Otimização do projeto de filtro de manga para aplicação em uma indústria de celulose

Amanda Dal Magro de Lemos Paim e Luciano Peske Ceron

A celulose é um importante insumo para a fabricação de papéis, plásticos e filmes. A indústria de papel e celulose manipula esse insumo para produção de embalagens, cartolinas, produtos com fins sanitários e papéis para impressão (ARAÚJO et al., 2018). Esse setor contribui para o crescimento econômico do Brasil mesmo num período de instabilidade política e recessão do PIB (IBÁ, 2017). Em 2016, o Brasil aumentou a produção de celulose em 8,1% em comparação com o ano anterior, o que colocou o país em destaque como segundo maior produtor de celulose do mundo. O principal destino da celulose produzida no Brasil é o mercado internacional, tendo movimentado 12,9 milhões de toneladas de celulose em 2016 (IBÁ, 2017). O principal fator que destaca o Brasil no mercado externo é o baixo preço da celulose em comparação com outros países. Em 2015, o preço da celulose brasileira foi classificado como 20% abaixo da média mundial (ARAÚJO et al., 2018). No segmento de papel, o Brasil se destaca no mercado interno com produção de 10,3 milhões de toneladas em 2016. A cadeia produtiva do setor inclui florestamento e abatimento da madeira, produção de papel e celulose, produção e consumo de energia, comércio, reciclagem do papel, e transporte (OSÓRIO, 2007).

A interpretação da projeção de mercado é que a indústria de papel e celulose está avançando e não há perspectivas de redução de consumo tanto no mercado interno quanto externo. Portanto, é preciso ficar atento aos impactos ambientais que o processo de produção de papel e celulose podem fomentar. Essas indústrias buscam cada vez mais tecnologias para controle das emissões de poluentes e uma forma de garantir a quantidade exigida pela legislação é através do uso de filtros de mangas nos pontos de emissão de particulados. As emissões atmosféricas mais significativas na produção industrial de papel e celulose estão associadas ao método de produção Kraft. Os principais poluentes gerados neste processo e passíveis de controle são os particulados finos, compostos de enxofre reduzido total (TRS), óxidos de nitrogênio e de enxofre (SOx, NOx), compostos orgânicos voláteis (VOC), e quando utilizados no branqueamento, cloro e dióxido de cloro (MIELI, 2007).

O controle e redução da emissão atmosférica de particulados é essencial para uma indústria de papel e celulose visto que há alta geração de pó no processo produtivo. O objetivo deste trabalho é otimizar as condições de projeto de um filtro de mangas. Tal equipamento opera com o intuito de capturar particulados finos gerados no forno de cal de uma indústria de celulose. Os elementos filtrantes foram objeto de estudo para a obtenção de um modelo de filtração adequado. O estudo propõe caracterizar o material particulado, bem como realizar testes físico-mecânicos

e de permeabilidade no não tecido das mangas filtrantes através de análises laboratoriais. As análises e as opções de elemento filtrante avaliadas, PTFE e microfibras, são determinantes para o cálculo do projeto do novo filtro.

2 Fundamentação teórica

2.1 Produção de papel e celulose através do processo Kraft

O complexo processo de produção de celulose mais usado no Brasil e no mundo é através do tratamento químico em vasos de pressão com soda cáustica (NaOH) e sulfeto de sódio (Na2S), mais comumente chamado de processo Kraft (PIOTTO, 2003). Esse processo decompõe o material celular da madeira em suas três composições principais: celulose, hemicelulose e a lignina, conforme a Tabela 1 (DE CASTRO, 2009).

Componente	Faixa de Variação (%)
Celulose	40-50
Hemicelulose	25-35
Lignina	15-25

Fonte: DE CASTRO (2009)

Tabela 1 - Composição típica de lignocelulósicos

O processo industrial para produção de celulose a partir da madeira tem como função retirar a lignina da pasta celulósica. A lignina é considerada um dos compostos mais resistentes da natureza, e confere a dureza da madeira em sua parede celular. A hemicelulose possui características biomoleculares que facilitam o processamento e refino da pasta celulósica pois atua na melhor ligação das fibras, aumenta a área específica e reduz o tempo e energia necessários para sua produção, portanto não é interessante retirar a hemicelulose da pasta (DE CASTRO, 2009).

Toras de madeira são descascadas, lavadas e transformadas em cavacos por meio de picadores no início do processo. A finalidade de reduzir a tora de madeira em cavacos é facilitar a impregnação do licor de cozimento, o qual é composto por uma solução aquosa de hidróxido de sódio e sulfeto de sódio em proporção 5:1, chamado de licor branco. Os cavacos de madeira são cozidos no digestor, e a partir do cozimento ocorre a deslignificação da pasta celulósica. A mistura obtida é uma massa escura envolvida num líquido escuro chamado de licor negro. A pasta sólida é separada do líquido e segue para a lavagem. Após a lavagem, a mistura escurecida com fibras de celulose segue para o branqueamento, onde será removido o residual de lignina que possa estar ali contido. O resultado é uma pasta branca de alta alvura. O licor negro é encaminhado para o setor de recuperação com a finalidade de produzir energia e recuperar os reagentes: hidróxido de sódio (NaOH) e sulfeto de sódio (Na_2S) (PIOTTO, 2003).

