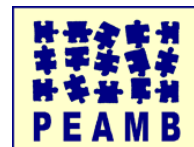




Universidade do Estado do Rio de Janeiro
Centro de Tecnologia e Ciências
Faculdade de Engenharia



Departamento de Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente
Mestrado em Engenharia Ambiental

DETERMINAÇÃO DO TEMPO DE TROCA DE UM FILTRO QUÍMICO DE UM
RESPIRADOR. UMA FERRAMENTA GERENCIAL PARA O PROGRAMA DE
PROTEÇÃO RESPIRATÓRIA –PPR

Lílian Rabello de Carvalho Coelho

Orientador: Ubirajara Aluísio de Oliveira Mattos

Co-orientador: Júlio Domingos Nunes Fortes

Rio de Janeiro
Novembro de 2004

DETERMINAÇÃO DO TEMPO DE TROCA DE UM FILTRO QUÍMICO DE UM
RESPIRADOR. UMA FERRAMENTA GERENCIAL PARA O PROGRAMA DE
PROTEÇÃO RESPIRATÓRIA –PPR

Lílian Rabello de Carvalho Coelho

Trabalho Final submetido ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental da Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental.

Aprovada por:

Prof Ubirajara Aluísio de Oliveira Mattos, D.Sc.
PEAMB/UERJ

Prof Júlio Domingos Nunes Fortes, D.Sc.
PEAMB/UERJ

Prof Gilson Britto Alves Lima
Latec/UFF

Prof. Josino Costa Moreira, D.Sc.
ENSP/Fiocruz

Rio de Janeiro
Outubro de 2004

RABELLO DE CARVALHO COELHO,
LÍLIAN

Determinação do Tempo de Troca de um Filtro Químico de um Respirador. Uma Ferramenta Gerencial para o Programa de Proteção Respiratória – PPR. [Rio de Janeiro] 2004.

xxii, 96 p. 29,7 cm (FEN/UERJ, Mestrado, Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental - Área de Concentração: Tratamento e Destino Final de Resíduos Sólidos - Controle da Poluição Urbana e Industrial, 2004.)

Dissertação - Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ

1. Filtro Químico
2. Respirador
3. Critério de Troca de um Filtro Químico
4. Programa de Proteção Respiratória – PPR.
I. FEN/UERJ II. Título (série)

Dedico este trabalho ao meu pai pela irrestrita devoção à felicidade de sua família, e de suas filhas. Meu guia, meu mestre, meu grande amigo.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por tudo que tenho, pela família que me foi dada e pelas diversas oportunidades que se apresentam para mim, em especial a realização de mais este trabalho.

À minha mãe e irmãs por todo apoio dado ao longo desses anos. Sem dúvida não chegaria aqui, não fosse o amor, o exemplo e a amizade delas.

Ao meu querido marido e amada filha Mariana que se tornaram razões do meu viver e das minhas conquistas.

Aos meus sogros que desde que se uniram a mim nesta jornada da vida, tornaram-se pai e mãe.

Aos professores que dedicam sua vida profissional a esta bela e digna missão.

RESUMO

Determinação do Tempo de Troca de um Filtro Químico de um Respirador. Uma Ferramenta Gerencial para o Programa de Proteção Respiratória – PPR.

Diversas empresas utilizam substâncias químicas em seus processos de trabalho, expondo, assim, um grande número de trabalhadores a produtos químicos. O controle dessa exposição pode ser realizado com a implementação de medidas de controle de engenharia ou de controle individual, normalmente, através do uso de respirador. Para que os respiradores ofereçam a proteção adequada faz-se necessária a utilização dos mesmos seguindo-se determinados critérios preconizados em um Programa de Proteção Respiratória, que vão desde a seleção do tipo de respirador adequado, até a forma de utilização do equipamento. Quando se trata de riscos químicos respiratórios sob a forma de gases e vapores, um dos respiradores recomendados possui como um de seus componentes um filtro químico, que será o elemento responsável pela retenção dos gases e vapores. Este filtro químico terá, então, uma vida útil em uso que dependerá de uma série de fatores. Entender o mecanismo de atuação de um filtro químico e descrever quais os fatores que influenciam a vida útil de um filtro químico e como considerá-los na estimativa dessa vida útil é o objetivo deste estudo. Para tanto, traça-se um comparativo entre a vida útil em uso estimada por dois critérios de troca disponíveis atualmente, sendo um deles objetivo, através do uso de um software e o outro subjetivo, através da percepção das propriedades de alerta da substância pelo usuário do respirador.

Palavras-Chave: Filtro Químico, Respirador, Critério de Troca de um Filtro Químico, Programa de Proteção Respiratória.

ABSTRACT

Determination of the Service Life of a Cartridge of a Respirator. A Manager Tool for the Protection Respiratory Program – PRP.

Many companies use chemical substances in the work process, exposing at chemical products, a large number of workers. The control of this exposition can be done through of the engineer or personal control implementation, normally, with the use of respirator. For that the respirator show an adequate protection is necessary the use of it following determinated criterions established in a Protection Respiratory Program, that go since selection of respirator kind until the way of use. When we have respiratories chemical risks on vapor and gas form, one of the recomendable respirators have a cartridge as one component, that will be the responsible element to retaining vapors and gases. This cartridge will have, so, a service life that depends upon a series of factors. To understand the actuation mechanism of a cartridge and describe which are the factors that act on the cartridge service life and how consider them in the service life estimate is the purpose of this study. Thus, was done a comparative between the estimate service life produced for two different available change criterions: objetctive – using a software and subjective – using the substancies warning properties for the user.

Key words: Cartridge, Respirator, Change Schedule, Service Life, Critério de Troca de um Filtro Químico, Respiratory Protection Program.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Tipos de Equipamentos de Proteção Respiratória	22
Figura 2.2: Respirador Purificador de Ar	23
Figura 3.1: Filtro Químico	26
Figura 3.2: Microporos do carvão ativado contido no filtro químico	27
Figura 3.3: Filtros químicos classes 1 e 2 com fixação por encaixe e por rosca	36
Figura 3.4: Seleção do contaminante	49
Figura 3.5: Seleção da concentração	50
Figura 3.6: Seleção do filtro	50
Figura 3.7: Dados das condições ambientais	54
Figura 3.8: Apresentação do resultado	54

LISTA DE QUADROS

Quadro 3.1: Resumo dos fatores impactantes na vida útil em uso de um filtro químico	44
---	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1: Máxima concentração de uso dos filtros químicos	32
Tabela 3.2: Condições de ensaio para a medida da vida útil em bancada dos filtros para gases e vapores	33
Tabela 3.3: Resistência inicial à respiração	35
Tabela 3.4: Pressão de vapor em 20 °C e ponto de ebulição	42
Tabela 4.1: Caracterização da atividade	57
Tabela 4.2: Produtos químicos utilizados	58
Tabela 4.3: Condições ambientais do Local	58
Tabela 4.4: Medidas de controle adotadas	59
Tabela 4.5: Informações sobre o contaminante (querosene)	61

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	01
1.1. Definição do Problema	01
1.2. Objetivo	04
1.3. Metodologia	04
1.4. Aplicação	05
1.5. Apresentação da Estrutura do Trabalho	05
2. RISCOS QUÍMICOS	06
2.1. Classificação	06
2.1.1. Classificação Quanto ao Estado Físico e Propriedades	07
2.1.2. Classificação Quanto aos Efeitos à Saúde	09
2.2. Efeitos Combinados	11
2.2.1. Efeitos Simples	11
2.2.2. Efeitos Aditivos	11
2.2.3. Efeitos Potenciadores	12
2.3. Vias de Ingresso dos Contaminantes no Organismo Humano	12
2.4. Avaliação dos Riscos	13
2.4.1. Limite de Exposição	14
2.5. Medidas de Controle	18
2.5.1. Equipamentos de Proteção Respiratória	20
2.5.2. Sistema de Funcionamento do Respirador Purificador de Ar	24
2.6. Programa de Proteção Respiratória	24
3. FILTRO QUÍMICO	26
3.1. Mecanismos de Retenção e Materiais Utilizados	26
3.1.1. Adsorção	27
3.1.2. Absorção	29
3.1.3. Catálise	30
3.1.4. Considerações	30
3.2. Tipos e Classes de Filtros Químicos	31
3.2.1. Tipo	31
3.2.2. Classe	33
3.3. Constituição	36
3.4. Código de Cores	38
3.5. Vida Útil de um Filtro Químico	38

3.5.1. Validade	38
3.5.2. Vida Útil	38
3.5.3. Vida Útil em Uso	39
3.6. Critério de Troca	44
3.6.1. Propriedades de Alerta	44
3.6.2. Indicador de Fim de Vida Útil	45
3.6.3. Programa de Troca	46
3.7. Software Disponível para o Cálculo da Vida Útil em Uso	46
3.7.1. Software Utilizado no Estudo de Caso	48
4. ESTUDO DE CASO	56
4.1. Apresentação da Atividade em Estudo	56
4.1.1. Caracterização da Atividade	57
4.1.2. Máquinas e Instrumentos de Trabalho	58
4.1.3. Produtos Químicos Utilizados	58
4.2. Condições Ambientais do Local	58
4.3. Informação sobre Segurança do Produto Químico	59
4.4. Medidas de Controle Existentes	59
4.5. Análise da Vida Útil em Uso do Filtro Químico	59
4.5.1. Critério de Troca pelas Propriedades de Alerta	60
4.5.2. Critério de Troca pelo Uso do Software para Cálculo da Vida Útil em Uso ..	60
5. CONCLUSÃO	66

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

1. INTRODUÇÃO

1.1. Definição do Problema

Diversas empresas utilizam substâncias químicas puras ou misturas em seus processos de trabalho e, dessa forma, existe um número grande de trabalhadores expostos a produtos químicos durante a execução de suas atividades laborais.

Esta exposição ocorre, tendo como via de ingresso do contaminante no organismo, as vias dérmica, digestiva ou respiratória, sendo esta última a de maior importância e ocorrência.

A proteção contra a exposição aos riscos químicos respiratórios é, então, efetuada com a implementação de medidas de controle coletivo e/ou medidas de controle individual. Em razão da viabilidade técnica e orçamentária da instalação de controles coletivos eficazes, ressaltando-se os elevados custos para implementação do controle coletivo, é adotado na grande maioria das situações o controle individual, em especial a máscara para proteção respiratória (respirador), apesar da NR-9 recomendar como a principal medida a de caráter coletivo. Em alguns casos, além do sistema de controle coletivo, em caráter suplementar, adota-se o uso do respirador.

Cada contaminante possui uma característica própria de sua configuração química, alguns são compostos orgânicos, outros elementos metálicos, outros substâncias inorgânicas, e dependendo da forma como se apresentam no ambiente de trabalho, como por exemplo se pulverizados sob a forma de névoas ou se dispostos em tanques de fabricação, dispersando-se no ar sob a forma de vapores, irão requerer um tipo de respirador específico.

Para que os respiradores ofereçam a proteção faz-se necessária a utilização dos mesmos seguindo-se determinados critérios, que vão desde a seleção do tipo de respirador, em função do contaminante, que se deseja oferecer proteção, até a forma de utilização do equipamento em campo, durante a execução da tarefa de trabalho.

Existem diversos tipos de respiradores, cada um com a sua aplicação específica. A seleção se dará em função de diversas variáveis, o tipo de contaminante, a concentração do contaminante no ar, a concentração de oxigênio no ar, o tempo de uso necessário do

respirador, se jornada integral ou se somente em determinados momentos onde ocorre a exposição, fatores relacionados ao usuário do respirador, dentre outros.

Dentre os diversos tipos de respiradores existentes, os mais utilizados são aqueles para reter poeiras, que podem ser as máscaras descartáveis ou as com filtro para particulados, e os para reter gases e vapores, geralmente os respiradores com filtros químicos para retenção de vapores orgânicos. Isso se dá em decorrência da utilização de substâncias com a geração maior destes tipos de contaminantes nos diversos processos industriais.

Sempre que existir a necessidade de uso de respiradores em um local de trabalho, de acordo com a Instrução Normativa Nº 01 de 11 de abril de 1994, do Ministério do Trabalho e Emprego, a empresa deverá implementar um Programa de Proteção Respiratória - PPR, seguindo as instruções emanadas pela Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Medicina Segurança no Trabalho – FUNDACENTRO em sua publicação sobre o PPR. A publicação da FUNDACENTRO aborda aspectos relacionados desde a seleção ao uso dos respiradores, seguindo pelos ensaios de vedação, a distribuição, o treinamento, a avaliação médica do usuário do respirador, a inspeção, limpeza, higienização e guarda do respirador, o monitoramento do uso e do risco, dentre outros.

Quando se faz uso de um respirador contendo um filtro químico para retenção de gases e vapores, pode-se imaginar que este filtro possua um tempo de vida útil. A partir do término deste período, o filtro perde a “validade”, ou seja, deixa de filtrar o contaminante expondo, dessa forma, o usuário do respirador.

A determinação do tempo de vida útil em uso do filtro químico não é um parâmetro definido pelo fabricante do filtro, pois envolve aspectos relativos à forma de exposição do filtro no ambiente laboral, como a concentração do contaminante existente no ar, o ritmo de trabalho desenvolvido pelo usuário, que determinará o fluxo respiratório do mesmo, e condições ambientais do local de trabalho.

Dessa forma, cada empresa, baseada em cada tipo de atividade onde se requer o uso do respirador deverá determinar o tempo máximo de uso daquele filtro químico que está sendo aplicado naquela atividade. Este tempo máximo de uso do filtro, ou seja, o tempo de vida útil em uso deve ser, então, baseado em critérios consistentes, de modo que, assegure-se a proteção do trabalhador por todo o tempo de uso do respirador com o filtro químico.

Os critérios para troca de um filtro químico são fundamentados em informações subjetivas, percepção pelo trabalhador de alguma propriedade de alerta do contaminante (gosto, odor, irritação), ou objetivas, medição ou estimativa do tempo estimado de vida útil em uso.

As recomendações sobre o PPR descritas pela FUNDACENTRO estabelecem que deverá existir um critério para a troca do filtro químico antes do término da vida útil em uso deste, entretanto não há definição sobre qual critério deverá ser adotado. Ressalta-se somente que, para substâncias com fracas propriedades de alerta não devem ser utilizados respiradores que dependam da percepção do trabalhador para a sua proteção.

Uma das mais significantes alterações no novo padrão sobre Proteção Respiratória editado pelo órgão governamental dos Estados Unidos para segurança do trabalho (*OSHA, 1910.134 – Respiratory Protection Standard*) é a exigência de se estabelecer critérios objetivos de troca de filtros químicos usados para gases e vapores.

Utiliza-se, freqüentemente, como critério para troca do filtro, a percepção às propriedades de alerta da substância. Como vários fatores, relacionados à substância (propriedades de alerta fracas) e ao trabalhador usuário do respirador (fadiga olfativa, baixa sensibilidade às propriedades de alerta da substância, etc.) influenciam na determinação do momento que a substância deixa de ser retida pelo filtro e passa a ser inalada, significativamente, pelo trabalhador, sem que esse perceba este instante, cada vez mais recomenda-se que um programa de proteção respiratória não se baseie apenas nas informações subjetivas para determinar o tempo de vida útil em uso de um filtro químico.

Se a determinação do tempo de troca com base em dados subjetivos torna-se, muitas vezes, de difícil manejo, a estimativa deste tempo por informações objetivas, também apresenta suas dificuldades e restrições.

Contudo, a decisão de por quanto tempo utilizar um filtro químico tem um impacto direto na proteção do trabalhador e, conseqüentemente, em um programa de proteção respiratória.

A definição do critério a ser utilizado para determinação da troca dos filtros químicos utilizados nas máscaras de proteção respiratória é, portanto, um dos pontos cruciais de um programa efetivo de proteção respiratória.

1.2. Objetivo

Entender o mecanismo de atuação de um filtro químico e descrever quais os fatores que influenciam a vida útil de um filtro químico e como considerá-los na estimativa dessa vida útil.

Analisar os critérios de troca disponíveis atualmente e avaliar as vantagens e desvantagens de cada um método.

Observar em uma situação real de trabalho como se comportam os tempos de vida útil determinados pelo usuário, através da percepção ao odor, e por estimativa, através do uso de um programa específico disponibilizado pelo fabricante do respirador para o cálculo da vida útil em uso do filtro químico.

1.3. Metodologia

O trabalho foi baseado em pesquisa bibliográfica com foco, principalmente, em referências brasileiras e norte-americanas, visto que, o Programa de Proteção Respiratória brasileiro foi norteado pela norma americana.

A abordagem do estudo de caso foi realizada com base em dois métodos: objetivo - através de um *software* para cálculo da vida útil em uso de um respirador contendo filtro químico e subjetivo - pela percepção de odor da substância no ar efluente do respirador. Para subsidiar o método subjetivo foram levantadas informações com os usuários dos respiradores e feitas observações em campo, com vistas a identificar a forma de uso e troca dos filtros químicos pelos trabalhadores.

De forma a complementar e consolidar as informações coletadas nos levantamentos bibliográficos e evidenciadas em campo, foi realizada uma visita na empresa do fabricante do respirador objeto do estudo de caso.

1.4. Aplicação

O estudo apresentado servirá como referência para outros estudos e análise de casos em outras situações, além do material poder ser utilizado como material didático em aulas e seminários. Poderá subsidiar também a análise de outros respiradores de diversos fabricantes.

