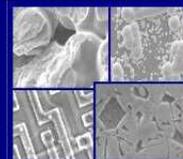




PUCRS

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA E
TECNOLOGIA DE MATERIAIS**

Faculdade de Engenharia
Faculdade de Física
Faculdade de Química



PGETEMA

DESENVOLVIMENTO DO PROCESSO DE SECAGEM EM RAMA NA PRODUÇÃO DE PALMILHAS PARA CALÇADOS

LUCIANO PESKE CERON
ENGENHEIRO QUÍMICO

**DISSERTAÇÃO PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE
EM ENGENHARIA E TECNOLOGIA DE MATERIAIS.**

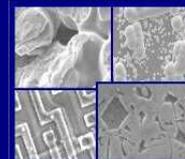
**Porto Alegre
Março, 2008**



PUCRS

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA E
TECNOLOGIA DE MATERIAIS**

Faculdade de Engenharia
Faculdade de Física
Faculdade de Química



PGETEMA

DESENVOLVIMENTO DO PROCESSO DE SECAGEM EM RAMA NA PRODUÇÃO DE PALMILHAS PARA CALÇADOS

LUCIANO PESKE CERON
ENGENHEIRO QUÍMICO

ORIENTADORA: PROF^a. DR^a. SANDRA MARA OLIVEIRA EINLOFT
CO-ORIENTADOR: PROF. DR. MARCUS SEFERIN

Dissertação realizada no Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia de Materiais (PGETEMA) da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia e Tecnologia de Materiais.

Porto Alegre
Março, 2008

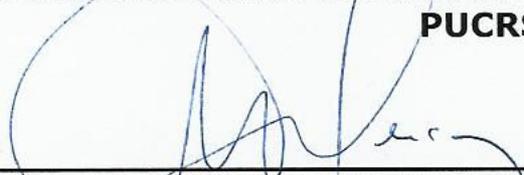
DESENVOLVIMENTO DO PROCESSO DE SECAGEM EM RAMA NA PRODUÇÃO DE PALMILHAS PARA CALÇADOS

CANDIDATO: LUCIANO PESKE CERON

Esta dissertação foi julgada para obtenção do título de *MESTRE EM ENGENHARIA E TECNOLOGIA DE MATERIAIS* e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós - Graduação em Engenharia da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.

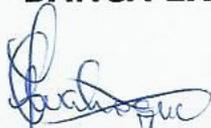


DRA. SANDRA MARA OLIVEIRA EINLOFT – ORIENTADORA – PUCRS



DR. MARCUS SEFERIN - CO-ORIENTADOR – PUCRS

BANCA EXAMINADORA



DRA. CARMEN IARA WALTER CALCAGNO- CEFET/RS



DR. CARLOS ALEXANDRE DOS SANTOS – PGETEMA/PUCRS

“Quem quer melhorar a realidade deveria conhecê-la. Isso é Realismo”.

*A realidade não somente consiste no que já existe,
mas também no que é possível.*

*Muitos erros são cometidos por se evitar um alvo,
ou pela determinação errada de alvos.*

*Os alvos não devem representar somente o que desejamos,
mas também o que é possível.*

*A economia global está seguindo as leis da competição: ganha o melhor.
Em caso de qualidade igual, ganha o concorrente com preço mais barato”.*

Manfred Romme

DEDICATÓRIA

Dedico esta dissertação:

À Deus;

Aos meus pais, **Lucindo Ceron e Helga Peske Ceron**;

À minha filha, **Luiza Baumbach Ceron**;

E ao meu amor, **Tárcia Rita Davoglio**.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço à minha família, meu pai Lucindo Ceron, minha mãe Helga Peske Ceron, minha filha Luiza Baumbach Ceron, e em especial a minha esposa Tércia Rita Davoglio, que me incentivou e apoiou neste caminho e que acima de tudo é uma grande amiga, agradeço a ela, também, por toda compreensão e carinho.

Aos meus orientadores, Prof^a. Dr^a. Sandra Mara Oliveira Einloft e Prof. Dr. Marcus Seferin, pela dedicação e incentivo nos diversos momentos na orientação desta dissertação.

À Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia de Materiais, pela oportunidade de realizar o curso de Pós-Graduação.

Aos funcionários do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia de Materiais, pelo auxílio em necessidades durante o mestrado.

Aos diretores da empresa de componentes para calçados, Flávio, Irineu e Marcos, onde foi desenvolvido o estudo, que acreditaram e investiram neste projeto de pesquisa dentro da sua empresa. E a todos os funcionários e equipes de campo, presentes nos trabalhos de inspeções e ensaios realizados.

Ao Engenheiro Químico Fausto Girola, Coordenador do Laboratório de Controle de Qualidade do Centro Tecnológico do Calçado SENAI - Novo Hamburgo, pela ajuda e coordenação nos ensaios laboratoriais em palmilhas para calçados.

Por último, gostaria de estender os meus agradecimentos a todos àqueles de uma forma ou de outra, com idéias e/ou críticas, ajudaram na montagem desta dissertação.

A todos, os meus sinceros agradecimentos.

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	3
AGRADECIMENTOS	4
SUMÁRIO	5
LISTA DE FIGURAS	8
LISTA DE TABELAS	10
LISTA DE QUADROS	11
LISTA DE ABREVIATURAS	12
RESUMO	13
ABSTRACT	14
1 INTRODUÇÃO	15
2 OBJETIVOS	17
2.1 Objetivos Específicos	17
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
3.1 Calçado	18
3.1.1 Evolução do Calçado	19
3.1.2 Classificação do Calçado	19
3.1.3 Componentes do Calçado	20
3.1.4 Fabricação do Calçado	22
3.2 Palmilha	24
3.2.1 Fabricação da Palmilha	26
3.2.1.1 Não-Tecido	27
3.2.1.2 Poli (Tereftalato de Etileno)	32
3.2.2 Secador Rama.....	33

3.2.3 Especificação de Palmilhas	40
3.3 Secagem de Tecidos	41
3.3.1 Caracterização de Polímero	43
3.3.2 Taxa de Secagem	44
3.3.3 Umidade de Equilíbrio	47
3.4 Método Simplex Modificado	50
4 MATERIAIS E MÉTODOS	53
4.1 Solução Impregnante	54
4.2 Geometria do Secador	56
4.3 Estudo Térmico	56
4.4 Peso Base	57
4.5 Espessura	57
4.6 Teor de Umidade e Curvas de Secagem	58
4.7 Índice de Flexão	58
4.8 Resistência à Tração e Alongamento na Ruptura (a seco)	60
4.9 Comportamento à Água – Adsorção e Dessorção	62
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	64
5.1 PRIMEIRA PARTE	64
5.1.1 Estudo Térmico	64
5.1.2 Teor de Umidade	69
5.1.3 Peso Base e Espessura	70
5.1.4 Curvas de Secagem	70
5.2 SEGUNDA PARTE	73
5.2.1 Produção-Teste	73
5.3 TERCEIRA PARTE	77
5.3.1 Índice de Flexão	79

5.3.2 Resistência à Tração e Alongamento na Ruptura (a seco)	81
5.3.3 Comportamento à Água – Adsorção e Dessorção	84
6 CONCLUSÕES	87
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	89
ANEXOS	95

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 - Partes do calçado	21
Figura 3.2 - Peças do calçado masculino e feminino	21
Figura 3.3 - Etapas de fabricação do calçado	22
Figura 3.4 - Prensa hidráulica: (a) Balancim de ponte; (b) Balancim hidráulico	23
Figura 3.5 - Desenho de peça com chanfro	23
Figura 3.6 - Palmilha simples	24
Figura 3.7 - Palmilha emendada	25
Figura 3.8 - Palmilha emendada com reforço duplo	25
Figura 3.9 - Planilha com encaixe para montagem interna	25
Figura 3.10 - (a) Não-tecido; (b) Tecido	27
Figura 3.11 - Processo Spunbonded	28
Figura 3.12 - Não-tecido agulhado de poliéster	30
Figura 3.13 - Aumento da resistência mecânica do material	30
Figura 3.14 - Não-tecido agindo como receptáculo base de outros materiais	30
Figura 3.15 - Absorção de energia térmica no não-tecido	31
Figura 3.16 - Acabamento em superfícies	31
Figura 3.17 - Processo de filtração em não-tecidos	31
Figura 3.18 - Principais partes do secador <i>Rama</i>	34
Figura 3.19 - Rolo de não-tecido na entrada da <i>Rama</i>	35
Figura 3.20 - Impregnação da manta de não-tecido em cocho	35
Figura 3.21 - (a) Foulard principal; (b) Foulard auxiliar	36
Figura 3.22 - (a) Morcetes prendendo a manta; (b) Entrada da manta no secador... 36	36
Figura 3.23 - Palmilha em bobina	37
Figura 3.24 - (a) Queimador de gás; (b) Câmaras de secagem	37
Figura 3.25 - Câmara de secagem	38
Figura 3.26 - Fluxo de energia nos injetores	39
Figura 3.27 - Damper aberto em 75%	39
Figura 3.28 - Evaporação da água dentro das câmaras do secador	40
Figura 3.29 - Diagrama do processo de secagem em tecido úmido	41
Figura 3.30 - Diagrama de migração de umidade no interior de um tecido	41
Figura 3.31 - Representação esquemática do sistema de medição	42

Figura 3.32 - Curva temperatura versus tempo	43
Figura 3.33 - Curva do PET em DSC, identificando a Tg e Tm	44
Figura 3.34 - Curva de taxa de variação de umidade com o tempo de secagem	45
Figura 3.35 - (a) Não-tecido agulhado seco; (b) Não-tecido agulhado úmido	47
Figura 3.36 - Isoterma de equilíbrio	48
Figura 3.37 - Isotermas de adsorção máxima para algumas fibras	48
Figura 3.38 - Movimentos do simplex modificado	51
Figura 3.39 - Exemplo de otimização com duas variáveis de controle	52
Figura 4.1 - Tanque de dispersão com agitador mecânico	55
Figura 4.2 - (a) Começo da dispersão; (b) Final viscoso da dispersão	55
Figura 4.3 - (a) Tanque bate-deira; (b) Tanques de Mistura I e II da Rama	55
Figura 4.4 - Geometria de largura constante no túnel do secador	56
Figura 4.5 - Volante e indicador Siko	56
Figura 4.6 - Corte dos corpos de prova na amostra de palmilha	59
Figura 4.7 - (a) Máquina de flexão; (b) Corpos de prova rompidos	59
Figura 4.8 - Máquina de ensaio universal EMIC DL-200	61
Figura 4.9 - (a) Corpo de prova preso; (b) Corpo de prova rompido	61
Figura 5.1 - Temperatura medida na superfície da manta de 110 g/m ²	65
Figura 5.2 - Temperatura medida na superfície da manta de 150 g/m ²	66
Figura 5.3 - Temperatura medida na superfície da manta de 200 g/m ²	67
Figura 5.4 - Representação do tempo de análise com massa constante	70
Figura 5.5 - Curvas de secagem para gramaturas de 110, 150 e 200 g/m ²	71
Figura 5.6 - Gráfico com produção normal	74
Figura 5.7 - Identificação das curvas de secagem certificadas no SENAI	78
Figura 5.8 - Gráfico de índice de flexão para 110, 150 e 200 g/m ²	80
Figura 5.9 - Gráfico de tração para 110, 150 e 200 g/m ²	83
Figura 5.10 - Gráfico de alongamento para 110, 150 e 200 g/m ²	83
Figura 5.11 - Gráfico de adsorção e dessorção para 110, 150 e 200 g/m ²	85

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Características físicas e químicas do PET	33
Tabela 3.2 - Especificação de controle da palmilha	40
Tabela 3.3 - Valores máximos de umidade em tecidos	49
Tabela 3.4 - Médias de umidade relativa em Porto Alegre e Campo Bom	50
Tabela 4.1 - Valores para índice de flexão ou número de ciclos	60
Tabela 4.2 - Valores para resistência à tração e alongamento na ruptura, a seco....	62
Tabela 4.3 - Valores para adsorção e dessorção	63
Tabela 5.1 - Resultados dos ajustes térmicos para 110g/m ²	65
Tabela 5.2 - Resultados dos ajustes térmicos para 150 g/m ²	66
Tabela 5.3 - Resultados dos ajustes térmicos para 200 g/m ²	67
Tabela 5.4 - Faixas de operação da <i>Rama</i> para produção-teste	73
Tabela 5.5 - Acompanhamento da produção normal	74
Tabela 5.6 - Resultados da produção-teste com perfil avançado	75
Tabela 5.7 - Resultados da produção-teste com perfil econômico	75
Tabela 5.8 - Resultados comparativos entre produção-teste e produção normal	75
Tabela 5.9 - Resultados para a primavera	76
Tabela 5.10 - Resultados para o verão	76
Tabela 5.11 - Resultados de índice de flexão para 110 g/m ²	79
Tabela 5.12 - Resultados de índice de flexão para 150 g/m ²	79
Tabela 5.13 - Resultados de índice de flexão para 200 g/m ²	80
Tabela 5.14 - Resultados de tração e alongamento para 110 g/m ²	82
Tabela 5.15 - Resultados de tração e alongamento para 150 g/m ²	82
Tabela 5.16 - Resultados de tração e alongamento para 200 g/m ²	82
Tabela 5.17 - Resultados de adsorção e dessorção para 110 g/m ²	84
Tabela 5.18 - Resultados de adsorção e dessorção para 150 g/m ²	85
Tabela 5.19 - Resultados de adsorção e dessorção para 200 g/m ²	85

LISTA DE QUADROS

Quadro 3.1 - Evolução do calçado	19
Quadro 3.2 - Componentes do calçado e suas funções	20

LISTA DE ABREVIATURAS

ABICALÇADOS: Associação Brasileira das Indústrias de Calçados

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

BS: Normas Britânicas

BVQI: Bureau Veritas Quality International

CLP: Controlador Lógico Programável

COTECAF: Conselho Técnico de Afins

CRQ: Conselho Regional de Química

CTCCA: Centro Tecnológico do Couro, Calçados e Afins

DIN: Deutsches Institut für Normung

DSC: Calorimetria Exploratória Diferencial

GLP: Gás Liquefeito de Petróleo

INMET: Instituto Nacional de Meteorologia

INMETRO: Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial

ISO: International Organization for Standardization

MEKP: Peróxido de Etil-Metilcetona

PET: Poli (Tereftalato de Etileno)

PFI: Prüf und Forschungsinstitut Pirmasens

SATRA: Instituto de Normas Inglesas para Laboratório

SENAI: Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial

SEOMA: Seção de Observação e Metereologia Aplicada

RESUMO

CERON, Luciano Peske. **Desenvolvimento do Processo de Secagem em Rama na Produção de Palmilhas para Calçados**. Porto Alegre. 2008. Dissertação, Síntese e Processos em Materiais. Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia de Materiais, PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL.

A palmilha é um dos componentes mais importantes da indústria calçadista, sendo considerada o “chassi” do calçado, pois, é sobre ela que o calçado é montado. Este estudo do processo de secagem em Rama constitui-se uma tentativa de reduzir os custos com GLP na produção de palmilhas, realizado em uma indústria de componentes para calçados. Inicia com a origem e evolução da história do calçado, levando a um dos componentes atuais da fabricação de palmilhas, o não-tecido de poliéster. Aborda-se a impregnação de não-tecidos e os recursos técnicos do secador Rama, no processo de fabricação. Foi desenvolvida uma metodologia de controle da umidade em palmilha e estudo das curvas de secagem, velocidade versus umidade, para os não-tecidos com gramaturas de 110, 150 e 200 g/m². Nestas curvas, foram desenvolvidos perfis térmicos de produção, sendo relevante um econômico, lento e de baixa temperatura, e outro avançado, rápido e de alta temperatura. Utilizou-se o método Simplex Modificado para corrigir pontos nestes perfis, buscando a minimização e maximização da velocidade no secador. As curvas de secagem foram usadas como modelos para produção, levando a conclusão que o perfil térmico econômico minimiza em 19,4% o consumo de GLP, uma economia de R\$ 80.588,00/ano. O perfil térmico avançado, por sua vez, encarece em 31,1% o consumo de GLP, representando um incremento de R\$ 128.941,00/ano. A certificação das curvas foi realizada no laboratório credenciado do Centro Tecnológico do Calçado SENAI - Novo Hamburgo, que identificou como melhor quantitativamente o perfil térmico econômico em zonas de baixa velocidade. Este trabalho mostrou que o controle de processos é uma alternativa eficaz para o controle dos custos.

Palavras-chave: Calçado; Palmilha; Não-Tecido; Secagem; Rama.

ABSTRACT

CERON, Luciano Peske. **Development Process drying in the production of Rama insole for shoes.** Porto Alegre. 2008. Dissertation, Synthesis on Materials and Processes. Pos-Graduation Program in Materials Engineering and Technology, PONTIFICAL CATHOLIC UNIVERSITY OF RIO GRANDE DO SUL.

The insole is one of the most important components of the shoe industry, being considered the shoe's chassis, once the shoe is assembled over it. This study concerning the drying process in Rama consists of an attempt to reduce cut costs with the use of LPG in the insole production, carried on in an industry of shoe components. It has its beginning with the origin and evolution of the shoe history, leading to one of the current components of the insole production: the non-fabric of polyester. The subject of non-fabric impregnation and the technical resources of the Rama dryer during the manufacturing process are approached. A methodology of the insole humidity control was developed and a study of the drying curves was made, with speed versus humidity, for the non-fabrics with basic weight varying from 110, 150 to 220 g/sqm. In these curves production thermal profiles were developed, being relevant an economic, slow and of low temperature one, and another advanced, fast and of high temperature one. The Modified Simplex method was used to correct points in these profiles, seeking to maximize and minimize the speed of the dryer. The drying curves were used as models for the production, leading to the conclusion that the economic thermal profile minimizes the consumption of LPG in 19.4%, an economy of R\$ 80,588.00/year. The advanced thermal profile, on the other hand, raises the consumption of the LPG in 31.1%, which represents an increase of R\$ 128,941.00/year. The certification of curves was accomplished in the credentialed laboratory of SENAI Shoe Technological Center in Novo Hamburgo city, RS state, which identified as best in quantity the economic thermal profile in zones of low speed. This academic paper demonstrated that the performance control of processes is an efficient alternative to control costs.

Keywords: Shoe; Insole; Nonwoven; Drying process; Rama.

1 INTRODUÇÃO

Vivemos numa época de muitas mudanças, onde a competição se torna cada vez mais agressiva entre os produtores de bens de transformação. Oferecer produtos e serviços de forma otimizada e controlada tem se constituído no grande objetivo das modernas organizações. O controle da eficiência operacional apresenta-se como um importante instrumento para o alcance destes objetivos. Na busca dessa eficiência, as empresas devem promover mudanças cuja amplitude obedeça às novas exigências dos mercados consumidores; sendo assim, as organizações que não se enquadrarem ou não estiverem dispostas a melhorias contínuas de processos, certamente não sobreviverão aos novos tempos.

O setor calçadista é muito dinâmico, caracterizado pela produção constante de novos produtos. Neste contexto, está inserida a fabricação de palmilhas em base de não-tecidos de poliéster, também conhecido por “nonwoven”, que possui uma significativa participação no mercado global nesta linha de produtos. Os não-tecidos formam o principal grupo de produtos têxteis utilizados na indústria calçadista, juntamente com os tecidos e as malhas. O termo não-tecido foi utilizado pela primeira vez em 1942, quando foram produzidas, nos Estados Unidos, as primeiras centenas de metros deste tipo de material têxtil. Mas, somente nos últimos 35 anos que os não-tecidos se destacaram realmente, tendo sua indústria apresentado um dos maiores índices de crescimento neste período, devido o surgimento das fibras sintéticas, como o poliéster (NIEWOHNER; KUNST, 1990).

A indústria brasileira de calçados é um setor importante da economia do país por seu volume de produção, por sua expressiva participação na pauta de exportações e pela sua capacidade de geração de empregos. Segundo dados de 2005, a indústria calçadista brasileira emprega, diretamente, cerca de 300 mil pessoas e é responsável pela produção de, aproximadamente, 725 milhões de pares de calçados por ano, sendo cerca de 190 milhões deles destinados à exportação,

para cerca de 70 países diferentes, o que gera um volume de divisas da ordem de US\$ 1,8 bilhão. O principal importador do calçado brasileiro são os Estados Unidos, seguido pela Argentina, Reino Unido e Canadá (ABICALÇADOS, 2006).

No Brasil, o maior número de fábricas de calçados concentra-se na região de Vale do Rio dos Sinos, no Rio Grande do Sul e em Franca, São Paulo. Nos últimos 20 anos, incentivados por uma política exportadora, o setor tem alcançado avanços para vencer os desafios da competição. Neste sentido, grandes investimentos em tecnologia de ponta foram realizados, na expectativa de que o segmento se tornasse suficientemente competitivo, objetivando com isso buscar a redução de custos e perdas, com melhorias na qualidade. Deste modo, a engenharia de processos vem promovendo a modernização do setor, empenhada na padronização de conceitos, medidas e formas, etapas imprescindíveis para a automação das fábricas. Processo este considerado irreversível por especialistas do ramo (COSTA; PASSOS, 2004).

A presente dissertação foi desenvolvida com base na vivência e acompanhamento dentro da indústria de componentes para calçados, localizada em São Leopoldo, Rio Grande do Sul, Brasil, sendo identificada como empresa A, visando manter o sigilo de informações técnicas.

O ingresso neste setor industrial evidenciou a grande preocupação existente com o sigilo das informações, por parte das empresas, acerca dos processos e procedimentos técnicos. A insuficiência de dados disponíveis sobre como melhor produzir uma palmilha para calçados em máquina *Rama*, levou a constatação que fatores técnicos de controles operacionais e de laboratório, não estavam definidos na empresa, surgiu assim, a proposta do estudo aprofundado de melhorias no processo de secagem, considerando que a pesquisa da performance de processos é uma alternativa necessária para o controle de custos, visando à competitividade no setor calçadista.

2 OBJETIVOS

O presente trabalho tem como objetivo principal desenvolver estudos no processo de secagem na produção de palmilhas de não-tecidos de poliéster para calçados, com variações técnicas em máquina de secagem *Rama*, visando à minimização dos custos de produção com GLP.

Apresentar um plano de produção para o secador, com perfil térmico avançado para períodos de altas produções e um perfil térmico econômico para períodos de baixa produção. Determinar quantitativamente qual destes dois perfis é o ideal.

2.1 Objetivos Específicos

- Desenvolver o processo de secagem de palmilhas, controlando as variáveis de velocidade da esteira e temperatura no secador *Rama*, dentro da faixa de teor de umidade permitido;
- Implantar metodologia de controle laboratorial, que garanta a qualidade da palmilha no processo de secagem;
- Determinar as curvas de secagem na *Rama* (velocidade versus umidade), com perfil térmico econômico e avançado, para os não-tecidos de poliéster com gramaturas de 110, 150 e 200 g/m², usando o método Simplex Modificado para minimizar e maximizar a velocidade da esteira no secador;
- Certificar os resultados pesquisados em laboratório externo credenciado, que segue as normas para palmilhas. Identificar quantitativamente o melhor perfil térmico para operação no secador *Rama*.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Calçado

O calçado tem, antes de tudo, a função de proteger os pés. O que originalmente era apenas um elemento de proteção foi se tornando, com o passar dos tempos, um objeto de moda, de prazer, de status e de evolução técnica. Na busca da beleza, dos padrões ditados pela moda, o consumidor muitas vezes se submete a verdadeiras torturas, usando calçados inadequados que desprezam as regras básicas da fisiologia, da anatomia e da mecânica do pé. O segredo de um bom calçado está em aliar moda, saúde e conforto, os quais dependem do processo de fabricação e controles que foram submetidos previamente (MELLO, 2002).

O sapato que, na primeira vista, parece ser apenas uma série de pedaços de couro, tecido e plástico, costurados ou colados uns aos outros, é muito mais que isso. A forma como é concebido e produzido tem muito a ver com o conforto que proporcionará ao cliente, com a sua beleza, como o preço pelo qual será vendido, com a sua performance durante o uso e com a sua qualidade (SILVA, 2002).

Há quem diga que os sapatos são para os pés o que os pneus são para o automóvel; devem se adequar ao “veículo”, ser de boa qualidade, se adaptar às condições de uso (chuva, umidade, calor, situações adversas), ser mantidos em perfeito estado e funcionamento e trocados imediatamente ao verificar-se que estão de uma forma ou de outra, prejudicando o desempenho do carro (MORBACH, 2002).

O primeiro sistema de numeração de calçados foi criado na Inglaterra, em 1324, no reino de Eduardo II e se baseava na medida de um grão de cevada. Os sistemas básicos, em uso em todo o mundo são: o sistema Francês, o Inglês, o Americano e o Mondopoint. Mas cada um deles, dependendo do país, pode ter variações locais, o que amplia consideravelmente o número de sistemas efetivamente em uso (MANFIO, 1995).

3.1.1 Evolução do Calçado

Os primeiros relatos da utilização do calçado estão representados em pinturas magdalênicas encontradas na Espanha, datadas de 12.000 anos a.C., mostram homens e mulheres com pedaços de pele ou couro animal enrolados nas pernas e nos pés. Talvez estes fossem os primeiros modelos de botas da humanidade. A evolução histórica de modelos e materiais usados nos calçados é apresentada, resumidamente, no Quadro 3.1.

Quadro 3.1 - Evolução do calçado

Época	Modelo / Material	Local
12.000 a.C.	Pele, couro enrolado, bota	Pintura na Espanha
2.500 a.C.	Sandálias de madeira	Egito
1.200 a.C.	Sandália de folha	Egito, Japão, Ásia, Peru
	Diversos modelos de tiras	Europa, Roma Antiga
Século VIII	Tipo Polaina	Europa
Século XI-XII	Pigache ou Patin	Europa
Século XII-XV	Polaina	Europa
Século XV	Mocassim, Tamanco, Sandália	Europa
Século XV-XX	Suecos, Tamancos de madeira	Europa, Ásia, África, Coreia
Século XVI	Botas com salto no calcanhar	Europa
Século XVI-XVII	Chopinas, Scarpins, Pantufes	Europa, Ásia

Fonte: MONTEIRO e MORAES. Ergonomia, design e conforto no calçado feminino. In: CONGRESSO P&D DESIGN, 2., 1998, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: PUCRS, 1998. p. 845-852.

3.1.2 Classificação do Calçado

Segundo Silva (2002), o calçado pode ser classificado de várias formas:

- Quanto ao tipo de usuário: masculino, feminino e infantil;
- Quanto ao tipo de cobertura: aberto ou fechado;
- Quanto ao uso que se destinam: social, esportivo, segurança, trabalho, de praia;
- Quanto ao sistema de fabricação: colado, costurado, ensacado, blaqueado, pontado, injetado;
- Quanto ao modelo: albert, bota, bota de cano longo, botina, botinha, broque, chanel, chinelo, decorado, de enfiar, falso mocassim, grego, huarache, inglês, luiz XV, mocassim, monk, mule, napolitano, sandália, sapatilha, tamanco, tênis.

