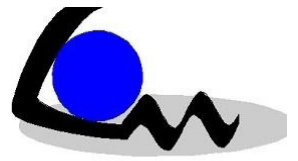




Universidade Federal de Uberlândia - UFU
Faculdade de Engenharia Mecânica - FEMEC
Curso de Graduação em Engenharia Mecânica
Laboratório de Tribologia e Materiais - LTM



Projeto de um Sistema de Exaustão num Microabrasômetro para realização de ensaios Tribocorrosivos

Luigi Gontijo Loureiro

Uberlândia MG
2018

Luiggi Gontijo Loureiro

Projeto de um Sistema de Exaustão num Microabrasômetro para realização de ensaios Tribocorrosivos

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada ao Curso de Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia Mecânica - FEMEC como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau em Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Profa. Dra. Regina Paula Garcia Santos

Uberlândia - MG
06 de Março 2018

Luiggi Gontijo Loureiro

Projeto de um Sistema de Exaustão num Microabrasômetro para realização de ensaios Tribocorrosivos

Trabalho de Conclusão de Curso defendida e aprovada em Uberlândia, 06 de Março 2018 , pela banca examinadora constituída pelos professores:

Profa. Dra. Regina Paula Garcia Santos
Universidade Federal de Uberlândia
Orientador

Prof. Dra. Priscila Ferreira Barbosa de Sousa
Universidade Federal de Uberlândia - UFU
Examinador 1

Prof. MSc. Vinícius Carvalho Teles
Universidade Federal de Uberlândia - UFU
Examinador 2

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus por ter me concedido pessoas maravilhosas em meu caminho durante esta jornada, depois aos meus pais, Antônio e Vânia que sempre me apoiaram incondicionalmente e me deram condições para que eu conquistasse mais este título tão almejado. As minhas irmãs Tassiana e Ingrid que sempre torceram por mim, mesmo não podendo em algum momento estar presente.

A minha esposa Suéllen que desde o início me incentivou e colaborou para que essa caminhada ficasse sempre mais tranquila.

A toda minha família, avós, tios, tias, primos e primas que sempre me apoiaram.

Aos amigos que fiz e que foram de inestimada ajuda para vencer os desafios.

A equipe do Laboratório de Tribologia e Materiais (LTM – FEMEC – UFU), onde fiz minha iniciação científica e pude aprender um pouco além, e por terem aberto as portas para que eu pudesse realizar esse trabalho de conclusão de curso.

E por fim a minha orientadora Dra. Regina Paula Garcia Santos por ter se dedicado e me direcionou e elucidou meus momentos de dúvidas deste trabalho.

Para todos, meu muito obrigado!

RESUMO

Neste trabalho de conclusão de curso, os conhecimentos das três principais áreas da engenharia mecânica (materiais, projetos mecânicos e termo-fluidos) foram aplicados para a concepção do sistema de exaustão para um equipamento de ensaios tribocorrosivos desenvolvido no Laboratório de Tribologia e Materiais (LTM). Tal equipamento trata-se de um microabrasomêtro de esfera fixa no qual é possível realizar simultaneamente ensaios de microabrasão e corrosão. Dessa forma conforme as características metodológicas dos ensaios eletroquímicos foi observado pelos usuários do equipamento a necessidade de instalação de um sistema de exaustão que evitasse a contaminação do ambiente e dos operadores do equipamento por gases tóxicos, subprodutos da corrosão. Respeitando as características, funcionais do equipamento e metodológicas dos ensaios, foi projetado, construído e instalado um sistema de exaustão que possibilitasse a retirada de gases tóxicos oriundos das soluções corrosivas de forma que não tornasse a atmosfera de realização dos ensaios turbulenta, o que poderia comprometer a eficiência dos ensaios tribocorrosivos. Para tanto foi concebido um sistema de exaustão local, foi considerada a necessidade de materiais que possivelmente não seriam agredidos pelos vapores gerados pelas soluções. Para o projeto e cálculo da vazão necessária para a captura dos vapores foram utilizadas normas descritas na literatura, bem como as perdas de carga necessária a serem vencidas pelo conjunto motor-ventilador. Após a montagem completa do sistema, foi possível através de ensaios com fumaça verificar que o sistema funcionaria conforme o projetado, entretanto para um maior desempenho há a necessidade de modificar o conjunto motor-ventilador, removendo os mesmos do fluxo direto de gases e o adaptando do lado de fora do duto, evitando o contato direto do mesmo com os gases.

Palavras-chave: Sistema de exaustão, corrosão, procedimentos padrões.

ABSTRACT

At this present undergraduate final project, the knowledge of the three main mechanical engineering fields (materials, mechanical designs and thermo-fluids) was applied to concept an exhaust system to an equipment of tribocorrosion test, which one was manufactured at Materials and Tribology Lab (LTM). Such equipment is a fixed ball micro abrasometer that can perform micro-abrasion and corrosion tests simultaneously. In this way, according with the methodological characteristics of eletrochemical tests the equipment users noted the need of install a fume exhaust system that would avoid contamination of the work environment and equipment users by toxic gases, corrosion byproducts. Respecting the equipment functional characteristics and the test methodologies, it was designed, built and installed a specifically exhaust system that made possible remove toxic gases originated from corrosion mixtures in a way that the assay atmosphere did not become disturbed (turbulent), what could compromise the tribocorrosion tests. For that goal a local exhaust system was created, in which the need was considered for materials that would not possibly be affected by the vapors generated by the solutions. To the project and calculation of flow rate required to retaining the released vapors were used standard procedures largely find at the currently literature, as well the head lost that should be overcome by the system motor/fan were quantified. After assembly completely all the system, was possible verify that the project would works exactly as designed, however to increase the system performance would be necessary modified the group motor/fan, taking it out of the main stream gas flow and remodeling it as an assembly on the surrounds of the pipe line, avoiding the main equipment to be in contact with the corrosion gases.

Keywords: Exhaust system, corrosion, standard procedures .

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Adaptação do equipamento de microabrasão para realizar ensaios de microabrasão-corrosão.	7
Figura 2 – Esquema do sistema utilizado por Thakare para ensaios de corrosão abrasão.	7
Figura 3 – Equipamento de micro-abrasão-corrosão projetdo no LTM.	9
Figura 4 – Variação da vazão em relação a distância da fonte.	15
Figura 5 – Diagrama de Moody.	19
Figura 6 – Exemplos de tabela com valores de K para cálculo de perda de carga.	20
Figura 7 – Vena Contracta.	21
Figura 8 – Pontos de corrosão nos equipamentos das Figuras (a), (b) e (c) do laboratório.	24
Figura 9 – Captor enclausurante.	27
Figura 10 – Vista lateral direita do esquema de montagem capela.	27
Figura 11 – Vista lateral direita do esquema de montagem capela.	28
Figura 12 – Vista frontal do esquema de montagem capela.	28
Figura 13 – Desenho realizado apra a fabricação da capela em acrílico.	29
Figura 14 – Capela montada em acrílico.	30
Figura 15 – Curva referente a vazão por mmca.	31
Figura 16 – Análise da curva para a vazão necessária do sistema.	32
Figura 17 – Sistema de fixação.	33
Figura 18 – Esquema de fluxo de ar no sistema de ventilação adotado.	34
Figura 19 – Sugestão de adaptação ao motor do ventilador.	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Parte da tabela de limites de tolerância.	11
Tabela 2 – Fator de desvio.	12
Tabela 3 – Tabela com velocidades de captura para operações específicas.	16
Tabela 4 – Velocidade do ar nos dutos e difusores.	17
Tabela 5 – Tabela com velocidades de captura para operações específicas.	22
Tabela 6 – Material e custo envolvido na construção do sistema de exaustão.	26
Tabela 7 – Dimensões dos equipamentos Sicflux.	31
Tabela 8 – Tabela referente as características técnicas dos equipamentos Mega.	32

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACGIH	"Association Advancing Occupational and Environmental Healths"
AE	Eletrodo Auxiliar
CAD	"Computer Aided Design"(Desenho Assistido por Computador)
Ce	Coeficiente de Entrada
cfm	Pés Cúbicos por Minuto
cfs	Pés Cúbicos por Segundo
d	Seção Circular (diâmetro) do Duto
Δp_{total}	Perda de Carga Total
EUA	Estados Unidos da América
f	Coeficiente de Atrito ou Coeficiente de Resistência
f_c	Fator de Carga
FD	Fator de Desvio
FISPQ	Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos
fpm	Pés por Minutos
ft^2	Pés Quadrados
g	Força Gravitacional
H	Altura da Base do Suporte
h_v	Pressão Dinâmica
K	Coeficiente de Perda de Carga Dinâmica
l	Comprimento do duto
L	Largura da Base do Suporte
LEO	Limites de Exposição Ocupacional
LT	Limite de Tolerância

LTM	Laboratório de Tribologia e Materiais
m/min	Metros por Minutos
m/s	Metros por Segundo
m^2	Metros Quadrados
m^3/s	Metros Cúbicos por Segundo
mg/m^3	Miligrama por Metro Cúbico
mm	Milímetros
mmCA	Milímetros de Coluna de Água
NBR	Norma Brasileira
NR	Norma Reguladora
p_e	Pressão estática no Captor
pH	Potencial Hidrogeônico
PIB	Produto Interno Bruto
PNB	Produto Nacional Bruto
ppm	Partes por Milhão
PVC	Policloreto de Vinila
Q	Vazão
RE	Eletrodo de Referência
Re	Número de Reynolds
S	Área Transversal da Seção de Escoamento
UK	Reino Unido
v	Velocidade do Fluido
V	Velocidade Média de Escoamento
V_c	Velocidade de Captura
v_c	Velocidade de Captura
v_d	Velocidade de Escoamento Dinâmico

V_d	Velocidade de Escoamento no Duto
WE	Eletrodo de Trabalho
γ	Peso Específico do Ar
ϑ	Coeficiente de Viscosidade Cinemática

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	OBJETIVOS	3
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1	Abrasão e Corrosão (Sistema tribocorrosivo)	5
3.2	Materiais de Ensaio para Microabrasão-corrosão	6
3.2.1	Equipamento de ensaios “in situ”	6
3.2.2	Equipamento “in situ” com célula de carga	8
3.2.3	Soluções ácidas e suas propriedades	9
3.3	Classificação dos sistemas de ventilação	13
3.3.1	Sistema de ventilação geral	13
3.3.2	Sistema local de exaustor	13
3.4	Considerações para um sistema de exaustão local	14
3.4.1	Captor	14
3.4.2	Cálculo de vazão	15
3.4.3	Dimensionamento de dutos	17
3.4.4	Ventilador	23
3.4.5	Filtros	23
4	METODOLOGIA	24
4.1	Materiais utilizados na montagem	25
5	RESULTADOS	27
5.1	Projeto e implementação de um sistema de exaustão	27
5.2	Montagem	29
6	MEMORIAL DE CÁLCULO	35
6.1	Cálculo de Vazão	35
6.2	Dimensionamento do duto	35
7	CONCLUSÃO	37
	Referências	38

1 INTRODUÇÃO

Ao fazer um levantamento sobre quais as principais causas de paradas em produções industriais, o desgaste de componentes se mostra como o grande fator responsável pelas interrupções, sejam elas programadas ou não. Podendo citar como exemplo a indústria sucro alcooleira, onde vários componentes estão expostos a abrasivos do tipo sílica além de soluções corrosivas provenientes da cana de açúcar. É notório o fato de que o desgaste sempre esteja presente, uma vez que ocorra contato e movimento relativo entre dois corpos. Este desgaste pode agir de forma benéfica ou de forma maléfica, a se definir pelo contexto onde ocorre.

No período entre 1999 e 2001 foi realizado um estudo nos EUA que estimou que o custo total da corrosão está na ordem de US\$ 276 bilhões, que tal valor corresponde a 3,1% do PIB americano sendo que de 20 a 30% desses custos podem ser evitados ([COSTS, 2002](#)). Ampliando-se este estudo para a realidade brasileira tem-se um custo com corrosão da ordem de US\$ 15 bilhões. No investimento em medidas preventivas contra a corrosão poderiam ser economizados anualmente 1% do PIB ou 5 bilhões de dólares no caso brasileiro ([COELHO, 2016](#)).