1.5. Apresentação da Estrutura de Trabalho

Para estimar e melhor utilizar a informação do tempo de vida útil de um filtro químico é necessário entender para que servem e como funcionam os filtros químicos, sendo assim após a definição dos objetivos do estudo, dedica-se o Capítulo 2 a uma discussão a respeito dos riscos químicos e as formas de controle dos mesmos nos ambientes de trabalho. Dá-se um enfoque especial ao controle individual – EPI – ressaltando-se o tipo de respirador onde se utiliza o filtro químico que é o objeto deste estudo.

Em seguida, destina-se o Capítulo 3, exclusivamente para abordagem do filtro químico, suas características, forma de atuação, normas para validação e comercialização, validade, vida útil (laboratório) e vida útil em uso, fatores que influenciam na vida útil em uso e critérios para o tempo de troca do filtro químico com base na estimativa ou cálculo desta vida útil em uso.

Conhecendo-se, então, os fatores limitantes para a utilização do filtro químico e para a determinação do tempo de troca do mesmo, abordou-se um caso prático, através de um Estudo de Caso descrito no Capítulo 4. No Estudo de Caso, faz-se um comparativo entre a estimativa do tempo de troca obtido em campo pela percepção dos trabalhadores e através do uso de um *software* específico para esta finalidade.

Com base, então, nas evidências provenientes do Estudo de Caso e com as informações obtidas em literatura, aborda-se no Capítulo 4 a importância de um critério efetivo de troca de filtro químico para um programa de proteção respiratória.

2. RISCOS QUÍMICOS

A presença de substâncias químicas no ambiente de trabalho pode representar desde riscos à saúde dos trabalhadores até riscos de acidentes, como queimaduras químicas, incêndios e explosões.

As substâncias químicas que durante o uso, transporte, estocagem e manuseio possam se dispersar no ar, sendo inaladas são consideradas um risco, podendo gerar doença no sistema respiratório e são objetos de estudo da higiene ocupacional.

A Higiene Ocupacional pode ser descrita como uma ciência que se dedica à proteção dos trabalhadores através do controle do ambiente de trabalho. Em outras palavras ela se ocupa da prevenção e controle dos riscos à saúde originados durante o trabalho.

Podemos destacar da Enciclopédia de Segurança e Saúde Ocupacional da Organização Internacional do Trabalho – OIT, a atuação da Higiene Ocupacional nos fatores existentes nos locais de trabalho e que podem gerar danos à saúde, sendo estes fatores os riscos químicos, físicos e biológicos. (OIT, 1998)

2.1. Classificação

Os contaminantes químicos podem ser classificados de duas formas: como se apresentam dispersos no ar e as suas propriedades físico-químicas ou conforme os efeitos que geram à saúde.

Por estarem dispersos no ar os contaminantes químicos tornam-se um risco respiratório, à medida que podem ser inalados pelo trabalhador gerando algum dano à sua saúde.

Além dos contaminantes químicos, a deficiência de oxigênio nos ambientes é considerada como uma situação geradora de risco respiratório, conforme estabelecido na NBR 12543.

2.1.1. Classificação quanto ao Estado Físico e Propriedades

Os contaminantes químicos são classificados em aerodispersóides, gases e vapores.

A) Aerodispersóides

Dispersão de partículas sólidas ou líquidas, com diâmetro aerodinâmico na faixa de 0,01 μ a 100 μ , em um meio gasoso.

- Aerodispersóides Sólidos

⇒ Poeiras - Suspensão de partículas sólidas que resultam da desagregação mecânica de um sólido. Os tamanhos variam de 0,1 a 25 μ . Ex: Corte ou polimento de granito, cereais, sílica etc.

⇒ Fumaça - Suspensão de partículas sólidas originadas em processos de combustão incompleta. Seu tamanho é geralmente inferior a 0,1 μ . Ex: Combustão de madeira.

⇒ Fumos - Suspensão de partículas sólidas geradas em um processo térmico, formadas pela condensação de vapores, após sublimação ou volatilização de um metal. Algumas vezes este processo é acompanhado de uma reação química geralmente de oxidação. Estas partículas floculam, ou seja, as partículas pequenas se unem formando outras de tamanho maior. O tamanho é similar ao das partículas de fumaça.

- Aerodispersóides Líquidos

⇒ Névoas - Suspensão de pequenas gotas de líquido que são geradas por desagregação mecânica de um líquido. Os tamanhos podem variar de 0,01 a 10 μ . Ex: Pinturas com spray.

⇒ Neblinas - Suspensão de pequenas gotas líquidas geradas por condensação do vapor de um líquido volátil. Os tamanhos podem variar de 2 a 60 μ . Ex: Processos de galvanoplastia.

B) Gases e Vapores

Gás é um fluido gasoso nas condições de temperatura e pressão ambiente, 25° C e 760 mmHg. Ex: Oxigênio e nitrogênio.

Vapor é a fase gasosa de uma substância que é líquida ou sólida nas condições de temperatura e pressão ambiente, 25° C e 760 mmHg. Ex: Vapor d'água, vapor resultante da volatilização de tolueno, naftalina.

Como os gases e vapores possuem um comportamento comum quando dispersos no ar em pequenas , em proteção respiratória, eles são tratados da mesma forma.

De acordo com a NBR 12543 os gases e vapores são classificados conforme as propriedades químicas que influem na seleção do filtro químico, sendo classificados em cinco grupos: gases e vapores orgânicos, ácidos, alcalinos, inertes ou especiais.

⇒ Gases e Vapores Orgânicos – contêm átomo de carbono na sua estrutura molecular. Exemplo: formaldeído e acetona.

⇒ Gases e Vapores Ácidos – apresentam propriedades de ácido ou ao reagirem com a água, se tornam ácidos. Contêm hidrogênio na molécula e quando dissolvidos liberam íons de hidrogênio responsáveis pelo pH entre 0 e 7, caracterizador de meio ácido. Exemplo: ácido acético e gás sulfídrico.

⇒ Gases e Vapores Alcalinos – apresentam propriedades de substância básica ou reagem com a água, resultando solução aquosa denominada base. Em solução aquosa liberam íons hidroxila responsáveis pelo pH entre 7 e 14, caracterizador de meio básico. Exemplo: amônia e fosfina.

⇒ Gases e Vapores Inertes – não reagem quimicamente com outras substâncias nas condições normais de temperatura e pressão. Quando presentes em altas concentrações podem gerar ambientes deficientes em oxigênio. Exemplo: acetileno, butano, nitrogênio.

⇒ Gases e Vapores Especiais – como o critério de classificação tem o objetivo da seleção de filtros químicos, esta classe inclui os gases e vapores que requerem filtros especiais como o monóxido de carbono e o óxido de etileno.

2.1.2. Classificação Quanto aos Efeitos à Saúde

Os efeitos nocivos gerados por um agente químico podem ser classificados de acordo com o local onde são evidenciados, efeitos **locais** ou **sistêmicos**, bem como quanto ao tipo de dano gerado, que pode ser desde uma irritação até uma reação de hipersensibilização.

Quando os danos são ocasionados no ponto de contato do contaminante com o organismo, ou seja, na via de entrada, evidencia-se a geração de um efeito local.

Entretanto, na maioria das vezes, as substâncias químicas depois de ingressarem no organismo, são absorvidas e distribuídas, vindo a agir em local distante da via de entrada, provocando danos sistêmicos em determinados órgãos ou sistemas do corpo distantes do local de absorção. Os efeitos sistêmicos são evidenciados em locais distantes do ponto de entrada no organismo. Alguns contaminantes químicos podem apresentar tanto efeitos locais quanto sistêmicos.

Apresentamos a seguir a classificação das substâncias químicas de acordo com o tipo de efeito que possa ser gerado. As substâncias podem ser classificadas como irritantes, anestésicas e narcóticas, pneumoconióticas, asfixiantes etc. Vale ressaltar: 1) esta classificação pode ser diferente de acordo com a literatura consultada 2) uma substância química pode apresentar um ou mais efeitos dos relacionados.

Irritação – Produção de uma inflamação na área de contato devido a uma ação química ou física, sendo evidenciado principalmente na pele e mucosas do sistema respiratório. Os fatores determinantes do grau de irritação são a concentração da substância no ar e o tempo de exposição. Os agentes irritantes são divididos em irritantes primários e secundários. Os irritantes primários apresentam ação local, enquanto os secundários apresentam ação local e sistêmica. A solubilidade da substância na água determinará o local do trato respiratório que sofrerá a ação irritante local. No trato respiratório superior (cavidade nasal e garganta) atuarão as substâncias muito solúveis, como por exemplo os ácidos (ácido clorídrico e ácido sulfúrico) e as bases (amônia e soda cáustica). No trato respiratório superior e tecido

pulmonar, ou seja em todo o sistema respiratório, terão atuação as substâncias com moderada solubilidade, sendo mais evidenciados os efeitos nos brônquios. Exemplos: halogênios (cloro e bromo), ozônio e anidridos de halogênio (anidrido sulfuroso). As substâncias insolúveis em fluidos aquosos provocarão irritação nos tecidos pulmonares, podendo atingir a parte mais profunda do sistema respiratório (bronquíolos e alvéolos). Exemplos: dióxido de nitrogênio e fosgênio.

Anestesia e Narcose – As substâncias químicas que produzem este efeito atuam como depressores do sistema nervoso central. O grau de anestesia a ser gerado dependerá da quantidade de substância que chegar ao cérebro. Estes agentes devem ser lipossolúveis (solúveis em gordura). Exemplos: benzeno, tolueno, xileno, nitrobenzeno, álcool metílico, tetracloreto de carbono, butano e propano.

Asfixia – Os agentes químicos geradores de asfixia impedem a chegada do oxigênio nos tecidos, tendo como consequência o bloqueio dos processos vitais. São divididos em asfixiantes simples e químicos. Os asfixiantes simples, geralmente substâncias inertes, ao estarem presentes nos ambientes reduzem a concentração do oxigênio no ar através do deslocamento das moléculas de oxigênio do ar. São exemplos: nitrogênio, dióxido de carbono, acetileno. Os asfixiantes químicos impedem a chegada do oxigênio a nível celular, bloqueando alguns dos mecanismos do organismo, tais como o transporte de oxigênio até as células das diferentes partes do corpo e a parte do cérebro que controla a respiração e o odor. Exemplos: monóxido de carbono, gás sulfídrico e anilina.

Alergia - São substâncias cuja ação se caracteriza por duas circunstâncias. A primeira é que não afeta a totalidade dos indivíduos, pois requer uma predisposição fisiológica. A segunda é que se apresenta em indivíduos previamente sensibilizados. Exemplos: Resinas, monômeros, cromo, formaldeído, óleos, resinas, pólen, fibra de algodão, bagaço de cana e di-isocianato de tolueno (DI).

Sensibilização – Substâncias que causam a formação de anticorpos, levando a um aumento da probabilidade de reações como a asma ocupacional, que é uma obstrução reversível das vias aéreas, causada também pela inalação de particulados no ambiente de trabalho. Exemplos: isocianatos e resinas.

Toxicidade Sistêmica – São substâncias que não provocam danos nos pulmões, mas sim em outros órgãos do corpo humano. Exemplos: Clorofórmio, tetracloreto de carbono, cloreto de vinila, fósforo, dioxina, mercúrio, cádmio, cromo, bifenilas, policloradas, benzeno, anilina, nitritos, arsina e álcool etílico.

Câncer – Produzem ou aceleram o aparecimento de câncer em alguns indivíduos após um período de latência. Não deve ser permitida exposição a estas substâncias, uma vez que, não existe limite de exposição para este efeito. Exemplo: Benzeno, níquel, cloreto de vinila, cromo, benzydina, arsênico e asbesto.

Mutagênico – Provocam mudanças no DNA de uma célula viva, ou seja, uma mutação, com danos nos cromossomos. Quando as mutações ocorrem nos óvulos e espermatozoides, tornam-se hereditárias. Ocorrendo em outras células do organismo, podem levar ao desenvolvimento de tumores benignos ou malignos. Essas mutações podem levar anos para aparecerem, o que dificulta a determinação da causa-efeito. Exemplos: benzeno e óxido de etileno.

Teratogênico – Causam defeitos ou más formações no desenvolvimento do embrião ou feto, quando a mulher grávida fica exposta a estas substâncias. As deformações não são hereditárias. Exemplo: Mercúrio, talidomida e alguns solventes orgânicos.

2.2. Efeitos Combinados

Na maioria dos casos, os agentes químicos não são encontrados de forma isolada no ambiente de trabalho. Normalmente, várias substâncias diferentes estão presentes ao mesmo tempo e consequentemente o trabalhador está exposto a todas. Deve-se, portanto, considerar o possível desencadeamento de efeitos resultantes destas misturas. São eles :

2.2.1. Efeitos Simples

Apresentam-se quando os agentes químicos atuam sobre órgãos distintos.

2.2.2. Efeitos Aditivos

São produzidos pelos agentes que atuam no mesmo órgão ou sistema fisiológico. Para as substâncias que possuem efeito aditivo, deve-se fazer o cálculo da dose recebida pelo trabalhador. Se a mesma ultrapassar a unidade, considera-se que o limite de exposição foi excedido. Esta regra não pode ser usada para substâncias que apresentam efeitos independentes (simples).

$$\frac{C_1}{T_1} + \frac{C_2}{T_2} + \dots + \frac{C_n}{T_n} = 1$$

Onde :

Cn - Concentração da substância;

Tn - Limite de tolerância da substância.

2.2.3. Efeitos Potenciadores

São produzidos quando um ou mais agentes multiplicam as ações do outro. O efeito total somente pode ser conhecido quando se sabe a magnitude dos potenciadores.

2.3. Vias de Ingresso dos Contaminantes no Organismo Humano

O risco de surgimento de um efeito nocivo devido à exposição a uma substância química depende de vários fatores, tais como o tempo de exposição, a concentração e as características físico-químicas da substância química, além da susceptibilidade individual do trabalhador.

Cabe ressaltar, que a primeira condição para que os contaminantes químicos gerem algum dano à saúde é que entrem em contato ou penetrem no organismo do trabalhador.

As substâncias químicas podem ingressar no organismo humano nos ambientes de trabalho por três vias: respiratória, cutânea e digestiva.

- ⇒ **Via respiratória** - Via de entrada mais importante para a maioria dos contaminantes químicos. A quantidade total de um contaminante absorvido por via respiratória é função da concentração no ambiente, tempo de exposição e ventilação pulmonar.
- ⇒ **Via cutânea** - Segunda via mais importante. Não são todas as substâncias que possuem a característica de serem absorvidas pela pele. Para algumas, a contribuição para intoxicação pode ser significativa e para outras esta é a principal via de penetração.
- ⇒ **Via digestiva** - Via de pequena importância para Higiene Ocupacional, salvo em casos que os trabalhadores têm o hábito de comer e beber no posto de trabalho.

2.4. Avaliação dos Riscos

Para a avaliação do risco causado pela presença de contaminantes atmosféricos no ambiente de trabalho é necessário o conhecimento da concentração do contaminante no nível respiratório do trabalhador. Esta concentração, atrelada ao tempo de exposição, às características físico-químicas da substância e à susceptibilidade individual determinará o dano que será gerado no indivíduo exposto.

A avaliação da exposição individual será, então, determinada através das medições das concentrações dos contaminantes junto à zona respiratória do trabalhador, comparando-se os resultados obtidos com os respectivos limites de exposição. Deve-se considerar os aspectos concernentes à utilização dos limites de exposição que serão abordados posteriormente no item a respeito dos limites de exposição.

Para que se obtenham resultados representativos da exposição do trabalhador, faz-se necessária a utilização de estratégias de amostragem e de metodologias de avaliação em campo e análise laboratorial que sejam reconhecidas por órgãos creditados, além de conduzir as medições com instrumentos de avaliação ambiental adequados.

No campo da higiene ocupacional os principais organismos que editam metodologias de amostragem para contaminantes químicos são a Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Medicina e Segurança no Trabalho - FUNDACENTRO no Brasil e o *National Institute for*

Occupational Safety and Health - NIOSH e a Occupational Safety and Health Administration - OSHA nos EUA.

A obtenção de resultados que expressem com a maior veracidade possível a concentração de exposição do trabalhador não é uma tarefa muito fácil, pois a concentração de uma substância no ar sofre interferência de vários influentes, como o ritmo do processo produtivo, a distância do trabalhador em relação à fonte geradora da substância, a ventilação local, a temperatura e umidade ambiente.

Sendo assim, é de fundamental importância a elaboração de uma boa estratégia de amostragem que contemple os momentos e situações em que deverão ser coletadas as amostras, considerando-se, ainda, o limite de tolerância com o qual se deseja comparar os resultados obtidos. Pois, em decorrência do limite de tolerância, pode ser necessária a realização de amostragens instantâneas (duração da coleta da amostra inferior a 5 minutos), de curta (duração entre 5 e 15 minutos), ou longa duração (superior a 30 minutos).

2.4.1. Limite de Exposição

Os limites de exposição na Higiene Ocupacional objetivam estabelecer condições para que não seja observada a ocorrência de efeitos danosos à saúde dos trabalhadores.

Esses limites são estabelecidos apenas como referências ou recomendações para auxiliar no controle dos agentes químicos. Não se deve comparar o resultado das avaliações da exposição individual com os limites de exposição acreditando-se que todos os resultados abaixo do limite de exposição representem condições seguras de trabalho. Ou seja, os limites de exposição não devem ser interpretados como um limite entre o seguro e o inseguro, pois existem limitações tanto no estabelecimento dos limites de exposição quanto nos métodos de avaliação dos contaminantes no ar. (TLVs e BEIs, ACGIH, 2003)

De acordo com a NR 15 do Ministério do Trabalho e Emprego, entende-se por Limite de Tolerância, a concentração ou intensidade máxima ou mínima, relacionada com a natureza e o tempo de exposição ao agente, que não causará dano à saúde do trabalhador, durante a sua vida laboral.

