



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA

**ESTUDO DE SISTEMAS FILTRANTES
DE AR DE PROCESSO INDUSTRIAL,
NA FABRICAÇÃO DE NÃOTECIDOS**

Ricardo Hagel

Orientador: **Prof. Msc. Luiz Elody Lima Sobreiro**

Porto Alegre
Dezembro, 2010

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1 Polipropileno	3
2.2 Não tecidos	4
2.3 Processo produtivo de não tecidos	5
2.4 Sistema de ventilação de ar de processo	8
2.5 Elementos filtrantes.....	10
3. METODOLOGIA	13
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	18
5. CONCLUSÕES	27
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	28

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma do processo de fabricação de nãotecido spunbonded.....	6
Figura 2 - Visão geral de uma linha produtiva de nãotecidos RF4	8
Figura 3 - Esquema dos sistemas de ventilação de ar de processo em uma linha RF4.....	9
Figura 4 - Sistemas de ventilação de ar de processo e estações de filtração.....	9
Figura 5 - Distribuição de tamanhos de partículas na atmosfera.....	11
Figura 6 - Elementos filtrantes tipo multi-bolsas.....	12
Figura 7 - Elementos filtrantes tipo plissado.....	12
Figura 8 - Plano de amostragem para análise da capacidade de retenção de pó.....	14
Figura 9 - Bloqueio da malha filtrante decorrente de saturação.....	16
Figura 10 - Deformação estrutural dos elementos filtrantes decorrente de saturação.....	16
Figura 11 - Instrumento ligado aos orifícios (tomadas) para determinação da queda de pressão.....	17
Figura 12 - Proposta de reutilização de molduras a partir de filtros descartados para RS7....	19
Figura 13 - Elementos filtrantes com retenção não-uniforme.....	22
Figura 14 - Capacidade de retenção de particulados em função do tempo de operação.....	23
Figura 15 - Evolução da queda de pressão decorrente da saturação dos filtros.....	24
Figura 16 - Malha filtrante saturada após 4 meses de instalação.....	25
Figura 17 - Fibras da malha filtrante, partículas com tamanhos inferiores a 0,3mm.....	25
Figura 18 - Tamanho de partícula semelhante ao diâmetro de fibra da malha filtrante.....	26

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação de eficiência de filtração e retenção de partículas.....	10
Tabela 2 - Eficiência para filtros de classe G1 a F9, de acordo com a norma DIN EN779 para filtros limpos.....	10
Tabela 3 - Comparativo de custos entre filtro 6 bolsas e 8 bolsas.....	20
Tabela 4 - Comparativo do potencial de redução de custo do filtro multi-bolsas de 6 bolsas, em relação aos filtros fornecidos pelo fabricante Reicofil	20
Tabela 5 - Comparativo do potencial de redução de custo do filtro multi-bolsas de 8 bolsas, em relação aos filtros fornecidos pelo fabricante Reicofil	21

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

IF – índice de fluidez

PP – polipropileno

RS6 – linha de produção de não tecidos no. 6

RS7 – linha de produção de não tecidos no. 7

PET – polietileno tereftalato

TNT – tecido-nãotecido

Pa – pascal

g – grama

cm³ – centímetro cúbico

min – minuto

kg - quilograma

m – metro

m³ – metro cúbico

m² – metro quadrado

s – segundo

h – hora

µm – micrometro

mm - milímetro

R\$ - real

tam – tamanho

RF4 – linha de produção de não tecidos Reicofil RF4

RESUMO

O processo produtivo de nãotecidos de polipropileno requer altas vazões de ar para estiramento e resfriamento dos filamentos de polímero, formados a partir do processo de extrusão. Para que estes filamentos formados apresentem as características necessárias ao produto final, como diâmetro especificado, estabilidade dimensional e isenção de contaminantes, deve-se garantir a estabilidade do processo em relação à temperatura, vazão e filtração deste ar.

A eficiência de filtração deste ar de processo deve ser a máxima possível, pois a existência de contaminantes no ar pode reduzir a eficiência dos equipamentos que controlam estas propriedades, como: ventiladores (vazão), trocadores de calor (temperatura), válvulas, etc.; fazendo com que não seja possível garantir a estabilidade operacional das linhas produtivas.

A proposta deste estudo é a redução de custos por meio da unificação do tipo de filtro utilizado nas linhas de produção de nãotecido, determinação da capacidade máxima de retenção de particulados e avaliação da queda de pressão ao longo do tempo de utilização, determinando assim o tempo máximo que cada filtro pode ser utilizado.

Para escolha do tipo de filtro adequado, as propostas foram discutidas conjuntamente com fornecedores nacionais. Através de uma metodologia, realizou-se ensaios de retenção de pó e queda de pressão, e posterior avaliação dos resultados obtidos.

Verificou-se que é possível obter uma redução de até 85% nos custos anuais a partir da substituição do modelo de filtro empregado nos sistemas de ventilação, sem prejuízo à eficiência. Também foi observado que o intervalo de substituição dos elementos filtrantes pode ser ampliado em mais de 200%. Entretanto, é necessária a realização de análise granulométrica dos contaminantes presentes no ar para escolha correta da classe de filtração, visto que os resultados obtidos para queda de pressão estão aquém do limite de saturação do filtro, indicando a possibilidade de utilização de um filtro incorreto, atualmente.

1. INTRODUÇÃO

Por milhares de anos, a única forma de obtenção de tecidos era por tecelagem ou por malharia. Nas últimas décadas, uma nova classe de estrutura têxtil tem sido desenvolvida: têxteis não tecidos. Estes têxteis, embora diferentes em suas propriedades físicas, têm um fator em comum, isto é, todos usam fibras formadas a partir de polímeros (tais como polipropileno, polietileno, PET, entre outros) como componentes base em sua construção. Na tecelagem ou malharia, os fios que compõem o tecido precisam ser produzidos anteriormente, mas os não tecidos, de outro modo, são fabricados diretamente em estruturas têxteis sem a necessidade de produção dos fios.

Nãotecido é, conforme a norma NBR 13370 (ABNT, 2002), uma estrutura plana, flexível e porosa, constituída de véu ou manta de fibras ou filamentos, orientados direcionalmente ou ao acaso, consolidados por processo mecânico (fricção) e/ou químico (adesão), e/ou térmico (coesão) e combinações destes. Atualmente existem várias tecnologias para se fabricar um nãotecido e, de modo geral, a indústria papelreira, a têxtil (fiação e acabamento) e a de plástico, influenciaram muito nas tecnologias hoje existentes.

Diferentes polímeros podem ser utilizados para fabricação de nãotecidos, obtendo assim características específicas para cada aplicação comercial que o nãotecido possa ter. No processo industrial de fabricação de nãotecidos abordado neste trabalho, o polímero utilizado é o polipropileno, capaz de ser transformado de *pellets* (forma na qual é vendido pela indústria de segunda geração) em filamentos e, posteriormente, em nãotecido.

Após o *pellet* de polímero fluir pela extrusora aquecida, forma-se uma massa fundida. Bombas de engrenagem de deslocamento positivo conduzem esta massa fundida até as matrizes de fiação (fieiras). Estas fieiras possuem milhares de pequenos furos, com formatos e dimensões definidas para transformar o polímero em filamentos.

Os filamentos são estirados pelo ar de processo e sofrem um rápido resfriamento para consolidação, sendo logo depois distribuídos aleatoriamente sobre a esteira formadora de manta. Esta manta formada pelos filamentos contínuos soltos passa por um processo de calandragem que, por pressão e temperatura elevada, une estes filamentos dando origem ao nãotecido.

Para que estes filamentos possam ser estirados e resfriados corretamente é necessário o fornecimento de alto volume de ar de processo, fornecido com auxílio de ventiladores de alta vazão. O ar de processo utilizado nesta etapa necessita obrigatoriamente de uma filtração eficiente, que tem como objetivo principal a redução da quantidade de partículas existentes no ar externo admitido, isentando a possibilidade de contaminação dos filamentos e do produto final, por consequência.

A baixa eficiência de filtração do ar de processo também pode ocasionar alteração na distribuição do ar nas cabines de estiragem devido a possíveis entupimentos e formação de caminhos preferenciais, por onde o ar passará com menor dificuldade, podendo gerar efeitos indesejados na distribuição de filamentos e alteração nas características finais do não-tecido formado, bem como o acúmulo em outras partes do equipamento por arraste destas partículas, o que pode ocasionar diminuição na eficiência de trocadores de calor, válvulas, entre outros.

A partir da necessidade de garantir a eficiência desta etapa de filtração do ar de processo, este trabalho tem por objetivo realizar um estudo e otimizar o desempenho do sistema de filtração com a escolha do tipo de filtro mais adequado ao processo, garantindo a minimização de custos, maximização da eficiência de retenção de partículas e definição dos intervalos adequados para substituição dos elementos filtrantes.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Polipropileno

Os grãos de polipropileno natural são brancos e translúcidos e é o mais leve entre os termoplásticos comuns, tendo uma densidade de aproximadamente 0,9 g/cm³. Possui um ótimo balanço de propriedades físicas e químicas e sua maior importância comercial está na sua resistência mecânica e em sua dureza.