Da mesma forma estudos referentes aos custos com desgaste, ([JOST, 1966](#)), nos mais diversos setores industriais revelaram que as perdas relativas ao desgaste e ao atrito poderiam atingir uma ordem de 0,5% do PNB da Inglaterra, mais tarde outros autores ([ALLEN, 2003](#); [SINATORA, 2005](#)) verificaram que este valor estava subestimado e que na verdade os prejuízos estariam em torno de 1,5% do PNB ([JOST, 1990](#)), continuando seus estudos sobre o impacto das perdas por atrito na economia observou que somente o uso dos conhecimentos referente a Tribologia poderiam resultar numa economia de 20%, sem a necessidade de investimentos. De uma maneira geral as perdas ocasionadas pelo desgaste estão na ordem de 1-10% do PIB.

As perdas por problema de corrosão são perceptíveis nas indústrias químicas, petrolífera, naval, civil/arquitetural, de transportes, meios de comunicação dentre tantas outras, além de áreas como a medicina, odontologia e obras de arte. As perdas econômicas diretas, normalmente de fácil quantificação, passam por custos com substituição de peças, manutenção de processos, mão de obra e energia associada. Já as perdas indiretas, de mais difícil quantificação, podem ser descritas em perda de eficiência, paradas acidentais, contaminações ou mesmo, superdimensionamento de projetos, podendo muitas vezes, superar as perdas diretas. A crescente necessidade de estudos relevantes que avaliem a sinergia da abrasão e da corrosão em ambientes industriais tem uma grande importância tecnológica e industrial.

Levando isto em consideração, foi desenvolvido no Laboratório de Tribologia e Materiais (LTM) um microabrasômetro de esfera fixa, que é capaz de reproduzir em escala de forma simultânea ensaios de desgaste e corrosão. Sendo que para os ensaios corrosivos muitas vezes para simular de forma mais realista os ambientes encontrados na indústria é necessário a utilização de

reagentes com características mais agressivas, como no caso do ácido clorídrico (HCl) ou mesmo do ácido sulfúrico (H_2SO_4), em grandes proporções e temperaturas mais elevadas. Dessa forma a utilização desses reagentes sem um sistema de exaustão adequado tornou-se um fator limitante para os ensaios tribocorrosivos de materiais de elevada resistência à corrosão.

2 OBJETIVOS

O trabalho tem por objetivo implementar melhorias num equipamento denominado microabrasomêtro de esfera fixa, projetado e construído no Laboratório de Tribologia e Materiais (LTM). O mesmo vem sofrendo adequações ao longo do tempo de acordo com a utilização e a percepção dos usuários da necessidade de melhorias, a fim de garantir a realização de ensaios com maior exatidão e reprodutibilidade. Desta forma para ensaios microabrasivos-corrosivos constatou-se a necessidade de um sistema de exaustão para a coleta de gases oriundos do processo corrosivo quando utilizado ácidos agressivos.

Neste sentido, o presente trabalho visou a construção de um sistema de exaustão que evitasse a contaminação do ambiente e dos operadores do equipamento por gases tóxicos, subprodutos da corrosão. Para tanto, foram empregado conhecimentos técnicos das três principais áreas da engenharia mecânica (materiais, projetos mecânicos e termo-fluidos), de modo a atender as condições técnicas de operação dos ensaios tribocorrosivos e também questões relacionadas a segurança operacional do mesmo.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Tribologia, palavra originária do grego, que tem como derivação as palavras tribo, de esfregar e logos como estudo, é definida como a ciência e tecnologia de interação de superfícies que estão em movimento relativo ([HUTCHINGS, 1992](#)).

O ensaio de microabrasão é um método utilizado para medir a resistência ao desgaste abrasivo de um material em escala microscópica. Ele apresenta duas configurações, uma com esfera rotativa fixa, onde a esfera é movimentada diretamente pela fixação entre eixos coaxiais e a aplicação da força normal ocorre por meio de um sistema de alavanca na qual é posicionado o peso morto que age sobre a esfera ([TREZONA; ALLSOPP; HUTCHINGS, 1999](#)). Esta configuração de ensaio também permite a utilização de carga normal que excede o peso da esfera ([GANT; GEE, 2011](#)).

Para essa configuração é aplicada uma força normal sobre a esfera de ensaio ou sobre a amostra. Essa força é definida pelo usuário e faz com que os corpos entrem em contato. Com o movimento de rotação da esfera é criada uma força tangente às duas superfícies, a força de atrito.

No equipamento de esfera rotativa livre a amostra é fixa em um porta-amostra solidário a uma célula de carga, que capta em tempo real e continuamente ao longo do ensaio a força normal aplicada no teste.

Esta configuração de equipamento é caracterizada pela definição da força normal aplicada sobre a amostra ser o próprio peso da esfera. Consequentemente, o único modo de variar essa força é através da modificação da distância e da inclinação da amostra em relação ao eixo motor que gira a esfera.

Segundo [Gant e Gee \(2011\)](#), o ensaio de microabrasão é uma boa alternativa quando levamos em conta os outros métodos de testes tribológicos, visto que, é um ensaio relativamente barato, a área afetada da amostra é relativamente pequena e o tempo necessário de ensaio é curto. Além disso, o teste produz crateras nas amostras cujas medidas de profundidade são da ordem de micrômetros, particularmente adequados para avaliar a resistência ao desgaste de finos revestimentos.

A corrosão é basicamente definida como sendo a deterioração de um material, a partir de sua superfície através do meio no qual está inserido. O processo envolve reações de oxidação e de redução (redox) que no caso de materiais metálicos transformam o metal ou componente metálico em óxido, hidróxido ou sal. Para melhor elucidar este processo é necessário iniciar o estudo avaliando o material e o meio ao qual está inserido. Segundo [GENTIL \(1996\)](#) a corrosão é resultado da deterioração de um material, geralmente metálico, por ação química ou eletroquímica do meio ambiente aliada ou não a esforços mecânicos.

A capacidade corrosiva da atmosfera depende basicamente:

- da umidade relativa;
- das substâncias poluentes (particulados e gases);
- da umidade relativa;
- do tempo de exposição ao eletrólito;
- e da temperatura.

Além dos gases oxigênio O_2 e nitrogênio N_2 naturalmente constituinte da atmosfera é comum detectar também a presença de outros gases oriundos de poluição dentre os quais se podem citar:

- monóxidos de carbono, CO ;
- dióxido de carbono, CO_2 ;
- ozônio, O_3 ;
- dióxido de enxofre, SO_2 ;
- trióxido de enxofre, SO_3 ;
- monóxido de nitrogênio, NO ;
- dióxido de nitrogênio, NO_2 ;

Adicionalmente, em áreas de maior densidade populacional e industrial verifica-se principalmente a presença dos gases halogenados:

- gás sulfídrico, H_2S ;;
- amônia, NH_3 ; ;
- cloreto de hidrogênio, H_2F_2 ;
- e cloro, Cl_2 ;

Tais gases em contato com a umidade por meio de reações químicas são capazes de formar substâncias corrosivas ([GENTIL, 2007](#)).

3.1 Abrasão e Corrosão (Sistema tribocorrosivo)

Usualmente, os temas abrasão e corrosão são tratados de maneira isolada, com estudos levando em conta materiais que irão sofrer mais facilmente, ou não, corrosão em ensaios de corrosão ([PANOSSIAN, 1993](#)), e materiais que irão sofrer abrasão de forma mais ou menos intensa nos ensaios de abrasão ([HUTCHINGS, 1992](#); [ZUM-GAHR, 1987](#)).

Analisando somente os efeitos da abrasão, pode-se determinar como os esforços mecânicos provocam o desgaste nas superfícies dos materiais, e na corrosão determina-se de forma química como os elementos dos materiais através de interação material-material ou material-meio podem levar ao desgaste do mesmo.

Alguns ensaios realizados de microabrasão-corrosão, realizados separadamente e com associação desses fenômenos através de tratamento matemático posterior, apresentam muita dispersão e erros (BELLO; WOOD; WHARTON, 2007) isso devido ao alto grau de complexidade envolvida nos dois sistemas. Segundo Wood et al. (2010) a realização de ensaios combinados “*in situ*” pode atenuar estes erros e dispersões.

Lekka et al. (2005) realizou ensaios de abrasão-corrosão utilizando revestimento de níquel puro e ensaios com revestimento de níquel e sílica, imerso em solução de 0,5 mols de Na_2SO_4 (sulfato de sódio), variando a carga entre 1 e 3 quilos. Foi obtido uma grande diferença de potencial de corrosão sob condições abrasivas para os dois tipos de revestimentos, mas não mostram grandes diferenças quanto ao coeficiente de atrito. Entretanto para este ensaio, a utilização de um equipamento sem uma célula de carga capaz de mensurar simultaneamente a força normal e a força tangencial não permitiram medir a força de atrito, variável esta que é essencial para a compreensão da sinergia entre esses dois fenômenos.

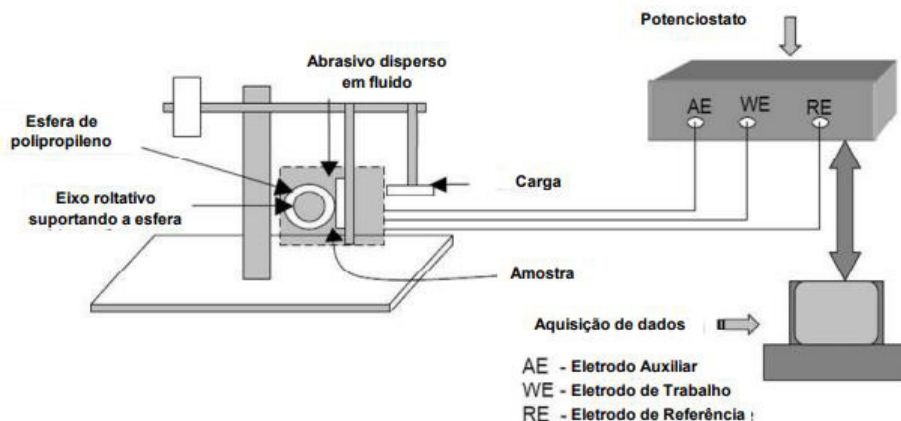
Nesse contexto de múltiplas variáveis agindo simultaneamente ainda não se tem uma metodologia clara para análise de sistemas tribocorrosivos, dessa forma torna-se de suma importância para à compreensão desse tema o desenvolvimento de equipamentos e metodologias mais precisos. Diversos estudos, como os desenvolvidos por Stack, Jawan e Mathew (2005), entre outros, têm sido realizados no intuito de melhor elucidar essa temática.

3.2 Materiais de Ensaio para Microabrasão-corrosão

3.2.1 Equipamento de ensaios “*in situ*”

Os pesquisadores Stack, Jawan e Mathew (2005) apresentaram um artigo sobre a construção de um microabrasômetro em meio corrosivo. O equipamento utilizado foi um produzido pela Plint and partners Phoenix, UK, de modelo TE-66, que era comercializado na época. Uma esfera de 25 mm era colocada entre dois eixos coaxiais, caracterizando com um sistema de esfera rotativa fixa, onde um dos eixos estava ligado a um motor de corrente direta, um contador fazia a contagem do número de revoluções do eixo. Uma bomba peristáltica era utilizada para gotejar de forma contínua uma solução contendo uma solução corrosiva com partículas abrasivas sobre o contato. O contra peso, composto por braço em ‘L’, o qual de um lado estava em contato com a amostra e da outra ponta havia um peso morto. Tal equipamento conforme mostrado esquematicamente na Figura 1, tinha como objetivo a investigação dos efeitos de duas variáveis, carga aplicada e potencial, que foram investigados na taxa de desgaste, permitindo a quantificação das contribuições de corrosão e desgaste.