Os limites de exposição são obtidos através de evidências objetivas de casos ocorridos de doenças ou intoxicações, estudos experimentais com animais, estudos epidemiológicos com trabalhadores e experiências em humanos voluntários.

Alguns limites de exposição são baseados em informações provenientes de testes com animais, e por esta razão, alguns valores publicados podem sofrer mudanças significativas quando surgem novas informações. Quando as exposições a agentes químicos, mesmo abaixo dos limites de exposição, provocam o aparecimento de efeitos adversos, há um indicativo de que os limites de exposições considerados como recomendáveis, não sejam seguros.

Alguns organismos apresentam limites de exposição, são eles o *NIOSH*, a *OSHA*, a *American Conference of Governmental Industrial Hygienists - ACGIH*, a *American Industrial Hygienists Association - AIHA*, todos americanos. No Brasil, o Ministério do Trabalho e Emprego no Brasil. Dentre os limites de exposição propostos, os que apresentam maior nível de aceitação mundial são os da ACGIH, denominados *Threshold Limit Value - TLV*[®]. Os *TLV* são atualizados anualmente e atualmente, pela legislação brasileira, na Norma Regulamentadora Nº 9 que trata do Programa de Prevenção de Riscos Ambientais – PPRA. Na ausência de limite de exposição na NR 15 que trata das Atividades e Operações Insalubres pode-se adotar valores de limites de exposição reconhecidos internacionalmente.

Estão apresentadas a seguir as definições dos limites de exposição.

⇒ **Limite de Tolerância.** A Legislação Brasileira define este conceito na sua Norma Regulamentadora Nº 15 portaria 3214 do Ministério do Trabalho, de 8 de junho de 1978, através da seguinte redação: "Entende-se por Limite de Tolerância, para fins desta norma, a concentração ou intensidade máxima ou mínima, relacionada com a natureza e o tempo de exposição ao agente, que não causará danos à saúde do trabalhador durante a sua vida laboral".

Os valores de limite de tolerância apresentados na NR 15 foram baseados nos valores dos *TLV* da ACGIH de 1978, que são válidos para jornadas de trabalho de 40 horas semanais. Para tanto, procedeu-se a um ajuste nos valores para jornada de 48 horas semanais, jornada válida naquela época.

A denominação de limite de tolerância anteriormente adotada e ainda utilizada na NR15, caiu em desuso, uma vez que, a abordagem que se deseja dar não é a de um valor que seja tolerável, mas sim de um valor para exposição que seja encarado como um valor para ser trabalhado com o conhecimento atual que se detém a respeito da substância.

Existem dois tipos de limites de tolerâncias previstos na NR 15, o limite de tolerância média ponderada e o limite de tolerância valor teto.

- Limite de Tolerância Média Ponderada

É a concentração média ponderada no tempo para 8 horas de jornada diária de trabalho e 48 horas por semana.

- Limite de Tolerância Valor Teto

É a concentração que não deve ser excedida em nenhum momento da jornada de trabalho

⇒ **TLV (*Threshold Limit Value*):** TLV é nome registrado pela ACGIH em 1956 e refere-se “às concentrações das substâncias químicas dispersas no ar, ou aos níveis de exposição aos agentes físicos, e representam as condições sob as quais acredita-se que a maioria dos trabalhadores adultos saudáveis possa estar exposta, repetidamente, dia após dia, por 40 horas de trabalho semanais e por toda vida profissional, sem sofrer efeitos adversos à sua saúde.” Existem três tipos de TLV. (TLVs e BEIs, ACGIH, 2003)

- TLV - TWA: *Threshold Limit Values – Time Weighted Average*:

É a concentração média ponderada no tempo para 8 horas normais de trabalho e 40 horas por semana.

- TLV - STEL: *Threshold Limit Values - Short Time Exposure*:

É a concentração sob a qual os trabalhadores podem ficar expostos continuamente a pequenos períodos de tempo sem sofrerem os seguintes efeitos: Irritação; danos tissulares permanentes ou irreversíveis; narcoses em grau suficiente que permite aumentar a

probabilidade de lesão por acidente, diminuição dos reflexos para auto-ajuda ou que reduza a eficiência do seu trabalho. O TLV -STEL está definido como um *TLV-TWA para 15 minutos*, concentração esta que não deve ser ultrapassada em nenhum momento da jornada de trabalho e não pode repetir-se mais de 4 vezes por dia, sendo que deve haver pelo menos um intervalo de 60 minutos entre exposições sucessivas.

- TLV - C: *Threshold Limit Value - Ceiling*:

É a concentração que não deve ser excedida em nenhum momento da jornada de trabalho.

⇒ **IDLH – Immediately Dangerous to Life or Health**, valor estabelecido pelo NIOSH.

É a concentração de um contaminante, considerada Imediatamente Perigosa à Vida ou à Saúde, conhecida no Brasil como a concentração IPVS. Refere-se à exposição respiratória aguda, que supõe uma ameaça direta de morte ou consequências adversas irreversíveis à saúde, instantânea ou retardada, ou exposições agudas aos olhos que impeçam a fuga da atmosfera perigosa. A concentração IDLH é o nível máximo de exposição, durante 30 minutos, na qual um trabalhador pode escapar na eventualidade de o respirador falhar, sem perda de vida ou a ocorrência de efeito irreversível à saúde, imediato ou retardado.

⇒ **Nível de Ação.**

Equivale à metade da concentração do Limite de Exposição Ocupacional. O nível de ação está definido no item 9.3.6 da NR-9 que trata do Programa de Prevenção de Riscos Ambientais – PPRA e refere-se ao valor acima do qual devem ser iniciadas ações preventivas de forma a minimizar a probabilidade de que as exposições a agentes ambientais ultrapassem o Limite de Exposição.

As ações preventivas devem incluir o monitoramento periódico da exposição, a informação aos trabalhadores e o controle médico.

Estão descritas a seguir algumas considerações no uso dos limites de exposição:

- Os limites de exposição são definidos considerando principalmente a penetração pelas vias respiratórias, mas no local de trabalho nem sempre essa é a única via de ingresso do contaminante no organismo;
- São valores de referência técnica e vale para a maioria dos trabalhadores, não inclui a totalidade dos trabalhadores;
- São baseados na ciência atual.

⇒ **Valor de Referência Tecnológica - VRT**

O VRT é um valor estabelecido na NR 15 Anexo 13A e refere-se à concentração de benzeno no ar considerada exeqüível do ponto de vista técnico definido em processo de negociação tripartite. O VRT deve ser considerado como referência para os programas de melhoria contínua das condições dos ambientes de trabalho. O cumprimento do VRT é obrigatório e não exclui risco à saúde.

2.5. Medidas de controle

Controlar o risco significa reduzir e se possível eliminar a possibilidade da substância química provocar um dano. Para que o controle do risco seja eficiente, inicialmente, deve-se buscar a eliminação ou redução do risco atuando-se diretamente na fonte geradora do risco, de forma que a substância química fique isolada no ponto onde é gerada e não se dissipe pelo ambiente. Quando isto não é possível, busca-se implementar controles nos meios de propagação que impeçam a chegada da substância química ao trabalhador, ou que esta chegue pelo menos em concentrações inferiores aos limites de exposição. Caso não seja possível a adoção destes controles, deve-se trabalhar com controles que atuem sobre o trabalhador, impedindo a sua exposição descontrolada ao risco.

As medidas de controle podem ser divididas de acordo com a área em que irão atuar, sendo estas divididas em **Foco de Geração, Meio de Difusão ou Propagação e Receptor ou Trabalhador**. As medidas de controle que atuam no foco de geração ou meio de propagação são denominadas de controle de engenharia. Os controles que atuam sobre o trabalhador são obtidos através de fatores administrativos, técnicos ou pela adoção de sistemas de proteção coletiva ou individual.

Foco de Geração, tem o objetivo de impedir a formação deste, ou no caso da geração do contaminante químico, impedir sua passagem para a atmosfera do ambiente de trabalho.

A medida mais eficiente de controle é a substituição do produto perigoso por outro menos perigoso. Sempre que possível devemos procurar substituir o produto. Quando não dá para substituir o produto poderemos fazer a substituição ou a modificação de processos e de equipamentos. Outra forma importante de diminuição do risco na fonte é fazer o controle e manutenção de processos e equipamentos.

Meio de Propagação ou Difusão, tem o objetivo evitar que o contaminante químico já gerado se dissipe pela atmosfera e alcance concentrações superiores aos limites de exposição.

Para evitar que a substância se expande pelo ambiente podemos trabalhar de várias formas. Uma delas é colocando algum tipo de ventilação no local. Esta ventilação pode ser geral ou diluidora ou exaustora, quando coloca-se um exaustor junto da fonte onde o produto químico está sendo gerado. Pode-se manter um programa adequado de limpeza do ambiente e aumentar a distância entre o foco de geração e o empregado.

Receptor ou Trabalhador, tem a finalidade de evitar que o contaminante químico não penetre no organismo do trabalhador ou que, quando exposto, o trabalhador não fique submetido a concentrações superiores ao limite de exposição.

As medidas de controle relativas ao trabalhador geralmente complementam as medidas de controle ambiental. Estas medidas são: limitação do tempo de exposição, educação, capacitação, vigilância médica e utilização de equipamento de proteção respiratória.

A política do *NIOSH*, a norma da *OSHA* e o Programa de Proteção Respiratória da *FUNDACENTRO* são comuns no que tange à adoção de medidas de controle para a prevenção de doenças ocupacionais geradas pela exposição a contaminantes presentes no ar dos locais de trabalho. O controle deve ser efetuado prioritariamente através da adoção de controles coletivos. Somente quando estas medidas não forem viáveis, ou enquanto as mesmas estiverem sendo implantadas, ou, ainda, durante a manutenção dos sistemas de controle coletivo é que os equipamentos de proteção respiratória devem ser utilizados.

Algumas vezes, mesmo com a execução de controles de engenharia para reduzir a exposição a agentes químicos ao mínimo possível, nem sempre o ambiente é completamente seguro. Por este motivo, o trabalhador poderá precisar de proteção respiratória.

De acordo com a Norma Regulamentadora Nº 9 que trata do Programa de Prevenção de Riscos Ambientais – PPRA, as medidas de controle devem ser implementadas seguindo uma determinada hierarquia, conforme o texto da norma que segue:

“9.3.5.2. - O estudo, desenvolvimento e implantação de medidas de proteção coletiva deverá obedecer a seguinte hierarquia:

- a) medidas que eliminam ou reduzam a utilização ou a formação de agentes prejudiciais à saúde;*
- b) medidas que previnam a liberação ou disseminação desses agentes no ambiente de trabalho;*
- c) medidas que reduzam os níveis ou a concentração desses agentes no ambiente de trabalho.*

9.3.5.3. - A implantação de medidas de caráter coletivo deverá ser acompanhada de treinamento dos trabalhadores quanto aos procedimentos que assegurem a sua eficiência e de informação sobre as eventuais limitações de proteção que ofereçam.

9.3.5.4. - Quando comprovado pelo empregador ou instituição a inviabilidade técnica da adoção de medidas de proteção coletiva, ou quando estas não forem suficientes ou encontrarem-se em fase de estudo, planejamento ou implantação, ou ainda em caráter complementar ou emergencial, deverão ser adotadas outras medidas, obedecendo-se a seguinte hierarquia:

- a) medidas de caráter administrativo ou de organização do trabalho;*
- b) utilização de equipamento de proteção individual – EPI.”*

Vale ressaltar, que os controles de engenharia ou os sistemas de controle coletivo devem ser concebidos durante o projeto das plantas de trabalho, sendo o momento mais oportuno para a instalação destes controles, o período anterior ao do início dos processos.

2.5.1. Equipamentos de Proteção Respiratória

De acordo com a NBR 12543, os equipamentos de proteção respiratória, também denominados de respiradores, podem ser divididos em duas grandes classes: os purificadores de ar e os de adução de ar, conforme indica a figura. 2.1.

Os respiradores são concebidos para proteger os trabalhadores contra o ingresso dos contaminantes químicos pela via respiratória, não contempla, portanto, o ingresso por outras vias. Os respiradores variam conforme a concepção (purificador ou adutor de ar, segundo as especificidades de cada tipo), a aplicação que se deseja dar (proteção contra aerodispersóides e/ou gases e vapores, situações de emergência) e o nível de proteção (fator de proteção 10, para um respirador purificador de ar – peça semifacial filtrante e fator de proteção 1000 para respirador purificador de ar motorizado com peça facial inteira) que podem proporcionar ao usuário.

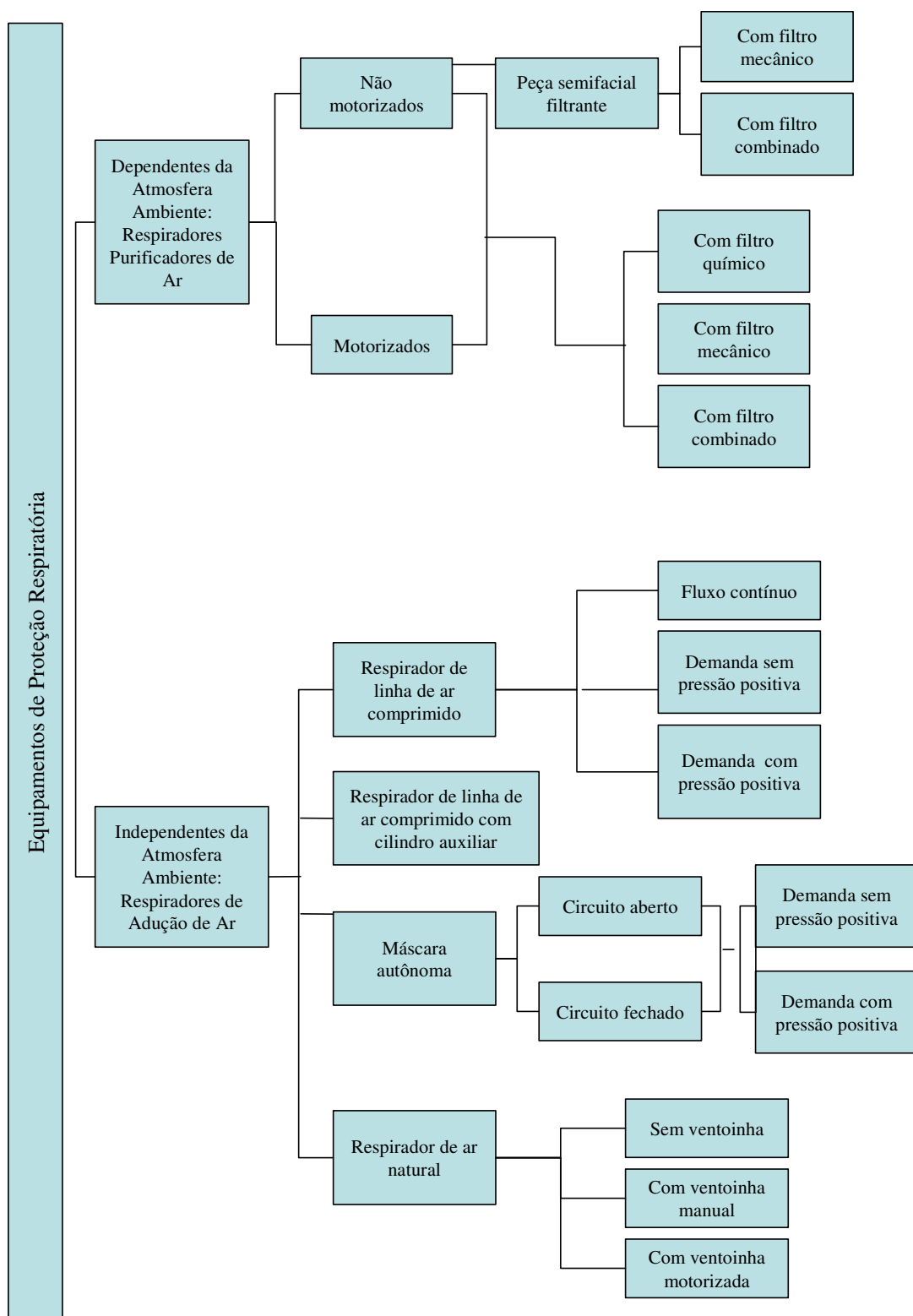


Figura 2.1. Tipos de Equipamentos de Proteção Respiratória.

Fonte: NBR 12543

Nos **respiradores purificadores de ar**, o ar ambiente, ao ser inspirado passa por um filtro que tem o objetivo de remover os contaminantes que estejam presentes no ar. Estes equipamentos são dependentes da atmosfera ambiente, e somente filtram o contaminante para

o qual o filtro foi concebido, portanto, caso haja insuficiência de oxigênio no ambiente, o usuário ficará submetido a todas as consequências possíveis de uma exposição à uma atmosfera “pobre” em oxigênio.

Estes respiradores podem ser motorizados ou não motorizados. Nos respiradores purificadores de ar motorizados, o ar atravessa o filtro pela ação de uma ventoinha que é acionada por um motor elétrico movido por bateria; este conjunto é transportado junto ao corpo do usuário. Quando não há o motor, o ar atravessa o filtro pela ação pulmonar do usuário, ou seja, pelo simples ato de inspirar.



