ANÁLISE E PROPOSTA DE READEQUAÇÃO EM UM SISTEMA DE DESPOEIRAMENTO DE UM BRITADOR DE UMA SIDERÚRGICA

Mariana Lopes Camilo [1] (mariana.lopes.camilo@gmail.com),
Cory Kasemodel de Araujo Filho [1] (ckasemodel@gmail.com),
Klisman Auer [1] (auer.1998@alunos.utfpr.edu.br),
Beatriz Mohr Rosa Ribeiro [1] (biamohr03@gmail.com),
Luiz Eduardo Melo Lima [1] (lelima@utfpr.edu.br)

[1] Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR); Campus Ponta Grossa; Departamento Acadêmico de Mecânica

RESUMO: *Neste trabalho, realizou-se uma análise em um sistema de despoeiramento de um britador que possui um desempenho abaixo do esperado. Tal sistema encontra-se instalado em uma empresa siderúrgica. Nesta análise, identificaram-se pontos no sistema de despoeiramento onde existem problemas de conservação, assim como componentes mal dimensionados. Utilizando um anemômetro, realizaram-se medições de velocidade nas tubulações, a fim de verificar se estavam nas faixas de valores recomendados. Além disso, foram calculados e comparados os valores de perdas de carga antes e depois das readequações propostas neste sistema, utilizando recomendações para minimizar as perdas de carga em tubulações, captores e acessórios. Finalmente, calculou-se a potência de acionamento mínima necessária ao sistema. Adicionalmente, estimou-se também a quantidade máxima de pó coletado pelo sistema. Para os cálculos de perda de carga, utilizaram-se os coeficientes de perda de carga tabelados de acessórios e captores, as medições de velocidade nas tubulações (valores recomendados), o fator de atrito da tubulação e as propriedades do ar. A partir desta análise, foi possível propor melhorias no sistema de despoeiramento, por meio de um dimensionamento mais adequado de seus componentes, verificando-se assim a possibilidade de um aumento da eficiência do sistema.*

PALAVRAS-CHAVE: *Despoeiramento, Perda de Carga, Britador, Readequação.*

ANALYSIS AND PROPOSAL OF READJUSTMENT IN A DEDUSTING SYSTEM OF A CRUSHER OF A STEEL MILL

ABSTRACT: *In this study, an analysis was performed on a crusher dust collection system that has a lower-than-expected performance. This system is installed in a steel company. In this analysis, points in the dust collection system where there are conservation problems, as well as poorly dimensioned components, were identified. Velocity measurements were taken in the pipes using an anemometer to verify whether they were within the recommended value ranges. In addition, the pressure drop values before and after the proposed adjustments in this system were calculated and compared, using recommendations to minimize pressure drops in pipes, collectors, and accessories. Finally, the minimum drive power required for the system was calculated. The maximum amount of dust collected by the system was also estimated. For the pressure drop calculations, the tabled pressure drop coefficients of accessories and collectors, the velocity measurements in the pipes (recommended values), the friction factor of the pipe, and the air properties were used. Based on this analysis, it was possible to propose improvements to the dust removal system through more appropriate sizing of its components, thus verifying the possibility of increasing the system's efficiency.*

KEYWORDS: *Dedusting system, Pressure Drop, Crusher, Readjustment.*

1. INTRODUÇÃO

A utilização dos metais foi e ainda é de extrema importância para o desenvolvimento das sociedades. Há milhares de anos, ainda que rudimentarmente, a técnica da fundição já era suficiente para produzir utensílios e artefatos mais eficazes para cultivo agrícola, ferramentas para a coleta de madeira. O domínio dos metais influenciou disputas territoriais pelo controle de pastagens e áreas mais férteis. Os primeiros metais a serem trabalhados foram o cobre, o estanho e o zinco, pois eram de fácil manuseio, por possuírem baixo ponto de fusão. Com o passar do tempo, a obtenção do estanho se tornou cada vez mais difícil e seu valor aumentou, dificultando a produção do bronze, fazendo com que essa liga fosse substituída pelo ferro, que era um elemento melhor e mais abundante (HISTORY CHANNEL, 2009).

Em aproximadamente 1500 a.C. se iniciou o uso do aço, uma liga de ferro e carbono, mais leve, maleável e forte que ferro, cobre e bronze. Esta liga tornou-se o material escolhido para fabricar armaduras, espadas e ferramentas, apesar de ser produzido apenas em pequenas quantidades e com dificuldade pelos ferreiros de antigamente. Isso até metade do século XIX, quando a produção de aço foi revolucionada por "Henry Bessemer", com um processo que se assemelha com os realizados atualmente, começando assim, a produção em escala industrial. Atualmente, para obtenção do aço, são necessárias matérias-primas como ferro-manganês e ferro-silício, produzidos em siderúrgicas. Em seu processo, é gerada uma abundância de resíduos, como escória, gases resultantes da combustão no alto-forno e pó metálico gerado pela britagem do material fundido (HISTORY CHANNEL, 2009).

Um dos problemas encontrados neste tipo de indústria é o manuseio do material fundido. Os grandes blocos de minério metálico precisam passar por etapas de moagem, geralmente usando-se um britador, que gera uma quantidade bastante significativa de pó metálico. O pó metálico gerado neste processo é prejudicial à saúde dos colaboradores, devido à sua capacidade de se dispersar no ar, podendo ser facilmente aspirado caso não sejam utilizados adequados Equipamentos de Proteção Individual (EPI) (MENDES, 2003). Também pode contaminar o solo e os mananciais aos arredores da empresa. Outro aspecto importante está relacionado com a destinação do pó metálico coletado, pois como sua composição química é a mesma do produto final, o mesmo pode ser reintroduzido no processo, reduzindo custos com a matéria-prima.

Com relação aos impactos ambientais, torna-se necessário conhecê-los bem. Para os organismos aquáticos, os metais podem ser classificados em essenciais e não essenciais (LIMA, 2013). Segundo Corrêa (2006), os essenciais como cobre, ferro e zinco possuem funções biológicas conhecidas e fazem parte do metabolismo desses organismos, mas dependendo da concentração podem se tornar tóxicos (KALAY; CANLI, 2000). Os metais não essenciais, como cádmio, cromo, mercúrio, manganês, níquel e chumbo, não possuem funções biológicas conhecidas (LALL, 2000).

