

FABIANA VIEIRA PEREIRA

**Visão crítica dos métodos para seleção de equipamentos de proteção
respiratória no controle da exposição ocupacional a agentes biológicos**

Monografia apresentada à Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo para obtenção do
Título de Especialista em Higiene Ocupacional

São Paulo
2007

**EPMI
ESP/HO-2007
P414v**

FABIANA VIEIRA PEREIRA

**Visão crítica dos métodos para seleção de equipamentos de proteção
respiratória no controle da exposição ocupacional a agentes biológicos**

Monografia apresentada à Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo para obtenção do
Título de Especialista em Higiene Ocupacional

Área de concentração: Higiene Ocupacional

São Paulo

2007

RESUMO

Tendo em vista a carência de regulamentações locais sobre seleção e uso de equipamentos de proteção respiratória (EPR) tecnicamente adequados ao controle da exposição ocupacional a agentes biológicos, este trabalho pretende sugerir metodologias com base em critérios técnicos para a correta seleção de respiradores contra aerossóis contendo agentes infecciosos, tais como o bacilo da tuberculose, o hantavírus, *Bacillus anthracis*, o vírus da síndrome respiratória aguda grave (SRAG/SARS) e o vírus da influenza aviária altamente patogênica (A/H5N1). Entre os grupos mais expostos, estão os trabalhadores da agricultura e da saúde - em centros de saúde, hospitais, consultórios odontológicos, laboratórios, necrotérios, atividades de investigação de campo e vigilância em saúde, controle de vetores e aqueles que lidam com animais ou resíduos contaminados. A metodologia utilizada no presente trabalho consistiu em uma revisão extensa da literatura técnico-científica sobre seleção e uso de respiradores contra riscos respiratórios de natureza biológica. Foram sugeridas duas estratégias para seleção de EPR, à luz do conhecimento mais recente sobre o assunto: o método da "opinião de especialistas" compreendendo as recomendações propostas pelo Centro de Controle e Prevenção de Doenças (CDC) americano, e o método dos *rankings* qualitativos de concentração e toxicidade de bioaerossóis proposto por McCullough e Brosseau (1999), modificado a partir do procedimento tradicional de seleção da proteção respiratória contra agentes químicos. Estudos de caso foram discutidos a fim de ilustrar a aplicabilidade prática dos métodos apresentados. O procedimento proposto por McCullough e Brosseau resultou na seleção de respiradores tecnicamente viáveis e adequados ao risco biológico e, em algumas situações, com maior nível de proteção do que os EPR selecionados exclusivamente com base nas recomendações do CDC.

ABSTRACT

Considering the lack of local regulations on selection and use of respiratory protection devices (RPD) to reduce and control occupational exposure to biological agents, the current work is intended to describe major technical criteria and suggest methods for properly selecting respirators for protection against infectious aerosols, such as the tuberculosis bacillus, hantavirus, *Bacillus anthracis*, severe acute respiratory syndrome (SARS) virus and highly pathogenic avian influenza virus (A/H5N1). Among the occupational groups with higher exposure are agriculture and health care workers in a number of activities and workplaces, such as health care centers, clinics, hospitals, dentistry, laboratories, necropsy rooms, health surveillance and field investigations, disease vector control, as well as those handling contaminated animals or waste. The methodology employed in this work consisted of an extensive review of the technical-scientific literature related to selection and use of respirators against airborne biological respiratory risks. Two strategies for selecting RPD are suggested, according to the latest knowledge on the subject: the "expert opinion" method comprising the recommendations proposed by the Centers for Disease Control & Prevention (CDC) and the method for qualitative rankings of bioaerosol concentration and toxicity proposed by McCullough and Brosseau (1999), building on the traditional procedure used to choose respiratory protection for chemicals. Case studies are presented and discussed to illustrate the practical applicability of the proposed methods. The procedure described by McCullough and Brosseau yielded respirator choices that were both protective and reasonable, and in some instances, offered higher protection level than the RPD selected solely based on CDC recommendations.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

LISTA DE SÍMBOLOS

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Objetivo.....	4
1.2. Justificativa.....	5
2. REVISÃO DA LITERATURA.....	6
2.1. Agentes biológicos.....	6
2.1.1. Virulência.....	9
2.1.2. Modo de transmissão.....	9
2.1.3. Estabilidade.....	10
2.1.4. Concentração e volume.....	10
2.1.5. Origem do agente biológico potencialmente patogênico.....	10
2.1.6. Disponibilidade de medidas profiláticas eficazes.....	10
2.1.7. Disponibilidade de tratamento eficaz.....	11
2.1.8. Dose infectante.....	11
2.1.9. Tipo de procedimento.....	11
2.1.10. Fatores referentes ao trabalhador.....	12

2.2. Classificação de agentes biológicos por grupos de riscos.....	12
2.3. Identificação e avaliação de agentes biológicos.....	14
2.4. Exemplos de doenças ocupacionais transmitidas por via respiratória.....	16
2.4.1. Tuberculose.....	16
2.4.1.1. Risco para profissionais da área da saúde.....	19
2.4.2. Influenza aviária.....	21
2.4.2.1. A doença nas aves.....	21
2.4.2.2. A doença em humanos.....	25
2.5. Equipamentos de proteção respiratória.....	27
2.5.1. Fatores de proteção atribuídos aos equipamentos de proteção respiratória....	32
2.5.2. Eficácia no uso de equipamentos de proteção respiratória.....	34
2.5.3. Impacto da omissão do uso sobre a eficácia de equipamentos de proteção respiratória.....	35
2.5.4. Impacto da qualidade da vedação facial sobre a eficácia de equipamentos de proteção respiratória.....	36
2.5.5. Filtros para particulados em respiradores purificadores de ar.....	40
2.5.5.1. Mecanismos de captura de partículas em filtros mecânicos.....	41
2.5.6. Normas técnicas para ensaio e aprovação de filtros para particulados.....	43
2.5.6.1. Classificação segundo a norma técnica brasileira (ABNT).....	44
2.5.6.2. Classificação segundo a norma americana (42 CFR Parte 84).....	46
2.5.6.3. Equivalência entre as classificações brasileira e americana.....	47
2.6. Recomendações para seleção e uso de filtros para particulados segundo o PPR- FUNDACENTRO.....	48

2.7. Comparação entre máscaras cirúrgicas e equipamentos de proteção respiratória.....	49
3. METODOLOGIA.....	54
4. RESULTADOS.....	55
4.1. Método da “opinião de especialistas” para seleção de respiradores contra agentes biológicos.....	55
4.2. Procedimento modificado para seleção de respiradores contra agentes biológicos.....	58
4.2.1. Concentração no ar ambiente.....	60
4.2.2. Estimativa do grau de risco do contaminante.....	64
4.2.3. Tamanho de partículas.....	65
4.2.4. Método dos <i>rankings</i> qualitativos.....	66
5. DISCUSSÃO.....	68
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	72
ANEXO A – Instrução Normativa IN nº 01 de 11/04/1994.....	75
ANEXO B – Equipamentos de Proteção Respiratória.....	78
B.1 Respiradores purificadores de ar.....	78
B.1.1 Peças semifaciais filtrantes.....	78
B.1.2 Peças semifaciais com filtros.....	79
B.1.3 Peças faciais inteiras com filtros.....	81
B.1.4 Respiradores purificadores de ar motorizados.....	82
B.2 Respiradores de adução de ar.....	85
B.2.1 Linha de ar comprimido.....	85

B.2.2 Máscaras autônomas e respiradores de linha de ar comprimido de demanda com pressão positiva e cilindro auxiliar de escape.....	88
LISTA DE REFERÊNCIAS.....	90
BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA.....	95

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Peça semifacial filtrante PFF-2 em formato concha, sem válvula de exalação.....	29
Figura 2 – Peça semifacial filtrante N95 em formato concha, sem válvula de exalação.....	29
Figura 3 – Peça semifacial filtrante PFF-2 no formato dobrável, sem válvula de exalação.....	29
Figura 4 – Peça semifacial filtrante PFF-2 nos tamanhos pequeno e regular, sem válvula de exalação.....	30
Figura 5 – Peça semifacial filtrante PFF-2 com válvula de exalação.....	30
Figura 6 – Respirador purificador de ar motorizado com cobertura facial do tipo touca.....	30
Figura 7 – Respirador purificador de ar motorizado com cobertura facial do tipo capuz.....	31
Figura 8 – Exemplo de equipamento para ensaio de vedação quantitativo PORTACOUNT®.....	39
Figura 9 – Kit para ensaio de vedação qualitativo com sacarina ou bitrex.....	39
Figura 10 – Ensaio de vedação qualitativo com uma PFF.....	39
Figura 11 – Identificando fatores de proteção atribuídos (APF) a partir de <i>rankings</i> de toxicidade (T_{rank}) e concentração (C_{rank}).....	67
Figura 12 – Peça semifacial filtrante PFF-3 de formato dobrável no eixo horizontal com óculos de segurança do tipo ampla visão.....	78
Figura 13 – Peça semifacial com filtros P3 de alta eficiência para aerossóis.....	80
Figura 14 – Peça facial inteira com filtros P3 de alta eficiência para aerossóis.....	81
Figura 15 – Respirador purificador de ar motorizado com filtro P3 montado em peça facial inteira.....	83
Figura 16 – Detalhe de uma unidade motorizada AIR-MATE® HEPA com filtro P3.....	83
Figura 17 – Respirador purificador de ar motorizado com filtro P3 e cobertura do tipo capacete com visor facial.....	84

Figura 18 – Respirador de adução de ar tipo linha de ar comprimido com cobertura facial do tipo capuz.....	85
Figura 19 – Respirador de adução de ar tipo linha de ar comprimido de demanda com pressão positiva, peça facial inteira e cilindro auxiliar de escape.....	89
Figura 20 – Respirador de adução de ar tipo máscara autônoma de demanda com pressão positiva e peça facial inteira.....	89

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Taxas de ventilação recomendadas para estabelecimentos de atenção à saúde..... 62

Tabela 2 – Taxas de ventilação recomendadas para ambientes públicos..... 62

Tabela 3 – Níveis de fluxo de ventilação (Q_{rank}) com base nas normas da ASHRAE para áreas hospitalares..... 63

Tabela 4 – Níveis de taxa de geração de aerossóis (G_{rank}) por fonte e atividade..... 64

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABHO – Associação Brasileira de Higienistas Ocupacionais
ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACGIH – *American Conference of Governmental Industrial Hygienists*
ACH – *Air Changes per Hour*
ANSI – *American National Standards Institute*
ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Brasil)
APF – *Assigned Protection Factor*
ASHRAE – *American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers*
ASTM – *American Society for Testing and Materials*
BFE – *Bacterial Filtration Efficiency*
CA – Certificado de Aprovação
CB-32 – Comitê Brasileiro de Equipamentos de Proteção Individual da ABNT
CCIH – Comissão de Controle de Infecção Hospitalar
CDC – *Centers for Disease Control and Prevention* (EUA)
CE – Comissão de Estudos da ABNT
CFR – *Code of Federal Regulations* (EUA)
CGA – *Compressed Gas Association* (Canadá)
DOP – Di-Octilftalato
DSST – Departamento de Saúde e Segurança do Trabalho (Brasil)
EPI – Equipamento de Proteção Individual
EPR – Equipamento de Proteção Respiratória
FBC – Filtro de Baixa Capacidade
FDA – *Food and Drug Administration* (EUA)
FPA – Fator de Proteção Atribuído
FPE – Fator de Proteção Efetivo
FPR – Fator de Proteção Requerido
FUNDACENTRO – Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho (Brasil)
HA - Hemaglutinina

HEPA – *High Efficiency Particulate Air*
IAAP – Influenza Aviária Altamente Patogênica
IN – Instrução Normativa
IPVS – Imediatamente Perigoso à Vida ou à Saúde
LEO – Limite de Exposição Ocupacional
MCU – Máxima Concentração de Uso
MS – Ministério da Saúde (Brasil)
MTE – Ministério do Trabalho e Emprego (Brasil)
N95 – Não resistente a óleo; 95% de eficiência mínima de filtração de partículas
NA - Neuraminidase
NB – Nível de Biossegurança
NBR – Norma Brasileira
NIOSH – *National Institute for Occupational Safety and Health* (EUA)
NR – Norma Regulamentadora
OMS – Organização Mundial da Saúde
OSHA – *Occupational Safety and Health Administration* (EUA)
PAPR – *Powered Air-Purifying Respirator*
PCMSO – Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional
PFE – *Particle Filtration Efficiency*
PFF – Peça Semifacial Filtrante
PPR – Programa de Proteção Respiratória
PPRA – Programa de Prevenção de Riscos Ambientais
RDC/ANVISA – Resolução da Diretoria Colegiada/Agência Nacional de Vigilância Sanitária
SESMT – Serviço Especializado em Engenharia de Segurança e em Medicina do Trabalho
SIDA/AIDS – Síndrome da Imunodeficiência Adquirida
SL – Sólido-Líquido
SRAG/SARS – Síndrome Respiratória Aguda Grave / *Severe Acute Respiratory Syndrome*
SSST – Secretaria de Segurança e Saúde no Trabalho (Brasil)
TB – Tuberculose

TB-MDR – Tuberculose Droga-Multirresistente

TLV[®] – *Threshold Limit Value*

LISTA DE SÍMBOLOS

cm^3/min – Centímetros cúbicos por minuto
 C – Concentração de aerossóis (em partículas por centímetro cúbico)
 C_0 – Concentração de aerodispersóide
 C_{rank} – Concentração de aerossóis (*ranking* qualitativo)
 G – Taxa de geração de aerossóis (em partículas por centímetro cúbico)
 G_{rank} – Taxa de geração de aerossóis (*ranking* qualitativo)
 lpm – Litros por minuto
 L/s/Pessoa – Litros por segundo por pessoa
 MPa – Mega Pascal
 μm – Micrometro (micron)
 mg – Miligrama
 mg/m^3 – Miligrama por metro cúbico
 nm – Nanometro
 O_2 – Oxigênio (gás)
 pés^3 – Pés cúbicos
 $\text{pés}^3/\text{min}$ – Pés cúbicos por minuto
 ppm – Partes por milhão
 Q – Taxa de ventilação (em centímetros cúbicos por minuto)
 Q_{rank} – Taxa de ventilação (*ranking* qualitativo)
 T – Tempo total de exposição ao agente nocivo
 T_o – Tempo de omissão de uso do equipamento de proteção respiratória
 T_u – Tempo real de uso do equipamento de proteção respiratória

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, o principal instrumento técnico-legal que normatiza o processo de seleção e uso de equipamentos de proteção respiratória é a Instrução Normativa IN nº 01, publicada pela Secretaria de Segurança e Saúde no Trabalho do Ministério do Trabalho e Emprego em 11 de abril de 1994. Esta regulamentação foi criada considerando principalmente as dúvidas suscitadas em relação à adequada proteção fornecida aos trabalhadores quando da adoção de equipamentos de proteção respiratória por parte das empresas, bem como a necessidade de disciplinar a utilização desses equipamentos dentro de critérios técnicos e procedimentos adequados, quando adotados pelas empresas.

Esta Instrução Normativa veio estabelecer, através de regulamento técnico, o dever, por parte do empregador, de adotar um conjunto de medidas com o objetivo de adequar a utilização de equipamentos de proteção respiratória (EPR), quando necessário, para complementar as medidas de proteção coletiva implementadas, ou enquanto as mesmas estiverem sendo implantadas, com a finalidade de garantir uma completa proteção ao trabalhador contra os riscos existentes nos ambientes de trabalho.

A IN nº 01 estabelece ainda que o empregador deve seguir, além do disposto nas Normas Regulamentadoras (NR) de Segurança e Saúde no Trabalho, as recomendações da Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho – FUNDACENTRO contidas na publicação intitulada “PROGRAMA DE PROTEÇÃO RESPIRATÓRIA – RECOMENDAÇÕES, SELEÇÃO E USO DE RESPIRADORES”.

Entretanto, a IN nº 01 do MTE, assim como a publicação da FUNDACENTRO, trazem diretrizes e critérios para seleção e uso de equipamentos de proteção respiratória contra agentes químicos apenas, não fazendo referência aos riscos respiratórios de origem biológica.