Figura 2.2. Respirador Purificador de Ar. Fonte: 3M do Brasil

Os **respiradores de adução de ar** fornecem ao usuário ar respirável proveniente de uma atmosfera independente do ambiente, ou seja, nestes equipamentos o ar que é fornecido não provém do ambiente em que o usuário se encontra e que contém ar com contaminante. O ar que será fornecido deve estar de acordo com determinados padrões que irão caracterizá-lo como ar respirável. Estes padrões encontram-se descritos no Programa de Proteção Respiratória da FUNDACENTRO.

2.5.2. Sistema de Funcionamento do Respirador Purificador de Ar

O respirador purificador de ar, como visto anteriormente, irá atuar pela filtragem do ar existente no ambiente, fazendo com que o ar, após passar pelo filtro, seja inalado pelo usuário estando isento do contaminante que se desejava filtrar.

Sendo assim, em função do tipo de contaminante que se deseja reter é que se fará a escolha do filtro a ser utilizado no respirador.

Existem filtros que são específicos para reter aerodispersóides existentes no ar ambiente e são denominados filtros mecânicos. Os filtros destinados a reter gases e vapores são denominados de filtros químicos.

2.6. Programa de Proteção Respiratória

Sempre que se tornar necessária a utilização de um respirador, a empresa deverá adotar um conjunto de medidas com a finalidade de adequar a utilização dos equipamentos de proteção respiratória - EPR, com a finalidade de garantir uma completa proteção ao trabalhador contra os riscos existentes nos ambientes de trabalho.

Para tanto, de acordo com a Instrução Normativa Nº 01/94 do Ministério do Trabalho e Emprego, o empregador deverá seguir, além dos dispositivos aplicáveis, as recomendações da FUNDACENTRO contidas na publicação intitulada “ Programa de Proteção Respiratória - PPR - Recomendações, Seleção e Uso de Respiradores”.

As medidas previstas no escopo de um PPR devem conter pelo menos:

- O estabelecimento de procedimentos escritos abordando, no mínimo: a) os critérios para a seleção dos equipamentos; b) o uso adequado dos mesmos levando em conta o tipo de atividade e as características individuais do trabalhador; c) a orientação ao trabalhador para deixar a área de risco por motivos relacionados ao equipamento;
- A indicação do equipamento de acordo com os riscos aos quais o trabalhador está exposto;
- A instrução e o treinamento do usuário sobre o uso e as limitações do EPR;
- O uso individual dos equipamentos, salvo em situações específicas, de acordo com a finalidade dos mesmos;
- A guarda, a conservação e a higienização adequada;
- O monitoramento periódico das áreas de trabalho e dos riscos ambientais a que estão expostos os trabalhadores;
- O fornecimento somente a pessoas fisicamente capacitadas a realizar suas tarefas utilizando os equipamentos;
- O uso somente de respiradores aprovados e indicados para as condições em que os mesmos

forem utilizados;

- A adoção da proteção respiratória individual após a avaliação prévia dos seguintes parâmetros: a) características físicas do ambiente de trabalho; b) necessidade de utilização de outros EPI; c) demandas físicas específicas das atividades de que o usuário está encarregado; d) tempo de uso em relação à jornada de trabalho; e) características específicas de trabalho tendo em vista possibilidade da existência de atmosferas imediatamente perigosas à vida ou à saúde;
- A realização de exame médico no candidato ao uso do EPR, quando por recomendação médica, levando em conta, dentre outras, as disposições do inciso anterior, sem prejuízo dos exames previstos na NR 07.

FILTRO QUÍMICO

O filtro químico, conforme se vê na Figura 3.1. é um dos componentes do respirador purificador de ar destinado a reter contaminantes (gases ou vapores) contidos no ar. Existem vários tipos de filtros químicos, sendo cada um específico para a remoção de determinado agente contaminante. Os filtros químicos consistem em um cartucho preenchido com camadas de um material sólido finamente granulado responsável pela remoção dos contaminantes.



Figura 3.1. Filtro Químico. Fonte: 3M do Brasil

3.1. Mecanismos de Remoção e Materiais Utilizados

A remoção dos gases e vapores contidos no ar é realizada através da interação das moléculas do gás e do vapor com o material sólido contido no cartucho, conforme se vê na Figura 3.2.

O processo envolvido em geral para remover as moléculas do contaminante é denominado sorção, sendo três os mecanismos de remoção utilizados: adsorção, absorção e catálise. No processo de sorção a substância sólida é denominada sorbente e o fluido, no caso o gás ou o vapor, sorbato.

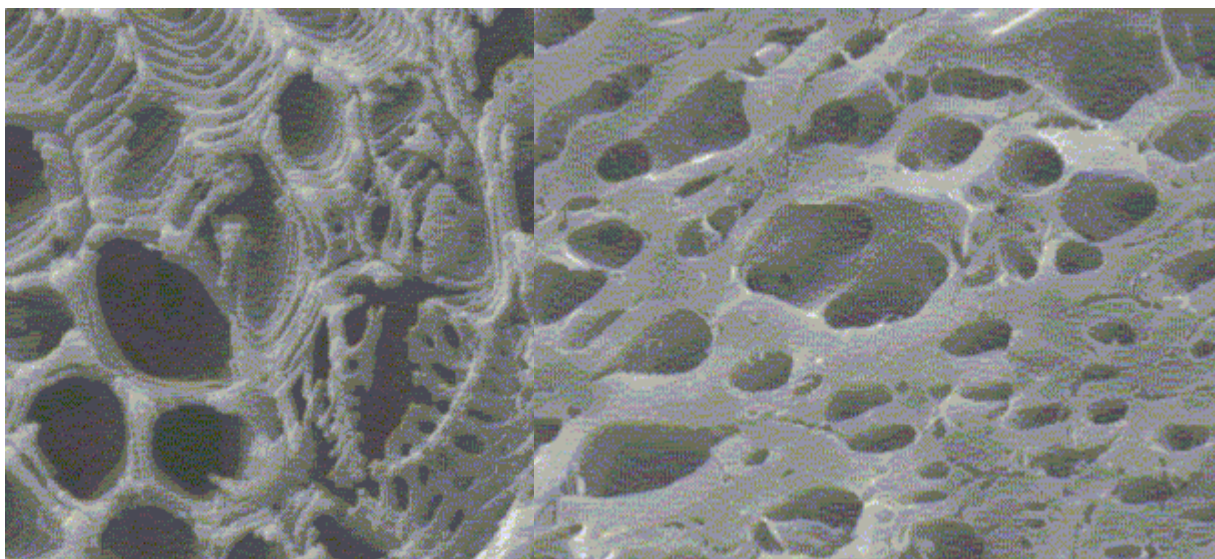


Figura 3.2. Microporos do carvão ativado contido no filtro químico. Fonte: 3M

3.1.1. Adsorção

A adsorção é um fenômeno de adesão reversível, do qual resulta a acumulação de uma substância gasosa na superfície de um corpo, constituído de material poroso.

Quando as forças de atração entre as moléculas e a superfície são físicas, o processo é denominado adsorção física. Se as forças de atração são mais intensas, o processo recebe o nome de adsorção química.

Na adsorção, as moléculas do vapor do agente químico penetram nos poros atraídas por forças de Van der Waals e condensam-se no interior dos microporos. A intensidade da atração e, por conseguinte, a quantidade de gás ou vapor retida varia com o tipo de sorbente e contaminante. Como a adsorção é um fenômeno de superfície, os sorbentes utilizados encontram-se na forma de partículas com a área superficial extremamente elevada, dispostas em camadas com espessura que depende da concentração do contaminante, da vazão do ar, da temperatura e da umidade.

O ar com o contaminante, ao passar pelo filtro químico, interage com as primeiras camadas do material granulado que captura as moléculas do contaminante, fazendo com que ar com um número de moléculas menor do contaminante alcance as camadas seguintes. O ar ao alcançar as últimas camadas deverá sair sem moléculas do contaminante. Quando as camadas mais profundas começam a ficar saturadas surgem moléculas do contaminante no ar que sai do filtro. Neste momento o filtro deve ser substituído.

Os filtros de menor espessura são utilizados com a finalidade de reter gases e vapores em concentrações pequenas (dezenas de ppm), e os de maior espessura, concentrações maiores (10 mil ppm). Em face da atividade desenvolvida pelo usuário, a vazão do ar através do filtro varia de alguns litros por minuto nos trabalhos leves, até 95 litros por minuto nos trabalhos pesados.

Quando a força envolvida na atração é fraca, a camada de sorbente pode ter uma ou mais moléculas de sorbato de espessura, resultando em pequena capacidade de adsorção. Quando as forças de atração são suficientes para juntar as moléculas com tal intensidade que o vapor condensa nos poros, resulta em alta capacidade de adsorção. Porém, à medida que outras moléculas são adsorvidas, a intensidade da força de atração pode alterar-se e as moléculas tendem a se soltar do líquido, isto é, parte do líquido se evapora na superfície dos grãos. Desse ponto em diante, diminui a retenção daquela camada de grãos.

Materiais Utilizados

Uma característica comum dos adsorventes é a grande área de superfície, acima de $1500 \text{ m}^2/\text{g}$ de sorbente, proporcionando uma área de contato elevada para a adsorção dos contaminantes.

São utilizados como adsorventes o carvão ativado, a alumina ativada e a sílica-gel na forma de grãos com dimensões aproximadas de um a dois milímetros. O carvão ativado é o mais comum dos adsorventes.

A *alumina ativada*, que consiste de óxido de alumínio poroso, é obtida através da desidratação do triidrato de alumínio. Tem boa capacidade de adsorção de vapor de água e, impregnada com sais metálicos, retém amônia.

A *sílica-gel* é um adsorvente produzido a partir da sílica coloidal desidratada. Possui elevada capacidade de adsorção de vapor d'água. Impregnada com sais metálicos, retém amônia.

O *carvão ativado* pode ser fabricado com diversas matérias-primas, dentre elas, casca de babaçu, nó de pinho, carvão mineral e outros. Os grãos podem provir da moagem do carvão, ou da extrusão de uma pasta de pó de carvão ativo, na forma de pequenos pedaços de grafite de lápis.

Ele é usado prioritariamente para remover vapores orgânicos, embora tenha alguma capacidade de adsorver gases ácidos. Algumas vezes é impregnado com outras substâncias para torná-lo mais seletivo contra gases e vapores específicos.

Impregnado com iodo, aumenta a capacidade de adsorver vapor de mercúrio; com óxido de cobre, melhora a adsorção do fosgênio, com óxidos metálicos para remover gases ácidos e com sais de metais para remover amônia.

O vapor de água é igualmente adsorvido pelo carvão ativo fazendo com que as superfícies cobertas pelo vapor que condensa em virtude das forças de superfície se tornam inativas para os vapores orgânicos.

3.1.2. Absorção

Se as moléculas do gás ou vapor não permanecem imutáveis na superfície do sólido, mas, o penetram e reagem quimicamente com ele, mudando a natureza química dos dois, o processo é denominado de absorção.

A absorção difere da adsorção uma vez que as moléculas do gás ou vapor penetram profundamente nos espaços moleculares do sorbente onde são presos quimicamente. Provavelmente a absorção não pode ocorrer sem uma prévia adsorção na superfície das partículas. Outra diferença, está no fato de que a adsorção ocorre instantaneamente, ao passo que a absorção é um processo lento.

A absorção, normalmente, é utilizada para proteção contra gases ácidos.

Materiais Utilizados

Embora porosos, os absorventes diferem dos adsorventes por não apresentarem área específica muito grande, como resultado da prevalência de poros maiores.

Os absorventes alcalinos, utilizados para reter gases e vapores ácidos, são geralmente compostos de misturas de hidróxido de potássio e sódio com carbonato de sódio e/ou silicatos alcalinos. Como se trata de uma reação entre um gás e um sólido, a presença da umidade favorece o contato entre os reagentes.

3.1.3. Catálise

A catálise é uma reação que envolve a presença de um catalisador que faz com que a velocidade da reação original seja aumentada.

A captura de certos gases pode ser feita por filtros contendo catalisador, com a finalidade de aumentar a velocidade de reação do contaminante com outro componente da mistura gasosa.

Materiais Utilizados

Um tipo de catalisador usado em máscaras é o hopcalite, uma mistura granulada porosa de óxidos de manganês e cobre o qual acelera a reação entre o monóxido de carbono e o oxigênio para formar o dióxido de carbono.

3.1.4. Considerações

Enquanto a capacidade de adsorção, absorção ou catálise não é ultrapassada, o filtro apresenta eficiência total. Quando essa capacidade for ultrapassada, recomenda-se a substituição do filtro.

A adsorção por atração física mantém as moléculas adsorvidas fracamente, podendo ocorrer o processo inverso ao da adsorção, denominado desorção, onde as moléculas do gás ou vapor são desprendidas da superfície do sorbente. Na adsorção química as forças que seguram as moléculas no sorbente são muito mais fortes e podem ser quebradas somente com grande dificuldade, fazendo com que o processo de desorção seja mais difícil de ocorrer. O favorecimento do processo de desorção depende do tipo do contaminante e do sorbente, da temperatura do ambiente e das condições de guarda do filtro químico. Em função destas variáveis a reutilização de um filtro químico pode não ser segura.

3.2. Tipos e Classes de Filtros Químicos

Conforme a NBR 13696, os filtros químicos são classificados em tipos e classes, de acordo com a sua aplicação e a capacidade de proteção que oferecem.

3.2.1. Tipo

O tipo do filtro químico diz respeito ao **agente contaminante** que será retido no respirador. Um filtro químico pode ser de um tipo ou uma combinação de tipos, conforme descrito a seguir e como indica a Tabela 3.1.

- A. **Vapores orgânicos:** Indicado para uso contra certos gases e vapores orgânicos, conforme especificação do fabricante.
- B. **Gases ácidos:** Indicado para uso contra certos gases ou vapores ácidos inorgânicos, conforme especificação do fabricante. Excluindo o monóxido de carbono.
- C. **Amônia:** Indicado para uso contra amônia e compostos orgânicos da amônia, conforme especificação do fabricante.
- D. **Especiais:** Indicado para uso contra contaminantes específicos não incluídos nos tipos anteriores: mercúrio, cloreto de vinila, fosfina, ácido cianídrico, gás sulfídrico, óxido

de etileno, monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio, formaldeído e defensivos agrícolas. Alguns filtros especiais possuem norma específica.

Quando o *filtro químico* é constituído de dois ou mais dos tipos citados acima ele recebe a denominação de *filtro multitypo*. Quando ao filtro químico é acrescido um filtro mecânico, destinado a reter partículas no ar, o filtro é denominado de *filtro combinado*.

Tabela 3.1 - Máxima concentração de uso dos filtros químicos

Classe do filtro	Tipo	Concentração Máxima de uso (ppm)	Tipo de peça facial compatível
FBC			
FBC-1	Vapor orgânico ^(A)	50	Semifacial filtrante, quarto facial, semifacial
	Gases ácidos ^{(A) (C)}	50	
FBC-2	Vapor orgânico ^(A)	1000	Semifacial, facial inteira ou conjunto bocal
	Cloro	10	
1	Vapor orgânico ^{(A) (B) (C)}	1000	Quarto facial semifacial facial inteira ou conjunto bocal
Cartucho pequeno	Amônia	300	
	Metilamina	100	
	Gases ácidos ^{(A) (B)}	1000	
	Ácido clorídrico	50	
	Cloro	10	
2	Vapor orgânico ^{(A) (B) (C)}	5000 ^(C)	Facial inteira
Cartucho médio	Amônia	5000 ^(C)	
	Gases ácidos ^{(A) (B)}	5000 ^(C)	
3	Vapor orgânico ^{(A) (B) (C)}	10000 ^(C)	Facial inteira
Cartucho grande	Amônia	10000 ^(C)	
	Gases ácidos ^{(A) (C)}	10000 ^(C)	

Fonte: NBR 13696. (A) Não usar contra vapores orgânicos ou gases ácidos com fracas propriedades de alerta, ou que gerem alto calor de reação com o conteúdo do cartucho. (B) A concentração máxima de uso não pode ser superior ao I.P.V.S. (Imediatamente Perigoso à Vida ou à Saúde). (C) Para alguns gases ácidos e vapores orgânicos, esta concentração máxima de uso é mais baixa.

Algumas considerações incluídas na Norma indicam:

- A máxima concentração de uso dos respiradores em situações rotineiras que incorporem filtro químico, para um dado gás ou vapor deve ser: 1) menor que o valor IPVS; 2) menor que o valor indicado na Tabela 3.1 para o referido gás ou vapor; 3) menor que o produto: Fator de Proteção atribuído do respirador purificador utilizado x Limite de exposição. Dos três valores obtidos, o que for menor.
- O uso contra vapores orgânicos ou gases ácidos com fracas propriedades de alerta, ou que gerem alto calor de reação com o conteúdo do cartucho deve obedecer ao exigido no item (m) de 4.2.2.2 da publicação Programa de Proteção Respiratória, Recomendações, seleção e uso de respiradores da FUNDACENTRO.

3.2.2. Classe

Os filtros podem pertencer a quatro classes: filtros de baixa capacidade (FBC1 e FBC2), classe 1, classe 2 e classe 3. A classe de um filtro químico diz respeito à **capacidade de proteção** oferecida.