Segundo Mangal (2001), ambos os tipos de metais, essenciais ou não, em altas concentrações, podem se tornar tóxicos. No caso da vida aquática, podem trazer problemas como baixa fertilidade, baixa taxa de crescimento e baixa imunidade, conforme Meneses (2008).

Outros tipos de indústrias têm problemas semelhantes, por exemplo, as madeireiras. O manuseio da madeira gera resíduos como pó, serragem e maravalha. Tais resíduos são geralmente eliminados manualmente, ocasionando transtornos, como esforços dos funcionários, poeira no ambiente de trabalho e incômodo à vizinhança da indústria (SILVA; GUERRA, 2012). A instalação de sistemas de Ventilação Local Exaustora auxiliaria nestas indústrias, por evitar ou minimizar a contaminação do ambiente, eliminando o processo de limpeza do local, deixando-os mais agradáveis, e reduzindo o incômodo nas vizinhanças. Além disso, o material coletado pode ser reaproveitado posteriormente. Para se projetar um sistema de ventilação, devem-se seguir as recomendações das captações e tubulações encontradas na literatura de ventilação industrial, para obter um bom desempenho, gastando o mínimo de energia. Neste contexto, Silva e Guerra (2012) idealizaram um sistema de Ventilação Local Exaustora em uma indústria madeireira, obedecendo todas as regras da engenharia para obter uma melhor eficiência no processo, reduzindo custos operacionais de limpeza e riscos à saúde. Schirmer, Cortez e Kozak (2008) fizeram uma proposta de sistema em uma indústria moveleira utilizando as recomendações de projeto disponíveis em Macintyre (1990), para dimensionar um sistema de Ventilação Local Exaustora que conseguisse captar resíduos e poluentes no processo de fabricação de móveis.

1.1 Motivação

Este estudo está baseado em um sistema de despoeiramento que coleta o pó metálico advindo da britagem do produto fundido no alto-forno. Tal sistema encontra-se instalado na empresa Maringá Ferro-Liga S.A., localizada em Itapeva–SP. Foram considerados três motivos principais para a realização deste trabalho:

1) Readequar o sistema para funcionar de maneira satisfatória, para que assim seja possível reduzir a quantidade de pó metálico disperso e suspenso no ar, o que pode trazer prejuízos à saúde dos funcionários da empresa.
2) Preocupação com o impacto ambiental, pois o pó metálico contamina o solo aos arredores do sistema, bem como o rio que margeia a fábrica, além de ser capaz de se dispersar no ar por muitos metros de distância do sistema.
3) Sabendo-se que o pó metálico possui a mesma composição química do material fundido no alto-forno, é possível reintroduzi-lo no processo de fundição, trazendo uma redução de custos relacionados à matéria-prima.

1.2 Objetivos

O principal objetivo deste trabalho é realizar uma análise das perdas de carga de um sistema de despoeiramento de um britador de uma siderúrgica. Os objetivos específicos são: analisar as condições de operação do sistema, bem como sua eficiência; propor readequações nos componentes do sistema de despoeiramento, como tubulações, acessórios, enclausuramentos, filtros de mangas e exaustor, seguindo as recomendações de ventilação industrial; projetar novos componentes do sistema de despoeiramento, para permitir a minimização das perdas de carga; analisar de maneira teórica a eficiência do sistema de despoeiramento após as propostas de readequação.

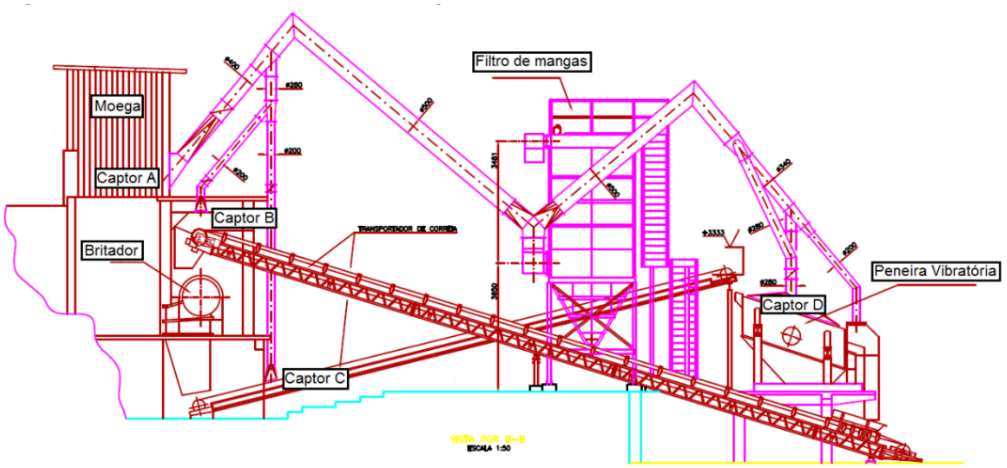
2. MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta seção, são apresentados a descrição do sistema de despoeiramento, os seus problemas de conservação e as suas características idealizadas de funcionamento. Esse sistema está instalado na empresa Maringá Ferro-Liga S.A., uma siderúrgica localizada em Itapeva, no estado de São Paulo. Fundada em 1946, a empresa produz ligas de manganês com uma capacidade de oitenta mil toneladas por ano. O sistema de despoeiramento foi implementado na fábrica em 2004 e opera aproximadamente oito horas por dia, somente quando o britador está em funcionamento.