Além disto, o polipropileno é atóxico - característica fundamental que permite seu uso em nãotecidos para fabricação de fraldas descartáveis, absorventes higiênicos, lenços umedecidos, vestimentas médicas, embalagens especiais para esterilização de instrumentos hospitalares, entre outras aplicações. Entre outras propriedades, o polipropileno caracteriza-se por ser uma resina versátil de excelentes propriedades que pode ser processada de diferentes formas, o que lhe garante uma variada gama de aplicações no mercado (FITESAFIBERWEB, 2010).

Dentre os principais processos de transformação do polipropileno podemos citar os processos de extrusão: de multifilamentos, de filmes, de rafia; e os processos de moldagem: por sopro e por injeção (ELKINGD, 1992).

No processo de fabricação de nãotecidos é realizada a extrusão de multifilamentos, onde o índice de fluidez (IF) é um dos principais parâmetros a serem observados, pois a condição de processamento do polímero é função do IF, especificando a velocidade do ar de processo responsável pela estiragem, além de temperaturas de extrusão e fiação, vazões de material fundido e demais variáveis de processo. Estas variáveis devem ser controladas a risca, de modo a obter as características desejadas no produto final, nãotecido, exigidas pelo cliente.

O índice de fluidez da resina utilizada no processo fabril citado neste trabalho é de aproximadamente 40g/10min e relaciona-se inversamente com o peso molecular médio e a resistência mecânica do polímero. A especificação desta e demais propriedades da resina é de extrema importância, pois irá determinar as variáveis de processo que deverão ser ajustadas na linha produtiva para correta processabilidade e formação do filamento.

As variáveis de máquina relacionadas ao ar de estiragem, como o volume de ar de processo requerido, determinarão as propriedades finais do produto devido às características do filamento formado, principalmente em relação ao diâmetro deste. Fibras mais finas ou mais grossas alteram significativamente as propriedades do

produto final como resistência à tração, área de cobertura das fibras, resistência ao rasgo, permeabilidade ao ar, coluna d'água (capacidade de retenção de líquidos e sua permeabilidade entre as fibras), etc. (ABINT, 2010).

O controle deste índice de fluidez é realizado pelo fabricante de polipropileno e se dá pela quantidade de hidrogênio presente no processo, pois este atua como terminador da cadeia (ELKINGD, 1992).

2.2. Não tecidos

Popularmente, e erroneamente, é chamado de tecido "TNT", mas devemos fazer uma distinção entre o que é um tecido e um não tecido. Para melhor entendimento do que é um não tecido, é importante saber tecnicamente o que é um tecido.

Conforme a norma NBR 12546 (ABNT, 2010), tecido é uma estrutura produzida pelo entrelaçamento de um conjunto de fios de urdume e outro conjunto de fios de trama, formando um ângulo de (ou próximo a) 90°.

Não tecido, como anteriormente citado, é uma estrutura plana, flexível e porosa, constituída de véu ou manta de fibras ou filamentos, orientados direcionalmente ou ao acaso, sem entrelaçamento. A orientação destas fibras, na estrutura da manta, pode ser em uma única direção (não tecidos orientados), dispostas em forma cruzada, ou ao acaso (não tecidos desorientados).

A origem da produção dos não tecidos surgiu sob pressões e circunstâncias comerciais como: necessidade de simplificar o processo têxtil; necessidade de desenvolver novos tipos de produtos têxteis; necessidade crescente da reciclagem de resíduos e fibras; aspectos econômicos; possibilidade de aplicação e desenvolvimento de outras áreas industriais (ABINT, 2010).

É difícil estabelecer uma data para a real invenção ou aparecimento dos não tecidos. Na década de 50, começaram a ser instaladas as primeiras e grandes fábricas de não tecido da América do Norte, México e Europa. A técnica de costura desenvolvida no início de 1945 ficou mais conhecida a partir de 1959, quando surgiu o equipamento fabricado na Alemanha Oriental, denominado Maliwatt.

Os não tecidos de filamentos contínuos ganharam um impulso comercial grande durante os anos 60, com a DuPont. Desde esta época, aumentou o número de fabricantes e aplicações finais dos não tecidos (REWALD, 1988). A década de 60 marca o lançamento do não tecido no mercado como matéria-prima industrial e como

produto de consumo, quando foram registradas as primeiras patentes para a fabricação dos não tecidos de filamento contínuo através da fiação por fusão (ABINT, 2010).

A década de 70 encontra a indústria de não tecido em plena ascensão, com grandes desenvolvimentos e novas tecnologias, de processos e matérias-primas.

Dentre estes desenvolvimentos e novas tecnologias, o maquinário alemão da Reicofil®, divisão do grupo Reifenhäuser, é considerado atualmente o “estado-da-arte” na fabricação de não tecidos e responsável pela fabricação dos equipamentos de produção de não tecidos citados neste trabalho.

2.3. Processo produtivo de não tecidos

De maneira a entender mais facilmente o processo de fabricação de não tecidos de filamento contínuo, objeto deste estudo e também chamado de processo *spunbonded*, devemos observar primeiramente o processo simplificado demonstrado na Figura 1.

Todos os granulados (*pellets*) de matéria-prima, *masterbatches* e/ou aditivos, são colocados por meio de transporte pneumático no armazenamento intermediário (depósito de PP), a partir de silos ou outros recipientes, sendo alimentados diretamente nas extrusoras como misturas homogêneas (REICOFIL, 2005).

A extrusora puxa uniformemente este granulado misturado no funil de alimentação de acordo com o fluxo de produção. O potencial de plastificação do parafuso da extrusora é mantido aquecendo-se o cilindro de extrusão e todas as partes que transportam esta mistura. Tais equipamentos são aquecidos eletronicamente, para melhor controle e processabilidade, minimizando a variabilidade e possibilidade de degradação da massa de polímero fundida.

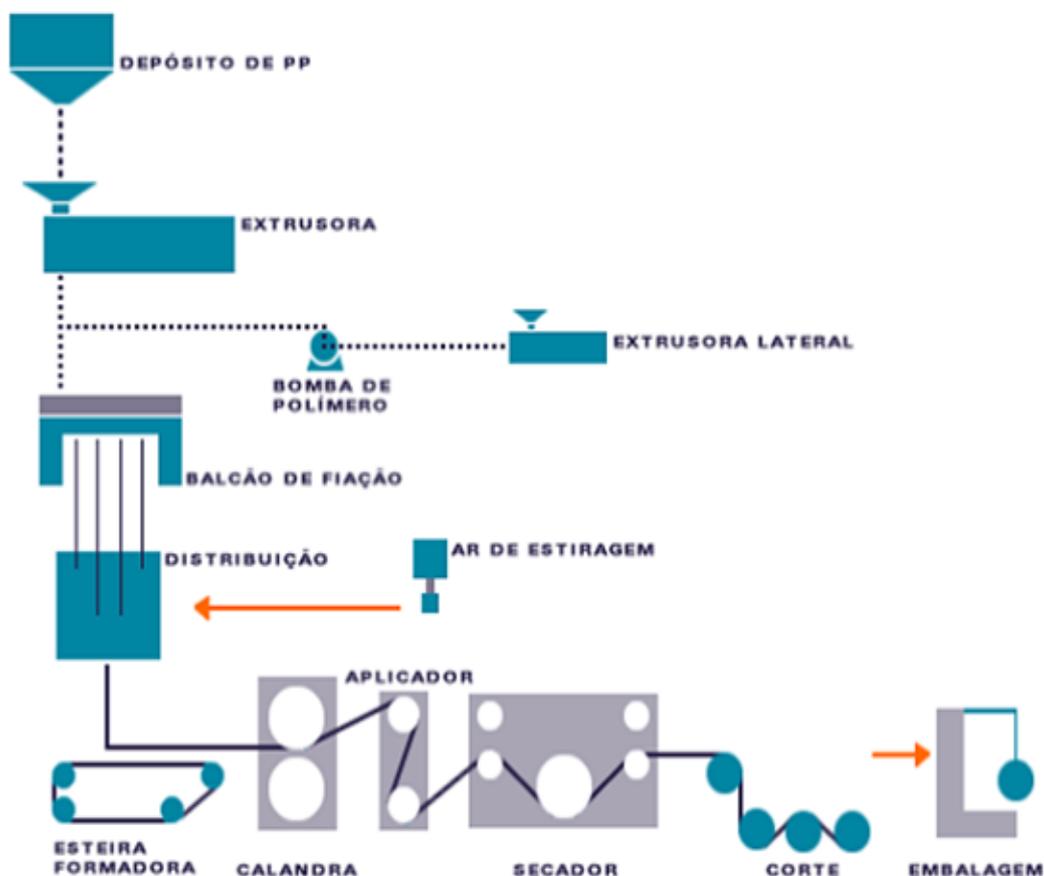


Figura 1 - Fluxograma do processo de fabricação de não tecido *spunbonded*

Localizados entre as extrusoras e as bombas de polímero, estão os trocadores de telas: equipamentos com a função de filtrar a massa extrusada. Com isto, protege-se a bomba de polímero, pois as impurezas serão filtradas e retiradas do material fundido mediante telas substituíveis. Para evitar a queda da temperatura do material fundido, o trocador de telas também é aquecido.