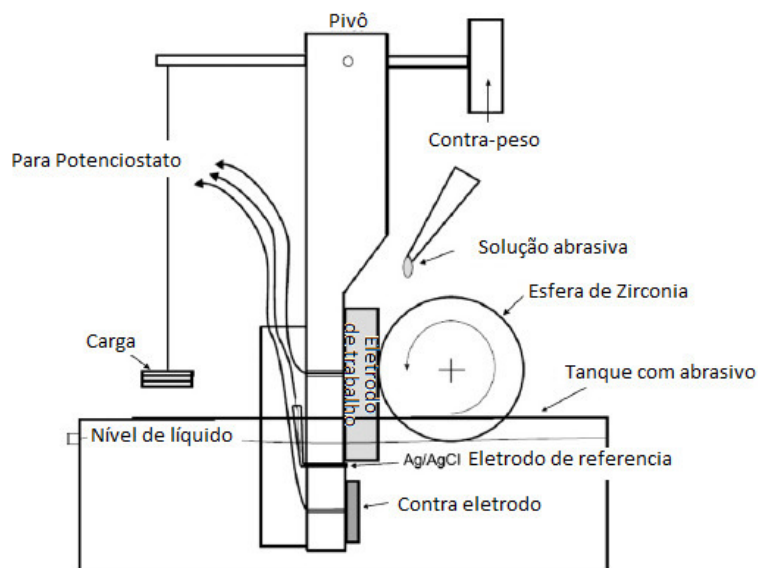
Figura 1 – Adaptação do equipamento de microabrasão para realizar ensaios de microabrasão-corrosão.



Fonte: Stack, Jawan e Mathew, 2005.

Thakare et al. (2009) apresentou uma modificação em um aparelho de microabrasão, conforme Figura 2, abaixo, desenvolvida em Delrin (polioximetileno) e sem metal na estrutura de fixação, garantindo com isso o isolamento elétrico total, para que fosse inseridos eletrodos de referência, contra eletrodo e um eletrodo de trabalho, todos ligados a um potenciostato.

Figura 2 – Esquema do sistema utilizado por Thakare para ensaios de corrosão abrasão.



Fonte: Thakare et al., 2009.

Entretanto tais equipamentos por não possuírem uma célula de carga acoplada, ainda não eram capazes de mensurar as forças normais e tangenciais necessárias para determinar de maneira mais precisa a distância de deslizamento e a severidade do desgaste.

Por se tratar de equipamentos com alto grau de refino e precisão, torna pouco acessível para muitos laboratórios adquirir de fabricantes conhecidos, já que os valores praticados pelos mesmos são extremamente elevados, além do que, não são produzidos em larga escala.

3.2.2 Equipamento “*in situ*” com célula de carga

Tendo necessidade da busca por ensaios que conseguiriam mensurar as forças normais e tangenciais necessárias para determinar o coeficiente de atrito de forma funcional e viável economicamente, foi desenvolvido um equipamento de microabrasão com uma célula de carga acoplada (Figura 3) capaz de identificar e quantificar as forças necessárias para a determinação do coeficiente de atrito durante os ensaios de microabrasão-corrosão. Tal equipamento conforme Santos et al. (2015), pode ser dividido em quatro partes: Monitoramento da carga e da rotação, sistema eletroquímico, aquisição e processamento de imagens além de preparação das soluções. A parte mais simples é o sistema de preparação da solução, composto por um agitador eletromagnético e uma bomba peristáltica. Uma câmera digital assegura a medição da calota de desgaste. A carga pode ser aplicada utilizando o peso morto ou um atuador eletromagnético, portanto, é possível executar um teste com uma força normal fixa ou variável. A força é transmitida do seu ponto de aplicação para a amostra por um sistema de braço de alavanca.

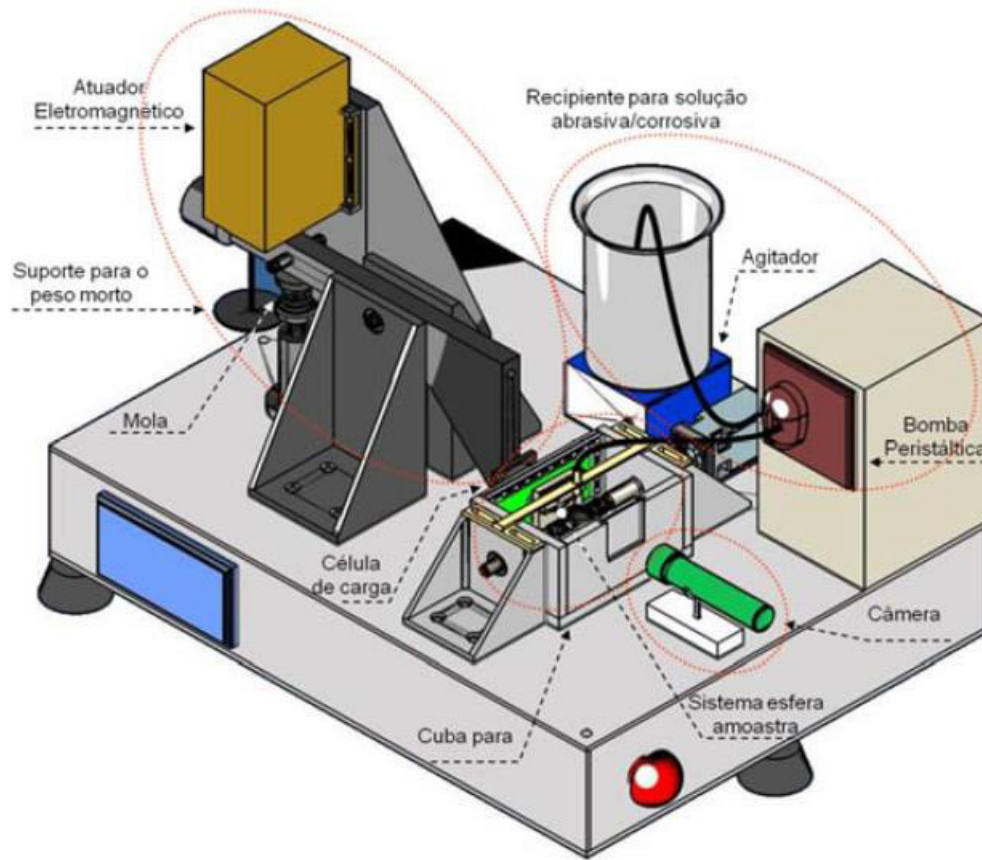
Para proteger a célula de carga da solução corrosiva, esta foi posicionada no exterior da célula eletroquímica e a carga é transmitida usando uma haste polimérica, através de uma membrana flexível agindo como barreira, cuja interferência mecânica é desprezível.

A velocidade de rotação da esfera é assegurada por um motor de corrente contínua controlado, usando controle em malha fechada, onde o sinal de realimentação de velocidade é fornecida por um encoder.

A célula eletroquímica é feita de metacrilato de metila. Os eletrodos de um potenciostato Biologic, modelo SP-150, foram posicionados no interior da célula eletroquímica. Um nível constante de eletrólito garante o contato elétrico entre todos os eletrodos. (SANTOS et al., 2015)

Tais funcionalidades puderam ser confirmadas conforme as teses de doutorado de Labiapari et al. (2015) e Ardila et al. (2013).

Figura 3 – Equipamento de micro-abrasão-corrosão projetado no LTM.

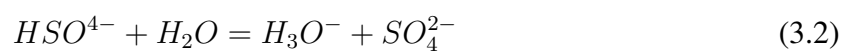
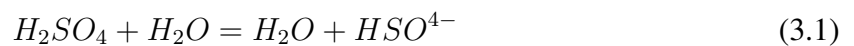


Fonte: SANTOS et al.,2015.

3.2.3 Soluções ácidas e suas propriedades

As soluções ácidas são responsáveis por fornecer o meio corrosivo para que haja uma diferença de potencial, favorecendo com isso a troca de elétrons entre a amostra e o meio. Nos ensaios que utilizam soluções ácidas mais agressivas, é comum encontrarmos estes dois tipos de ácido: o ácido sulfúrico e o ácido clorídrico.

Ambos ácidos são considerados fortes, pois se ionizam completamente em solução a temperatura e pressão constantes. Em uma reação com a água (hidrólise), o ácido sulfúrico apresenta a seguinte reação:



Formando como resultado uma molécula de hidroxônio, que é o nome mais simples para um cátion oxônio e uma molécula de sulfato com o átomo de oxigênio ionizado, e ao doar os íons (elétrons na forma negativa) em excesso fica caracterizada a oxidação.

Com o ácido clorídrico a reação é:



Obtendo como resultado um íon de cloro e hidrônio, que é extremamente reativo e muito ácido, o que facilita as reações de oxirredução.

O ácido clorídrico reage com um grande número de metais formando cloreto e liberando hidrogênio gasoso em reações de deslocamento. O magnésio reage imediata e bastante vigorosamente, o zinco reage um pouco menos vigorosamente que o magnésio.

Como foi citado acima, ambas as soluções apresentam características que propiciam a alteração no potencial hidrogênico (pH) de uma solução. O pH é uma escala numérica adimensional utilizada para especificar a acidez ou basicidade de uma solução aquosa. Uma boa aproximação geralmente utilizada é o logaritmo na base dez da concentração de íons hidrônio em mol por litro multiplicado por menos um (-1). A rigor, o pH é o logaritmo na base dez da atividade de íons hidrônio em mol por litro multiplicado por menos um (-1). As soluções com pH menor do que 7 são ácidas e maior do que 7 são básicas (BUCK et al., 2002).

Ao levarmos em conta a periculosidade destas substâncias, devemos nos atentar para os principais sintomas e malefícios que os mesmos causam para o corpo humano. De acordo com a Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos (FISPQ) documento normalizado pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) conforme NBR 14725-4, responsável pela informação sobre os procedimentos de segurança, risco a integridade física, saúde, acidentes, forma de armazenamento, transporte e combate ou neutralização a intoxicação ao fogo ou ações de emergência.

Desta forma, temos para o ácido sulfúrico que:

A inalação de vapor ou névoa pode causar tosse, espirros, sangramento nasal, broncoespasmo, dificuldade respiratória e edema pulmonar. A ingestão causa corrosão das membranas mucosas da boca, garganta e esôfago, dor epigástrica intensa com náuseas e vômitos semelhantes à borra de café, edema de glote e asfixia. As graves queimaduras produzidas pelo contato do ácido com a pele evoluem com lesões ulceradas de cicatrização lenta, fibrose cicatricial e limitações funcionais.

Já para o ácido clorídrico, temos:

A ingestão, causa dor intensa devido à queimadura na boca, faringe e abdômen. Incidência de vômito e diarreia escura, podendo causar queda de pressão e perfuração do estômago e do esôfago. Em caso de inalação, tosse, sufocação, cefaleia e tontura. Ao entrar em contato com a pele, causa queimadura com coloração marrom ou amarelada de difícil cicatrização e dor forte e constante. Em contato com os olhos, dor, lacrimejamento e edema da conjuntiva. Os vapores podem causar corrosão dos dentes e necrose. Bronquites crônicas são bastante comuns nos expostos, além de sofrerem ataques de broncopneumonia. São observados distúrbios no trato intestinal. Na pele ocorre a dermatose.

De acordo com a *Association Advancing Occupational and Environmental Healths* (AC-GIH) os Limites de Tolerância (LT) ou Limites de Exposição Ocupacional (LEO), referem-se às concentrações ou intensidades dos agentes ambientais nas quais se acreditam que a maioria dos trabalhadores possa estar exposta, repetidamente, dia após dia, sem sofrer efeitos adversos à saúde. É importante ressaltar que, devido à susceptibilidade individual, uma pequena porcentagem de trabalhadores pode apresentar desconforto com relação a certas concentrações ou intensidades inferiores aos limites de exposição. Portanto, os limites de exposição são recomendações e devem ser utilizados como guias nas práticas de avaliação, não devendo ser considerados uma linha divisória entre concentrações seguras e perigosas. O correto é manter as concentrações ou as intensidades de qualquer agente no nível mais baixo possível. Fatores tais como carga, intensidade do trabalho, condições ambientais, frequência respiratória e cardíaca também devem ser considerados, pois podem conduzir a um aumento na quantidade do produto químico absorvido quando se avalia os riscos para os trabalhadores.

A Norma Reguladora 15 (NR-15) estabelece em seu anexo 11, que se refere aos Agentes químicos cuja insalubridade é caracterizada por limite de tolerância e inspeção no local de trabalho, determina os valores limites da concentração dos agentes químicos para os quais a maioria dos trabalhadores poderia permanecer exposta 8 horas diárias e 48 horas semanais durante toda a vida laboral, sem apresentar nenhum sintoma de doenças. Os valores apresentados na Tabela 1 especificam valores calculados em função da exposição média no tempo (média ponderada com um valor máximo especificado), valores teto, asfixiantes simples e indicação de absorção também pela pele.