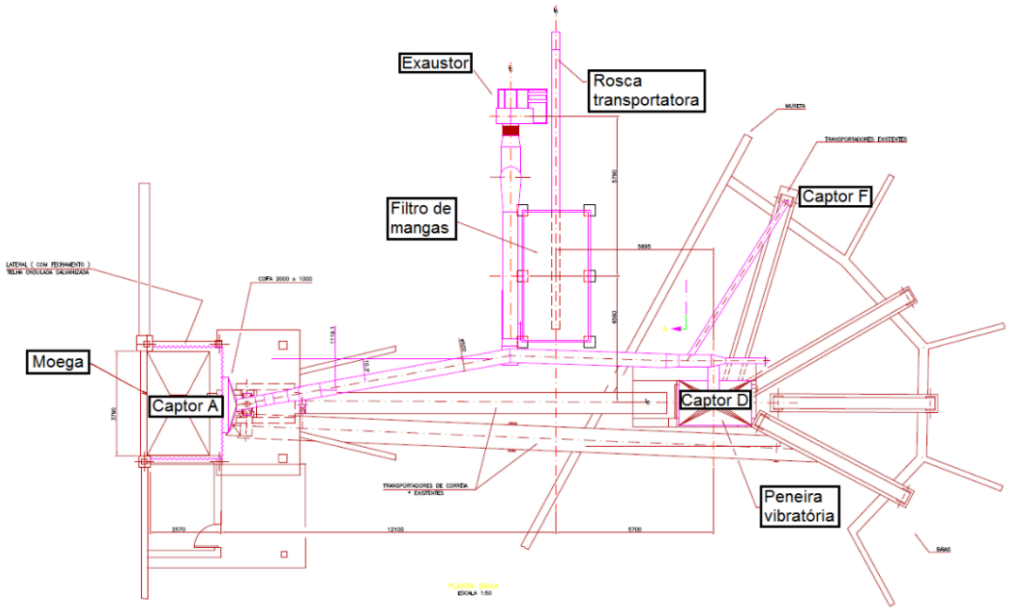
2.1 Descrição do sistema

Para melhor entender o sistema, a Figura 1 apresenta uma representação esquemática de seus componentes. O ponto de entrada do material no sistema de britador é pela Moega, posicionada acima do britador, onde se encontra o Captor A. Existe um ponto de captação logo acima do britador, o Captor B, mas este encontra-se atualmente desativado, por dificultar as constantes manutenções neste equipamento. O material que passa pelo britador cai em uma esteira transportadora que o leva até a Peneira Vibratória. No começo desta esteira se encontra o Captor C. Devido a limitações físicas, tal captor não pode ser posicionado logo no local da queda do material, onde a geração de poeira é maior. Um posicionamento adequado mais próximo à fonte de poluentes seria inconveniente para a manutenção do rolo da esteira transportadora. Logo acima da peneira vibratória, se encontra o Captor D, e apesar de não constar no desenho, existe um captor na parte inferior da Peneira Vibratória, denominado de Captor E.

FIGURA 1. Vista do sistema de despoeiramento: frontal (a) e superior (b).



(a)



(b)

Fonte: disponibilizado por Maringá Ferro-Liga S.A. (2018).

O Captor F se encontra no fim da esteira transportadora, que leva o material que se deposita ao fundo da Peneira Vibratória para uma baia de coleta. As tubulações dos captores convergem para um Filtro de Mangas, que coleta o pó metálico e o leva até um contêiner adequado, por meio de uma rosca transportadora. O sistema é equipado com um exaustor centrífugo, de pás voltadas para trás, movido por um motor elétrico da marca WEG de 60 cv.

A Figura 2 mostra uma visão da parte de trás do sistema. Ao centro da foto, pode-se ver o filtro de mangas e o exaustor conectado ao mesmo. Ao lado direito da foto, tem-se a moega de abastecimento e ao lado esquerdo, tem-se o britador.

FIGURA 2. Sistema de despoeiramento.



Fonte: autores.

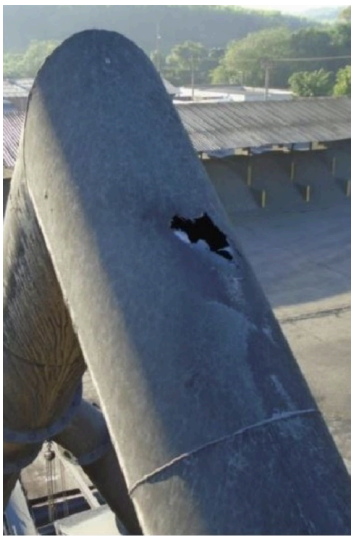
2.1.1 Problemas de conservação

Alguns pontos no sistema, como tubulações, vedações e captações, necessitam de reparos, como mostra a Figura 3: (a) parte da tubulação do Captor E apresenta um buraco e a tubulação está mal planejada; (b) captor E apresenta defeito na tubulação logo na saída do enclausuramento; (c) problema no trecho da tubulação que une a peneira vibratória e o filtro de mangas.

FIGURA 3. Problemas de conservação em vários pontos do sistema.


(a)


(b)


(c)

Fonte: autores.

A Figura 4 mostra que o Captor C possui frestas muito grandes em relação à correia transportadora, reduzindo a vedação, permitindo que a poeira se espalhe com facilidade. Na parte inferior da correia, nota-se uma grande quantidade de poeira. Nota-se também, como discutido na Seção 2.1, as limitações físicas de instalação deste componente.

FIGURA 4. Problemas do Captor C na correia transportadora.



Fonte: autores.

2.1.2 Dados do sistema

Nesta seção, são apresentados os valores calculados para as vazões do sistema, considerados ideais para um funcionamento adequado. Conforme as características da tubulação existente, a recomendação de uma velocidade mínima de escoamento de 25 m/s e considerando partículas de alta densidade, têm-se valores de vazão volumétrica, conforme a Tabela 1. Portanto, a vazão máxima que deve ser fornecida pelo exaustor é de aproximadamente 8 m^3/s.

TABELA 1. Vazões volumétricas do sistema de despoeiramento.

Captor	Diâmetro (m)	Velocidade (m/s)	Vazão volumétrica (m^3/s)
A	0,4	25	3,142
B	0,2	25	0,785
C	0,2	25	0,785
D	0,28	25	1,539
E	0,2	25	0,785
F	0,2	25	0,785
		Total	7,822

Fonte: autores.