As extrusoras laterais são responsáveis pelo processamento de materiais reciclados, a partir da reciclagem primária de resíduos de produção no próprio processo produtivo, essencial para garantir a competitividade da empresa no mercado de não tecidos e redução de custos com a compra de matéria-prima virgem.

Os materiais fundidos filtrados são conduzidos até as bombas de polímero com uma pressão de operação pré-ajustada. Estas bombas de polímero (bombas de engrenagens e precisão) garantem o fluxo e a pressão constante dos materiais fundidos contra as matrizes de fiação existentes no balcão de fiação, também chamado de bloco de fiação.

No bloco de fiação, o polímero extrusado que entra é distribuído uniformemente na largura de produção do canal de circulação do bloco, de modo a garantir o fluxo de material fundido que passará pela matriz perfurada e que dará origem aos filamentos. Isto faz com que estes furos mantenham a mesma vazão e as características dimensionais do filamento sejam independentes do posicionamento do furo. Nesta etapa são formados vapores, chamados de oligômeros ou monômeros, devido à quebra das cadeias do polímero. Estes vapores são aspirados por um exaustor de monômeros localizado entre a matriz perfurada e a cabine de resfriamento.

Na etapa de distribuição, para resfriar os filamentos dúcteis, é requerido ar de resfriamento. O ar de processo, responsável por este resfriamento é automaticamente controlado: aspirado do lado de fora do pavilhão industrial, filtrado e levado à temperatura especificada pelo processo por meio dos trocadores de calor. Os filamentos são depois acelerados na área de estiramento e estirados até suas dimensões definitivas (diâmetro do filamento), na parte inferior da cabine de resfriamento. O ar de estiramento é guiado para os filamentos por ambos os lados e devido à geometria deste canal, é criada uma contrapressão na cabine de resfriamento.

Na extremidade da abertura de estiramento, os filamentos avançam até o pré-difusor, e daí até o difusor principal, onde serão conduzidos por um fluxo turbulento de ar e depositados em um arranjo aleatório sobre a esteira de malha de nylon. Para suportar esta deposição, o ar de processo é aspirado abaixo da esteira, gerando uma sucção que irá garantir a formação uniforme do não-tecido.

Após a deposição dos filamentos estirados sobre a malha de nylon, chamada de esteira, a manta é pré-solidificada pelos chamados rolos pressores e transportada para a calandra, para consolidação final. Durante a compressão são usadas calandras de dois ou três rolos com rolos de aço aquecidos por óleo térmico. Entre os rolos, o não-tecido aleatório é termoligado e prensado através da fusão dos filamentos nos pontos de estampar – isto é o que confere ao não-tecido suas propriedades definitivas.

No aplicador (ou umidificador) espalha-se, continuamente e uniformemente, compostos solúveis em água sobre a manta de não-tecido. O material termoligado é guiado através de rolos de guia até o cilindro de aplicação do umidificador, onde o não-tecido irá entrar em contato com um banho que contém o fluido a ser aplicado (surfactante diluído). Um rolo o espalhará sobre o não-tecido para dar-lhe propriedades de hidrofília, pois o polipropileno é naturalmente hidrofóbico. No secador, a manta de

nãotecido previamente umedecida pela solução é seca com o auxílio de um ventilador de circulação de ar, fazendo com que somente o surfactante fique adsorvido nos filamentos que constituem o nãotecido.

A manta de nãotecido que sai da calandra, após aplicação e secagem, é guiada para o bobinador e enrolada sobre eixos de enrolamento. Após atingir o comprimento de enrolamento desejado, é realizada a troca automática de bobinas, chamadas de Rolos Jumbo. No seguinte sistema de bobinagem com estação de corte, esta bobina é cortada em bobinas menores conforme as larguras e comprimentos requeridos pelo cliente (REICOFIL, 2008).

2.4. Sistema de ventilação de ar de processo

Os estudos foram realizados nos sistemas de ventilação de ar de processo das linhas produtivas de nãotecido, os quais são fornecidos por duas empresas terceirizadas: Caverion e Linde, subcontractadas pela própria fabricante Reicofil. Estes sistemas, embora fornecidos por empresas distintas, são praticamente iguais e não apresentam qualquer distorção nos resultados obtidos nas análises efetuadas. Na Figura 2 é apresentada uma visão geral da linha produtiva Reicofil RF4, para melhor entendimento do maquinário e do processo produtivo descrito anteriormente e demonstrado esquematicamente.



Figura 2 - Visão geral de uma linha produtiva de nãotecidos RF4 (REICOFIL, 2009).

Cada linha de produção possui seis ventiladores de ar de processo, três principais, contendo 9 filtros em cada estação de filtração a jusante do ventilador; e três secundários, contendo 4 filtros cada. O desenho esquemático do sistema de ventilação de ar de processo é demonstrado na Figura 3 e as estações de filtração são demonstradas na Figura 4.

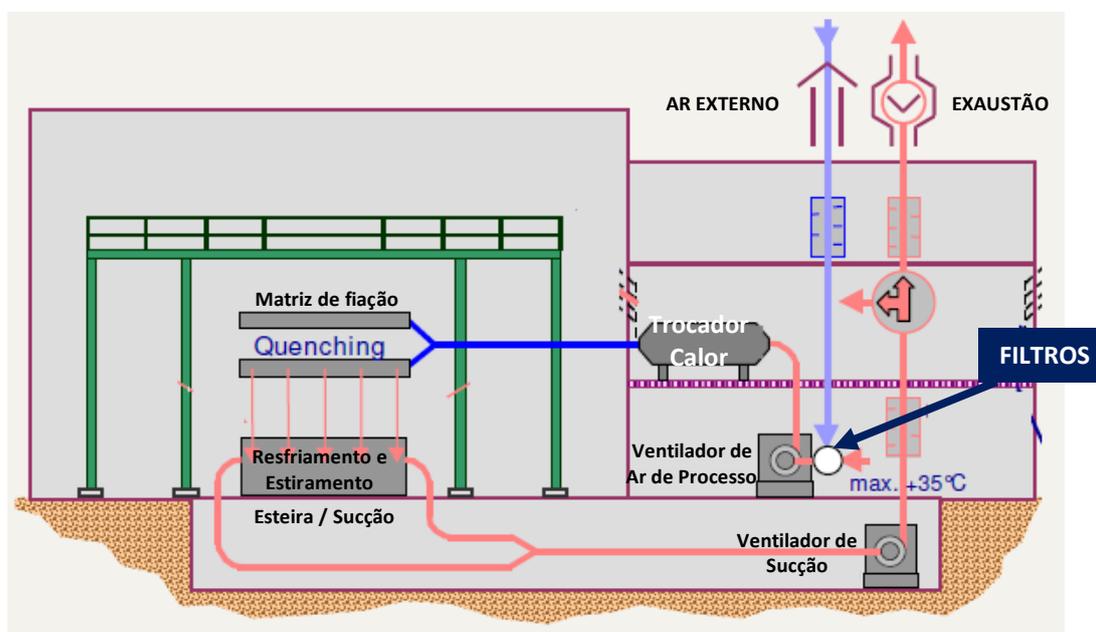


Figura 3 - Esquema dos sistemas de ventilação de ar de processo em uma linha RF4



Figura 4 - Sistemas de ventilação de ar de processo e estações de filtração.

2.5. Elementos filtrantes

A eficiência de um filtro de ar é relacionada pelo tamanho de partícula retido e pode ser classificada conforme demonstrado na Tabela 1, de acordo com a norma NBR 16401-3 (ABNT, 2008), referenciada pela norma EN779 (DIN, 2002). A classificação de filtros é diferente para particulados grossos e finos, pois a determinação da eficiência dos filtros grossos é obtida por ensaio gravimétrico com poeira padronizada e a eficiência de filtros finos é obtida em relação à retenção de partículas de 0,4 μ m produzidas por aerossol líquido (ASHRAE, 2007).

Tabela 1 - Classificação de eficiência de filtração e retenção de partículas

Tipo de Filtro	Classe de Filtração	Eficiência Gravimétrica Média Eg %	Eficiência Média para partículas de 0,4 μ m Ef %
Grossos	G1	50% a 65%	
	G2	65% a 80%	
	G3	80% a 90%	
	G4	acima de 90%	
Finos	F1 / F5*		40% a 60%
	F2 / F6*		60% a 80%
	F3 / F7*		80% a 90%
	F4 / F8*		90% a 95%
	F5 / F9*		acima de 95%

* classe de filtração de acordo com a norma DIN EN779

De acordo com o tamanho da partícula a ser filtrada e para a correta escolha de um filtro, pode-se utilizar como referência a Tabela 2, obtida a partir de ensaios granulométricos de acordo com a norma EN779 (DIN, 2002).