Tabela 1 – Parte da tabela de limites de tolerância.

Agentes Químicos	Valor teto	Absorção também p/ pele	Até 48 horas semana		Grau de insalubridade a ser considerado no caso de sua caracterização
			ppm*	mg/m3**	
<i>Acetaldeído</i>			78	140	máximo
<i>Acetato de cellsolve</i>		+	78	420	médio
<i>Acetato de cellsolve</i>				-	-
<i>Acetato de etila</i>			310	1090	mínimo
<i>Acetato de cellsolve</i>			-	-	-
<i>Acetileno</i>			Axfixiante	simples	-
<i>Acetona</i>			780	1870	mínimo
<i>Acetoanitrila</i>			30	55	máximo
<i>Ácidocianídrico</i>		+	8	9	máximo
<i>Ácido clorídrico</i>	+		4	5,5	máximo
<i>Ácido crômico</i>			-	0.04	máximo
<i>Ácido acético</i>			-	-	-
<i>Ácido fluorídrico</i>			2,5	1,5	máximo
<i>Ácido fórmico</i>			4	7	médio
<i>Ácido fórmico</i>			-	-	-
<i>Acrilato de metila</i>		78	8	27	máximo

Fonte: <http://trabalho.gov.br>, NR15-ANEXO11- alterado.

O campo valor teto é um indicativo de que tais limites não deverão ser ultrapassados em momento algum durante a jornada de trabalho. Quando este campo estiver assinalado na Tabela 1, deverá ter o seu valor ajustado utilizando uma segunda tabela; Tabela 2, onde o valor em *ppm* ou *mg/m³* informado no Tabela 2 deverá ser multiplicado por um fator de desvio (F.D), correspondente ao seu intervalo.

Tabela 2 – Fator de desvio.

Quadro N.º2			
L.T			F.D
(pp, ou mg/m^3)			
0	a	1	3
1	a	10	2
10	a	100	1,5
100	a	1000	1,25
acima	de	1000	1,1

Fonte: <http://trabalho.gov.br>, NR15-ANEXO11- **alterado**.

Com isso, é necessário conhecer quais as formas de determinar quando o ambiente está realmente com características ácidas. Foi buscado em literaturas formas de mensurar a quantidade de ácido presente em um ambiente confinado, e no trabalho de Cruz e Campos (2008), é detalhado os métodos de amostragem e métodos analíticos para a obtenção de compostos reduzidos de enxofre atmosférico.

Dentre os métodos de amostragem apresentados pelas autoras, a captura criogênica, na qual, a amostra é succionada e condensada e na sequência congelada no interior de um tubo vazio, imerso em um fluido refrigerante. Estes tubos são feitos de vidro, teflon ou aço inoxidável. De fácil manuseio e limpeza, possuem normalmente dimensões reduzidas (comprimento 8-30 cm, diâmetro interno 3-6 mm, diâmetro externo 4-10 mm) e têm formato de ‘U’, reto ou outras configurações, e a captura por adsorção em sólidos ou metais, que consiste em fenômeno de superfície, onde as moléculas são ligadas a um sólido por interações intermoleculares. A força de adsorção depende do tamanho e forma dos poros, e da natureza da superfície adsorvente, são os métodos de amostragem mais utilizados.

A cromatografia gasosa é o método mais frequentemente utilizado para determinação de baixos níveis de compostos reduzidos de enxofre em matrizes gasosas, devido à volatilidade destes compostos, à excelente capacidade de separação associada à facilidade de detecção. No entanto é caro e requer equipamentos específicos (CRUZ; CAMPOS, 2008).

Pela necessidade de dar continuidade aos ensaios, mesmo sem ter as condições de mensurar as quantidades de ácido sulfúrico em suspensão, foi preciso buscar alternativas para que o ambiente laboratorial não fosse afetado. E a solução encontrada foi a utilização de um sistema de

ventilação que pudesse direcionar os gases para fora do laboratório de forma segura.

De acordo com o autor [Macintyre \(1990\)](#) ventilação industrial é em geral entendida como a operação realizada por meios mecânicos que desempenha a função de controlar a temperatura, distribuição do ar, a umidade e a eliminar agentes poluidores do ambiente, tais como: gases, vapores, poeiras, fumos, névoas, microrganismos e odores, designados por “contaminantes” ou “poluentes”. Podem-se considerar também como contaminantes substâncias que normalmente existem na composição do ar normal quando elas excedem determinados teores ou índices de concentração, passando a oferecer risco maior ou menor à saúde daqueles que se expõem durante tempo considerável ao ar que as contém.

A boa ventilação do local de trabalho contribui para o conforto e eficiência dos trabalhadores, além de colaborar para a manutenção do estado de saúde. O trabalho em condições extremas de temperatura, umidade e contaminantes químicos podem trazer efeitos adversos sobre o estado físico e a saúde do trabalhador.

3.3 Classificação dos sistemas de ventilação

Dentro da ventilação industrial possuímos dois sistemas:

- Sistema de ventilação geral;
- e sistema de ventilação local exaustora.

3.3.1 Sistema de ventilação geral

Tem como finalidade realizar a ventilação de um ambiente, e pode ser subclassificada em natural e em geral diluidora.

No sistema de ventilação natural não são empregados recursos (equipamentos) mecânicos para promover o deslocamento de ar, para tanto faz-se o uso de janelas, portas as quais permitam o fluxo de ar para dentro e fora do ambiente.

No sistema geral diluidora são empregados equipamentos mecânicos que promovam a ventilação do ar no ambiente, que pode ocorrer através do insuflamento, exaustão ou insuflamento e exaustão ([FILHO; MELO, 1992](#)).

3.3.2 Sistema local de exaustor

No sistema local exaustora, os contaminantes ou poluentes são captados por um sistema de exaustão reduzindo drasticamente a quantidade disponível que possa entrar em contato com o ambiente. Tal captação é feita por meio de uma exaustora, causando um fluxo direcionado para uma tubulação até um filtro ou um ambiente externo ([MACINTYRE, 1990](#)).

O sistema local exaustora é formado por:

1. Captores - local onde é captado o fluido (ar) com as impurezas;
2. Dutos - por onde passa o fluido;
3. Filtro - sistema responsável pela filtragem e limpeza do fluido;
4. Chaminé - responsável por lançar o fluido transportado até o ambiente externo;
5. Conjunto ventilador-motor - conjunto que fornece ao sistema a energia cinética necessária para arrastar o fluido de um ponto A até um ponto B.

3.4 Considerações para um sistema de exaustão local

O projeto adequado, instalação e funcionamento de cada uma das partes é importante para a eficiência e eficácia do sistema, influenciando, portanto na performance final do mesmo.

A captação dos poluentes é um ponto fundamental do sistema. Este não atingirá seus objetivos, se não houver uma captação adequada dos poluentes.

3.4.1 *Captor*

O captor é uma peça ou dispositivo no qual, pela diferença de pressões entre o ar ambiente e o existente no captor, estabelece-se uma corrente para o interior do mesmo. A corrente gasosa prossegue pelos dutos até o ventilador.

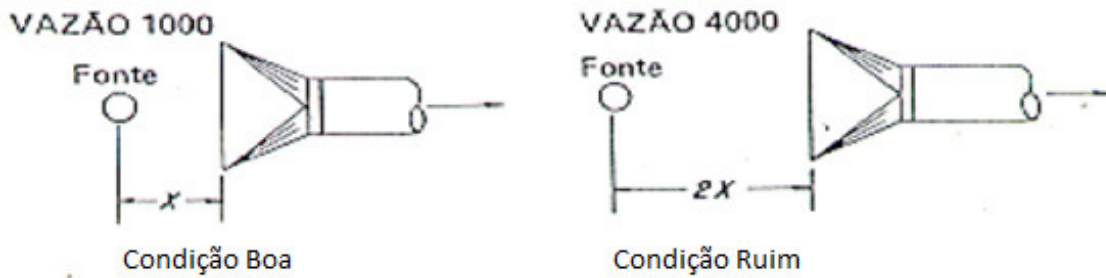
É preciso levar em conta dois tipos de velocidades:

- Velocidade de escoamento no duto;
- Velocidade a qual o ar com as partículas, os vapores ou os gases se deslocam do local onde estes contaminantes estão sendo produzidos até a entrada do captor.

A fim de evitar que os poluentes não se espalhem pelo recinto e não afete o próprio operador junto ao equipamento gerador do contaminante, é necessário criar uma corrente de ar capaz de arrastar o ar desde o local de formação do poluente até a boca do captor ([MACINTYRE, 1990](#)).

O captor deve ser colocado o mais próximo possível da fonte. A vazão, em geral, varia com o quadrado da distância, devido a ação de correntes transversais (Figura 4). Direção do fluxo de poluente captado em relação ao trabalhador ([ASSUNÇÃO, 1989](#)).

Figura 4 – Variação da vazão em relação a distância da fonte.



Fonte: [MACINTYRE, 1990](#) - alterada.

Os gases e vapores se misturam com o ar, e esta mistura passa a se comportar como um todo, devendo ser considerada a densidade da mistura. A crença de que gases e vapores mais densos sempre se dirigem para o solo, não é verdadeira no caso de concentrações usuais em ambientes de trabalho. Só ocorre em casos de vazamentos acidentais.

3.4.2 Cálculo de vazão

O cálculo de vazão, representado pela Equação 3.4, tem por base a equação da continuidade e também, o princípio da conservação de energia dos fluidos escoantes ([MIKHAILOV, 2005](#)). Os quais são correlacionados por:

$$Q = S * V \quad (3.4)$$

Sendo,

Q - a vazão, expressa em metros cúbicos por segundo [m^3/s].

S - a área transversal da seção de escoamento, em metros quadrados [m^2].

V - a velocidade média de escoamento do ar em metros por segundo [m/s].

Tal equação demonstra que o valor de vazão é obtido pela multiplicação da área da seção normal aos filetes líquidos em escoamento pela velocidade média na mesma seção ([MACINTYRE, 1990](#)).

3.4.2.1 Velocidade de captura (V_c)

É a velocidade que deve ter o ar na região estabelecida, de forma a captar os poluentes, conduzindo-os para dentro do captor. Se o poluente emitido no ponto mais desfavorável for captado, então, em todos os demais os poluentes também serão captados (MACINTYRE, 1990).

A Tabela 3 fornece os valores das velocidades de captura V_c de acordo com o tipo de operação desenvolvido, bem como as observações de onde tal velocidade se encontra nos diferentes tipos de captores. Os valores apresentados são recomendados pela ACGIH Industrial Ventilation Guide - 1972.

Tabela 3 – Tabela com velocidades de captura para operações específicas.

Operação	Velocidade de Captura (m/min)	Observações
*Jato de Areia		
- Em cabines	150	Captor envolvendo totalmente;
- Em salas	18-30	fluxo de captação descendente
*Ensacamento de material granulado fino		
- Com sacos de papel	30	Em cabine
	60	Em cabine
- Com sacos de pano	120	No ponto de formação (exaustão local)
*Coifa de laboratório	30-45	Na face da coifa
	37-60	Fluxo descendente, através de grelha na bancada
*Forja (manual)	60	Na face do envoltório
*Elevadores de grãos	152	Na face da coifa
*Máquinas de empacotamento	15-30	Na face da cabine
	22-45	Fluxo descendente

Fonte: MACINTYRE, 1990 - alterada.

3.4.2.2 Velocidade de escoamento (V_d)

É a velocidade que deve ser imposta ao fluido durante o escoamento ao longo dos dutos. As tabelas da NB-10/1978 da ABNT fornecem os valores recomendados de velocidade de escoamento em dutos de ar e sistema de baixa pressão.

A Tabela 4 apresentada a seguir, descreve a velocidade do fluido necessária em relação a regiões específicas do duto, além, das velocidades máximas permitidas em dois ambientes distintos: edifícios públicos e na indústria de modo geral.

Tabela 4 – Velocidade do ar nos dutos e difusores.