2.2 Métodos de análise e verificação

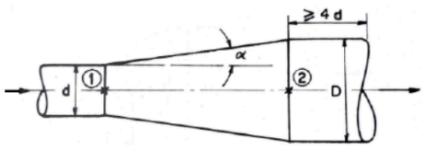
Para conferir se o sistema apresenta em suas tubulações as velocidades adequadas, foi utilizado um anemômetro digital portátil da marca Homis, modelo 223, disponível na empresa. Este equipamento de medição possui precisão de 0,1 m/s, e suas calibrações são realizadas anualmente. Esse medidor de velocidade foi posicionado na entrada dos captores, perpendicular ao fluxo, de maneira que não atrapalhasse o escoamento, e com a opção de registrar a maior velocidade medida. As medições foram realizadas com o sistema de britador e peneira vibratória, ambos desligados, para não ter geração de poeira. Foram realizadas cinco medições em cada captor. As médias aritméticas de cada velocidade de captor encontram-se na Tabela 2, bem como as incertezas (desvio padrão) e vazões calculadas, lembrando que o Captor B, acima do britador, no momento está desativado.

2.3 Propostas para melhoria do sistema

Conforme as recomendações apresentadas em Macintyre (1990), foram redesenhados alguns componentes do sistema, como cotovelos, reduções, derivações e entradas de captores, permitindo a redução de suas perdas de carga.

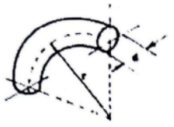
Para expansões, deve-se fazê-la suavemente, isto é, utilizando o menor ângulo α possível, conforme Figura 5(a). Para cotovelos, recomenda-se utilizar uma relação de raio equivalente de 2,5, por ser a configuração que apresenta menores perdas, conforme a Figura 5(b). Em derivações, utilizar sempre que possível um pequeno ângulo entre as tubulações, conforme a Figura 5(c), e sempre conectar uma tubulação na derivação de cada expansão, conforme a Figura 6(b).

FIGURA 5. Valores do coeficiente de perda *K* para:
expansões (a), cotovelos circulares (b) e derivações (c).



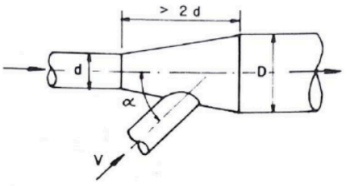
Ângulos	K
5°	0,28
10°	0,44
15°	0,58
20°	0,72
25°	0,87
30°	1,00
+ de 30°	1,00

(a)



r/d	Perda, Δp_c
2,75	0,25
2,50	0,22
2,25	0,26
2,00	0, 27
1,75	0,32
1,50	0, 39
1,25	0,55

(b)

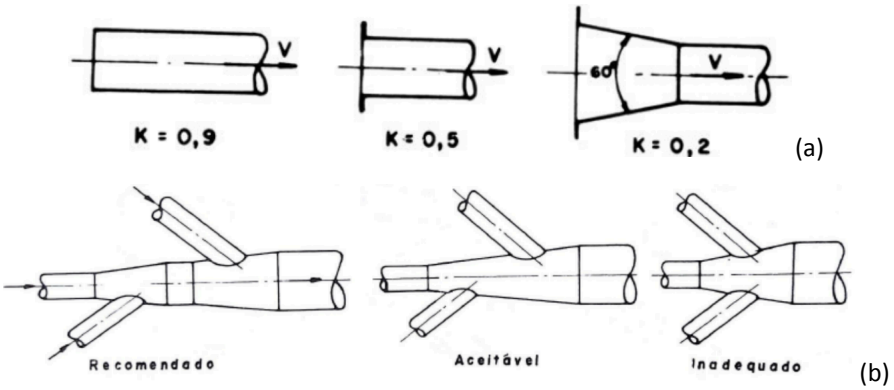


α°	K
15°	0,09
20°	0,12
30°	0,18
45°	0,28
50°	0,32
60°	0,44
90°	1,00

(c)

Fonte: Macintyre (1990).

FIGURA 6. Valores do coeficiente de perda *K* para entradas sem utilização de captores (a) e recomendação para projeto de derivações (b).



Fonte: Macintyre (1990).

Para os captores, deve-se desenhá-los de maneira que fiquem próximos à fonte de poluentes, sem interferir no processo produtivo e manutenção do maquinário, que apresenta boa vedação, para impedir a disseminação dos poluentes.

3. RESULTADOS

Nesta seção, são apresentados os componentes do sistema que tiveram propostas de modificação, bem como os resultados dos cálculos das perdas de carga do sistema original e do sistema com as devidas modificações sugeridas na Seção 2.

3.1 Comparação dos valores de perda de carga

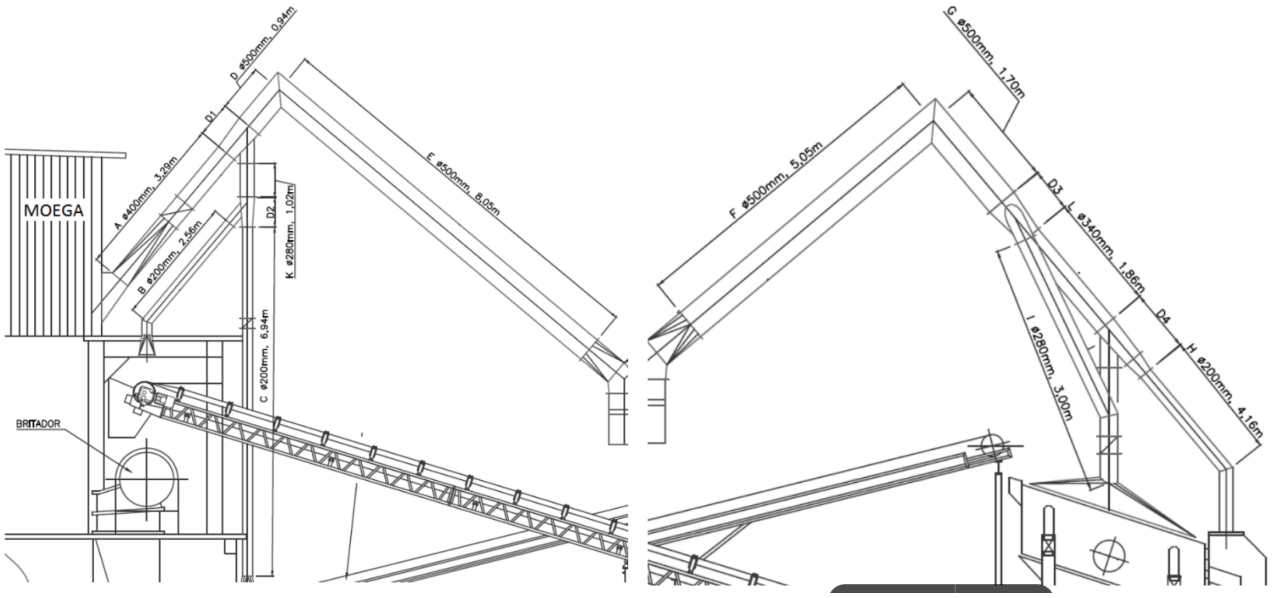
Uma comparação entre as perdas de carga do sistema original e do sistema com as modificações propostas é realizada neste trabalho.