Tabela 2 - Eficiência para filtros de classe G1 a F9, de acordo com a norma DIN EN779 para filtros limpos

Tamanho Partícula (μ m)	Eficiência (%)								
	G1	G2	G3	G4	F5	F6	F7	F8	F9
0,1	-	-	-	-	0 - 10	5 - 15	25 - 35	35 - 45	45 - 60
0,3	-	-	-	0 - 5	5 - 15	10 - 25	45 - 60	65 - 75	75 - 85
0,5	-	-	0 - 5	5 - 15	15 - 30	20 - 40	60 - 75	80 - 90	90 - 95
1	-	0 - 5	5 - 15	15 - 35	30 - 50	50 - 65	85 - 95	95 - 98	> 98
3	0 - 5	5 - 15	15 - 35	30 - 55	70 - 90	85 - 95	> 98	> 99	> 99
5	5 - 15	15 - 35	35 - 70	60 - 90	90 - 99	95 - 99	> 98	> 99	> 99
10	40 - 50	50 - 70	70 - 85	85 - 98	> 98	> 99	> 99	> 99	> 99

Sabe-se que os tipos e tamanhos de particulados existentes na atmosfera são variados e sofrem influência da incidência de ventos, região, proximidade com grandes centros urbanos, etc. Entretanto, de acordo com NAFA (2008), é possível considerar que a distribuição de tamanhos de partículas existentes na atmosfera segue conforme demonstrado na Figura 5, a qual pode ser utilizada como referência para escolha de um filtro para ar atmosférico.

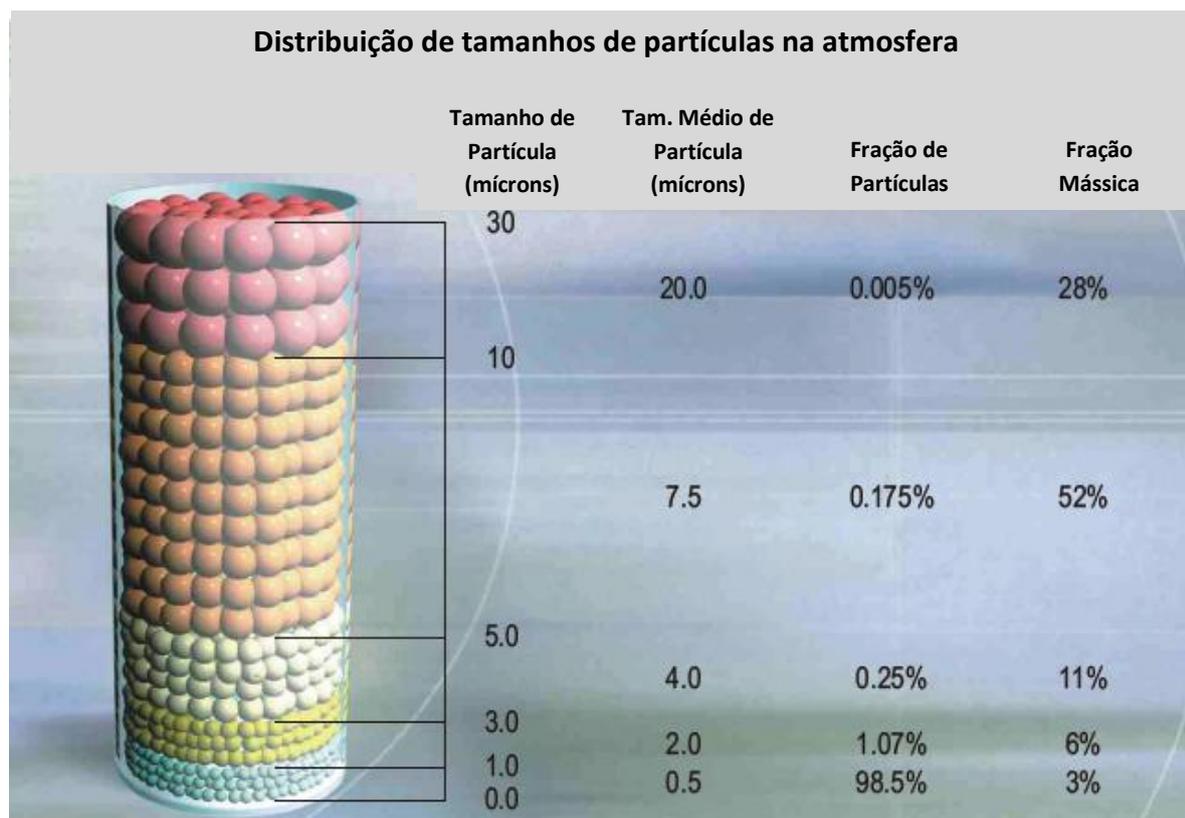


Figura 5 - Distribuição de tamanhos de partículas na atmosfera

Nas linhas Reicofil são utilizados dois modelos de filtro: tipo *plissado* e tipo *multi-bolsas*. De modo geral, os filtros multi-bolsas (Figura 6) possuem um custo mais atrativo para operação dos sistemas de filtração. Entre as vantagens deste tipo de filtro, podemos citar uma maior capacidade de acúmulo de pó, bem como, pelo fato das bolsas serem soldadas, evita-se curvaturas e/ou encolhimento quando os ventiladores são ligados e desligados, o que garante que o pó acumulado não seja perturbado pelas alterações de vazão. Estes filtros também são resistentes à umidade e agentes químicos.

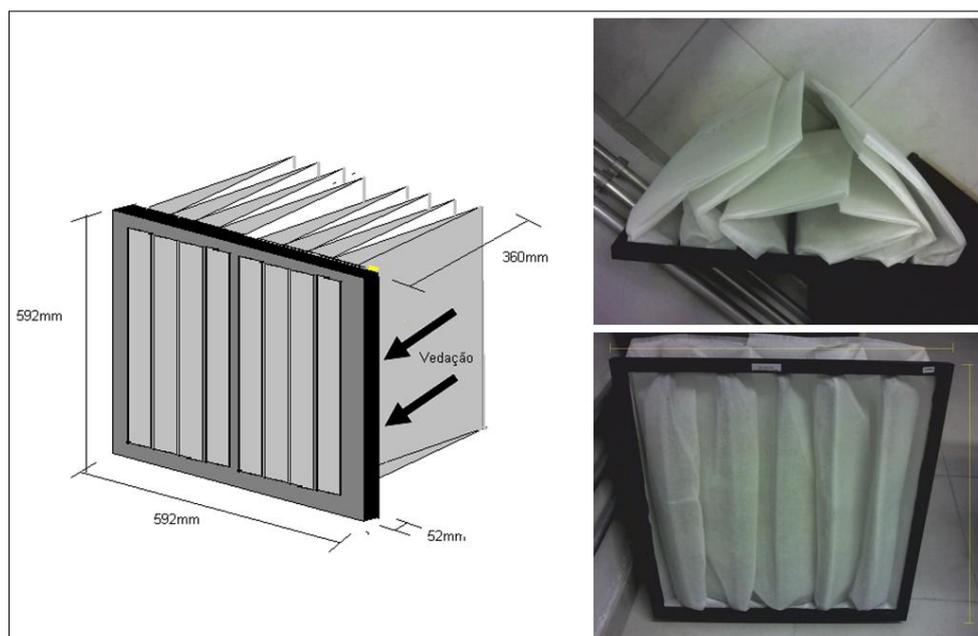


Figura 6 - Elementos filtrantes tipo multi-bolsas

Já os filtros plissados (Figura 7), quando comparados com os multi-bolsas, possuem maior eficiência quando submetidos a elevadas velocidades do ar e variação na umidade. Com maior tempo de vida apresentam uma menor queda de pressão e possuem alta resistência à ruptura das fibras, sendo considerado um filtro mais resistente quando comparado com o multi-bolsas.



Figura 7 - Elementos filtrantes tipo plissado

3. METODOLOGIA

Na empresa onde foram realizadas as análises, existem duas linhas de produção modelo Reicofil RF4, que serão identificadas ao longo deste estudo por RS6 e por RS7. Estas linhas possuem produtividades diferentes, o que gerou a necessidade de avaliação das possíveis diferenças entre os sistemas de ventilação, visto que as vazões de ar de processo requeridas são diferentes.

Devido às características dos filtros, realizou-se um estudo sobre a possibilidade de utilização de um mesmo modelo de filtro para as duas linhas, visto que os requisitos de eficiência de filtração são os mesmos para as duas linhas.

Foi observado que os filtros instalados na linha RS7 são do tipo plissado com classe de filtração F5, com uma eficiência maior do que na linha RS6, onde atualmente são utilizados filtros tipo multi-bolsas classe G4.

