALORES INICIAIS N= 10



```

0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
1.240000000000000
0.760000000000000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
PARAMETROS NPAR=      15
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
4.600000000000000E-004
1.700000000000000
2.300000000000000
3.500000000000000
0.636000000000000
1.000000000000000
0.230000000000000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
Num Ensaio, T , Zf , Rf , p0 , Tetha F
  546  0.136D+01  0.346D+01  0.694D+00  0.615D+01  -0.172D+01
u , thetaf , num.iter , erro, dr/ds (0) , z1 , theta1 , z2
  0.220D+00  -0.172D+01  3  0.703D-05  0.772D+00  0.138D+01  -0.148D+00  0.250D+01
X0= 0.000000000000000E+000
H= 1.000000000000000E-006
ERROMAX= 1.000000000000000E-005
ITERMAX=      10
DELTA = 1.000000000000000E-004
PASSO DE IMPRESSAO DA SOLUCAO= 0.000000000000000E+000
VALORES INICIAIS N=      10
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
1.240000000000000
0.760000000000000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
PARAMETROS NPAR=      15
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
4.600000000000000E-004
1.700000000000000
2.300000000000000
3.500000000000000
0.636000000000000
1.000000000000000
0.230000000000000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000

```

0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 Num Ensaio, T, Zf, Rf, p0, Tetha F  
 547 0.131D+01 0.346D+01 0.694D+00 0.615D+01 -0.185D+01  
 Erro na determinacao do balao  
 Erro na determinacao do balao  
 Erro na determinacao do balao  
 Erro na determinacao do balao  
 Erro na determinacao do balao  
 Erro na determinacao do balao  
 Erro na determinacao do balao  
 Erro na determinacao do balao  
 Erro na determinacao do balao  
 u, thetaf, num.iter, erro, dr/ds (0), z1, theta1, z2  
 0.455D+00 -0.185D+01 4 0.314D-06 0.783D+00 0.134D+01 -0.149D+00 0.371D+01

X0= 0.000000000000000E+000  
 H= 1.000000000000000E-006  
 ERROMAX= 1.000000000000000E-005  
 ITERMAX= 10  
 DELTA = 1.000000000000000E-004  
 PASSO DE IMPRESSAO DA SOLUCAO= 0.000000000000000E+000

VALORES INICIAIS N= 10  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 1.240000000000000  
 0.760000000000000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000

PARAMETROS NPAR= 15  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 4.600000000000000E-004  
 1.700000000000000  
 2.300000000000000  
 3.500000000000000  
 0.636000000000000  
 1.000000000000000  
 0.230000000000000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000

Num Ensaio, T, Zf, Rf, p0, Tetha F  
 548 0.134D+01 0.346D+01 0.694D+00 0.615D+01 -0.175D+01  
 u, thetaf, num.iter, erro, dr/ds (0), z1, theta1, z2  
 0.212D+00 -0.175D+01 5 0.298D-05 0.778D+00 0.136D+01 -0.149D+00 0.251D+01

X0= 0.000000000000000E+000  
 H= 1.000000000000000E-006  
 ERROMAX= 1.000000000000000E-005  
 ITERMAX= 10

```

DELTA = 1.000000000000000E-004
PASSO DE IMPRESSAO DA SOLUCAO= 0.000000000000000E+000
VALORES INICIAIS N=      10
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
1.240000000000000
0.760000000000000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
PARAMETROS NPAR=      15
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
4.600000000000000E-004
1.700000000000000
2.300000000000000
3.500000000000000
0.636000000000000
1.000000000000000
0.230000000000000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
Num Ensaio, T , Zf , Rf , p0 , Tetha F
550 0.136D+01 0.346D+01 0.694D+00 0.615D+01 -0.194D+01
u , thetaf , num.iter , erro, dr/ds (0) , z1 , theta1 , z2
0.272D+00 -0.194D+01 4 0.971D-05 0.772D+00 0.138D+01 -0.148D+00 0.239D+01

X0= 0.000000000000000E+000
H= 1.000000000000000E-006
ERRMAX= 1.000000000000000E-005
ITERMAX=      10
DELTA = 1.000000000000000E-004
PASSO DE IMPRESSAO DA SOLUCAO= 0.000000000000000E+000
VALORES INICIAIS N=      10
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
1.240000000000000
0.760000000000000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
PARAMETROS NPAR=      15
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
4.600000000000000E-004
1.700000000000000
2.300000000000000
3.500000000000000
0.636000000000000
1.000000000000000