3.1.1 Componentes do sistema

Os trechos dos componentes aos quais foram propostas modificações foram considerados nos cálculos de perda de carga do sistema. A Figura 7(a) mostra o lado esquerdo do filtro de mangas em uma vista frontal do sistema, onde são denominados:

- Trecho 'A' – entre a aspiração da moega e a derivação 'D1'.
- Trecho 'B' – entre a aspiração do britador e a derivação 'D2'.
- Trecho 'C' – entre a aspiração da saída do britador e a derivação 'D2'
- Trecho 'D' – entre a derivação 'D1' e o cotovelo '1'.
- Trecho 'E' – entre o cotovelo '1' e a entrada em 'Y' do filtro de mangas.

FIGURA 7. Vista frontal do sistema de despoeiramento: lado esquerdo (a) e lado direito (b).



(a) (b)

Fonte: disponibilizado por Maringá Ferro-Liga S.A (2018).

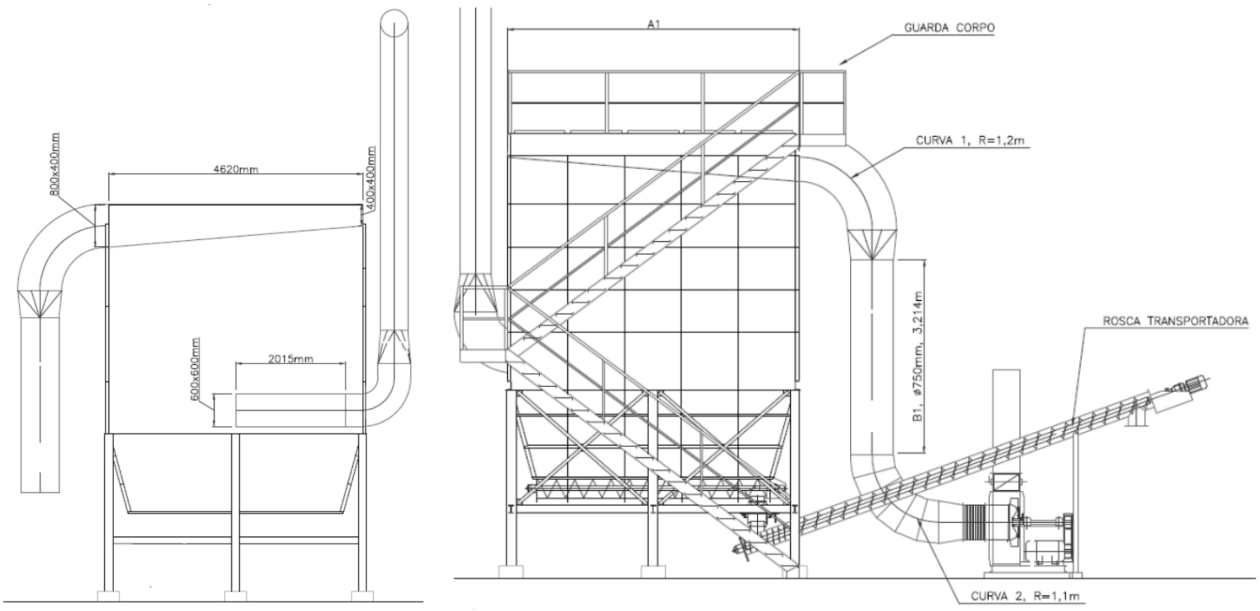
Por outro lado, a Figura 7(b) apresenta o lado direito em uma vista frontal do sistema, contendo os seguintes componentes:

- Trecho 'F' – entre a entrada em 'Y' do filtro de mangas e o cotovelo '2'.
- Cotovelo '2' – entre os trechos 'F' e 'G'.
- Derivação 'D3' – que une a entrada da peneira vibratória pelos trechos 'I' e 'L'.
- Trecho 'L' – que une as derivações 'D3' e 'D4'.
- Trecho 'H' – atualmente apresenta uma modificação não mostrada no desenho, ligando a derivação 'D4' até uma captação próxima à esteira de fino abaixo da peneira vibratória.
- Trecho 'J' – apesar de não ser representado em nenhuma imagem, tem 6,46 m de comprimento e 200 mm de diâmetro, une a captação da baia de fino até a derivação 'D4'.

A Figura 8(a) mostra a vista da parte de trás do filtro de mangas, contendo as dimensões da tubulação de entrada e saída. Por último, a Figura 8(b) mostra uma vista da parte pós-filtro de mangas, contendo:

- Curva '1' – à saída do filtro de mangas.
- Trecho 'B1' – unindo as curvas '1' e '2'.
- Curva '2' – na entrada do exaustor do sistema.

FIGURA 8. Filtro de mangas na vista da parte de trás do sistema de despoeiramento (a) e vista pós-filtro de mangas do sistema de despoeiramento (b).



(a) (b)

Fonte: disponibilizado por Maringá Ferro-Liga S.A (2018).

As tubulações que se encontram entre o filtro de mangas e o exaustor não sofreram propostas de modificação, mas foram apresentadas por serem consideradas nos cálculos das perdas de carga.