Para utilização unificada deste modelo de filtro multi-bolsas realizou-se análise da capacidade de retenção de pó, para determinação do modelo adequado de filtro: com seis ou oito bolsas. A escolha do filtro com capacidade adequada deve-se à quantidade de particulados presentes no ar, pois, devido à alta produtividade das linhas produtivas, é necessária uma alta vazão de ar de processo, capaz de garantir o resfriamento e estiramento adequado dos filamentos.

Na etapa de filtragem deste ar de processo é necessário atender a certos requisitos como a isenção de particulados e contaminantes que possam afetar o processo produtivo e, para isto, é fundamental a escolha correta do modelo de filtro e classe de filtração. Como consequência da existência destas contaminações no ar de processo (e caso não seja realizada uma filtração eficiente), pode-se citar a diminuição da eficiência de troca térmica do ar, tanto pela contaminação em si, como pelo acúmulo destes particulados nos trocadores de calor.

Também podemos citar o acúmulo destes particulados nas chapas difusoras, responsáveis pela distribuição uniforme do ar de processo que fará o resfriamento e estiragem do filamento ao longo da extensão da máquina, fazendo com que os caminhos preferenciais (que podem se formar por eventuais entupimentos) alterem a distribuição destes filamentos gerando áreas com menor cobertura de fibras e, conseqüentemente, alterando as propriedades finais do produto como as anteriormente citadas (permeabilidade, retenção de líquidos, etc.); ou também alterando o diâmetro dos filamentos formados, que irão alterar as propriedades de resistência do não-tecido.

Como consequência mais relevante da baixa eficiência à filtração, podemos citar a contaminação do produto final, caso estes contaminantes não sejam abatidos nas paredes das tubulações, trocadores de calor, chapas difusoras, tecidos metálicos, e outras partes do equipamento. Estas contaminações poderão aderir-se à superfície do filamento causando rompimento deste quando na etapa de estiragem e deposição aleatória, ou até, no caso mais extremo, permanecendo agregadas aos filamentos e ao não-tecido posteriormente formado.

Nas linhas, ao todo, existem 114 filtros instalados - o que dificulta a amostragem periódica de todos os filtros devido à necessidade de interrupção do processo fabril, durante as paradas de manutenção preventiva. Com isto, foi realizada uma escolha aleatória dos filtros que seriam analisados conforme demonstrado na figura 8, limitada a 15 filtros/mês em cada linha, de modo que todos os filtros fossem analisados durante o período no qual este estudo foi realizado. O teste realizado consistiu em retirar os filtros das posições determinadas e pesá-los para determinar a quantidade de pó acumulada, garantindo que todo o pó acumulado fosse mantido no interior de cada filtro. Esta quantidade de pó retida foi determinada por diferença em relação ao peso do filtro limpo, medido no momento de sua instalação/substituição (Figura 8).

LINHA	SEÇÃO	DUTO	POSIÇÃO DO FILTRO		
			SETEMBRO	OUTUBRO	NOVEMBRO
RS6	A	PRINCIPAL			
		SECUNDÁRIO			
	B	PRINCIPAL			
		SECUNDÁRIO			
	F	PRINCIPAL			
		SECUNDÁRIO			

Figura 8 - Plano de amostragem para análise da capacidade de retenção de pó

A substituição dos filtros é realizada de duas maneiras: troca por tempo de utilização, atualmente definida com intervalo de 4 meses; e por saturação, onde o sistema de instrumentação e controle da máquina informa que a queda de pressão existente ultrapassa a queda de pressão máxima admitida pelo filtro (*setpoint* de alarme). Após a saturação do filtro, a eficiência de filtração fica comprometida, pois começa a ser observado arraste das partículas já retidas pelas fibras do filtro, fazendo com que parte do material retido ultrapasse o filtro, podendo até danificá-lo estruturalmente (rasgos ou furos).

Além disto, é observado um aumento no torque requerido pelos ventiladores, pois com filtros saturados há uma maior perda de carga no sistema de ventilação, obrigando o sistema de controle do ventilador aumentar a rotação das pás para compensar a queda de pressão e manter a vazão nos valores ajustados.

A escolha correta do tipo de filtro e determinação do intervalo de tempo “ótimo” (tempo que represente a melhor relação entre o tempo máximo entre as trocas de filtros e a saturação do filtro) para substituição dos elementos filtrantes minimizam a possibilidade de ocorrência de eventos de saturação, pois é possível determinar o tempo que o filtro levará para atingir a saturação através do acompanhamento e análise da evolução da queda de pressão em função do tempo.

A queda de pressão ocasionada pelo filtro é determinada a partir da medida de pressão à jusante e à montante do filtro e, por meio de instrumentos de medida de pressão diferencial, pode-se conhecer o percentual de saturação do filtro. O valor máximo permitido para esta queda de pressão é informada pelo fabricante do filtro, e estabelecida em conformidade com as normas NBR 16401 (ABNT, 2008) e EN779 (DIN, 2002) para garantir a eficiência indicada pela classe de filtração, conforme citado anteriormente, ou seja, quando o sistema atinge valores acima do estabelecido não é possível garantir a eficiência à filtração e/ou integridade do filtro, pois este começa a deformar-se devido à resistência a passagem do ar.

Nas Figuras 9 e 10 pode-se observar as deformações decorrentes à saturação dos filtros. Consequentemente a passagem de ar dar-se-á pelas laterais do filtro, fazendo com que a queda de pressão seja nula (perde-se totalmente a função de filtração, pois todo o fluxo de ar será pela zona de menor resistência).



Figura 9 - Bloqueio da malha filtrante decorrente de saturação



Figura 10 - Deformação estrutural dos elementos filtrantes decorrente de saturação

Durante o período de estudo foram medidos, com freqüência semanal, a queda de pressão exercida pelos filtros utilizando-se um manômetro com escala de 0 a 200 Pa, marca Magnehelic, com precisão de 1 Pa, conforme demonstrado na Figura 11.

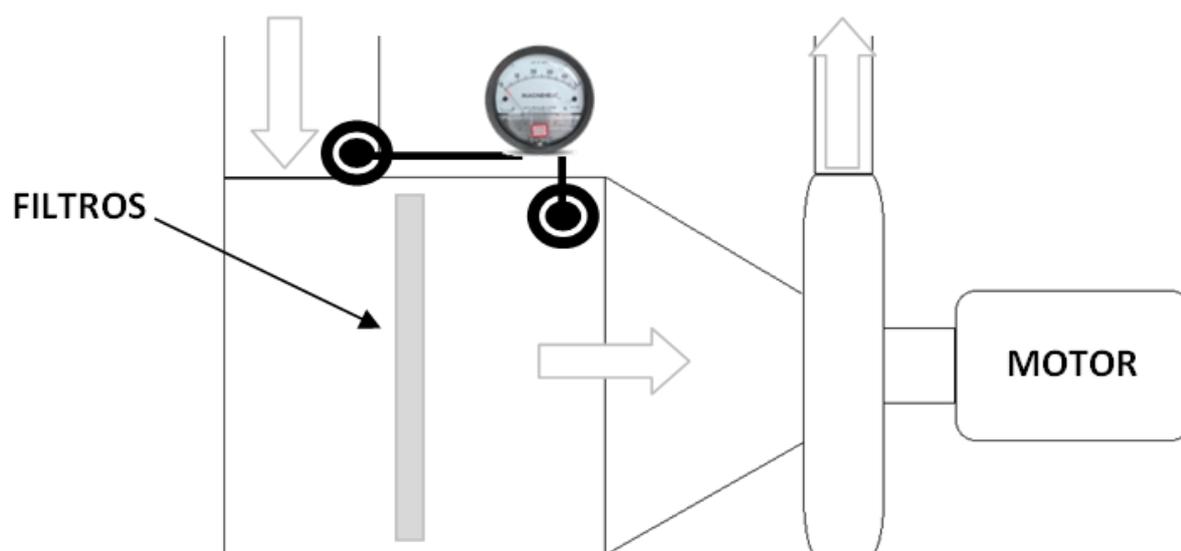


Figura 11 - Instrumento ligado aos orifícios (tomadas) para determinação da queda de pressão

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após avaliação dos sistemas de ventilação das linhas RS6 e RS7, constatou-se que apenas os diâmetros de tubulação e ventiladores empregados são diferentes, entretanto o sistema de filtração é muito semelhante para as duas linhas produtivas e podemos considerar que não é necessária uma avaliação individual, no que se refere a eficiência de filtração.

Como as vazões, para cada linha produtiva, são diferentes – a linha RS7 possui uma vazão material de polímero mais alta que a linha RS6, logo uma maior vazão de ar de processo compatível para resfriamento e estiramento das fibras – deve-se utilizar esta maior vazão para escolha do filtro, relacionando-a a velocidade de face do ar passante. A estrutura do filtro, sistema de fixação e tipo de fibra empregada deve possuir resistência suficiente para que não sejam alteradas as características do meio filtrante em função da alta vazão de ar.