A Norma Regulamentadora nº 15 (NR-15), que trata das atividades e operações insalubres, apresenta em seu Anexo nº 14 (Agentes Biológicos) uma relação das atividades que envolvem agentes biológicos, cuja insalubridade é caracterizada pela avaliação qualitativa. De acordo com esta normativa, é atribuído

o grau de insalubridade máximo (com direito a percepção pelo trabalhador de adicional de insalubridade de 40% sobre o valor do salário mínimo) aos trabalhos ou operações em contato permanente com:

- pacientes em isolamento por doenças infectocontagiosas, bem como objetos de seu uso, não previamente esterilizados;
- carnes, glândulas, vísceras, sangue, ossos, couros, pêlos e dejeções de animais portadores de doenças infectocontagiosas (carbunculo¹, brucelose², tuberculose);
- esgotos (galerias e tanques);
- lixo urbano (coleta e industrialização).

O grau de insalubridade médio (com direito a percepção pelo trabalhador de adicional de insalubridade de 20% sobre o valor do salário mínimo) deve ser atribuído aos trabalhos e operações em contato permanente com pacientes, animais ou com material infectocontagante, em:

- hospitais, serviços de emergência, enfermarias, ambulatórios, postos de vacinação e outros estabelecimentos destinados aos cuidados da saúde humana (aplica-se unicamente ao pessoal que tenha contato com os pacientes, bem como aos que manuseiam objetos de uso desses pacientes, não previamente esterilizados);
- hospitais, ambulatórios, postos de vacinação e outros estabelecimentos destinados ao atendimento e tratamento de animais (aplica-se apenas ao pessoal que tenha contato com tais animais);
- contato em laboratórios, com animais destinados ao preparo de soro, vacinas e outros produtos;
- laboratórios de análise clínica e histopatologia (aplica-se tão-só ao pessoal técnico);
- gabinetes de autópsias, de anatomia e histoanatomopatologia (aplica-se somente ao pessoal técnico);

¹ Doença causada pelo *Bacillus anthracis*.

² Doença crônica causada por bactérias do gênero *Brucella*, transmitida por contato direto com animais infectados ou pelo consumo de leite e derivados não-pasteurizados.

- cemitérios (exumação de corpos);
- estábulos e cavalariças;
- resíduos de animais deteriorados.

A Norma Regulamentadora NR-9 estabelece a obrigatoriedade da elaboração e implementação, por parte de todos os empregadores e instituições que admitam trabalhadores como empregados, do Programa de Prevenção de Riscos Ambientais (PPRA), visando à preservação da saúde e da integridade dos trabalhadores, através da antecipação, reconhecimento, avaliação e conseqüente controle da ocorrência de riscos ambientais existentes ou que venham a existir no ambiente de trabalho, tendo em consideração a proteção do meio ambiente e dos recursos naturais. A mesma norma define como riscos ambientais os agentes físicos, químicos e biológicos existentes nos ambientes de trabalho que, em função de sua natureza, concentração ou intensidade e tempo de exposição, são capazes de causar danos à saúde do trabalhador, onde são considerados agentes biológicos as bactérias, fungos, bacilos, parasitas, protozoários, vírus, entre outros.

A NR-9 determina ainda que deverão ser adotadas as medidas necessárias suficientes para a eliminação, a minimização ou o controle dos riscos ambientais, privilegiando sempre a eliminação ou controle do risco na fonte bem como as medidas de controle de caráter coletivo sobre as demais. Entretanto, em algumas atividades ocupacionais, pode demonstrar-se técnica ou economicamente inviável eliminar o risco na fonte, como é o caso dos estabelecimentos de atendimento à saúde, onde a presença do risco biológico é intrínseca à prestação deste tipo de serviço.

Em seu item 9.3.5.4, a NR-9 define o quanto segue: “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 à seguinte hierarquia:

- a) medidas de caráter administrativo ou de organização do trabalho;
- b) utilização de Equipamento de Proteção Individual (EPI).”

Nas situações em que a utilização de um EPI se faz necessária, a NR-9 prevê, em seu item 9.3.5.5, os seguintes critérios: “A utilização de EPI no âmbito do programa deverá considerar as Normas Legais e Administrativas em vigor e envolver no mínimo:

- a) seleção do EPI adequado tecnicamente ao risco a que o trabalhador está exposto e à atividade exercida, considerando-se a eficiência necessária para o controle da exposição ao risco e o conforto oferecido segundo avaliação do trabalhador usuário;
- b) programa de treinamento dos trabalhadores quanto à sua correta utilização e orientação sobre as limitações de proteção que o EPI oferece;
- c) estabelecimento de normas ou procedimento para promover o fornecimento, o uso, a guarda, a higienização, a conservação, a manutenção e a reposição do EPI, visando a garantir condições de proteção originalmente estabelecidas;
- d) caracterização das funções ou atividades dos trabalhadores, com a respectiva identificação dos EPI utilizado para os riscos ambientais.”

Em seu item 9.3.5.6, a NR-9 estabelece ainda que o PPRA deve estabelecer critérios e mecanismos de avaliação da eficácia das medidas de proteção implantadas considerando os dados obtidos nas avaliações realizadas e no programa de controle médico de saúde ocupacional (PCMSO) previsto na NR-7.

Neste contexto, e no entendimento de que as recomendações contidas no item 9.3.5.5 da NR-9 também dizem respeito à seleção e utilização do equipamento de proteção respiratória tecnicamente adequado ao risco biológico, considerando-se a eficiência necessária para o controle da exposição a este tipo de risco, o presente trabalho se propõe a sugerir metodologias para seleção de respiradores tecnicamente adequados ao controle da exposição ocupacional a agentes biológicos dispersos no ar sob a forma de bioaerossóis.

1.1. Objetivo

O objetivo deste trabalho consiste em sugerir e comparar metodologias para a correta seleção de equipamentos de proteção respiratória no controle da exposição ocupacional a agentes biológicos, que possam contribuir construtivamente para o desenvolvimento de regulamentações e recomendações locais sobre este tema.

1.2. Justificativa

A motivação para este trabalho teve origem na constatação de que muita literatura técnico-científica tem sido produzida a respeito de proteção respiratória contra agentes químicos e relativamente pouco tem sido publicado sobre proteção respiratória contra agentes biológicos, muito embora exista um número igualmente significativo de trabalhadores expostos inadvertidamente a estes últimos agentes nas mais diversas atividades como no atendimento à saúde, na indústria agro-pecuária, na indústria alimentícia, em laboratórios, universidades, na coleta, tratamento e destinação de resíduos sólidos e líquidos, entre outros.

A ausência de regulamentações e protocolos brasileiros sobre o assunto tem gerado por vezes interpretações equivocadas das recomendações internacionais existentes bem como o entendimento de que nenhum tipo de proteção se faz necessário na maioria dos casos, resultando em trabalhadores desprotegidos ou inadequadamente protegidos contra este tipo de risco.

Ao contrário da maioria dos agentes químicos, os efeitos dos agentes biológicos à saúde humana irão se manifestar, tipicamente, em um prazo relativamente curto após a exposição, em algumas situações sob a forma de enfermidades com graus variados de morbi-mortalidade³ para as quais podem não estar disponíveis atualmente profilaxia e/ou tratamento eficazes, tais como a tuberculose multi-resistente, a síndrome respiratória aguda grave ou a influenza aviária altamente patogênica, colocando em risco imediato a vida destes profissionais.

³ Em epidemiologia, **morbidade** ou morbilidade é a taxa de portadores de determinada doença em relação ao números de habitantes sãos, em determinado local em determinado momento.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Agentes Biológicos

São considerados agentes biológicos os agentes de origem biológica capazes de ocasionar dano à saúde. Abrangem organismos inteiros, como bactérias, vírus, protozoários, fungos, animais ou plantas, e também partes ou substâncias provenientes de organismos, como toxinas animais, alérgenos de origem biológica, culturas de células, entre outros (BRASIL, 2007).

Muitos agentes biológicos encontram-se mais ou menos disseminados, tanto no meio ambiente quanto nas populações humanas ou de outras espécies animais. Essa disseminação faz com que a delimitação entre o ambiente de trabalho e outros ambientes seja, freqüentemente, pouco precisa (BRASIL, 2007).

As conseqüências da exposição ocupacional a agentes biológicos para a saúde do trabalhador incluem quadros de infecção aguda e crônica, parasitoses e reações alérgicas e tóxicas aos agentes. As infecções podem ser causadas por bactérias, vírus, riquetsias⁴, clamídias⁵ e fungos. As parasitoses são causadas por protozoários, helmintos (vermes) e artrópodes (por exemplo, piolhos). Algumas dessas doenças infecciosas e parasitárias são transmitidas por animais que atuam como hospedeiros intermediários. Diversas plantas e animais produzem substâncias alergênicas, irritativas e tóxicas com as quais os trabalhadores entram em contato, como pêlos, pólen, esporos de fungos e bactérias, fungos, ou por picadas e mordeduras (BRASIL, 2007).

Entre os grupos mais expostos a agentes biológicos estão os trabalhadores da agricultura e da saúde - em centros de saúde, hospitais, laboratórios, necrotérios, atividades de investigação de campo e vigilância em saúde, controle de vetores e aqueles que lidam com animais e resíduos líquidos ou sólidos contaminados. Nos

⁴ Microorganismos que apresentam tanto características das bactérias quanto dos vírus. Normalmente, vivem em carrapatos, ácaros, pulgas e piolhos e podem ser transmitidas para o ser humano através de picadas desses insetos hematófagos (sugadores de sangue).

⁵ Bactérias intracelulares obrigatórias cujos defeitos extremos de biossíntese no metabolismo intermediário e na geração de energia tornam-nas absolutamente dependentes de uma célula hospedeira para seu crescimento e replicação. São divididas em três espécies: *Chlamydia trachomatis*, *Chlamydia pneumoniae* e *Chlamydia psittaci*

trabalhadores de saúde é significativa a exposição direta ao paciente e às secreções e fluidos biológicos. Muitas doenças causadas por agentes biológicos são originalmente zoonoses e podem estar diretamente relacionadas ao trabalho agrícola (BRASIL, 2007).

Também podem ser afetadas as pessoas que trabalham em ambiente silvestre, como na silvicultura, em atividades de pesca, produção e manipulação de produtos animais, como abatedouros, curtumes, frigoríficos, indústria alimentícia e trabalhadores em serviços de saneamento e de coleta de lixo (BRASIL, 2007).

Sempre que uma atividade profissional envolva a utilização intencional e deliberada de agentes biológicos, como, por exemplo, o cultivo de um microorganismo num laboratório microbiológico ou a utilização daquele na produção de alimentos, o agente biológico, por ser conhecido, pode ser mais facilmente controlado, podendo as medidas de prevenção ser adaptadas ao risco por ele representado. Deverão, portanto, ser incluídas no inventário de substâncias perigosas, informações sobre a natureza e os efeitos do agente biológico utilizado (GUEDES, 2006).

Nos casos em que a ocorrência do agente biológico é uma consequência involuntária da atividade – como é o caso das atividades agrícolas ou de triagem de resíduos – a avaliação dos riscos a que estão expostos os trabalhadores torna-se mais difícil. Não obstante, no que respeita a algumas das atividades envolvidas, encontram-se disponíveis informações sobre a exposição e medidas de proteção (GUEDES, 2006).

Por microrganismo entende-se qualquer entidade microbiológica, celular ou não, dotada de capacidade de reprodução ou de transferência do material genético. Assim, os agentes biológicos são seres vivos de dimensões microscópicas, bem como todas as substâncias derivadas dos mesmos, presentes no ambiente de trabalho, que podem provocar efeitos negativos na saúde dos trabalhadores (GUEDES, 2006).

A grande diferença entre os agentes biológicos e as demais substâncias perigosas é a respectiva capacidade de reprodução. Em condições favoráveis, uma pequena quantidade de um microrganismo pode desenvolver-se consideravelmente num curto período de tempo (GUEDES, 2006).

Os agentes biológicos estão onipresentes em todo o meio que nos rodeia e coabitam com todos os seres vivos. Todavia, apenas uma pequena porção destes microrganismos que abundam na natureza, provoca doença nas pessoas. São os microrganismos patogênicos que, englobando as bactérias, vírus, parasitas e fungos, conseguem vencer as defesas do organismo humano e infectar os tecidos da pessoa saudável. A patogenia é a capacidade de desencadear uma doença (GUEDES, 2006).

Para a prevenção e identificação das doenças infecciosas é muito importante reconhecer as fontes e os meios de transmissão dos agentes biológicos patogênicos nomeadamente na água, no ar, nas instalações do ar condicionado, no solo, com os animais domésticos ou selvagens e em algumas matérias-primas como o algodão, a lã e a carne (GUEDES, 2006).

A avaliação de risco incorpora ações que objetivam o reconhecimento ou a identificação dos agentes biológicos e a probabilidade do dano proveniente destes. Tal análise será orientada por vários critérios que dizem respeito não só ao agente biológico manipulado, mas também ao tipo de ensaio realizado, ao próprio trabalhador e, quando pertinente, à espécie animal utilizada no ensaio. Deve contemplar as várias dimensões que envolvem a questão, sejam elas relativas a procedimentos (boas práticas: padrões e especiais), a infra-estrutura (desenho, instalações físicas e equipamentos de proteção) ou educacionais (qualificação das equipes). Também a organização do trabalho e as práticas gerenciais passaram a ser reconhecidas como importante foco de análise, seja como causadoras de acidentes, doenças e sofrimento, ou como integrantes fundamentais de um programa de biossegurança nas instituições (BRASIL, 2006).

Nas exposições em nível laboratorial ou de pesquisa, para cada análise ou método diagnóstico exigido, os profissionais deverão proceder a uma avaliação de risco, onde será discutido e definido o nível de contenção adequado para manejar amostras contendo material biológico. Nesse processo é preciso considerar, também, todos os outros tipos de riscos envolvidos.

Diante de tal complexidade no processo de avaliação de risco para o trabalho e exposição a agentes biológicos, considera-se com frequência uma série de critérios, dentre os quais destacam-se:

2.1.1. Virulência

A virulência do agente biológico para o homem e para os animais é um dos critérios de maior importância. Uma das formas de mensurá-la é a taxa de fatalidade do agravo causado pelo agente patogênico, que pode vir a causar morte ou incapacidade em longo prazo. Segundo esse critério, a tuberculose, as encefalites virais e a coriomeningite linfocítica (LCM) são bons exemplos de doenças cujos agentes biológicos causadores possuem alta virulência e, portanto, alto risco. O *Staphylococcus aureus*, que raramente provoca uma doença grave ou fatal em um indivíduo contaminado, é classificado como de risco baixo (BRASIL, 2006).

2.1.2. Modo de transmissão

O conhecimento do modo de transmissão do agente biológico manipulado é de fundamental importância para a aplicação de medidas que visem conter a disseminação de doenças, pois cada uma terá uma forma diferente de controle.

Sabemos que existem micróbios patogênicos no ar, nos objetos e sobre a pele, porém normalmente estes não produzem infecções porque existe uma série de barreiras naturais que protegem as possíveis portas de entrada dos germes.

A barreira mais importante contra os germes ambientais é a pele. A capa superficial da pele é formada por células mortas com grande quantidade de queratina – a mesma substância que forma as unhas. Esta faz com que a pele seja impermeável e, com a secreção gordurosa e o suor, evita que os micróbios penetrem no organismo. Se a pele se rompe ou se altera, as bactérias que normalmente nela vivem podem introduzir-se no organismo, produzindo infecção (BRASIL, 2006).

Outra via importante para a entrada de germes é a respiratória. Aqui, entre células que recobrem a faringe e a traquéia, existem células que segregam mucosidade para reter os elementos estranhos, e além disso tem cílios que se movem continuamente para expulsá-los para o exterior. Esse epitélio fica alterado nos fumantes, por exemplo, por isso eles têm mais infecções respiratórias do que os não-fumantes (BRASIL, 2006).

A entrada de germes pelo aparelho digestivo está protegida pela saliva e sucos gástricos, que têm capacidade de destruir alguns micróbios. O rim e a via urinária são protegidos pelo esfíncter de saída e o esvaziamento periódico da urina (BRASIL, 2006).

Também os olhos têm secreções protetoras das infecções, como as lágrimas. A alteração dessas secreções facilita o surgimento de infecções (BRASIL, 2006).

2.1.3. Estabilidade

É a capacidade de sobrevivência de um agente biológico no meio ambiente. Informações sobre sua sobrevivência quando exposto à luz solar ou ultravioleta, a determinadas temperaturas e teores de umidade, exposições a desinfetantes químicos ou à dissecação devem ser consideradas (BRASIL, 2006).