3.1.2 Perdas de Carga

Para fins de comparação do sistema original com a proposta de modificação, foram calculadas as perdas de carga utilizando as fórmulas habituais disponíveis na literatura. Para cada trecho da tubulação, foi determinado o número de Reynolds, $\mathrm{Re} = \rho VD/\mu$, em função da velocidade do escoamento V, do diâmetro hidráulico D e das propriedades do fluido (massa específica ρ e viscosidade dinâmica μ). Com os valores do número de Reynolds, foi determinado também o fator de atrito f para cada região do sistema, por meio da Equação (1) (HAALAND, 1983):

$$\frac{1}{f^{1/2}} = -\,1,8\log\left[\left(\frac{\varepsilon/D}{3,7}\right)^{1,11} + \frac{6,9}{Re}\right] \qquad (1)$$

Com todos os valores de fator de atrito para cada região do sistema, é possível se obter os coeficientes de perda K por meio da equação de perda de carga de Darcy-Weisbach, no caso de

tubulação reta. Para acessórios, os valores de *K* estão disponíveis na literatura. Finalmente, a Equação (2) permite determinar as perdas de carga de todos os componentes.

$$\sum \Delta P = \sum K \frac{\rho V^2}{2} \tag{2}$$

As perdas de carga foram calculadas considerando uma situação em que as velocidades das tubulações fossem todas iguais a 25 m/s, segundo a recomendação de Lisboa (2007). Além disto, foram consideradas uma massa específica ρ = 1,081 kg/m^3 e uma viscosidade dinâmica μ = 1,8544 × 10^{-5} Pa.s, para o ar a 30 °C, assim como uma rugosidade relativa ε/D = 0,5.

Em relação à entrada do filtro de mangas, por ser caracterizada por uma seção transversal quadrada, de 600 mm, para cálculo do coeficiente de perda *K*, foi determinado um diâmetro equivalente, conforme a Equação (3):

$$d_{equiv} = 1,3 \frac{(ab)^{0,625}}{(a+b)^{0,25}} \tag{3}$$

A entrada do filtro de mangas foi considerada uma expansão suave, devido não ter sido encontrado nenhum valor de *K* para este dispositivo. Como seu ângulo de abertura é suave e menor do que 5°, o coeficiente de perda *K* para esta parte do sistema foi considerado igual a 0,28, segundo a Figura 5(a). Além disso, considerou-se que em todas as captações do sistema estão instaladas válvulas do tipo borboleta. Para os cálculos de perda de carga, considerou-se todas as válvulas totalmente abertas e o valor de *K* pode ser considerado desprezível para um ângulo de 0°, conforme a Tabela 2.

TABELA 2. Coeficiente de perda *K* em função do ângulo de abertura α para válvulas do tipo borboleta.

α	**5°**	**10°**	**15°**	**20°**	**30°**	**45°**
K	0,24	0,52	0,90	1,54	3,91	18,70

Fonte: Macintyre (1997).

De acordo com estimativas realizadas pelo setor de manutenção da empresa em 2016, o valor de perda de carga do filtro de mangas é de aproximadamente 1000 Pa. Seguindo as recomendações da literatura, foram propostas as modificações dos seguintes componentes:

- Cotovelos '1' e '2' – utilizando a recomendação da Figura 5(b).
- Derivações '1', '3' e '4' – utilizando as recomendações da Figura 5(c).
- Captores 'C' e 'E' – tiveram suas entradas suavizadas, conforme a Figura 6(a).
- Trecho 'H' – foi redesenhado para substituir tubulações atualmente instaladas, teve seu comprimento reduzido.

As seguintes modificações na tubulação são consequências das propostas de modificação:

- Trecho 'D' – devido ao cotovelo '1', deixa de existir.
- Trecho 'E' – devido ao cotovelo '1', fica mais curto.
- Trechos 'F' e 'G' – devido ao cotovelo '2', ficam mais curtos.
- Trecho 'L' – teve seu comprimento reduzido devido às derivações '3' e '4'.
- Trecho 'I' – teve seu comprimento aumentado devido às derivações '3' e '4'.

A Tabela 3 mostra os valores de coeficiente de perda *K* dos componentes do sistema antes e depois das modificações propostas.

TABELA 3. Coeficientes de perda *K* antes e depois das modificações propostas.

Componente	*K*		Diferença
	Antes	Depois	
Trecho D	0,033	0,000	0,033
Trecho E	0,279	0,239	0,040
Trecho F	0,175	0,133	0,042
Trecho G	0,059	0,015	0,044
Trecho H	0,377	0,256	0,121
Trecho I	0,190	0,305	-0,115
Trecho L	0,096	0,059	0,038
Derivação 1	0,500	0,250	0,250
Derivação 3	0,440	0,210	0,230
Derivação 4	0,250	0,180	0,070
Cotovelo 1	0,850	0,220	0,630
Cotovelo 2	0,850	0,220	0,630
Captor C	0,900	0,500	0,400
Captor E	0,900	0,500	0,400

Fonte: autores.

Observa-se na Tabela 3 uma significativa diferença no valor de *K* nos cotovelos '1' e '2' e nos captores 'C' e 'E'. Para o trecho 'D', o valor de *K* é igual a zero, após as modificações propostas,

pois o componente deixa de existir no sistema. O valor de *K* do trecho 'I' deve ter um incremento, pois seu comprimento foi aumentado.

Conforme a literatura, para menores valores de *K*, obtêm-se menores valores de perda de carga. A Tabela 4 apresenta os valores de perda de carga do sistema original considerando velocidades medidas e recomendadas, os valores de perda de carga após as modificações propostas, assim como a diferença entre as mesmas. Nota-se uma diferença de aproximadamente 950 Pa a menos de perda de carga em relação ao sistema original, representando uma diferença de 20,25%. Na Figura 9, é possível visualizar as diferenças entre os valores dos coeficientes de perda *K* antes e depois das modificações propostas.