A classe do filtro está relacionada diretamente com a quantidade de sorbente contido no filtro o que se reflete na Máxima Concentração de Uso (MCU) e na vida útil mínima obtida em bancada de laboratório como mostram as Tabelas 3.1 e 3.2.

Tabela 3.2. Condições de ensaio para a medida da vida útil em bancada dos filtros para gases e vapores.

Filtro tipo e classe	Gás/vapor de ensaio	Concentração de ensaio (ppm)	Concentraçã o limitante (ppm)	Vida útil mínima ^(A) (min)	Vazão (L/min)	Nº de filtros para ensaio
Classe FBC-1						
Vapor	CCl ₄	50	5	15	30	3
orgânico	Cl ₂	50	0,5	15	30	3
Gás ácido						
Classe FBC-2						
Vapor	CCl ₄	1000	5	20	30	3
orgânico	Cl ₂	1000	0,5	20	30	3

Cloro						
Classe 1						
Vapor	CCl ₄	1000	10	80	30	3
orgânico	Cl ₂	1000	0,5	20	30	3
Gás ácido ^(D)	SO ₂	1000	5	20	30	3
	NH ₃	1000	25	50	30	3
Amônia						
Classe 2						
Vapor orgânico	CCl ₄	5000	10	40	30	3
Gás ácido ^(D)	Cl ₂	5000	0,5	20	30	3
	SO ₂	5000	5	20	30	3
Amônia	NH ₃	5000	25	40	30	3
Classe 3						
Vapor	CCl ₄	10000	10	60	30	3
orgânico	Cl ₂	10000	0,5	30	30	3
Gás ácido ^(D)	SO ₂	10000	5	30	30	3
	NH ₃	10000	25	60	30	3
Amônia						

Fonte: NBR 13696. (A) Se um filtro é uma combinação de dois ou mais tipos, a vida útil mínima exigida fica dividida pela metade. Para cada gás de ensaio, deve ser usado um filtro novo. (B) Quando dois ou mais filtros são projetados para serem usados em paralelo, se ensaiados em separado, a vazão de ensaio deve ser dividida igualmente pelo número de filtros. Se, porém, puderem ser usados em um respirador com um único filtro, a vazão de ensaio deve ser a indicada na Tabela 3. (C) Vazão: 30 L/min $\pm$ 0,5 L/min; Umidade: (70 $\pm$ 2)%; Temperatura: (20 $\pm$ 1) °C. (D) Os filtros para gases e vapores ácidos devem ser ensaiados com os dois gases indicados. Para cada gás de ensaio deve ser usado um filtro novo. Notas: A Vida útil mínima é um valor especificado somente para ensaios de laboratório em condições padronizadas. Ela não dá qualquer indicação da vida útil em uso. A concentração limitante é um valor usado somente para definir o ponto final da capacidade do filtro ensaiado em condições padronizadas.

Uma vez que a classe impacta na quantidade de sorbente existente no filtro, a resistência à respiração provocada pelo uso de um filtro será influenciada pela classe do filtro que está sendo utilizado. Quanto maior a classe, maior será a resistência à respiração, como indica a Tabela 3.3.

Tabela 3.3. Resistência inicial à respiração.

Classe do filtro	Máxima resistência (Pa)	
	30 L/min	95 L/min
FBC	-	-
FBC-1	— (A)	— (A)
FBC-2	— (B)	— (B)
1	100	400
1 - P1	160	610
1 - P2	170	640
1 - P3	220	820
2	140	560
2 - P1	200	770
2 - P2	210	800
2 - P3	260	980
3	160	640
3 - P1	220	850
3 - P2	230	880
3 - P3	280	1060

Fonte: NBR 13696. (A) A máxima resistência do filtro Classe FBC-1 é a do filtro mecânico que o constitui (ver NBR 13698 :1996). (B) A máxima resistência do filtro Classe FBC-2 quando instalado na peça facial é de 50 Pa, medida com fluxo contínuo de 85 L/min; Nota: A resistência à respiração deve ser medida em duas vazões: 30 L/min e 95 L/min. Estas duas vazões irão representar o fluxo respiratório do usuário em atividade leve e pesada.

3.3. Constituição

Os filtros químicos de baixa capacidade FBC1 são aqueles com formato de peça semifacial filtrante, onde na própria máscara de proteção respiratória encontra-se o material

adsorvedor ou absorvedor. Os filtros químicos FBC-2, classe 1, 2 e 3 são compostos por um cartucho contendo um material sorbente.

Os cartuchos podem fixar-se na peça facial por encaixe ou por rosca. Os filtros classe 1 podem ser confeccionados para uso sozinho ou aos pares na peça facial, neste caso é importante verificar que a resistência à respiração de ambos seja igual, pois o ar irá passar preferencialmente pelo de menor resistência, saturando-o. A opção entre um tipo ou outro depende da atividade, da diminuição do campo visual e de fatores subjetivos.

O cartucho é confeccionado em polipropileno de alta resistência ou outro plástico de resistência comprovada ou ainda algum elemento metálico (normalmente alumínio) e o sorbente, normalmente, é o carvão ativo. Para a constituição do filtro, o carvão ativo deve atender a determinados requisitos, como ter a capacidade de atrair e reter quantidades apreciáveis de contaminantes e não ter grãos friáveis para impedir a formação de pó no manuseio do filtro. No cartucho, os grãos ficam entre duas telas e assim evitam que os grãos mais finos escapem. Essas telas não têm a finalidade de reter particulados do ar, o que deve ser feito por filtro para particulados colocado na entrada do ar, na parte externa do cartucho, configurando, então, um filtro combinado.



Figura 3.3. Filtros químicos classes 1 e 2 com fixação por encaixe e por rosca. Fonte: MSA do Brasil Equipamentos e Instrumentos de Segurança Ltda.

A quantidade de sorbente em cada classe de filtro deve ser suficiente para satisfazer as exigências de vida útil e resistência à respiração. Os filtros de baixa capacidade FBC1 possuem uma quantidade muito pequena de sorbente (cerca de 100 gramas por metro quadrado) e são indicados para uso em ambientes com concentração de até 50 ppm de alguns

gases. Os FBC2 são aprovados para uso em concentração de até 1000 ppm de alguns vapores e gases, mas sua vida útil é mais curta que a dos filtros classe 1.

Geralmente os filtros do tipo classe 1 aos pares têm volume de 50 a 200 centímetros cúbicos de recheio cada. A construção desses filtros é muito mais simples que os de classe 2 ou 3. Apresentam vida útil curta, sobretudo em altas concentrações de contaminantes e podem ser empregados nos respiradores com peças semifaciais e faciais inteiras.

Nos filtros do tipo classe 2, o volume do recheio varia entre 250 a 500 centímetros cúbicos e podem ser conectados, por rosca, às peças faciais inteiras.

O volume dos filtros do tipo classe 3 varia de 1000 a 2000 centímetros cúbicos e podem ser utilizados apenas se montados em suportes convenientes nas costas ou no peito do usuário. O posicionamento nas costas favorece a entrada em passagens estreitas e em algumas operações deixa o filtro exposto a concentrações menores do que se estivesse na frente do usuário. O ar chega à peça facial por meio de uma traquéia ou tubo flexível, graças à ação pulmonar.

Os filtros classes 2 e 3 não devem ser usados nos respiradores com peça semifacial, como indica a última coluna da tabela 3.1, visto que o peso do filtro afeta sobremaneira a vedação da peça facial no rosto.

No filtro multitipo o cartucho irá conter uma mistura de dois ou mais adsorventes ou absorventes. É comum a adoção de telas para separar as camadas adjacentes, a fim de impedir a mistura, e manter sua integridade durante o uso do filtro. Com vistas a evitar a formação de caminhos preferenciais, a parede lateral do cartucho é corrugada, ou em alguns modelos é inserido um disco vazio no centro que se ajusta bem à parede lateral.

3.4. Código de Cores

A norma brasileira NBR 13696 que trata dos filtros químicos e combinados não estabelece nenhum código de cores para a confecção dos filtros químicos.

Uma codificação por cores pode apresentar alguns benefícios, pois facilita a correlação do filtro com o tipo de contaminante para o qual ele é indicado.

Os filtros químicos utilizados na Comunidade Européia e na Norte-Americana obedecem à um código de cores padronizado. Não há, entretanto, uma correlação das cores entre as duas referências. Por exemplo, na Comunidade Européia a cor amarela no filtro indica a utilização contra dióxido de enxofre e outros gases ácidos e vapores; nos Estados Unidos a cor amarela indica filtro contra gases ácidos, amônia e vapores orgânicos.

3.5. Vida Útil de um Filtro Químico

É difícil avaliar a vida útil de um filtro químico nas condições normais de trabalho, pois ela depende da característica do filtro, da concentração do contaminante, da umidade relativa do ar e da atividade do usuário. Logo, não existe uma regra geral sobre quando um filtro deva ser trocado. Cada situação deve passar por uma análise individual.

Antes de tratar da vida útil em uso, vamos falar da validade de um filtro químico e da vida útil em ensaio de laboratório.

3.5.1. Validade

A validade de um filtro químico refere-se ao tempo em que o filtro, na embalagem original do produto não violada e armazenada sob as condições determinadas pelo fabricante, permanece em condições de uso. Este tempo varia, normalmente, entre três e cinco anos.

Uma vez que a embalagem seja aberta e, ainda que, o filtro não seja utilizado a validade do filtro passa a ser de, no máximo, seis meses ou período definido pelo fornecedor.

3.5.2. Vida Útil

A vida útil em ensaio de laboratório é o tempo necessário para atingir a concentração limitante no ar efluente do filtro durante o ensaio de um filtro químico, em condições especificadas.

É importante ressaltar, que a determinação da vida útil tem por finalidade, somente, garantir a qualidade mínima do filtro e não tem o objetivo de determinar a vida útil em uso. O tempo obtido de vida útil em ensaio de laboratório não tem nenhuma relação com o tempo de duração da vida útil em uso.

3.5.3. Vida Útil em Uso

A vida útil em uso refere-se à duração de um filtro que está sendo utilizado no ambiente de trabalho. De acordo com a NBR 12.543 ela dependerá da concentração do contaminante, do nível de atividade do usuário, da capacidade pulmonar, da presença de outros contaminantes e da umidade do ar.

Aspectos referentes ao material adsorvente, tais como características de formação, quantidade, densidade e uniformidade no cartucho, também influenciam na vida útil em uso.

Mesmo com a vida útil medida em laboratório, não é fácil estimar a vida útil em uso, pois somente se pode levar em consideração na estimativa do tempo de vida útil em uso, a influência de parâmetros como: efeito do fluxo de ar, concentração do contaminante, umidade e massa de carvão no filtro.

3.5.3.1. Fatores Impactantes na Vida Útil em Uso

Alguns fatores influenciam o tempo de vida útil em uso, são eles: o fluxo de ar (a vida útil é inversamente proporcional à vazão), a concentração do contaminante, o sorbente a ser utilizado no filtro para remoção dos contaminantes, o fenômeno da desorção, a umidade relativa do ar e o contaminante.

Estão descritos a seguir os principais fatores impactantes na vida útil em uso.

A) Sorbente

As propriedades do sorbente contido nos cartuchos podem variar de fabricante para fabricante. Um problema a ser controlado pelo fabricante é evitar que grandes quantidades de ar passem por uma pequena área no material sorbente. Essas “janelas” ou “caminhos preferenciais” reduzem consideravelmente a vida útil em serviço. A forma de manuseio dos

filtros, tais como quedas e armazenamento em condições desfavoráveis (convém armazená-los na posição horizontal), podem favorecer a formação destes caminhos preferenciais.

A quantidade de massa existente no cartucho será diretamente proporcional à quantidade de vapor ou gás a ser adsorvido e à vida útil em uso.

B) Desorção

Quando os filtros químicos não estão em uso, as substâncias químicas podem se desorver do carvão ativo contido no filtro. O reuso inadequado dos filtros químicos pode resultar na ocorrência da necessidade de troca do filtro em um período mais curto que o tempo estimado de vida útil em uso.

O processo de desorção que ocorre durante o armazenamento ou nos períodos de não utilização do filtro químico pode resultar na migração do contaminante pelo filtro. A migração é um conceito para vapores orgânicos, não para gases ácidos, amônia ou metilamina. Vapores orgânicos adsorvidos em um filtro para vapor orgânico podem migrar pelo carvão sem a existência de um fluxo de ar.

A migração é o movimento da substância química previamente adsorvida através do filtro, mesmo sem movimento de ar.

A desorção de contaminantes muito voláteis pode ocorrer após períodos curtos (horas) sem uso, como por exemplo, uma noite. O uso parcial de um cartucho químico e o conseqüente reuso podem expor potencialmente o usuário ao contaminante. Isto é mais significativo para vapores orgânicos mais voláteis. De acordo com o Boletim Técnico 142 da 3M, para vapores orgânicos com ponto de ebulição (PE) menor que 65 °C é recomendado que o filtro nunca seja usado por mais que uma troca, mesmo que em um mesmo dia de trabalho. Esta recomendação deve ser adotada mesmo que a vida útil em uso seja maior que 8 (oito) horas e o filtro químico tenha sido utilizado apenas por um período curto de tempo em uma jornada de trabalho.

Entretanto, o ponto de ebulição de 65 °C não é uma linha divisória entre substâncias químicas que migram e aquelas que não migram.

A coadsorção da água, através da utilização do filtro em ambientes com umidade relativa superior a 50%, pode aumentar o efeito da migração.

Para substâncias químicas com ponto de ebulição superior a 65 °C, o não uso ou armazenamento por períodos de dias como, por exemplo, uma semana deve ser analisado. Para estas substâncias, como, por exemplo, o acetato de etila, PE 77 °, o reuso não deveria ser permitido depois de dois dias de não uso, ainda que o tempo estimado de vida útil em uso seja superior a este tempo.

Para trabalhadores que usam respiradores intermitentemente e talvez em diferentes ambientes, tais como, mecânicos, os filtros químicos não deveriam nunca ser reutilizados.

O usuário pode conduzir estudos de desorção, simulando as condições de trabalho de uso e não uso, para determinar limites aceitáveis de reuso. A Norma Z88.2-1992 do ANSI – *American National Standard for Respiratory Protection* recomenda que um filtro para vapor orgânico seja trocado diariamente, a menos que, estudos de desorção suportem uma utilização mais longa.

C) Umidade Relativa do Ar

A vida útil de um filtro químico para vapor orgânico depende entre outros parâmetros do nível da umidade relativa, da concentração, da volatilidade e da miscibilidade em água do contaminante. O efeito da umidade relativa (UR) na performance do filtro não é freqüentemente estimado.

Um trabalho apresentado por Johnson, E. W. em 2001 na *American Industrial Hygiene Conference and Exposition* descreve o efeito da umidade relativa nos filtros para vapores orgânicos. Os testes foram desenvolvidos com quatro solventes orgânicos que variam de pouco volátil – estireno, a muito volátil – n-hexano, nas concentrações de 5 a 1000 ppm.

Tabela 3.4. Pressão de vapor em 20 °C e ponto de ebulição.

Solvente	Pressão de Vapor (mmHg)	Ponto de Ebulição (°C)
n-Hexano	124	69
Benzeno	75	80
Tolueno	21	110.6
Estireno	5	145-146

A Tabela 3.4 mostra os resultados obtidos para solventes específicos. Os filtros foram testados sem pré-condicionamento para simular a dinâmica de competição da água e do solvente pelos sítios ativos do filtro.

As constatações a seguir foram obtidas do estudo desenvolvido.

- A vida útil de um filtro químico varia pouco para umidades relativas abaixo de 50 %, e que acima de 80 % ela fica reduzida a mais da metade.
- O efeito da elevada UR é maior para os contaminantes mais voláteis nas menores concentrações.
- Para contaminantes com baixa volatilidade como o estireno o efeito da elevada umidade relativa é baixo em qualquer concentração.
- Na prática um tempo de vida útil determinado em umidade relativa de 50% deve ser dividido pelo fator de correção previsto para uma vida útil em umidade relativa de 75%, 85 ou 90 %.
- Para contaminantes não contemplados pelo estudo, pode-se fazer uma correlação de acordo com a similaridade em relação à pressão de vapor e do ponto de ebulição.

Os testes foram feitos com contaminantes imiscíveis em água (insolúveis) com vistas a demonstrar o pior caso pelo efeito da elevada UR.

Os contaminantes miscíveis não são tão afetados pela elevada UR, pois existe a possibilidade da umidade contida no sorbente aumentar a remoção de alguns vapores por

atuar como catalisador, como reagente ou como solvente. A quantidade de água adsorvida existente nos poros de carvão é tão maior quanto maior for a umidade relativa.

Apesar da adsorção de vapores orgânicos ser dificultada pela elevada umidade relativa, a performance dos filtros para remoção de gases ácidos e bases é aumentada em umidades relativas altas.

D) Contaminante

A influência do contaminante na vida útil de um filtro está relacionada com a maior ou menor facilidade do contaminante em ficar retido nos microporos do carvão ativo.

Como a adsorção se dá, principalmente, pela interação de forças físicas e condensação do contaminante nos microporos do carvão, o ponto de ebulição e a temperatura crítica são dois parâmetros que servem como critério geral para prever a retenção de gases e vapores pelo carvão ativo. Sendo assim, compostos com ponto de ebulição mais elevado, ou seja, líquidos na temperatura e pressão ambiente são adsorvidos com mais facilidade, pois tendem a condensar mais facilmente.