3.1.3 Componentes do Calçado

O sapato é construído de uma parte superior, o cabedal, e de uma parte inferior, o solado. Cada uma delas é composta de uma série de outros componentes com funções bem específicas, conforme mostra o Quadro 3.2.

Quadro 3.2 - Componentes do calçado e suas funções

Componente	Função
Acolchoamento	Confortar o pé
Adesivos	Juntar, unir os componentes entre si
Alma	Sustentação da abóboda plantar ao caminhar
Biqueira	Sustentar o arco do pé
Cabedal	Cobrir e proteger a parte de cima dos pés
Cadarços	Não permite que o calçado saia do pé
Contraforte	Fixar calcanhar no calçado, dando firmeza ao caminhar
Costuras	Juntar as peças e adornar o enfeite
Couraça	Forma ao bico, para mantê-lo resistente e inalterado
Entresola	Função estética ou amortecer melhor os impactos
Forro	Reforçar e dar acabamento ao cabedal
Gáspea	Proteger a parte superior do pé
Ilhoses	Reforçar furos onde passam cadarços
Lingüeta	Proteger o peito do pé da fricção dos ilhoses
Linha	Juntar as diversas partes do cabedal
Palmilha de Montagem	Anteparar e compor o equilíbrio do pé
Palmilha Interna	Melhor apresentação ao calçado
Papelão	Anteparar o pé
Reforço da Palmilha	Fixação firme do salto, evitar a deformação do calçado
Reforços	Usados nos cabedais para reforçá-los
Salto	Elevar o pé, equilíbrio para o calçado
Sola	Proteger e evitar escorregamento
Tacão	Proteger o salto do desgaste, absorver o impacto
Vira	Acabamento do calçado

Fonte: SILVA, V. (Coord.). **Literatura Técnica Básica em Calçados**. Novo Hamburgo: CTCCA, 2002. v. 3: Estrutura Fabril - Modelagem de calçados e fabricação de calçados. p. 61-64.

As principais partes que constituem o calçado são mostradas nas Figuras 3.1 e 3.2. Outros elementos podem ser acrescentados, dependendo do modelo a ser produzido ou das necessidades específicas do tipo de fabricação.

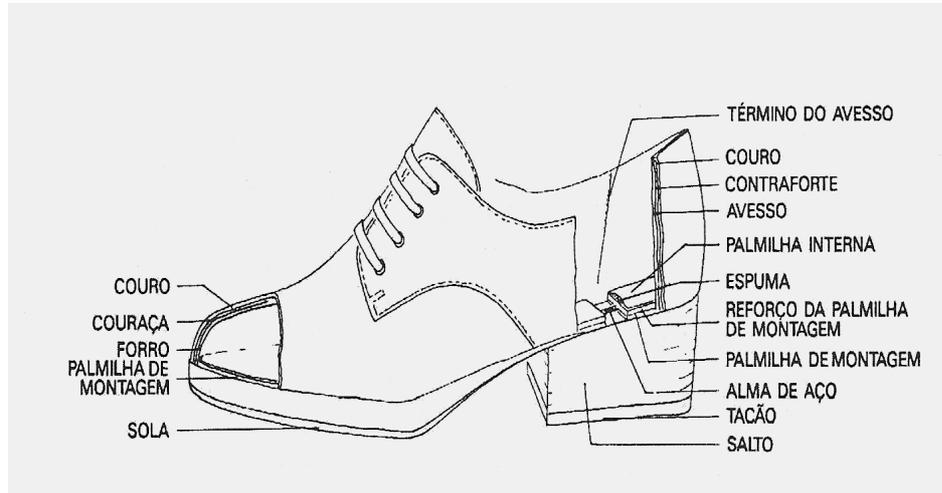


Figura 3.1 - Partes do calçado.
Fonte: SILVA (2002, p. 66)

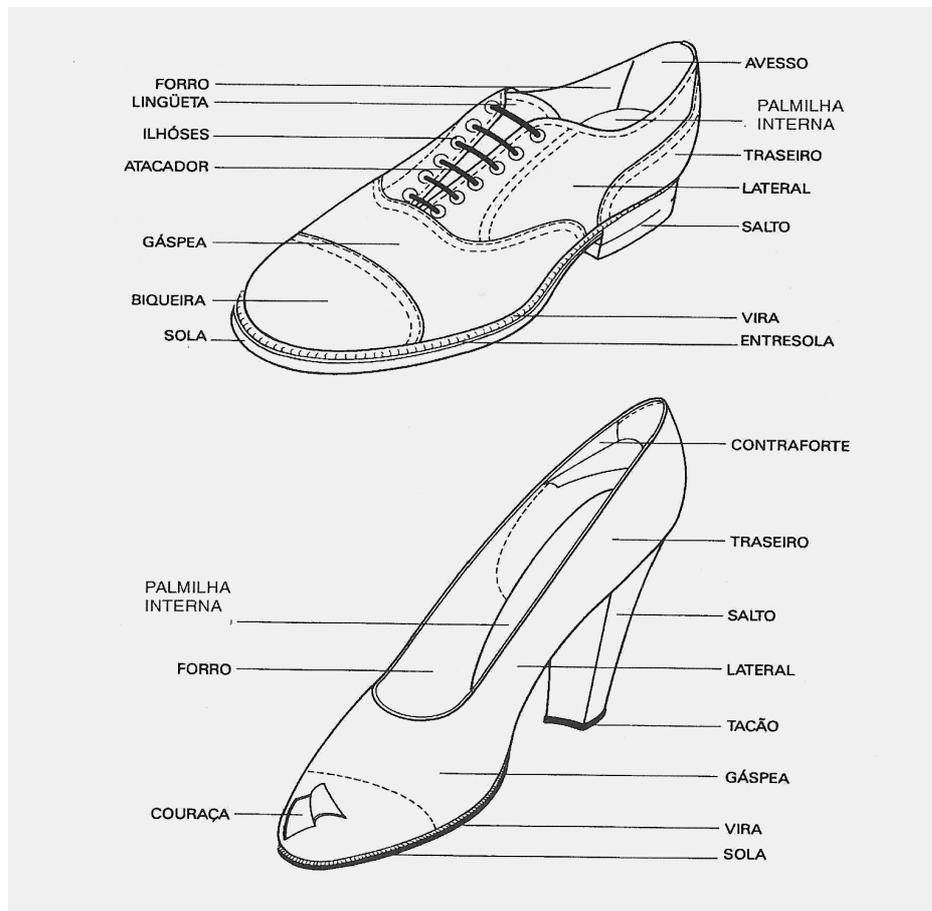


Figura 3.2 - Peças do calçado masculino e feminino.
Fonte: SILVA (2002, p. 65)

3.1.4 Fabricação do Calçado

De acordo com Fensterseifer (1995), a indústria brasileira de calçados é bastante homogênea ao que se refere à divisão do trabalho e apresenta uma disposição mais ou menos comum, baseada na divisão em setores.

Inicialmente é importante saber que a fabricação de um calçado engloba de 100 a 130 operações, muitas delas manuais. As etapas do processo de fabricação do calçado em suas linhas gerais, sem entrar nos detalhes técnicos, são mostradas na Figura 3.3.

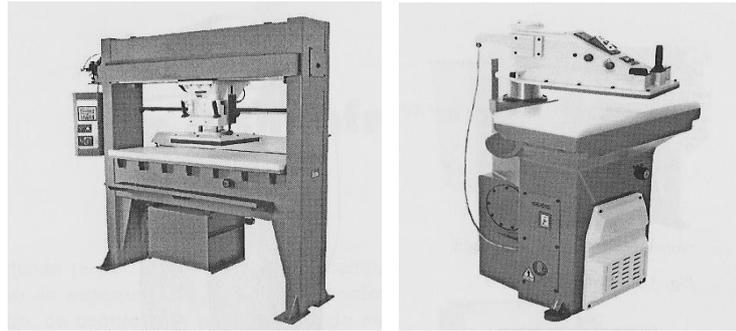


Figura 3.3 - Etapas de fabricação do calçado.

Inicia-se pela etapa de modelagem, que é um conjunto de etapas e processos que começam na criação de um determinado modelo, através do desenho. Esta é a função chamada “ateliês de modelagem”, onde a modelagem é elaborada por modelistas de calçados. Pode-se dizer que a modelagem é a etapa da criatividade na engenharia de um produto, chamado calçado.

Criado o modelo no papel, transforma-se este numa forma, um “duble”, geralmente de madeira ou plástico. A finalidade da confecção do corpo de forma consiste em passar para um plano regular, todas as dimensões que a forma representa. A forma deve ser concebida levando em conta não apenas o volume do pé estático, mas considerando também todas as alterações por que passa o pé ao se locomover (SILVA, 2002).

O corte é a próxima etapa, onde a partir dos moldes, as diferentes peças que compõem o cabedal são cortadas com ajuda de lâminas ou de navalhas, sendo considerado o ponto de equilíbrio de uma empresa, pois, os desperdícios em operações de corte e recorte, revertem em lucros ou prejuízos. É feito manualmente utilizando facas e moldes de cartolina ou através de uma prensa hidráulica denominada balancim de corte (Figura 3.4).



(a)

(b)

Figura 3.4 - Prensa hidráulica: (a) Balancim de ponte; (b) Balancim hidráulico.

Fonte: SILVA (2002, p. 109)

Cortadas as peças, elas são encaminhadas para a chanfração, que é a preparação do material para receber a costura, ou seja, a diminuição da espessura dos cantos e bordas da peça, chamado de chanfro (Figura 3.5). Importante para a firmeza da costura, aparência e conforto do calçado.

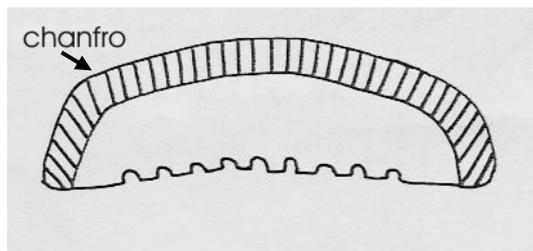


Figura 3.5 - Desenho de peça com chanfro.

Fonte: CTCCA e COTECAF (1986, p. 16)

A operação seguinte é a costura, união de peças, junção das partes que constitui a estrutura básica da parte superior do calçado, chamado de cabedal. Este setor comporta uma diversidade de atividades, desde a preparação até a costura.

A montagem, etapa seguinte, onde ocorrem operações diferentes, com características próprias, sendo que algumas são fundamentais, como:

- Fixar palmilha na forma e conformar contraforte;
- Reativar couraça e montar bico e calcanhar;
- Colar sola e prensar.

O acabamento do calçado é constituído de operações variadas, onde as mais importantes são a escovação do cabedal, colocação de saltos, impressão da numeração e colocação de cadarço.

A última etapa do processo de fabricação do calçado é a limpeza, antes da colocação em caixas e envio para a expedição.

3.2 Palmilha

A palmilha é um dos elementos mais importantes do calçado, pois, representa a estrutura sobre a qual se alicerçam quase todas as partes que constituem o modelo, e nesse sentido, pode-se até dizer que é uma peça “com identidade própria”. Serve de elo de ligação entre as duas principais partes do calçado, o cabedal e o solado (MYLIUS, 1993).

De acordo com Morbach (2002), a palmilha pode ser considerada o “chassi” do calçado porque é sobre ela que o calçado é montado no moderno processo de manufatura. É a base onde o cabedal é colado ou costurado, portanto, é a parte que dá a sustentação estrutural principal do calçado. Sobre esta vai uma sobre-palmilha que faz o contato com o pé. Normalmente, a palmilha propriamente dita nunca é vista, está oculta sob a sobre-palmilha ou algum forro que faz contato com o pé.

A palmilha de montagem é uma reprodução da planta da forma, com reforços na parte do calcanhar, tendo as seguintes finalidades:

- Dar e manter estrutura ao calçado;
- Fixar o cabedal na montagem do calçado;
- Manter o formato da superfície da planta do pé.

Segundo Morbach (2002), as palmilhas de montagem variam de acordo com o tipo de calçado e a construção utilizada, como segue abaixo:

- Palmilha simples: feita de um único material, normalmente, flexível, como não-tecido e celulose. Usado em artigos de salto baixo, como sapatilhas e artigos esportivos (Figura 3.6).



Figura 3.6 - Palmilha simples.
Fonte: MORBACH (2002, p. 129)

- Palmilha emendada: composta por um material para planta na região frontal e um reforço anterior. A palmilha torna-se resistente, com menor custo, ao receber um reforço de sustentação. Destinada para calçado de salto baixo a médio (Figura 3.7).

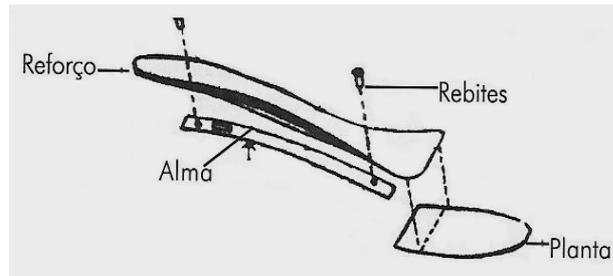


Figura 3.7 - Palmilha emendada.
Fonte: MORBACH (2002, p. 130)

- Palmilha emendada com reforço duplo: composta por um material de planta na região frontal, seguida de dois reforços na parte superior e inferior (Figura 3.8).

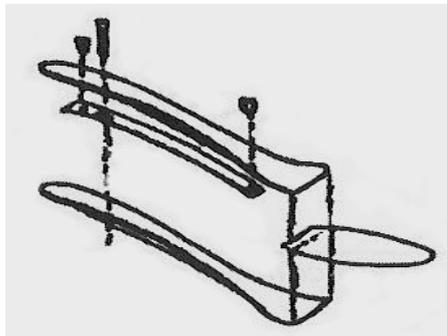


Figura 3.8 - Palmilha emendada com reforço duplo.
Fonte: MORBACH (2002, p. 132)

- Palmilha com encaixe para montagem interna: os encaixes são feitos em máquinas específicas de fresa, que servem para evitar a marcação da sola pelo corte, devendo ter no mínimo o mesmo valor da espessura do cabedal. É usado em calçados abertos, como sandálias com tiras (Figura 3.9).

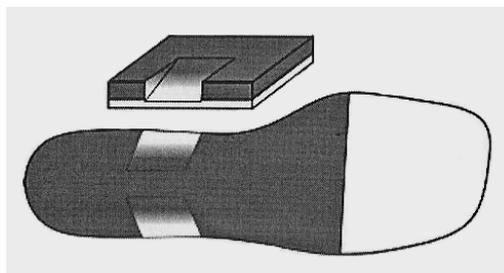


Figura 3.9 - Planilha com encaixe para montagem interna.
Fonte: MORBACH (2002, p. 134)

Outros tipos de construções de palmilhas são citados a seguir:

- Palmilha com acabamento;

- Palmilha com encaixes para montagem externa;
- Palmilha com entalhe;
- Palmilha com esqueleto;
- Palmilha com meia planta dupla e/ou biqueira;
- Palmilha com perfuros internos;
- Palmilha com reforço colado;
- Palmilha encapada total ou com debrum e biqueira;
- Palmilha inteira com reforço duplo;
- Palmilha para o sistema ensacado;
- Palmilha Goodyear – Welt;
- Meia palmilha.

3.2.1 Fabricação da Palmilha

A fabricação da palmilha de montagem baseia-se no processo de impregnação de solução de látex de estireno-butadieno em manta de não-tecido de poliéster, com posterior secagem e reticulação em secador *Rama*, seguido de compactação do produto por meio de calandras. Depois disso, o produto obtido é bobinado. Este método difundiu-se a partir de 1979 devido ao custo deste material ser inferior ao da celulose, usado até então como base para palmilhas (KNORR-VELHO; PUBLIO FILHO, 1996).

A impregnação é o processo produtivo em que se imerge um material suporte em uma parte líquida ou pastosa, seguindo-se de aquecimento para evaporação do veículo diluente, normalmente água. Dessa forma, é promovida a reticulação do látex ou resina em não-tecido (REIS; TOCHTROP Jr., 2004).

A consolidação química total para mantas em emulsão aquosa, usando um polímero sintético reticulável de estireno-butadieno, é o meio mais simples para fabricação de produtos com não-tecidos, que permite a variação das características de dureza, flexibilidade e resistência, variando a composição e porcentagem de látex. Para reticulação da resina utiliza-se a secagem, onde o ar quente flui passando pelo véu, retirando a umidade do não-tecido. Pressão e calor são usados para remover a água da manta. A eficiência dos métodos é determinada pela velocidade da esteira do secador, peso da manta e a composição da fibra (REWALD, 2006).

3.2.1.1 Não-Tecido

O não-tecido é uma estrutura plana, flexível e porosa, constituída de véu ou manta de fibras ou filamentos, orientados direcionalmente ao acaso. Consolidados por processo mecânico (fricção), químico (adesão), térmico (coesão) ou combinações destes (PEREIRA, 2005). Basicamente, o não-tecido (Figura 3.10-a) é um têxtil produzido sem um entrelaçamento ordenado e homogêneo dos fios, mas sim com uma distribuição aleatória das fibras, diferente de um tecido (Figura 3.10-b) em que o conjunto de fios é formado por ângulo próximo de 90°, em forma de lâmina flexível (MORONI, 2005).

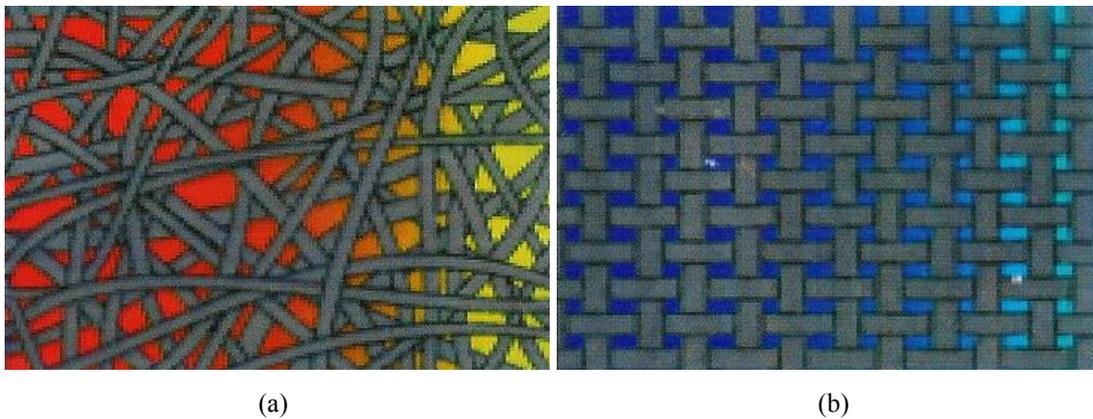


Figura 3.10 - (a) Não-tecido; (b) Tecido.
Fonte: MORONI (2005, p. 5)

Segundo Rewald (2006), o não-tecido pode ser conhecido como *nonwoven* (inglês), *notejido* (espanhol), *tessuto nontessuto* (italiano), *nontissé* (francês) e *vliesstoffe* (alemão). A invenção de obtenção é conferida a Carta Britânica nº 114, concedida a Bellford, em 1853, que revelou o uso de esteiras de transporte, impregnação e secagem, para fabricação de mantas ou almofadas de algodão para indústrias de estofados, colchões de mola, etc. Em 1930, iniciaram-se nos Estados Unidos as primeiras experiências para fabricação do não-tecido de celulose consolidado com látex. O avanço dos não-tecidos ocorreu em 1948 com a empresa American Viscose, que agulhou véu de fibras sintéticas e desde 1949 a empresa Freudenberg fabrica suas entretelas para confecção. Em 1960, aparecem as primeiras patentes para a fabricação do não-tecido de filamento contínuo de poliéster, através de fiação por fusão do PET, pelas empresas DuPont de Nemours e Freudenberg.

Os processos de fabricação dos não-tecidos são mais rápidos e menos trabalhosos do que para os tecidos, pois a fibra é convertida diretamente na manta, não sendo necessária a construção do fio (REWALD, 2006). A maior parte dos não-tecidos utilizados na indústria calçadista é composta predominantemente de fibras de PET e produzida pelo processo “*Spunbonded*”, manta obtida por via fundida (Figura 3.11). Este processo é utilizado pelos maiores produtores mundiais de fibras têxteis (MORONI, 2005).

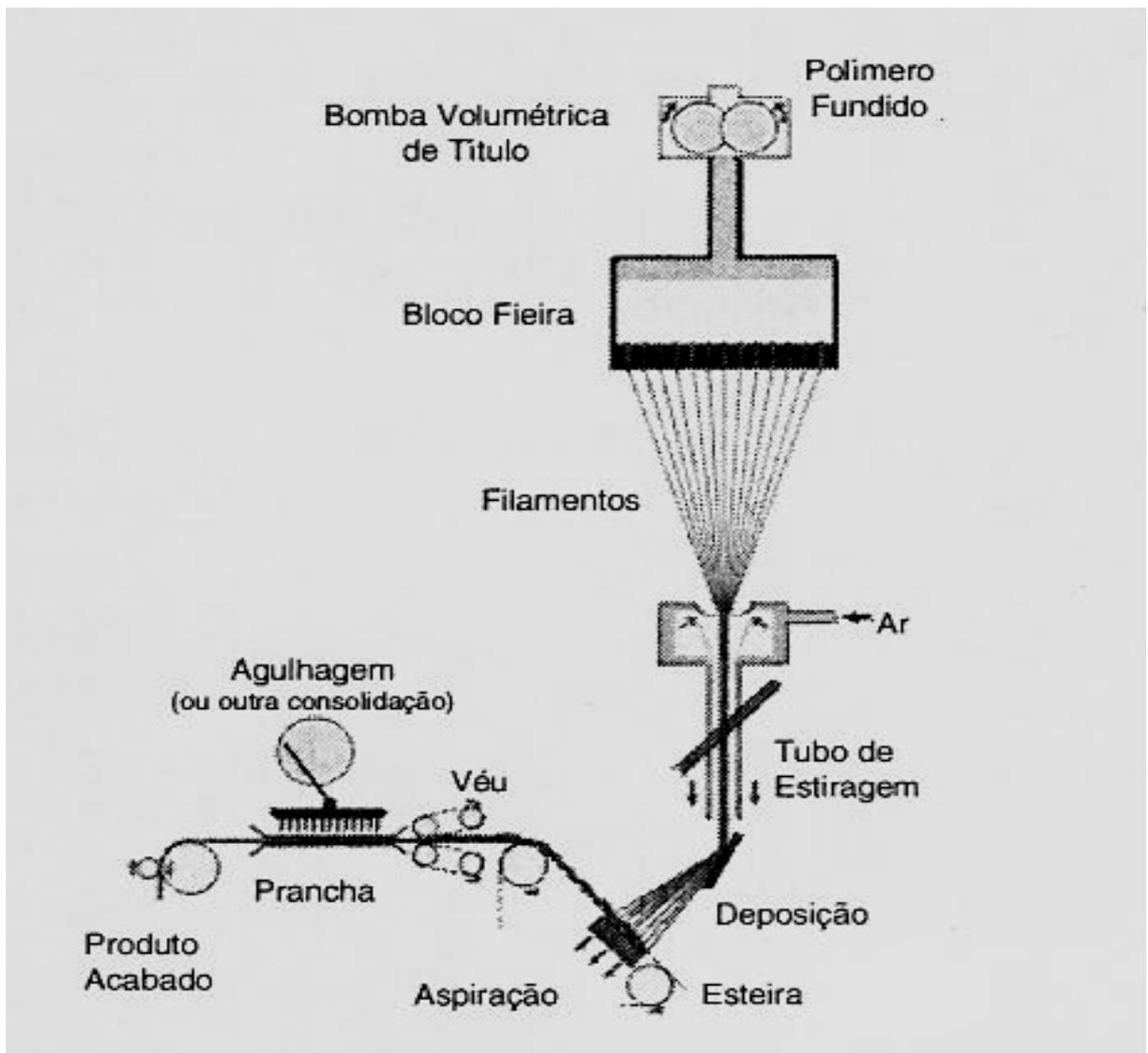


Figura 3.11 - Processo Spunbonded.
Fonte: MORONI (2005, p. 7)

Na Figura 3.11, o PET é alimentado para dentro da extrusora, na forma de grãos, onde são fundidos e bombeados por uma bomba de vazão controlada, fluindo

o polímero aquecido através de finos orifícios de uma fiação. Nesta fase do processo, os filamentos de PET obtidos se apresentam amorfos, com baixa orientação molecular, baixa estabilidade dimensional, baixo módulo, baixa tenacidade e alto alongamento residual. Continuando, os filamentos extrudados são resfriados em uma zona de condicionamento de ar, ao mesmo tempo em que são puxados para baixo e estirados por outro sistema de injeção de ar. Na estiragem é que os fenômenos da orientação molecular, da cristalização e da relaxação das tensões internas acontecem, dando a forma final da estrutura física da fibra (MENACHEN; PRESTON, 1985). Após a fase de estiragem, o sistema desloca-se aleatoriamente sobre uma esteira transportadora perfurada, posicionando os filamentos contínuos de forma entrelaçada. A espessura desta manta é controlada pela velocidade da esteira, sendo que a sua gramatura, neste tipo de processo, pode variar de 20 a 400 g/m². A massa molar média de aproximadamente 15.000 g/mol, para o PET, é requerida para obter melhores propriedades das fibras têxteis. Peso molecular menor fornece fibras de baixa resistência de empacotamento, peso molecular maior fornece fibras duras para aplicação industrial (GIORDANO; CAMPOS, 2006). A manta é então submetida a um processo de agulhagem, o qual tem a finalidade de entrelaçar melhor as fibras de forma a proporcionar uma maior estabilidade dimensional, além de aumentar a resistência à tração e diminuir sua espessura. Após a agulhagem, a manta é colocada em bobinas, embalada e identificada, estando pronta para as mais diversas aplicações (REWALD, 2006).

A manta de não-tecido agulhada 100% poliéster (Figura 3.12), utilizada nesta dissertação é o da Bidim, do grupo inglês BBA-Fiberweb. Segundo a Bidim (2000), a manta apresenta como principais características: ponto de fusão de 250°C, ponto de amolecimento entre 230-240°C e alongamento à ruptura de 25%. Este material possui grande resistência à ação de abrasão, micro-organismos e mofo, soluções salinas, solventes orgânicos, oxidantes e redutores, bases e ácidos orgânicos, fosfóricos, fluorídrico e oxálico. A manta apresenta uma grande resistência à tração, o qual “induz de forma sensível” a um direcionamento das fibras no sentido do comprimento do rolo, podendo, por isso, conferir maior resistência à tração quando o carregamento é realizado nesse sentido.



Figura 3.12 - Não-tecido agulhado de poliéster.
Fonte: MORONI (2005, p.13)

Segundo a Bidim (2000), as propriedades dos não-tecidos de poliéster possibilitam que este desempenhe nas aplicações, de forma isolada ou simultaneamente as seguintes funções:

- Reforço: Atuando no sentido de aumentar a resistência mecânica do material que será produzido (Figura 3.13).