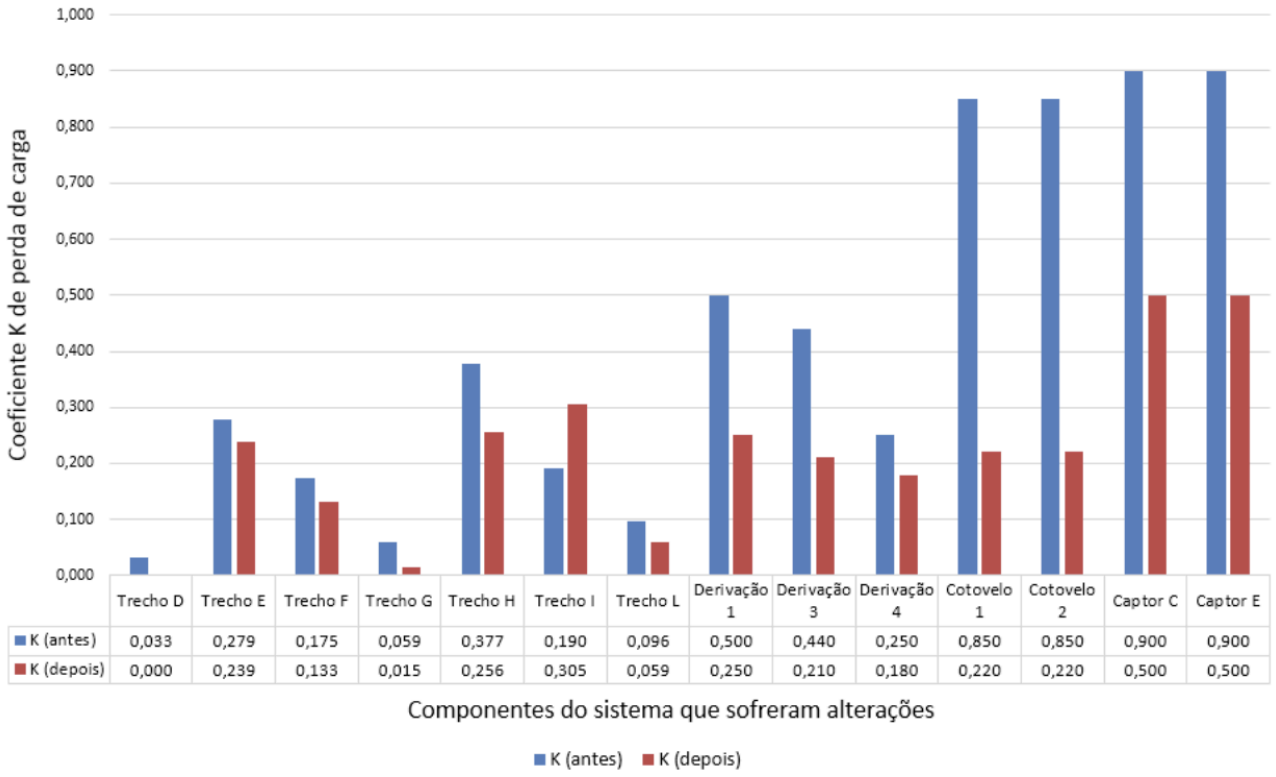
TABELA 4. Perdas de carga antes e depois das modificações propostas

Componente	*K*			Diferença (Pa)
	Antes (considerando Velocidade)		Depois	
	Medida	Recomendada		
Trecho A	2,69	48,53	48,53	0,00
Trecho B	0,00	78,30	78,30	0,00
Trecho C	173,92	212,25	212,25	0,00
Trecho D	0,96	11,00	0,00	11,00
Trecho E	8,23	94,23	80,86	13,38
Trecho F	9,10	59,12	44,81	14,31
Trecho G	3,06	19,90	5,20	14,70
Trecho H	29,31	127,23	86,34	40,89
Trecho I	51,58	64,24	103,06	-38,82
Trecho J	75,17	197,57	197,57	0,00
Trecho K	29,83	36,40	36,40	0,00
Trecho L	14,75	32,50	19,80	12,69
Derivação 1	69,20	168,90	84,45	84,45
Derivação 2	22,87	84,45	60,80	23,65
Derivação 3	30,40	148,63	70,94	77,69
Derivação 4	25,07	84,45	60,80	23,65
Cotovelo 1	44,18	287,13	74,31	212,81
Cotovelo 2	19,79	287,13	74,31	212,81
Trecho B1 (após filtro)	86,24	24,81	24,81	0,00
Curva 1	105,10	108,09	108,09	0,00
Curva 2	1000,00	131,74	131,74	0,00
Entrada do filtro	14,23	22,52	22,52	0,00

Componente	*K*			Diferença (Pa)
	Antes (considerando Velocidade)		Depois	
	Medida	Recomendada		
Saída do filtro	75,46	89,52	89,52	0,00
Filtro de mangas	161,70	1000,00	1000,00	0,00
Bifurcação em Y	7,49	202,68	202,68	0,00
Captor A (moega)	119,02	145,25	145,25	0,00
Captor C (abaixo britador)	33,47	304,02	168,90	135,12
Captor D (peneira)	115,66	145,25	145,25	0,00
Captor E (abaixo peneira)	244,07	304,02	168,90	135,12
Captor F (baia)	123,70	168,90	168,90	0,00
Total	2696,23	4688,74	3738,94	949,79

Fonte: autores.

FIGURA 9. Diferenças entre os valores dos coeficientes de perda *K* antes e depois das modificações propostas.



Fonte: autores.

3.2 Comparação dos valores de potências de acionamentos do exaustor

A partir do valor de perda de carga, é possível determinar a potência de acionamento necessária do exaustor do sistema. Considerando vazão volumétrica de 7,822 m³/s, massa específica do ar de 1,082 kg/m³ e considerando eficiência do exaustor de 85%, foram calculadas as potências de acionamento do exaustor antes e depois das modificações, cujos valores são de 43149,29 W (58,71 cv) e de 34408,52 W (46,81 cv), respectivamente. Fazendo uma comparação com os valores de potência calculados para o exaustor, nota-se que esses valores são inferiores a 60 cv, ou seja, menores que a do exaustor existente no sistema. A potência do exaustor atualmente em operação é suficiente para fornecer a vazão necessária no sistema.

Em termos econômicos, considerando um valor médio do custo de energia elétrica de 0,20 R$/kWh (informação fornecida pela Maringá Ferro-Liga S.A.), uma operação de 8 horas diárias por 365 dias tem 8740,71 W (11,9 cv) consumidos, calcula-se um valor de aproximadamente R$ 5104,00 de energia elétrica em um ano.