2.1.4. Concentração e volume

É o número de agentes biológicos patogênicos por unidade de volume, portanto, quanto maior a concentração, maior o risco. O volume do agente a ser manipulado também é importante. Na maioria dos casos, os fatores de risco aumentam com o aumento do volume manipulado (BRASIL, 2006).

2.1.5. Origem do agente biológico potencialmente patogênico

Este dado está associado não só à origem do hospedeiro do agente biológico (humano ou animal, infectado ou não), mas também à localização geográfica (áreas endêmicas, etc.) (BRASIL, 2006).

2.1.6. Disponibilidade de medidas profiláticas eficazes

A avaliação de risco inclui a disponibilidade de compostos imunoprofiláticos eficazes. Quando estão disponíveis, o risco é drasticamente reduzido (BRASIL, 2006).

2.1.7. Disponibilidade de tratamento eficaz

Este dado refere-se à disponibilidade de tratamento eficaz, capaz de proporcionar a cura ou a contenção do agravamento da doença causada pela exposição ao agente biológico. Também se torna um fator de redução do risco.

É importante ressaltar que durante a avaliação de risco, tanto a disponibilidade de imunização, quanto de tratamento, são somente medidas adicionais de proteção, não prescindindo de outros fatores a serem considerados, como o controle das condições do ambiente onde a atividade de risco será realizada (controles de engenharia), as práticas e procedimentos padrão aplicados e o uso de equipamentos de proteção (individual e/ou coletiva) (BRASIL, 2006).

2.1.8. Dose infectante

É o número de microorganismos necessários para desencadear uma infecção. A dose infectante do agente biológico é um fator que deve ser levado em consideração, pois aponta o risco do agente patogênico a ser manipulado (BRASIL, 2006). O *Mycobacterium tuberculosis*, por exemplo, apresenta uma dose infectante de menos de 10 bacilos (RAPPARINI, 2007).

2.1.9. Tipo de procedimento

O tipo de procedimento pode potencializar o risco, como, por exemplo, a centrifugação. Além disso, destacam-se os procedimentos que envolvem inoculação experimental em animais, pois os riscos irão variar de acordo com as espécies envolvidas e com a natureza da pesquisa desenvolvida. Os próprios animais podem introduzir novos agentes biológicos (BRASIL, 2006).

Podemos nos defrontar com infecções latentes que são mais comuns em animais capturados no campo ou em animais provenientes de criações não selecionadas. Por exemplo, o vírus B do macaco é um risco aos indivíduos que lidam com símios. A informação em relação de qual(is) é(são) a(s) via(s) de

eliminação do agente nos animais também deve ser considerada na avaliação de risco. A eliminação em altos títulos por excreções ou secreções de alguns agentes biológicos pelo animal e, em especial, os que são transmitidos por via respiratória, podem exigir um nível de contingenciamento acima do indicado na classificação do agente. As pessoas que lidam com animais experimentais infectados com agentes biológicos patogênicos apresentam um risco muito maior de exposição devido às mordidas, aos arranhões e aos aerossóis provocados por eles (BRASIL, 2006).

2.1.10. Fatores referentes ao trabalhador

São aqueles fatores diretamente ligados às pessoas: idade, sexo, fatores genéticos, susceptibilidade individual (sensibilidade e resistência com relação aos agentes biológicos), estado imunológico, exposição prévia, gravidez, lactação, consumo de álcool, consumo de medicamentos, hábitos de higiene pessoal (como lavar as mãos) e uso de equipamentos de proteção individual. A experiência e a qualificação dos profissionais expostos também devem ser consideradas (BRASIL, 2006).

Cabe ressaltar a importância da composição multi-profissional e da abordagem interdisciplinar nas análises de risco. As análises de risco envolvem não apenas sistemas tecnológicos e agentes biológicos perigosos manipulados e/ou produzidos, mas também seres humanos, animais, complexos e ricos em suas naturezas e relações, não apenas biológicas, mas também sociais, que também se constituem em riscos, e devem ser considerados durante o processo de avaliação (BRASIL, 2006).

2.2. Classificação de agentes biológicos por grupos de risco

Os agentes biológicos que afetam o homem, os animais e as plantas são distribuídos em classes de risco assim definidas (BRASIL, 2006):

- **Classe de risco 1 (baixo risco individual e para a coletividade):** inclui os agentes biológicos conhecidos por não causarem doenças em pessoas ou animais adultos saudáveis. Exemplo: *Lactobacillus sp.*
- **Classe de risco 2 (moderado risco individual e limitado risco para a comunidade):** inclui os agentes biológicos que provocam infecções no homem ou nos animais, cujo potencial de propagação na comunidade e de disseminação no meio ambiente é limitado, e para os quais existem medidas terapêuticas e profiláticas eficazes. Exemplo: *Schistosoma mansoni*, *Legionella pneumophila e spp*, *Staphylococcus aureus*, Coronavírus.
- **Classe de risco 3 (alto risco individual e moderado risco para a comunidade):** inclui os agentes biológicos que possuem capacidade de transmissão por via respiratória e que causam patologias humanas ou animais, potencialmente letais, para as quais existem usualmente medidas de tratamento e/ou de prevenção. Representam risco se disseminados na comunidade e no meio ambiente, podendo se propagar de pessoa a pessoa. Exemplos: *Bacillus anthracis*, *Mycobacterium tuberculosis*, Hantavírus, Príons.
- **Classe de risco 4 (alto risco individual e para a comunidade):** inclui os agentes biológicos com grande poder de transmissibilidade por via respiratória ou de transmissão desconhecida. Até o momento não há nenhuma medida profilática ou terapêutica eficaz contra infecções ocasionadas por estes. Causam doenças humanas e animais de alta gravidade, com alta capacidade de disseminação na comunidade e no meio ambiente. Esta classe inclui principalmente os vírus. Exemplo: Vírus Ebola, vírus de Marburg, vírus da varíola.
- **Classe de risco especial (alto risco de causar doença animal grave e de disseminação no meio ambiente):** inclui agentes biológicos de doença animal não existentes no País e que, embora não sejam obrigatoriamente

patógenos de importância para o homem, podem gerar graves perdas econômicas e/ou na produção de alimentos. Exemplo: Vírus da Influenza Aviária Altamente Patogênica (Tipo A/Subtipo H5N1).

Os agentes incluídos na classe especial deverão ser manipulados em área de nível de biossegurança 4 (NB-4), enquanto ainda não circularem no país, devendo ter sua importação restrita, sujeita à prévia autorização das autoridades competentes. Caso sejam diagnosticados no território nacional, deverão ser tratados no NB determinado pelos critérios que norteiam a sua avaliação de risco (BRASIL, 2006).

O agente biológico que não puder ser rigorosamente classificado num dos grupos definidos anteriormente deve ser enquadrado no grupo mais elevado no qual possa ser incluído (BRASIL, 2006).

Nesta classificação, reputaram-se apenas os possíveis efeitos dos agentes biológicos aos indivíduos saudáveis. Os possíveis efeitos aos indivíduos com patologia prévia, em uso de medicação, portador de transtornos imunológicos, gravidez ou em lactação não foram considerados (BRASIL, 2006).

2.3. Identificação e avaliação de agentes biológicos (ACGIH, 2006; BRASIL, 2005)

Alguns contaminantes não são facilmente identificados, e dificilmente medidos e avaliados. Um exemplo característico destas dificuldades são os aerodispersóides contendo agentes biológicos, também denominados **bioaerossóis**. Os bioaerossóis incluem microorganismos (vivos ou mortos), além de fragmentos, toxinas e resíduos particulados de todo tipo de seres vivos. Alguns destes materiais são ainda pouco conhecidos sob o ponto de vista da potencialidade de causar doenças ou reações adversas no sistema de saúde humana, entretanto, também devem integrar o processo de identificação e avaliação de riscos no que diz respeito à probabilidade e gravidade da exposição ocupacional.

Segundo a *American Conference of Governmental Industrial Hygienists* (ACGIH), o termo “Agente Biológico” se refere à substância de origem biológica

que é capaz de produzir um efeito adverso, por exemplo, uma infecção ou uma hipersensibilidade, irritação, inflamação ou outra alteração da saúde. Os microorganismos dispersos no ar constituem materiais particulados que podem variar de tamanho (diâmetro aerodinâmico) desde partículas muito pequenas da ordem de sub-mícron, como vírus, até algumas dezenas de micra, como muitas bactérias e fungos. Estes microorganismos, no entanto, encontram-se com frequência “ancorados” em partículas líquidas ou sólidas de tamanho significativamente maior que o seu próprio, impactando na probabilidade de exposição efetiva e de inalação destes particulados e, por consequência, no processo de avaliação deste tipo de risco ocupacional.

Outros aspectos a serem considerados na avaliação do risco respiratório de natureza biológica são: o grau de patogenicidade e virulência do agente, suas vias de transmissão ao ser humano, a classe de risco (I, II, III ou IV) a que pertence, a existência ou não de terapêutica eficaz ou profilaxia, o tipo de atividade ou procedimento no qual ocorre a exposição ocupacional em relação ao seu perfil de geração de bioaerossóis (baixa, moderada ou intensa), as características de ventilação do ambiente, entre outros.

A ACGIH propõe ainda uma classificação mais abrangente para os agentes biológicos denominada “Contaminantes de Origem Biológica Veiculados pelo Ar”. Além dos bioaerossóis descritos anteriormente, são também considerados pela ACGIH contaminantes de origem biológica veiculados pelo ar os compostos voláteis produzidos por organismos vivos, tais como amônia, dióxido de carbono, etanol e gás sulfídrico, entre outras substâncias tidas como de origem biológica que incluem celulose, alguns tipos de poeira de madeira, algodão e grãos; nicotina; piretróides; amido (fécula); enzimas proteolíticas; sacarose; névoas de óleos vegetais.

De acordo com a norma regulamentadora NR-32, que trata da segurança e saúde no trabalho em serviços de saúde, o PPRA, além do previsto na NR-9, na fase de reconhecimento, deve conter:

- I. Identificação dos riscos biológicos mais prováveis, em função da localização geográfica e da característica do serviço de saúde e seus setores, considerando:
 - a) fontes de exposição e reservatórios;

- b) vias de transmissão e de entrada;
 - c) transmissibilidade, patogenicidade e virulência do agente;
 - d) persistência do agente biológico no ambiente;
 - e) estudos epidemiológicos ou dados estatísticos;
 - f) outras informações científicas.
- II. Avaliação do local de trabalho e do trabalhador, considerando:
- a) a finalidade e descrição do local de trabalho;
 - b) a organização e procedimentos de trabalho;
 - c) a possibilidade de exposição;
 - d) a descrição das atividades e funções de cada local de trabalho;
 - e) as medidas preventivas aplicáveis e seu acompanhamento.

2.4. Exemplos de doenças ocupacionais transmissíveis por via respiratória

São exemplos de agentes etiológicos, capazes de ocasionar infecção em humanos, para os quais a via de transmissão aérea é reconhecida: *Mycobacterium tuberculosis*, coronavírus causador da síndrome respiratória aguda grave (SRAG/SARS), *Bacillus anthracis*, hantavírus, vírus do sarampo, vírus da varicela, orthomyxovírus causador da influenza aviária altamente patogênica (A/H5N1), *Histoplasma capsulatum*, *Cryptococcus* spp, *Chlamydia psittaci*, vírus Ebola, vírus de Marburg, entre outros.

2.4.1. Tuberculose (CDC, 1994; RAPPARINI, 2007)

No Brasil, é elevado o número de casos de tuberculose notificados o que propicia um contato freqüente dos profissionais da área de saúde com a doença. Em diversos estudos nacionais foi evidenciada uma elevada prevalência de infecção tuberculosa entre os profissionais de saúde superior à da população geral. Outros estudos evidenciaram também uma alta taxa de conversão tuberculínica. Tem sido demonstrado em alguns estudos nacionais que além do risco de infecção, o risco de adoecimento é superior ao da população geral.

A demonstração da via inalatória como a principal na infecção pelo *Mycobacterium tuberculosis* tornou-se evidente através dos estudos das partículas infectantes, da histopatologia e da avaliação de contatos.

A importância do tamanho das partículas inaladas foi demonstrada por Ratcliff e Crumb (1948 apud Rapparini, 2007), através de estudos experimentais em coelhos. Os animais contraíam mais tuberculose quando inalavam bacilos dispersos unitariamente, do que quando as bactérias estavam concentradas em grandes agregados. Ficou demonstrado que partículas menores que 5 micra eram as responsáveis pela transmissão; as maiores não se mostraram eficientes em atingir os alvéolos pulmonares; estes conceitos fundamentaram as bases de prevenção da transmissão da tuberculose (EICKHOFF, 1994; NARDELL, 1990 apud RAPPARINI, 2007).

As condições do ambiente são de fundamental importância para a disseminação ou inativação das partículas infectantes, assim, em locais sem ventilação ou luminosidade, a persistência dos bacilos pode ser prolongada. Sultan et al (1960 apud Rapparini, 2007) estudaram a transmissão dos núcleos de gotículas para cobaias colocadas em dutos hospitalares, que recebiam o ar oriundo dos quartos de pacientes com tuberculose bacilífera, demonstrando haver transmissão aerógena no ambiente hospitalar (BATES, 1980 apud RAPPARINI, 2007).

Através do estudo de contatos, demonstrou-se que a infectividade do caso era dependente da carga bacilar presente no escarro. Wynn-Williams et al (1954 apud Rapparini, 2007) demonstraram que os pacientes bacilíferos infectavam cerca de 50 a 65% dos contatos domiciliares, enquanto que os com escarro negativo e cultura positiva transmitiam a um número significativamente menor. A variabilidade na infectividade é dependente também da capacidade de aerossolização, relacionada à força e vigor da tosse, demonstrada por Riley et al (1962 apud Rapparini, 2007) (BATES, 1980; STEAD, 1989 apud RAPPARINI, 2007).

A partir dos diversos estudos sobre a transmissão do *M. tuberculosis* foi possível caracterizar grupos de pacientes com maior risco de transmissibilidade: aqueles com formas pulmonares ou de vias aéreas, imagem cavitária à radiografia torácica, tosse duradoura e freqüente, aerolização associada a medidas expiratórias

forçadas e procedimentos indutores de tosse, bacterioscopia do escarro positiva, não proteção da boca e do nariz ao tossir e espirrar (CDC, 1994).

Surtos de tuberculose têm sido descritos em hospitais, centros de tratamento de usuários de drogas e instituições correccionais. Os surtos são associados, em sua maioria, ao retardo no diagnóstico e na instituição do isolamento respiratório, assim como pelo atraso no reconhecimento da resistência. De 1990 a 1992, o Centro de Controle e Prevenção de Doenças (CDC – *Centers for Disease Control & Prevention*) americano investigou 7 surtos de tuberculose multirresistente (TB-MDR). Ocorreram cerca de 200 casos, sendo a maioria infectados pelo vírus da imunodeficiência humana (HIV), causador da síndrome da imunodeficiência adquirida (SIDA/AIDS), com alta letalidade (72% a 89%). Houve transmissão para outros pacientes e profissionais. No mínimo, 9 indivíduos adoeceram e 5 morreram.

Surtos em outras unidades de imunossuprimidos e até em enfermarias pediátricas também são descritos. Jereb et al (1993 apud Rapparini, 2007) descreveram transmissão nosocomial⁶ com 6 casos secundários, sendo 5 transplantados renais e um paciente HIV positivo. Aznar et al e Weinstein et al (1995 apud Rapparini, 2007) descreveram surtos em enfermarias pediátricas, cujos casos índices foram pais de crianças internadas.

A transmissão em unidades de emergência também é relatada: num hospital do Texas, a partir de um caso de tuberculose pulmonar cavitária, ocorreram 5 casos secundários e 47 conversões do teste tuberculínico. Sokolove et al (1994 apud Rapparini, 2007) demonstraram altas taxas de conversão em profissionais do departamento de emergência.