O licor negro fraco, recuperado da lavagem da polpa marrom, contém de 14% a 17% de sólidos secos dissolvidos e para ser queimado na caldeira de recuperação é preciso concentrá-lo até no mínimo 65%. São utilizados evaporadores de múltiplo efeito para separar o vapor condensado do gás não condensável. O vapor condensado possui alto teor de enxofre em sua composição, portanto é tratado e volta para o processo após regeneração dos reagentes. Os gases não condensáveis (GNC) são queimados (MIELLI, 2007).

A mistura de sais minerais fundidos que saem da caldeira de recuperação é chamada de smelt. O smelt é misturado com água em um tanque de dissolução e assim é formado o licor verde, composto por sulfeto de sódio (Na_2S) e carbonato de sódio (Na_2CO_3). O branqueamento do licor verde com óxido de cálcio (CaO) forma o licor branco, indicado anteriormente como solução de cozimento dos cavacos de madeira (MARTINS, 2006). A caustificação inicia com a hidratação da cal (CaO) formando o hidróxido de cálcio, $Ca(OH)_2$. A reação é exotérmica e devido à expansão das partículas libera sólidos inertes chamados de grits

(MARTINS, 2006). O hidróxido de cálcio reage com o carbonato de sódio presente no licor verde e produz o hidróxido de sódio (NaOH) e a lama de cal, composta por carbonato de cálcio ($CaCO_3$) (MIELI, 2007). A lama de cal é queimada no forno de cal onde CaO é recuperado e CO_2 é liberado (MARTINS, 2006).

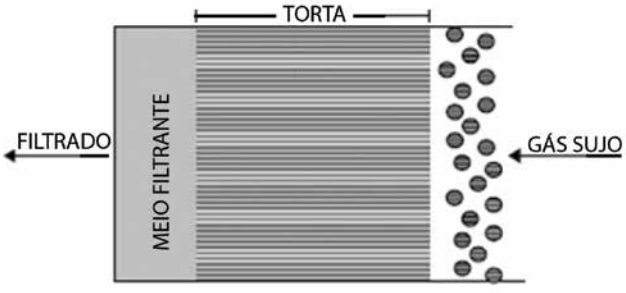
O processo via Kraft possui vantagens frente a outros processos de produção de polpa de celulose por apresentar maior rendimento, recuperação viável dos reagentes e menor ciclo de cozimento nos vasos digestores (DE CASTRO, 2009). Além disso, também é caracterizado pela alta demanda energética, elevado capital investido e uma série de riscos ambientais, o que confere a necessidade de estudos e aprimoramento constante da redução dos impactos ambientais (Araújo et al., 2018). Os riscos ambientais são atribuídos às emissões de material particulado, e gases com forte odor. Esses gases são resultado da recuperação dos reagentes que contém íons de sulfeto e produzem compostos como o sulfeto de hidrogênio (H_2S), o metilmercaptana (CH_3SH), o dimetilsulfeto (CH_3SCH_3) e o dimetildisulfeto ($CH_3S_2CH_3$). Por menor que seja a quantidade produzida, esses compostos são coletados e queimados no forno de cal (PIOTTO, 2003).

Os pontos de geração de sólidos particulados incluem a caldeira de biomassa, caldeira de recuperação, tanque de dissolução e forno de cal. As finas partículas de 1 µm a 30 µm de diâmetro são consideradas poluentes por prejudicar a saúde humana quando inaladas (MIELI, 2007). Segundo a legislação CONAMA 436/2011 – Anexo VII, o referencial de emissões de particulados sólidos para processos de fabricação de celulose, provenientes de fornos de cal é de 180 mg/Nm³, originados da caldeira de recuperação é 150-240 mg/Nm³, dependendo de sua capacidade nominal, e para o tanque de dissolução é 0,5 kg/tSS, tonelada de sólidos secos. Portanto, é necessário controlar a emissão e promover a remoção desses particulados finos, contido nos gases do processo, em filtros de mangas por serem os mais indicados para esta finalidade (ROCHA; CERON, 2018).

Em fábricas que possuem máquinas de papel acopladas na produção de celulose, esse insumo é seco em até 14% e segue para a produção de papel. Caso a celulose seja encaminhada para fábricas de papel, 95% da água contida na polpa é removida para facilitar o transporte (MIELI, 2007). A fabricação do papel contém quatro etapas: desagregação da celulose em tanque desagregador, refinação ou fibrilação da celulose, para aumentar sua área de contato, preparação da receita com aditivos químicos e depuração, onde são removidas sujidades da massa de fibras. Após a etapa de preparação da massa, esse material é estendido numa mesa plana, na máquina de papel propriamente dito, cuja função é uniformizar as fibras através de prensas, secadores, calandra e enroladeiras (PIOTTO, 2003).