3.3 Valores estimados de pó coletado

Em relação à quantidade de pó coletado, considerando que a vazão original do sistema é de aproximadamente 3,7 m^3/s e que diariamente são coletadas 2 toneladas de pó em 8 horas de operação, nas mesmas condições. Mas com uma vazão de 7,8 m^3/s, estima-se que a quantidade de pó coletada será de 4,2 toneladas, um aumento significativo.

Para atender esta estimativa da quantidade de pó coletado, se faz necessário a substituição do modelo das mangas do filtro, pois atualmente utiliza-se um modelo de manga cilíndrico liso. Para aumentar a superfície de contato com o ar contaminado e conseguir assim coletar uma quantidade maior de pó, as mangas podem ser substituídas por um modelo também cilíndrico, mas sanfonado. O tempo de disparo das mangas também deve ser ajustado para as novas condições propostas.

3.3.1 Benefícios à Saúde dos Trabalhadores

Com relação aos aspectos de saúde dos colaboradores da empresa, em um dia de operação tem-se uma redução de 2,2 toneladas de contaminantes dispersos no ar em relação ao sistema original, segundo os valores estimados de pó captado. Conforme a Tabela 5, uma fração de 16,42% do pó analisado tem tamanho de partícula inferior a 37 µm, ou seja, aproximadamente 361 kg de pó com granulometria inferior a esta que poderia ser inalada está sendo coletada pelo sistema.

TABELA 5. Resultados de um teste granulométrico realizado nos laboratórios da Universidade Estadual Paulista (UNESP).

Peneiras — Mesh	Abertura em µm	Porcentagem em Massa
Retido na peneira de 100#	149	0,20%
Retido na peneira de 140#	105	0,85%
Retido na peneira de 325#	44	27,75%
Retido na peneira de 400#	37	54,78%
Passante na peneira de 400#	37	16,42%

Fonte: autores.

4. CONCLUSÕES

A partir da realização deste estudo, foi possível propor uma readequação em um sistema de despoeiramento de um britador de uma siderúrgica, a partir das informações a respeito das tubulações, dos captores e dos acessórios do sistema, visando o aumento de eficiência do mesmo. Em relação ao filtro de mangas presente no sistema, a readequação deste depende da manutenção a ser realizada por uma empresa especializada neste tipo de equipamento. Além disso, devido a maior quantidade de contaminantes removidos no sistema após as propostas de modificação, torna-se necessário uma substituição do modelo das mangas e tipo de elemento filtrante. Uma reprogramação da temporização dos disparos de ar comprimido também deve ser realizada, sendo um ajuste de campo.

Segundo as recomendações disponíveis na literatura para se reduzir as perdas de carga, juntamente com manutenção adequada dos equipamentos, podem ser obtidos valores satisfatórios para a vazão volumétrica de ar aspirado, a quantidade de contaminantes coletados e energia elétrica consumida, de modo a melhorar o desempenho do sistema. A manutenção do equipamento evita um desempenho indesejável, visto que entradas falsas de ar, cortinas dos captores em mau estado de conservação e modificações sem seguir os critérios recomendáveis, podem fazer com que o sistema disperse uma abundante quantidade de pó.

Uma pequena parcela de pó metálico possui tamanho suficiente para penetrar no trato respiratório humano, caso não sejam utilizados EPIs adequados. Um aumento na quantidade de pó coletado pelo sistema oferece mais segurança à saúde dos colaboradores da empresa. Além disso, a redução do pó que chega ao rio que margeia a fábrica, carregados pelas chuvas, evita que concentrações de metais, podendo ser tóxicas, afetem a vida aquática.

DECLARAÇÃO DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis por este trabalho.

REFERÊNCIAS

CORRÊA, Tatiana Lopez. **Bioacumulação de metais pesados em plantas nativas a partir de suas disponibilidades em rochas e sedimentos:** o efeito na cadeia trófica. 2006. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2006.

HAALAND, S. E. Simple and explicit formulas for the friction factor in turbulent pipe flow. **Journal of Fluids Engineering**, v. 105, n. 1, p. 89–90, 1983.

HISTORY CHANNEL. **O Melhor de Maravilhas Modernas:** DVD 4 - A Sociedade do Metal. 2009. 5 DVDs distribuídos pela Editora Multimídia Log On.

KALAY, Mustafa; CANLI, Mustafa. Elimination of essential (Cu, Zn) and non-essential (Cd, Pb) metals from tissues of a freshwater fish Tilapia zilli. **Turkish Journal of Zoology**, v. 24, n. 4, p. 429–436, 2000.

LIMA, Daniel Padilha de. **Avaliação da contaminação por metais pesados na água e nos peixes da bacia do rio Cassiporé, estado do Amapá, Amazônia, Brasil**. 2013. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Amapá, Macapá, 2013.

LISBOA, Henrique de Melo. Ventilação industrial. *In*: **Controle da poluição atmosférica**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2007. Cap. 6, p. 1–63.

MACINTYRE, Archibald Joseph. **Ventilação industrial e controle da poluição**. Rio de Janeiro: Grupo Gen / LTC, 1990. v. 1. 403 p.

MANGAL, Michael Jørn. **Assessing mercury contamination in the Amazon basin — 2001**. 2001. Disponível em: http://www.mangal.dk/mercury.pdf.

MENDES, René. **Patologia do trabalho**. 2. ed. [*S.l.*]: Atheneu, 2003. v. 2.

MENESES, Thiago Silveira. **Fauna, pesca e contaminação por metais pesados em pescado de tubarões no litoral de Sergipe**. 2008. Dissertação (Mestrado) — Universidade Tiradentes, Aracaju, 2008.

SILVA, Arlei Marques; GUERRA, Clever Jesus Zárate. Dimensionamento de sistema de ventilação exaustora para captação de serragem. **e-RAC**, v. 2, n. 1, p. 1–19, 2012.

SCHIRMER, Waldir Nagel; CORTEZ, Alison Moura; KOZAK, Pedro Altamir. Ventilação industrial: uma ferramenta na gestão de resíduos atmosféricos em indústrias moveleiras – estudo de caso. **Revista de Ciências Ambientais**, v. 2, n. 1, p. 1–15, 2008.