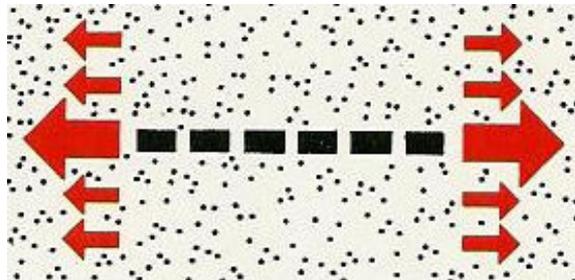


Figura 3.13 - Aumento da resistência mecânica do material.
Fonte: BIDIM (2000, p. 3)

- Suporte: Quando o não-tecido age como receptáculo base para deposição de materiais de reforço e impregnante (Figura 3.14).

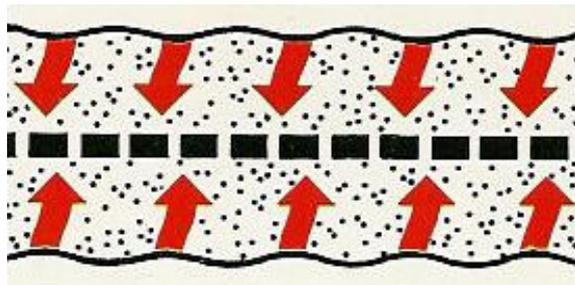


Figura 3.14 - Não-tecido agindo como receptáculo base de outros materiais.
Fonte: BIDIM (2000, p. 3)

- Absorção: Principalmente devido a sua alta porosidade, o não-tecido absorve e atenua a energia térmica proveniente de processos de secagem (Figura 3.15).

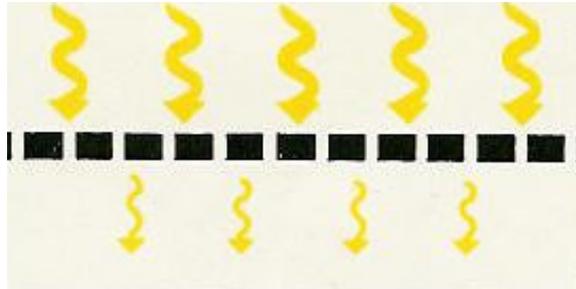


Figura 3.15 - Absorção de energia térmica no não-tecido.
Fonte: BIDIM (2000, p. 3)

- Acabamento: Em face da sua apresentação e facilidade em alterar as características de sua superfície, o não-tecido possibilita excelente melhoria estética dos produtos onde é aplicado (Figura 3.16).

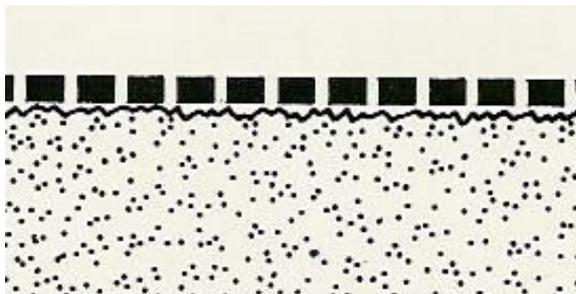


Figura 3.16 - Acabamento em superfícies.
Fonte: BIDIM (2000, p. 3)

- Filtração: Devido as suas características, o não-tecido permite a livre passagem do fluido, com retenção eficiente dos sólidos, garantindo a separação desejada dos materiais envolvidos (Figura 3.17).

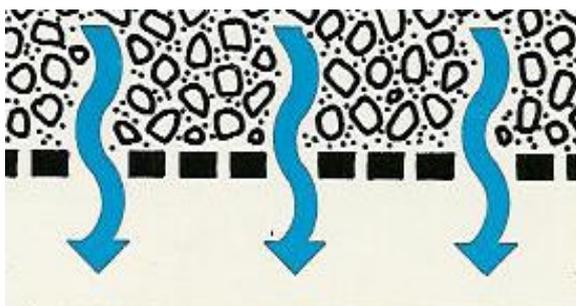


Figura 3.17 - Processo de filtração em não-tecidos.
Fonte: BIDIM (2000, p. 3)

3.2.1.2 Poli (Tereftalato de Etileno)

Poliésteres são polímeros contendo ao menos um grupo ligante éster por unidade de repetição (ROGERS; LONG, 2003). São materiais poliméricos produzidos pela interação de álcoois com ácidos policarboxílicos ou ésteres. São produzidos pela reação de esterificação ou transesterificação (MCMURRY, 2005).

A origem dos poliésteres remonta às primeiras décadas do século passado. Em 1928 na Universidade de Harvard, o Dr. Wallace Carothers foi um dos primeiros investigadores que desenvolveu os princípios de cadeia longa. Entre múltiplas experiências e descobertas em 1941, os investigadores J.R. Whinfield e J.T. Dickson, da “Calico Printers Association”, de Accrington (Lancashire, Reino Unido) produziram e patentearam uma fibra de poliéster, à qual foi dado o nome *Terylene*. A pesquisa da síntese do poliéster foi desenvolvida na Inglaterra, pelo grupo *Imperial Chemical Industrie* (ICI). Em 1942 a DuPont comprou a patente inglesa, batizada por *Dracon*®, com produção em massa em 1955 nos Estados Unidos (CHEREM, 2004).

Termoplásticos são aqueles que não sofrem alterações em sua estrutura química durante o aquecimento até a sua fusão. Os termoplásticos, após serem resfriados, podem ser novamente fundidos. O Poli (tereftalato de etileno), conhecido por PET, é classificado como um termoplástico quando são analisadas suas propriedades de solubilidade e fusibilidade (PEREIRA; MACHADO; SILVA, 2002).

As fibras de PET são elásticas e resistentes à tração e a fricção. São fáceis de lavar e secam rapidamente. As modernas tecnologias nos segmentos de fiação, tecelagem e acabamento, permitem que a fibra atenda perfeitamente a exigência de sua aplicação nos não-tecidos. Essas características fazem do PET uma das mais versáteis fibras têxteis sintéticas, podendo ser usado na fabricação de artigos para vestuário, calçados e tecidos técnicos (ALVES, 2005). Em 1980, o consumo de raion viscose foi superado pelo PET, consolidando desde então como a fibra mais usada na fabricação de não-tecidos, principalmente devido ao baixo preço, propriedades hidrófobas, resiliência e resistência (REWALD, 2006).

A fibra de PET adquire estabilidade dimensional permanente quando submetido à alta temperatura. Deve-se efetuar a secagem à temperatura de 160°C à 230°C, durante 30 a 60 segundos, na largura desejada e conforme a gramatura pré-definida (ALVES, 2005). A baixa temperatura de secagem propicia em tecidos de PET baixa estabilidade dimensional, toque macio e volumoso e maior sensibilidade à

formação de rugas (quebraduras). Por outro lado, a alta temperatura de secagem provoca elevada estabilidade dimensional, toque duro e fino e menor sensibilidade à formação de rugas (ARAÚJO; CASTRO, 1984).

As características físicas e químicas do PET são mostradas na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Características físicas e químicas do PET

Características	Condições e Valores
Peso específico	1.38 g/cm ³
Resistência à tração ¹	2.4 – 4,5 cN/dtex
Alongamento	15 – 40%
Elasticidade após alongar 1%	98% (perda da elasticidade acima de 230°C)
Absorção da umidade (Regain)	0,4 – 0,8%
Comportamento à chama	Queima lentamente com odor aromático
Ponto de fusão	230 a 250°C
Termofixação	150 a 220°C
Transição vítrea	81°C
Resistência à luz solar	Muito elevada
Resistência ao mofo	Resistente, dentro de seu equilíbrio de umidade
Resistência à traça	Resistente
Resistência ao álcali	Boa resistência a álcalis fracos Resiste moderadamente a álcalis fortes
Ação do suor	Nenhum efeito sobre a resistência
Ação dos ácidos	Boa resistência aos ácidos concentrados frios e aos ácidos diluídos
Ação de oxidantes e redutores	Boa resistência
Ação dos solventes orgânicos	Solúvel no nitrobenzol, metacresol e fenol. Insolúvel nos álcalis, benzeno, dioxano, dimetilformamida, solventes na lavagem a seco.
Ação aos raios ultravioleta	Boa resistência
Aparência	Seção transversal esférica, cilíndrica, trilobal, pentalobal ou côncava
Tingibilidade	Tinge com corantes dispersos

Fonte: ALVES, M. L. (Org.) **Manual Técnico do Poliéster**. 1. ed., Americana: Vicunha, 2005, p. 28.; RAUBER, M. P.; GONÇALVES, E. (Coord.). **Literatura Técnica Básica em Calçados**. Novo Hamburgo: CTCCA, 2002. v. 1: Materiais - Couro e outros materiais de corte. p. 71.

3.2.2 Secador Rama

A *Rama* (Figura 3.18) é um secador com as funções de extrair água, promover a cura da resina, padronizar dimensionalmente e dar acabamento ao produto final. É constituído por um alargador que, através de garras acopladas a

¹ Medida por unidade de área, sendo que na área têxtil é medida por unidade de título, representado em centi-Newtons por decitex (cN/dtex).

correntes, trabalha numa determinada velocidade em trilhos junto à estrutura rígida da máquina, tensionando o tecido no sentido transversal e fazendo o mesmo atravessar a câmara de ar aquecido. A câmara é um longo caminho por onde passa o tecido, normalmente dividida em vários campos. Nestes campos estão os equipamentos que aquecem o ar de forma direta, utilizando queimadores a gás. Na câmara existem ventiladores para insuflar o ar quente e seco, forçando a passagem pelo tecido pelo princípio de convecção forçada, secando o tecido pelos dois lados (CHEREM, 2004).

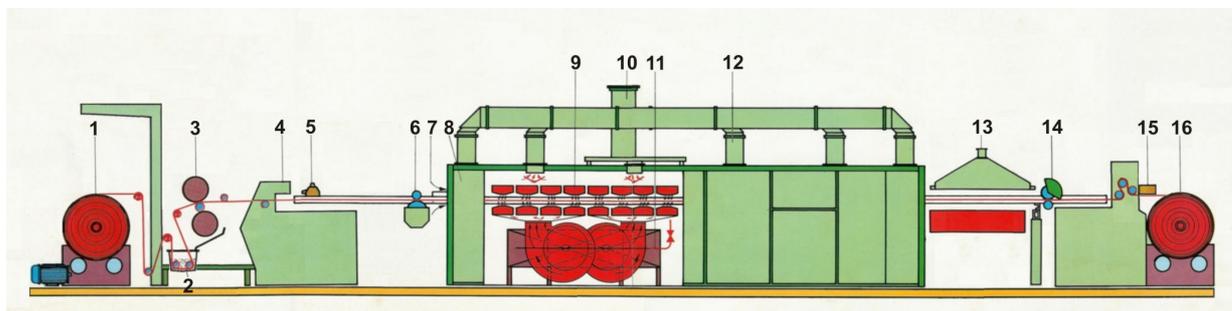


Figura 3.18 - Principais partes do secador *Rama*.
Fonte: TEXIMA (1999, p. 10)

- 1 – Rolo de tecido suporte
- 2 – Reservatório de solução impregnante (cocho)
- 3 – Foulard de impregnação
- 4 – Suporte de entrada da Rama
- 5 – Dispositivo para lubrificação dos elos e pinos da corrente
- 6 – Limpador de ourelas nos morcetes
- 7 – Entrada do secador Rama
- 8 – Pré-câmara do secador Rama
- 9 – Injetores de ar quente
- 10 – Exaustor geral
- 11 – Dispositivo para termofixação
- 12 – Exaustor de câmara
- 13 – Vaporizador
- 14 – Cortador de ourelas
- 15 – Metrador
- 16 – Palmilha em rolo

As principais partes e funções das diferentes partes do secador *Rama* são descritos a seguir (TEXIMA, 1998):

a) Tecido em Rolos

O tecido suporte de não-tecido de poliéster é acondicionado em cavalete, carro rolo (Figura 3.19), na entrada do secador *Rama*.



Figura 3.19 - Rolo de não-tecido na entrada da *Rama*.

b) Impregnação do Tecido

A solução impregnante é transferida do tanque de mistura I ou II, para o cocho² (Figura 3.20), agindo como um receptáculo base para a deposição da resina polimérica impregnante, onde a manta de não-tecido de poliéster é totalmente imersa no banho de solução.

A impregnação compõe-se de três fases:

- Imersão do véu no banho;
- Absorção do líquido ligante pelas fibras;
- Eliminação do excesso de ligante.

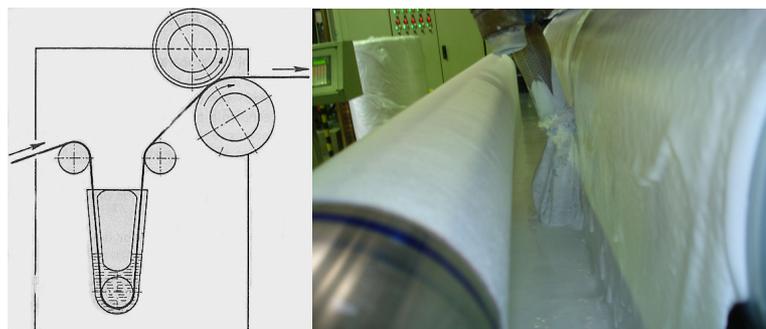


Figura 3.20 - Impregnação da manta de não-tecido em cocho.

² Tanque aberto com a solução polimérica impregnante, com um cilindro de aço inoxidável no fundo.

c) Foulard

A eliminação do excesso de ligante é realizada por um processo mecânico de hidroextração por foulard³. Tem o propósito de uma pré-secagem e amaciamento obtidos por espremagem entre cilindros, sujeitos a uma determinada pressão, que deve ser igual em toda a sua extensão, para assegurar uma distribuição homogênea correta de látices na manta impregnada. Após a primeira espremagem, localizada após o banho de impregnação (Figura 3.21-a) a manta passa pelo segundo conjunto de espremedores auxiliares, antes do secador *Rama* (Figura 3.21-b).



(a) (b)
Figura 3.21 - (a) Foulard principal; (b) Foulard auxiliar.

d) Entrada do Secador

A manta impregnada após passar pelo foulard é fixada nas laterais da corrente horizontal por um conjunto de morcetes⁴ (Figura 3.22-a), seguindo por uma esteira rolante com destino a entrada do secador *Rama* (Figura 3.22-b).



(a) (b)
Figura 3.22 - (a) Morcetes prendendo a manta; (b) Entrada da manta no secador.

³ Conjunto de cilindros de aço inoxidável.

⁴ Elos em aço 1060, com pinos de aço especial retificado, usado para prender a manta.

e) Saída do secador

A saída da manta na *Rama* é a fase do processo de compactação, onde se promove o relaxamento mecânico do tecido, devido à perda de umidade do tecido para o ambiente na câmara de secagem. Neste processo o tecido deve estar seco, com baixos índices de umidade nas condições ideais da fibra de poliéster. Após sair do túnel o tecido passa por um acerto de espessura em um novo conjunto de foulard, sendo as laterais cortadas em cortador de ourelas devido ao desgaste causado pelos morcetes no material, obtendo tiras como rejeito. O produto final, palmilha, é relaxado e acomodado em forma de bobinas (Figura 3.23).



Figura 3.23 - Palmilha em bobina.

f) Queimador de Gás

O queimador de gás Wheishaupt (Figura 3.24-a), localizado nas laterais de cada câmara de secagem (Figura 3.24-b), possui regulagem de velocidade dos jatos de ar quente nos injetores inferiores e superiores. Cada um é independente e de acionamento por sistema eletro-eletrônico, com motores de corrente alternada e variação de velocidade por inversores de frequência otimizados por CLP.



(a)

(b)

Figura 3.24 - (a) Queimador de gás; (b) Câmaras de secagem.

g) Câmara de Secagem e Injetores

O secador possui 5 câmaras de secagem (Figura 3.25), com 6 metros por câmara, com variações térmicas de controle cada uma, ajustados em painel de controle. Cada câmara possui 16 injetores de ar quente (Figura 3.26), sendo 8 superiores e 8 inferiores e mais um conjunto de 2 motores e 2 rotores próprios.

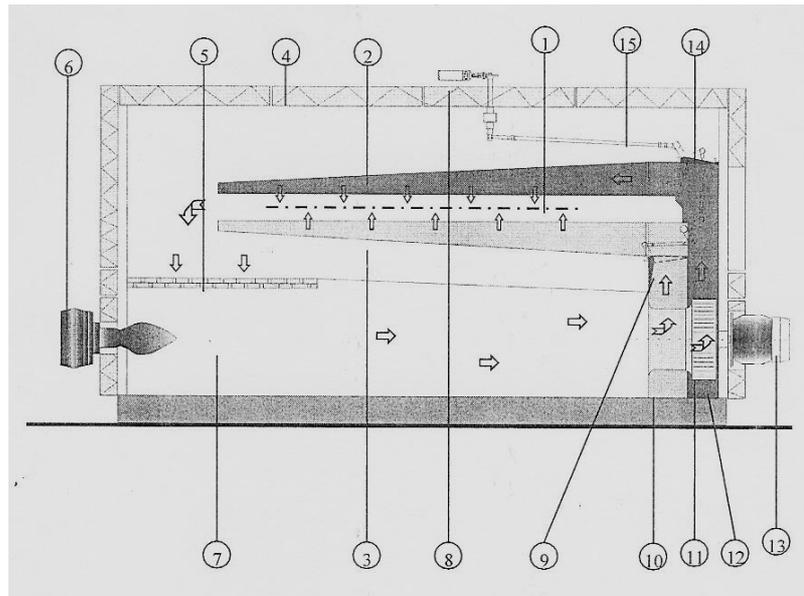


Figura 3.25 - Câmara de secagem.

- 1 – Tecido
- 2 – Injetor superior
- 3 – Injetor inferior
- 4 – Painéis de isolamento
- 5 – Filtros horizontais superior e inferior
- 6 – Queimador a gás GLP
- 7 – Setor de aquecimento
- 8 – Pistão pneumático para comandar dampers do by pass
- 9 – Dampers do by pass inferior
- 10 – Conduto de ar para injetor inferior
- 11 – Rotor
- 12 – Conduto de ar para injetor superior
- 13 – Motor
- 14 – Dampers do by pass superior
- 15 – Conjunto de alavanca e braços de acionamento do by pass

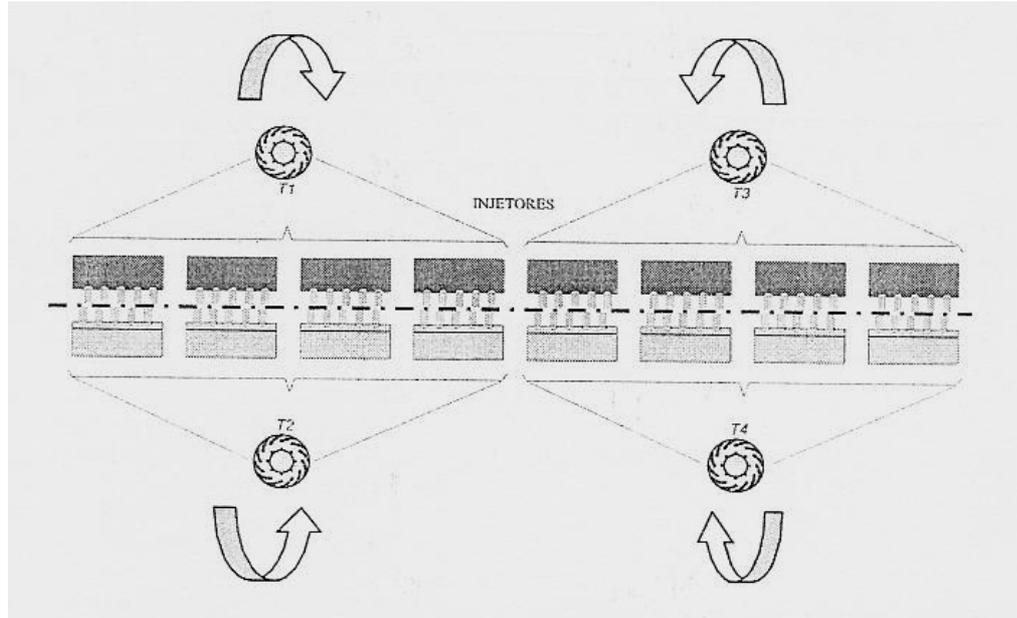


Figura 3.26 - Fluxo de energia nos injetores.

h) Damper

Uma das alternativas para economia de energia é a recirculação parcial do ar quente que sai da secagem, sendo recirculado parcialmente para o exaustor de câmara, com ajustes nas aberturas dos dampers (Figura 3.27), reduzindo assim a necessidade de aquecer tanto o ar de secagem. Lambert, em 1991, trabalhou com uma estratégia de recirculação de ar em secadores de tecidos, e concluiu que poderia se alcançar uma melhoria de 8% na eficiência total no processo de secagem, quando 75% do gás expelido fosse recirculado. Verificou que dampers demasiadamente abertos elevam o consumo de energia, enquanto que dampers demasiadamente fechados diminuem o rendimento de evaporação (BONTEMPI, 2004).



Figura 3.27 - Damper aberto em 75%.

A maior taxa de evaporação de água ocorre nas duas primeiras câmaras de secagem. Por esta razão, que altas temperaturas de ar quente são mais importantes nestas regiões com abertura total dos dampers, para levar a umidade retirada no produto para fora do sistema, evitando a condensação. Nas câmaras seguintes os dampers serão fechados gradualmente em valores próximos de 50% e 75%, devido à diminuição gradual da quantidade de água no produto. Na última câmara o damper deve estar praticamente fechado, para evitar a perda de energia térmica pela fenda de saída do túnel do secador, mostrada na Figura 3.28 (TEXIMA, 1998).

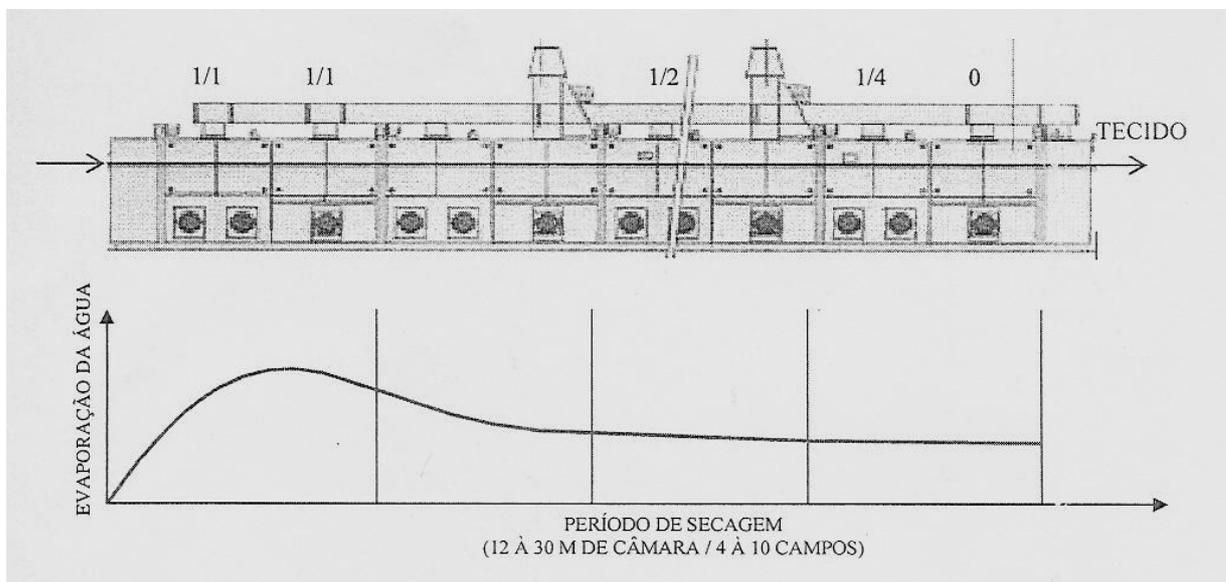


Figura 3.28 - Evaporação da água dentro das câmaras do secador.

3.2.3 Especificação de Palmilhas

As faixas de especificações de controle de qualidade em palmilha adotadas pela empresa A, com mínimo e máximo, que serviram de referência para o estudo é apresentada na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 - Especificação de controle da palmilha

Gramatura Inicial (g/m^2)	Peso Base (g/m^2)	Espessura (mm)
110	475 - 525	1,05 - 1,15
150	551 - 609	1,25 - 1,40
200	713 - 788	1,40 - 1,70

3.3 Secagem de Tecidos

Segundo Perry e Green (1998), o termo secagem aplica-se à transferência de um líquido que está em um sólido úmido para uma fase gasosa não saturada. É necessária uma fonte de calor para evaporar o líquido e um sorvedor de umidade para remoção do vapor d'água, formado a partir da superfície do material seco (Figura 3.29).

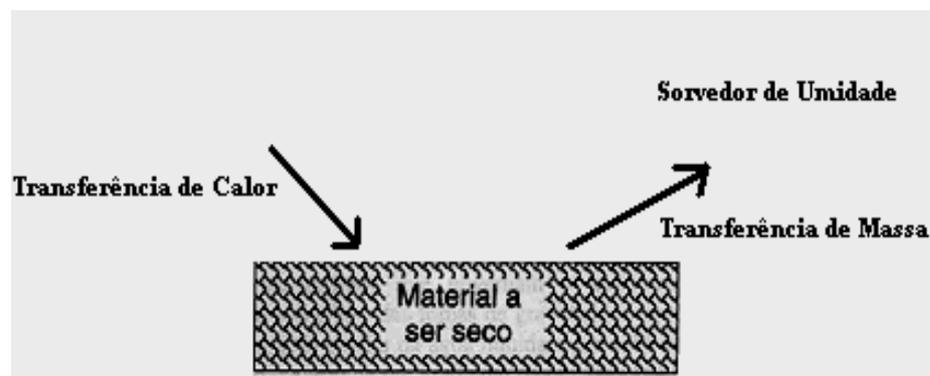


Figura 3.29 - Diagrama do processo de secagem em tecido úmido.
Fonte: BONTEMPI (2004, p. 8)

Conforme Bontempi (2004), a migração da água do interior de um tecido até a superfície é analisada pelos mecanismos de transferência de massa, que indicará a dificuldade de secagem dos materiais. Os mecanismos mais significantes que representam a Figura 3.30 são:

- A difusão da água líquida ocorre devido à existência de uma diferença de concentração;
- A difusão do vapor ocorre devido à diferença de pressão de vapor, causado pelo gradiente de temperatura. O vapor também pode difundir por diferença de concentração.

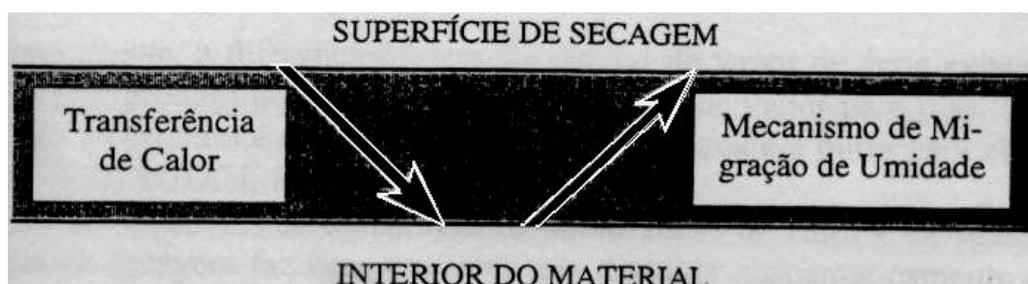


Figura 3.30 - Diagrama de migração de umidade no interior de um tecido.
Fonte: BONTEMPI (2004, p. 8)

Materiais termofixos ou termorrígidos são aqueles que pelo aquecimento ou pela ação de resinas plásticas sofrem o processo de cura, tornando-se permanentemente duro e rígido. A impregnação de látex de estireno-butadieno em não-tecidos de poliéster, pela ação do calor, provoca uma reação química de reticulação, aglomerando as camadas em uma massa sólida e compacta (REWALD, 2006).