Entretanto, o ponto de ebulição não pode ser considerado como uma regra, pois existem exceções. O cloro é um exemplo, uma vez que, apesar de possuir um baixo ponto de ebulição é adsorvido acima do esperado.

Um outro ponto a se destacar é a existência de contaminantes múltiplos que poderão afetar negativamente a estimativa de vida útil em uso, uma vez que, serão adsorvidos em menor ou maior quantidade pelo adsorvente, impedindo a adsorção das moléculas do contaminante que se deseja reter e para o qual foi calculada a vida útil em uso.

E) Temperatura

Altas temperaturas podem afetar negativamente a capacidade adsorviva de um filtro químico. A alta temperatura pode atuar enfraquecendo as forças atrativas que fazem a adsorção acontecer. Os efeitos da temperatura isoladamente podem ser responsáveis pela redução da vida útil em uso em torno de 1 a 10% para cada 10 °C, dependendo do solvente (Nelson, G.O. et. al., 1976).

Quadro 3.1: Resumo dos fatores impactantes na vida útil em uso de um filtro químico

Sorbente	A quantidade de vapor ou gás a ser adsorvido é diretamente proporcional à massa de sorbente existente no cartucho e, por conseguinte à vida útil em uso.
Desorção	A desorção afeta negativamente a vida útil em uso. O fenômeno da desorção é mais evidenciado em vapores orgânicos com ponto de ebulição menor que 65 °C.
Umidade Relativa do Ar	O vapor de água irá competir com o vapor orgânico por sítios ativos do adsorvente reduzindo a vida útil em uso do filtro químico.
Contaminante	Vapores orgânicos com ponto de ebulição mais elevado são adsorvidos com mais facilidade. A existência de múltiplos contaminantes gera um grau de incerteza na estimativa da vida útil em uso.
Temperatura	Quanto maior a temperatura, mais curto torna-se o tempo de vida útil em uso.

3.6. Critério de Troca

Para o uso seguro dos respiradores o usuário deve possuir uma forma de saber quando se aproxima o término da vida útil do filtro, ou seja, quando começará a sair do filtro e a chegar à zona respiratória do trabalhador ar contendo contaminante, de forma a possibilitar a troca do filtro antes da exposição do trabalhador ao contaminante.

Existem três formas de se identificar o término da vida útil de um filtro químico e de se estabelecer um critério de troca. A seguir estão descritos os critérios existentes e as suas restrições.

3.6.1. Propriedades de Alerta

O trabalhador ao perceber a substância, através de fatores perceptivos, tais como olfato, gosto ou irritação, durante a utilização do respirador, percebe que o filtro chegou ao fim da sua vida útil e promove a troca do mesmo.

A propriedade de alerta comumente utilizada é a percepção ao odor e vale ressaltar que ela está relacionada diretamente com o limiar ao odor fornecido pela substância, ou seja, aquela concentração mínima no ar da substância que pode ser percebida pelo olfato. Para algumas substâncias o limiar ao odor é superior ao limite de exposição, ocasionando um grande perigo à saúde do trabalhador, à medida que ele só consiga perceber a substância quando essa já tiver em uma concentração superior ao limite de exposição.

A troca do filtro químico através das propriedades de alerta é o critério de troca mais comumente utilizado, entretanto, é necessário que a substância possua boas propriedades de alerta e que estas propriedades possam ser percebidas quando a substância está presente em concentração inferior ao limite de tolerância. Um fator preocupante na utilização deste critério de troca se deve ao fato de que com o tempo o trabalhador começa a adquirir uma fadiga olfativa (perde a sensibilidade ou se acostuma ao odor), fazendo com que a percepção à substância aconteça cada vez em uma concentração maior. Em decorrência destas variáveis é que o PPR-Fundacentro no item 4.2.2.2. (m) estabelece:

“Se o contaminante é um gás ou vapor com fracas propriedades de alerta, é recomendado o uso de respiradores de adução de ar. Se estes não puderem ser usados por causa da inexistência de uma fonte de ar respirável, ou por causa da necessidade de mobilidade do trabalhador, o respirador purificador de ar poderá ser usado, somente quando existir um plano de troca de filtro que leve em conta a vida útil do filtro, bem como a desorção (a não ser que a troca seja diária), a concentração esperada, o modo de usar e o tempo de exposição forem estabelecidos.”

3.6.2. Indicador de Fim de Vida Útil

O indicador de fim de vida útil (*End-of-service-life – ESLI*) é um sistema estabelecido pela OSHA na última revisão da sua norma de proteção respiratória 29 CFR 1910.134 que *“notifica ao usuário do respirador da aproximação do término da vida útil do respirador, como por exemplo que o adsorvente está próximo da saturação ou que não é mais efetivo.”*

Poucos filtros possuem indicador de fim de vida útil, como os aplicáveis para monóxido de carbono, vapor de mercúrio, óxido de etileno. Nesses casos, devem ser descartados quando o indicador alertar o usuário de que o filtro não é mais eficiente na retenção do contaminante.

3.6.3. Programa de Troca

Um programa de troca é implementado para assegurar que um filtro será trocado antes do término da vida útil. Este programa de troca deve ser determinado para cada situação específica de trabalho, pois o término da vida útil depende de fatores inerentes à cada situação de trabalho, tais como a concentração do contaminante, metabolismo requerido pela atividade de trabalho, umidade relativa do ar, temperatura e características do respirador que está sendo utilizado.

O padrão da *OSHA* estabelece que sejam utilizados respiradores purificadores de ar contendo um indicador de fim de vida útil (*ESLI*) certificado pelo *NIOSH* para o contaminante que será retido pelo filtro. Ou, caso não exista um *ESLI* apropriado para o contaminante que se deseja reter, que o empregador estabeleça um programa de troca de filtro químico baseado em informação objetiva ou dados que assegurem que os filtros são trocados antes do fim da vida útil. O empregador deverá descrever no programa de proteção respiratória a forma pela qual são obtidos os dados para a utilização deste critério de troca.

Os fabricantes de respiradores possuem softwares para o cálculo do tempo de vida útil de um filtro químico utilizado sob determinadas condições.

Não é permitida pela *OSHA*, nos EUA, a utilização de critério de troca por propriedade de alerta. O Programa de Proteção Respiratória da FUNDACENTRO só restringe o uso deste critério para as substâncias que possuem fracas propriedades de alerta, não sendo permitido neste caso o fornecimento de respirador purificador de ar.

3.7. Softwares para o Cálculo da Vida Útil em Uso de um Filtro Químico

Um *software* de estimativa da vida útil de filtro químico pode ser útil para o estabelecimento de um programa de troca programada dos filtros. Os cálculos para a estimativa da vida útil dos filtros para vapores orgânicos existentes nos softwares são, na sua grande maioria, baseados no modelo matemático apresentado por *Wood, GO* (Estimativa da vida útil de cartuchos para vapores orgânicos). Este modelo requer informações das propriedades do carbono que está sendo utilizado no filtro, das condições de uso, das propriedades do vapor orgânico e das condições ambientais.

Para outros contaminantes que não estão cobertos pelo modelo de *Wood*, como por exemplo os gases ácidos, a amônia e o formaldeído, os softwares são baseados em curvas experimentais específicas para o contaminante químico estudado.

Uma outra vantagem do uso do *software* é a possibilidade de escolher, por critério de vida útil estimada, entre dois ou mais filtros químicos que possam ser aplicáveis para uma mesma situação.

Estes *softwares* estão disponíveis no endereço eletrônico da *OSHA* (órgão governamental americano) e de alguns fabricantes, como descrito a seguir.

Occupational Safety & Health Administration

Breakthrough Software

http://www.osha.gov/SLTC/etools/respiratory/advisor_genius_wood/breakthrough.html

3M Occupational Safety & Environmental Safety Division

3M Respirator Service Life Software

<http://www.3m.com/intl/br/audienciaqualificada/profseguranca/links.jhtml?link=service>

MSA – Mine Safety Appliance

Cartridge Life Expectancy Calculator

<http://www.msanet.com/msanorthamerica/msaunitedstates/cartlife/msa.htm>

Como foi visto, a vida útil em uso sofre a influência de diversas variáveis. Algumas mensuráveis facilmente e outras não. Para obter o tempo de vida útil em uso estimado através do *software* é necessário alimentar o sistema com algumas informações. Sendo estas informações aquelas que impactam na vida útil um uso. Portanto, o usuário do *software* deverá informar: o nome do contaminante, a concentração no ambiente do contaminante, a temperatura no ambiente de trabalho, a pressão atmosférica no ambiente de trabalho e a vazão média de ar inspirado.

Uma vez que, as informações sobre as propriedades do sorbente que está sendo utilizado no filtro químico são utilizadas no cálculo e que estas informações são de propriedade do fabricante, nos *softwares* não há solicitação de que o usuário entre com informações deste

tipo, pois as mesmas já estão consideradas no programa. Isto não se aplica ao caso da *OSHA*, uma vez que não é um fabricante de filtro químico, mas sim um órgão regulamentador nos EUA. Por este motivo deve-se sempre utilizar o *software* fornecido pelo fabricante do filtro químico que está sendo utilizado, caso contrário, os resultados obtidos não terão nenhuma validade, pois as propriedades do sorbente, podem variar significativamente de fabricante para fabricante.

3.7.1. Software Utilizado no Estudo de Caso

No estudo de caso foi utilizado para determinação do período de troca do filtro químico o *3M Respirator Service Life Software*, uma vez que o respirador objeto do estudo pertence à empresa 3M. O *software* encontra-se disponível no endereço eletrônico: <http://www.3m.com/intl/br/audienciaqualificada/profseguranca/links.jhtml?link=service>, onde a consulta pode ser realizada “on line” ou através do “download” do “software”.

Para obter a vida útil estimada é necessário fazer a inserção de alguns dados em páginas disponibilizadas pelo programa. O resultado obtido pode ser impresso ou, simplesmente, consultado na tela do computador.

Dentre os dados a serem fornecidos ao programa estão:

- Nome do contaminante;
- Concentração do contaminante;
- Temperatura no local de trabalho;
- Pressão atmosférica no local de trabalho;
- Fluxo médio respiratório do usuário;
- Ponto desejado para troca do filtro químico.

As páginas disponibilizadas para inclusão dos dados são: página do contaminante, página de seleção do filtro, página das condições ambientais e página do resultado.

A) Página do Contaminante

Esta seção refere-se às informações da substância contaminante. É fornecida uma lista contendo nomes de substâncias químicas, onde deve-se selecionar uma ou mais, caso trate-se de uma mistura ou da presença simultânea de contaminantes químicos. Esta lista é baseada

nas substâncias de principal ocorrência nos locais de trabalho e naquelas que possuem limite de tolerância. A seleção pode ser realizada pelo nome ou pelo nº de registro CAS (*Chemical Abstract Service Number*).

Nesta página deve ser selecionado o contaminante em estudo em uma lista oferecida pelo programa e inserida a informação sobre a concentração de exposição do usuário do respirador.

Caso o contaminante desejado não esteja relacionado na listagem oferecida pelo programa, faz-se a opção para inserção de um “novo contaminante”, onde é apresentada uma nova página referente à Página do Contaminante do Usuário, sendo, então, requeridas outras informações, tais como: nome da substância, nº CAS, limite de exposição, peso molecular, índice de refração, concentração IPVS/IDLH, densidade do líquido, pressão de vapor e concentração de exposição.

Encontra-se a seguir, como exemplo, uma imagem da página do contaminante contendo a substância acetona como selecionada e a concentração de 90 ppm.

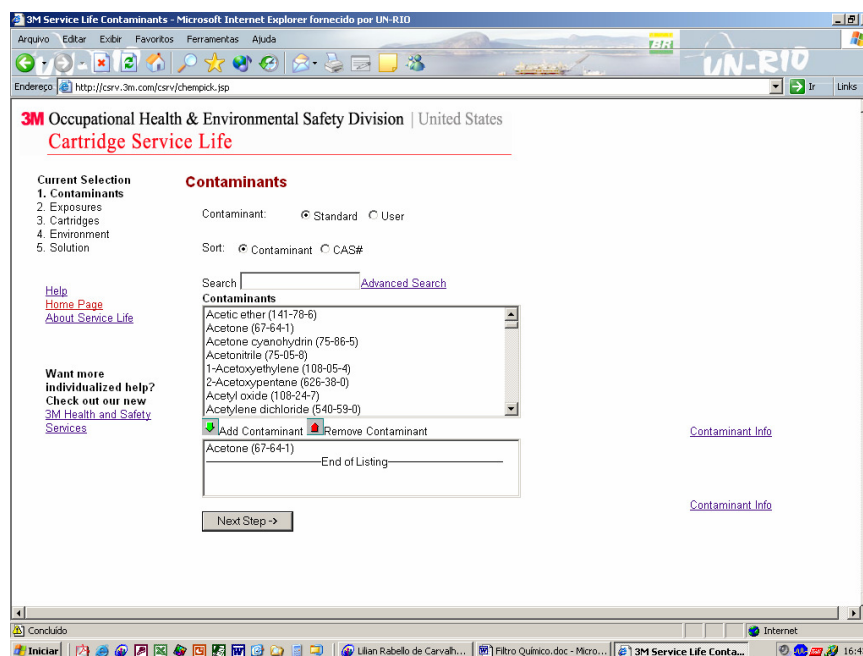


Figura 3.4. Seleção do contaminante.

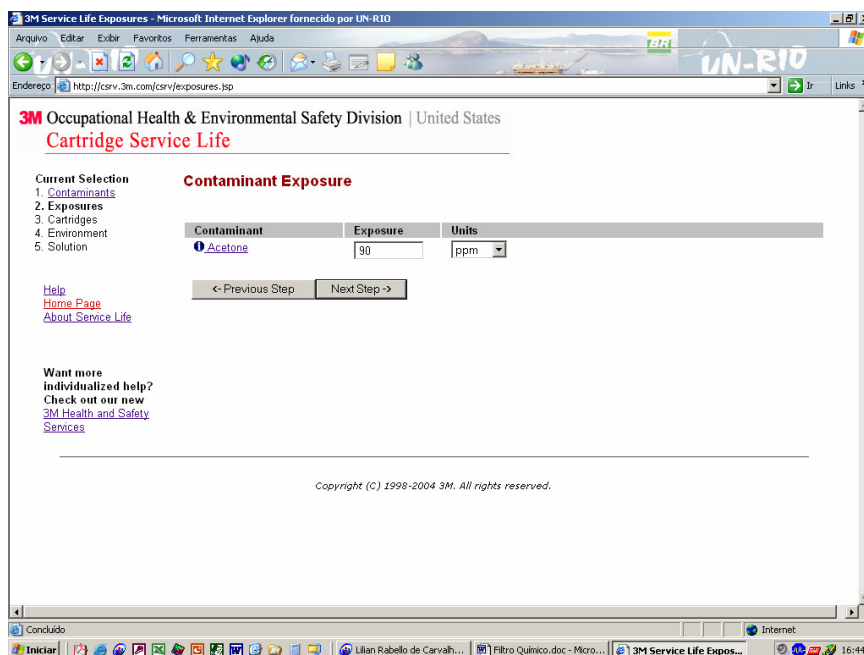


Figura 3.5. Seleção da concentração

B) Página de Seleção do Filtro

Nesta página deve ser selecionado o filtro químico que está sendo utilizado no respirador para o controle da exposição ocupacional. A seleção é feita através da escolha do filtro dentre a listagem que é oferecida pelo programa.

Encontra-se a seguir uma imagem mostrando a seleção de um filtro para retenção de vapor orgânico, aplicável para a substância acetona selecionada anteriormente no exemplo.

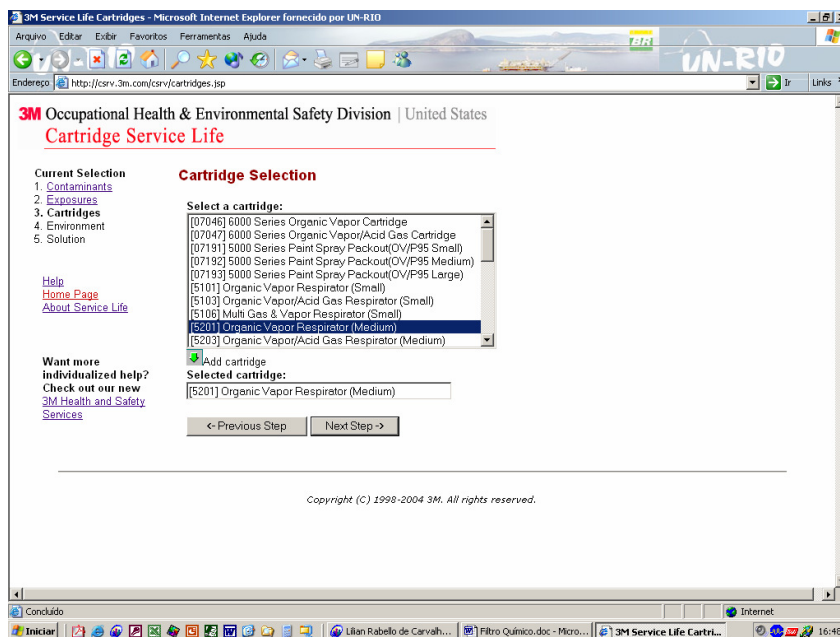


Figura 3.6. Seleção do filtro.

C) Página das Condições Ambientais

Nesta seção são fornecidas informações a respeito das condições ambientais (umidade relativa do ar, pressão atmosférica e temperatura.) existentes no local de utilização do respirador, bem como outras informações, tais como o tipo de trabalho exercido em relação fluxo respiratório e o ponto de troca do filtro.