2.2 Filtração de particulados sólidos

A filtração de particulados é uma operação que retêm sólidos contidos numa corrente gasosa através de um meio filtrante (CERON, 2016). O meio filtrante pode ser um tecido natural ou sintético (não tecido), dependendo da aplicação (DIAS, 2008). As partículas acumuladas na superfície da manga formam a torta de filtração, que com o passar do tempo aumenta



Fonte: CERON (2016)

Figura 1 - Ilustração da filtração de particulados sólidos

sua espessura e atua como meio filtrante adicional, conforme Figura 1 (CERON, 2016).

2.3 Filtro de mangas

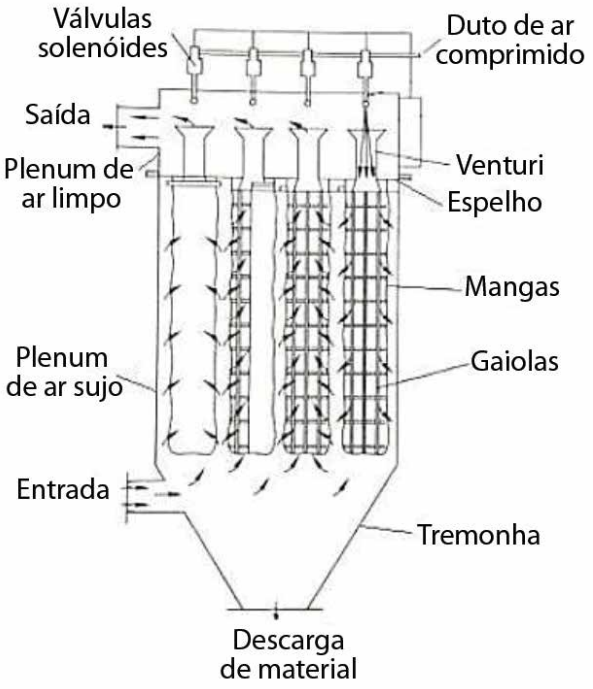
Na produção de celulose, o filtro de mangas é utilizado para filtragem de licor branco na etapa de caustificação, onde ocorre a calcinação, e no forno de cal. Além do controle de emissões, empresas têm investido em alta tecnologia para reduzir o desperdício de matérias-primas dispersas no ar, como é o caso da indústria de papel e celulose que possui manipulação de particulados finos em diversas etapas do processo (OLIVEIRA, 2015). Os filtros de mangas possuem faixa de retenção de até 99% de partículas em um amplo espectro de granulometria (ROCHA; CERON, 2018). Neste contexto, os filtros de mangas são essenciais para o controle de emissões de poluentes, recuperação de resíduos e matérias-primas.

O princípio de funcionamento deste equipamento é captar as partículas de pó do gás de processo por uma série de filtros, em formato cilíndrico, onde o contato do gás com o meio filtrante deposita as sujidades na superfície do material e o ar limpo sai pela extremidade superior do filtro.

A Figura 2 ilustra todos os componentes de um filtro de mangas em detalhes. A gaiola é o suporte do material filtrante, no caso as mangas. A tremonha é um espaço onde as sujidades, que foram retiradas do gás de processo, ficam depositadas até a finalização do ciclo de filtração. A descarga das sujidades pode ser manual ou automatizada. O espelho é a chapa metálica onde as gaiolas são fixadas e serve como separador do fluxo de gás de processo limpo e sujo.

2.3.1 Projeto de um filtro de mangas

Segundo Bernabé (2016), a fim de dimensionar um filtro de mangas é preciso determinar parâmetros como Relação Ar-Pano (velocidade de filtração), velocidade ascendente, design, material filtrante, e o tipo de limpeza do equipamento.



Fonte: BERNABÉ (2016)

Figura 2 - Filtro de mangas

A Relação Ar-Pano (RAP), é a velocidade cujo gás de processo permeia o meio filtrante. A RAP está diretamente relacionada com a granulometria das partículas do gás sujo, concentração de entrada do pó, método de limpeza das mangas, temperatura do gás, material do meio filtrante e tempo de filtração. Este parâmetro é considerado fundamental para a elaboração de um projeto de filtro de mangas pois é possível determinar a dimensão do filtro e, consequentemente, seu custo inicial (ROCHA, 2010). A faixa de velocidade de filtração indicada para celulose alcalina, pelo boletim técnico da Renner Têxtil (s/d), está entre os valores 3,0 m/min e 3,5 m/min. Quanto menor for a granulometria do particulado, menor deve ser a RAP. A Equação 1 determina a velocidade de filtração, onde Q é a vazão de operação, N é o número total de mangas e A é a área filtrante de uma manga (ROCHA; CERON, 2018).

$$RAP = \frac{Q}{N.A} \quad (1)$$

Trabalhar com alta velocidade de filtração induz à maior penetração das partículas do gás no meio filtrante, o que dificulta a remoção da torta e aumenta a perda de carga no filtro. Dessa forma, a vida útil do equipamento fica reduzida. Por outro lado, baixa RAP demanda maior energia pelo maior tempo de operação do filtro (ROCHA, 2010).