```

```

0.2300000000000000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
Num Ensaio, T , Zf , Rf , p0 , Tetha F
  551  0.131D+01  0.346D+01  0.694D+00  0.615D+01  -0.206D+01
Erro na determinacao do balao
Erro na determinacao do balao
Erro na determinacao do balao
Erro na determinacao do balao
Erro na determinacao do balao
Erro na determinacao do balao
Erro na determinacao do balao
Erro na determinacao do balao
Erro na determinacao do balao
Erro na determinacao do balao
Erro na determinacao do balao
Erro na determinacao do balao
u , thetaf , num.iter , erro, dr/ds (0) , z1 , theta1 , z2
  0.593D+00  -0.206D+01  5  0.131D-09  0.783D+00  0.134D+01  -0.149D+00  0.371D+01

X0= 0.0000000000000000E+000
H= 1.0000000000000000E-006
ERROMAX= 1.0000000000000000E-005
ITERMAX= 10
DELTA = 1.0000000000000000E-004
PASSO DE IMPRESSAO DA SOLUCAO= 0.0000000000000000E+000
VALORES INICIAIS N= 10
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
1.2400000000000000
0.7600000000000000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
PARAMETROS NPAR= 15
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
4.6000000000000000E-004
1.7000000000000000
2.3000000000000000
3.5000000000000000
0.6360000000000000
1.0000000000000000
0.2300000000000000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
Num Ensaio, T , Zf , Rf , p0 , Tetha F