A Organização Mundial da Saúde (OMS) acredita que um terço da população mundial esteja infectada pelo bacilo da tuberculose e que aparecerão dez milhões de novos casos por ano. A tuberculose mata isoladamente três milhões de pessoas por ano e oito milhões de pessoas são infectadas todos os anos no mundo. Estima-se que um paciente bacilífero infecte 10 a 15 pessoas por ano na comunidade em que vive. Nos últimos anos, a OMS passou a considerar relevante o risco de adoecimento de profissionais da saúde. No Brasil, estima-se que, do total

⁶ Refere-se a uma infecção adquirida, por um paciente ou profissional de saúde, como resultado de tratamento ou atividade desempenhada em uma unidade hospitalar.

da população, 35 a 45 milhões de pessoas estão infectadas pelo *M. tuberculosis*, com aproximadamente 100 mil casos novos por ano. O número de mortes pela doença em nosso meio é de 4 a 5 mil, anualmente. Com o surgimento, em 1981, da Síndrome de Imunodeficiência Adquirida (SIDA/AIDS), vem-se observando, tanto em países desenvolvidos como nos países em desenvolvimento, um crescente número de casos notificados de tuberculose em pessoas infectadas pelo vírus da imunodeficiência humana (HIV).

A associação HIV/TB constitui, nos dias atuais, um sério problema de saúde pública, podendo levar ao aumento da morbidade e mortalidade pela tuberculose, em muitos países.

2.4.1.1. Risco para profissionais da área da saúde

O debate sobre a transmissão nosocomial da tuberculose ressurgiu nos anos 90, motivado pelo aumento da prevalência da doença nos países desenvolvidos, instrumentalizado pelas técnicas de biologia molecular e associado à epidemia de SIDA/AIDS.

Esta discussão não é recente e tem acompanhado o estudo da tuberculose, desde a demonstração do seu caráter transmissível, até os dias atuais. Os sanatórios, que nortearam o modelo assistencial à tuberculose durante muitos anos, foram substituídos pelos hospitais gerais e pelo atendimento em regime ambulatorial, devido ao surgimento e bons resultados da quimioterapia específica (SEPKOWITZ, 1994 apud RAPPARINI, 2007).

A transmissão hospitalar e o maior risco de infecção tuberculosa e doença ativa no profissional da área de saúde têm sido evidenciados desde o início do século, mas a adoção de programas de avaliação e acompanhamento desses trabalhadores não tem se efetivado, sobretudo nos países de alta prevalência, nos quais o risco comunitário é elevado. No Brasil, o enfoque dado à tuberculose como doença com risco de transmissão hospitalar foi valorizado e abordado de maneira mais objetiva somente nos últimos anos.

O risco de infecção pelo *Mycobacterium tuberculosis* entre profissionais da área de saúde já é há muito conhecido. Este risco relaciona-se à prevalência de

tuberculose na região da instituição, ao perfil dos casos atendidos, à área de trabalho, ao grupo ocupacional, ao tempo de trabalho na área de saúde e às medidas de controle adotadas pela instituição.

No Brasil é elevado o número de casos de tuberculose notificados o que propicia um contato freqüente dos profissionais da área de saúde com a doença. Em diversos estudos nacionais foi evidenciada uma elevada prevalência de infecção tuberculosa entre os profissionais de saúde superior à da população geral. Em avaliações prospectivas evidenciou-se também uma alta taxa de conversão tuberculínica entre profissionais da área de saúde. Em estudo realizado na Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), a conversão tuberculínica anual entre profissionais da área de saúde foi de 8,6%, taxa superior àquela estimada na população geral do Brasil (1%) e de países africanos (2 a 4%) (MUZZY DE SOUZA, 1998 apud RAPPARINI, 2007).

Tem sido demonstrado em alguns estudos nacionais que além do risco de infecção, o risco de adoecimento é superior ao da população geral entre profissionais da área de saúde. Bedrikow et al (1977 apud Rapparini, 2007) encontraram cerca de 4 vezes mais tuberculose doença entre profissionais de hospital universitário terciário.

Nos EUA, após mais de 30 anos de declínio da tuberculose (TB), em meados da década de 80 houve uma reversão. Este ressurgimento da doença, que incluiu diversos surtos intra-hospitalares, direcionou profissionais, administradores para renovados esforços de controle da doença. Estes esforços incluíram um processo de normatização pela *Occupational Safety and Health Administration* (OSHA) com a publicação de regulamentações em 1997 em relação à TB ocupacional.

Em novembro de 1999, o Congresso dos EUA solicitou à "*National Academy of Sciences*" um estudo para examinar o risco de TB em trabalhadores da saúde e os possíveis efeitos das normatizações federais no sentido de proteger os trabalhadores do risco. Entre abril e setembro de 2000, um comitê do Instituto de Medicina (IOM), divisão de políticas de saúde da Academia, investigou três questões:

1. Os profissionais da área de saúde e outras categorias selecionadas de profissionais apresentam um maior risco de infecção, doença ou mortalidade que os outros indivíduos da comunidade em que residem?
2. O que é conhecido sobre a implementação e os efeitos das recomendações do CDC de 1994 para a prevenção da TB em instituições de cuidados à saúde?
3. Quais os prováveis efeitos sobre as taxas de TB infecção, doença e mortalidade de uma padronização da OSHA para proteger os profissionais da exposição ocupacional à TB?

Um problema encontrado pelo Comitê, bem como pelo CDC e pela OSHA, foi a ausência de estudos prospectivos, controlados, documentando a efetividade de medidas de proteção específicas na prevenção da TB no ambiente de trabalho. A maioria dos estudos são retrospectivos ou observacionais, envolvendo organizações que experimentaram surtos e, então, implementaram múltiplas medidas de controle em curto período.

Não existem dados nacionais do risco ocupacional de TB infecção e os dados disponíveis são sujeitos a vários vieses. Os dados são muito escassos em relação a outros locais de trabalho que não hospitais.

2.4.2. Influenza aviária (OPAS, 2006)

2.4.2.1. A doença nas aves

A influenza aviária é uma doença infecciosa de aves causada por cepas tipo A dos vírus influenza. A doença ocorre em todo o mundo. Embora todas as aves sejam suscetíveis à infecção pelos vírus da influenza aviária, muitas espécies de aves selvagens carregam os vírus e não apresentam sintomas da doença.

Outras espécies de aves, como aves de criatório domésticas, desenvolvem a doença quando infectadas pelos vírus da influenza aviária. Nas aves de criatório, os vírus causam duas formas distintas de doença, sendo uma mais comum e branda e outra rara e altamente letal. Na forma branda os sinais da doença podem ser apenas a presença de “penas enrugadas”, redução da produção de ovos ou leves alterações

no sistema respiratório. Os surtos podem ser tão leves que podem passar despercebidos sem um teste para pesquisa do vírus.

Ao contrário da primeira forma, a segunda é muito menos comum e altamente patogênica, passando dificilmente despercebida. Primeiramente identificada na Itália em 1878, a influenza aviária altamente patogênica caracteriza-se por uma doença grave, de início abrupto, rapidamente contagiosa, e com uma taxa de mortalidade de quase 100% em 48 horas. Nessa forma da doença o vírus não afeta somente o sistema respiratório como na forma branda, mas também afeta múltiplos órgãos e tecidos. Como resultado ocorre uma hemorragia interna maciça à qual se deu o nome de “Ebola dos frangos”.

Todos os subtipos dos vírus influenza, definidos pelas 16 hemaglutininas (HA) e 9 neuraminidases (NA), podem sabidamente infectar aves aquáticas selvagens, fazendo com que um extenso reservatório de vírus influenza circule continuamente entre as populações de aves. Em aves selvagens, testes de rotina quase sempre encontraram alguns vírus influenza. A grande maioria desses vírus não causa sintomas.

Até hoje, todos os surtos de influenza aviária altamente patogênica foram causados por vírus dos subtipos H5 e H7. Os vírus altamente patogênicos possuem uma “marca registrada” ou assinatura genética, isto é, um grupo distinto de aminoácidos básicos na área de clivagem da HA, que os distingue de todos os outros vírus da influenza aviária e confere a eles uma virulência excepcional.

Nem todas as cepas dos subtipos H5 e H7 são altamente patogênicas, mas a maioria pode vir a ser. Pesquisas recentes demonstraram que vírus H5 e H7 de baixa patogenicidade podem, após circularem por períodos curtos entre a população de aves de criatório, mutar para a forma do vírus altamente patogênica.

Evidências circunstanciais consideráveis sugerem que as aves aquáticas selvagens introduzem a forma de baixa patogenicidade dos vírus da influenza aviária em bandos de aves de criatório, mas não são portadoras ou disseminam diretamente os vírus altamente patogênicos. Este papel, entretanto, parece ter mudado recentemente, e agora se acredita que algumas espécies de aves aquáticas migratórias sejam portadoras dos vírus H5N1 altamente patogênicos e o introduzam em novas áreas geográficas localizadas ao longo de suas rotas de migração.

Além de serem altamente contagiosos entre aves de criatório, os vírus da influenza aviária são rapidamente transmitidos de fazenda em fazenda pelo movimento de aves vivas, pessoas (especialmente quando sapatos e outras roupas estão contaminados), veículos contaminados, equipamentos, rações e gaiolas. Os vírus altamente patogênicos podem sobreviver por longos períodos no meio ambiente, principalmente quando a temperatura está baixa. Um vírus H5N1 altamente patogênico, por exemplo, pode sobreviver nas fezes de aves por até 35 dias em uma temperatura baixa (4 °C). Em altas temperaturas (37 °C), demonstrou-se que os vírus H5N1 sobrevivem por 6 dias em amostras de fezes.

O vírus é sensível ao calor (56 °C por 3 horas ou 60 °C por 30 minutos) e desinfetantes comuns, como formalina e compostos iodados. Também pode sobreviver em temperaturas baixas, em esterco contaminado por pelo menos três meses. Na água, o vírus pode sobreviver por até 4 dias à temperatura de 22 °C e mais de 30 dias a 0 °C. Para as formas de alta patogenicidade (H5 e H7), estudos demonstraram que um único grama de esterco contaminado pode conter vírus suficiente para infectar milhões de aves. Uma vez introduzido o vírus, sua disseminação ocorre rapidamente, de ave para ave. Também contribuem para essa disseminação as fezes das aves, cama dos aviários, equipamentos, bandejas de ovos, engradados de frangos e, sobretudo, pessoas cujas roupas ou calçados tiveram algum contato com o vírus.

Para a doença altamente patogênica as medidas de controle mais importantes são o sacrifício rápido de todas as aves infectadas ou expostas, a eliminação apropriada das carcaças, a quarentena e a rigorosa desinfecção das fazendas, e a implementação de medidas sanitárias ou de biossegurança estritas. Restrição à circulação de aves de criatório vivas, internamente ou entre países, é outra medida de controle importante. A logística das medidas de controle recomendadas é mais facilmente aplicada em grandes fazendas comerciais, onde as aves vivem confinadas e freqüentemente sob condições sanitárias estritamente controladas e em grande número. O controle é bem mais complicado nos sistemas de produção das aves de criatório em que a maioria das aves vive em pequenos bandos de fundo de quintal e transitam entre áreas rurais e peri-urbanas.

Além de ser de difícil controle, os surtos nos bandos de aves de fundo de quintal estão associados ao aumento do risco de exposição humana e de infecção. Essas aves geralmente vivem soltas, procurando comida e muitas vezes se misturando com aves selvagens ou compartilhando com elas a mesma fonte de água.

Algumas situações criam diversas oportunidades de exposição humana aos vírus, especialmente quando as aves entram nas casas ou são levadas para dentro durante o mau tempo, ou quando elas dividem áreas onde crianças brincam ou dormem. A pobreza exacerba o problema: como nos casos em que a primeira fonte de comida ou de renda não é suprida, os moradores geralmente consomem as aves de criatório, quando mortes ou sinais de doença aparecem no bando.

Essa prática oferece um alto risco de exposição durante o abate, a depena e a preparação da ave para o consumo, mas se mostra difícil de ser mudada. Além disso, as mortes das aves nos bandos de fundo de quintal são comuns, especialmente em condições climáticas adversas quando os donos podem não interpretar as mortes ou sinais de doença no bando como influenza aviária, não vendo, portanto, motivo para alertar as autoridades. Esta tendência talvez ajude a explicar porque os surtos em áreas rurais tenham se mantido indetectados por meses. A freqüente falta de compensação aos fazendeiros para eliminação das aves vai contra a notificação espontânea dos surtos e pode encorajar os donos a esconder suas aves durante as operações de sacrifício.

No Brasil, a Influenza Aviária Altamente Patogênica (IAAP) desencadeada pelo vírus Influenza A/H5N1 ainda é exótica, não tendo sido diagnosticada em aves ou humanos em território nacional até o presente momento.

O Brasil, no entanto, é visitado periodicamente por milhões de aves migratórias que se deslocam, com a proximidade do inverno boreal, do Ártico para a América do Sul. As espécies que migram ocupam áreas úmidas naturais do litoral, como praias, estuários, manguezais, alagados costeiros e salgados, além de áreas com intensa quantidade de alimento como, por exemplo, o Pantanal. Os principais pontos de invernada dessas aves são a Ilha de Bailique no Amapá; Salinas no Pará; Refinaria de Petróleo em Manaus; Reentrâncias Maranhenses na Ilha de Iguará, município de Ururucu, no Maranhão; Galinhos no Rio Grande do Norte; Ilha de

Itamaracá em Pernambuco; Mangue Seco na Bahia; Corumbá no Mato Grosso do Sul; Parque Nacional do Iguaçu no Paraná e a Lagoa do Peixe e Lagoa dos Patos, no Rio Grande do Sul. Os pontos de invernada das aves migratórias servem de local de encontro entre a população de aves migrantes e a população de aves residentes o que pode servir para disseminar o vírus da influenza aviária para o plantel avícola nacional.

2.4.2.2. A doença em humanos

Os vírus influenza são normalmente altamente espécie-específicos, o que significa que os vírus que infectam uma espécie individual (humanos, certas espécies de aves, porcos, cavalos e focas) permanecem fiéis a essas espécies, e apenas raramente causam infecção em outras espécies. Desde 1959, casos de infecção humana pelo vírus da influenza aviária ocorreram em apenas 10 ocasiões. Das centenas de cepas dos vírus influenza A, apenas quatro são sabidamente causadoras de infecção humana: H5N1, H7N3, H7N7 e H9N2. Em geral, a infecção humana por esses vírus resulta em sintomas brandos e em poucos casos de doença grave, com uma notável exceção: o vírus altamente patogênico H5N1.

De todos os vírus influenza que circulam em aves, o vírus H5N1 é a grande preocupação atual para a saúde humana por duas razões principais. Em primeiro lugar, porque o vírus H5N1 causou o maior número de casos humanos de doença grave e o maior número de mortes. Ele cruzou a barreira inter-espécies para infectar humanos em até 3 ocasiões nos últimos anos: em Hong Kong em 1997 (18 casos com 6 mortes), em Hong Kong em 2003 (2 casos e 1 morte) e nos surtos atuais que se iniciaram em dezembro de 2003 e foram inicialmente reconhecidos em janeiro de 2004.

A segunda implicação para a saúde humana, ainda mais preocupante, é o risco de o vírus H5N1 – se tiver oportunidades suficientes – de desenvolver as características necessárias para começar uma outra pandemia de influenza. O vírus já encontrou quase todos os pré-requisitos necessários para dar início a uma pandemia, exceto um: a habilidade de se disseminar eficientemente e sustentavelmente entre humanos. Embora o vírus H5N1 seja atualmente a maior

preocupação, a possibilidade de que um outro vírus da influenza aviária possa infectar humanos, causando a pandemia, não pode ser descartada.

Durante o primeiro surto documentado de infecção humana pelo vírus H5N1, que ocorreu em Hong Kong em 1997, os 18 casos humanos coincidiram com um surto de influenza aviária altamente patogênica, causado por um vírus quase idêntico, entre aves de criatório, fazendas e mercados/feiras. Longos estudos desses casos humanos determinaram que o contato direto com aves de criatório doentes foi a fonte de infecção. Estudos com os membros das famílias e contatos sociais dos pacientes, profissionais da saúde engajados no cuidado e os abatedores de aves de criatório, encontraram pouca ou nenhuma evidência de disseminação do vírus pessoa a pessoa. Infecções humanas foram seguidas de rápida destruição – em 3 dias – de toda população de aves de criatório de Hong Kong, estimada em cerca de 1,5 milhões de aves. Alguns especialistas acreditam que esta medida drástica possa ter evitado a pandemia.