Em muitas áreas da engenharia química tem que lidar com a temperatura de fixação de compostos em estruturas poliméricas. A complexidade do controle térmico esta em determinar a cinética química que ocorre durante a cura. Kosar, Gomzi e Antunovic (2005) estudaram o calor transferido por convecção do ar à superfície do molde e do calor transferido por condução através da resina de poliéster insaturado, para promover a cura de estireno, induzida pela decomposição de um iniciador MEKP (peróxido de etil-metilcetona), realizada em uma câmara aquecida fechada com temperatura constante (Figura 3.31). Mostraram um complexo modelo matemático de cura, onde a taxa de calor constante contribuiu para a cura da reação antecipadamente. Os períodos característicos das curvas de temperatura versus tempo são mostrados na Figura 3.32, que seguem a equação de Arrhenius, pois, com a elevação da temperatura do molde (100 para 110°C), aumentou a temperatura de cura (156°C para 172°C), diminuindo o tempo de reação (11,0 para 9,5 min).

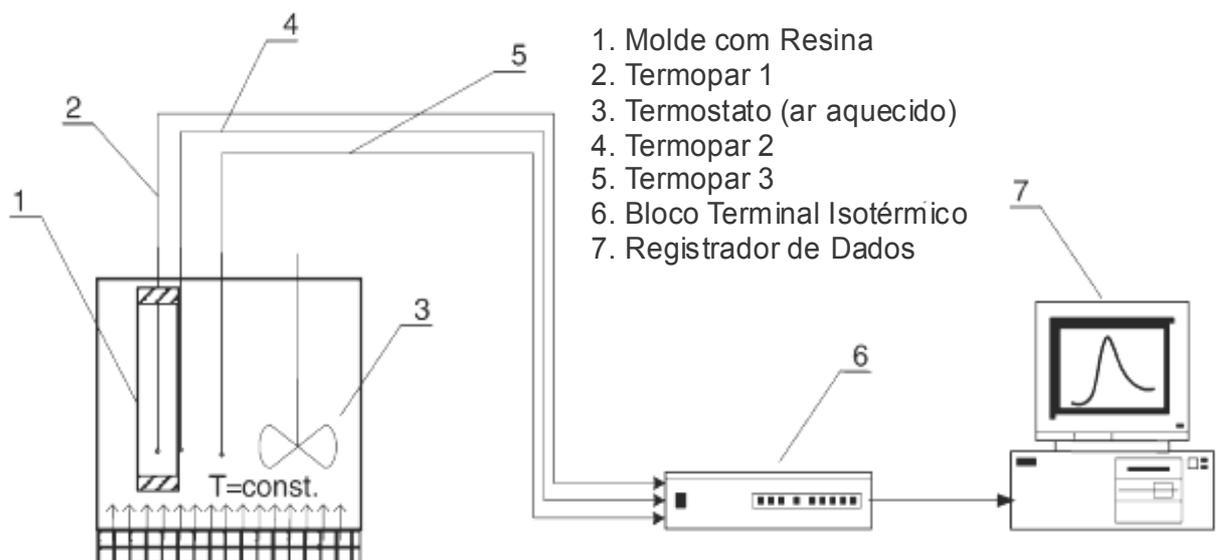


Figura 3.31 - Representação esquemática do sistema de medição.
 Fonte: KOSAR, GOMZI e ANTUNOVIC (2005, p. 136)

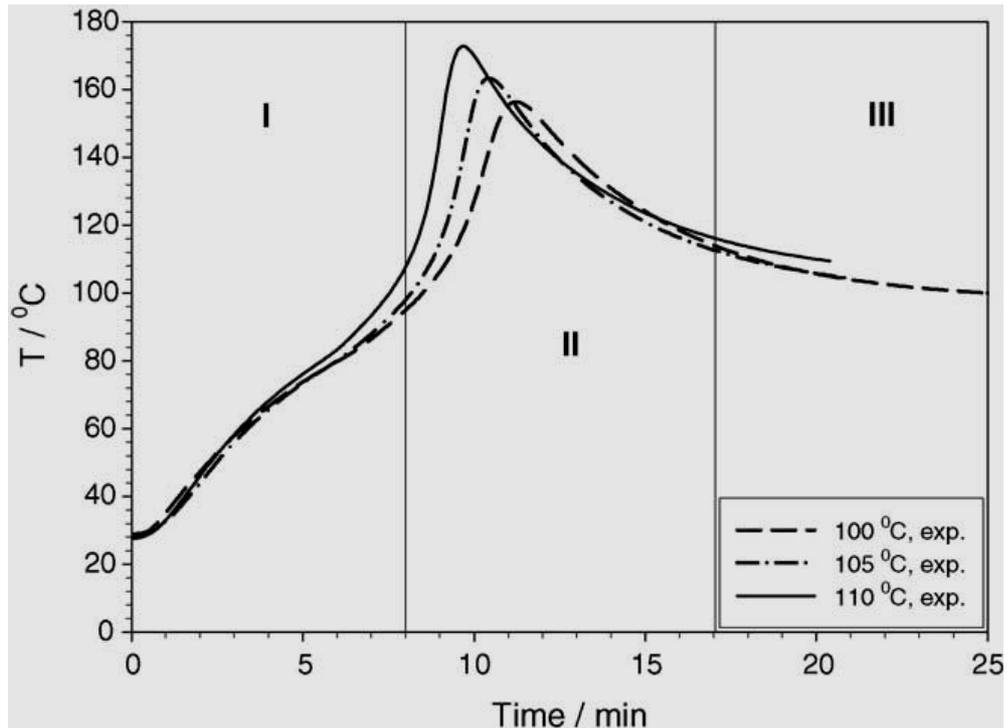


Figura 3.32 - Curva temperatura versus tempo: (I) Período de indução - aquecimento; (II) Período de reação - cura; (III) Período de relaxamento - estabilização.
Fonte: KOSAR, GOMZI e ANTUNOVIC (2005, p. 136)

3.3.1 Caracterização de Polímero

O emprego da energia térmica é muito comum na indústria têxtil, em processos de secagem e transformação de materiais, o que pode mudar a estrutura das moléculas nas fibras. O polímero termoplástico, sob o efeito da alta temperatura rearranja a sua estrutura molecular criando novas áreas cristalinas ou amorfas, portanto, a fibra e o tecido deste material assumem outras propriedades físicas e químicas diferentes da inicial (CHEREM, 2004).

As propriedades térmicas mais importantes para as fibras termoplásticas são o ponto de amolecimento e o ponto de fusão, a partir da qual a fibra começa a amarelar e é preciso controlar que o tempo de exposição não seja demasiado, para evitar amarelamientos significativos no tecido (SEBASTIÃO; CANEVAROLO, 2004).

A temperatura de transição vítrea, T_g , é um efeito térmico que pode ser utilizado para a caracterização de materiais amorfos ou semicristalinos. A T_g é a propriedade do material onde se obtêm a temperatura da passagem do estado vítreo para um estado "maleável", sem ocorrência de uma mudança estrutural. A parte amorfa do material, onde as cadeias moleculares estão desordenadas, é a

responsável pela caracterização da temperatura de transição vítrea. Abaixo da T_g o material não tem energia interna suficiente para permitir deslocamento de uma cadeia, com relação à outra, por mudanças conformacionais. Portanto, quanto mais cristalino for o material, menor será a representatividade da transição vítrea. A temperatura de fusão cristalina, T_m , é a temperatura média na qual durante o aquecimento de um polímero semicristalino, ocorre a destruição das regiões cristalinas do material. Nesta temperatura a energia fornecida ao sistema é suficiente para vencer as forças intermoleculares existentes no sistema polimérico (PESSAN, 2004).

A Figura 3.33 mostra a caracterização do PET em DSC, identificando a T_g em 81°C e o T_m em 245°C .

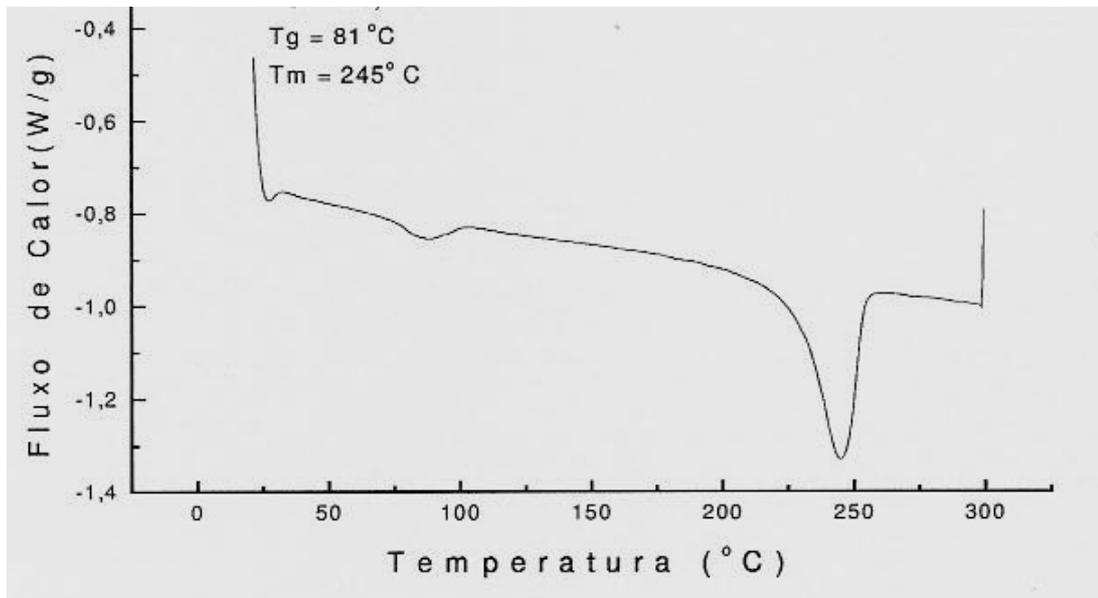


Figura 3.33 - Curva do PET em DSC, identificando a T_g e T_m .
Fonte: MANCINI (2006, p. 137)

3.3.2 Taxa de Secagem

Conforme Foust (1982), na secagem de um tecido úmido, mediante uma corrente de gás, a uma temperatura e a uma umidade fixa, resulta sempre um tipo de comportamento padrão. Imediatamente depois do contato entre a amostra e o meio secante, a temperatura do sólido ajusta-se até atingir o equilíbrio entre a superfície e o seu meio exterior, período de indução, trecho A'B ou AB (Figura 3.34).

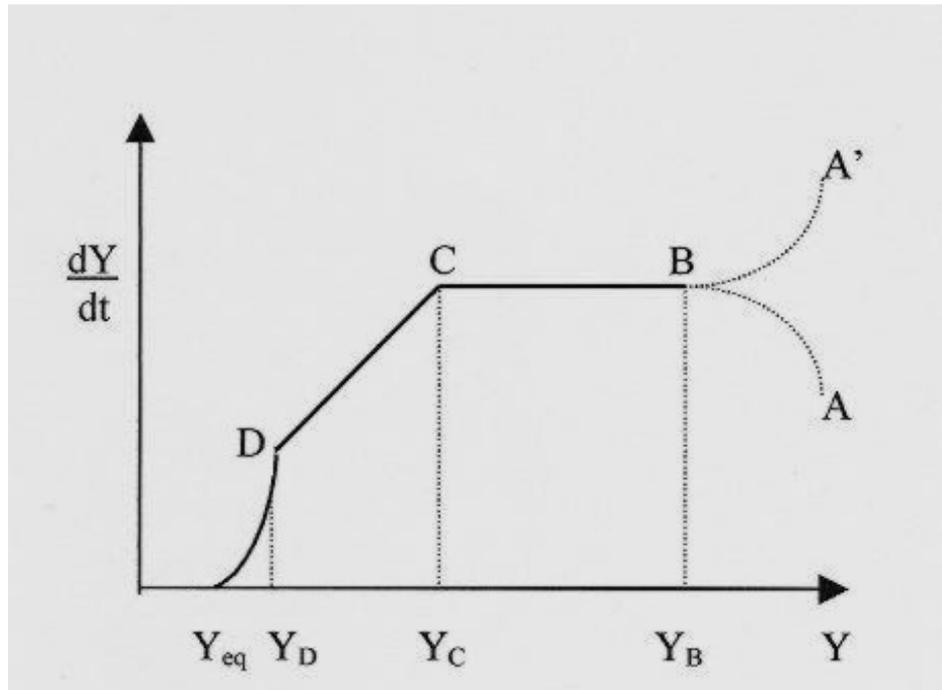


Figura 3.34 - Curva de taxa de variação de umidade com o tempo de secagem.
 Fonte: OLIVEIRA Jr. (2003, p. 32)

A temperatura do sólido e a velocidade de secagem podem aumentar ou diminuir para chegarem a essa condição de equilíbrio. Neste caso, a temperatura da superfície do sólido é a temperatura de bulbo úmido da corrente gasosa. As temperaturas no interior do sólido tendem a ser igual à temperatura de bulbo úmido do gás, mas devido às defasagens entre a transferência de calor e massa isso não acontece. Uma vez que a temperatura do sólido tenha atingido a temperatura de bulbo úmido do gás, ela permanece constante; a taxa de água eliminada na unidade de tempo é constante e este período da secagem é o período a taxa constante, trecho BC (Figura 3.34).

Após o ponto C, a temperatura da superfície eleva-se e a taxa de secagem cai rapidamente, neste período de taxa decrescente, trecho CD (Figura 3.34), pode ser mais dilatado que o período de taxa constante, embora a remoção de umidade possa ser muito menor. É também denominado de “primeiro período de taxa decrescente”, a superfície fica paulatinamente mais pobre em líquido, pois, a velocidade do movimento do líquido para a superfície é menor que a velocidade com que a massa é transferida da superfície. No ponto D (Figura 3.34) não há, na superfície, qualquer área saturada no líquido. O vapor, nos níveis mais internos da amostra sólida, difunde-se para a parte da superfície que não está saturada e

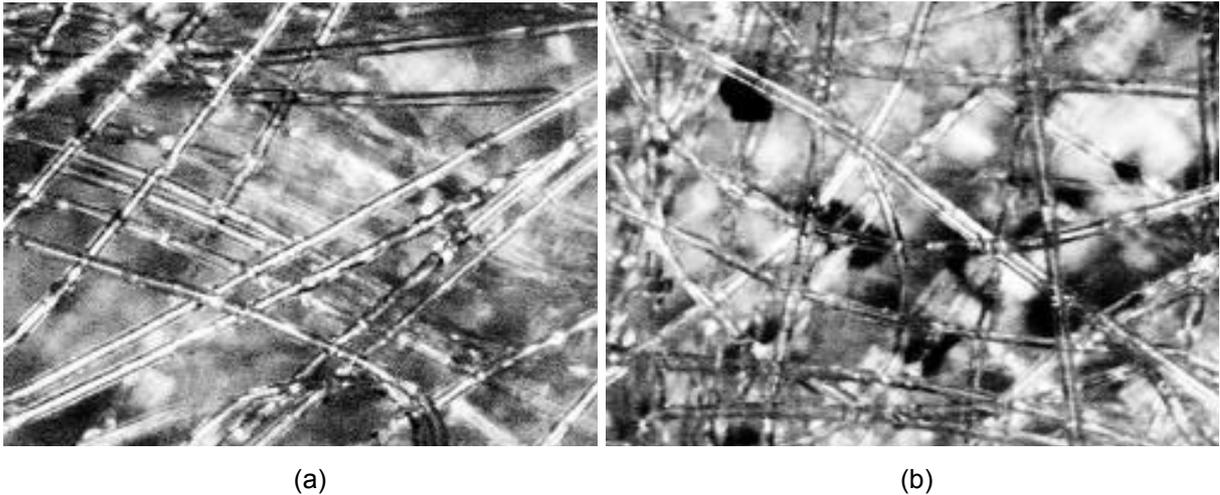
continua a difundir-se para a corrente gasosa. Este mecanismo é muito lento em comparação com a transferência convectiva que ocorre na superfície saturada.

Nos teores de umidade mais baixos que os do ponto D (Figura 3.34), toda a evaporação ocorre a partir do interior do sólido. À medida que o teor de umidade continua a cair, à distância a ser coberta na difusão do calor e da massa aumenta, dificultando cada vez mais a migração de umidade, até que no limite, quando o sólido chega à umidade de equilíbrio, Y_{eq} (Figura 3.34), cessa a secagem. O teor de umidade de equilíbrio é atingido quando a pressão de vapor sobre o sólido é igual à pressão parcial do vapor na corrente gasosa. Este período é denominado “segundo período de taxa decrescente”.

Han, Mai e Gu (1991) comprovaram o efeito significativo da intensidade da vibração na taxa de secagem em leitos fluidizados. A velocidade do ar apresentou pouca influência na taxa de secagem. O aumento na altura do leito acarretou em diminuição da taxa de secagem e o aumento da temperatura do ar resultou em aumento na taxa de secagem, diminuindo a consumo de energia. Estudos posteriores realizados por Prado et al (2000), Yoshida e Menegalli (2000) chegaram a mesma conclusão, quando fixaram a temperatura do ar e variaram a velocidade do ar, verificaram que a velocidade do ar tem um pequeno efeito sobre as curvas de secagem, quando comparada à temperatura do leito de secagem.

Gouveia (1999) desenvolveu curvas de secagem e concluiu que para um mesmo tempo de processo, quanto maior for a temperatura do ar, maior a perda de umidade do produto.

Urashima e Vidal (2002) estudaram o mecanismo de filtração de geotêxteis em manta de não-tecido agulhado, principalmente os aspectos relativos à filtração de partículas em suspensão. Para abordar o estudo do processo de carreamento e retenção de partículas por simulação, foi necessário modelar a estrutura por intermédio de análise de imagens, realizada por câmara de vídeo CCD acoplada a um microscópio, com capacidade de ampliar 300 vezes (Figura 3.35). Os resultados da distribuição granulométrica apresentaram o comportamento esperado: quanto maior o diâmetro da fibra, maior a quantidade de líquido que passa. Em processos de secagem de tecidos, deve-se avaliar o diâmetro e a gramatura das fibras como uma característica física inicial dos não-tecidos, pois a variação da retenção de umidade na sua estrutura interna influencia na taxa de secagem.



(a) (b)
 Figura 3.35 - (a) Não-tecido agulhado seco; (b) Não-tecido agulhado úmido.
 Fonte: URASHINA e VIDAL (2002, p. 1118)

3.3.3 Umidade de Equilíbrio

O teor de umidade de equilíbrio de um tecido é definido como sendo o teor de umidade deste produto depois de exposto a um ambiente com condições de temperatura, pressão e umidades relativas controladas, por um período de tempo suficiente para que ocorra o equilíbrio. Portanto, o teor de umidade corresponde ao equilíbrio entre as pressões de vapor da água no material e no ambiente. A umidade de equilíbrio estabelece parâmetros, temperatura e umidade relativa, que determinam a umidade em que o material pode ser seco ou, por exemplo, armazenado de forma segura (MESQUITA; ANDRADE; CORRÊA, 2001).

Existem dois métodos clássicos na determinação do teor de umidade de equilíbrio: o método estático e o método dinâmico. No método estático, a umidade de equilíbrio entre o material e a atmosfera é atingida sem a movimentação do ar ou do material. No método dinâmico, o ar ou o material, é movimentado mecanicamente até que o equilíbrio seja atingido. A vantagem do método estático se deve à maior facilidade de se obter as condições termodinâmicas constantes (BARROZO, 1995).

Se um tecido seco for posto em um ambiente com certa umidade relativa a temperatura constante, esta fibra promoverá uma adsorção do vapor d'água do ambiente até um valor de equilíbrio, característico para cada tipo de fibra. Se o valor da umidade relativa do ambiente diminuir, ocorrerá uma dessorção do vapor d'água da fibra de forma similar à adsorção (Figura 3.36). A diferença entre a dessorção e a adsorção recebe o nome de histerese (BONTEMPI, 2004).

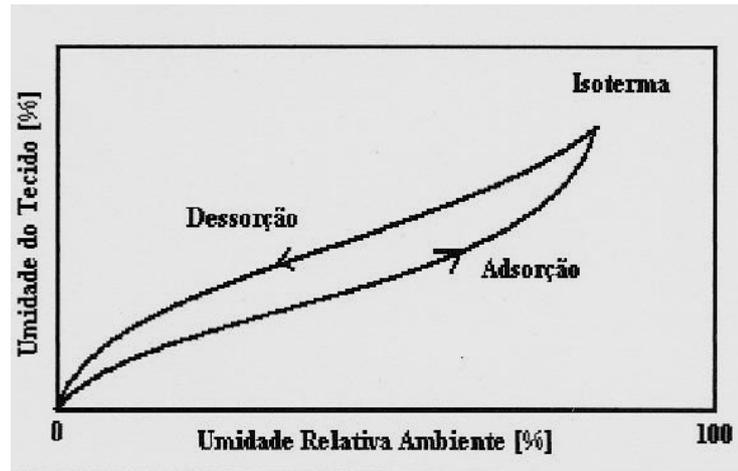


Figura 3.36 - Isotherma de equilíbrio.
Fonte: BONTEMPI (2004, p. 13)

O estudo do comportamento das fibras perante o vapor d'água deve ser conhecido, pois, secagens excessivas podem causar a queima das fibras, tendo como resultado o amarelamento dos tecidos e o custo energético elevado. A capacidade máxima de adsorção de vapor d'água para algumas fibras é apresentada na Figura 3.37, onde o poliéster atinge valores próximos a 1% de água na sua composição têxtil, sem causar mancha de umidade nos tecidos (BONTEMPI, 2004).

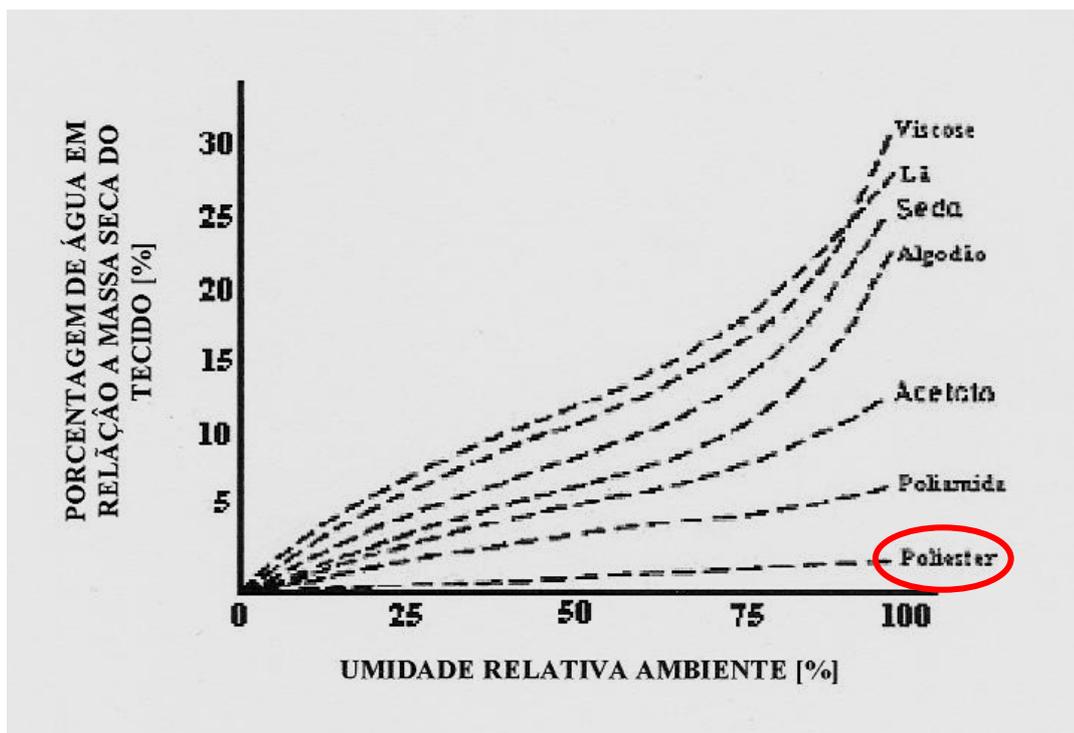


Figura 3.37 - Isotermas de adsorção máxima para algumas fibras.
Fonte: BONTEMPI (2004, p. 13)

Quando o tecido é secado abaixo da umidade de equilíbrio, ocorrerá um desperdício de energia térmica, pois este entrará em equilíbrio ao ser retirado do secador, isto é, adsorverá uma certa quantidade de água novamente (BARROZO, 1995). A Tabela 3.3 apresenta a variação percentual de água aceitável em alguns tecidos em relação às umidades relativas do ar em 65% e 95%, onde os valores para o poliéster variam de 0,3 a 0,8% de umidade interna em relação à massa seca do tecido.

Tabela 3.3 - Valores máximos de umidade em tecidos

Umidade Relativa do Ar	65%	95%
Tipos de Tecidos	Umidade no tecido %	Umidade no tecido %
Acetato	6,5	14,0
Algodão	8,0 – 8,5	16,0
Cânhamo	10,0	30,0
Cupro	12,5	27,0
Lã	14,5	28,0
Linho	10,0	20,0
Poliamida	3,0 – 4,5	6,0 – 8,0
Poliéster	0,3 – 0,4	0,5 – 0,8
Seda	10,5	37,0
Viscose	11,5 – 12,5	30,0 – 40,0

Fonte: BONTEMPI, A. **Eficiência Energética de Secadores Industriais: Análise e Propostas Experimentais**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica, Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, 2004, p. 14.

O município de São Leopoldo, onde se realizou o estudo, está localizado na região de encosta inferior do nordeste do Rio Grande do Sul, entre Porto Alegre e Campo Bom. Está 26 metros acima do nível do mar, apresentando clima mesotérmico subtropical com períodos temperados e 76% de umidade relativa média do ar (HACKBART, 2006). A Tabela 3.4 apresenta as médias mensais de umidade relativa do ar em Porto Alegre e Campo Bom, registradas em 2005 e 2006, servindo como referência, em virtude de São Leopoldo não possuir uma Seção de Observação e Meteorologia Aplicada (SEOMA).

Tabela 3.4 - Médias de umidade relativa em Porto Alegre e Campo Bom

Umidade Relativa	2005 (%)		2006 (%)	
	Porto Alegre	Campo Bom	Porto Alegre	Campo Bom
Mês				
Janeiro	68	69	74	76
Fevereiro	73	74	74	75
Março	73	77	72	73
Abril	83	87	76	81
Mai	83	86	81	84
Junho	84	89	83	85
Julho	78	82	80	83
Agosto	79	84	78	80
Setembro	78	82	74	78
Outubro	78	82	73	76
Novembro	67	72	72	74
Dezembro	66	69	71	72
Média	75,8	79,4	75,7	78,1

Fonte: REGISTROS CLIMATOLÓGICOS DE SUPERFÍCIE [SEOMA] INMET.Porto Alegre,2005-2006.