C.1) Condições Ambientais

Umidade Relativa do Ar (UR)

O programa oferece a opção de seleção da UR inferior ou superior a 65 %. Sempre que é selecionado um contaminante orgânico, o programa presume que a umidade relativa do ar seja inferior a 65 %, caso a UR seja superior a este valor é aconselhada a leitura de informações pertinentes à performance do filtro químico quando submetido a elevada UR. Esta questão foi tratada neste estudo anteriormente, quando se mencionou os fatores que influenciam na vida útil em uso de um filtro químico no item 3.5.3.1. Fatores Impactantes na Vida Útil em Uso. Assim, quando a UR é superior à 65 % faz-se necessária a inserção de um fator de correção que será selecionado pelo usuário do “software” com base nos gráficos apresentados. Para a seleção do Fator de Correção deve ser selecionado uma opção do programa que disponibiliza uma nova página referente à página do fator de correção. Esta

página contém os fatores de correção disponíveis. O *software* dividirá o tempo de vida útil estimado pelo valor do fator selecionado. Os fatores de correção levam em consideração a precisão do valor de concentração ambiental estimado, a presença de outros vapores orgânicos, a elevada umidade relativa do ar e a qualidade das propriedades de alerta do contaminante.

A obtenção do fator de correção considerando-se a umidade relativa do ar é feita através de três gráficos apresentados pelo programa que relacionam fator de correção versus concentração em ambientes com presença de UR em 75, 85 e 90 %. Estes gráficos foram estabelecidos para quatro substâncias – hexano, benzeno, tolueno e estireno.

É necessária a comparação dos valores de pressão de vapor e ponto de ebulição, apresentado pelo programa, destas três substâncias com os valores do contaminante em estudo de modo a se obter a substância com estas propriedades que mais se aproximaria do contaminante.

Pressão Atmosférica

Deve-se inserir a informação sobre o valor de pressão atmosférica existente no local, sendo a pressão fornecida em atmosfera, devendo estar contida na faixa de 0,8 a 1,2 atm.

Temperatura

O programa apresenta uma faixa de temperatura (0 a 50 °C) para a qual deve-se selecionar a temperatura na qual o respirador será utilizado.

C.2) Fluxo de Ar

O cálculo da vida útil em uso depende do fluxo de ar que passa pelo filtro químico, portanto, deve-se selecionar, dentre as opções fornecidas de 20, 40 e 60 litros por minuto (lpm) o valor que reflete o fluxo respiratório que está sendo desenvolvido pelo usuário do respirador.

C.3) Ponto para Determinação da Troca

O tempo de vida útil em uso é o tempo requerido para uma determinada concentração do contaminante químico ser detectada no lado interno do filtro, ou seja, a face de saída do fluxo de ar. O software estabelece três níveis para vapores orgânicos:

- A concentração referente ao Limite de Exposição (LE) Ocupacional, o qual se baseia nos valores editados pela ACGIH, AIHA ou OSHA. Sendo adotado aquele que for mais restritivo (menor LE) para o contaminante.
- A concentração referente à metade do valor do Limite de Exposição Ocupacional. Esta é uma boa opção para um trabalho preventivo, pois se trabalha com a concentração do nível de ação, que é a metade do Limite de Exposição Ocupacional, de acordo com a NR 9.
- A concentração equivalente à 10% da concentração de exposição. O valor da concentração de exposição foi fornecida na página dos contaminantes. Esta opção somente pode ser selecionada para concentrações de exposição menores que 10 vezes o Limite de Exposição Ocupacional. Isto ocorre porque não faz sentido selecionar a troca para o Limite de Exposição, quando a concentração de exposição é muito inferior à aquele. A concentração do contaminante nunca chegaria ao Limite de Exposição no interior do respirador, pois já é muito inferior no ambiente e, dessa forma, não se teria nunca a troca do filtro. Sempre que se tratar de um contaminante inserido pelo usuário, o programa selecionará esta opção para ponto de troca.

O *software* estima o tempo de vida útil em uso baseado no nível para determinação de troca selecionado. Vale ressaltar, que somente serão disponibilizados para seleção os níveis de troca possíveis de serem aplicados de acordo com a concentração de exposição informada.

Caso se esteja tratando de uma mistura é possível que nenhum dos níveis para determinação da troca sejam apropriados. Nesta situação, o cálculo para a determinação do nível será de 0,01 da concentração de exposição informada. Em algumas misturas, o tempo de vida útil em serviço é determinado através da soma das concentrações dos contaminantes da mistura. Entretanto, o nível para determinação da troca do filtro será baseado na concentração do componente com o menor tempo de vida útil em serviço e não na soma das concentrações.

Para gases ácidos, formaldeído, amônia ou metilamina, o nível de troca é baseado em testes em laboratório. Neste caso, o software não oferece parâmetro para seleção, e o nível determinado é apresentado na página do resultado.

Encontra-se a seguir uma imagem da página dos dados de condições ambientais.

3M Service Life Environment - Microsoft Internet Explorer fornecido por UN-RIO

Endereço: <http://carv.3m.com/csr/environment.jsp>

3M Occupational Health & Environmental Safety Division | United States

Cartridge Service Life

Current Selection

1. Contaminants
2. Exposures
3. Cartridges
4. Environment
5. Solution

Help
Home Page
About Service Life

Want more individualized help?
Check out our new 3M Health and Safety Services

Environment Information

Contaminant	Exposure	Units	Correction Factor
Acetone	90.00000	ppm	1

Set Correction Factor

Relative Humidity: <65%

Atmospheric Pressure (ATM): 1.0
Note: Acceptable range of atmospheric pressure is 0.8 to 1.2 ATM.

Temperature: 30°C
Note: The valid temperature range for this mixture is 0.0 - 50.0C or 32.0 - 122.0F. Note: Select the temperature that is closest to your operating temperature.

Work Rate: ☐ Light Work ☒ Medium Work ☐ Heavy Work

Breakthrough Level: .1 x Exposure

< Previous Step Next Step >

Copyright (C) 1998-2004 3M. All rights reserved.

Figura 3.7. Dados das condições ambientais.

E) Página do Resultado

Depois de inserir todos os dados necessário, a página contendo o resultado estará disponível para consulta ou impressão.

Encontram-se a seguir as imagens da página do resultado, contendo o período estimado de vida útil em uso para a substância acetona utilizada como exemplo.

3M Service Life Solution - Microsoft Internet Explorer fornecido por UN-RIO

Endereço: <http://carv.3m.com/csr/solution.jsp>

3M Occupational Health & Environmental Safety Division | United States

Cartridge Service Life

Current Selection

1. Contaminants
2. Exposures
3. Cartridges
4. Environment
5. Solution

Help
Home Page
About Service Life

Want more individualized help?
Check out our new 3M Health and Safety Services

Solution

WARNING: These results are estimates only and must be used with caution.

User Information
Name: American Guest Account

Solution
Estimated Service Life = 222 Minutes

Notice!
Service life calculation based on Acetone at an Exposure = 90.0 ppm

Contaminants and Exposures
Acetone
CAS# 67-64-1
Exposure: 90.00000 ppm
Correction Factor: 1
Exposure Limit: 500.00000 ppm
IDLH: 20000.00000

WARNING: Organic vapors adsorbed on an organic vapor cartridge can migrate through the carbon bed without airflow. Desorption of the contaminant after partial use of the chemical cartridge can occur after a short period (hours) without use (eg., overnight). This is most significant for the most volatile and poorly retained organic vapors (eg., boiling point < 65

Figura 3.8. Apresentação do resultado.

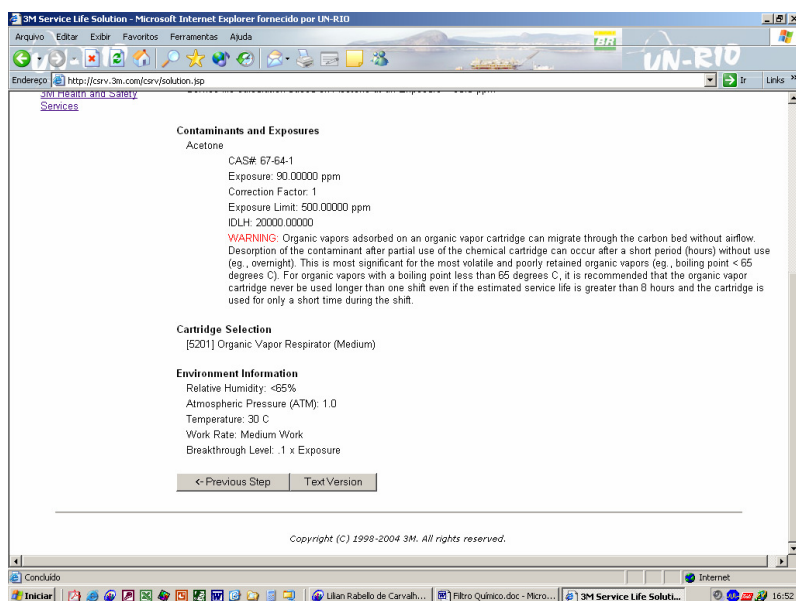


Figura 3.8. Apresentação do resultado (continuação)

4. ESTUDO DE CASO: AVALIAÇÃO DO RESPIRADOR UTILIZADO PARA QUEROSENE.

A proposta é efetuar um levantamento histórico em um local de trabalho ao longo de um período determinado, e desde que não tenham ocorrido mudanças de processo ou de procedimentos, avaliar o prazo que tem sido praticado para a troca do filtro químico. Este prazo de troca é determinado pelo critério subjetivo de odor, sabor e irritação.

Para o mesmo local de trabalho, coletar as informações referentes ao contaminante químico, à atividade desenvolvida e às condições ambientais e obter o resultado do tempo de vida útil em uso estimado pelo software.

Com o resultado obtido através do levantamento histórico e do software traçar um comparativo entre as duas situações.

4.1. Apresentação da Atividade em Estudo

A atividade objeto de estudo é a de um Operador de Lava-Jato. O trabalho desenvolvido pelo Operador de Lava-Jato é realizado em uma indústria de exploração e produção de petróleo e gás natural à bordo de uma plataforma marítima localizada na Bacia de Campos no estado do Rio de Janeiro.

A finalidade do trabalho do Operador é a limpeza de uma área industrial, que pode estar contaminada com resíduos de óleo, poeira do ambiente (proveniente de resíduos de lixamento de peças e estruturas metálicas) e resíduos de tintas. Vale ressaltar, que a limpeza geral (limpeza mais grosseira) dos resíduos e das sujeiras geradas dos trabalhos que são realizados na área industrial e que envolvem as atividades de lixamento, caldeiraria, pintura e soldagem são de responsabilidade do profissional executante da atividade. Portanto, cabe ao Operador de Lava-Jato a limpeza dos resíduos restantes provenientes da limpeza primária que foi efetuada e a retirada de resíduos de óleo que, porventura, sejam oriundos de algum vazamento de equipamentos durante operação, ou do abastecimento de tanques de motores de máquinas e equipamentos ou de outras fontes em geral.

A execução da limpeza do piso e dos equipamentos industriais é realizada conforme orientação do supervisor, ou seja, a determinação das áreas onde será efetuada a limpeza e o tipo de produto que será utilizado é de responsabilidade do Supervisor, que segue uma programação baseada em prioridades, de acordo com a quantidade e o tipo dos serviços executados em cada setor da área industrial. A limpeza poderá ser efetuada em área aberta ou fechada. A operação dos equipamentos e sistemas nestes locais, normalmente, permanece operante durante a limpeza dos pisos. Quando da limpeza de equipamentos e linhas contendo fluidos industriais, é estudada a necessidade de manter o sistema inoperante durante o procedimento de limpeza.

4.1.1. Caracterização da Atividade:

Tabela 4.1. Caracterização da atividade.

Função: Operador de Lava-Jato	
Horário de Trabalho: 7:00 h - 19:00 h / 1 (um) intervalo de 1 (uma) hora para almoço e 2 (dois) intervalos de 15 minutos para lanche. Intervalos regulares, sempre que necessário, para necessidades fisiológicas.	Regime de Trabalho: 14 dias de trabalho x 14 dias de descanso.
Nº de Ocupantes: 04 (quatro)	Tempo na Função: 5 meses a 6 anos.
Tarefa	Frequência
Efetuar a limpeza das áreas, equipamentos e sistemas previamente determinados com máquina lava-jato. A máquina é abastecida com sabão industrial.	Diária
Efetuar a limpeza das áreas, equipamentos e sistemas contaminados com óleo utilizando esfregão embebido com querosene e sabão industrial. Os produtos de limpeza são colocados em um balde, onde o esfregão é emergido.	Diária
Efetuar enxágüe com água das áreas após limpeza com produto químico. A operação é realizada utilizando-se a máquina lava-jato.	Diária
Abastecer o tanque de combustível da máquina lava-jato com querosene.	Semanal

4.1.2. Máquinas e Instrumentos de Trabalho:

- Máquina lava-jato operando em temperatura ambiente e pressão de 2.000 psi;
- Esfregão (vassoura) e balde.

4.1.3. Produtos Químicos Utilizados:

Estão relacionados a seguir os produtos utilizados nas operações de limpeza e o respectivo consumo médio mensal.

Tabela 4.2. Produtos químicos utilizados

Produto Químico	Consumo Médio Mensal (litros)
Sabão industrial	50
Querosene	50

4.2. Condições Ambientais do Local

Os fatores ambientais levantados foram aqueles que apresentam interesse para o estudo em desenvolvimento, ou seja, possuem forte impacto na vida útil em uso do cartucho químico, sendo eles a temperatura, a pressão e a umidade relativa do ar. Esses fatores apresentam variações de acordo com a estação climática do ano. Os dados mencionados abaixo representam os valores mínimo e máximo obtidos no período de janeiro a julho de 2004.

Tabela 4.3. Condições ambientais do Local

Temperatura (°C)	Umidade Relativa do Ar (%)	Pressão (atm)
24,0 – 38,0	70 - 75	1.017 – 1.021

Vale ressaltar, que a umidade relativa do ar e a pressão apresentam pouca ou nenhuma variação das áreas internas para as externas, entretanto a temperatura, normalmente apresenta um valor superior nas áreas internas em comparação com as áreas externas, por serem mais ventiladas e com a presença de maior espaçamento entre os equipamentos e, conseqüentemente, maior favorecimento para a dissipação da energia térmica liberada pelas máquinas e equipamentos.

4.3. Informação sobre Segurança do Produto Químico

O estudo de caso terá como base a exposição do trabalhador e a utilização de respirador contra o querosene. Esse produto é considerado combustível e nocivo e por inalação prolongada pode provocar dor de cabeça, náuseas, tonteadas, alucinações visuais e embriaguez.

As informações sobre segurança do querosene utilizadas no Estudo de Caso foram obtidas da Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico – FISPQ do querosene, que se encontra em anexo (Ver Anexo 1).

4.4. Medidas de Controle Existentes

Estão descritas a seguir as medidas de controle existentes e que são específicas para o controle do risco químico. Além destas medidas a função em estudo adota outros controles para prevenção dos demais riscos, por exemplo riscos físicos e de acidentes, a que possa estar exposta.

Tabela 4.4. Medidas de controle adotadas

Controle Individual (EPI)	
Proteção Respiratória:	Respirador com filtro químico, 3M do Brasil, Modelo 6300, Filtro 6003 para vapores orgânicos e gases ácidos, CA 4.115.
Proteção Visual e Facial:	Óculos de Segurança.
Proteção dos Membros Superiores e Inferiores:	Calça e blusa de PVC.
Controle Coletivo	
Áreas Abertas:	Trabalho realizado a favor do vento. Áreas bem ventiladas naturalmente.
Áreas Fechadas:	Áreas com sistema de ventilação e exaustão forçada.

4.5. Análise da Vida Útil em Uso do Filtro Químico

A vida útil em uso de um filtro químico pode ser determinada através de critérios subjetivos, permitidos pela legislação brasileira para substâncias com boas propriedades de alerta, ou objetivos.

Na atividade do Operador de Lava-Jato vem sendo empregado pelos trabalhadores a determinação do período de troca com base em critérios subjetivos – percepção às propriedades de alerta do contaminante, mais propriamente o odor.

A seguir apresenta-se o tempo de troca que vem sendo praticado e o tempo de troca estimado através do uso do *software* fornecido pela empresa fabricante do respirador.

4.5.1. Critério de Troca pelas Propriedades de Alerta

A troca do filtro químico realizada pelo Operador de Lava-Jato baseia-se no critério subjetivo do odor ou, na maioria das vezes, em uma troca programada.

Uma vez que o trabalhador realiza suas atividades por 14 (quatorze) dias consecutivos, interrompendo a exposição por outro período igual, para folga de trabalho, a troca do filtro é efetuada sempre no retorno às atividades laborativas. Esta troca não foi baseada em um critério técnico, mas de percepção dos trabalhadores em relação ao risco. Caso haja, em período inferior ao estabelecido, uma sensação do odor característico da substância no interior do respirador, o trabalhador poderá efetuar a troca do filtro químico.

Apesar de existir esta premissa, na prática a troca é quase sempre realizada após o período laboral. Os trabalhadores não “percebem” o odor das substâncias antes deste período. Já no retorno, caso não haja a troca, eles alegam que percebem que o filtro não está retendo adequadamente as substâncias.