Todas as evidências até hoje indicam que o contato próximo com aves mortas ou doentes é a principal fonte de infecção humana para o vírus H5N1. Os comportamentos de maior risco incluem o abate, a depena e a preparação para o consumo das aves infectadas. Em poucos casos, a exposição às fezes de frangos quando crianças brincam em áreas de livre acesso para as aves de criatório também é considerada uma fonte de infecção. Nadar em coleções de água, onde as carcaças das aves infectadas foram descartadas ou que podem estar contaminadas por fezes de patos infectados ou outras aves, pode ser uma outra fonte de infecção. Em alguns casos, as investigações foram insuficientes para identificar a fonte de exposição, sugerindo que ainda há fatores ambientais desconhecidos que podem envolver a contaminação pelo vírus em um pequeno número de casos. Algumas proposições adicionais incluem o comportamento das aves peri-domésticas, como pombos, ou o uso de fezes de aves não tratadas como fertilizante.

Hoje, o vírus da influenza aviária H5N1 permanece sendo uma doença de aves. A barreira entre as espécies é significativa, pois o vírus não transita facilmente entre aves e humanos. Apesar da infecção de 10 milhões de aves de criatório em grandes áreas geográficas por mais de 2 anos, menos de 300 casos humanos foram confirmados por laboratório. Por razões desconhecidas, a maior parte desses casos

ocorreu em domicílios rurais e peri-urbanos onde pequenos bandos de aves de criatório são mantidos. Novamente por razões desconhecidas, poucos casos foram detectados em grupos considerados de alto risco, como avicultores, vendedores de aves, abatedores, veterinários e a equipe de profissionais da saúde que cuida dos pacientes sem o equipamento de proteção adequado.

Também inexistente é a explicação para que a maior concentração de casos ocorra em crianças e adultos jovens previamente saudáveis. São urgentemente necessárias pesquisas para se determinar as circunstâncias da exposição, comportamentos e possíveis fatores genéticos ou imunológicos que favoreçam a infecção humana.

2.5. Equipamentos de proteção respiratória (TORLONI; VIEIRA, 2003)

Os equipamentos de proteção respiratória (EPR), também denominados respiradores ou máscaras, variam quanto ao modo de operação, aplicações e nível de proteção que podem proporcionar ao usuário. De acordo com a norma brasileira NBR 12543:1999 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), tais equipamentos podem ser divididos em dois grandes grupos: os respiradores purificadores de ar e os de adução de ar. Os purificadores de ar são dependentes da atmosfera ambiente, enquanto os de adução de ar são independentes da atmosfera ambiente (ABNT, 1999).

Conforme o Anexo I (Parte D) da NR-6, os equipamentos de proteção respiratória se subdividem nas seguintes classes (BRASIL, 2002):

D.1 – Respirador purificador de ar

- a) Respirador purificador de ar para proteção das vias respiratórias contra poeiras e névoas;
- b) respirador purificador de ar para proteção das vias respiratórias contra poeiras, névoas e fumos;
- c) respirador purificador de ar para proteção das vias respiratórias contra poeiras, névoas, fumos e radionuclídeos;

- d) respirador purificador de ar para proteção das vias respiratórias contra vapores orgânicos ou gases ácidos em ambientes com concentração inferior a 50 ppm (parte por milhão);
- e) respirador purificador de ar para proteção das vias respiratórias contra gases emanados de produtos químicos;
- f) respirador purificador de ar para proteção das vias respiratórias contra partículas e gases emanados de produtos químicos;
- g) respirador purificador de ar motorizado para proteção das vias respiratórias contra poeiras, névoas, fumos e radionuclídeos.

D.2 – Respirador de adução de ar

- a) respirador de adução de ar tipo linha de ar comprimido para proteção das vias respiratórias em atmosferas com concentração Imediatamente Perigosa à Vida e à Saúde (IPVS) e em ambientes confinados;
- b) máscara autônoma de circuito aberto ou fechado para proteção das vias respiratórias em atmosferas com concentração Imediatamente Perigosa à Vida e à Saúde (IPVS) e em ambientes confinados;

D.3 – Respirador de fuga

- a) Respirador de fuga para proteção das vias respiratórias contra agentes químicos em condições de escape de atmosferas Imediatamente Perigosa à Vida e à Saúde (IPVS) ou com concentração de oxigênio menor que 18 % em volume.

Os respiradores purificadores de ar, também denominados dependentes da atmosfera ambiente, somente podem ser utilizados em locais onde o teor de oxigênio seja suficiente para não provocar sintomas nos usuários (concentração de O₂ acima de 19,5% em volume, ao nível do mar). Neles, o ar ambiente, antes de ser inspirado, passa através de um ou mais filtros com o objetivo de remover os contaminantes presentes.

Características como peso reduzido, custo de aquisição relativamente baixo, bem como o fato de dispensarem higienização ou manutenção, colocam os respiradores purificadores de ar do tipo peça semifacial filtrante (PFF), conhecidos popularmente como máscaras descartáveis, dentre os equipamentos de proteção respiratória mais frequentemente utilizados para redução da exposição ocupacional a agentes químicos ou biológicos dispersos no ar sob a forma de aerossóis,

especialmente por profissionais da saúde. Mais especificamente, são recomendadas para o controle da exposição aos bioaerossóis as peças semifaciais filtrantes da classe PFF-2, cujo desempenho em termos de eficiência de filtração é equivalente aos do tipo N95 aprovados nos EUA pelo NIOSH (TORLONI; VIEIRA, 2003).

As PFF podem ter formato tipo concha ou dobrável, e estar disponíveis em tamanhos diferenciados, podendo ou não possuir válvulas de exalação.



Fig. 1. Peça semifacial filtrante PFF-2 em formato concha, sem válvula de exalação.
(Cortesia: 3M)



Fig. 2. Peça semifacial filtrante N95 em formato concha, sem válvula de exalação.
(Cortesia: 3M)



Fig. 3. Peça semifacial filtrante PFF-2 no formato dobrável, sem válvula de exalação.
(Cortesia: 3M)



Fig. 4. Peça semifacial filtrante PFF-2 nos tamanhos pequeno e regular, sem válvula de exalação. (Cortesia: 3M)



Fig. 5. Peça semifacial filtrante PFF-2 com válvula de exalação. (Cortesia: 3M)

Nos respiradores purificadores de ar não motorizados, o ar atravessa o filtro durante a inspiração pela ação pulmonar do usuário. Nos motorizados, o ar atravessa o filtro devido à ação de uma ventoinha, que é acionada por um motor elétrico movido por uma bateria, transportados junto ao corpo do usuário. Para proteção contra bioaerossóis, devem ser utilizados com filtros mecânicos P3 de alta eficiência de filtração para particulados.



Fig. 6. Respirador purificador de ar motorizado com cobertura facial do tipo touca. (Cortesia: 3M)



Fig. 7. Respirador purificador de ar motorizado com cobertura facial do tipo capuz. (Cortesia: 3M)

Os respiradores de adução de ar por sua vez fornecem ao usuário ar respirável proveniente de uma atmosfera independente do ambiente. Nos respiradores de linha de ar comprimido, o ar pode provir de compressor ou bateria de cilindros. Se chegar continuamente à cobertura das vias respiratórias, isto é, durante a inspiração e expiração, é denominado fluxo contínuo. Se chegar somente durante a inalação, é chamado de demanda. Durante a inspiração, quando a pressão no interior da peça facial permanece abaixo da pressão ambiente, os respiradores são chamados sem pressão positiva. Nos casos em que durante a inalação – mediante o emprego de dispositivos projetados com essa finalidade – a pressão no interior da peça facial for superior à pressão atmosférica, o respirador é então denominado com pressão positiva.

Nas máscaras autônomas, o suprimento de ar é transportado pelo usuário junto ao corpo, armazenado em cilindro de autonomia variável.

Uma descrição mais detalhada de cada tipo de equipamento de proteção respiratória pode ser encontrada no Anexo B deste trabalho.

2.6. Fatores de proteção atribuídos aos equipamentos de proteção respiratória (TORLONI; VIEIRA, 2003)

O uso do Fator de Proteção Atribuído (FPA) foi introduzido no Brasil pela IN nº 01, de 11 de abril de 1994 (Quadro I), reproduzida no Anexo A do presente trabalho.

A tabela de fatores de proteção atribuídos a respiradores foi originalmente preparada a partir de informações de Fator de Vedação disponíveis em várias agências de governo e laboratórios nos Estados Unidos e em outros países. Os valores de Fator de Vedação foram divididos por 10 e considerados como FPA. Estudos de Fator de Vedação foram conduzidos pelo *National Institute for Occupational Safety and Health* (NIOSH) com produtos aprovados por este instituto.

Após ter sido publicada, alguns laboratórios independentes, o próprio NIOSH, a OSHA e alguns fabricantes conduziram estudos de Fator de Proteção em Ambientes de Trabalho. Os resultados obtidos nestes estudos deram significativo embasamento para o uso desta tabela. Os estudos demonstraram que os valores expressos nesta tabela publicada pela *American National Standards Institute* (ANSI) e OSHA nos EUA, e no Brasil pela FUNDACENTRO e Ministério do Trabalho, podem ser utilizados com um grande grau de confiabilidade.

O conceito do FPA pode ser mais facilmente compreendido através de uma analogia com o conceito do Fator de Proteção Solar (FPS), um número atribuído aos protetores solares que indica sua capacidade de inibir o efeito dos raios solares ultra-violeta nocivos à saúde humana. Em última análise, o FPS constitui um indicativo de quanto tempo a mais uma pessoa pode ficar exposta ao sol, sem sofrer danos à saúde, do que se não estivesse utilizando o protetor solar. Por exemplo, ao utilizar um protetor com FPS 25, uma pessoa pode se expor ao sol até 25 vezes mais tempo sem sofrer danos do que ela poderia caso não estivesse utilizando protetor solar. Analogamente, o FPA de um respirador indica quantas vezes acima do limite de exposição de um agente químico um trabalhador poderia ficar exposto se utilizar o respirador, sem sofrer danos a sua saúde. Expresso de outra forma, cada tipo de

cobertura das vias respiratórias apresenta uma máxima concentração de uso (MCU) que equivale ao Limite de Exposição Ocupacional (LEO) do agente químico x FPA da respectiva cobertura facial. Este fator restringe, portanto, o uso de cada tipo de cobertura, constituindo-se em um parâmetro de fundamental importância na decisão lógica para seleção de respiradores.

A lógica, se assim podemos dizer, na qual se baseia esta tabela é que o Fator de Proteção Atribuído a um equipamento de proteção respiratória depende essencialmente do tipo de cobertura facial utilizado (semifacial, facial inteira, capuz, capacete, touca) e da forma como o ar chega ao interior desta cobertura (pressão negativa ou positiva). No caso de respiradores purificadores de ar, não há a influência do tipo ou do nível de eficiência do filtro na definição do Fator de Proteção Atribuído, exceto para os respiradores motorizados cujo filtro deve ser no mínimo P3 para que seu FPA seja considerado 1000. Nos demais casos, presume-se que o filtro tenha sido selecionado de acordo com a natureza, composição e forma do agente químico presente no ambiente, ou seja, selecionado em conformidade com as recomendações do PPR da FUNDACENTRO, de modo que seja o mais adequado para aquela situação.

Vale enfatizar que um EPR somente proporcionará ao seu usuário o nível de proteção respiratória previsto pelo FPA se forem obedecidos todos os requisitos de um Programa de Proteção Respiratória (PPR), a saber:

- a) se o EPR for aprovado para a finalidade de uso pretendido;
- b) se o EPR for adequado ao risco, isto é, selecionado de acordo com os critérios definidos no PPR-FUNDACENTRO;
- c) se o EPR tiver tamanho e formato adequado ao rosto de cada usuário, o que deve ser verificado através de um ensaio de vedação facial realizado conforme descrito no PPR-FUNDACENTRO;
- d) se o EPR estiver bem ajustado no rosto, o que deve ser confirmado pela verificação de vedação;
- e) se o EPR for utilizado corretamente;
- f) se o usuário não omitir o uso enquanto permanecer na área contaminada;
- g) se o usuário estiver bem treinado;
- h) se o EPR estiver em perfeitas condições de uso;

- i) se o usuário tiver condições de saúde adequadas;
- j) se o uso for monitorado continuamente;
- k) se existir um PPR eficiente implantado.

2.7. Eficácia no uso de equipamentos de proteção respiratória (TORLONI; VIEIRA, 2003)

Para que um EPR seja, de fato, eficaz na proteção de cada trabalhador exposto a riscos respiratórios, é necessário que, pelo menos, os seguintes requisitos sejam satisfeitos simultaneamente:

- 1) O EPR (cobertura facial e filtros) selecionado deve ser tecnicamente adequado ao(s) risco(s), conforme critérios e recomendações do PPR da FUNDACENTRO.
- 2) Deve ser realizado o ensaio de vedação facial ("*Fit Test*") para cada usuário a fim de comprovar que o tamanho e formato do EPR proporcionam vedação adequada no rosto de cada trabalhador individualmente. Um respirador bem selado no rosto força o ar contaminado a passar pelos filtros antes de chegar à zona respiratória. Por outro lado, uma falha na selagem cria um caminho muito mais fácil para que o ar contaminado acesse as vias respiratórias do usuário. Uma boa vedação somente pode ser obtida se o rosto está bem barbeado na área onde o respirador sela contra a face. Barba, cavanhaques, bigodes longos e outras formas de pêlo facial podem interferir na perfeita selagem e causar vazamentos para dentro da cobertura.
- 3) O usuário deve estar devidamente treinado no uso correto do EPR, incluindo aspectos como colocação, ajuste (verificação da vedação), inspeção, guarda, troca e manutenção, quando for o caso. O uso correto do EPR pelo usuário também deve ser permanentemente monitorado pelo administrador do PPR ou seus designados.
- 4) O uso do EPR não deve ser omitido em nenhum momento da jornada de trabalho enquanto o usuário estiver em áreas contaminadas, sob pena de ter seu nível de proteção efetivo drasticamente reduzido.

Outros fatores relevantes para a eficácia no uso de respiradores são:

- 5) O EPR deve estar em boas condições de uso (íntegro, funcional e em condições higiênicas adequadas).

6) O usuário deve apresentar condições de saúde compatíveis com o uso ocupacional de um EPR, tendo sido considerado apto ao uso deste tipo de equipamento na avaliação médica específica para candidatos ao uso de respiradores, conforme previsto no PPR da FUNDACENTRO.

Em resumo: garantir o uso eficaz de equipamentos de proteção respiratória implica na existência de um PPR eficientemente implantado e administrado, elaborado de acordo com todas as recomendações e exigências contidas no documento publicado pela FUNDACENTRO.

2.7.1. Impacto da omissão do uso sobre a eficácia de equipamentos de proteção respiratória

Este parâmetro busca estimar o efeito do tempo durante o qual o usuário do respirador omite o uso do equipamento enquanto permanece na área de risco. Estas omissões de uso, por menores que sejam, podem comprometer significativamente o nível de proteção efetivo proporcionado por um equipamento de proteção respiratória e, conseqüentemente, sua eficácia.

É possível fazer uma espécie de correção no valor do Fator de Proteção Atribuído (FPA) ao EPR de modo a refletir esta situação indesejável através do cálculo do Fator de Proteção Efetivo (FPE) (TORLONI; VIEIRA, 2003):

$$FPE = T / [(Tu/FPA) + To],$$

onde:

T = tempo total de exposição

Tu = tempo real de uso do EPR

To = tempo de omissão de uso do EPR

FPA = fator de proteção atribuído ao EPR utilizado

Entretanto, o objetivo permanente do SESMT e da empresa deve ser o de investir no treinamento, conscientização e educação continuada dos usuários para que a omissão do uso do EPR não ocorra em momento algum da jornada de trabalho.

2.7.2. Impacto da qualidade da vedação facial sobre a eficácia de equipamentos de proteção respiratória

A publicação da FUNDACENTRO intitulada “Programa de Proteção Respiratória – Recomendações, Seleção e Uso de Respiradores”, regulamentada pela IN nº 01 do Ministério do Trabalho e Emprego (MTE), introduziu, entre outras grandes novidades, a obrigatoriedade por parte do empregador de verificar se há adaptação aceitável do equipamento de proteção respiratória ao rosto do usuário. O documento estabelece que todo usuário de respirador com vedação facial (isto é, respiradores nos quais os ajustes são realizados por meio de tirantes elásticos) deve ser submetido a um ensaio de vedação qualitativo, ou quantitativo, para determinar se o respirador selecionado se ajusta bem ao rosto. Esclarece ainda que o resultado do ensaio de vedação (conhecido também por sua denominação em inglês “*Fit Test*”) deve ser usado, entre outros parâmetros, na seleção de tipo, modelo e tamanho do respirador para cada usuário. O ensaio de vedação deve ser realizado para cada usuário de respirador com cobertura das vias respiratórias com vedação facial, no mínimo, uma vez a cada 12 meses, devendo ser repetido a qualquer tempo sempre que o usuário apresente uma alteração de condição que possa interferir na vedação facial, tais como alteração de 10% ou mais no peso corporal, aparecimento de cicatriz na área de vedação, alteração na arcada dentária (perda de dente, próteses, entre outras), ou cirurgia reconstrutiva da face.