```

552 0.129D+01 0.346D+01 0.694D+00 0.615D+01 -0.200D+01

Erro na determinacao do balao

Erro na determinacao do balao

Erro na determinacao do balao

Erro na determinacao do balao

Erro na determinacao do balao

Erro na determinacao do balao

Erro na determinacao do balao

Erro na determinacao do balao

Erro na determinacao do balao

Erro na determinacao do balao

Erro na determinacao do balao

Erro na determinacao do balao

Erro na determinacao do balao

u , thetaf , num.iter , erro, dr/ds (0) , z1 , theta1 , z2

0.503D+00 -0.200D+01 6 0.673D-05 0.788D+00 0.131D+01 -0.150D+00 0.422D+01

X0= 0.000000000000000E+000

H= 1.000000000000000E-006

ERROMAX= 1.000000000000000E-005

ITERMAX= 10

DELTA = 1.000000000000000E-004

PASSO DE IMPRESSAO DA SOLUCAO= 0.000000000000000E+000

VALORES INICIAIS N= 10

0.000000000000000E+000

0.000000000000000E+000

0.000000000000000E+000

1.240000000000000

0.760000000000000

0.000000000000000E+000

0.000000000000000E+000

0.000000000000000E+000

0.000000000000000E+000

0.000000000000000E+000

0.000000000000000E+000

PARAMETROS NPAR= 15

0.000000000000000E+000

0.000000000000000E+000

4.600000000000000E-004

1.700000000000000

2.300000000000000

3.500000000000000

0.636000000000000

1.000000000000000

0.230000000000000

0.000000000000000E+000

0.000000000000000E+000

0.000000000000000E+000

0.000000000000000E+000

0.000000000000000E+000

0.000000000000000E+000

Num Ensaio, T , Zf , Rf , p0 , Tetha F

553 0.150D+01 0.346D+01 0.694D+00 0.615D+01 -0.131D+01

u , thetaf , num.iter , erro, dr/ds (0) , z1 , theta1 , z2

0.167D+00 -0.131D+01 4 0.839D-05 0.743D+00 0.150D+01 -0.146D+00 0.252D+01

X0= 0.000000000000000E+000

H= 1.000000000000000E-006

ERROMAX= 1.000000000000000E-005

ITERMAX= 10

```

DELTA = 1.000000000000000E-004
PASSO DE IMPRESSAO DA SOLUCAO= 0.000000000000000E+000
VALORES INICIAIS N=      10
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
1.240000000000000
0.760000000000000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
PARAMETROS NPAR=      15
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
4.600000000000000E-004
1.700000000000000
2.300000000000000
3.500000000000000
0.636000000000000
1.000000000000000
0.230000000000000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
Num Ensaio, T , Zf , Rf , p0 , Tetha F
554 0.136D+01 0.346D+01 0.694D+00 0.615D+01 -0.174D+01
u , thetaf , num.iter , erro, dr/ds (0) , z1 , theta1 , z2
0.226D+00 -0.174D+01 4 0.625D-05 0.772D+00 0.138D+01 -0.148D+00 0.249D+01

X0= 0.000000000000000E+000
H= 1.000000000000000E-006
ERROMAX= 1.000000000000000E-005
ITERMAX=      10
DELTA = 1.000000000000000E-004
PASSO DE IMPRESSAO DA SOLUCAO= 0.000000000000000E+000
VALORES INICIAIS N=      10
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
1.240000000000000
0.760000000000000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
PARAMETROS NPAR=      15
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
4.600000000000000E-004
1.700000000000000
2.300000000000000
3.500000000000000
0.636000000000000
1.000000000000000

```

```

0.2300000000000000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
Num Ensaio, T , Zf , Rf , p0 , Tetha F
  556  0.141D+01  0.346D+01  0.694D+00  0.615D+01  -0.165D+01
u , thetaf , num.iter , erro, dr/ds (0) , z1 , theta1 , z2
  0.234D+00  -0.165D+01  4  0.595D-06  0.762D+00  0.142D+01  -0.148D+00  0.247D+01

```

**100% WO**

```

X0= 0.0000000000000000E+000
H= 1.0000000000000000E-006
ERROMAX= 1.0000000000000000E-005
ITERMAX= 10
DELTA = 1.0000000000000000E-004
PASSO DE IMPRESSAO DA SOLUCAO= 0.0000000000000000E+000
VALORES INICIAIS N= 10
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
1.2400000000000000
0.7600000000000000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
PARAMETROS NPAR= 15
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
4.6000000000000000E-004
1.7000000000000000
2.3000000000000000
3.5000000000000000
0.6360000000000000
1.0000000000000000
0.2300000000000000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
0.0000000000000000E+000
Num Ensaio, T , Zf , Rf , p0 , Tetha F
  566  0.184D+01  0.346D+01  0.694D+00  0.579D+01  -0.109D+01
u , thetaf , num.iter , erro, dr/ds (0) , z1 , theta1 , z2
  0.355D+00  -0.109D+01  4  0.541D-05  0.684D+00  0.175D+01  -0.134D+00  0.236D+01

X0= 0.0000000000000000E+000
H= 1.0000000000000000E-006
ERROMAX= 1.0000000000000000E-005
ITERMAX= 10
DELTA = 1.0000000000000000E-004
PASSO DE IMPRESSAO DA SOLUCAO= 0.0000000000000000E+000

```

```

VALORES INICIAIS N=      10
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
1.240000000000000
0.760000000000000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
PARAMETROS NPAR=      15
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
4.600000000000000E-004
1.700000000000000
2.300000000000000
3.500000000000000
0.636000000000000
1.000000000000000
0.230000000000000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
Num Ensaio, T, Zf, Rf, p0, Tetha F
567 0.180D+01 0.346D+01 0.694D+00 0.579D+01 -0.123D+01
u , thetaf, num.iter, erro, dr/ds (0), z1, theta1, z2
0.465D+00 -0.123D+01 4 0.674D-05 0.689D+00 0.173D+01 -0.134D+00 0.231D+01

X0= 0.000000000000000E+000
H= 1.000000000000000E-006
ERROMAX= 1.000000000000000E-005
ITERMAX= 10
DELTA = 1.000000000000000E-004
PASSO DE IMPRESSAO DA SOLUCAO= 0.000000000000000E+000
VALORES INICIAIS N=      10
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
1.240000000000000
0.760000000000000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
PARAMETROS NPAR=      15
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
4.600000000000000E-004
1.700000000000000
2.300000000000000
3.500000000000000
0.636000000000000
1.000000000000000
0.230000000000000
0.000000000000000E+000