3.4 Método Simplex Modificado

É conveniente o uso de uma ferramenta de otimização empírica no estudo da melhoria do desempenho da secagem de não-tecidos em *Rama*, tendo-se optado pelo método simplex modificado.

O método simplex é de fácil implantação nos processos automatizados. Sua aplicação é relativamente fácil, rápida e permite localizar a região ótima com boa margem de segurança, apesar de não fornecer informações claras com respeito ao comportamento das variáveis (EIRAS; ANDRADE, 1996). Por outro lado, numa otimização simplex só podemos otimizar uma resposta de cada vez, passando para uma etapa seguinte depois de conhecer a resposta da etapa imediatamente anterior. Essa característica faz com que o emprego do método seja mais conveniente em instrumentos de resposta rápida, como sistemas de fluxo. Além disso, não exige o emprego de testes e significância, como os testes t e F, o que é uma vantagem (NETO; SCARMINIO; BRUNS, 2003).

Um simplex é uma figura geométrica espacial em n dimensões, constituído de $n+1$ pontos. Cada dimensão corresponde a uma variável a ser otimizada. Um simplex em duas dimensões é um triângulo, em três dimensões é um tetraedro, com quatro ou mais é um hiperpoliedro. A idéia de utilizar $n+1$ pontos por interação para definir um algoritmo de busca direta é razoável, visto que $n+1$ pontos seriam suficientes, por exemplo, para aproximar o gradiente da função objetivo por diferenças finitas. A essência desses métodos está em substituir os vértices do simplex, em geral o pior deles, ou seja, aquele que tem o valor menos desejado da função objetivo. A maneira mais usual de fazê-lo é refletindo o ponto através do centróide da face oposta (PEDROSO, 2005).

O algoritmo modificado de Nelder e Mead de 1965 é provavelmente o método de busca direto mais utilizado. Ele permite alterar seu tamanho e sua forma, com contração e expansão do simplex, além da reflexão e, conseqüentemente, adaptar-se melhor à superfície de resposta (PEDROSO, 2005). Essa flexibilidade possibilita uma determinação mais precisa do ponto ótimo, porque o simplex pode encolher e esticar nas suas proximidades, resultando em um número menor de ensaios e aproximando-se mais rapidamente da região de interesse (WALTERS, 1991). Os possíveis movimentos do simplex modificado são ilustrados na Figura 3.38. Outro exemplo de otimização, partindo-se de um simplex inicial, com duas variáveis de controle é mostrado na Figura 3.39.

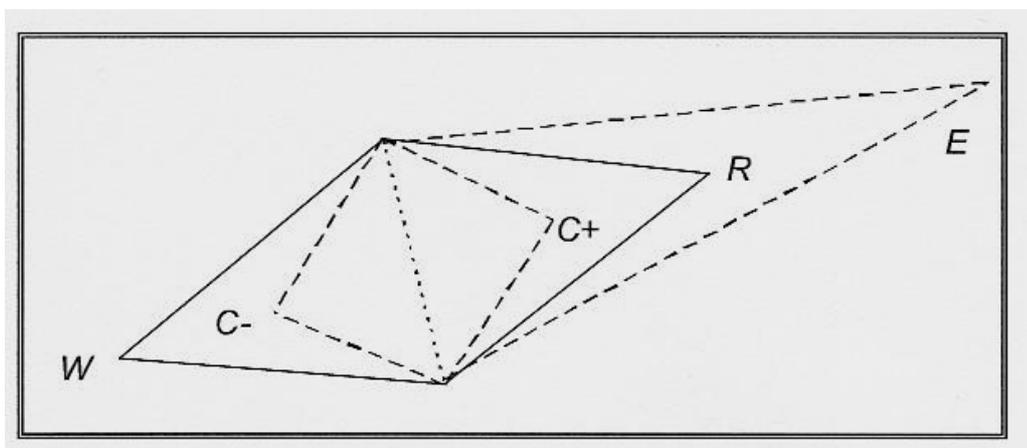


Figura 3.38 - Movimentos do simplex modificado: W = início; R = reflexão; E = expansão; C+ = contração positiva; C- = contração negativa.

Fonte: GRABITECH (2007, p. 13)

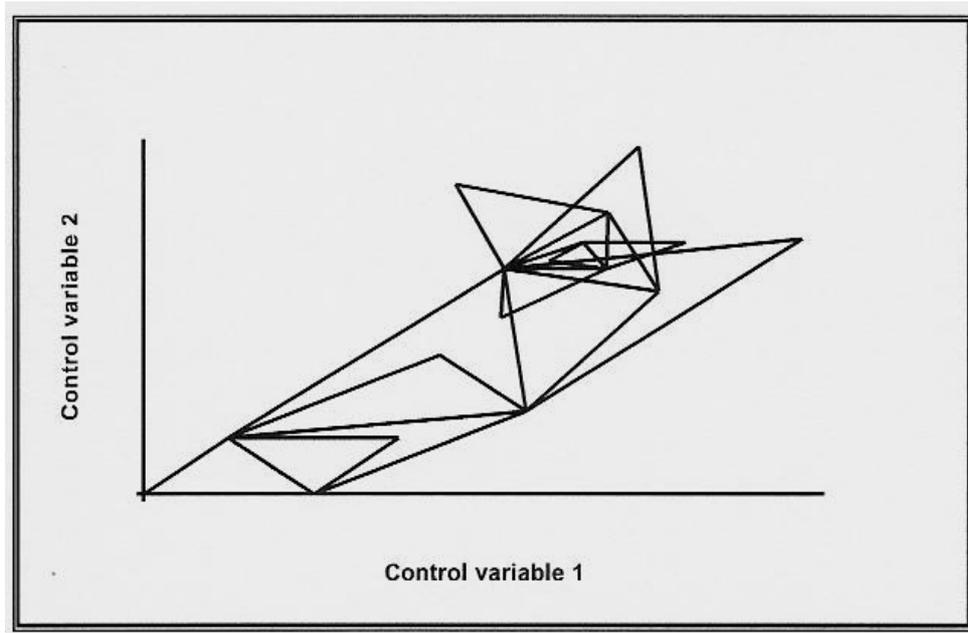


Figura 3.39 - Exemplo de otimização com duas variáveis de controle.
Fonte: GRABITECH (2007, p. 12)

4 MATERIAIS E MÉTODOS

A partir das necessidades de implantar a verificação das condições técnicas para serem validadas e poderem ser comparadas com a literatura, foi adotada uma metodologia levando em conta as necessidades da empresa A e a disponibilidade de recursos oferecidos. O estudo foi desenvolvido com materiais de não-tecidos agulhados de poliéster, com gramaturas de 110, 150 e 200 g/m² que foram impregnados em látex de estireno-butadieno e secos em secador *Rama*. O ponto de coleta das amostras foi no final do processo, antes da palmilha ser acomodada em bobinas.

A primeira parte do trabalho constituiu-se no preparo da solução impregnante, geometria do túnel de secagem e um estudo térmico sobre as condições operacionais do secador, associando às aberturas dos dampers a uma gramatura de material e perfil térmico. Utilizou-se o método Simplex Modificado, como auxílio na tomada de decisão, para determinar os valores máximos e mínimos para velocidade da esteira secadora, correlacionados aos teores de umidade permitidos. Deste modo, obtiveram-se curvas de secagem da *Rama* com perfil térmico econômico, usado em épocas de poucos pedidos comerciais, e de perfil térmico avançado, utilizado em momentos de muitos pedidos comerciais. Os ensaios de umidade, peso base e espessura foram realizados no laboratório de controle da qualidade interno da empresa A. Neste período, foram coletados os resultados mensais de produção de palmilha, consumo e custo de GLP.

Na segunda parte do estudo foi realizada a produção-teste por seis meses, buscando a redução no consumo e custos com GLP. Utilizaram-se às curvas de secagem como modelos de operação na *Rama*, sendo três meses em perfil térmico avançado (velocidade máxima e temperatura alta) e outros três meses em perfil térmico econômico (velocidade mínima e temperatura baixa). Os resultados obtidos foram comparados com os dados mensais de produção.

A terceira parte do estudo demonstra as certificações das curvas de secagem, dentro das normas para palmilhas, com ensaios de índice de flexão, resistência à tração e alongamento na ruptura e comportamento à água. Foram realizadas em laboratório de controle da qualidade externo, no Centro Tecnológico do Calçado SENAI – Novo Hamburgo, tendo as seguintes certificações e reconhecimentos:

- INMETRO, a partir de 1992, certificado nº CRL-0048, com base na ABNT NBR ISO/IEC 17025 (Anexo A);
- Rede Metrológica e de Ensaios do Rio Grande do Sul, a partir de 1993, certificado nº 0103, com base na ABNT NBR ISO/IEC 17025 (Anexo B);
- NBR ISO 9001:2000 pelo BVQI, certificado nº 120505 (Anexo C);
- CRQ 5ª Região, registro nº 3373.

4.1 Solução Impregnante

A consolidação química é a operação fechada da tecnologia dos não-tecidos, pois, a sua complexidade explica o *know-how* das indústrias deste setor e ao mesmo tempo constituem os segredos mais guardados neste negócio. O preparo da dispersão polimérica é a atividade inicial, a qual determina as propriedades de uso dos não-tecidos. Fazem parte da formulação os seguintes compostos: água, amido de milho, amido de mandioca, carbonato de cálcio, hidróxido de amônio e látex de estireno-butadieno com agente de cura.

O agente ligante, látex de estireno-butadieno, é o meio pelo qual os véus são consolidados firmemente a fim de originar a manta não-tecida resinada. O agente dispersante usado é a água e os demais produtos da formulação funcionam como carga, com exceção do hidróxido de amônio que é um desinfetante.

O preparo da solução impregnante é feito em dois tanques diferentes. No primeiro momento é realizada pela mistura dos compostos, sem a adição de látex (Figura 4.2-a), em tanque de dispersão com agitador mecânico (Figura 4.1). O ponto final de viragem é identificado pela viscosidade da solução (Figura 4.2-b). Após esta é transferida por gravidade para o tanque bateadeira (Figura 4.3-a), onde é colocado o látex de estireno-butadieno, com auxílio de uma bomba. A solução polimérica obtida depois da agitação é chamada de impregnante, que é transferida para o tanque de mistura I ou II do secador *Rama* (Figura 4.3-b).



Figura 4.1 - Tanque de dispersão com agitador mecânico.



(a)

(b)

Figura 4.2 - (a) Começo da dispersão; (b) Final viscoso da dispersão.



(a)

(b)

Figura 4.3 - (a) Tanque bateadeira; (b) Tanques de Mistura I e II da Rama.

4.2 Geometria do Secador

A geometria do túnel de secagem escolhida para o estudo foi a de largura constante (Figura 4.4), pois, esta é utilizada como padrão pela empresa A. Um rolo de não-tecido agulhado 100% PET possui 400 metros lineares de comprimento com larguras de 1,0; 1,5 ou 2,0 metros. A largura de operação da máquina *Rama* é ajustada através de um volante e um indicador Siko (Figura 4.5), que acionam os motoredutores internos do secador, localizados em sete pontos: suporte de entrada, cinco campos de secagem e suporte de saída.

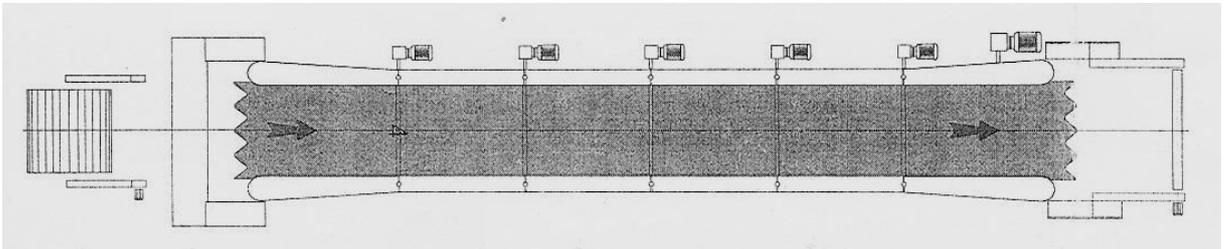


Figura 4.4 - Geometria de largura constante no túnel do secador.
Fonte: TEXIMA (1998, p. 55)



Figura 4.5 - Volante e indicador Siko.

4.3 Estudo Térmico

O estudo térmico no interior do secador *Rama* buscou obter o máximo aproveitamento da energia circulante no secador, minimizando a perda de energia térmica, com ajustes nas aberturas dos dampers associada a um perfil térmico de secagem. É pelo reciclo da energia térmica que se minimiza GLP.

Ajustaram-se as cinco câmaras de secagem para obter uma mesma temperatura na superfície do tecido, devido ao pouco tempo de retenção do não-

tecido no secador, obedecendo ao princípio de não danificar o produto, quanto ao excesso de umidade ou queima da superfície do material.

As temperaturas nas câmaras de secagem foram ajustadas em display no painel de controle da *Rama*. Para as medições das temperaturas na superfície da manta, dentro de cada câmara do túnel no secador, utilizaram-se termopares do tipo T, com erro de $\pm 0,75\%$ (0 a 350°C), inserido o mais próximo possível da superfície, acoplado a um indicador digital de temperatura Agilent 34970A.

A metodologia adotada baseou-se na norma NBR 14610:2000 – Indicador de temperatura com sensor.

4.4 Peso Base

Peso base é o procedimento de controle da gramatura do produto final, isto é, a quantidade de massa de material têxtil por unidade de área.

Para realizar o ensaio foram cortados corpos-de-prova, com navalha, em formato retangular, com dimensões de 30 x 25 cm, sendo medido em régua de escala centesimal. Após, a amostra foi pesada em balança analítica Chyo MJ-3000, com precisão de 0,0001 gramas. Como exemplo dos cálculos do procedimento, podemos ilustrar:

- Amostra retangular de 30 x 25 cm (área = $0,300 \times 0,250 = 0,075 \text{ m}^2$);
- Massa da amostra retangular na balança = 15,000 g;
- Peso Base = massa/área = $15,000 / 0,075 = 200,000 \text{ g/m}^2$.

As especificações de peso base encontram-se na Tabela 3.2, anteriormente apresentada.

A metodologia seguiu a NBR 12984/2000 – Não-tecido – Determinação da massa por unidade de área.

4.5 Espessura

O ensaio da espessura representa a distância entre as superfícies superior e inferior do material têxtil, medida pela distância vertical entre um plano de referência, sobre o qual repousa o material e um plano paralelo sobre a palmilha. Para fazer a medida da espessura utilizou-se um paquímetro digital Mitutoyo Digimatic CD-6 e um espessímetro Mitutoyo 2046-08, ambos com precisão de 0,01 mm.

As especificações da espessura encontram-se na Tabela 3.2, anteriormente apresentadas.

O procedimento seguiu as recomendações da norma NBR 13371/2005 – Materiais têxteis – Determinação da espessura – Método de ensaio.

4.6 Teor de Umidade e Curvas de Secagem

Para a determinação do teor de umidade no produto, as amostras foram coletadas e levadas rapidamente para o laboratório, de 30 a 60 segundos após a coleta, a fim evitar a adsorção da umidade relativa do ar. Foram também pesadas em balança analítica eletrônica Marte AL 500, com precisão de 0,0001 gramas e, após, colocadas em estufa Biopar 580 AR, com precisão de 0,1°C. O teor de umidade foi determinado pelo método de massa constante em estufa a $105 \pm 3^\circ\text{C}$.

Pelo teor de umidade correlacionado com a velocidade da esteira do secador levantaram-se as curvas de secagem para cada gramatura de material. Ajustou-se os perfis térmicos possíveis, usando o software MultiSimplex® 2.1 Demo. Esta ferramenta auxiliou a tomada de decisão, permitindo o melhor ‘passo-a-passo’ com o mínimo de experimentos realizados, a fim de acertar as faixas de velocidade da esteira do secador. Esta velocidade foi controlada em relação a três variáveis de produto: umidade, peso base e espessura.

A metodologia adotada baseia-se na norma NBR 8428 – Condicionamento de materiais têxteis para ensaio – Procedimento.

4.7 Índice de Flexão

Os resultados deste método fornecem um bom guia da qualidade geral das palmilhas usadas em calçados, pois, medem a tensão máxima nas fibras no momento da quebra. As palmilhas são flexionadas mecanicamente e repetitivamente até ocorrer à ruptura. Do número de ciclos de flexões até a ruptura é calculado um índice de flexão.

As amostras de palmilhas foram climatizadas por 24 horas, em uma atmosfera de $23 \pm 2^\circ\text{C}$ e $50 \pm 5\%$ de umidade relativa e, nestas mesmas condições, foi conduzido o ensaio. As amostras foram cortadas em vazador e prensa hidráulica ATOM VS 918, formando um conjunto de quatro corpos de prova retangulares, 80

mm x 10 mm (Figura 4.6), com os 80 mm do lado paralelo à direção do corte na máquina e um segundo conjunto de quatro retângulos similares na transversal.

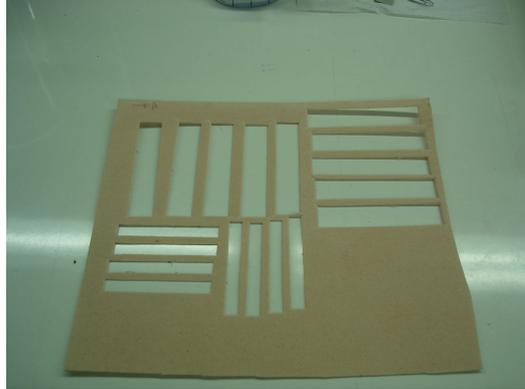


Figura 4.6 - Corte dos corpos de prova na amostra de palmilha.

O aparelho para flexão, chamado de Máquina de Flexão de Palmilhas Fibrosas SATRA STM 129 (Figura 4.7-a), possui um sistema de garras onde é fixada a parte superior do corpo de prova. A outra parte do corpo de prova, parte inferior, é presa em garra com peso de massa de $2 \pm 0,01$ kg. O ensaio foi realizado pela oscilação mecânica de um eixo abaixo das garras, em um plano perpendicular ao plano dos corpos de prova verticais, girando a $90 \pm 1^\circ$ em cada lado da vertical, em uma frequência de 60 ± 10 ciclos por minuto. Na parte inferior, o peso foi suspenso pela extremidade inferior do corpo de prova em movimentos verticais abaixo da linha da dobra. Os contadores de flexões individuais para cada corpo de prova indicam o número total de ciclos de flexão completados durante o ensaio, parando automaticamente quando o corpo de prova rompe (Figura 4.7-b).



(a) (b)
Figura 4.7 - (a) Máquina de flexão; (b) Corpos de prova rompidos.

O cálculo do índice de flexão para cada direção principal é dado por:

$$I.F. = \frac{1}{4} (\log_{10} X_1 + \log_{10} X_2 + \log_{10} X_3 + \log_{10} X_4) \quad (1)$$

Onde: X_1 , X_2 , X_3 e X_4 são respectivamente os números dos ciclos de quebra.

Outra forma de classificar a palmilha, sem envolver o cálculo de log, é pela média simples dos números de ciclos de quebra:

$$N^\circ \text{ Ciclos} = \frac{1}{4} (X_1 + X_2 + X_3 + X_4) \quad (2)$$

A classificação da palmilha de não-tecido em calçados, pelo índice de flexão ou pela média dos números de ciclos de quebra é apresentada na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Valores para índice de flexão ou número de ciclos

Classificação da Palmilha	I.F.	Nº Ciclos
Palmilha de alta qualidade	$\geq 3,50$	≥ 3162
Palmilha de uso e preço médio	3,00 - 3,49	1000 - 3161
Palmilha de uso leve e não prolongado	2,50 - 2,99	316 - 999

Fonte: BOYEN, A. D. (Coord.). **Literatura Técnica Básica em Calçados**. Novo Hamburgo: CTCCA, 2002. v. 1: Controle de Qualidade: Calçados e Componentes. p. 64.

A metodologia adotada baseia-se nas normas:

- BS 5131/1990 – Seção 4.2 – Índice de flexão de chapas de fibra;
- SATRA PM 3 – Teste de resistência à flexão para chapas de fibra;
- NBR 10455/2006 – Climatização de materiais usados na fabricação

de calçados e correlatos.

4.8 Resistência à Tração e Alongamento na Ruptura (a seco)

O ensaio de determinação da resistência à tração e alongamento tem por objetivo verificar a força máxima necessária para romper um corpo-de-prova do material sob tração e, simultaneamente, verificar o seu alongamento no momento da ruptura.

As amostras do material foram climatizadas por 24 horas, em uma atmosfera de $23 \pm 2^\circ\text{C}$ e $50 \pm 5\%$ de umidade relativa, antes do corte do corpo de prova e do ensaio ser realizado. Foram cortados cinco corpos de prova na direção longitudinal e cinco na direção transversal, com vazador de amostras e prensa hidráulica ATOM VS 918, na dimensão de 100 mm x 20 mm.

O aparelho utilizado para realizar o teste foi uma Máquina de Ensaio Universal EMIC DL-200 Computadorizada (Figura 4.8). Os gráficos e resultados foram gerados pelo software programa Tesc versão 3.00. O equipamento possui garra superior e inferior com distância ajustada de 200 ± 1 mm entre elas. O corpo de prova foi preso entre as garras, ficando tão esticado quanto possível, sem aplicação de uma pré-tensão (Figura 4.9-a). Aplicar uma velocidade de afastamento vertical constante das garras de 100 mm/min e registrar a curva força (N) x deformação específica (%) para cada corpo de prova. O teste finaliza com o rompimento, no centro, do corpo de prova (Figura 4.9-b).

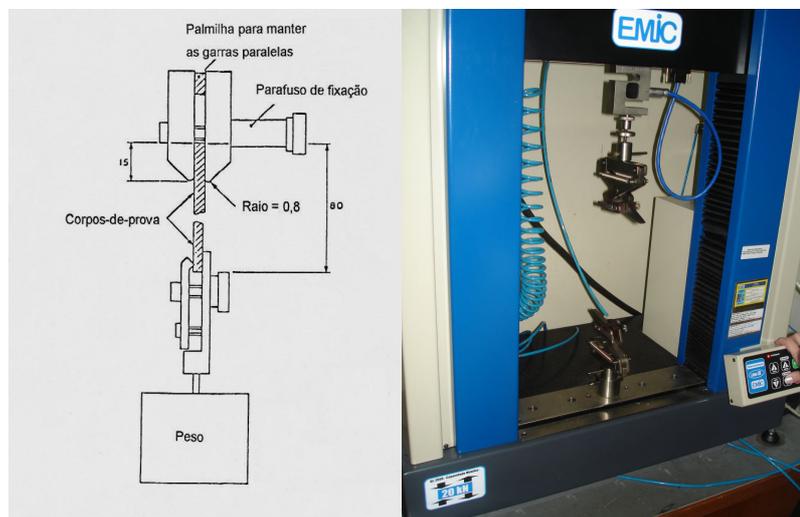
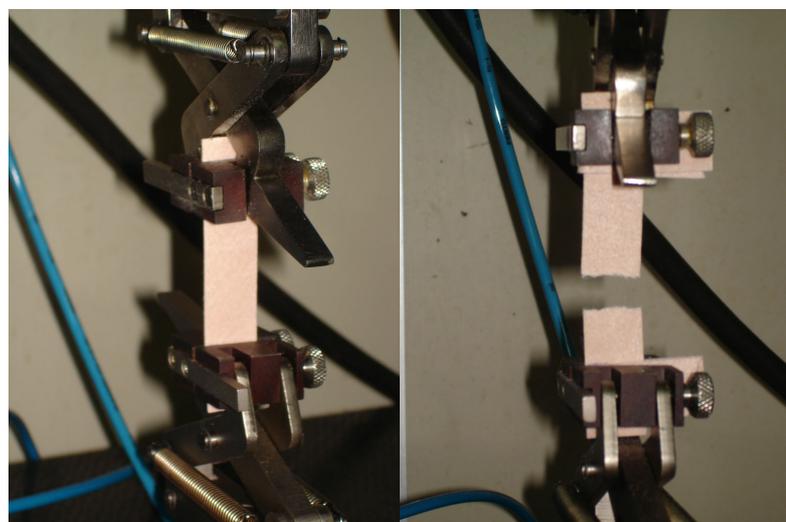


Figura 4.8 - Máquina de ensaio universal EMIC DL-200.



(a)

(b)

Figura 4.9 - (a) Corpo de prova preso; (b) Corpo de prova rompido.

A fabricação de palmilha de montagem a base de não-tecido deve apresentar para construção de segurança, os seguintes valores para o ensaio de resistência à tração e alongamento na ruptura, a seco, apresentados na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 - Valores para resistência à tração e alongamento na ruptura, a seco

Testes Físicos	Valor Indicado
Tração (N/2.000 mm ²)	≥ 120
Força Máxima (N)	Sem indicação
Alongamento na Força Máxima ⁵ (%)	≤ 10

Fonte: BOYEN, A. D. (Coord.). **Literatura Técnica Básica em Calçados**. Novo Hamburgo: CTCCA, 2002. v. 1: Controle de Qualidade: Calçados e Componentes. p. 63.

A metodologia usada obedeceu às normas:

- BS 5131/1990 – Seção 4.5 – Resistência à tração de chapas de fibra;
- SATRA PM 2 – Teste de tração para chapas de palmilhas;
- NBR 13041/1993 – Não-tecido – Determinação da resistência à tração e alongamento;
- NBR 10455/2006 – Climatização de materiais usados na fabricação de calçados e correlatos.

4.9 Comportamento à Água – Adsorção e Dessorção

Adsorção de água é a capacidade de um material adsorver água na sua estrutura e a dessorção é a capacidade de um material liberar – evaporar a água por ele adsorvida anteriormente. O ensaio foi realizado para observar o comportamento ao suor em palmilhas.

As amostras do material foram climatizadas por 24 horas, em uma atmosfera de $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$ e $50 \pm 5\%$ de umidade relativa, antes dos ensaios serem feitos. Para o teste de adsorção de água foram cortados três corpos de prova, com navalha, na dimensão de 100 mm x 100 mm, pesados em balança analítica eletrônica Sartorius GMBH GOTTINGEN, com precisão de 0,0001 gramas. Então, foram imersos completamente em água deionizada a $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$, não tendo contato entre si, durante 8 horas. Após este período, retiraram-se os corpos de prova um a um, enxugou-se o excesso de água com papel absorvente e pesou-se na balança.

⁵ O valor indicado ($\leq 10\%$) para o teste de Alongamento na Força Máxima refere-se sobre o valor registrado na Força Máxima (N).

Para verificar o teste de dessorção de água no material, os mesmos corpos de provas, logo após a adsorção de água, foram colocados em repouso em um suporte, em clima normal do laboratório por 16 horas, para ocorrer à evaporação da água, anteriormente adsorvida.