O diâmetro das partículas influencia não só na velocidade de filtração como também na queda de pressão (ΔP) dentro do equipamento. Esse parâmetro deve ser controlado e aumenta conforme o crescente acúmulo de particulados no meio filtrante durante um ciclo de filtração (ROCHA, 2010). A faixa operacional varia entre 460 Pa e 1961 Pa. Permitir a operação fora desses valores requer equipamentos mais potentes e caros, o que não é uma vantagem no âmbito econômico (BARBOSA, 2014).

O sistema de limpeza das mangas costuma ser automatizado, com jatos de ar comprimido em contracorrente, o que garante a remoção dos particulados e a eficiência da filtração (ROCHA; CERON, 2018). A vida útil do filtro é definida pela frequência e método de limpeza: dois anos para limpeza de jato pulsante, quatro anos para agitação mecânica e seis a oito anos para limpeza por fluxo reverso (LAVRINI, 2013).

A velocidade de ascensão é a velocidade de subida dos gases a partir do fundo das mangas e está diretamente relacionada com a densidade da partícula que será coletado na moega. O cálculo desse parâmetro é através da Equação 2, onde Q é a vazão de gás, AF é a área do filtro e AM é a área total das mangas.

$$V_{asc} = \frac{Q}{A_F - A_M} \quad (2)$$

A área total de mangas é calculada conforme a Equação 3, onde N é o número total de mangas e D é o diâmetro de uma manga.

$$A_M = N.\frac{\pi D^2}{4} \quad (3)$$

Segundo Lavrini (2013), é preciso observar alguns fatores na escolha da manga filtrante como a qualidade do material da fibra e tela, gramatura, espessura, permeabilidade ao ar, tração e alongamento de ruptura e encaixe de vedação. Também é importante observar a densidade (gramatura dividida pela espessura). Caso a densidade seja baixa, a manga pode romper pelo atrito do pó ou pode passar particulados pelo filtro. É preciso caracterizar o material sólido particulado e determinar as variáveis do processo como vazão, temperatura, relação de filtração para garantir o correto dimensionamento do filtro e determinar o número de mangas necessário (BATISTONI, 2011).

2.4 Elemento filtrante

A Tabela 2 apresenta os diferentes tipos de não tecidos filtrantes existentes no mercado. O material deve ser escolhido de acordo com a temperatura e a composição química do gás contaminado, portanto é necessário fazer uma análise crítica do pó para a determinação do meio filtrante ideal. A caracterização é feita da seguinte forma com relação ao desempenho do não tecido filtrante na presença das substâncias H_2O, O_2, SO_2, NO_2, alcalinos e solventes:

• A letra “l” representa quando o material filtrante possui alta resistência às substâncias;

• A letra “s” representa quando o material filtrante possui resistência moderada às substâncias;

• A letra “n” representa quando o material filtrante possui baixa resistência às substâncias.

O elemento filtrante poliamida aromática (m-Aramida), comercialmente conhecido como Nomex, é um polímero de condensação e

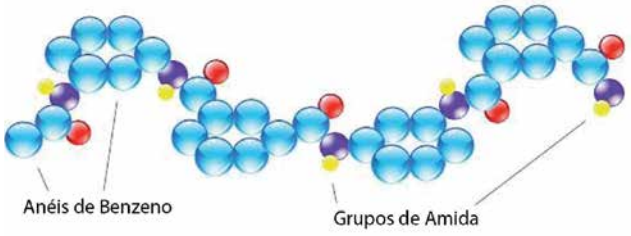
Sigla	Material	Nome Comercial	Temp. Trab.	H_2O	O_2	SO_2	NO_2	Alcalis	Solventes
PP	Polipropileno	-	90°C	l	l	l	l	l	n
PA	Poliamida	Nylon	110°C	n	l	n	l	l	s
AC	Poliocrilonitrila copolímero	Acrílico	110°C	s	l	n	s	n	l
DT	Poliocrilonitrila homopolímero	Dralon T	120°C	l	l	n	s	n	l
PE	Poliéster	-	150°C	n	l	n	l	n	l
NO	m-aramida	Nomex, Conex	180°C	n	s	n	l	n	l
PPS	Polifenilsulfeto	Rylon, Procon	190°C	l	n	s	n	l	l
PI	Poliimida aromática	P84	240°C	s	n	n	n	l	l
PTFE	Politetrafluoretileno	Teflon	250°C	l	l	l	l	l	l

Fonte: SANTINI (2011)

Tabela 2 - Tipos de material filtrante

abrange os mercados de cimento e cal, asfalto, siderúrgicas, cerâmica e fundições. Possui alta resistência a fagulhas, solventes e nitratos, e baixa resistência a hidrólise, álcalis e sulfetos. Resistência moderada na presença de oxigênio, acima de 20% de concentração sofre oxidação (CERON, 2009). Esse material é termo resistente, o que significa que sua estrutura fibrosa pode ser utilizada em processos com alta liberação de calor e se comporta satisfatoriamente sob a ação da chama. Portanto, não esquenta e não queima mediante a altas temperaturas (GACÉN; GACÉN, 2003).