4.5.2. Critério de Troca pelo Uso do *Software* para Cálculo da Vida Útil em Uso

O período de troca através do uso de “*software*” foi determinado seguindo-se os passos enumerados no item 3.7.1. Software utilizado no estudo de caso. Sendo assim, estão descritas a seguir as informações alimentadas no software referentes à atividade do Operador de Lava-Jato em análise.

A) Página do Contaminante

Como o querosene não se encontra relacionado na listagem oferecida pelo programa, fez-se a opção para inserção de um “novo contaminante”, tendo sido inseridas as informações relacionadas na Tabela 4.5 abaixo.

Tabela 4.5. Informações sobre o contaminante (querosene)

Informação Requerida	Informação Fornecida	Comentários
Nome	Querosene	-
Nº CAS	8008-20-6	-
Limite de exposição	14 ppm	Obtido na FISPQ do produto.
Peso molecular	170	Obtido no Manual de Especificação de Produtos do fabricante. Indica o peso molecular médio do produto.
Índice de Refração	1.44	Obtido através de análise laboratorial em amostra do produto.
Concentração IPVS/IDLH	-	Não há informação na literatura a respeito da concentração IPVS. Este dado não foi fornecido, entretanto o programa arbitra o valor de 99999.
Densidade do líquido	0.8	Obtido no Manual de Especificação de Produtos do fabricante. Indica a densidade média do produto.
Pressão de vapor saturado	10.5 mmHg	Obtido na FISPQ do produto.
Concentração de exposição	12 ppm	A concentração da substância foi obtida dos resultados de avaliação ambiental do Programa de Prevenção de Riscos Ambientais – PPRA.

B) Página de Seleção do Filtro

Foi selecionado o filtro 6003 para vapores orgânicos e gases ácidos por ser o filtro químico utilizado no respirador para o controle da exposição ocupacional do Operador de Lava-Jato.

C) Página das Condições Ambientais

Foram inseridos os dados referentes às condições ambientais, tipo de trabalho exercido e o ponto de troca do filtro, conforme descrito a seguir.

C.1) Condições Ambientais

Umidade Relativa do Ar (UR)

Como a UR existente no local da atividade em estudo é superior a 65 % foi necessária a análise da necessidade de aplicação de um fator de correção para suprir o impacto da elevada UR na vida útil em uso do filtro.

Por tratar-se do querosene que apresenta pressão de vapor (mmHg) de 10.5 e ponto de ebulição (°C) de 150 a 300, utilizou-se, dentre os gráficos disponibilizados pelo Software para a realização da análise, a substância estireno como a mais representativa, por apresentar o maior ponto de ebulição disponível (145-146 °C) e a pressão de vapor (5 mmHg) mais próxima da do querosene.

Uma vez que, a UR máxima encontrada no ambiente é de 75%, adotou-se o gráfico da UR de 75% e o fator de correção indicado para o estireno. Entretanto para UR na faixa considerada e para substâncias com propriedades similares ao estireno, não se faz necessária a adoção de fator de correção.

Logo, apesar da atividade estar sendo desenvolvida em ambiente com umidade relativa superior a 65 %, para o querosene este não é um fator preponderante na redução da vida útil em uso do filtro químico, pois para substâncias com baixa volatilidade, o efeito da umidade relativa é pequeno.

Pressão Atmosférica

Foi fornecido o valor de 1 atm referente a esta variável ambiental para a atividade em estudo.

Temperatura

De forma a se traçar a situação mais crítica a que o filtro possa estar submetido, utilizou-se a temperatura de 38 °C.

C.2) Fluxo de Ar

Foi selecionado dentre os valores disponíveis o valor de 40 lpm, por se tratar de uma atividade onde se desenvolve um metabolismo considerado moderado (220 kcal/h), uma vez que, a lavagem é feita basicamente com movimentação moderada dos braços e movimentos de deslocamento para andar. Foi consultado o Anexo 3 da Norma Regulamentadora Nº 15 da Portaria 3.214/78 do Ministério do Trabalho e Emprego para subsidiar a determinação do metabolismo desenvolvido pelo Operador de Lava-Jato.

C.3) Ponto para Determinação da Troca

Foi estabelecida, a concentração equivalente à metade do limite de exposição como parâmetro limitante para o cálculo do tempo de troca do filtro químico, considerando-se assim trabalhar sempre abaixo do nível de ação.

D) Página do Resultado

O resultado obtido no caso em estudo foi de 153 horas estimadas de vida útil em uso, que equivalem a cerca de 12 dias.

As páginas contendo os resultados e o desenvolvimento dos processos estão expostas em anexo (Ver anexo II).

4.6. Resultados Obtidos

De acordo com as observações em campo, o tempo de troca do filtro químico realizado pela propriedade de alerta (olfato) dos trabalhadores é de 14 dias, enquanto o estimado pelo *software* é de 12 dias. Deve-se considerar, ainda, o fato de que a vida útil estimada pelos *softwares* apresenta uma incerteza de $\pm 50\%$. Dessa forma, teríamos uma vida útil em uso estimada pelo fabricante variando de 6 a 18 dias.

Observou-se que os trabalhadores efetuam a troca do filtro químico, normalmente, quando retornam de folga, após 14 dias do período de trabalho, que tem a mesma duração. A troca do filtro químico através da percepção do odor, após o período de afastamento para folga pode ser um indicativo da desorção que ocorre no período de não uso, bem como de um aumento da percepção olfativa, já que houve um afastamento prolongado da exposição ao produto químico, favorecendo a percepção do odor da substância, anteriormente afetada pela fadiga olfativa oriunda da exposição continuada ao produto.

Dentre os diversos fatores que podem afetar a vida útil em uso de um filtro químico, analisou-se dois deles – a umidade e a desorção - por apresentarem maior relevância para o estudo.

Devido ao fato do querosene ser uma substância que apresenta baixa volatilidade, a vida útil em uso não é, fortemente comprometida pela umidade. A baixa volatilidade do querosene favorece, também, positivamente o processo de desorção, uma vez que, devido a volatilização lenta, mesmo nos períodos de não uso, a substância teria “dificuldades” em se desprender dos interstícios do carvão ativo. Conforme o Boletim Técnico 142 da 3M, as substâncias geradoras de vapores orgânicos que apresentam ponto de ebulição inferior a 65 °C, são aquelas com maior chance de sofrer um processo de desorção em curtos períodos de não uso, como por exemplo o de uma noite. Por tratar-se do querosene que possui ponto de ebulição bastante elevado, acredita-se que o processo de desorção ocorra somente após dias de não uso. Esta expectativa é confirmada pelas observações em campo através da percepção dos trabalhadores, uma vez que, somente aos quatorze dias de não uso tem-se a percepção da substância no ar efluente do filtro.

O outro critério de troca objetivo previsto – Indicador de Fim de Vida Útil (ESLI), não foi abordado neste estudo, já que não existe um indicador disponível para filtro químico contra

vapor orgânico. Caso existisse um indicador confiável, acredita-se que este seria o melhor critério de troca a ser utilizado.

Como a tecnologia do ESLI ainda não está disponível para a maioria dos contaminantes as empresas precisam se basear em informações objetivas para determinar o tempo de troca do filtro químico. Entretanto, a obtenção de informações objetivas não é uma ciência exata, pois a influência de variáveis como concentração do contaminante, temperatura, umidade e fluxo respiratório do trabalhador não é facilmente determinada.

Pode-se então constatar que na situação analisada, os critérios de troca apresentaram resultados relativamente similares: 14 dias pelo critério subjetivo e 6 a 18 dias pelo critério objetivo. Entretanto, de modo a ser o mais restritivo possível, em um programa de troca previsto no Programa de Proteção Respiratória, deveria se considerar o período de 6 dias como o mais adequado para o estabelecimento de um critério de troca.

5. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

Dentre as opções disponíveis e previstas em lei para o controle da exposição dos trabalhadores aos vapores de produtos químicos existentes nos locais de trabalho está a utilização do equipamento de proteção individual – EPI. Quando se trata de vapores orgânicos, uma das opções existentes de EPI consiste na adoção de um respirador que contém, dentre os seus elementos construtivos, um filtro químico responsável pela retenção das moléculas dos vapores do contaminante.

O filtro químico é preenchido com uma quantidade de elemento filtrante que possui uma determinada capacidade de adsorção das moléculas do contaminante. À medida que o ar contendo o contaminante é respirado pelo usuário e as moléculas dos vapores são retidas pelo filtro, vai se reduzindo a capacidade de adsorção do filtro até que ocorra a saturação do mesmo. Neste momento o trabalhador deverá proceder à troca do filtro e considerar-se-á terminada a vida útil em uso do filtro químico. Caso não haja a troca do filtro, o ar efluente que sai do respirador para ser inalado pelo usuário irá conter moléculas do contaminante expondo, dessa forma, o trabalhador.

Os fatores que influenciam o mecanismo de retenção dos contaminantes pelo filtro químico e o tempo de utilização segura do filtro químico, ou seja, quando ainda se tem ar efluente isento de contaminante, foram objetos de estudo que se desejou abordar neste trabalho.

Para tanto, realizou-se um comparativo entre dois dos critérios disponíveis para troca de um filtro químico devido ao término da vida útil em uso, sendo eles: *critério objetivo* - programa de troca, através do uso de software disponibilizado pelo fabricante e *critério subjetivo* - propriedades de alerta.

Quanto aos critérios e sua aceitação, é importante mencionar que a aplicação do método subjetivo não é permitida pela norma americana, somente pela brasileira no Programa de Proteção Respiratória da FUNDACENTRO, ainda assim com restrições – a substância que se deseja reter deve apresentar boas propriedades de alerta.

Vale ressaltar, que no critério objetivo, quando se adota o uso de um *software* para a elaboração de um programa de troca de filtros químicos, deve-se utilizar somente o programa recomendado pelo fabricante do respirador, seguindo-se todas as instruções contidas no mesmo.

Do comparativo entre os métodos pode-se observar que o tempo de vida útil em uso obtido pela aplicação dos dois critérios é relativamente similar 14 dias pelo subjetivo e 12 dias pelo objetivo. Entretanto, quando se considera a incerteza de 50% do método apresentado pelo uso do software, o tempo de vida útil passa a oscilar entre 6 e 18 dias. Com vistas a atuar preventivamente deve-se considerar então, para fins de um programa de troca, o tempo de 6 dias como o prazo para o estabelecimento da troca do filtro químico.

Estabelecendo-se o prazo de 6 dias para troca e considerando-se a grande margem que varia de 6 a 18 dias obtida pela estimativa do tempo pelo uso do software, pode-se imaginar a perda financeira que a empresa possa estar tendo ao estabelecer um prazo inferior ao de fato necessário.

Ainda sim, o cálculo da vida útil em uso através de software pode ser útil para estabelecer um programa de troca de filtros químicos em uma empresa, entretanto, cada situação deve ser avaliada isoladamente, pois fatores diversos podem influenciar na vida útil a ser obtida pelo software, como em alguns casos, como o da desorção, não se recomenda o reuso, mesmo que o software indique um período superior a oito horas. Deve-se considerar, ainda, o fato de que a vida útil estimada pelos softwares apresenta uma incerteza de $\pm 50\%$.

Sendo assim, o desenvolvimento de estudos para obtenção de informações a cerca da saturação do filtro químico, ou seja, do término de sua vida útil, incluindo a verificação da possibilidade de desorção deveriam ser desenvolvidos para cada situação específica de uso pelo usuário, podendo ser considerado, assim, o parâmetro mais fidedigno da indicação do término da vida útil em uso do filtro químico.

Entretanto, ao contrário dos filtros mecânicos para aerodispersóides, o fabricante do filtro químico em estudo, bem como, outros fabricantes consultados, não possuem no Brasil, o equipamento necessário para a realização destes ensaios. Vale ressaltar, que a própria FUNDACENTRO, órgão emitente do Certificado de Aprovação – CA dos filtros químicos, não possui o equipamento para fazer a avaliação da concentração limitante (uma concentração

máxima determinada pela norma que pode ser aceita para ser encontrada no ar efluente do filtro químico) prevista na Tabela 3 – Condições de ensaio para a medida da vida útil em bancada dos filtros para gases e vapores da NBR 13696. O CA é emitido com base em um documento da empresa fabricante declarando que o filtro químico atende aos parâmetros previstos na NBR. Para tanto, o fabricante submete os seus filtros a testes em laboratório próprio existente no país ou fora do país.

De acordo com a Norma da OSHA um programa de troca não deve ser fundamentado no critério subjetivo, pois quando a troca se baseia na percepção do usuário, esse precisa sentir o odor, o gosto, ou a irritação provocada pelas moléculas do contaminante que passaram pelo filtro e estão sendo inaladas. Esta percepção, entretanto varia de usuário para usuário e com o tempo esse deixa de ter essas sensações, por exemplo no caso da fadiga olfativa que inibe com o tempo de exposição a percepção ao odor da substância pelo usuário do respirador. Logo, a propriedade de alerta não deve ser o único parâmetro para a determinação do momento de troca do filtro químico.

Deve-se enfatizar, que mesmo que a norma brasileira permita a utilização do critério subjetivo para substâncias que apresentam boas propriedades de alerta, é importante que a empresa priorize a adoção de um critério de troca objetivo e não subjetivo, baseado na sensação do contaminante pelo usuário, devido aos diversos fatores relatados anteriormente neste trabalho, como por exemplo a fadiga olfativa.

No entanto, ainda que não se utilize como critério de troca a percepção às propriedades de alerta da substância, os respiradores purificadores de ar com filtro químico, somente devem ser utilizados para proteção contra agentes químicos que apresentem boas propriedades de alerta em concentrações abaixo do Limite de Exposição, pois esta percepção servirá, secundariamente, como um parâmetro para troca, no caso de alguma falha no critério objetivo estabelecido.

Conforme mencionado anteriormente, sempre que houver a utilização de respiradores a empresa deverá estabelecer um Programa de Proteção Respiratória - PPR. O PPR deverá determinar, dentre outras ações, o critério e o período para troca dos filtros químicos utilizados nos diversos respiradores em uso na empresa.

Sendo assim, das considerações realizadas, observa-se a necessidade de revisão da norma referente ao PPR no que tange à permissão do método subjetivo como critério a ser utilizado no programa de troca dos filtros químicos.

Observa-se, também, a necessidade de revisão do software utilizado no estudo devido à elevada incerteza que o mesmo apresenta.

Outro aspecto a ser considerado é o preparo de laboratórios dos fabricantes e dos órgãos governamentais brasileiros responsáveis pelos ensaios nos respiradores para realização de estudos de saturação dos filtros químicos, com vistas a obter resultados mais precisos sobre o tempo de vida útil dos filtros químicos.

Vale ressaltar, que ainda que haja dados objetivos e subjetivos disponíveis sobre a vida útil, é necessário agir com cautela, reconhecendo as incertezas e as limitações da informação. Os usuários devem ter estimativas válidas e confiáveis de duração para todos os tipos de filtros utilizados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

TORLONI, M. (coord.). **Programa de Proteção Respiratória, Recomendações, Seleção e Uso de Respiradores**. 3 ed. São Paulo: FUNDACENTRO, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Equipamentos de proteção respiratória: filtros químicos e combinados**. NBR 13.696. 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Equipamentos de proteção respiratória: terminologia**. NBR 12543, 1999.

NATIONAL INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH. **Respirator decision logic**. Washington: NIOSH, 1987.

TORLONI, M. **Manual de proteção respiratória**. São Paulo: M. Torloni / A.V. Vieira, 2003.

FUNDACIÓN MAPFRE. **Manual de Higiene Industrial**. Madrid: MAPFRE, 1991.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. **Normas Regulamentadoras**. Disponível em <<http://www.mte.gov.br/Empregador/segsau/Legislacao/Normas/Default.asp>> Acessado em: Ago, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE HIGIENISTAS OCUPACIONAIS. **Limites de exposição TLVs para substâncias químicas e agentes físicos & Índices biológicos de exposição BEIs**. Edição em português do manual ACGIH, 2002.

OSHA. **1910.134 – Respiratory Protection Standard**. EUA: OSHA, 2001.

NELSON, G.O. e HARDER C.A. **Respirator cartridge efficiency studies: V. effect of solvent vapor**. American Industrial Hygiene Association. J. 35:391-410 (1974).

WOOD, G.H. **A model for adsorption and capacities of charcoal beds: relative humidity effects**. American Industrial Hygiene Association, 1997.

AMERICAN INDUSTRIAL HYGIENE ASSOCIATION. **Odor threshold for chemicals with established occupational health standards.** AIHA. Fairfax, VA. 1989.

NELSON, G.O, A.N. CORREIA, and C.A. HARDER. **Respirator cartridge efficiency studies: VII. Effect of relative humidity and temperature.** AIHA. J. 37:280-288 (1976).

WOOD, G.O. **Estimating Service Lives of Organic Vapor Cartridges.** American Industrial Hygiene Association. J. 55:11-15 (1994).

OSHA. **Factors that can Reduce Cartridge Service Life.** Disponível em <<http://www.osha.gov/SLTC/etools/respiratory/factors/factors.html>> Acessado em: Jun, 2004.

AFC INTERNATIONAL INC. **Real Time End of Service Life Cartridges for North Safety Respirators.** North Safety Respirator, Disponível em <<http://www.afcintl.com/esli.htm>> Acessado em: Abr, 2004.

ANEXOS

ANEXO I:

Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico –FISPQ do Produto Químico (Querosene) Objeto do Estudo de Caso

ANEXO II:

Páginas do *Software* Utilizado no Estudo de Caso