Não deve ser permitido o uso de respirador com vedação facial por pessoa que apresente cicatriz, ossos da face excessivamente protuberantes, fronte côncava, rugas profundas na face, ausência de dentes ou de dentadura, ou configuração facial que prejudique a vedação. Coberturas das vias respiratórias como capuzes, toucas e capacetes de proteção respiratória, que não exigem vedação facial, não necessitam ser submetidos a esses procedimentos.

O realização do ensaio de vedação é necessária pois, apesar do cuidado dos fabricantes ao desenvolver uma peça facial que proporcione um perfil anatômico, é altamente improvável que um só tamanho e modelo de respirador se adapte bem a todos os tipos e tamanhos de face de um grupo de pessoas, de tal forma que a

eficácia do equipamento durante o uso ficará comprometida se no processo de seleção não for escolhido o modelo que se adapte ao rosto de cada usuário ou se o mesmo não for colocado e ajustado de modo correto na face. O Certificado de Aprovação (CA) do equipamento de proteção respiratória obtido junto ao MTE, por si, não oferece garantias de que o respirador de fato irá vedar eficientemente no rosto de toda a população de usuários.

Se um respirador não sela adequadamente na face, contaminantes dispersos na forma de aerossóis podem penetrar através das falhas na zona de selagem da peça facial, especialmente durante a inspiração, e atingir a zona respiratória do usuário. Este é o principal motivo pelo qual as máscaras médicas (cirúrgicas ou de procedimento) não são aprovadas como respiradores, isto é, por não selarem firmemente à face permitindo a entrada de aerossóis para a zona respiratória. Mesmo aquelas máscaras médicas que aparentam vedar firmemente ao rosto não foram desenhadas para proteger o usuário de riscos na forma de aerossóis. Deste modo, não devem ser consideradas um substituto equivalente de respiradores aprovados.

Uma boa vedação somente pode ser obtida se o rosto está bem barbeado na área onde o respirador sela contra a face. O uso de barba, bigodes longos ou outras formas de pêlo facial possam interferir com uma boa selagem e causar vazamentos para dentro do respirador, assim como o uso de óculos com hastes que interfiram na posição dos tirantes, protetores faciais, gorros, capacetes e outros EPI, são condições que impedem uma boa selagem e podem influir na seleção do tipo de cobertura das vias respiratórias. Em alguns casos, a solução pode ser optar pela utilização de respirador do tipo sem vedação facial (capuz, touca ou capacete). O empregador deve estabelecer uma política clara sobre o uso de barba: somente podem utilizar respiradores com vedação facial os indivíduos barbeados. Um teste simples adotado para verificar se o comprimento da barba é aceitável ou não consiste em esfregar uma mecha de algodão seco no sentido contrário à posição de crescimento dos pêlos faciais: se deixar fiapos de algodão presos na barba, será um indicativo de que está crescida demais. Para os usuários de peças faciais inteiras que necessitem de lentes corretivas, os fabricantes fornecem adaptadores que podem ser montados no interior das peças faciais para evitar a passagem das hastes pela zona

de vedação. Para aqueles que necessitam usar outros EPI juntamente com o respirador, o ensaio de vedação deve ser conduzido com o usuário devidamente equipado.

O ensaio de vedação é usado para determinar qual modelo e tamanho de respirador se ajustam adequadamente a cada usuário, bem como para assegurar que o usuário sabe ajustar corretamente o respirador à face de modo a obter uma selagem apropriada. Se um trabalhador utilizar um respirador sem prévia verificação de vedação ou o ensaio de vedação facial, a entrada de contaminantes devido aos vazamentos pode ser considerável, fazendo com que o Fator de Proteção Efetivo (FPE) seja bem menor que o Fator de Proteção Atribuído (FPA) ao respirador utilizado. Por isso, é muito importante seguir sempre as instruções de colocação e ajuste fornecidas pelo fabricante, e fazer também uma verificação da vedação ou checagem de ajuste (*"fit check"*) antes de entrar no ambiente contaminado e sempre que (re)ajustar o respirador na face.

De acordo com o CDC americano, a verificação e o ensaio de vedação facial também devem ser realizados pelos profissionais da saúde que utilizarem respiradores com vedação facial para redução da exposição ocupacional ao bacilo da tuberculose ou outro risco biológico. Segundo o CDC, a realização periódica do ensaio de vedação para respiradores utilizados em ambientes contendo bacilos da tuberculose, ou outros agentes biológicos ou químicos, pode servir como uma efetiva ferramenta de treinamento, propiciando uma excelente oportunidade de reforçar o treinamento prévio e as reciclagens de que o empregado já participou.

O conforto do usuário é um fator importante na aceitação de um respirador. A aceitação de um dado modelo de respirador pelo usuário deve ser levada em consideração durante o processo de seleção de um respirador, uma vez que isso pode influir no uso correto, e diminuir o tempo de omissão de uso, favorecendo a eficácia global do equipamento. O modelo de respirador que apresentar selagem satisfatória deve ser escolhido e, se for aprovado mais de um, cabe ao usuário a escolha do mais confortável, ou o de sua preferência.

Os ensaios de vedação recomendados podem ser qualitativos (névoas de sacarina, névoas de bitrex – benzoato de denatônio –, vapores de acetato de isoamila – óleo de banana –, ou fumos irritantes) ou quantitativos (equipamentos

contadores de aerossóis de ensaio ou de núcleos de condensação de aerossóis do próprio ambiente, ou equipamentos de controle da pressão negativa dentro da peça facial), e os procedimentos para realização deste ensaio através do método escolhido estão detalhados no Anexo 5 da publicação da FUNDACENTRO. O tempo gasto para realização de um ensaio de vedação, qualitativo ou quantitativo, pode variar de 15 a 30 minutos.



Fig. 8. Exemplo de equipamento para ensaio de vedação quantitativo PORTACOUNT®. (Cortesia: TSI)



Fig. 9. Kit para ensaio de vedação qualitativo com sacarina ou bitrex. (Cortesia: 3M)



Fig. 10. Ensaio de vedação qualitativo com uma PFF. (Cortesia: 3M)

2.8. Filtros para particulados em respiradores purificadores de ar

Filtros para particulados são os componentes de um respirador purificador destinados a reter as partículas, de origem biológica ou não, em suspensão no ar. São formados por camadas de fibras sintéticas ou minerais aleatoriamente distribuídas, em quantidade suficiente para atingir a espessura e a gramatura desejadas.

Este material filtrante pode estar incorporado a um respirador do tipo peça semifacial filtrante (PFF) ou ser uma parte removível de um respirador com manutenção (tipo peça semifacial, facial inteira, ou motorizado).

Existem algumas idéias equivocadas sobre o funcionamento dos filtros para particulados. Uma delas seria considerá-lo uma peneira, visto que a distância entre as fibras é grande se comparada com o diâmetro das partículas que conseguem capturar. Esta alta porosidade da camada filtrante é necessária para a obtenção de baixa resistência à passagem do ar.

De fato, uma partícula não fica presa no meio filtrante porque tenta passar por um vão que é pequeno demais, mas sim porque é capturada graças a uma variedade de mecanismos diferentes, que envolvem colisão e posterior adesão das partículas à superfície das fibras.

Ao chegarem à camada filtrante transportadas pelo ar, as partículas somente serão retidas se tocarem a superfície de uma das fibras que a constituem. A probabilidade disso ocorrer depende principalmente do diâmetro, da composição e da forma da partícula e da fibra, além da velocidade do ar.

O tamanho relativo das partículas capturadas pelo meio filtrante é diversas vezes menor do que a abertura dos vãos existentes entre as fibras, invalidando definitivamente a hipótese de filtração por peneiração.

Quando passam pelos vãos da camada fibrosa, as partículas que constituem o aerossol são capturadas graças à ação de quase uma dezena de mecanismos que atuam simultaneamente. Os principais são a interceptação direta, inércia, difusão e atração eletrostática.

O resultado final da ação simultânea de todos os mecanismos é expresso como a “eficiência” do filtro.

Um filtro pode ser considerado como uma sucessão de várias camadas de filtros sobrepostos com eficiência individual relativamente baixa. Ao se sobrepor muitas camadas, é possível construir um filtro com alta eficiência.

Não existe filtro capaz de reter todas as partículas, ou seja, o conceito de filtro absoluto não se aplica aos meios filtrantes utilizados em equipamentos de proteção respiratória. Para que isso fosse possível, seria necessário que a dimensão dos poros da camada filtrante fosse menor que o diâmetro da partícula, ou seja, que houvesse uma peneiração. Em processos industriais, a retenção por peneiração poderia ser obtida, mas a custo de elevada resistência à passagem do ar, o que, entretanto, é incompatível com as exigências dos respiradores.

Em face da elevada porosidade que apresentam, os filtros para aerodispersóides impedem que as partículas se depositem somente sobre as primeiras camadas do filtro, de modo que os poros se fechem rapidamente e a penetração diminua, mas com o aumento da resistência à respiração.

2.8.1. Mecanismos de captura de partículas em filtros mecânicos e eletrostáticos

Alguns dos principais mecanismos naturais de captura de partículas que atuam nos filtros para particulados são:

Impactação: quando uma partícula não segue a linha de fluxo em torno de uma fibra e, ao invés disso, por inércia acaba impactando na fibra.

Interceptação: a partícula segue a linha de fluxo de ar, mas esta naturalmente fará com que a partícula fique próxima o suficiente para entrar em contato com a fibra.

Difusão: movimentos randômicos das moléculas de ar fazem com que as partículas muito pequenas migrem através das linhas de fluxo devido ao movimento browniano, até que entrem em contato com a superfície da fibra.

Além dos mecanismos tradicionais de captura de partículas, naturalmente atuantes nos filtros mecânicos, os chamados “filtros eletrostáticos” têm o benefício adicional das fibras carregadas eletrostaticamente. A adição de cargas eletrostáticas

potencializa a captura de partículas de duas maneiras. O primeiro mecanismo denomina-se atração coulombiana. Suponhamos que uma fibra esteja carregada positivamente. Partículas com carga oposta são retiradas das linhas de fluxo de ar e atraídas em direção à fibra pela ação da atração eletrostática da fibra carregada. Uma atração mais fraca, porém ainda importante, entre a fibra carregada e partículas sem carga eletrostática é o efeito “dipolo induzido”. Quando uma partícula não carregada passa próxima de uma fibra com uma determinada carga eletrostática, ocorre um rearranjo natural de cargas dentro da partícula. Os elétrons são atraídos pela carga positiva sobre a fibra, de modo que a partícula é finalmente atraída em direção à fibra.

A ação eletrostática atua de maneira praticamente independente do tamanho das partículas, mas é especialmente importante para uma retenção mais eficiente de partículas na faixa considerada mais penetrante. Na medida em que se avança na tecnologia de tratamento eletrostático, é possível obter-se filtros cada vez mais eficientes, empregando-se uma quantidade cada vez menor de camadas filtrantes e, conseqüentemente, com uma resistência à respiração cada vez mais baixa.

Quanto menor for a resistência à passagem do ar imposta pelo meio filtrante, maior será a sensação de conforto respiratório por parte do usuário, o que facilitará sua aceitação em relação ao respirador, reduzindo, assim, o tempo de omissão de uso do equipamento durante o período de exposição, e contribuindo para que o fator de proteção efetivamente alcançado pelo usuário durante o uso seja equivalente ao fator de proteção atribuído ao respirador.

Deste modo, conclui-se que o nível de conforto respiratório proporcionado pelo equipamento pode estar diretamente relacionado ao grau de proteção obtido pelo usuário.

A exposição a aerossóis à base de óleo, a radiações ionizantes e ao calor pode provocar perda da eficiência do filtro, em decorrência da ação prejudicial destes agentes sobre o tratamento eletrostático das fibras. São exemplos de aerossóis oleosos: óleo mineral, óleo vegetal, glicerina, di-sec-octil-ftalato, fluidos de corte em geral, entre outros.

Uma outra idéia errada sobre o funcionamento dos filtros para particulados é considerar que as partículas muito pequenas são as mais difíceis de serem capturadas pelas fibras.

O efeito total dos vários mecanismos de captura depende de uma série de fatores, incluindo o tamanho (diâmetro) da partícula, a velocidade do ar, o diâmetro das fibras, entre outros. Partículas muito pequenas são fortemente afetadas pelo mecanismo de difusão e são coletadas com alta eficiência. Partículas muito grandes são eficientemente capturadas por impactação e sedimentação. Há, porém, uma faixa intermediária de tamanho na qual as partículas são pequenas demais para serem consideravelmente afetadas pelo mecanismo de impactação, e ao mesmo tempo grandes demais para serem significativamente influenciadas pelo mecanismo de difusão.

Existe, portanto, uma faixa de tamanho de partícula cuja penetração no filtro é maior. Nesta faixa, o mecanismo de captura predominante é a interceptação. Como consequência, a curva de eficiência de filtração apresenta um mínimo que ocorre tipicamente em torno de 0,3 micrão (μm), considerada a faixa de tamanho de partícula mais penetrante para qualquer filtro utilizado em equipamentos de proteção respiratória. O valor exato do tamanho de partícula mais penetrante depende da natureza das condições de teste, não sendo um valor fixo.

A curva de eficiência do filtro permite observar que as partículas mais difíceis de capturar não são as menores, mas as que estão na faixa de 0,1 a 1 μm . É por este motivo que nos EUA o NIOSH ensaia os filtros para respiradores com aerossol de diâmetro médio aerodinâmico de 0,3 μm , e no Brasil e na União Européia, com partículas de 0,6 μm .

2.8.2. Normas técnicas para ensaio e aprovação de filtros para particulados

Peças semifaciais filtrantes e filtros para particulados devem ser submetidos a ensaios em laboratório de acordo com normas brasileiras específicas para estes tipos de filtro como parte essencial do processo de certificação de respiradores purificadores de ar.

Para avaliar a qualidade de um filtro para particulados, é necessário medir a penetração das partículas e a resistência à passagem do ar em condições bem definidas.

Ao desenvolver normas para certificação, é importante considerar o tipo de aerossol a ser utilizado no teste. Aerossóis de ensaio comuns incluem sal de cloreto de sódio (utilizado nas normas russa, européia, americana, brasileira, japonesa, australiana, entre outras), óleos de turbina, parafina e di-octilftalato (DOP). Aerossóis de ensaio podem ser compostos por partículas sólidas ou líquidas. A performance do filtro varia com o tipo de aerossol que é utilizado. Partículas sólidas tendem a se compactar, de tal forma que a eficiência melhora ao longo do tempo. Partículas líquidas (especialmente as oleosas) podem ter um efeito adverso sobre a performance de um filtro, fazendo com que sua eficiência diminua com o tempo.

2.8.2.1. Classificação segundo a norma técnica brasileira (ABNT, 1996)

As normas brasileiras ABNT/NBR 13697 e 13698 foram baseadas na norma européia EN143 sobre filtros para particulados.

A medida da penetração deve ser feita com aerossol formado por partículas com dimensão da “fração respirável”, isto é, menores que 5 μm , já que a maior parte das partículas com tais dimensões atinge a região alveolar. Como a penetração das partículas de um aerossol é máxima quando o seu tamanho é de aproximadamente 0,3 μm , a medida deve ser efetuada com partículas cujo diâmetro médio seja próximo desse valor e, assim, satisfazer ao mesmo tempo esses dois requisitos: ter tanto as dimensões da partícula respirável como as da partícula com maior poder de penetração. Visto que alguns contaminantes como as névoas contendo óleo podem anular as cargas elétricas de alguns tipos de fibras utilizadas nos filtros, provocando aumento da penetração, eles também são ensaiados com partículas oleosas.

Os ensaios são realizados com aerossol de cloreto de sódio como representante das partículas sólidas e o aerossol de óleo de parafina como representante das partículas líquidas oleosas.