Conforme a Figura 3, a poliamida aromática possui formação da cadeia polimérica através de ligações do grupo amida com anéis de benzeno. Segundo Ceron et.al. (2010), essa ligação proporciona à estrutura alta resistência à temperatura e ação química. Portanto a poliamida aromática não funde a não ser que exposta por longos períodos a temperaturas acima de 290°C.



Fonte: CERON et. al. (2010)

Figura 3 - Estrutura molecular da poliamida aromática

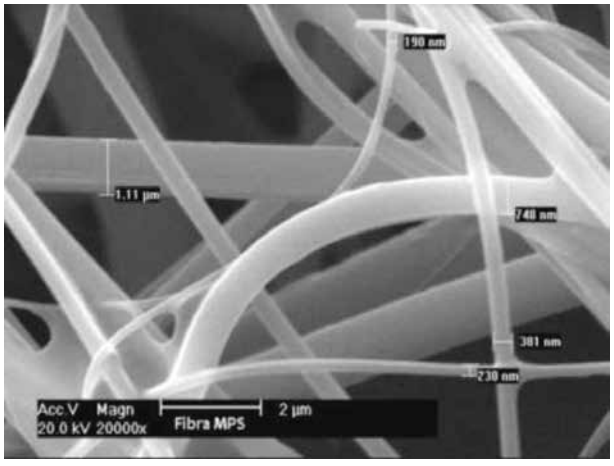
2.4.1 Membrana PTFE expandida

A escolha do elemento filtrante está relacionada com o diâmetro da partícula sólida presente no gás. Segundo Ceron (2012), a membrana de politetrafluoretileno (ePTFE) é caracterizada pela alta resistência à oxidação e hidrólise, inerte a ácidos e bases, com resistência térmica de alta amplitude (-200°C a 315°C) e eficiente filtração tangencial de particulados de baixa granulometria. Essa característica reduz a permeabilidade de particulados na profundidade do não tecido e assim é evitado o aumento da perda de carga ao longo do tempo, quando comparado com não tecidos sem a membrana (CERON, 2016). Devido à baixa resistência do teflon a abrasão, a recomendação da literatura é que a velocidade de filtração seja de até 1,0m³/m².min, contudo, a maioria dos filtros são dimensionados com RAP superior a 1,5m³/m².min por questões econômicas. A membrana pode ser utilizada nessas condições, o que será observado é o aumento da perda de carga nos três primeiros meses até atingir a estabilidade. Isso ocorre porque durante esse pe-

ríodo inicial a membrana atua como barreira na deposição de partículas e depois, quando arrancada pelo pó abrasivo, a perda de carga se estabiliza (CERON, 2012).

2.4.2 Microfibras (Tecnologia MPS)

Segundo Bressan et al. (2018), os não tecidos podem ser classificados de acordo com a característica da fibra que compõe o material: fibras ou microfibras. À fins de comparação, a microfibra tem metade do diâmetro de uma fibra de seda, 1/3 do diâmetro de uma fibra de algodão, 1/4 do diâmetro de lã fina e é 100 vezes mais fina que um fio de cabelo humano (NASSIF, 2012). Este material é composto por filamentos de não tecidos, com espessura extremamente fina em torno de 1 dtx, de forma que aumenta a área superficial e reduz o espaço entre as fibras. As microfibras são altamente eficientes na captura de particulados finos em processos industriais com filtros de manga (Bressan et al., 2018). A Figura 4 ilustra, a partir da análise por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), a disposição das microfibras por entre as fibras de poliamida aromática. As microfibras possuem de 190 nm até 381 nm de diâmetro, enquanto as fibras comuns possuem de 748 nm até 1,11 µm de diâmetro. Um estudo feito por Rahman (2012) relatou



Fonte: RENNER TÊXTIL (2018)

Figura 4 - MEV com medidas do meio filtrante com tecnologia MPS

que quanto maior o número de micro filamentos do material filtrante, maior será a resistência à tração e alongamento do não tecido, além de melhorar sua resistência à abrasão. Contudo, a redução do espaço entre as microfibras impactou na permeabilidade do ar pelo material, comprovando sua eficiência em filtros com não tecidos para retenção de particulados finos.