A maior vazão possível, para ambas as linhas e sistemas (principal ou secundário), é de 18.000m³/h (ou 2.250m³/h por filtro), o que incorre em uma velocidade de face máxima de 1,58m/s, para as dimensões especificadas para filtros destes sistemas (592mmx592mm), conforme demonstrado na Equação 1. Este parâmetro foi utilizado para escolha do filtro, ou seja, todos os modelos avaliados devem suportar uma velocidade de face (ou vazão) desta ordem.

$$velocidade_{face} \left[\frac{m}{s} \right] = \frac{\frac{1h}{3600s} \times Vazão \left[\frac{m^3}{h} \right]}{N^{\circ}_{filtros} \times Área_{filtro} [m^2]} \quad (eq. 1)$$

Devido ao menor custo dos filtros tipo multi-bolsas, quando comparados com filtros plissados, foram analisadas possíveis restrições na utilização destes na RS7, comparando a eficiência de filtração, parâmetros dimensionais e outras características relevantes, com intuito de utilizar apenas um modelo de filtro nas duas linhas. Devido às características estruturais dos quadros de fixação dos elementos filtrantes, padronizados nas espessuras de 26mm, 52mm e 94mm, foi necessária a adaptação de uma moldura para compensar a distância entre o quadro de fixação e a trava metálica que prende o filtro, garantindo a vedação nas laterais e evitando vazamentos.

Esta moldura possui a espessura adequada para fixar filtros de 26mm em quadros de 52mm, e é obtida a partir da remoção da estrutura de filtros sujos, que são descartados devido à impossibilidade de limpeza. Anula-se assim qualquer custo com modificações estruturais ou peças extras, conforme demonstrado na Figura 12.

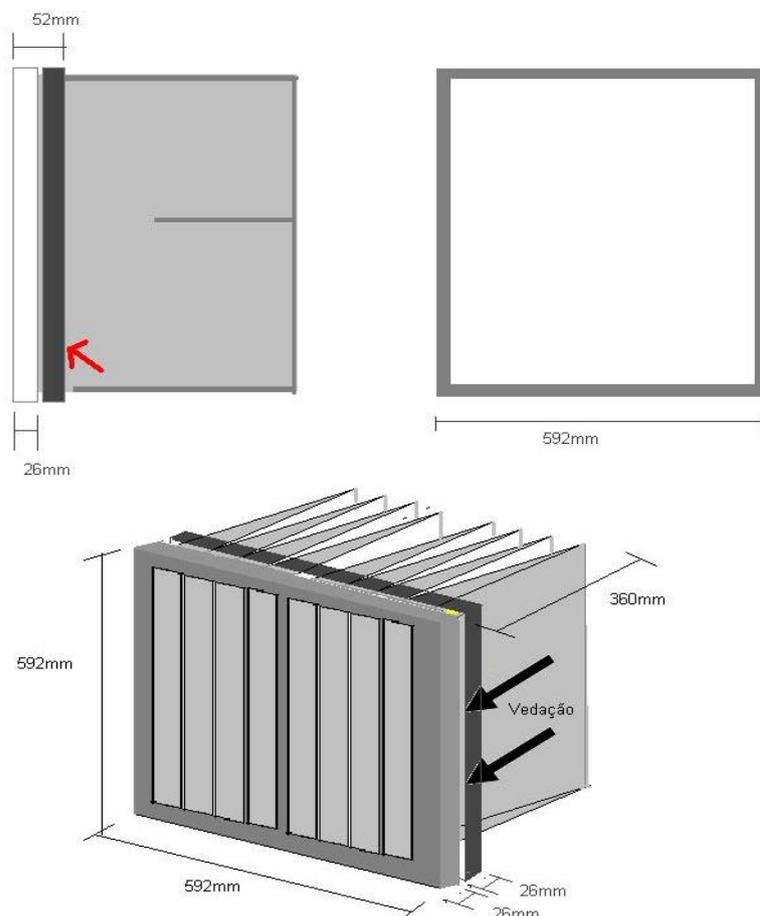


Figura 12 - Proposta de reutilização de molduras a partir de filtros descartados para RS7

Devido ao alto custo dos filtros importados, comprados diretamente do fabricante das linhas produtivas (Reicofil), também foram realizados contatos com fornecedores nacionais para busca de contra-tipos dos elementos filtrantes, visando redução do custo do filtro, custos de importação e quantidade de estoque - minimizando os prazos de entrega, possibilidade de retenção aduaneira, etc.

Também foram realizados comparativos entre a utilização de filtros tipo multi-bolsas com 6 e 8 bolsas: este último representando um ganho de 33% em área efetiva de filtração, em relação ao filtro com 6 bolsas. Esta maior área de filtração faz com que o filtro tenha uma capacidade de retenção total de pó maior (em kg), aumentando assim o tempo necessário entre as manutenções (substituições).

Na Tabela 3 é demonstrado o comparativo entre filtros com 6 e 8 bolsas (os nomes dos fornecedores foram suprimidos por motivo de confidencialidade).

Tabela 3 - Comparativo de custos entre filtro 6 bolsas e 8 bolsas.

Fornecedor	6 bolsas	8 bolsas	Diferença
A	R\$ 96,00	R\$ 110,00	+ 15%
B	R\$ 139,00	R\$ 173,00	+ 24%
C	R\$ 148,00	R\$ 165,00	+ 11%

Como a diferença de custo entre os modelos de 6 bolsas e 8 bolsas é inferior ao ganho obtido em relação à área de filtração, o filtro escolhido foi o de 8 bolsas.

Analisando o custo por área de filtração é possível observar que filtros multi-bolsas com 8 bolsas possuem maiores ganhos em relação aos outros modelos avaliados. Espera-se que, em virtude de uma área de filtração 33% maior (com maior capacidade de acúmulo de pó), ocorra um aumento no intervalo de tempo entre manutenções/substituições, reduzindo a quantidade total utilizada: prevista em 342 unidades/ano.

Nas Tabelas 4 e 5 são demonstrados comparativos de custo entre os fabricantes consultados e o custo das peças importadas diretamente do fabricante da máquina, para modelos com 6 bolsas e 8 bolsas, respectivamente; de modo a demonstrar o potencial de redução de custo e os ganhos obtidos com a proposta de nacionalização e unificação dos modelos.

Tabela 4 - Comparativo do potencial de redução de custo do filtro multi-bolsas de 6 bolsas, em relação aos filtros fornecidos pelo fabricante (Reicofil)

<i>Fornecedor</i>	NACIONAL			IMPORTADO	
	A	B	C	REICOFIL	REICOFIL
<i>Área Efetiva de Filtração (m²)</i>	2,56	2,56	2,56	2,56	10,02
<i>Custo Unitário</i>	R\$ 96,00	R\$ 139,00	R\$ 148,00	R\$ 142,03	R\$ 492,21
<i>Custo por área efetiva (R\$ / m²_{efetivo})</i>	R\$ 37,54	R\$ 54,35	R\$ 57,87	R\$ 55,53	R\$ 49,12
<i>Potencial de redução de custo na linha RS6</i>	-32%	-2%	4%		
<i>Potencial de redução de custo na linha RS7</i>	-24%	11%	18%		

Tabela 5 - Comparativo do potencial de redução de custo do filtro multi-bolsas de 8 bolsas, em relação aos filtros fornecidos pelo fabricante (Reicofil)

Fornecedor	NACIONAL			IMPORTADO	
	A	B	C	REICOFIL	REICOFIL
Área Efetiva de Filtração (m ²)		3,41		2,56	10,02
Custo Unitário	R\$ 110,00	R\$ 173,00	R\$ 165,00	R\$ 142,03	R\$ 492,21
Custo por área efetiva (R\$ / m ² _{efetivo})	R\$ 32,26	R\$ 50,73	R\$ 48,39	R\$ 55,53	R\$ 49,12
Potencial de redução de custo na linha RS6	-42%	-9%	-13%		
Potencial de redução de custo na linha RS7	-34%	3%	-1%		

Com a substituição do modelo de filtro, de 6 para 8 bolsas, tem-se uma ampliação da capacidade de retenção de pó na mesma proporção. Esta proposição gera uma possibilidade de ganhos com a ampliação da capacidade de retenção de pó estipulada em 1,5kg para 2,0kg (33%), e conseqüentemente mais um aumento no intervalo de substituição dos filtros, de 200 dias para 270 dias. Isto garante mais uma economia de 7,5%, fazendo com que a redução total anual seja de 85%.

Analisando o custo efetivo de filtração - relação obtida entre o custo unitário do filtro e a área efetiva de filtração - podemos definir que a melhor escolha é o filtro multi-bolsas com 8 bolsas do fornecedor A, o qual representa uma redução de custo de 42% para RS6 e 34% para RS7, em relação aos filtros importados.

Considerando o intervalo de substituição definido em 4 meses, há uma necessidade de aquisição de 342 filtros/ano (57 filtros por troca em cada linha) que, baseando-se pelos custos dos filtros importados, equivale a R\$ 109 mil/ano, enquanto que utilizando modelos nacionais, tem-se uma despesa de apenas R\$ 37 mil/ano.