O cálculo dos valores envolve as seguintes fórmulas:

- Adsorção (%) = $\frac{\text{Peso Úmido} - \text{Peso Inicial}}{\text{Peso Inicial}} \times 100$
- Dessorção (%) = $\frac{\text{Peso Úmido} - \text{Peso Final}}{\text{Peso Úmido} - \text{Peso Inicial}} \times 100$

Os valores recomendáveis para os ensaios de adsorção e dessorção em palmilha de montagem a base de não-tecido, são apresentados na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 - Valores para adsorção e dessorção

Ensaio	Valor Indicado
Adsorção	≥ 35 %
Dessorção	≥ 40 %

Fonte: BOYEN, A. D. (Coord.). **Literatura Técnica Básica em Calçados**. Novo Hamburgo: CTCCA, 2002. v. 1: Controle de Qualidade: Calçados e Componentes. p. 63.

A metodologia seguiu as seguintes normas:

- DIN 4843 – item 6.7 – Calçados de proteção;
- PFI – Adsorção de água, aumento de volume, dessorção de água;
- CTC SENAI S-004/ME:1993 – Comportamento à água;
- NBR 10455/2006 – Climatização de materiais.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 PRIMEIRA PARTE

5.1.1 Estudo Térmico

O estudo térmico no interior do secador ajustou as temperaturas de secagem em cada câmara de secagem, também chamada de campo, para obter um perfil térmico linear com aproximadamente a mesma temperatura na superfície do não-tecido. A resposta de controle esperada seria um perfil térmico decrescente de ajuste manual nos displays do painel do secador.

As aberturas dos dampers foram ajustadas em cada campo, conforme a literatura indicada pelo fabricante da *Rama* (TEXIMA, 1998). Nos dois primeiros campos ajustou-se as aberturas dos dampers em 100%, devido ser essa uma região de maior taxa de evaporação de água, retirada para o exaustor geral, sem reaproveitamento da energia no meio circulante, encaminhada para a chaminé do secador. A reutilização da energia poderia condensar a massa de água extraída, ocasionando retorno de umidade. No terceiro campo, onde ocorre a reticulação, por ser uma região intermediária com menor taxa de água, ajustou-se em 50% a abertura do damper, sem variações, com reaproveitamento da energia térmica do exaustor geral pela recirculação. No quarto e quinto campo trabalhou-se com variações no fechamento dos dampers, por ser uma região de menor volatilidade de água e mais de conformação do material, com reaproveitamento da energia térmica.

Os resultados dos ajustes térmicos para cada gramatura são mostrados nas Tabelas 5.1, 5.2 e 5.3, que representa a média de dez medições para cada perfil térmico, com seu desvio padrão do valor médio, depois de ajustados linearmente nos campos do secador. As Figuras x.1, x.2 e x.3, mostra a temperatura na superfície da manta em cada campo do secador, conforme o perfil térmico ajustado.

Tabela 5.1 - Resultados dos ajustes térmicos para 110g/m²

Perfil Térmico		1º Campo	2º Campo	3º Campo	4º Campo	5º Campo
°C	Relação	Abertura 100%	Abertura 100%	Abertura 50%	Abertura 30%	Abertura 20%
220	Display	230,0	220,0	210,0	210,0	200,0
	Medido	221,8 ± 0,8	221,1 ± 0,4	220,6 ± 0,3	219,6 ± 0,3	218,2 ± 0,6
210	Display	220,0	210,0	200,0	200,0	190,0
	Medido	211,1 ± 0,7	210,9 ± 0,4	210,8 ± 0,3	210,1 ± 0,3	208,0 ± 0,5
200	Display	210,0	200,0	190,0	190,0	180,0
	Medido	200,7 ± 0,8	200,3 ± 0,4	201,0 ± 0,2	200,2 ± 0,3	198,5 ± 0,5
190	Display	200,0	190,0	180,0	180,0	170,0
	Medido	191,1 ± 0,8	190,4 ± 0,3	189,9 ± 0,2	189,1 ± 0,3	187,7 ± 0,6
180	Display	190,0	180,0	170,0	170,0	160,0
	Medido	179,8 ± 0,8	180,0 ± 0,4	179,1 ± 0,2	178,7 ± 0,3	176,8 ± 0,6

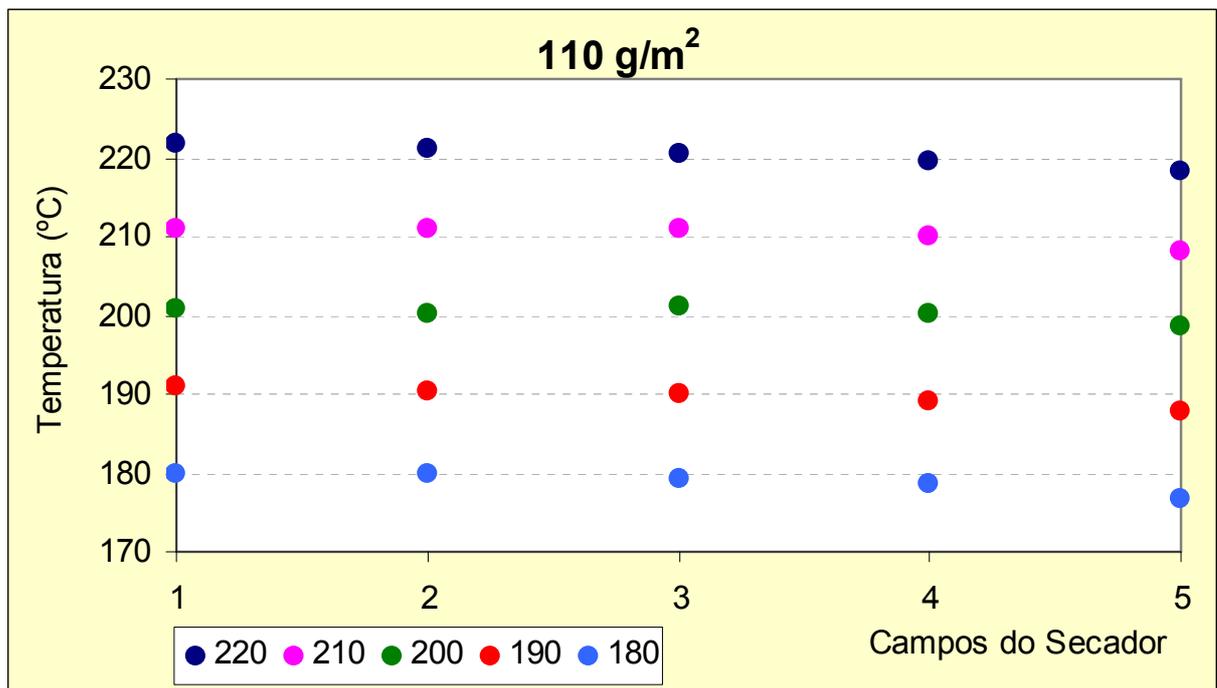
Figura 5.1 - Temperatura medida na superfície da manta de 110 g/m².

Tabela 5.2 - Resultados dos ajustes térmicos para 150 g/m²

Perfil Térmico		1º Campo	2º Campo	3º Campo	4º Campo	5º Campo
°C	Relação	Abertura 100%	Abertura 100%	Abertura 50%	Abertura 30%	Abertura 20%
220	Display	230,0	220,0	210,0	210,0	200,0
	Medido	221,6 ± 0,9	221,0 ± 0,4	221,7 ± 0,3	218,8 ± 0,3	217,1 ± 0,5
210	Display	220,0	210,0	200,0	200,0	190,0
	Medido	209,8 ± 0,8	209,5 ± 0,4	209,2 ± 0,2	208,7 ± 0,3	207,2 ± 0,6
200	Display	210,0	200,0	190,0	190,0	180,0
	Medido	199,7 ± 0,8	199,0 ± 0,4	198,6 ± 0,3	198,2 ± 0,3	197,1 ± 0,5
190	Display	200,0	190,0	180,0	180,0	170,0
	Medido	189,6 ± 0,7	189,2 ± 0,4	188,5 ± 0,3	188,4 ± 0,3	187,0 ± 0,5
180	Display	190,0	180,0	170,0	170,0	160,0
	Medido	179,2 ± 0,8	179,2 ± 0,4	177,6 ± 0,2	178,3 ± 0,2	175,6 ± 0,5

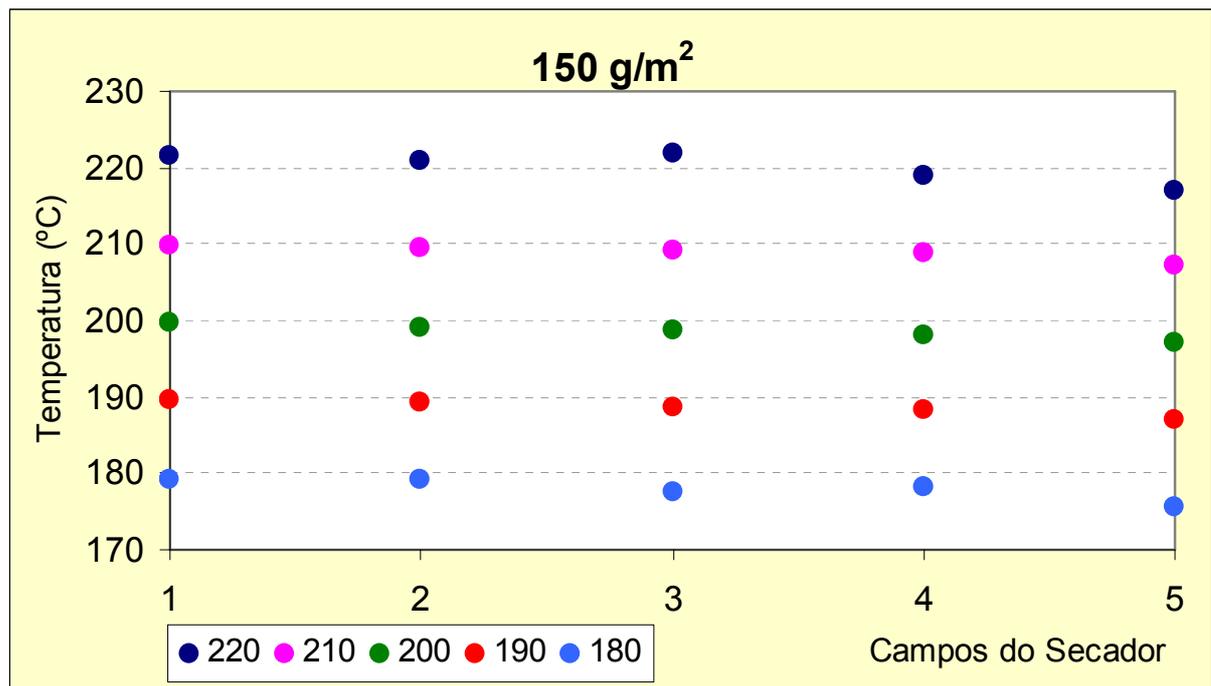
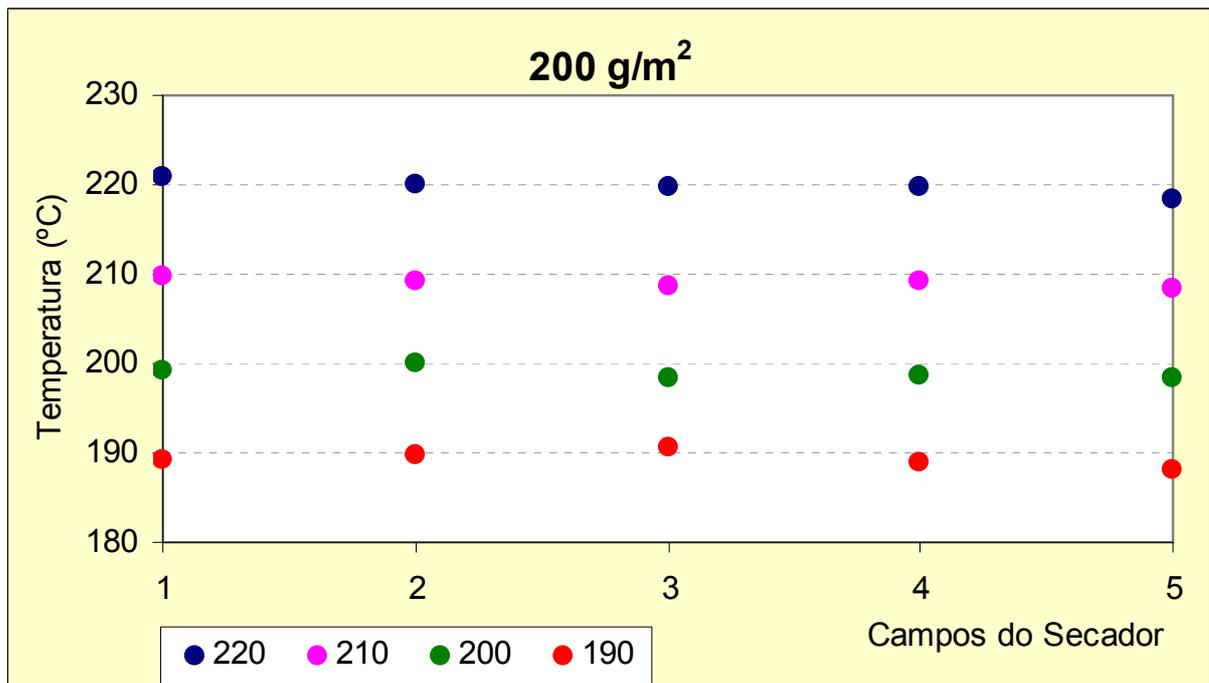
Figura 5.2 - Temperatura medida na superfície da manta de 150 g/m².

Tabela 5.3 - Resultados dos ajustes térmicos para 200 g/m²

Perfil Térmico		1º Campo	2º Campo	3º Campo	4º Campo	5º Campo
°C	Relação	Abertura 100%	Abertura 100%	Abertura 50%	Abertura 25%	Abertura 15%
220	Display	230,0	220,0	210,0	210,0	200,0
	Medido	220,9 ± 0,7	220,0 ± 0,4	219,8 ± 0,3	219,6 ± 0,3	218,2 ± 0,6
210	Display	220,0	210,0	200,0	200,0	190,0
	Medido	209,6 ± 0,8	209,1 ± 0,4	208,7 ± 0,2	209,2 ± 0,2	208,4 ± 0,6
200	Display	210,0	200,0	190,0	190,0	180,0
	Medido	199,2 ± 0,8	199,9 ± 0,4	198,2 ± 0,3	198,5 ± 0,3	198,3 ± 0,5
190	Display	200,0	190,0	180,0	180,0	170,0
	Medido	189,1 ± 0,6	189,8 ± 0,4	190,6 ± 0,3	189,0 ± 0,2	188,1 ± 0,5

Figura 5.3 - Temperatura medida na superfície da manta de 200 g/m².

Nos dois primeiros campos do secador as relações entre as temperaturas ajustadas em display e medida na superfície do tecido, mantiveram uma linearidade de resultados para os três tipos de gramaturas. No primeiro campo verificou-se uma elevação de aproximadamente 10°C para as temperaturas ajustadas no display, em comparação a medida no tecido. Este incremento de energia térmica foi necessário devido esta ser uma região de entrada do túnel do secador, com perda térmica para o ambiente externo, e também, devido à maior taxa de evaporação de água neste campo inicial. Já no segundo campo, sem perda de energia térmica, as temperaturas de display e medido foram praticamente iguais, com diminuição de 10°C entre o primeiro e segundo campos, dentro do mesmo perfil térmico. Pode-se dizer que a partir do segundo campo, conseguiu-se uma taxa de evaporação de água constante, devido à igualdade entre a temperatura da superfície do tecido com a temperatura de bulbo úmido do ar.

A partir do terceiro campo, devido ao reciclo e reaproveitamento da energia com o fechamento dos dampers, conseguiu-se temperaturas medidas no tecido maiores que as ajustadas em display. No terceiro e quarto campos verificou-se um incremento linear de aproximadamente 10°C e no quinto campo um aumento de aproximadamente 20°C.

No quinto campo do secador foi onde se encontrou a maior instabilidade nas medições na superfície do tecido, com pequenos decréscimos na linearidade da temperatura na superfície da manta, de 1 a 2°C em comparação ao quarto campo. Ocorreu por ser uma região de saída do secador, com começo do equilíbrio entre a temperatura do material com o ambiente externo.

Devido à temperatura de secagem linear na superfície dos tecidos de 110, 150 e 200 g/m², conseguiu-se nos campos um perfil térmico decrescente de ajuste no display, em relação ao medido na superfície do tecido, com resultados de: +10°C, 0°C, -10°C, -10°C, -20°C. Isso vai de encontro à teoria da evaporação de água em tecidos, conforme estudado por Foust (1982), onde a maior taxa de evaporação ocorre nos primeiros momentos de contato entre o tecido e o meio secante, com posterior estabilização da taxa de secagem.

Para manta de alta gramatura, 200 g/m², foi necessário o fechamento progressivo do damper no quarto e quinto campos do secador. Constatou-se que não-tecidos mais grossos, devido ao maior percentual de água retida entre as suas fibras para evaporar, necessitam absorver maior quantidade de energia para realizar

o processo de secagem. Comprovou-se esta hipótese, pela elevação do perfil térmico mínimo de 180°C para 190°C, pois, o não-tecido quando exposto a um perfil térmico constante inferior a 190°C, deixou a manta molhada na saída do secador.

Limitou-se a temperatura máxima de secagem na *Rama* em 220°C, visto que, em testes com temperatura a 230°C ocorreu amarelamento na superfície da manta, alterando o aspecto visual do produto. Testes de teor de umidade foram realizados nestas amostras, com teores entre zero a 0,05% de umidade interna, o que caracterizou a possibilidade de princípio de fusão do material, devido aos baixos valores de umidade do material.

5.1.2 Teor de Umidade

A determinação do teor de umidade residual em palmilhas é um procedimento fundamental para acompanhar e avaliar o processo de secagem em secadores de tecidos. Internamente na empresa A esta avaliação não era efetiva, pois não se realizava nenhum controle laboratorial, somente a visual sobre a superfície das palmilhas, na busca de identificação de manchas de umidade.

Para a indústria o tempo é uma variável fundamental para o controle de processos, que foi investigado na determinação do teor de umidade em palmilha, pelo método direto em estufa, pesquisado em laboratório na empresa A com 60 amostras. Sendo 20 amostras com baixo percentual (0,05 a 0,30%), outras 20 amostras com percentual médio (0,30 a 0,80%) e 20 amostras com alto percentual (0,80 a 2,00%). Os valores de referência adotados foram aqueles apresentados por Bontempi (2004), com faixa aceitável para o poliéster de 0,30 a 0,80% de umidade interna em relação à massa seca do tecido.

Os resultados, investigados por 24 horas, demonstraram que o tempo máximo de análise é de 1 hora, até a obtenção de massa constante em estufa. Isto caracterizou o ensaio como aceitável para controle de processos, por ser um tempo de resposta curto. Internamente na empresa A, após esta determinação, passou a ser implantada como rotina de controle do processo de secagem. A ilustração representativa da pesquisa do tempo até obter massa constante é apresentada na Figura 5.4.

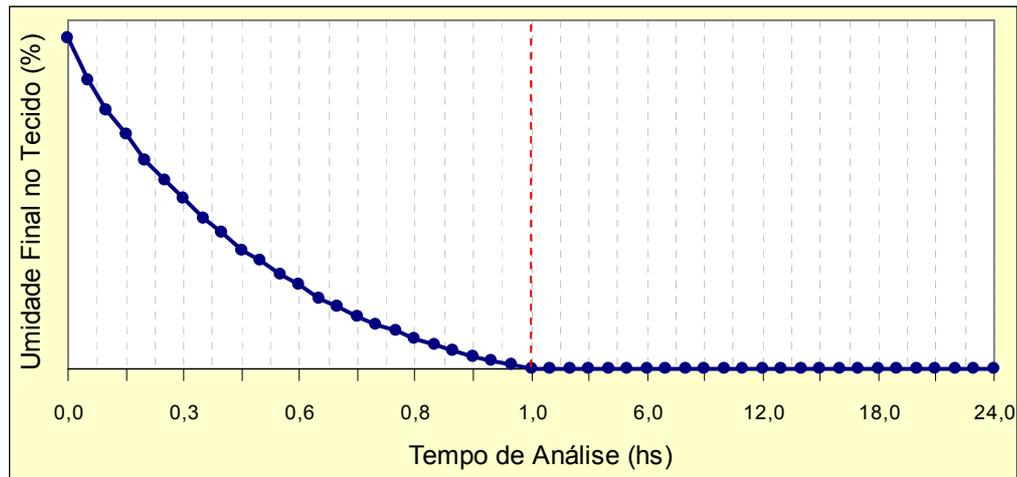


Figura 5.4 - Representação do tempo de análise com massa constante.

5.1.3 Peso Base e Espessura

Durante o desenvolvimento do estudo as variáveis do produto final, peso base e espessura, não apresentaram variações fora das especificações recomendadas na Tabela 3.2. Assim, estes dados não são apresentados, por não terem causado influência no estudo.

5.1.4 Curvas de Secagem

O secador *Rama* funciona a pressão atmosférica pelo método estático.

Seguindo os estudos de Prado (2000), Yoshida e Menegalli (2000), que verificaram que a velocidade do ar tem um efeito desprezível sobre as curvas de secagem, fixou-se nos queimadores a velocidade do ar de secagem em $5 \text{ m}^3/\text{h}$, recomendado pela Texima (1998). Variaram-se as faixas de temperaturas do ar de secagem, para cada gramatura, conforme estudo térmico desenvolvido com temperaturas lineares na superfície da manta.

As curvas de secagem desenvolvidas no secador *Rama*, com as relações de velocidade da esteira versus umidade na palmilha, são mostradas na Figura 5.5. Cada ponto no gráfico representa uma média de três valores pesquisados. Os valores recomendados por Bomtempo (2004), para umidade em palmilha de poliéster situam-se entre as linhas tracejadas, com teores de 0,30 a 0,80% de umidade interna em relação à massa seca do tecido.

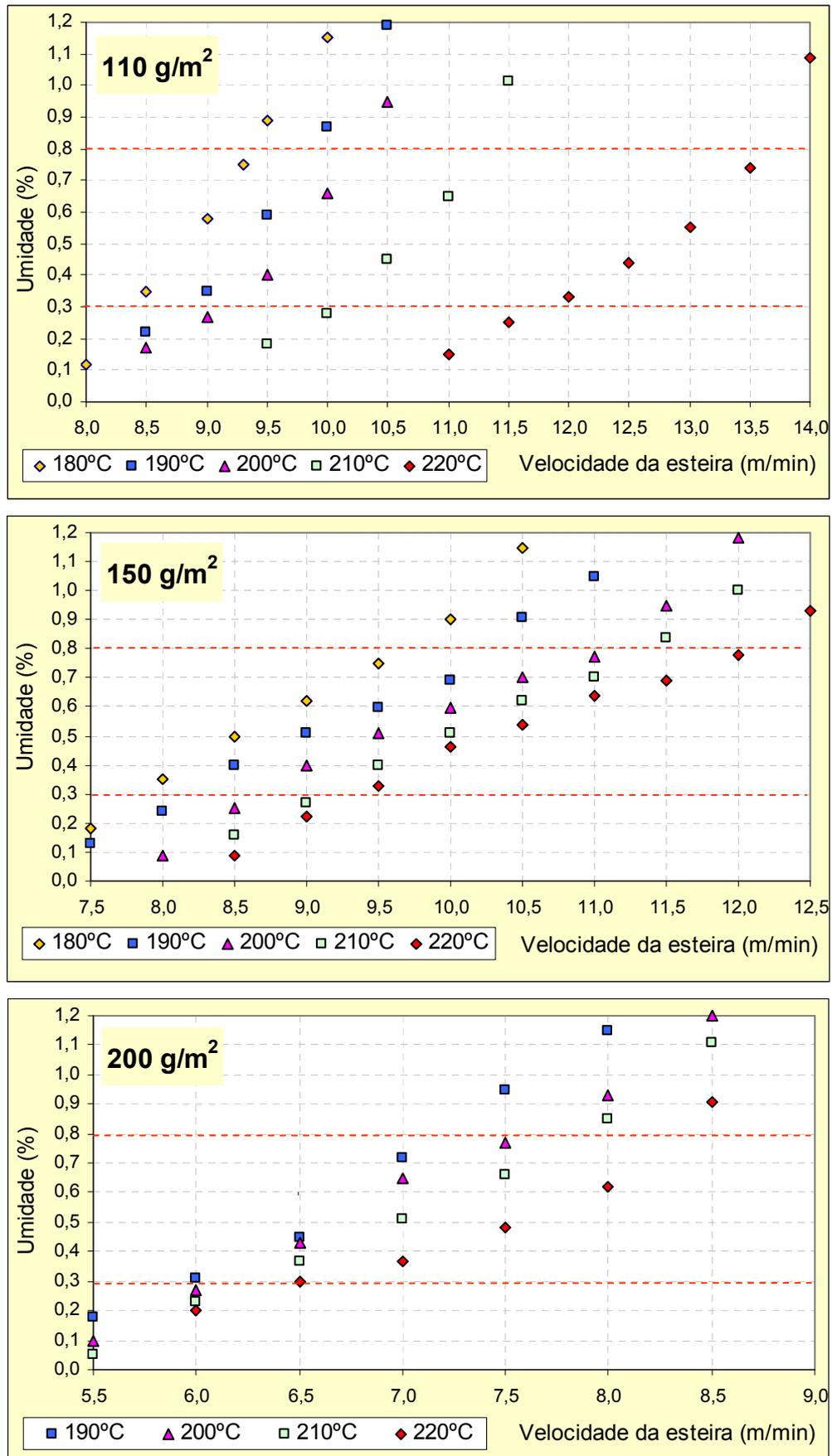


Figura 5.5 - Curvas de secagem para gramaturas de 110, 150 e 200 g/m².

A metodologia empregada na determinação das curvas de secagem mostrou-se adequada, face à reprodutibilidade dos dados experimentais em todos os ensaios realizados.

A velocidade da esteira e a temperatura do ar influenciaram de forma significativa à secagem de palmilhas, facilmente observada na gramatura de 110 g/m², onde as curvas de secagem sugerem uma taxa de secagem maior, devido à menor retenção de umidade na palmilha. Já em tecidos de maior gramatura, 200 g/m², foi necessária a elevação da temperatura mínima de secagem para 190°C, devido à maior adsorção de umidade nas suas fibras. Pode-se concluir que a taxa de secagem é maior para tecidos de menor gramatura, obtendo uma maior velocidade da esteira no secador. Da mesma forma podemos avaliar que varia a taxa de cura do estireno-butadieno, onde o aumento da temperatura do secador aumenta a velocidade de cura, com diminuição do tempo de reação de cura, conforme estudos de Kosar, Gomzi e Antunovic (2005).