3 Metodologia

A metodologia consiste em determinar, através de análises laboratoriais, a caracterização da partícula e as condições reais do material filtrante. Com esses resultados e apoio da literatura foi realizado o cálculo de dimensionamento do novo filtro com número atualizado de mangas, cálculo de RAP, velocidade ascendente e design ajustado para as necessidades do processo.

3.1 Mangas filtrantes

As duas mangas filtrantes utilizadas nas análises, NO/NO 551, possuem composição de fibra e tela 100% poliamida aromática. Os elementos filtrantes foram retirados de uma indústria de celulose após 11 meses de uso, os quais deveriam ter vida útil de 2 anos, segundo o fabricante. As mangas possuem gramatura de 550 g/m², espessura de 2,5 mm e permeabilidade ao ar 150 L/min.dm².

3.2 Particulados

O teste de granulometria segue a norma NBR NM 248:2003 - Agregados – Determinação da composição granulométrica, e foi realizado no Laboratório de Processos Ambientais da PUCRS. Foi utilizada uma amostra de 100g do material particulado, retido nas mangas do filtro, que foi segregado em peneiras de diferentes mesh em aparelho agitador Bertel por 10 minutos. Foram utilizadas peneiras de 710 µm, 500 µm, 355 µm, 250 µm, 106

µm, 45 µm e recipiente de fundo para reter o particulado filtrado. Os ensaios foram feitos em triplicatas, onde é possível aumentar a assertividade dos resultados.

3.3 Gramatura, espessura e permeabilidade

Para o ensaio de gramatura foi utilizada uma balança semi-analítica conforme a norma NBR 12984:2000 – Não tecido – Determinação da massa por unidade de área. As amostras de meio filtrante foram cortadas em formato circular e pesadas de três maneiras: a primeira é com estado sujo, a segunda é batida (simulação de limpeza com jatos de ar comprimido) e a terceira é lavada e seca. Para avaliar a espessura foi utilizado um Medidor de Espessura Mainard, modelo M-73210-T, conforme a norma NBR 13371:2005 – Não tecido – Determinação da espessura, com amostra de manga suja. Para determinar a permeabilidade ao ar foi utilizado um Permeabilimetro Karl Schroder KG, modelo 6940 Weinheim, conforme a norma NBR 13706:1996 – Não tecido – Determinação da permeabilidade ao ar. Para este ensaio foram consideradas amostras sujas e batidas. O método consiste em colocar a amostra em contato com um fluxo de ar de 20mm de coluna d'água de pressão, em aparelho Gauge modelo DPF – 15E, por 30 segundos. O ar que permeia pela membrana é gerado em aspirador Arno Papa Pó, modelo APAC 700W com fluxo invertido. Os testes foram feitos em triplicatas no laboratório.

3.4 Resistência à tração e alongamento

Os ensaios de resistência mecânica foram realizados num dinamômetro Frank 81565 IV com aplicação de força longitudinal e transversal, seguindo a norma NBR 13041:1993 – Não tecido – Determinação da resistência à tração e alongamento. Na elaboração dos ensaios e determinação das propriedades físico mecânicas, o corpo de prova sofreu ação de uma carga de 10 kN com velocidade de afastamento vertical 100 mm/min até seu rompimento. As amostras utilizadas estavam sujas, no estado em que foram recebidas.

3.5 Cálculos do projeto

O cálculo de projeto do novo filtro utiliza a mesma vazão de gás de processo que alimenta o filtro atual, 70.980m³/h. A distância entre as mangas no espelho do filtro foi ajustada de 0,125m para 0,15m, e houve alteração no número de mangas, de 180 para 280 para resultar em uma velocidade de filtração de 3 m/min, ideal para filtração de particulados finos compostos por celulose. A sequência dos cálculos segue o esquema da Figura 5. É calculada a área de filtração por manga onde L é o comprimento, e R o raio da manga. Na RAP a vazão é Q, N o número total de mangas e A é a área calculada anteriormente. Segue o cálculo de A_M e A_F para calcular a velocidade ascendente. As opções para o novo filtro com membrana PTFE e microfibra foram comparadas com relação ao dimensionamento do

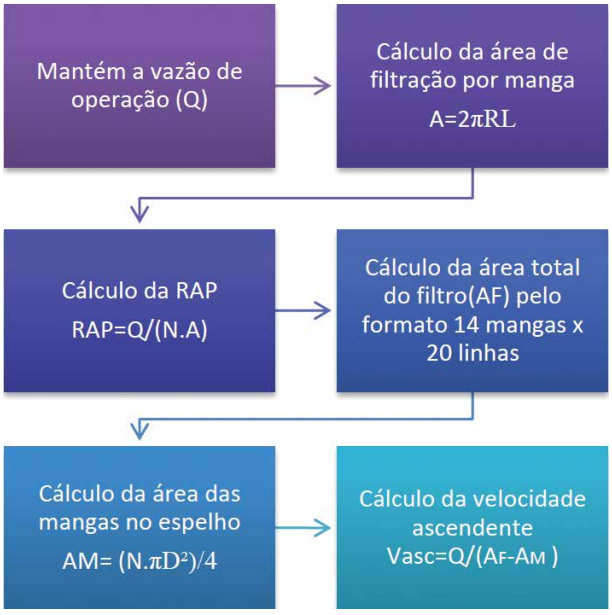


Figura 5 - Sequência de cálculos para o projeto do novo filtro

equipamento e custo unitário das mangas. A sequência dos cálculos segue o esquema da Figura 5 e os parâmetros do filtro atual, os quais devem ser determinados para o novo filtro, é mostrado na Tabela 3.