De acordo com a norma brasileira ABNT/NBR 13698, as peças semifaciais filtrantes são classificadas em PFF-1, PFF-2 e PFF-3, por meio de ensaios realizados com aerossol de cloreto de sódio em concentração de 13 mg/m^3 , fluxo de ar de 95 lpm (fluxos de ar elevados reduzem a eficiência de filtração para partículas pequenas) e diâmetro médio mássico equivalente em torno de $0,6 \mu\text{m}$.

A penetração máxima para cada classe, medida em filtro novo, logo nos primeiros segundos do ensaio, deve ser respectivamente: 20%, 6% e 3%.

Se no teste de laboratório a penetração for de 10%, por exemplo, isso não significa que durante sua utilização o filtro permitirá a passagem de 10% das partículas existentes no ar. Quando o filtro para particulados é escolhido apropriadamente de acordo com o indicado na publicação PPR-FUNDACENTRO, a quantidade de partículas que por ele penetra é desprezível se comparada com aquela que entra no respirador pela falta de vedação da peça facial no rosto do usuário.

Simulando-se a etapa de inalação, a resistência à respiração é medida com o emprego de filtros novos, com fluxo contínuo de ar em duas vazões: 30 lpm e 95 lpm, correspondentes, respectivamente, a um trabalho normal e a um trabalho pesado.

De acordo com a norma brasileira ABNT/NBR 13697, os filtros para particulados, também denominados filtros mecânicos, são classificados em P1, P2 e P3, conforme seus níveis de penetração inicial e resistência à respiração máximas.

Os filtros para particulados removíveis podem ser utilizados tanto em respiradores semifaciais, faciais ou motorizados. Estes filtros devem atender às especificações da norma brasileira ABNT/NBR 13697:1996, conforme sua classe, quando ensaiados com aerossol de cloreto de sódio em concentração de 13 mg/m^3 , fluxo de ar de 95 lpm e diâmetro médio mássico equivalente em torno de $0,6 \mu\text{m}$. No caso de filtros utilizados aos pares, o fluxo de ar é dividido pela metade. Sob estas condições de ensaio, os níveis de penetração inicial máxima permitidos para as classes de filtro P1, P2 e P3 são, respectivamente: 20%, 6% e 0,05%.

Os filtros classe P1, bem como os PFF1, somente são ensaiados com cloreto de sódio, razão pela qual podem ser utilizados apenas contra aerossóis formados por partículas sólidas ou névoas aquosas, que não degradam sua eficiência.

Simulando-se a etapa de inalação, a resistência à respiração é medida com o emprego de filtros novos, com fluxo contínuo de ar em duas vazões: 30 lpm e 95 lpm, correspondentes, respectivamente, a um trabalho normal e a um trabalho pesado.

2.8.2.2. Classificação segundo a norma americana (42 *Code of Federal Regulations* Parte 84) (CDC, 1996)

Desde 1998, os filtros para particulados têm sido ensaiados e classificados de modo diferente nos EUA, considerando a ação prejudicial que o óleo existente no ar em alguns ambientes industriais exerce sobre os filtros, nos quais a ação eletrostática desempenha papel importante na captura das partículas.

De acordo com a classificação americana atual, os filtros para particulados dividem-se nas seguintes categorias:

a) Série N: Não resistente a óleo

Aprovado para contaminantes particulados não oleosos; utilização permitida até o aumento da resistência respiratória ou quando danificado.

b) Série R: Resistente a óleo

Aprovado para todos os contaminantes particulados; restrição de tempo de uso de 8 horas quando aerossóis oleosos estiverem presentes.

c) Série P: Prova de óleo

Aprovado para todos os contaminantes particulados; aplicam-se as restrições de tempo de uso estabelecidas pelo fabricante.

Além da designação N, R e P, estas classes subdividem-se ainda em diferentes níveis de eficiência de filtração: 95, 99 ou 99,97%. A eficiência de filtração é medida contra uma partícula de 0,3 μm de diâmetro aerodinâmico médio mássico, por ser aproximadamente o tamanho de partícula mais difícil de ser capturado pelo filtro; qualquer partícula menor ou maior que esta será capturada com eficiência mais elevada. Assim, um filtro da classe 95 provavelmente terá uma eficiência de filtração acima de 95% na sua atividade de uso real. Em outras palavras, a eficiência de filtração geralmente não é o fator limitante. Ensaio de

vedação, treinamento e tempo de uso efetivo são provavelmente muito mais importantes para a redução da exposição.

Conforme estabelecido pela OSHA, os filtros da classe 100 podem ser utilizados em aplicações nas quais, anteriormente, era requerido o uso de filtros de alta eficiência ou *High Efficiency Particulate Air* (HEPA), por exemplo: amianto, chumbo, etc.

Enquanto os filtros P1, P2 e P3 ou PFF1, PFF2, PFF3 são ensaiados com vazão de 95 lpm e a medida da penetração é feita nos instantes iniciais, os filtros N, R e P são ensaiados com 85 lpm e a medida da eficiência somente é feita após a deposição de 200 mg do aerossol, o que pode demorar 2 horas ou mais.

Os filtros da classe N são ensaiados com aerossol de cloreto de sódio, que os degradam ligeiramente, e os de classe R e P, com névoa de DOP, cujo efeito de degradação é muito maior. Em nenhum momento durante o período de deposição dos 200 mg de cloreto de sódio, ou de DOP, a eficiência medida poderá ser inferior aos valores especificados para cada classe. Se, durante esse período, a eficiência das classes R e P estiver diminuindo, devem-se continuar as medições além da quantidade a princípio estipulada, até que ocorra a inversão da tendência, para então medir a eficiência do filtro.

2.8.2.3. Equivalência entre as classificações brasileira e americana

É possível estabelecer uma equivalência entre alguns tipos de filtros nas classificações americana e brasileira. Os filtros da classe P1 não encontram equivalentes dentro da classificação americana, cuja eficiência de filtração mínima é de 95%. Já os filtros da classe P2 podem ser considerados equivalentes em desempenho aos da classe americana N95. Os filtros P3 seriam aproximadamente equivalentes em termos de performance aos da classe N100 americana.

Quando aprovados tanto no ensaio com cloreto de sódio como com óleo de parafina, os filtros P2 e P3 recebem a sigla SL (Sólido-Líquido), indicando que podem ser empregados contra aerossóis formados por partículas sólidas, oleosas ou aquosas. Já se forem aprovados somente no ensaio com cloreto de sódio, recebem

apenas a sigla S, neste caso, indicando que sua utilização restringe-se a aerossóis formados por partículas sólidas ou aquosas.

Os filtros P2 (SL) seriam, portanto, equivalentes aos filtros R95 ou P95 da classificação americana, enquanto os filtros P3 (SL) poderiam ser considerados equivalentes em performance aos das classes R100 ou P100 americanas.

2.8.3. Recomendações para seleção e uso de filtros para particulados segundo o PPR – FUNDACENTRO (BRASIL, 2002)

Conforme o item 4.2.2.2 do PPR – FUNDACENTRO, para se selecionar o EPR adequado ao risco que o trabalhador ficará exposto durante sua jornada de trabalho, vários aspectos precisam ser considerados:

- a) a natureza da operação ou processo perigoso;
- b) o tipo de risco respiratório (incluindo as propriedades físicas, deficiência de oxigênio, efeitos fisiológicos sobre o organismo, concentração do material tóxico, ou nível de radioatividade, limites de exposição estabelecidos para os materiais tóxicos, concentração permitida para o aerossol radioativo e a concentração IPVS estabelecida para o material tóxico);
- c) a localização da área de risco em relação à área mais próxima que possui ar respirável;
- d) o tempo durante o qual o respirador deve ser usado;
- e) as atividades que os trabalhadores desenvolvem na área de risco;
- f) as características e as limitações dos vários tipos de respiradores;
- g) o Fator de Proteção Atribuído para os diversos tipos de respiradores, conforme indicado na Tabela 1 do PPR – FUNDACENTRO ou no Quadro I da IN nº 1 (MTE) de 11/04/1994.

O processo de seleção de um respirador purificador de ar divide-se em duas etapas: a seleção da cobertura das vias respiratórias (ou cobertura facial) e a seleção dos filtros.

A seleção do tipo de cobertura facial para cada aplicação é feita com base nos contaminantes presentes, suas concentrações e o Fator de Proteção Atribuído ao equipamento de proteção respiratória indicado.

A seleção dos filtros deve ser feita de acordo com as características físico-químicas dos contaminantes presentes no ambiente. Para aerossóis gerados mecanicamente, isto é, poeiras e névoas, pode ser selecionado filtro P1/PFF1; para aerossóis gerados termicamente, ou seja, fumos, deve ser selecionado um filtro com eficiência mínima P2/PFF2. Para particulados considerados altamente tóxicos, isto é, cujos limites de exposição ocupacional sejam inferiores a $0,05 \text{ mg/m}^3$, bem como aqueles particulados cuja toxidez (limite de exposição) seja desconhecida, deve-se selecionar um filtro da classe P3/PFF3, de preferência com peça facial inteira ou respirador motorizado.

Para aerodispersóides contendo sílica e/ou asbesto, deve-se considerar o estabelecido na legislação específica para estes contaminantes particulados na Instrução Normativa nº 1 do MTE, de 11 de abril de 1994 (Quadros II e III).

Estas são as recomendações contidas no documento “Programa de Proteção Respiratória – Recomendações, Seleção e Uso de Respiradores”, publicado pela FUNDACENTRO, abrangendo essencialmente o controle da exposição ocupacional aos agentes particulados de natureza química. Para redução da exposição a particulados contendo agentes biológicos, tais como o bacilo da tuberculose, entre outros, o documento da FUNDACENTRO não traz nenhuma recomendação específica.

No entanto, algumas instituições de referência nos Estados Unidos tais como o CDC, o NIOSH e a OSHA, bem como a OMS, entre outras, têm feito recomendações sobre uso de equipamentos de proteção respiratória para o controle da exposição ocupacional a agentes biológicos, algumas das quais têm sido adotadas por diversos estabelecimentos no Brasil para proteção de seus funcionários expostos.

2.9. Comparação entre máscaras cirúrgicas e equipamentos de proteção respiratória (ASTM, 2007; ASTM, 2003; ASTM, 2001; ABNT, 2002; ABNT, 2004)

Em virtude de certos respiradores descartáveis serem similares em aparência a muitas máscaras cirúrgicas e de procedimento, suas diferenças não são sempre

bem compreendidas. Entretanto, respiradores e máscaras cirúrgicas são muito diferentes na finalidade de uso, vedação facial, tempo de uso, testes de desempenho e aprovações.

A maior diferença entre um respirador e uma máscara cirúrgica está na finalidade de uso. Respiradores são projetados para ajudar a reduzir a exposição respiratória do usuário a contaminantes dispersos no ar, tais como partículas, gases ou vapores. Respiradores para particulados, denominados peças faciais filtrantes (PFF), podem ser utilizados para reduzir a exposição a partículas que são suficientemente pequenas para serem inaladas – partículas menores que 100 µm de tamanho. Isto inclui partículas aerodispersas que podem conter material biológico, como fungos, *Bacillus anthracis*, *Mycobacterium tuberculosis*, o vírus causador da Síndrome Respiratória Aguda Grave (SRAG/SARS), entre outros.

As máscaras cirúrgicas, em geral, não apresentam propriedades de filtração ou vedação facial adequadas para fornecer proteção respiratória ao usuário. São projetadas para ajudar a prevenir a contaminação do ambiente de trabalho ou campo estéril com partículas grandes (maiores do que 5 micra) geradas pelo usuário (ex.: saliva, muco). Máscaras cirúrgicas também podem ser usadas para ajudar a reduzir o risco de projeções ou respingos de sangue, fluidos corpóreos, secreções e excreções atingirem a boca e o nariz do usuário.

A vedação contra a face também é um diferenciador importante. Respiradores como as peças faciais filtrantes N95 (no Brasil, equivalentes às PFF-2) são desenhados para selar perfeitamente na face do usuário. Deste modo, a maioria do ar inalado é direcionado através do meio filtrante e não por espaços entre as bordas do respirador e a face do usuário. Para determinar a selagem adequada, os usuários devem ser previamente submetidos a um ensaio de vedação facial (*“Fit Test”*) a fim de assegurar que o modelo e tamanho do respirador selecionado são apropriados. Antes de entrar no ambiente contaminado, o usuário também deve realizar uma “checagem da vedação” cada vez que colocar ou ajustar o respirador na face, com o objetivo de verificar a selagem do respirador à face após o ajuste. Máscaras cirúrgicas não são desenhadas para selar contra a face e não passam por ensaios de vedação uma vez que seu objetivo principal é ajudar a capturar partículas grandes expelidas pelo usuário e ajudar a reduzir a exposição do

usuário a respingos. Durante a inalação, uma grande parte do ar passa através dos espaços existentes entre a face e a máscara cirúrgica.

Os respiradores devem ser cuidadosamente ajustados e utilizados corretamente durante todo o tempo em que o usuário estiver na área contaminada. As máscaras cirúrgicas são frequentemente utilizadas para procedimentos específicos e logo removidas. Para fins de controle de infecção, máscaras são tipicamente descartadas após cada procedimento/atividade com paciente.

Os requerimentos governamentais para teste e certificação de respiradores e de máscaras cirúrgicas são substancialmente diferentes. Nos EUA, os respiradores devem ser testados e certificados pelo NIOSH. No Brasil, os respiradores devem ser testados pela FUNDACENTRO e certificados pelo Ministério do Trabalho e Emprego (MTE). Tanto o NIOSH como a FUNDACENTRO testam os respiradores tipo peça facial filtrante (PFF) sob condições extremas (“pior situação”) a fim de assegurar um desempenho adequado no ambiente de trabalho. O protocolo de teste inclui um fluxo de ar elevado, o tamanho de partícula mais penetrante, aerossóis capazes de degradar o material do filtro, etc. Nos EUA, respiradores tipo peças faciais filtrantes aprovados conforme estes testes devem ter “NIOSH” e a classificação do filtro impressos no seu corpo (ex.: “NIOSH N95”). No Brasil, as PFF devem apresentar impressão em caracteres indelévels do número do Certificado de Aprovação (CA) e sua classificação conforme norma brasileira ABNT/NBR 13698:1996 (PFF-1, PFF-2 ou PFF-3), além do número de lote e nome do fabricante.

O *Food and Drug Administration* (FDA), órgão responsável pela “aprovação” de máscaras cirúrgicas nos EUA, não realiza testes de desempenho. Ao invés disso, o fabricante submete ao FDA para revisão dados de teste e as características de performance reivindicadas para o produto. O FDA revisa os dados de teste do fabricante e, então, “libera” a máscara para comercialização. No Brasil, o processo de aprovação de máscaras cirúrgicas é bastante semelhante ao norte-americano, e ocorre por determinação da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), órgão do Ministério da Saúde (MS) responsável pelo deferimento dos pedidos de registro para produtos médicos, entre eles, as máscaras cirúrgicas.

Os testes a que são submetidas as máscaras cirúrgicas incluem eficiência de filtração de partículas (PFE, por sua sigla em inglês), eficiência de filtração bacteriológica (BFE, por sua sigla em inglês), resistência a fluidos, teste de inflamabilidade, etc.

Os resultados dos testes de eficiência de filtração de partículas (PFE) das máscaras cirúrgicas e dos testes de eficiência de filtração de respiradores, realizados pelo NIOSH e pela FUNDACENTRO, não devem ser comparados. O teste PFE é um indicador de qualidade para máscaras cirúrgicas de uso hospitalar. O teste PFE não é um indicador de desempenho em proteção respiratória e não é comparável aos testes de eficiência de filtração exigidos para aprovação governamental de respiradores, tais como as peças faciais filtrantes (PFF-1, 2 e 3) e os respiradores N95, aprovados pelo NIOSH. O meio filtrante de uma máscara cirúrgica com um PFE bastante elevado ($> 95\%$) pode apresentar uma eficiência de filtração menor que 70% quando testado segundo o método de teste do NIOSH para respiradores N95. Além disso, pelo fato das máscaras cirúrgicas não selarem firmemente contra a face, muito do ar inalado passa através dos espaços entre a máscara e a face, e não através do meio filtrante.