Designação	Edifícios Públicos	Indústria	
	(m/min)	(m/min)	(m/s)
Entrada de ar no duto	150-270	150-360	2,5-6,0
Filtros	90-110	110-120	1,8-2,0
Lavador de ar	150-210	150-210	2,5-3,5
Aspiração do ventilador	150-300	300-430	5,0-7,2
Saída do ventilador	600-660	720-840	12,14
Dutos principais	390-480	540-600	9-10
Ramais horizontais	270-390	180-540	3-9
Ramais verticais	210-360	240-480	4-8
Difusores ou bocas de insuflamento	30-120	60-300	1-5

Fonte: [MACINTYRE, 1990](#) - alterada.

Dutos principais devem possuir uma velocidade variando entre 9 e 10 metros por segundo quando utilizados em indústrias.

3.4.3 Dimensionamento de dutos

O sistema de dutos vem a ser uma disposição de tubulações para a condução do ar à baixa pressão, onde os efeitos potenciais estacionários sob este fluido podem ser adotados como desprezíveis ([MACINTYRE, 1990](#)).

3.4.3.1 Dutos de seção circular

Após determinar qual a área transversal de escoamento, utilizando a equação de continuidade e o princípio de Bernoulli, é possível através da Equação 3.5, citada abaixo, determinar a seção circular do duto necessária ao escoamento.

$$d = \sqrt{\frac{4 * S}{\pi}} \quad (3.5)$$

Onde d é expresso no sistema internacional de unidades ou pelo sistema inglês de notações.

3.4.3.2 Perda de Carga em Dutos Circulares

A equação de Bernoulli nos revela que, se considerarmos a unidade de peso de um fluido escoando em regime permanente entre dois pontos distintos, a e b , de um conduto; o ponto a terá energia igual à do ponto b acrescido da quantidade energética dissipada entre os dois pontos. Tal energia dissipada é usualmente conhecida como perda de carga.

O cálculo da perda de carga em dutos circulares representado matematicamente pela Equação 3.6 pode ser efetuado usando a formulação universal de Darcy e Weisbach, a qual utiliza-se de conhecimentos prévios da rugosidade do duto, peso específico e viscosidade da mistura gasosa escoante (MACINTYRE, 1990).

$$\frac{\Delta p}{\gamma} = \left(f * \frac{l}{d} * \frac{v^2}{2g} \right) \quad (3.6)$$

Onde:

f - é o coeficiente de atrito ou de resistência ao escoamento, obtido com auxílio do número de Reynolds e diagrama de Moody;

l - é o comprimento do duto em metros;

d - é o diâmetro do duto em metros;

v - a velocidade em metros por segundo;

γ - é o peso específico do ar em quilograma-força.

Para a determinação do coeficiente de atrito, quando não fornecido pelo fabricante do material, é necessário calcular o número de Reynolds, definido pela Equação 3.7:

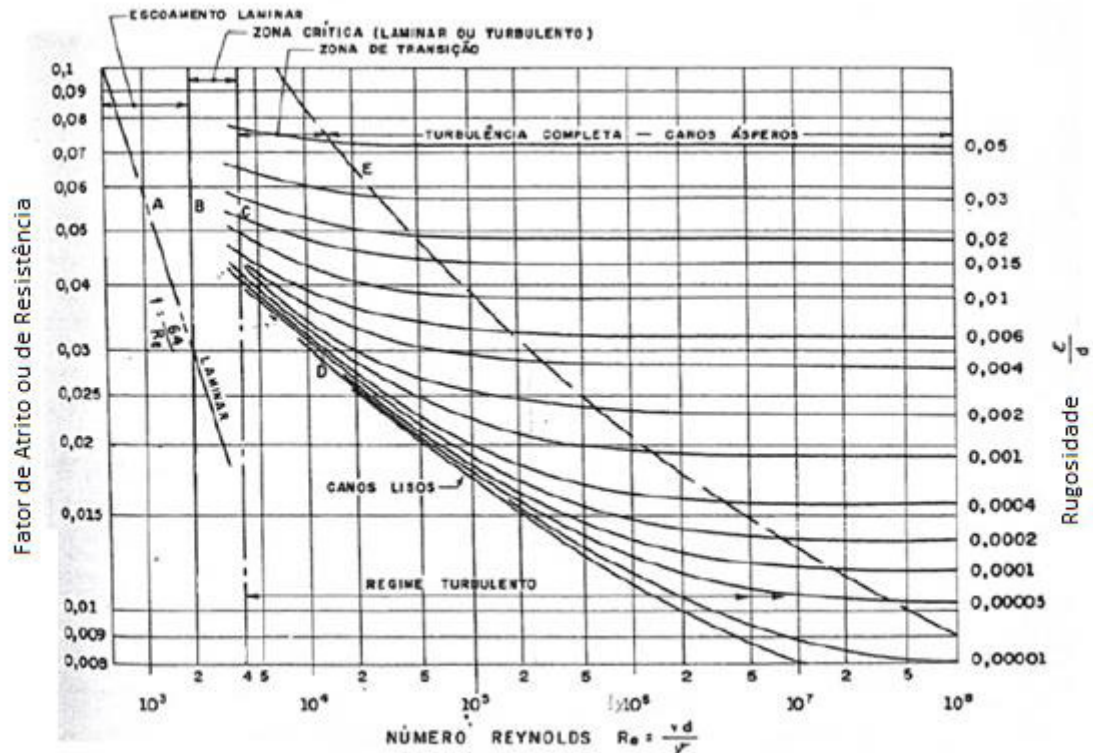
$$Re = \left(\frac{v * d}{\vartheta} \right) * \gamma \quad (3.7)$$

Onde:

ϑ - é o coeficiente de viscosidade cinemática, em micropascal.

Posteriormente utilizar o diagrama de Moody, conforme Figura 6.

Figura 5 – Diagrama de Moody.



Fonte: [MACINTYRE, 1990](#).

3.4.3.3 Pressão dinâmica

Devido a presença de peças ao longo dos dutos de uma ventilação forçada, a perda de carga do sistema, em razão do atrito, das turbulências e das variações de velocidade, pode ser aumentada e por isso também devem ser calculadas.

Tal acréscimo na perda de carga em função destas peças ao longo da rede de dutos leva o nome de ‘pressão dinâmica’, e é representada por h_v ([ASSUNÇÃO, 1989](#)).

Para determinar as perdas de carga devido a pressão dinâmica, deve-se consultar tabelas adequadas, onde para cada tipo de peça, se encontra um coeficiente ‘K’ que, multiplicado por h_v fornece a perda de carga Equação 3.8. A Figura 6 possui exemplos de alguns tipos de peças com seus respectivos coeficientes.

Se a velocidade dada for no sistema inglês de unidades (pés por minuto), a Equação 3.8 deverá ser usada:

$$h_v = \frac{v_d^2}{4005^2} \quad (3.8)$$

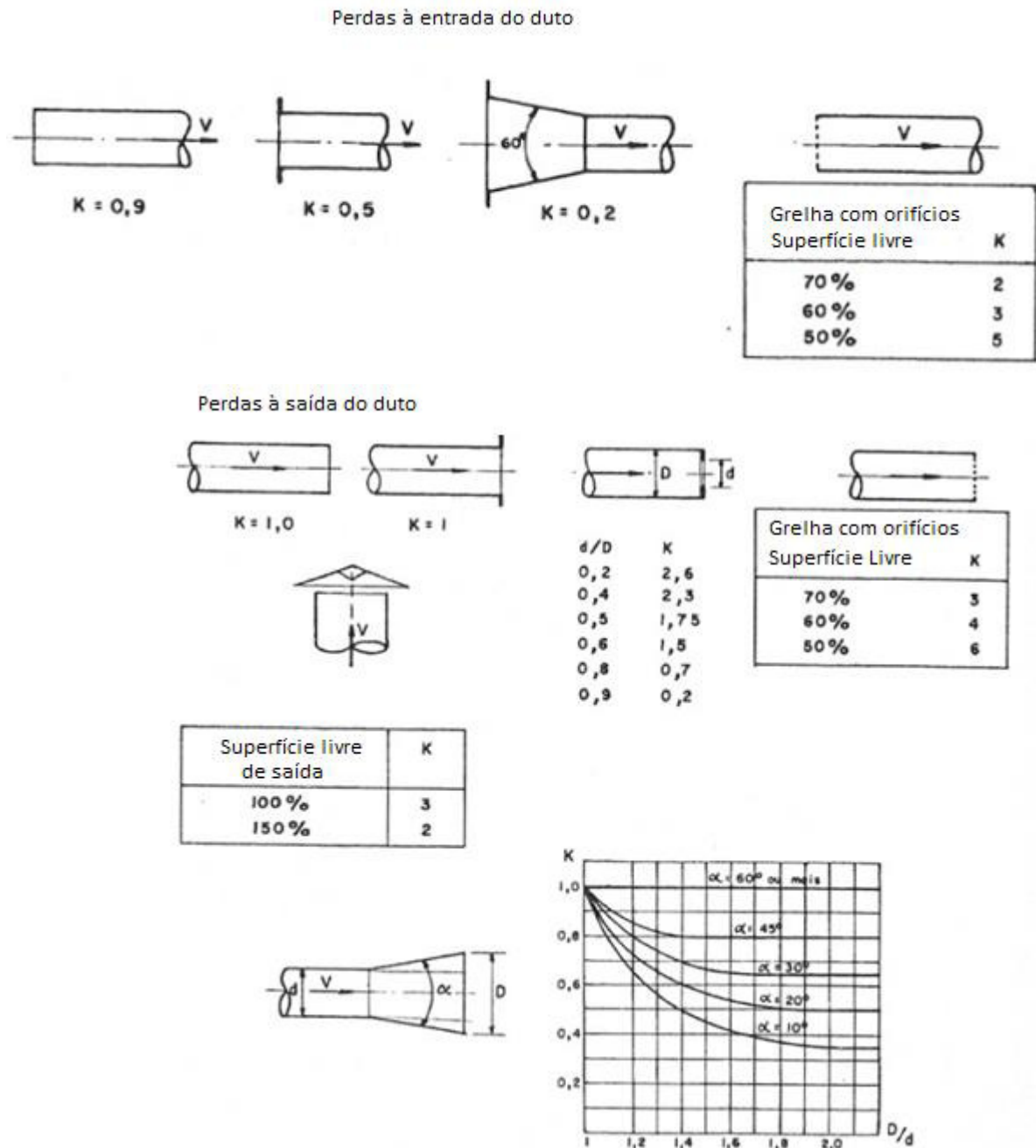
Contudo, se a velocidade for dada no sistema internacional de unidades (metros por minuto), a Equação 3.9 deverá ser usada:

$$h_v = \frac{v_d^2}{242,2^2} \quad (3.9)$$

E a perda de carga na peça (localizada) é dada pela Equação 3.10:

$$p = K * h_v \quad (3.10)$$

Figura 6 – Exemplos de tabela com valores de K para cálculo de perda de carga.



Fonte: MACINTYRE, 1990.

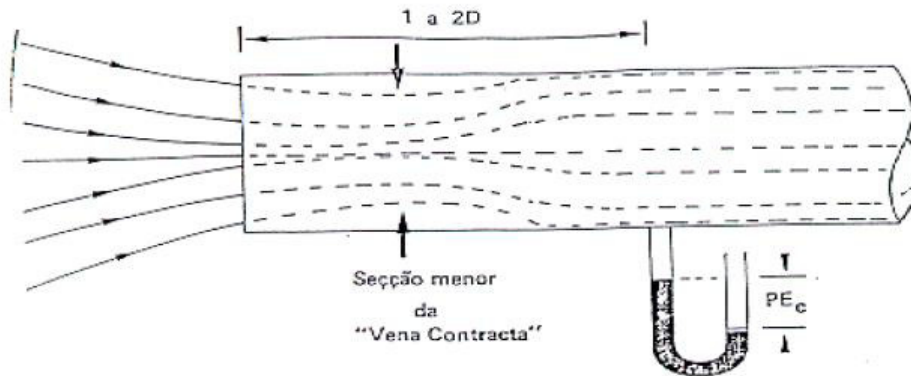
3.4.3.4 Pressão Estática

Para que o ar se movimente e penetre no captor é preciso fornecer energia para essa finalidade. Essa energia é fornecida na forma de pressão estática, representada por 'pe', a qual se

denomina “pressão estática do captor”.