Relações do Filtro	NO/NO 551
Vazão (m^3/h)	70.980,0
Número de mangas	180
Dimensão das mangas (mm)	150 x 3000
Área por manga (m^2)	1,414
Área total filtrante (m^2)	254,5
RAP ($m^3/m^2.min$)	4,65
Velocidade Ascendente (m/s)	2,00
Formato do filtro (linha x coluna)	12 x 15
Espelho: comprimento x largura (m)	3,125 x 3,875
Área do espelho do filtro (m^2)	12,1
Cvu mangas (R$)	218,22
Custo total (R$)	39.279,60

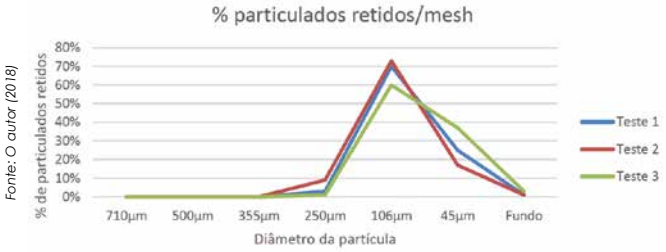
Fonte: O autor (2018)

Tabela 3 - Configuração do filtro atual

4 Resultados e discussões

4.1 Granulometria

A partir do teste de granulometria foi possível identificar o maior percentual de particulados retidos em cada peneira e no prato de fundo. O teste foi realizado em triplicatas, para assegurar os resultados obtidos. Na Figura 6, a faixa predominante de retenção de particulados finos foi na peneira de fundo com percentual de 20% de retidos. A partir de 20 µm o particulado é considerado fino e pode causar malefícios à saúde humana, se inalado.



Fonte: O autor (2018)

Figura 6 - Análise granulométrica com pó de celulose

4.2 Material filtrante

Considerando duas amostras retiradas do filtro atual é possível analisar os testes de gramatura, espessura e permeabilidade conforme a Tabela 4. As análises foram feitas no topo e fundo de cada manga, nas condições de material sujo, conforme recebido, material batido, simulando a limpeza das mangas e material lavado e seco. Ambas amostras apresentam performance comprometida em comparação ao padrão referencial da fabricante. A gramatura e espessura estão acima do referencial pela elevada deposição interna de material particulado. Inclusive as amostras lavadas e secas, o que deveria apresentar gramatura próxima da nova, manga 1 com 753 g/m² e 2,9 mm de espessura, quando deveria ter 550 g/m² e 2,5 mm de espessura. O fator mais impactante é a permeabilidade ao ar que está muito baixa, o que induz à alta perda de carga que este filtro está apresentando pela saturação interna. Seria indicado aumentar a gramatura do meio filtrante para auxiliar na boa performance da retenção dos particulados finos.

O resultado dos testes mecânicos está apresentado na Tabela 5, onde é possível perceber que as mangas não estão desempenhando a resistência esperada pela fabricante. As amostras de topo e fundo possuem baixa resistência mecânica à tração e alongamento, o que significa que o material não expande plenamente durante a limpeza por jato pulsante de ar comprimido, nem retrai durante o processo de filtração.

4.3 Projeto do novo filtro

Para o cálculo do novo filtro foram avaliadas modificações no dimensionamento do filtro atual, NO/NO 551, resultando nos dados da Tabela 6. As possibilidades estudadas foram com tecnologia MPS microfibra e PTFE expandida.

Se for usado o meio filtrante NO/NO 552 PTFE, os custos do filtro podem ser seve-

Análise Laboratorial	Condição	Manga 1		Manga 2		Padrão Renner
		Topo	Fundo	Topo	Fundo	
Gramatura (g/m²)	Suja	921	1307	794	825	550
	Batida	822	1071	685	724	550
	Lavada e Seca	719	753	515	520	550
Espessura (mm)	Suja	2,8	2,9	2,7	2,8	2,5
Permeabilidade ao ar (L/min.dm²)	Suja	5	4	2,7	8	150
	Batida	7	6	10	11	150

Fonte: O autor (2018)

Tabela 4 - Resultado dos testes de gramatura, espessura e permeabilidade

Análise Laboratorial	Dimensão	Topo	Fundo	Padrão Renner
Resistência à tração (daN/5cm)	Longitudinal	10	9	52
	Transversal	13	11	65
Alongamento até ruptura (%)	Longitudinal	8	7	22
	Transversal	9	10	25

Fonte: O autor (2018)

Tabela 5 - Resultado dos testes mecânicos

ramente impactados, já que precisaria de um espaço maior para abrigar 837 mangas e o custo unitário da manga é o mais alto das opções avaliadas. Esse dimensionamento foi calculado para reduzir a velocidade RAP para 1 m/min, ideal para este tipo de material para executar uma filtração tangencial efetiva e não rasgar as mangas pela abrasividade do pó, entretanto não é factível em termos de custo.