Todos os pontos nas curvas de secagem variaram em escalas múltiplas de 0,5 m/min na velocidade da esteira do secador. A única exceção foi na gramatura de 110 g/m², onde o ponto de 9,3 m/min, foi determinado pela ajuda de uma ferramenta de otimização empírica, pelo método simplex modificado. A necessidade deste ponto é justificada pelo princípio de ter três pontos certificados por curva de pesquisa, dentro da faixa recomendada pela literatura para produtos com poliéster, 0,30 a 0,80% de umidade, indicada por Bontempi (2004).

As curvas escolhidas para pesquisa e certificação foram as dos extremos em cada gramatura, onde podemos verificar a minimização e maximização do consumo em GLP. Portanto, resumindo os dados da Figura 5.5 por gramaturas em faixas de velocidades para cada perfil térmico (Tabela 5.4), onde se identificaram às curvas extremas de secagem com dois tipos de perfis: econômico (baixa velocidade e temperatura) e avançado (alta velocidade e temperatura). Estes perfis térmicos de secagem serviram de modelo para produção-teste na *Rama*, para investigação do estudo.

Tabela 5.4 - Faixas de operação da *Rama* para produção-teste

Gramatura (g/m ²)	Perfil Térmico (°C)	Tipo de Perfil	Velocidade (m/min)
110	180	Econômico	8,5 - 9,3
	190		9,0 - 9,5
	200		9,5 - 10,0
	210		10,5 - 11,0
	220	Avançado	12,0 - 13,5
150	180	Econômico	8,0 - 9,5
	190		8,5 - 10,0
	200		9,0 - 11,0
	210		9,5 - 11,0
	220	Avançado	9,5 - 12,0
200	190	Econômico	6,0 - 7,0
	200		6,5 - 7,5
	210		6,5 - 7,5
	220	Avançado	6,5 - 8,0

5.2 SEGUNDA PARTE

5.2.1 Produção-Teste

A produção-teste investigou por seis meses o modelo proposto de curvas de secagem na *Rama*, Figura 5.5, utilizando os perfis econômicos e avançados, com o objetivo de minimizar do consumo de GLP.

O planejamento mensal da produção-teste, com a definição de qual perfil utilizar, foi em função da urgência dos pedidos comerciais na empresa A. Foram usadas as curvas de secagem com perfil térmico avançado (Tabela 5.4) como padrão em momentos de muitos pedidos comerciais, devido a sua alta velocidade de produção. Por outro lado, usou-se o perfil térmico econômico (Tabela 5.4) em épocas de poucos pedidos comerciais, em função da sua baixa velocidade de produção. Procurou-se, também, escalonar a produção com perfil térmico econômico e avançado, em estações climáticas variadas, para observar a influência da ação da umidade relativa do ar no processo de secagem. Desta forma acompanharam-se mensalmente os efeitos climáticos no consumo de GLP.

Os dados coletados com produção normal, Tabela 5.5 e Figura 5.6, foi o período quando não se utilizou a curva térmica como modelo de produção. Serviram de referência para confrontar com os resultados da produção-teste.

Tabela 5.5 - Acompanhamento da produção normal

Mês/Ano	Estação	Produção (m ²)	GLP (kg)	GLP (kg/m ²)
out./2005	primavera	265.636	31.485	0,119
nov./2005	primavera	251.457	26.174	0,104
dez./2005	verão	134.374	15.810	0,118
jan./2006	verão	155.024	16.000	0,103
fev./2006	verão	178.251	16.761	0,094
mar./2006	outono	182.734	16.667	0,091
maio/2006	outono	170.463	16.307	0,096
jul./2006	inverno	201.127	18.999	0,094
out./2006	primavera	198.970	21.093	0,106
nov./2006	primavera	151.477	13.141	0,087
jan./2007	verão	184.159	20.475	0,111
Média	-	188.516	19.356	0,103

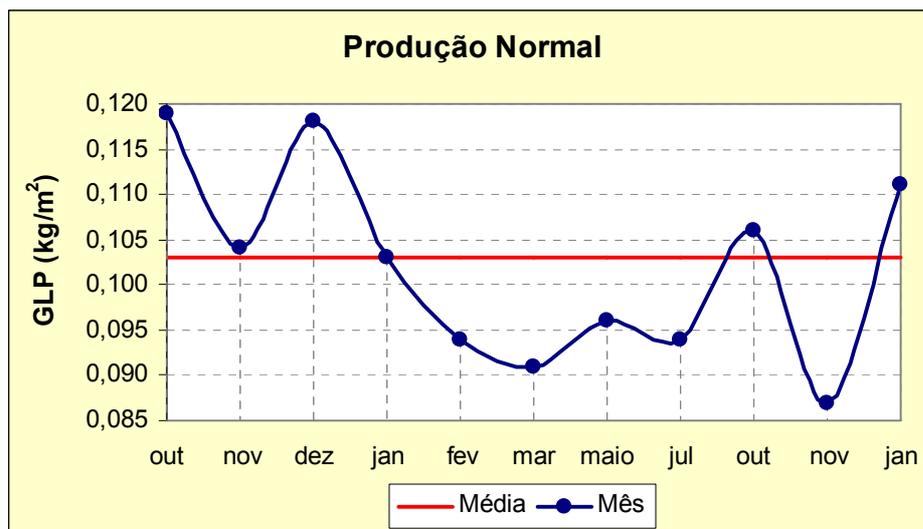


Figura 5.6 - Gráfico com produção normal.

Os resultados mensais da produção-teste, utilizando as curvas de secagem com perfil térmico avançado e econômico, são apresentados na Tabela 5.6 e 5.7.

Tabela 5.6 - Resultados da produção-teste com perfil avançado

Mês/Ano	Estação	Produção (m ²)	GLP (kg)	GLP (kg/m ²)
abr./2006	outono	163.711	21.762	0,133
ago./2006	inverno	298.764	38.036	0,127
fev./2007	verão	180.068	26.858	0,149
Média	-	214.181	28.885	0,135

Tabela 5.7 - Resultados da produção-teste com perfil econômico

Mês/Ano	Estação	Produção (m ²)	GLP (kg)	GLP (kg/m ²)
jun./2006	inverno	172.298	14.891	0,086
set./2006	primavera	182.970	14.472	0,079
dez./2006	verão	129.417	10.988	0,085
Média	-	161.562	13.450	0,083

Analisando as médias das produções-teste, Tabelas 5.6 e 5.7, contra a média da produção normal, Tabela 5.5, comprovou-se a vantagem econômica de se produzir com perfil térmico econômico, com redução de 19,4% no consumo de GLP.

Considerando o preço atual do GLP em R\$ 1,81 por kg e estimando a produção de palmilha pela média da produção normal, Tabela 5.5, a economia com GLP em um ano de produção, utilizando o perfil econômico, seria de R\$ 80.588,00. Por outro lado, se usarmos o perfil avançado tem um acréscimo financeiro de R\$ 128.941,00. Os resultados de avaliação comparativa da produção-teste contra a produção normal são apresentados na Tabela 5.8.

Tabela 5.8 - Resultados comparativos entre produção-teste e produção normal

Produção	Palmilha (m ² /ano)	GLP (kg/m ²)	GLP (kg/ano)	GLP (R\$/ano)	Avaliação (R\$/ano)	Avaliação (%)
Normal	2.226.192	0,103	229.298	415.029	-	-
Avançado	2.226.192	0,135	300.536	543.970	+ 128.941	+ 31,1
Econômico	2.226.192	0,083	184.774	334.441	- 80.588	- 19,4

Analisando a produção nas estações da primavera e verão, mostradas respectivamente nas Tabelas 5.9 e 5.10, observou-se que as médias para consumo de GLP seguem uma tendência nestas estações, que está correlacionada com a média da umidade relativa em São Leopoldo⁶. Na primavera obteve-se uma média de 0,105 kg de GLP por m² de produção, com 76,7% de umidade relativa do ar. Já no verão conseguiu-se uma média de 0,100 kg de GLP por m² de produção, com 72,1% de umidade relativa do ar. Inferiu-se, portanto, a influência da ação da umidade relativa do ar no processo de secagem, havendo a necessidade de tempos maiores para aquecer e manter estável a temperatura do secador em períodos de maior umidade relativa do ar, que acarretou um custo de 5% na produção com GLP.

Tabela 5.9 - Resultados para a primavera

Primavera	GLP (kg/m ²)	Média U.R. (S.L.) (%)
out./2005	0,119	80,0
nov./2005	0,104	69,5
jun./2006	0,086	84,0
ago./2006	0,127	79,0
out./2006	0,106	74,5
nov./2006	0,087	73,0
Média	0,105	76,7

Tabela 5.10 - Resultados para o verão

Verão	GLP (kg/m ²)	Média U.R. (S.L.) (%)
dez./2005	0,118	67,5
jan./2006	0,103	75,0
fev./2006	0,094	74,5
dez./2006	0,085	71,5
Média	0,100	72,1

⁶ As médias de Porto Alegre e Campo Bom, Tabela 3.4 (SEOMA), serviram de dados para calcular a média da umidade relativa em São Leopoldo (S.L.), mostrada nas Tabelas 5.9 e 5.10.

5.3 TERCEIRA PARTE

As amostras das curvas de secagem desenvolvidas em produção-teste no secador *Rama* foram analisadas no Centro Tecnológico do Calçado SENAI – Novo Hamburgo, para determinar qual dos dois perfis térmicos, econômico ou avançado, é o ideal qualitativamente.

Os ensaios realizados nas amostras foram índice de flexão, resistência à tração, alongamento na ruptura, adsorção e dessorção. Indicados pela área técnica do SENAI, por serem os ensaios mais representativos para palmilhas.

Devido aos altos custos da certificação das curvas térmicas para todos os pontos, utilizou-se o princípio de ter três pontos analisados em cada perfil térmico. A Figura 5.7 demonstra as amostras identificadas por numeração, utilizadas na pesquisa, que foram coletadas durante a produção-teste e enviadas para análise no SENAI.

Os pontos escolhidos para análise em cada curva térmica obedeceram à proximidade com o mínimo e o máximo, dentro da faixa para teor de umidade permitida, entre 0,30 a 0,80%, indicada por Bontempi (2004), e mais outro ponto intermediário da curva. A exceção foi na gramatura de 110 g/m², onde alguns pontos (1, 4, 5 e 8) fora da variação de umidade permitida, foram analisados para fins comparativos de qualidade.

A variabilidade do percentual de umidade obtida, para cada ponto, é demonstrada em traços verticais sobre cada ponto.

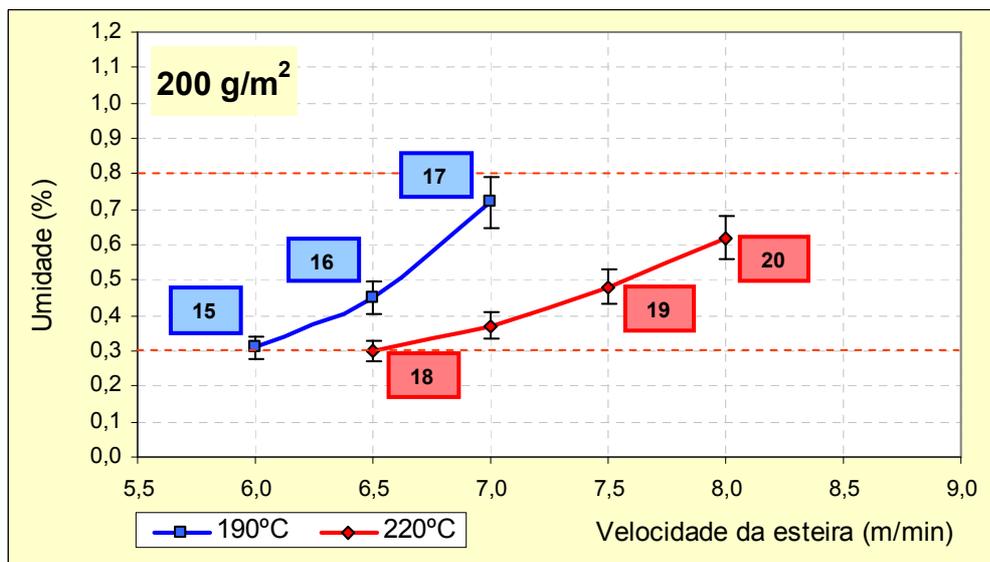
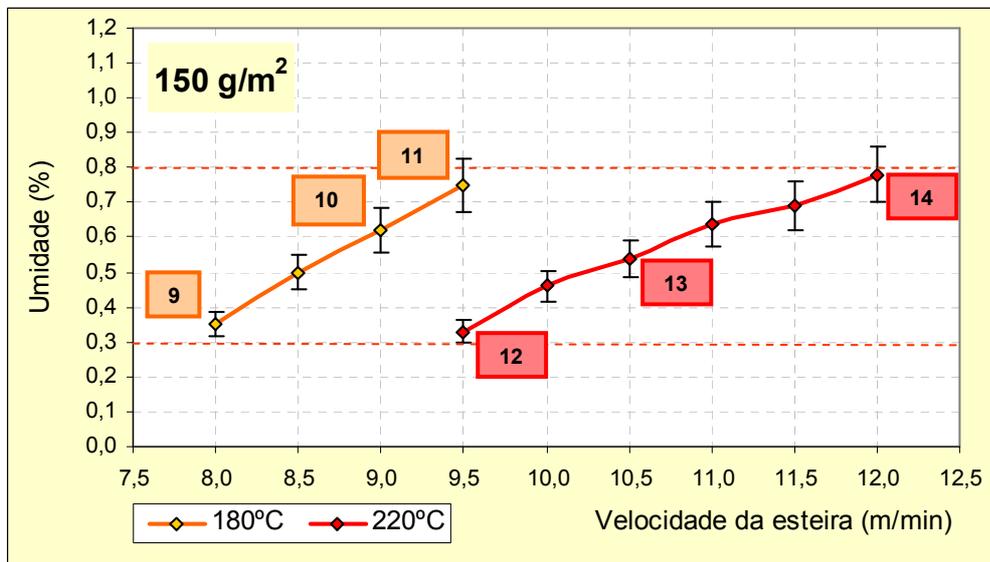
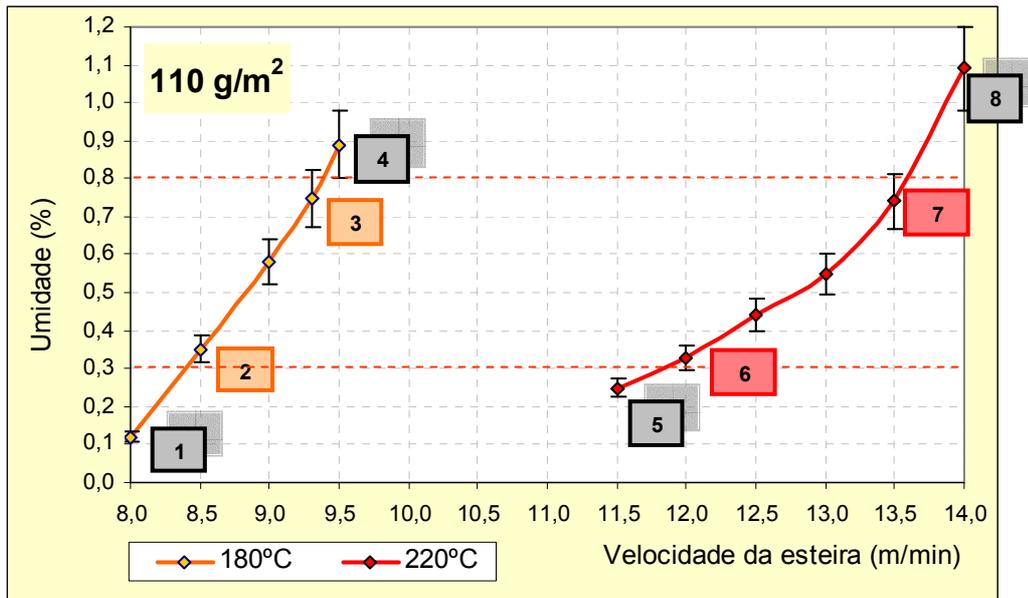


Figura 5.7 - Identificação das curvas de secagem certificadas no SENAI.

5.3.1 Índice de Flexão

Os resultados do ensaio de índice de flexão, apresentados nas Tabelas 5.11, 5.12, 5.13 e na Figura 5.8, demonstraram grande influência no estudo de secagem em *Rama*, devido à grande variedade de informações de qualidade obtidas. Cada resultado representa a média de quatro amostras realizadas, com seu desvio padrão do valor médio.

Tabela 5.11 - Resultados de índice de flexão para 110 g/m²

Amostra	Direção Paralela ⁷		Direção Perpendicular ⁸	
	Nº ciclos	I. F.	Nº ciclos	I. F.
1	590 ± 6	2,8 ± 0,2	253 ± 6	2,4 ± 0,2
2	1.289 ± 11	3,1 ± 0,3	623 ± 7	2,8 ± 0,2
3	1.053 ± 5	3,0 ± 0,2	679 ± 7	2,8 ± 0,2
4	413 ± 7	2,6 ± 0,2	230 ± 5	2,4 ± 0,2
5	276 ± 4	2,4 ± 0,2	31 ± 2	1,9 ± 0,1
6	622 ± 9	2,8 ± 0,2	339 ± 6	2,6 ± 0,2
7	556 ± 6	2,7 ± 0,2	321 ± 5	2,5 ± 0,2
8	241 ± 3	2,4 ± 0,1	40 ± 2	1,6 ± 0,1

Tabela 5.12 - Resultados de índice de flexão para 150 g/m²

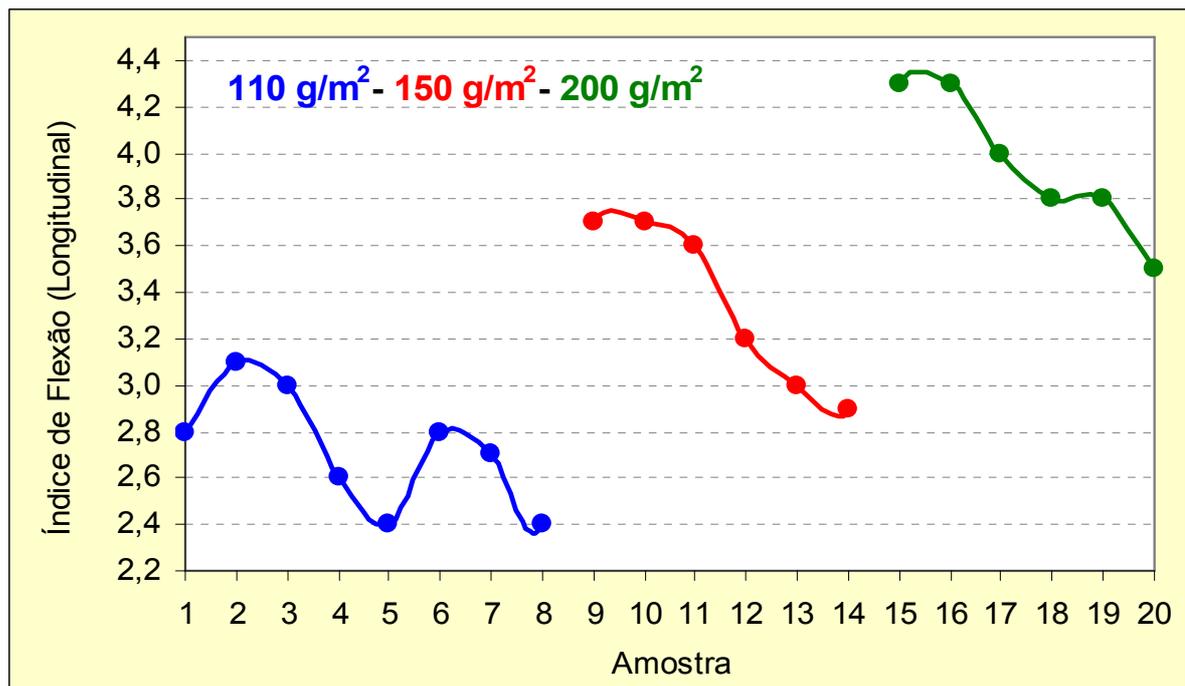
Amostra	Direção Paralela		Direção Perpendicular	
	Nº ciclos	I. F.	Nº ciclos	I. F.
9	5.261 ± 19	3,7 ± 0,3	3.513 ± 9	2,7 ± 0,2
10	4.602 ± 9	3,7 ± 0,2	3.400 ± 8	3,5 ± 0,2
11	3.994 ± 12	3,6 ± 0,3	1.029 ± 5	3,0 ± 0,2
12	1.586 ± 7	3,2 ± 0,2	1.007 ± 5	3,0 ± 0,2
13	1.063 ± 6	3,0 ± 0,2	670 ± 6	2,8 ± 0,2
14	870 ± 5	2,9 ± 0,2	547 ± 5	2,7 ± 0,2

⁷ Direção paralela ao maior comprimento da amostra (longitudinal).

⁸ Direção perpendicular ao menor comprimento da amostra (transversal).

Tabela 5.13 - Resultados de índice de flexão para 200 g/m²

Amostra	Direção Paralela		Direção Perpendicular	
	Nº ciclos	I. F.	Nº ciclos	I. F.
15	18.162 ± 21	4,3 ± 0,3	5.775 ± 20	3,8 ± 0,3
16	18.043 ± 22	4,3 ± 0,3	10.892 ± 22	4,0 ± 0,3
17	10.556 ± 25	4,0 ± 0,3	4.967 ± 11	3,7 ± 0,3
18	7.006 ± 18	3,8 ± 0,3	3.087 ± 13	3,5 ± 0,3
19	6.305 ± 17	3,8 ± 0,3	3.002 ± 12	3,5 ± 0,3
20	2.925 ± 10	3,5 ± 0,2	982 ± 7	3,0 ± 0,3

Figura 5.8 - Gráfico de índice de flexão para 110, 150 e 200 g/m².

Pode-se observar no ensaio de índice de flexão que o número de ciclos apresentados na direção longitudinal são superiores aos da direção transversal, em alguns casos em até três vezes. Conclusão similar chegou Costa (2004) ao pesquisar a orientação das fibras no véu de não-tecidos. O estudo deste autor teve significância por determinar a flexão e ruptura do véu nas diferentes direções, onde as fibras depositadas na direção longitudinal apresentam uma relação de resistência até cinco vezes maior que a disposição transversal. O processo de fabricação da manta, conforme informou o próprio fabricante, justifica este efeito, pois, o direcionamento das fibras é “induzido de forma sensível” no sentido do comprimento do rolo (longitudinal), podendo conferir maior qualidade de flexão e resistência ao material. Outra possibilidade é decorrente do efeito de tensão dos morcetes no tecido, para alargar o não-tecido no sentido da largura (transversal) na entrada do túnel do secador. Esta ação estica e abre o enovelamento das fibras, diminuindo a resistência de flexão.

Observou-se que nos perfis econômicos das três gramaturas, nas zonas com baixos teores de umidade e mínima velocidade, pontos 2, 9 e 15, apresentaram os maiores valores no índice de flexão, obtendo produtos com melhor qualidade técnica, conforme a literatura recomenda (Tabela 4.1). Os pontos 1 e 5 (secos em excesso) e os pontos 4 e 8 (com excesso de umidade) apresentaram índices de flexão abaixo do recomendado. Confirmou-se a faixa de umidade entre 0,30 e 0,80% para produtos de poliéster, recomendada por Bontempi (2004), onde os valores de índice de flexão apresentaram os melhores resultados.

Produtos com maior gramatura tiveram os valores de índice de flexão significativamente aumentados.

5.3.2 Resistência à Tração e Alongamento na Ruptura (a seco)

Os ensaios de resistência à tração e alongamento na ruptura foram realizados cinco vezes para cada direção. Apresentam-se os resultados médios com seu desvio padrão nas Tabelas 5.14, 5.15, 5.16 e Figuras 5.9 e 5.10.

A incerteza de medição nos ensaios de força máxima de tração é de $\pm 0,4$ N/2.000 mm² e no alongamento máximo é de $\pm 0,2\%$.

O corpo de prova utilizado no teste teve uma dimensão inicial de 100 x 20 mm. Portanto, com uma área de 2.000 mm².

Tabela 5.14 - Resultados de tração e alongamento para 110 g/m²

Amostra	Direção Paralela (A)		Direção Perpendicular (B)	
	Tração (N/2.000 mm ²)	Alongamento (%)	Tração (N/2.000 mm ²)	Alongamento (%)
1	136 ± 2	24 ± 2	98 ± 3	24 ± 2
2	245 ± 4	29 ± 3	171 ± 3	27 ± 2
3	192 ± 3	27 ± 3	151 ± 3	25 ± 2
4	134 ± 2	24 ± 2	89 ± 3	22 ± 1
5	89 ± 3	23 ± 3	48 ± 2	16 ± 1
6	141 ± 3	28 ± 3	129 ± 3	20 ± 2
7	129 ± 3	24 ± 2	118 ± 2	19 ± 2
8	82 ± 3	26 ± 2	52 ± 3	26 ± 2

Tabela 5.15 - Resultados de tração e alongamento para 150 g/m²

Amostra	Direção Paralela (A)		Direção Perpendicular (B)	
	Tração (N/2.000 mm ²)	Alongamento (%)	Tração (N/2.000 mm ²)	Alongamento (%)
9	132 ± 2	27 ± 2	122 ± 2	26 ± 2
10	388 ± 4	41 ± 2	167 ± 3	32 ± 2
11	360 ± 3	27 ± 1	133 ± 2	24 ± 2
12	185 ± 3	32 ± 2	130 ± 3	27 ± 2
13	202 ± 3	26 ± 2	137 ± 2	22 ± 2
14	181 ± 2	23 ± 2	154 ± 3	23 ± 2

Tabela 5.16 - Resultados de tração e alongamento para 200 g/m²

Amostra	Direção Paralela (A)		Direção Perpendicular (B)	
	Tração (N/2.000 mm ²)	Alongamento (%)	Tração (N/2.000 mm ²)	Alongamento (%)
15	354 ± 3	39 ± 2	238 ± 3	39 ± 1
16	255 ± 4	49 ± 3	165 ± 2	40 ± 2
17	232 ± 3	38 ± 1	221 ± 3	26 ± 2
18	263 ± 3	36 ± 2	164 ± 2	30 ± 1
19	256 ± 3	29 ± 2	202 ± 3	28 ± 2
20	179 ± 3	28 ± 2	135 ± 3	23 ± 2

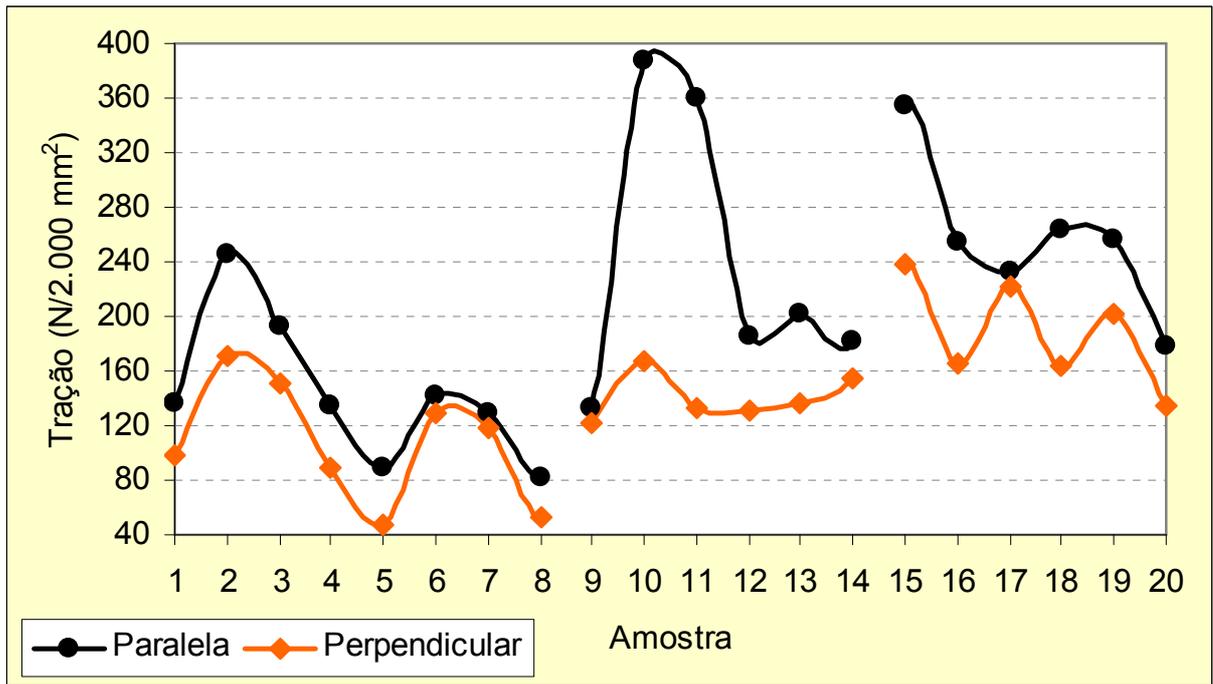


Figura 5.9 - Gráfico de tração para 110, 150 e 200 g/m².