A pressão estática é a soma da pressão dinâmica necessária à movimentação do fluido até atingir a velocidade que o fluido deve ter ao longo do duto logo após o captor, mais as perdas de carga desde a face do captor até o início do duto, incluindo a região de “vena contracta”, conforme Figura 7. A configuração da “vena contracta” é formada quando o ar flui para dentro de um captor. Ela implica em perdas de energia (ASSUNÇÃO, 1989).

Figura 7 – Vena Contracta.



Fonte: ASSUNÇÃO, 1989.

3.4.3.5 Coeficiente de entrada

Em razão das perdas que ocorrem quando parte da pressão estática se transforma em pressão cinética, ocorre uma redução na vazão no captor, e esta redução é caracterizada por um C_e , denominado coeficiente de entrada, que representa a razão entre a vazão real e a vazão teórica. Tal coeficiente acha-se tabelado para vários formatos de captos ou pode ser encontrado utilizando a Equação 3.11.

$$C_e = \sqrt{\frac{h_v}{\left(\frac{p_e}{\gamma}\right)} * \frac{1}{captor}} \quad (3.11)$$

3.4.3.6 Fator perda de carga

É um coeficiente característico do tipo de captor adotado, o qual pode ser encontrado exemplos na Tabela 5, que quando multiplicado pela perda de carga dinâmica nos fornece a perda de carga na entrada do duto.

Através da Equação 3.12 é possível determinar a relação entre o fator de carga com o coeficiente de entrada.

$$f_c = \frac{1 - C_e^2}{C_e^2} \quad (3.12)$$

De acordo com Macintyre (1990), para determinar as perdas de carga devido a pressão estática, deve-se consultar tabelas adequadas, onde para cada tipo de peça, se encontra um fator

de carga específico f_c que, multiplicado por h_v fornece a perda de carga referente a entrada do ar pelo captor em polegadas de água ou milímetros de coluna de água.

Desta forma, como feito na sub-seção anterior, se a velocidade utilizada estiver no sistema inglês de unidades, deve-se utilizar a Equação 3.8. No entanto, se a velocidade estiver no sistema internacional de unidades, a Equação 3.9 deve ser usada para o cálculo.

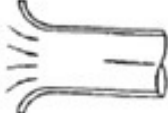
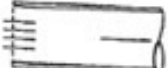
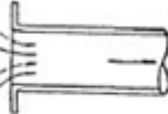
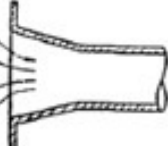
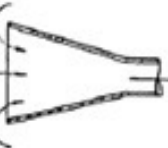
Do mesmo modo, a perda de carga na peça é calculada, (Equação 3.10), mas agora com características estáticas; como fica destacado pela utilização do subscrito ‘e’ na Equação 3.13,

$$p_e = K * h_v \quad (3.13)$$

Por meio de arranjos matemáticos entre as Equações 3.8, 3.9 e 3.13, chega-se na Equação 3.14, que relaciona de forma direta a perda de carga ‘estática’ com o fator f_c .

$$p_e = h_v * f_c \quad (3.14)$$

Tabela 5 – Tabela com velocidades de captura para operações específicas.

Tipo de BOCA	DESCRIÇÃO	Ce	f _c
	Boca arredondada	0,98	0,04
	Extremidade plana sem flange	0,72	0,93
	Extremidade do duto flangeada	0,82	0,49
	Cone flangeado com ângulo de 15 graus	0,94	0,15
	Cone flangeado com ângulo de 30 graus	0,90	0,24
	Cone sem flange com ângulo de 30 graus	0,82	0,49
	Cone sem flange com ângulo de 30 graus	0,79	0,60

Fonte: FILHO e MELO, 1992.

3.4.4 Ventilador

Ventiladores são turbo máquinas geratrizes ou operacionais, que se destinam a produzir deslocamento de gases, seu princípio de funcionamento se baseia na rotação de um rotor dotado de pás adequadas, acionado por um motor, em geral o elétrico, permitindo a transformação da energia mecânica do rotor nas formas de energia que o fluido é capaz de assumir, ou seja, potencial de pressão e a energia cinética. Graças a energia adquirida o fluido (no caso o ar ou os gases) torna-se capaz de escoar em dutos, vencendo as resistências que se oferecem ao seu deslocamento, proporcionando a vazão desejável de ar para a finalidade que se tem em vista ([ASSUNÇÃO, 1989](#)).

O ventilador é estudado como uma máquina de fluido incompressível, uma vez que o grau de compressão que nele se verifica é tão pequeno, que não é razoável analisar seu comportamento como se fosse uma máquina térmica.

Os ventiladores são usualmente classificados de acordo com a direção de movimentação do fluxo através do rotor. Assim, têm-se os ventiladores centrífugos, onde o fluxo de ar sai perpendicularmente ao eixo de seu rotor, são destinados a movimentação de ar numa ampla faixa de vazões e pressões, e os ventiladores axiais, em que o fluxo de ar sai paralelamente ao seu rotor e se restringem a aplicações de baixa e média pressão (até 150 mmCA).

Cada ventilador apresenta característica própria de fabricação, tais características são apresentadas através de curvas características ou tabelas características as quais são importantes para estabelecer a região ótima de trabalho ([ASSUNÇÃO, 1989](#)).

3.4.5 Filtros

O sistema de filtragem tem como objetivo impedir que as emissões poluam o ar externo. Quando levamos em conta o sistema de ventilação, os filtros representam pontos de perda de carga que devem ser levados em consideração no cálculo da pressão exigida pelo sistema e consequentemente na determinação da pressão e potência exigida do ventilador e na potência do motor ([MACINTYRE, 1990](#)).

4 METODOLOGIA

Para a realização dos ensaios de microabrasão-corrosão utilizando o equipamento desenvolvido pelo LTM com soluções agressivas foi necessário projetar, construir e montar um sistema de exaustão que fosse capaz de promover a retirada dos gases na cuba eletrolítica oriundos da corrosão. Um sistema de exaustão com um fluxo muito intenso que certamente garantiria a retirada dos gases tóxicos (subprodutos da corrosão) tornaria o ambiente de realização dos ensaios eletroquímicos turbulento, comprometendo a aquisição e a eficiência dos ensaios eletroquímicos.

Ao iniciar pesquisas utilizando-se uma concentração de 2% de ácido sulfúrico, com uma temperatura ambiente de aproximadamente 27 °C, durante o verão, em que o clima da região de realização dos ensaios é úmido e chuvoso, notou-se a mudança do ambiente laboratorial. Foi observado pelos operadores do equipamento que após alguns dias de realização de ensaios corrosivos com esta solução os demais equipamentos presentes neste ambiente com partes metálicas expostas apresentavam pontos de corrosão conforme Figura 8.

Figura 8 – Pontos de corrosão nos equipamentos das Figuras (a), (b) e (c) do laboratório.



(a)



(b)



(c)

Fonte: O autor, 2018.

Os mesmos também puderam sentir os efeitos da contaminação do ambiente por meio de ardência nos olhos e um odor muito característico que se estabeleceu no ambiente. Sem contar que durante os ensaios de microabrasão-corrosão com a contaminação da atmosfera era possível observar que o ambiente se comportava como meio corrosivo e não possibilitava a aquisição correta dos dados oriundo da corrosão.

Devido ao alto preço de um cromatógrafo gasoso, não foi possível mensurar o quanto havia de ácido sulfúrico em suspensão no ambiente.

Dessa forma foi estabelecido que para a continuação dos ensaios seria necessário a presença de um sistema de exaustão no laboratório, visto que, mesmo materiais que supostamente estariam protegidos da corrosão apresentaram pontos de oxidação. Buscou-se no mercado soluções para os problemas levantados, como as capelas de ensaio, mas os seus valores acima de R\$ 3500,00 (três mil e quinhentos reais) eram incompatíveis com a realidade financeira da instituição de ensino, devido às reduções de custos e cortes nos gastos empregados. Assim foi proposto um sistema de exaustão que pudesse ser desenvolvido em loco, se tornando com isso financeiramente viável.

4.1 Materiais utilizados na montagem

Para a capela foi escolhido uma chapa de acrílico de dimensões de $2m^2$, com espessura de 2,4 milímetros extrudada transparente, a qual é um termoplástico de peso leve, rígido e resistente a intempéries, conforme do fabricante Acrílicos Brasil.

Para a rede de dutos, foi adquirido 1 tubo de PVC de 6 metros da marca Tigre, com 100 milímetros de diâmetro, utilizado em tubulações hidráulicas.

Para a curva da rede de dutos, foi adquirido 5 metros de mangueira flexível confeccionado em PVC com 125 milímetros de diâmetro, com espiral em aço carbono cobreado, que não deforma e é anticorrosiva, podendo ser utilizado em sistemas de baixa e media pressão, do fabricante Eletro Plásticos Caramurú Ltda. Devido ao tamanho da mangueira, ficou decidido que para fins estéticos ela iria envolver toda a rede de dutos.

Para o suporte e sustentação da rede de dutos, foi escolhido um perfilado C, de chapas zincadas de espessura 0,95mm, barras rosqueadas, porcas e parafusos com tamanho de 1/4 de polegadas, a fixação das barras no teto do laboratório se deu através de um chumbador, que popularmente é conhecido como parabolt. A marca do parabolt foi a CBA, de modelo chumbador CBA com parafuso para barra rosqueada de 1/4.

O conjunto de ventilação/exaustão disponível é uma ventoinha proveniente de uma fonte ATX Gamemax de 500W, modelo ATX 5850W.

Assim, por meio da Tabela 6, é apresentado o descritivo dos materiais utilizados na manufatura do projeto bem como o custo de cada um dos itens.

Tabela 6 – Material e custo envolvido na construção do sistema de exaustão.

Material	Custo	M.O
Barra PVC	R\$ 33,00	
Mangueira Flexível	R\$ 89,90	
Perfilado	R\$ 18,90	
Parabolt	R\$ 7,00	
Porcas e arruelas	R\$ 5,00	
Barra rosqueada	R\$ 4,50	
Chapa acrílico	R\$ 180,00	
Luva e Cotovelos PVC	R\$ 40,00	
Conjunto ventilador	R\$ 159,90	
Cola para acrílico	R\$ 19,50	
Cola para PVC	R\$ 8,70	
Corte a laser		R\$ 110,00
Total	R\$ 676,40	

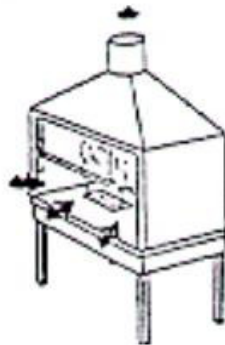
Fonte: O autor, 2018.

5 RESULTADOS

5.1 Projeto e implementação de um sistema de exaustão

A partir de uma ideia já pré-definida de uma capela de ensaio, iniciou-se o levantamento de dados e de equipamentos disponíveis para a construção de um sistema de exaustão local; no qual a vazão dos gases intrínsecos ao processo teve influência direta nos parâmetros projeto e dimensionamento. Foi escolhido um captor do tipo cabine enclausurante (Figura 9), pois envolvem a fonte de poluição, ou seja, a emissão dos poluentes acontece dentro do captor.

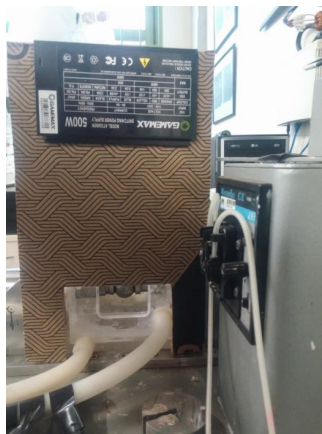
Figura 9 – Captor enclausurante.



Fonte: [MACINTYRE, 1990](#).

Foi cedido pelo autor um cooler de uma fonte, conforme mostrado nas Figuras 10, 11 e 12, para que servisse de referencia para a construção e confecção da capela.