Como a velocidade atual das mangas NO/NO 551 é de 4,65 m/min seria ideal reduzir para 3 m/min, velocidade recomendada para celulose em flocos secos, e utilizar a NO/NO 551 MPS, assim a mudança na estrutura do filtro não seria tão acentuada. A microfibra é excelente na retenção de particulados finos por possuir espaços muito pequenos na malha de fibras. O uso desta tecnologia permite trabalhar com a mesma vazão de filtro com o número estimado de mangas para o filtro, 280 mangas e a velocidade ascendente de 1 m/s.

A análise de custo foi realizada com orçamento real enviado pela área comercial de empresa têxtil. O material filtrante NO/NO 551 MPS possui custo unitário e custo total intermediário entre as avaliadas. O que induz que o investimento nesse tipo de material pode ser maior inicialmente se comparado com o material atual NO/NO 551, porém, a eficiência na retenção de particulados finos e sua durabilidade são igualmente superiores.

5 Conclusão

O presente estudo surgiu da necessidade prática do controle ambiental, exigido pela legislação vigente, em uma empresa de celulose. O filtro de mangas estava incapacitado de capturar as finas partículas de celulose geradas no processo. Com o intuito de trazer melhorias para este processo e manter as condições exigidas por lei para a preservação do meio ambiente, foi estudado

Relações do Filtro	NO/NO 551	NO/NO 552 PTFE	NO/NO 551 MPS
Vazão (m^3/h)	70.980,00	70.980,00	70.980,00
Número de mangas	180	837	280
Dimensão das mangas (mm)	150 x 3000	152 x 3000	151 x 3000
Área por manga (m^2)	1,414	1,414	1,414
Área total filtrante (m^2)	254,5	1183,5	395,9
RAP ($m^3/m^2.min$)	4,65	1,00	3,00
Velocidade Ascendente (m/s)	2	0,389	1
Formato do filtro (linha x coluna)	12 x 15	31 x 27	14 x 20
Espelho: comprimento x largura (m)	3,125 x 3,875	8,375 x 7,275	4,0 x 5,65
Área do espelho do filtro (m^2)	12,1	60,9	22,6
Cvu mangas (R$)	218,22	389,90	242,81
Custo total (R$)	39.279,60	326.346,30	67.986,80

Fonte: O autor (2018)

Tabela 6 - Resultado dos cálculos para o novo filtro

duas alternativas de sistema de filtração, membrana PTFE e microfibras (MPS).

O elemento filtrante poliamida aromática, presente no filtro atual, comercialmente conhecido como Nomex é termo resistente, ou seja, não esquenta e não queima mediante a altas temperaturas, portanto permanece como melhor opção no sistema de filtração, que opera após o forno de cal, emissor dos particulados sólidos em questão.

Foi identificado através do teste de granulometria que o gás de processo expelido possui particulados finos, onde 20% de uma amostra de 100 g apresenta diâmetro de partícula inferior a 20 µm. Devido às finas partículas, houve grande deposição de pó no interior das fibras de Nomex. Portanto, seria indicado aumentar a gramatura de 550 g/m² para 600 g/m² e utilizar um complemento de filtração.

As mangas NO/NO 551 tinham expectativa de vida útil de 2 anos e duraram 11 meses. A durabilidade das mangas foi impactada por uma série de fatores, como o pequeno diâmetro da partícula, a alta velocidade de filtração e alta velocidade ascendente.

A solução com tecnologia MPS é economicamente viável no longo prazo. Em comparação com o elemento filtrante atual, o custo é R$ 24,60 a mais por manga e a RAP se ajusta para celulose em flocos secos, aumentando pouco o tamanho do filtro.

Conclui-se que as microfibras e membrana PTFE, conforme a literatura, são altamente eficientes na captura de particulados finos em processos industriais com filtros de manga. Entretanto, do ponto de vista econômico o uso de microfibras é indicado como complemento de filtração para a situação atual do sistema de filtração na indústria de celulose. MF

Ver referências bibliográficas em nosso site:
www.meiofiltrante.com.br

Amanda Dal Magro de Lemos Paim
E-mail.: amandadallmagro@hotmail.com

Luciano Peske Ceron
E-mail.: Luciano.ceron@pucrs.br