A partir das análises da capacidade de retenção de pó, definiu-se que os filtros instalados podem reter até 1,5kg de particulados/filtro, de acordo com os valores especificados pelo fabricante.

A partir dos resultados obtidos, é possível obter uma redução anual de 77,5% nos custos totais despendidos com aquisição de elementos filtrantes de ar de processo. Esta redução deve-se a duas propostas: aquisição de filtros contra-tipos nacionais, reduzindo os custos em 66% e aumento do intervalo de substituição de 120 dias para 200 dias, o que representa uma economia adicional de 11,5%.

No momento da realização das análises foram observadas algumas regiões nas quais havia menor quantidade de particulados retidos, conforme demonstrado na

Figura 13, evidenciando a possibilidade de formação de caminhos preferenciais do ar, em função da posição de instalação do filtro no duto de ventilação em relação às posições de admissão e descarga do ar.



Figura 13 - Elementos filtrantes com retenção não-uniforme

Na última análise, realizada após 96 dias na qual os filtros estavam instalados, comparou-se a massa total retida nos filtros instalados em diversas posições, obtendo-se uma média de 3,23kg com desvio-padrão de apenas 0,10kg – isto indica que a posição de instalação do filtro não altera a capacidade de retenção total, pois a variação filtro-a-filtro não se demonstrou significativa.

O fluxo de ar no interior da cabine de filtragem apresenta um perfil dinâmico, pois, mesmo existindo caminhos preferenciais devido às posições de admissão e descarga, este perfil irá alterar-se de acordo com a saturação dos filtros, ou seja, se o filtro instalado em posição superior (mais próximo da admissão) possuir uma vazão maior que um filtro inferior, este irá saturar-se mais rapidamente, gerando uma resistência à passagem do ar maior e, conseqüentemente, alterando o perfil de fluxo do ar para os filtros que ofereçam menor resistência.

Admitindo-se o valor de 1,5kg para retenção máxima podemos estimar o tempo máximo de utilização dos filtros: a partir do acompanhamento da quantidade média de particulado retido em função do tempo de operação do filtro e extrapolação desta curva, conforme demonstrado na Figura 14. Observa-se que é possível utilizá-lo

por até 200 dias sem perda de eficiência, ampliando assim o tempo de utilização atualmente definido em 120 dias.

Como consequência tem-se um impacto nos custos anuais com aquisição destes filtros, pois se reduz a quantidade de 342 filtros/ano para apenas 228 filtros/ano, resultando em uma economia de aproximadamente R\$ 12,5 mil (11,5%), além das obtidas pela unificação e nacionalização citadas anteriormente.

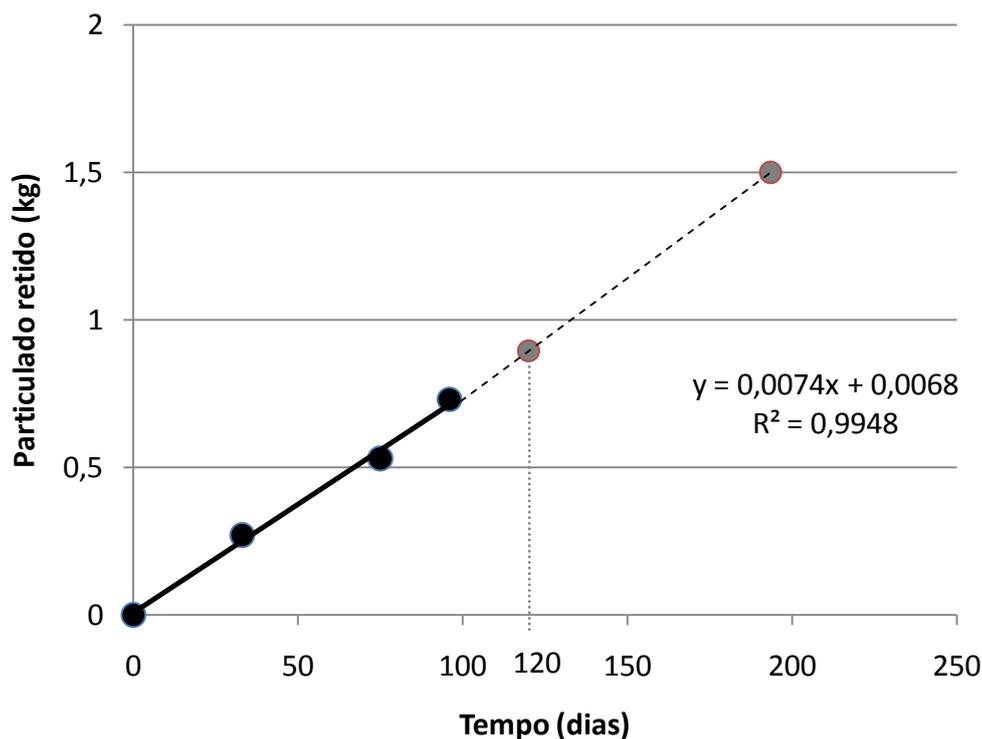


Figura 14 - Capacidade de retenção de particulados em função do tempo de operação

Em função da retenção de particulados, cria-se uma resistência à passagem do ar e esta resistência, como citado anteriormente, irá aumentar proporcionalmente à saturação do filtro. Durante o período deste estudo, acompanhou-se o aumento desta resistência nos sistemas de filtração das duas linhas produtivas.

Os dutos foram identificados por siglas que identificam a linha, se RS6 ou RS7, o conjunto de ventilação (A, B, C ou F) e o duto de ventilação (1=primário, 2=secundário) - por exemplo, RS6-B1: linha RS6, conjunto da cabeça B, duto primário. A primeira medida, realizada após 35 dias na qual o filtro foi instalado, deve-se ao período de estudo contemplado por este trabalho, iniciado posteriormente às datas de substituição; portanto não foram determinados os valores iniciais com o filtro limpo.

A especificação do filtro utilizado determina que a queda de pressão máxima possível para estes filtros é de 225 Pa. Após ultrapassar este valor, os filtros devem ser substituídos independentemente da previsão de manutenção (intervalo de 4 meses) e toma-se este valor como limitante para as observações.

Observando a evolução da queda de pressão, demonstrada na Figura 15 para todos os sistemas analisados, é possível observar que a resistência à passagem do ar aumenta lentamente durante o intervalo de utilização do filtro, mantendo-se em níveis muito aquém do limite de saturação de 225 Pa.

A partir destes resultados tornam-se inerentes certos questionamentos a respeito da precisão dos instrumentos utilizados para medição da queda de pressão, possibilidade de vazamentos nos sensores ou dutos (escape de ar), vazamentos nos filtros (tanto na fixação das peças, como pela estrutura da malha filtrante), etc.

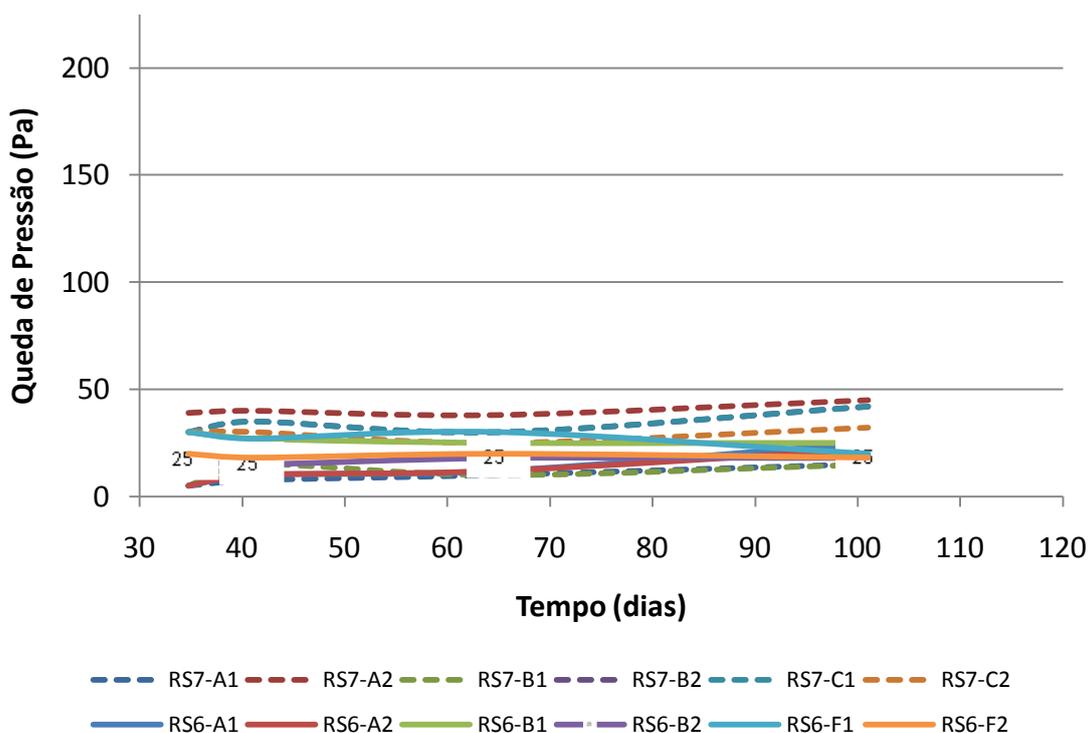


Figura 15 - Evolução da queda de pressão decorrente da saturação dos filtros

Para uma análise mais detalhada, a malha filtrante saturada (Figura 16) foi retirada do filtro no momento de sua substituição e levada ao microscópio para análise. Pode-se observar nas Figuras 17 e 18 que a maioria das partículas retidas possui tamanhos próximos às fibras do filtro.