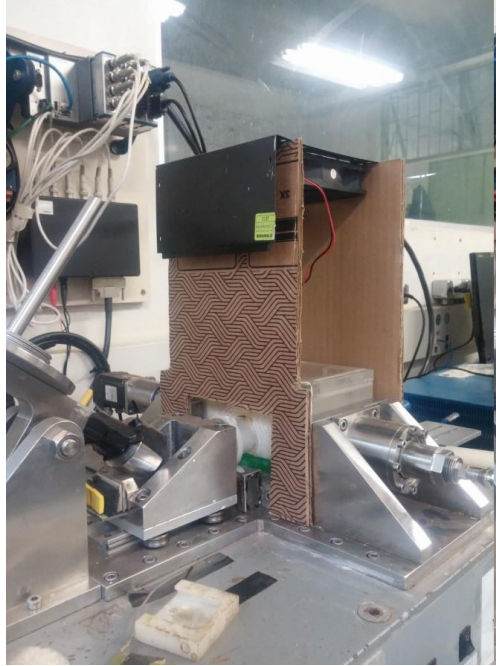
Figura 10 – Vista lateral direita do esquema de montagem capela.



Fonte: O autor, 2018.

Para a concepção da base da capela, utilizaram-se caixas de papelão para que fosse feita uma maquete, podendo com isso definir as dimensões, como altura, largura e comprimento, facilitando a visualização na hora da confecção.

Figura 11 – Vista lateral direita do esquema de montagem capela.



Fonte: O autor, 2018.

Figura 12 – Vista frontal do esquema de montagem capela.



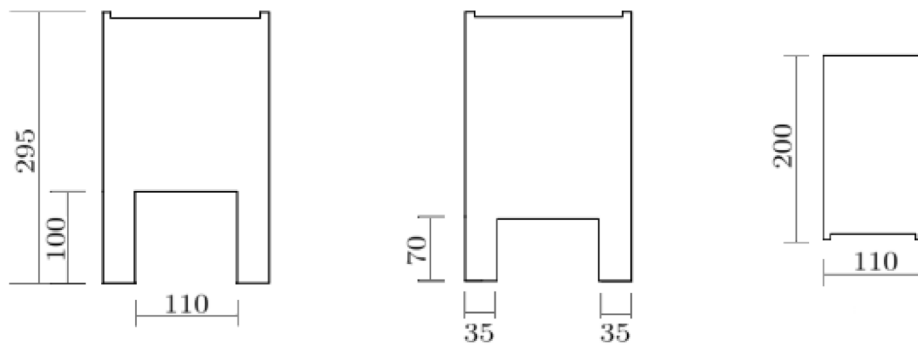
Fonte: O autor, 2018.

Feitas as medições, o projeto foi então desenhado em um sistema de desenho assistido por computador, popularmente chamado de CAD, conforme Figura 13.

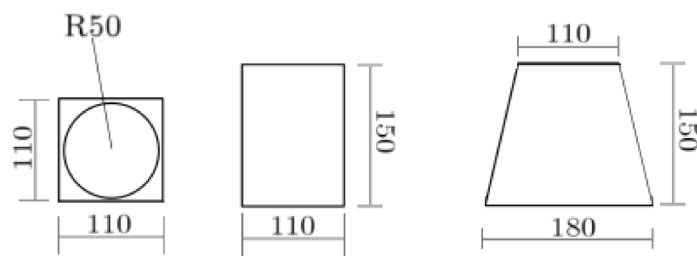
O desenho foi dividido em duas partes, a parte inferior da capela, compreendendo as laterais e tampa intermediária da capela e a parte superior, compreendendo o captor propriamente dito. As medidas apresentadas estão em milímetros.

Figura 13 – Desenho realizado para a fabricação da capela em acrílico.

Parte inferior da capela



Parte superior da capela (captor)



Fonte: O autor, 2018.

Com as dimensões e o desenho pronto, foi levantado quais seriam os materiais utilizados para a construção do sistema de exaustão. Para isso foi feito o levantamento de materiais que resistiriam à formação de névoas ácidas.

5.2 Montagem

O acrílico foi cortado em uma máquina de corte a laser, por esta garantir uma boa confiabilidade se tratando de tolerância e acabamento. A montagem da capela se deu utilizando cola para acrílico. A Figura 14 mostra a capela já montada e devidamente colada.

Figura 14 – Capela montada em acrílico.



Fonte: O autor, 2018.

Após a montagem da capela, com a área transversal definida, foi possível determinar, assim como apresentado na seção 6, a vazão necessária para a eliminação dos gases gerados pelo experimento, cujo valor encontrado de $29,56 \text{ m}^3/\text{h}$, com uma perda de carga de aproximadamente 0,064 mmca.

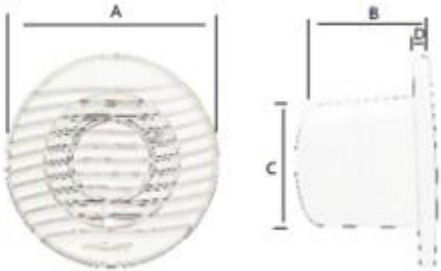
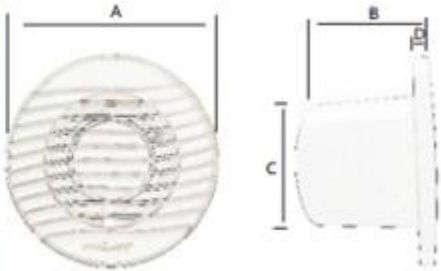
Com a vazão definida, foi necessário verificar se o sistema de ventilador iria conseguir fornecer toda a energia ao fluido para que ele pudesse ser levado desde sua origem até o final da rede de dutos.

O ventilador, fornecido pelo autor, proveniente de uma fonte de computador não possuía as curvas características de vazão, com isso não foi possível verificar se tal equipamento estaria dimensionado para tal.

Como não havia a possibilidade de determinar com precisão se a vazão no final do duto era a necessária, buscou em equipamentos para a exaustão de ambientes um ventilador capaz de garantir a exaustão completa dos gases formados durante os ensaios.

Com isso foi adquirido um novo ventilador, da marca Sicflux de modelo MEGA 10, cuja Tabela 7 removida das especificações técnicas do fabricante fornece as dimensões a seguir:

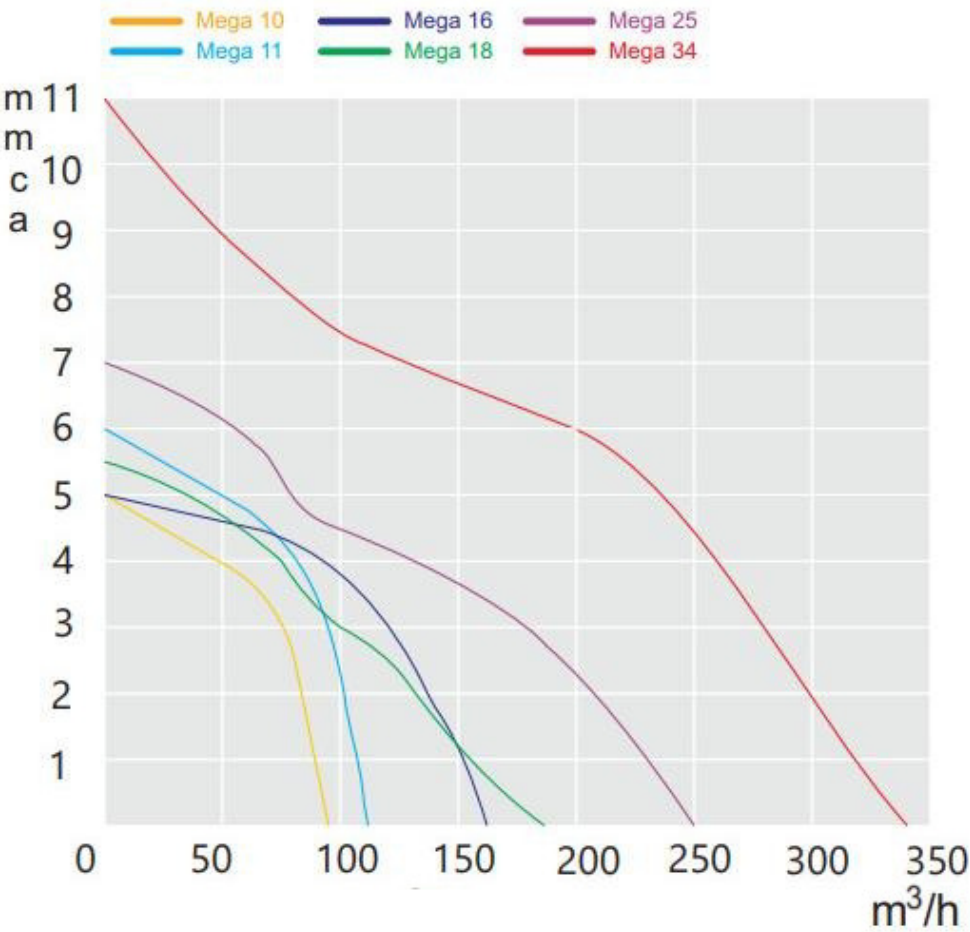
Tabela 7 – Dimensões dos equipamentos Sicflux.

MODELO Type	Dimensional (mm) Dimensions				
	a	b	c	d	
Mega 10 / 11	150	85	96	9	
Mega 16	179	97	125	9	
Mega 18 / 25 / 34	203	99	148	9	

Fonte: Especificações Técnicas Mega,2017.

E com a seguinte curva (Figura 15) e tabela característica (Tabela 8).

Figura 15 – Curva referente a vazão por mmca.



Fonte: Especificações Técnicas Mega, 2017.

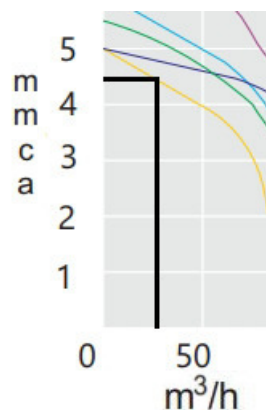
Tabela 8 – Tabela referente as características técnicas dos equipamentos Mega.

		MODELO / Type					
		10	11	16	18	25	34
Vazão Máxima Caudal Máximo Extract Capacity	m ³ /h CFM	95 55	110 64	160 94	180 105	250 147	340 200
Frequência Frecuencia Frequency, Hz		50 / 60					
Potência Motor Potencia Power, W		13	17	17	13	17	24
Potência Total Absorvida Potencia / Power, W	127V 230V	23 18	26 20	26 19	41 32	37 31	52 41
Nível Pressão Sonora Nivel Presión Sonora Sound pressure level, dBA		40	42	43	45	47	49
Tensão Tension Voltage, V		127 / 230					
Pressão Máxima Presión Máxima Max Air Pressure, mmca		5	6	5	6	7	11
Duto Conducto Duct Diameter, Pol / Inches		4	4	5	6	6	6
Peso Peso Weight, Kg		0,47	0,51	0,60	0,67	0,73	0,89

Fonte: Especificações Técnicas Mega, 2017.

Com a curva referente a vazão por perda de carga, foi capaz determinar que para uma vazão de aproximadamente 30 m³/h, o ventilador era capaz de superar uma perda de carga de aproximadamente 4,5 mmca (Figura 16), sendo assim mais que suficiente para o equipamento em questão.

Figura 16 – Análise da curva para a vazão necessária do sistema.



Fonte: O autor, 2018.

Para a acomodação do ventilador no captor foi necessária a remoção da tela decorativa localizada na frente do rotor, e posteriormente encaixando em um tubo de 100 mm de aproximadamente 10 centímetros de altura, acima do captor, com o fluxo direcionado para cima.

Foi utilizada a mangueira flexível para fazer a ligação entre a saída do ventilador com o duto principal, tal duto principal possui 3 metros de comprimento, direcionando o fluxo para uma janela.

Para sua fixação foi utilizado um par de parabolt com duas barras rosqueadas conforme figuras abaixo (Figura 17). Foi instalado o suporte utilizando-se o perfilado para apoiar o duto, tal suporte encontra-se com 2 metros de altura.

Figura 17 – Sistema de fixação.



Fonte: O autor, 2018.

A altura do duto em relação ao captor foi de 60 centímetros, garantindo com isso uma inclinação que direciona o fluxo de ar para por gravidade, dificultando com isso que os gases voltem para a capela.