```



0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000

Num Ensaio, T, Zf, Rf, p0, Tetha F

568 0.184D+01 0.346D+01 0.694D+00 0.579D+01 -0.141D+01  
 u, thetaf, num.iter, erro, dr/ds (0), z1, theta1, z2  
 0.810D+00 -0.141D+01 6 0.407D-05 0.684D+00 0.175D+01 -0.134D+00 0.217D+01

X0= 0.000000000000000E+000

H= 1.000000000000000E-006

ERROMAX= 1.000000000000000E-005

ITERMAX= 10

DELTA = 1.000000000000000E-004

PASSO DE IMPRESSAO DA SOLUCAO= 0.000000000000000E+000

VALORES INICIAIS N= 10

0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 1.240000000000000  
 0.760000000000000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000

PARAMETROS NPAR= 15

0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 4.600000000000000E-004  
 1.700000000000000  
 2.300000000000000  
 3.500000000000000  
 0.636000000000000  
 1.000000000000000  
 0.230000000000000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000

Num Ensaio, T, Zf, Rf, p0, Tetha F

569 0.174D+01 0.346D+01 0.694D+00 0.579D+01 -0.174D+01  
 u, thetaf, num.iter, erro, dr/ds (0), z1, theta1, z2  
 0.984D+00 -0.174D+01 6 0.274D-05 0.700D+00 0.168D+01 -0.135D+00 0.203D+01

X0= 0.000000000000000E+000

H= 1.000000000000000E-006

ERROMAX= 1.000000000000000E-005

ITERMAX= 10

DELTA = 1.000000000000000E-004

PASSO DE IMPRESSAO DA SOLUCAO= 0.000000000000000E+000

VALORES INICIAIS N= 10

0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 1.240000000000000  
 0.760000000000000

```

0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
PARAMETROS NPAR=      15
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
4.600000000000000E-004
  1.700000000000000
  2.300000000000000
  3.500000000000000
0.636000000000000
  1.000000000000000
0.230000000000000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
Num Ensaio, T , Zf , Rf , p0 , Tetha F
  570  0.197D+01  0.346D+01  0.694D+00  0.579D+01  -0.161D+01
u , thetaf , num.iter , erro. dr/ds (0) , z1 , theta1 , z2
  0.936D+01  -0.160D+01  10  0.542D-02  0.664D+00  0.185D+01  -0.133D+00  0.189D+01

X0= 0.000000000000000E+000
H= 1.000000000000000E-006
ERROMAX= 1.000000000000000E-005
ITERMAX=      10
DELTA = 1.000000000000000E-004
PASSO DE IMPRESSAO DA SOLUCAO= 0.000000000000000E+000
VALORES INICIAIS N=      10
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
  1.240000000000000
  0.760000000000000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
PARAMETROS NPAR=      15
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
4.600000000000000E-004
  1.700000000000000
  2.300000000000000
  3.500000000000000
0.636000000000000
  1.000000000000000
0.230000000000000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
Num Ensaio, T , Zf , Rf , p0 , Tetha F

```

571 0.200D+01 0.346D+01 0.694D+00 0.579D+01 -0.990D+00  
u , thetaf , num.iter , erro, dr/ds (0) , z1 , theta1 , z2  
0.478D+00 -0.990D+00 4 0.264D-05 0.659D+00 0.187D+01 -0.133D+00 0.230D+01

X0= 0.000000000000000E+000  
H= 1.000000000000000E-006  
ERROMAX= 1.000000000000000E-005  
ITERMAX= 10  
DELTA = 1.000000000000000E-004  
PASSO DE IMPRESSAO DA SOLUCAO= 0.000000000000000E+000  
VALORES INICIAIS N= 10

0.000000000000000E+000  
0.000000000000000E+000  
0.000000000000000E+000  
1.240000000000000  
0.760000000000000  
0.000000000000000E+000  
0.000000000000000E+000  
0.000000000000000E+000  
0.000000000000000E+000  
0.000000000000000E+000  
0.000000000000000E+000