Figura 16 - Malha filtrante saturada após 4 meses de instalação.



Figura 17 - Fibras da malha filtrante, partículas com tamanhos inferiores a 0,3mm

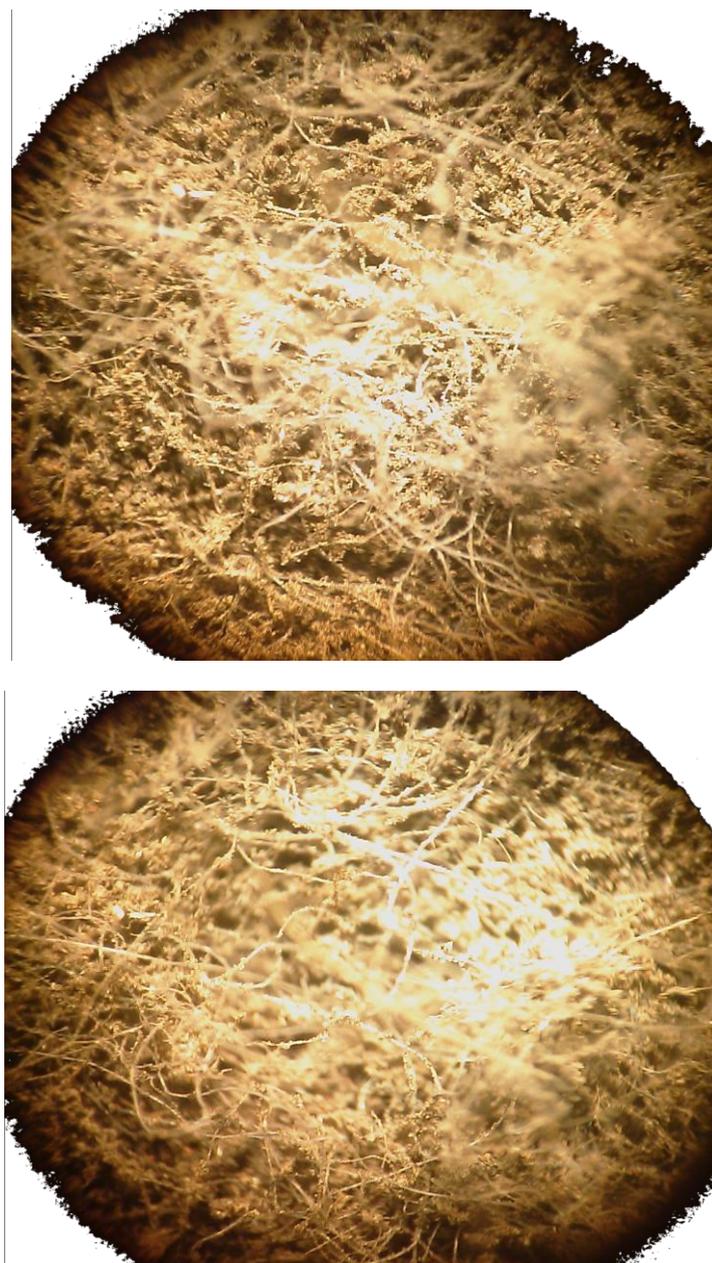


Figura 18 - Tamanho de partícula semelhante ao diâmetro de fibra da malha filtrante

Com base nas figuras apresentadas, as partículas retidas nos filtros possuem tamanhos próximos às fibras do filtro. Este fato pode ser um indicador que o filtro utilizado não está sendo eficiente, pois não está retendo partículas menores que a fibra do filtro. Isso se deve à possível escolha equivocada da classe de filtração do filtro.

5. CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos, os filtros multi-bolsas com 8 bolsas apresentam maiores ganhos em relação aos outros modelos avaliados. Este filtro apresenta uma área de filtração 33% maior quando comparado ao filtro multi-bolsas com 6 bolsas, o que representa uma maior capacidade de acúmulo de pó (de 1,5kg para 2,0kg). Com a ampliação da capacidade de retenção de pó, o intervalo de substituição dos filtros passa de 200 dias para 270 dias. Com base nesses dados, a troca do modelo de filtro para multi-bolsas com 8 bolsas representa uma economia anual de 85%.

Embora haja este grande potencial de redução de custos, devemos observar com cautela os resultados da queda de pressão, antes de considerar as avaliações anteriores como resultados efetivos para implantação das propostas. A queda de pressão não demonstrou o perfil esperado: após o intervalo de tempo no qual o filtro permaneceu instalado esperava-se ter valores para a queda de pressão em ascensão linear ou exponencial, e não estagnados abaixo de 50 Pa como demonstrado anteriormente.

Baseado nas análises realizadas, surge uma nova hipótese: os filtros instalados possuem a classe de filtração incorreta ao que se destinam e, portanto, retêm somente as maiores partículas, fazendo com que não haja saturação e, conseqüentemente, a elevação da queda de pressão. Foram realizadas análises granulométricas preliminares, utilizando um microscópio óptico, para caracterização dos particulados retidos na malha filtrante.

De acordo com as Figuras 17 e 18, as partículas retidas nos filtros possuem tamanhos próximos às fibras do filtro, indicando a possibilidade supracitada: que a classe de filtração esteja incorretamente definida. Conforme discutido anteriormente, o tipo de particulado existente na atmosfera (ar captado nas coifas de admissão) depende de diversos fatores naturais e geográficos, fazendo com que haja a necessidade desta análise prévia para definição do tipo de filtro a ser empregado, além do fato do fabricante das linhas produtivas não realizar este tipo de análise no local onde a linha será instalada, para fornecimento dos filtros corretos.

As perspectivas futuras deste estudo são: a realização de ensaios granulométricos dos particulados retidos na malha filtrante, de modo a caracterizar fielmente os contaminantes presentes no ar admitido, e modificação da classe de filtração do filtro de acordo com estes resultados.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABINT, Associação Brasileira das Indústrias de Não tecidos e Tecidos Técnicos. *Coletânea de Normas de Não tecidos*. São Paulo, 2010. 210p.

ABINT, Associação Brasileira das Indústrias de Não tecidos e Tecidos Técnicos. *Manual de Não tecidos - Classificação, Identificação e Aplicações*. São Paulo, 1999.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 13370 – Não tecido – Terminologia*. Brasil, 2002. 6p.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 16401-3 - Instalações de ar-condicionado: Sistemas centrais e unitários. Parte 3: Qualidade do ar interior*. Brasil, 2008. 24p.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 12546 - Materiais têxteis - Ligamentos fundamentais de tecidos planos – Terminologia*. Brasil, 1991. 5p.

ALFIERI, P. *Fibras Têxteis*. 1ªed. São Bernardo do Campo. Ed. FEI, 1998. 163p.

ASHRAE, American Society Of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. *Standard 52.2 - Method of Testing General Ventilation Air-Cleaning Devices for Removal Efficiency by Particle Size*. Estados Unidos, 2007. 16p.

DIN, Deutsches Institut für Normung. *Europäische Norm 779 - Particulate air filters for general ventilation - Determination of the filtration performance*. Alemanha, 2002.

ELKINGD, R. *Plásticos (Produção, Características e Utilização)*. Rio de Janeiro, 1992. 244p.

FITESAFIBERWEB. (s.d.). *Aplicações de produto não tecido*. Disponível em <http://www.fitesa.com.br>, 2010.

NAFA, National Air Filtration Association. *Guide to Air Filtration*. 4ed. Estados Unidos, 1999. 5p.

REWALD, F. G. *Tecnologia NT*. São Paulo, 1988. 63p.

REICOFIL, The Reifenhäuser GmbH & Co. KG. (s.d.). *Nonwovens*. Disponível em <http://www.reicofil.com>, 2010.

REICOFIL, The Reifenhäuser GmbH & Co. KG. *Manual de Operação da Linha de Não tecido SSMMXS 3200 - RF 4*. Alemanha, 2005. 506p.

REICOFIL, The Reifenhäuser GmbH & Co. KG. *Manual de Operação da Linha de Não tecido SSMMXS 4200 - RF 4*. Alemanha, 2008. 524p.

REICOFIL, The Reifenhäuser GmbH & Co. KG. *Reicofil Process Training - spundbond*. Alemanha, 2009. 723p.