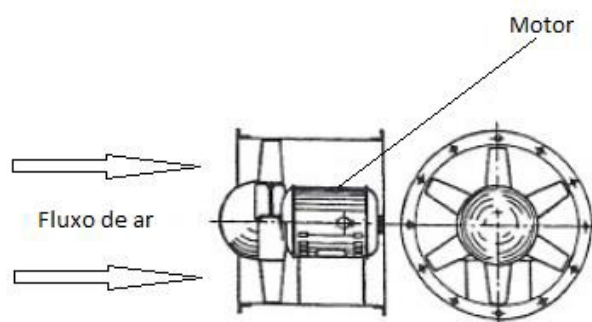
Foi feito um furo circular no vidro por onde foi encaixada uma luva de PVC para que fosse possível desmontar o equipamento caso necessário. No outro lado da luva de PVC foi instalada uma grelha autofechante, não permitindo com que entrasse animais como insetos, quando o sistema não estivesse funcionando.

Com isso foram feitas as ligações elétricas do ventilador na rede de energia finalizando

a montagem. Em seguida, através de simulações utilizando o método de fumaça foi possível visualizar o fluxo no interior da capela.

Após observar o fluxo de ar proveniente da capela, foi possível inferir que o conjunto motor-ventilador escolhido - axial com o motor acoplado diretamente nas pás - promovia o contato direto entre os vapores corrosivos com as partes metálicas do motor (carcaça e rotor) (Figura 18), o que levará a um desgaste precipitado de seus componentes.

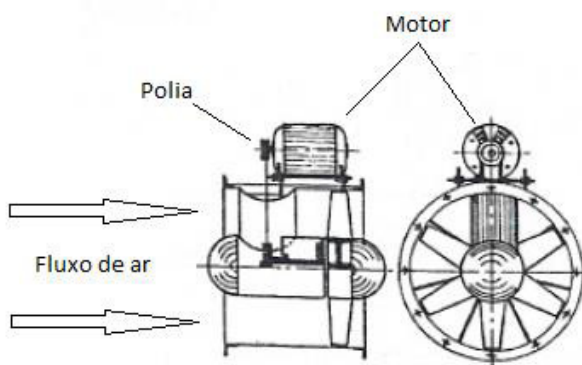
Figura 18 – Esquema de fluxo de ar no sistema de ventilação adotado.



Fonte: O autor, 2018.

Para que o sistema de ventilação possa ter maior durabilidade, deve-se realizar adaptação do conjunto; de modo que, o sistema motor-ventilador não entre em contato com os vapores ácidos liberados pelo processo (Figura 19).

Figura 19 – Sugestão de adaptação ao motor do ventilador.



Fonte: O autor, 2018.

Com esta alteração possivelmente poderá ser utilizado qualquer solução ácida, desde que não ataque diretamente os materiais que estarão em contato com o sistema.

6 MEMORIAL DE CÁLCULO

6.1 Cálculo de Vazão

A Equação 6.1 foi determinada por Macintyre (1990) para o cálculo da vazão de um sistema de exaustão com captor enclausurante.

$$Q = 50 * H * L \quad (6.1)$$

Onde,

H - é a altura da base do suporte até a base da coifa em pés.

L - é a largura da base do suporte em pés.

Convertendo milímetros para pés:

$$H = 295 * 0,00328 = 0,967ft$$

$$L = 110 * 0,00328 = 0,360ft$$

Com isso temos que:

$$Q = 50 * 0,967 * 0,360$$

$$Q = 17,40 fcm$$

Transformando para m^3/h temos:

$$Q = 17,40 * 1,7$$

$$Q = 29,563 \frac{m^3}{h}$$

6.2 Dimensionamento do duto

Pela Equação 3.5 é necessário que seja conhecido 'S'.

De acordo com a Tabela 3, a velocidade de captura de uma coifa para laboratório deve variar entre 30 e 45 metros por minuto, foi adotada a seguinte vazão:

$$V_c = 45m/min$$

$$V_c = 2.700m/h$$

Rearranjando a Equação 3.4 temos:

$$S = \frac{Q}{V_c} \quad (6.2)$$

$$S = \frac{29,563}{2.700}$$

$$S = 0,0109 \text{ m}^2$$

Após obtido o valor de 'S', é possível calcular o diâmetro do duto.

$$d = \sqrt{\frac{4 * 0,0109}{\pi}}$$

$$d = 0,117 \text{ m}$$

$$d = 117 \text{ mm}$$

Macintyre (1990) determinou também, que para a montagem de uma capela de laboratório, a perda de carga a ser considerada deveria utilizar a Equação 6.3:

$$\Delta p_{total} = 1,78 * \frac{V_c^2}{4005^2} + 0,25 * \frac{V_d^2}{4005^2} \quad (6.3)$$

Onde,

Vc, é a velocidade de captura em pés por minuto (fpm);

Vd, é a velocidade no duto em pés por minuto (fpm);

O valor adotado para Vc segundo a Tabela 3, foi de 45 m/min que em pés por minuto é igual a 147,63 fpm.

Já para o valor adotado para Vd, foi utilizada a Tabela 4 que nos forneceu para o duto principal em industrias um valor de 10 m/s, que representa 1968,5 fpm.

$$\Delta p_{total} = 1,78 \frac{147,63^2}{4005^2} + 0,25 \frac{1968,5^2}{4005^2}$$

Com isso a perda de carga relativa ao sistema de dutos foi de:

$$\Delta p_{total} = 0,064763 \text{ mmca}$$

7 CONCLUSÃO

Ao realizar-se ensaios de corrosão, utilizando uma concentração de 2% de ácido sulfúrico foi possível notar a presença de uma atmosfera ácida, visto que nem o equipamento nem o laboratório possuíam um sistema de exaustão para tais finalidades.

Os equipamentos que apresentavam pontos de corrosão e foram devidamente reparados.

A fim de que fosse evitada, ou atenuada a contaminação do ambiente por vapores ácidos que promovessem tanto a degradação dos equipamentos presentes no laboratório, quanto colocasse em risco a saúde e a integridade física dos operadores. Para tanto foi projetado um sistema de exaustão local conforme normas de segurança e princípios técnicos de ventilação industrial, utilizando-se de materiais que possuem características anticorrosiva.

Assim, com base nas simulações do método de fumaça, estimasse que o sistema seja capaz de capturar e direcionar os gases e vapores ácidos formados durante a atividade eletroquímica característica dos ensaios de corrosão e de microabrasão-corrosão.

Entretanto devido a escolha na configuração do sistema ventilador é possível que seja necessário uma nova adaptação, de modo que o motor não fique em contato direto com os vapores ácidos, para garantir uma maior durabilidade do equipamento.

REFERÊNCIAS

- ALLEN, G. *Inflation: the value of the pound 1750-2002*. House of Commons Library, 2003. Disponível em: <<http://www.parliament.uk/commons/lib/research/rp2003/rp03-082.pdf>>. Acesso em: 30 dez.17. 1
- ARDILA, M. A. N. et al. Influência do nióbio na textura e resistência à corrosão de aços inoxidáveis ferríticos em ambientes aerados e desaerados. Universidade Federal de Uberlândia, 2013. 8
- ASSUNÇÃO, J. V. Ventilação industrial proteção a saúde do trabalhador. *SOS saúde ocup. segur*, v. 24, n. 3, p. 9–22, 1989. 14, 19, 21, 23
- BELLO, J.; WOOD, R.; WHARTON, J. Synergistic effects of micro-abrasion–corrosion of uns 30403, s31603 and s32760 stainless steels. *Wear*, Elsevier, v. 263, n. 1-6, p. 149–159, 2007. 6
- BUCK, R. et al. Measurement of ph. definition, standards, and procedures (iupac recommendations 2002). *Pure and applied chemistry*, De Gruyter, v. 74, n. 11, p. 2169–2200, 2002. 10
- COELHO, J. A nova abraco. *ABRACO: Palestras, Rio de Janeiro.*, v. 20, 2016. Disponível em: <<http://www.abraco.org.br/NAbracoP/slide0.html>>. Acesso em: 19 dez. 2017. 1
- COSTS, C. Preventive strategies in the united states. *Supplement to Materials Performance*, 2002. Disponível em: <<https://www.nace.org/uploadedFiles/Publications/ccsupp.pdf>>. Acesso em: 13 dez. 2017. 1
- CRUZ, L. P.; CAMPOS, V. P. Métodos de amostragem e análise para compostos reduzidos de enxofre atmosférico. 2008. 12
- FILHO, H. V. P.; MELO, C. Ventilação industrial. *Apostila do curso de Engenharia Mecânica da UFSC*, 1992. 13, 22
- GANT, A.; GEE, M. A review of micro-scale abrasion testing. *Journal of Physics D: Applied Physics*, IOP Publishing, v. 44, n. 7, p. 073001, 2011. 4
- GENTIL, V. *Corrosão, LTC-Livros Técnicos e Científicos*. [S.l.]: Rio de Janeiro: Editora SA, 1996. 4
- GENTIL, V. *Corrosão, rio de janeiro: Brasil. LTC-Livros Técnicos e Científicos Editora SA*, p. 43–70, 2007. 5
- HUTCHINGS, I. Tribology: friction and wear of engineering materials. 1992. *Arnold, London*, 1992. 4, 5
- JOST, H. P. *Lubrication: Tribology; Education and Research; Report on the Present Position and Industry's Needs (submitted to the Department of Education and Science by the Lubrication Engineering and Research) Working Group*. [S.l.]: HM Stationery Office, 1966. 1
- JOST, H. P. Tribology—origin and future. *Wear*, Elsevier, v. 136, n. 1, p. 1–17, 1990. 1

- LABIAPARI, W. d. S. et al. Abrasão-corrosão em aços inoxidáveis ferríticos. Universidade Federal de Uberlândia, 2015. [8](#)
- LEKKA, M. et al. Corrosion and wear resistant electrodeposited composite coatings. *Electrochimica Acta*, Elsevier, v. 50, n. 23, p. 4551–4556, 2005. [6](#)
- MACINTYRE, A. J. Ventilação industrial e controle da poluição. In: *Ventilação industrial e controle da poluição*. [S.l.: s.n.], 1990. [13](#), [14](#), [15](#), [16](#), [17](#), [18](#), [19](#), [23](#), [27](#), [35](#), [36](#)
- MIKHAILOV, G. Daniel bernoulli, hydrodynamica (1738). In: *Landmark Writings in Western Mathematics 1640-1940*. [S.l.]: Elsevier, 2005. p. 131–142. [15](#)
- PANOSSIAN, Z. *Manual corrosão e proteção contra corrosão em equipamentos e estruturas metálicas*. [S.l.]: Eletropaulo, 1993. [5](#)
- SANTOS, M. et al. Abrasion–corrosion: New insights from force measurements. *Wear*, Elsevier, v. 332, p. 1206–1214, 2015. [8](#), [9](#)
- SINATORA, A. Tribologia: um resgate histórico e o estado da arte. *Prova de Erudição, São Paulo*, 2005. [1](#)
- STACK, M.; JAWAN, H.; MATHEW, M. On the construction of micro-abrasion maps for a steel/polymer couple in corrosive environments. *Tribology International*, Elsevier, v. 38, n. 9, p. 848–856, 2005. [6](#), [7](#)
- THAKARE, M. et al. Investigation of micro-scale abrasion–corrosion of wc-based sintered hardmetal and sprayed coating using in situ electrochemical current-noise measurements. *Wear*, Elsevier, v. 267, n. 11, p. 1967–1977, 2009. [7](#)
- TREZONA, R.; ALLSOPP, D.; HUTCHINGS, I. Transitions between two-body and three-body abrasive wear: influence of test conditions in the microscale abrasive wear test. *Wear*, Elsevier, v. 225, p. 205–214, 1999. [4](#)
- WOOD, R. et al. Interpretation of electrochemical measurements made during micro-scale abrasion-corrosion. *Tribology International*, Elsevier, v. 43, n. 7, p. 1218–1227, 2010. [6](#)
- ZUM-GAHR, K. H. Microstructure and wear of materials. institute of materials technology. *University of Siegen, Siegen, Federal Republic of Germany*, v. 10, 1987. [5](#)