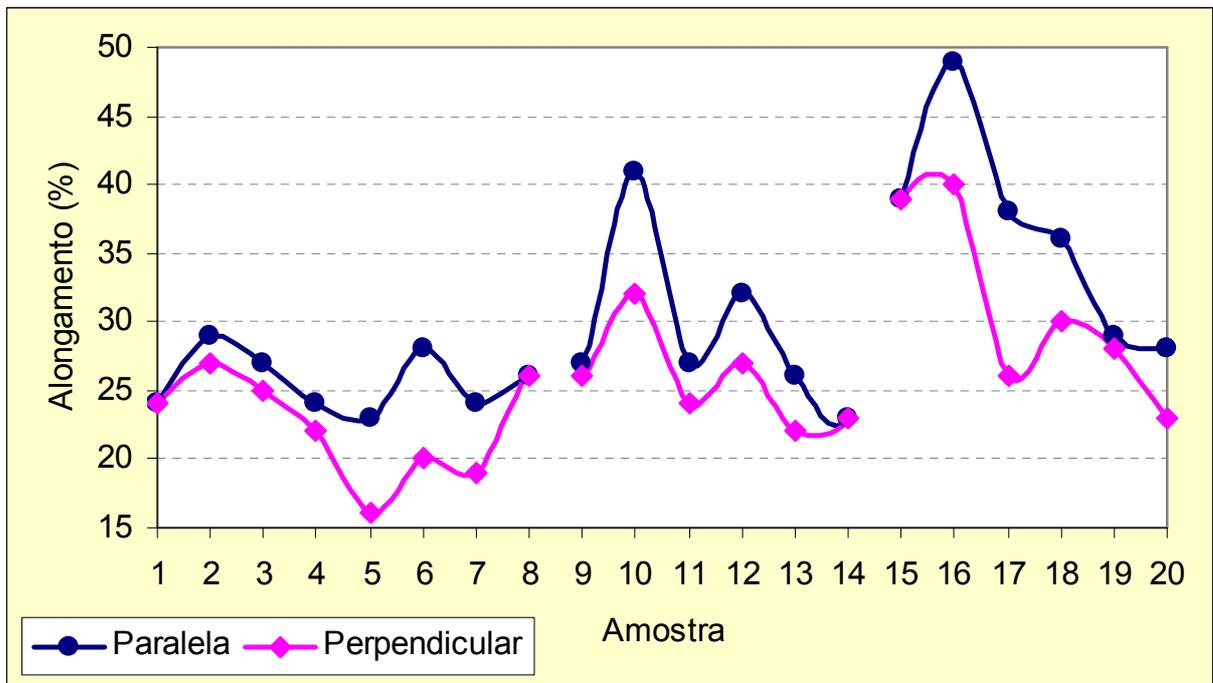


Figura 5.10 - Gráfico de alongamento para 110, 150 e 200 g/m².

Como já esperado, no ensaio de tração foi reproduzida a situação verificada no índice de flexão, onde as fibras depositadas na direção paralela (longitudinal) são cerca de 50% maior que a disposição perpendicular (transversal). Esta situação pode ser explicada pelos mesmos motivos, devido ao processo de fabricação da manta ou pelo efeito de tensão dos morcetes no tecido.

Para uma mesma gramatura os resultados de tração e alongamento mostraram-se praticamente lineares, dentro de cada perfil. Por sua vez, o perfil econômico apresentou um pequeno acréscimo nos resultados de tração e alongamento em relação ao perfil avançado.

Com a elevação da gramatura do não-tecido, constatou-se maiores valores de tração e alongamento, obtendo produtos mais rígidos.

Nos pontos 1, 4, 5 e 8 os resultados de tração e alongamento apresentaram valores fora da faixa recomendada pela literatura, que confirmam os efeitos excessivos de umidade e secagem em tecidos de poliéster, conforme vistos por Bontempi (2004).

5.3.3 Comportamento à Água – Adsorção e Dessorção

Os resultados dos ensaios de adsorção e dessorção que analisam o comportamento ao suor em palmilhas, são apresentados nas Tabelas 5.17, 5.18, 5.19 e na Figura 5.11. Cada resultado representa a média de três amostras realizadas com o seu respectivo desvio padrão.

Tabela 5.17 - Resultados de adsorção e dessorção para 110 g/m²

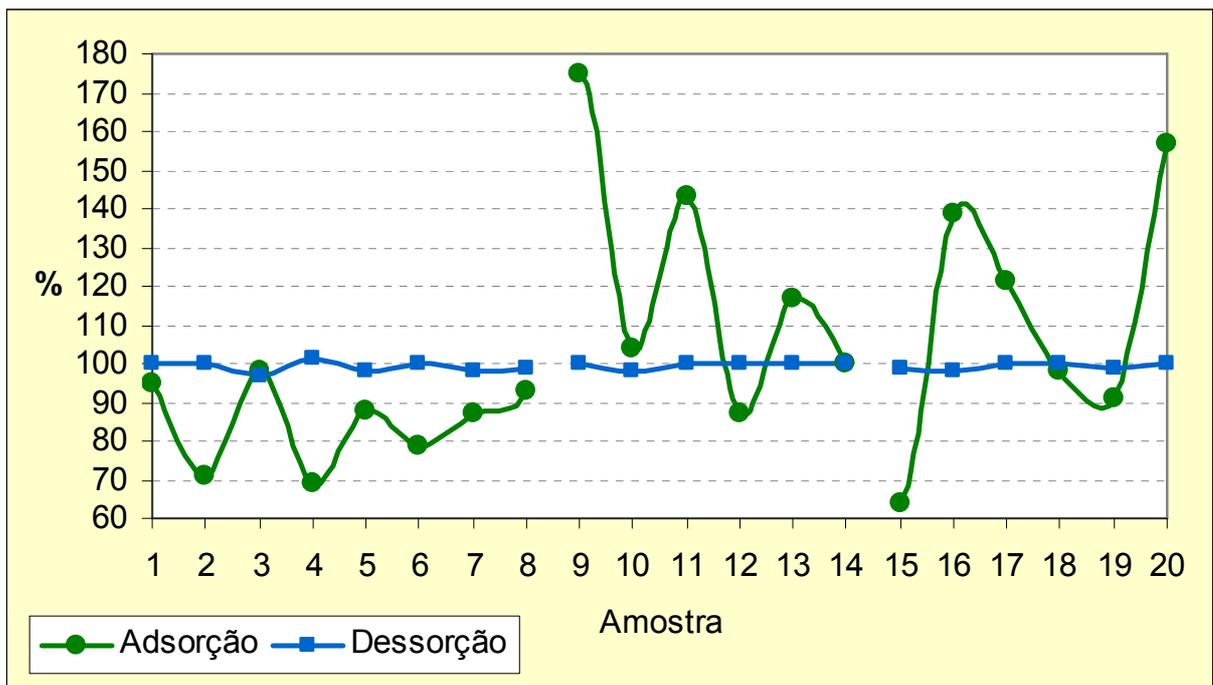
Amostra	Adsorção (%)	Dessorção (%)
1	95 ± 1	100 ± 1
2	71 ± 2	100 ± 1
3	98 ± 1	97 ± 1
4	69 ± 2	101 ± 1
5	88 ± 3	98 ± 1
6	79 ± 1	100 ± 1
7	87 ± 2	98 ± 2
8	93 ± 2	99 ± 3

Tabela 5.18 - Resultados de adsorção e dessorção para 150 g/m²

Amostra	Adsorção (%)	Dessorção (%)
9	175 ± 4	100 ± 2
10	104 ± 1	98 ± 2
11	143 ± 3	100 ± 1
12	87 ± 1	100 ± 1
13	117 ± 2	100 ± 1
14	100 ± 1	100 ± 2

Tabela 5.19 - Resultados de adsorção e dessorção para 200 g/m²

Amostra	Adsorção (%)	Dessorção (%)
15	64 ± 3	99 ± 2
16	139 ± 1	98 ± 2
17	121 ± 3	100 ± 1
18	98 ± 1	100 ± 1
19	91 ± 2	99 ± 1
20	157 ± 1	100 ± 2

Figura 5.11 - Gráfico de adsorção e dessorção para 110, 150 e 200 g/m².

A homogeneidade dos resultados de dessorção, próximos a 100%, demonstra que ocorreu a dessorção do vapor d'água da palmilha de forma similar à adsorção. Portanto, não ocorreu histerese.

Os resultados de adsorção e dessorção ficaram dentro dos valores previstos para palmilhas, conforme recomenda a literatura (Tabela 4.3). Confirmando que as modernas tecnologias nos segmentos de fiação e tecelagem, permitem que a fibra atenda perfeitamente as exigências de sua aplicação nos não-tecidos.

Verificou-se que a secagem excessiva, nos pontos 1 e 5, não alteram o comportamento ao suor em palmilhas. O que caracteriza a versatilidade da fibra têxtil sintética de poliéster.

Conclui-se que a extração de água na *Rama* ocorreu segundo as orientações da Texima (1998). Nos campos 1 e 2 do secador, primeiro período, ocorreu indução - aquecimento. Nos campos 3 e 4, segundo período, apresentou reação - cura. No campo 5, terceiro período, evidenciou relaxamento - estabilização da massa sólida.

6 CONCLUSÕES

Os resultados deste estudo permitiram a implementação da metodologia de controle laboratorial no processo de secagem na empresa A. Assim, o controle do teor de umidade em palmilha, no final da *Rama*, ajustou-se aos padrões de qualidade indicados pela literatura para produtos de PET.

Em termos de redução de custos de produção com GLP, utilizando-se as curvas de secagem como modelo operacional, os resultados obtidos foram considerados excelentes. Constatou-se a vantagem de se realizar a secagem em perfil térmico econômico, o qual minimizou em 19,4% o consumo de GLP, uma economia estimada em R\$ 80.588,00/ano. Já a produção com perfil térmico avançado aumentou em 31,1% o consumo de GLP, gerando um acréscimo financeiro de R\$ 128.941,00/ano.

Os ensaios de índice de flexão, tração e alongamento demonstraram que quantitativamente é recomendável o uso de curvas de secagem com perfil térmico econômico, em zonas próximas a 0,30% de umidade e baixa velocidade da esteira, por apresentarem melhores resultados físico-químicos no produto. Os resultados com perfil térmico econômico são de qualidade superior comparados com o perfil térmico avançado.

Foram testadas amostras fora da faixa de umidade recomendada pela literatura, onde os ensaios de índice de flexão, tração e alongamento, comprovaram a veracidade dos teores de umidade permitidos para produtos de PET.

Observou-se a influência da ação da umidade relativa do ar no processo de secagem, havendo a necessidade de tempos maiores para aquecer e manter estável a temperatura do secador em períodos de maior umidade relativa do ar. Desta forma, a umidade de equilíbrio é que determina o teor mínimo de umidade que o material pode atingir dentro das condições operacionais estabelecidas, sendo de fundamental importância na modelagem do processo de secagem.

Sugestões para trabalhos futuros:

- Este estudo evidenciou a necessidade de uma melhor avaliação quanto à elevação de temperatura na *Rama* acima de 220°C, devido ao amarelamento que ocorreu na superfície da manta a 230°C, necessitando de testes para confirmar o princípio de fusão no material;
- Repetir o estudo da influência da ação da umidade relativa do ar no processo de secagem em *Rama*, em todas as estações do ano (verão, outono, inverno e primavera);
- Desenvolver tecnologia para o reaproveitamento de resíduos têxteis, provenientes da industrial calçadista, minimizando o impacto ambiental. Pois, aproximadamente 20% da produção de palmilhas são perdidas no corte em balancim, produzindo um volume considerável de material enviado para aterro.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABICALÇADOS. Desenvolvido pela Associação Brasileira das Indústrias de Calçados. Disponível em: <<http://www.abicalcados.com.br>>. Acesso em: 10 set. 2006.

ALVES, M. L. (Org.) **Manual Técnico do Poliéster**. 1. ed., Americana: Vicunha, 2005.

ARAÚJO, M.; CASTRO, E. M. M. **Manual de Engenharia Têxtil**. v. 2, Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1984.

BARROZO, M. A. S. **Transferência de calor e massa entre o ar e sementes de soja em leito deslizante e escoamentos cruzados**. 1995, 163 p. Tese (Doutorado em Engenharia Química)–Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 1995.

BIDIM. **Cátologo de Aplicações Industriais: Bidim**. [São Paulo], 2000. 8 p.

BONTEMPI, A. **Eficiência Energética de Secadores Industriais: Análise e Propostas Experimentais**. 2004. 122 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica)–Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, 2004.

BOYEN, A. D. (Coord.). **Literatura Técnica Básica em Calçados**. Novo Hamburgo: CTCCA, 2002. v. 1: Controle de Qualidade: Calçados e Componentes. 82 p.

CHEREM, L. F. C. **Um modelo para a predição da alteração dimensional em tecidos de malha de algodão**. 2004. 292 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção)–Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

COSTA, A. B.; PASSOS, M. C. **A Indústria calçadista no Rio Grande do Sul**. São Leopoldo: Unisinos, 2004. 114 p.

COSTA, M. I.; Transformação do não-tecido: o design têxtil em produtos de moda. In: CONGRESSO NACIONAL DE TÉCNICOS TÊXTEIS, 11., 2004, Natal. **Anais...** São Paulo: ABTT, 2004, p. 75-82.

CTCCA; COTECAF. Contrafortes termoplásticos: uso correto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DO CALÇADO, 2., 1985, Novo Hamburgo. **Tecnicouro**, Novo Hamburgo, v. 8, n. 3, p. 15-17, mar./abr. 1986.

EIRAS, S. P.; ANDRADE, J. C. O uso do simplex modificado como estratégia de otimização em química analítica. **Química Nova**, São Paulo, v. 19, n. 1, p. 24-29, 1996.

FENSTERSEIFER, J. E. (Org.). **O Complexo Calçadista em Perspectiva: Tecnologia e Competitividade**. Porto Alegre: Ortiz, 1995. 391 p.

FOUST, A. S. et al. **Princípios das Operações Unitárias**. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1982. 684 p.

GIORDANO, J. B.; CAMPOS, J. S. C. Effect of the Temperatura of Thermofixation in Polyesteres Fabrics. In: CONGRESSO NACIONAL DE TÉCNICOS TÊXTEIS, 22., 2006, Olinda. **Anais...** Campinas: UNICAMP, 2006. p. 1-3.

GONÇALVES, E. (Coord.). **Literatura Técnica Básica em Calçados**. Novo Hamburgo: CTCCA, 2002. v. 1: Materiais - Couro e outros materiais de corte. p. 71.

GOUVEIA, J. P. G. Estudo da cinética de secagem de gengibre em um secador de leito fixo. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, v. 24, n. 2, p. 20-27, 1999.

GRABITECH. Disponível em: <<http://www.grabitech.com.br>> Acesso em: 22 jun. 2007. User's Guide to MultiSimplex® 2.1.

HACKBART, E. J. Serviço de Meteorologia da Secretaria de Meio Ambiente. 2004. São Leopoldo, Disponível em: <<http://www.semmamsaoleo.kit.net>> Acesso em: 15 mai. 2006.

HAN, W.; MAI, B.; GU, T. Residence time distribution and drying characteristics of a continuous vibro-fluidized bed. **Drying Technology**, New York, v. 9, n. 1, p.159-81, 1991.

KNORR-VELHO, S.; PUBLIO FILHO, W. T. Palmilha de não-tecido. **Tecnicouro**, Novo Hamburgo, v. 17, n. 9, p. 38-44, dez. 1996.

KOSAR, V.; GOMZI, Z.; ANTUNOVIC, S. Cure of polyester resin in a cylindrical mould heated by air. **Thermochimica Acta**, v. 433, n. 1-2, p. 134-141, 2005.

LAMBERT, A. J. D. Modeling as Tool for Evaluating the Effects of Energy-Saving Measures. Case Study: A Tumbler Drier. **Applied Energy**. v. 38, 1991, p. 33-47.

MANCINI, S. D. **Manual de Reologia de Polímeros Fundidos**. 1. ed. Sorocaba: UNESP, 2006.

MANFIO, E. F. **Estudo de Parâmetros Antropométricos e Biomecânicos do Pé Humano para a Fabricação de Calçados segundo Critérios de Conforto, Saúde e Segurança**. 1995. 112 f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Movimento Humano)–Pós-Graduação em Ciências da Saúde, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1995.

MCMURRY, J. **Química Orgânica**. Tradução de: Ana Flávia Nogueira e Izilda Aparecida Bagatin. 6. ed., v. 2, São Paulo: Thomson Learning, 2005, 884 p.

MELLO, O. S. Evolução dos calçados: Era Crista até a Idade Média. **Passarela**, Franca, v. 3, n. 19, p. 10-11, abr./mai./ jun. 2002.

MENACHEN, L.; PRESTON, J. **High Technology Fibers**. v. 3, New York: Marcel Dekker, 1985. 424 p.

MESQUITA, J. B.; ANDRADE, E. T.; CORRÊA, P. C. Modelos matemáticos e curvas de umidade de equilíbrio de sementes... **Cerne**, v. 7, n. 2, p. 12-21, 2001.

MONTEIRO, V. A.; MORAES, A. Ergonomia, design e conforto no calçado feminino. In: CONGRESSO P&D DESIGN, 2., 1998, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: PUCRS, 1998. p. 845-852.

MORBACH, S. B. (Coord.). **Literatura Técnica Básica em Calçados**. Novo Hamburgo: CTCCA, 2002. v. 1: Materiais para Calçados - Solados e Palmilhas de Montagem. 156 p.

MORONI, L. G. et al. (Org.). **Manual de não-tecidos: classificação, identificação e aplicações**. 3. ed. São Paulo: ABINT, fev. 2005.

MOTTA, E. **O Calçado e a Moda no Brasil: um olhar histórico**. São Paulo: Litokromia, 2004. 216 p.

MYLIUS, M. S. **O Sapato: conhecer bem para vender melhor – um manual para lojista**. Novo Hamburgo: CTCCA, 1993.

NETO, B. B.; SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R. E. **Como Fazer Experimentos: Pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria**. Campinas: Unicamp, 2003. 401 p.

NIWOHNER, U.; KUNST, E. R. Performance das Palmilhas de now-woven. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DO CALÇADO, 4., 1990, Novo Hamburgo. **Anais...** Novo Hamburgo: ASSINTECAL, 1990. p. 132-141.

OLIVEIRA Jr., A. B. **Estudo da transferência de calor e massa no processo de secagem em leito vibro-fluidizado**. 2003. 202 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química)–Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2003.

PEDROSO, L. G. **Sobre o desempenho de métodos de busca direta para minização irrestrita**. 2005. 47 f. Dissertação (Mestrado em Matemática Aplicada e Computacional)–Instituto de Matemática, Estatística e Computação Científica, UNICAMP, Campinas, 2005.

PEREIRA, M. A. **Manual de têxteis técnicos: classificação, identificação e aplicações**. 2. ed. São Paulo: ABINT, fev. 2005.

PEREIRA, R. C. C.; MACHADO, A. H.; SILVA, G. G. Reconhecendo o PET. **Química Nova na Escola**, São Paulo, n. 15, p. 3-5, maio 2002.

PERRY, R. H.; GREEN, D. W. **Perry's Chemical Engineers' Handbook**. New York: McGraw-Hill, 1998. 2240 p.

PESSAN, L. A. **Manual de Processamento de Termoplásticos**. São Carlos: UFSC, 2004.

PRADO, M. E. T. et al. Srinkage of dates (Phoenix dactilyfera). **Dryinf Technology**, Estados Unidos, v. 18, n. 1-2, p. 295-310, 2000.

RAUBER, M. P.; GONÇALVES, E. (Coord.). **Literatura Técnica Básica em Calçados**. Novo Hamburgo: CTCCA, 2002. v. 1: Materiais - Couro e outros materiais de corte. 79 p.

REGISTROS CLIMATOLÓGICOS DE SUPERFÍCIE [SEOMA] INMET. Porto Alegre, 2005-2006.

REIS, V. A.; TOCHTROP Jr., E. F. Reduction of the Solid Residue Generation in Footwear Industry: Recycling Contraforte. **Technología**, Canoas, v. 5, n. 2, p. 181-199, jul./dez. 2004.

REWALD, F. G. **Tecnologia dos Não-tecidos**: Matérias-primas, processos e aplicações finais. São Paulo: LCTE, 2006. 204 p.

ROGERS, M. E.; LONG, T. E. **Synthetic Methods in Step-Growth Polymers**. New Jersey: John Wiley & Sons, 2003. 605 p.

SEBASTIÃO, V.; CANEVAROLO, Jr. **Técnicas de Caracterização de Polímeros**. São Paulo: Artliber, 2004. 448 p.

SILVA, V. (Coord.). **Literatura Técnica Básica em Calçados**. Novo Hamburgo: CTCCA, 2002. v. 3: Estrutura Fabril - Modelagem de calçados e fabricação de calçados. 160 p.

TEXIMA. **Catalógo Super Ramosa**. [São Paulo], 1999. 10 p.

_____. **Manual Técnico da Rama Texima**. São Paulo: Texima, 1998.

URASHIMA, D. C.; VIDAL, D. M. Analysis of filtration systems by probabilistic theory and simulation methods. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON GEOSYNTHETICS, 7., 2002, Nice. **Anais...** Lisse: Swets & Zeitlinger, 2002. p. 1115-1118.

WALTERS, F. H. et al. **Sequencial Simplex Optimization**. Boca Raton: CRC Press LLC, 1991. 402 p.

YOSHIDA, C. M. P.; MENEGALLI, F. C. Drying of supers-weet com. In: INTERNACIONAL DRYING SYPOSIUM, 12, Noordwijkerhout. **Proceedings...** Elsevier, 2000.

ANEXOS

ANEXO A - Certificação do SENAI pelo INMETRO



República Federativa do Brasil
Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior
Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial - Inmetro

Coordenação Geral de Acreditação

Signatário dos Acordos de Reconhecimento Mútuo da International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC),
da Interamerican Accreditation Cooperation (IAAC) e do
Acordo Bilateral de Reconhecimento Mútuo com a European Co-operation for Accreditation (EA)

Certificado de Acreditação

Acreditação nº CRL 0048

Acreditação inicial: 17-02-1992

LABORATÓRIO DE CONTROLE DA QUALIDADE
CENTRO TECNOLÓGICO DO CALÇADO – CTC/SENAI
AVENIDA PEDRO ADAMS FILHO, 6338 - OPERÁRIO
NOVO HAMBURGO - RS

A Coordenação Geral de Acreditação do Inmetro – Ccgre/Inmetro – concede acreditação ao Laboratório acima identificado, segundo os requisitos estabelecidos na ABNT NBR ISO/IEC 17025:2005. Esta acreditação constitui a expressão formal do reconhecimento da sua competência para realizar os ensaios constantes no Escopo de Acreditação.

Emissão: 18-12-2006

Marcos Aurélio Lima de Oliveira
Coordenador Geral de Acreditação

Validade: 18-12-2008

**ANEXO B - Certificação do SENAI pela Associação Rede de Metrologia e
Ensaio do Rio Grande do Sul**

**REDE
METROLÓGICA
.....RS**

ASSOCIAÇÃO REDE DE METROLOGIA E ENSAIOS DO RIO GRANDE DO SUL
AV. ASSIS BRASIL, 8787 - CEP 91140-001 PORTO ALEGRE - RS - BRASIL FONE/FAX: (51) 3347-8745 - CNPJ: 97.130.207/0001-12
e-mail: qualidade@redemetrologica.com.br - Internet: http://www.redemetrologica.com.br

**REDE METROLÓGICA RS
CERTIFICADO DE RECONHECIMENTO**

Rede Metrológica RS Accreditation Certificate

Nº 0103

A Rede Metrológica RS reconhece a competência técnica de
The Metrological Network of Rio Grande do Sul – Rede Metrológica RS – recognizes the technical competence of

**SENAI – CENTRO TECNOLÓGICO DO CALÇADO – LABORATÓRIO DE
CONTROLE DE QUALIDADE – ENSAIOS QUÍMICOS E MECÂNICOS**

SENAI – Chemistry and mechanical testing

Av. Pedro Adams Filhos, 6338 – Novo Hamburgo - RS

após o atendimento, por parte do laboratório, aos critérios estabelecidos com base na(o)
after the compliance, by the laboratory, to the requirements established in accordance to

NBR ISO/IEC 17025:2005

A lista de serviços para os quais o Laboratório está Reconhecido e o apêndice de
responsabilidades do Laboratório seguem anexos a este certificado.
The scope of accreditation and responsibilities are presented in the attached appendix.

Validade:
Validate:

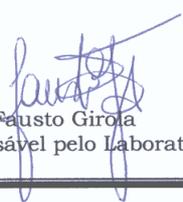
Este certificado só terá validade se assinado pelo laboratório e pela Rede Metrológica RS.
This accreditation certificate will only be valid if signed by both laboratory and Rede Metrológica RS's representatives.

O não atendimento aos critérios estabelecidos no Apêndice de Responsabilidades torna este
certificado sem validade.
The non-compliance with the responsibilities appendix may turn this certificate not valid.

A validade do certificado é até dezembro/2008.
This certificate is valid to december/2008.

Porto Alegre, 27 de novembro de 2006.


João Carlos Guimarães Lerch
Secretário Executivo


Fausto Giroia
Responsável pelo Laboratório

ANEXO C - Certificação do SENAI, Norma ISO 9001:2000, pela BVQI