PARAMETROS NPAR= 15

0.000000000000000E+000  
0.000000000000000E+000  
4.600000000000000E-004  
1.700000000000000  
2.300000000000000  
3.500000000000000  
0.636000000000000  
1.000000000000000  
0.230000000000000  
0.000000000000000E+000  
0.000000000000000E+000  
0.000000000000000E+000  
0.000000000000000E+000  
0.000000000000000E+000  
0.000000000000000E+000  
0.000000000000000E+000

Num Ensaio, T , Zf , Rf , p0 , Tetha F

572 0.184D+01 0.346D+01 0.694D+00 0.579D+01 -0.147D+01  
u , thetaf , num.iter , erro, dr/ds (0) , z1 , theta1 , z2  
0.935D+00 -0.147D+01 6 0.340D-05 0.684D+00 0.175D+01 -0.134D+00 0.213D+01

X0= 0.000000000000000E+000  
H= 1.000000000000000E-006  
ERROMAX= 1.000000000000000E-005  
ITERMAX= 10  
DELTA = 1.000000000000000E-004  
PASSO DE IMPRESSAO DA SOLUCAO= 0.000000000000000E+000  
VALORES INICIAIS N= 10

0.000000000000000E+000  
0.000000000000000E+000  
0.000000000000000E+000  
1.240000000000000  
0.760000000000000  
0.000000000000000E+000  
0.000000000000000E+000  
0.000000000000000E+000  
0.000000000000000E+000  
0.000000000000000E+000  
0.000000000000000E+000

PARAMETROS NPAR= 15

0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 4.600000000000000E-004  
 1.700000000000000  
 2.300000000000000  
 3.500000000000000  
 0.636000000000000  
 1.000000000000000  
 0.230000000000000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000

Num Ensaio, T , Zf , Rf , p0 , Tetha F  
 573 0.180D+01 0.346D+01 0.694D+00 0.579D+01 -0.954D+00  
 u , thetaf , num.iter , erro, dr/ds (0) , z1 , theta1 , z2  
 0.178D+00 -0.954D+00 4 0.328D-05 0.689D+00 0.173D+01 -0.134D+00 0.243D+01

X0= 0.000000000000000E+000  
 H= 1.000000000000000E-006  
 ERROMAX= 1.000000000000000E-005  
 ITERMAX= 10  
 DELTA = 1.000000000000000E-004  
 PASSO DE IMPRESSAO DA SOLUCAO= 0.000000000000000E+000  
 VALORES INICIAIS N= 10

0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 1.240000000000000  
 0.760000000000000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000

PARAMETROS NPAR= 15  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 4.600000000000000E-004  
 1.700000000000000  
 2.300000000000000  
 3.500000000000000  
 0.636000000000000  
 1.000000000000000  
 0.230000000000000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000  
 0.000000000000000E+000

Num Ensaio, T , Zf , Rf , p0 , Tetha F  
 575 0.190D+01 0.346D+01 0.694D+00 0.579D+01 -0.108D+01  
 u , thetaf , num.iter , erro, dr/ds (0) , z1 , theta1 , z2  
 0.443D+00 -0.108D+01 5 0.577D-06 0.674D+00 0.180D+01 -0.134D+00 0.232D+01

X0= 0.000000000000000E+000  
 H= 1.000000000000000E-006

```

ERROMAX= 1.000000000000000E-005
ITERMAX=      10
DELTA = 1.000000000000000E-004
PASSO DE IMPRESSAO DA SOLUCAO= 0.000000000000000E+000
VALORES INICIAIS N=      10
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
 1.240000000000000
0.760000000000000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
PARAMETROS NPAR=      15
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
4.600000000000000E-004
 1.700000000000000
 2.300000000000000
 3.500000000000000
0.636000000000000
 1.000000000000000
0.230000000000000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
0.000000000000000E+000
Num Ensaio, T , Zf , Rf , p0 , Tetha F
 576  0.194D+01  0.346D+01  0.694D+00  0.579D+01  -0.116D+01
u , thetaf , num.iter , erro, dr/ds (0) , z1 , theta1 , z2
 0.652D+00  -0.116D+01  4  0.179D-06  0.669D+00  0.182D+01  -0.134D+00  0.225D+01

```