Os testes de eficiência de filtração bacteriológica (BFE) e resistência a fluidos medem, respectivamente, a habilidade da máscara em capturar partículas grandes expelidas pelo próprio usuário e de ajudar a reduzir a exposição do usuário a respingos. Não é um teste de eficiência de filtração e não avalia a habilidade da máscara em fornecer qualquer proteção respiratória ao usuário. Duas metodologias estão disponíveis para este teste: o método de teste modificado de Greene e Vesley e o método da *American Society of Testing and Materials* (ASTM) F2101-01.

O teste de resistência a fluidos é tipicamente conduzido com base no método de teste ASTM F1862 “Resistência a Penetração por Sangue Sintético”, o qual determina a resistência da máscara a sangue sintético impactado sobre ela sob pressões variáveis.

No Brasil, os parâmetros de testes de desempenho para máscaras cirúrgicas são bastante semelhantes aos norte-americanos e estão descritos na norma brasileira ABNT/NBR 15052:2004 – Artigos de não tecido de uso odonto-médico-hospitalar – Máscaras cirúrgicas – Requisitos.

Em conclusão, as máscaras cirúrgicas, com efeito, colocam uma barreira entre o usuário e o ambiente de trabalho ou campo estéril. Podem ajudar a prevenir que partículas de saliva e muco geradas pelo usuário atinjam um paciente ou equipamento médico. Também podem ser utilizadas como uma barreira a fluidos para evitar que respingos de sangue possam atingir o nariz e a boca do usuário.

Entretanto, máscaras cirúrgicas não são capazes de oferecer proteção respiratória a menos que também sejam desenhadas, testadas e aprovadas como um respirador pelo órgão governamental competente. Se um usuário pretende reduzir a inalação de partículas menores e inaláveis (aquelas menores que 100 μm), será necessário obter e utilizar apropriadamente um respirador certificado pelo órgão governamental competente (no Brasil, o Ministério do Trabalho e Emprego).

Se o usuário necessita de uma combinação de máscara cirúrgica e respirador contra partículas, devem utilizar um produto que seja, ao mesmo tempo, liberado pelo FDA como máscara cirúrgica e testado pelo NIOSH como respirador para particulados. No Brasil, o produto deve possuir Certificado de Aprovação (CA) emitido pelo Ministério do Trabalho como respirador tipo peça facial filtrante (PFF), no mínimo da classe PFF-2, além do registro no MS/ANVISA.

3. METODOLOGIA

A metodologia utilizada para a elaboração deste trabalho consistiu em uma revisão extensa da literatura técnico-científica, nas línguas portuguesa e inglesa, sobre seleção e uso de equipamentos de proteção respiratória contra agentes biológicos. O levantamento foi realizado através de consulta aos terminais de bibliotecas universitárias, principalmente da Universidade de São Paulo (USP) e da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), bem como aos acervos eletrônicos de publicações científicas disponíveis via Internet.

O conteúdo deste trabalho foi desenvolvido com base no estudo analítico e interpretativo das referências bibliográficas levantadas, bem como nos conhecimentos adquiridos pela participação ativa, durante os anos de 2005 e 2006, na Comissão de Estudos de Equipamentos de Proteção Respiratória (CE 32:002.01) do Comitê Brasileiro nº 32 da ABNT (ABNT/CB-32), responsável pela elaboração de normas técnicas sobre EPI, em trabalho conjunto com técnicos da ANVISA e os membros daquela comissão na elaboração do “Manual de Proteção Respiratória contra Agentes Biológicos para Trabalhadores da Saúde”, a ser publicado brevemente pela Editora da ANVISA.

4. RESULTADOS

4.1. Método da “opinião de especialistas” para seleção de respiradores contra agentes biológicos (CDC, 1994; COLTON, 2004)

O processo de seleção do equipamento de proteção respiratória adequado ao risco biológico segue, via de regra, uma metodologia bastante distinta daquela utilizada para selecionar respiradores contra contaminantes químicos. Visto que não existe no Brasil uma regulamentação específica no que se refere à seleção e uso de respiradores contra agentes biológicos (o PPR da FUNDACENTRO e a IN nº 01 do MTE contemplam apenas os agentes químicos), tem-se utilizado como referência um método conhecido como “opinião de especialistas” para esta finalidade. Este método é qualitativo, não exigindo a quantificação (concentração) dos bioaerossóis dispersos no ar para seleção do EPR adequado ao risco como ocorre com os agentes químicos. Baseia-se no julgamento de profissionais especialistas em proteção respiratória e infectologia, os quais geralmente pertencem ao CDC americano. As recomendações de respiradores elaboradas pelo CDC são específicas para cada patógeno (microorganismo patogênico) e consideram parâmetros como: vias de transmissão (gotícula, aerossol e/ou contato) do agente biológico em questão, patogenicidade, virulência, classe de risco (I, II, III ou IV), existência ou não de tratamento ou profilaxia, atividade ou procedimento no qual ocorre a exposição ocupacional em relação ao seu perfil de geração de bioaerossóis (baixa, moderada ou intensa), características de ventilação do ambiente, nível de proteção e limitações do EPR, entre outros.

Cabe ressaltar que, no Brasil, o Ministério da Saúde através da ANVISA tem uma legislação específica para regulamentação e controle de “Produtos para Saúde”, a qual abrange “EPI não estéreis utilizados em procedimentos médicos ou odontológicos”. Assim, equipamentos de proteção respiratória tais como respiradores PFF-2/N95 entre outros, óculos de segurança, protetores faciais ou luvas de procedimento/cirúrgicas, EPI utilizados com frequência por profissionais da saúde para redução da exposição ocupacional em procedimentos médicos ou

odontológicos (que envolvem o contato com pacientes), necessitam de registro junto ao MS/ANVISA além do Certificado de Aprovação (CA) emitido pelo MTE.

A recomendação de EPR para redução da exposição ocupacional ao bacilo da tuberculose (*Mycobacterium tuberculosis*), transmitido por via respiratória, talvez seja a mais conhecida e referenciada recomendação de respirador feita pelo CDC para agentes biológicos, embora não seja a única. Apenas para ilustrar a aplicação desta metodologia, convém utilizá-la como exemplo pela relevância epidemiológica (incidência) desta doença no Brasil.

Em suas publicações "*Guidelines for Preventing the Transmission of Mycobacterium tuberculosis in Health-Care Settings*" e "*TB Respiratory Protection Program in Health Care Facilities*", o CDC americano recomenda, para redução da exposição ocupacional a aerossóis contendo o bacilo da tuberculose, o uso de uma peça semifacial filtrante da classe N95 ou superior, que é o tipo e classe mais simples de EPR (menor eficiência de filtração) segundo a norma americana (42 CFR Parte 84). No Brasil, a classe N95 é considerada tecnicamente equivalente aos filtros da classe P2 ou às PFF-2, uma vez que a classificação de filtros para particulados das normas brasileiras (ABNT/NBR 13697 e 13698) se baseia em normas européias, e não americanas.

De acordo com as exigências do CDC (1994), respiradores contra TB devem obedecer aos seguintes requisitos mínimos de desempenho:

1. Capacidade de reter partículas com dimensões de 1 μm em um filtro não carregado de partículas, com eficiência de filtração maior ou igual a 95%, quando ensaiados com vazão de ar de 50 lpm.
2. Capacidade de se ajustar (vedar) às diferentes características de formatos e tamanhos de face dos profissionais da saúde (por exemplo, estando disponível em diferentes opções de tamanho e modelos).
3. Poderem ser submetidos a ensaios de vedação qualitativos ou quantitativos, apresentando um vazamento facial menor ou igual a 10%.
4. Possibilidade de ser verificada a vedação cada vez que o usuário colocar o respirador no rosto, de acordo com os procedimentos recomendados no PPR.

Tais exigências são plenamente satisfeitas por respiradores da classe N95 ou superior, equivalentes aos aprovados como PFF-2/P2 ou superior no Brasil.

O CDC preconiza que a proteção respiratória deve ser usada por pessoas:

- a) que entrem em quartos de isolamento de pacientes com TB infecciosa confirmada ou suspeita;
- b) que estejam presentes durante procedimentos de indução de tosse ou que gerem aerossóis infecciosos em pacientes com TB infecciosa confirmada ou suspeita;
- c) que estejam em locais ou situações onde os controles administrativos e de engenharia não existam ou sejam insuficientes para protegê-las da inalação de aerossóis infecciosos, como no transporte de pacientes que possam ter TB infecciosa em veículos de emergência, no tratamento dentário ou cirurgias nestes pacientes.

Entretanto, para proteção do profissional da saúde em procedimentos nos quais, com alta probabilidade, é gerada grande quantidade de aerossóis patogênicos (ex.: broncoscopia, intubação, aspiração nasofaríngea, fisioterapia respiratória, necropsia envolvendo tecido pulmonar de paciente tuberculoso, entre outros), o CDC recomenda, com base em uma avaliação preliminar de risco destes procedimentos, o uso de respiradores com nível de proteção maior que os recomendados para o cuidado normal dos pacientes com TB (FPA=10), tais como os respiradores que operam como se estivessem no modo de pressão positiva (purificadores de ar motorizados ou adução de ar tipo linha de ar comprimido) ou purificadores de ar tipo peça facial inteira com filtros de alta eficiência para particulados.

As recomendações do CDC americano sobre EPR contra o vírus da síndrome respiratória aguda grave (SRAG/SARS) e o vírus da influenza aviária altamente patogênica (A/H5N1) são essencialmente as mesmas aplicadas ao bacilo da tuberculose descritas acima.

4.2. Procedimento modificado para seleção de respiradores contra agentes biológicos (MCCULLOUGH; BROSSEAU, 1999)

Uma outra estratégia para seleção de respiradores para proteção contra microorganismos infecciosos foi proposta por McCullough e Brosseau (1999), adaptada a partir do procedimento tradicional de seleção de respiradores para agentes químicos e utilizando estimativas qualitativas da toxicidade e concentração de aerossóis.

O método padrão para selecionar respiradores contra agentes não biológicos envolve uma série de decisões que vão eliminando sistematicamente classes de respiradores até que se encontre uma que atenda a todos os critérios relativos às necessidades do trabalhador e as exigências do ambiente de trabalho. Conforme especificado no PPR - FUNDACENTRO, este processo de decisão lógica para seleção de respiradores envolve as seguintes etapas:

1. Determinar se o nível de oxigênio no ambiente é adequado. Caso contrário, a única opção apropriada serão os respiradores de adução de ar.
2. Determinar se concentrações de pico ou de emergência (frequentemente designadas como “Imediatamente Perigosas à Vida ou à Saúde – IPVS”) podem ocasionar incapacitação imediata do usuário do respirador e impedir sua fuga do ambiente contaminado. Nestas situações, apenas os respiradores de linha de ar comprimido com um cilindro auxiliar para escape ou máscaras autônomas são apropriados.
3. Medir ou estimar a concentração (C_o) do contaminante disperso no ar.
4. Determinar o limite de exposição ocupacional (LEO) apropriado para o contaminante. LEO e C_o são utilizados para calcular o mínimo fator de proteção requerido (FPR):

$$FPR = C_o / LEO$$

O resultado é, então, comparado com os fatores de proteção atribuídos às várias classes de respiradores existentes no Quadro I da IN nº 01 do MTE, de 11 de abril de 1994, selecionando-se uma classe de respirador cujo FPA seja maior do que o FPR calculado.

5. Se um respirador purificador de ar for selecionado, a natureza física do(s) contaminante(s) então guia a escolha do elemento filtrante. Aerossóis requer o uso de filtros mecânicos para particulados, enquanto filtros químicos são empregados contra gases e vapores. Filtros combinados também estão disponíveis no caso de exposições mistas.

6. Finalmente, considera-se qualquer circunstância especial que possa resultar na recomendação de uma classe de respirador maior do que a selecionada na etapa 4. Por exemplo, se existe a probabilidade de projeção fluidos ou respingos, o uso de uma peça facial inteira deve ser considerado, mesmo que o FPR seja inferior a 10; alternativamente, o uso de uma peça semifacial com filtros ou PFF em conjunto com um protetor facial é requerido neste caso.

O CDC, no entanto, não seguiu este procedimento de seleção ao recomendar respiradores para exposições ao *Mycobacterium tuberculosis*. Suas diretrizes afirmam apenas que a eficiência mínima de filtração de partículas deve ser de 95% (para partículas de 1 μm) e que o vazamento facial máximo permitido na região de selagem é de 10% (equivalente a um FPA de 10). Em um cenário de pior caso, estas diretrizes podem permitir exposições na parte interna do respirador de até 15% da concentração ambiente, independentemente de qual seja o seu nível. Quando a concentração interna de partículas contendo agentes infecciosos é elevada, um usuário de respirador pode não estar adequadamente protegido por estas recomendações.

A seleção de respiradores usando o processo existente para exposições a aerossóis não biológicos requer informações sobre os seguintes parâmetros:

- concentração do contaminante no ar;
- toxicidade do contaminante;
- limite de exposição ocupacional (LEO);
- distribuição de tamanho das partículas;
- características do uso.

Entretanto, a maior parte destas informações não está disponível para aerossóis biológicos. Atualmente, as avaliações quantitativas da concentração de microorganismos infecciosos no ar ainda não são relevantes. Porém, sem elas a relação entre a exposição e seus efeitos à saúde não podem ser facilmente

estabelecidas. Conseqüentemente, não foram desenvolvidos limites de exposição ocupacional para estes agentes.

Para selecionar um nível de proteção respiratória apropriado para exposição a microorganismos infecciosos, é necessário avaliar as condições específicas sob as quais ocorre a exposição. Estas condições incluem aquelas que são comuns a todos os riscos respiratórios na forma de particulados (tais como: taxa de geração de aerossóis, grau e qualidade da ventilação, dimensões espaciais do ambiente) e aquelas que são peculiares aos microorganismos (tais como patogenicidade e infectividade).

4.2.1. Concentração no ar ambiente

Quando não há disponibilidade de um sistema de ventilação local exaustora (por exemplo, capelas), como é frequentemente o caso em estabelecimentos de atenção à saúde, conta-se essencialmente com as ventilações natural ou geral para remoção ou diluição de contaminantes.

A eficiência da ventilação depende dos padrões de fluxo de ar próximos à fonte geradora e de quão efetivamente o ar limpo é misturado com o ar contaminado.

Diversos métodos têm sido desenvolvidos a fim de estimar a concentração de contaminantes no ar em função da ventilação e do tempo. Embora forneçam boas estimativas da concentração de contaminante, estes métodos se baseiam em avaliações quantitativas da taxa à qual um contaminante é gerado. Como exemplo, um modelo emprega uma relação simplista entre a concentração (C , em partículas/cm³), fluxo volumétrico de ventilação (Q , em cm³/min) e a taxa de geração de aerossóis (G , em partículas/min): $C = (G/Q)$

Este modelo foi adaptado através da derivação de *rankings* qualitativos para a taxa de geração de aerossóis (G_{rank}) e fluxo de ventilação (Q_{rank}) para chegar a um *ranking* qualitativo para a concentração (C_{rank}): $C_{\text{rank}} = (G_{\text{rank}}/Q_{\text{rank}})$

O fluxo de ventilação pode ser expresso em trocas de ar por hora (ACH – *Air Changes per Hour*) ou em pés cúbicos por minuto. Taxas de ventilação típicas para estabelecimentos de saúde e ambientes públicos são mostradas nas Tabelas 1 e

2, respectivamente, e os *rankings* sugeridos (Q_{rank}) estão descritos na Tabela 3. Os valores de Q_{rank} na Tabela 3 foram baseados nas ACH mínimas sugeridas pela *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers* (ASHRAE) para diferentes áreas de um hospital. As faixas de fluxo de ar foram selecionadas para fornecer um *ranking* de Q de 1 a 5 (Tabela 3).

Devido aos efeitos de mistura imperfeita do ar, o valor de Q_{rank} deve ser corrigido para baixo de acordo com cada situação. Por exemplo, se o trabalhador está próximo à fonte de um aerossol infeccioso (como ocorre durante procedimentos de broncoscopia ou necropsia), o fluxo de ar no ambiente provavelmente será pouco efetivo na redução da exposição deste trabalhador. O valor de Q_{rank} atribuído a este trabalhador deve ser menor do que para um outro trabalhador localizado a uma certa distância da fonte geradora de aerossóis. Da mesma forma, a movimentação do ar em um ambiente pode ser comprometida por obstáculos ou saídas bloqueadas. Neste caso, o ar que se movimenta através do recinto pode não diluir todos os espaços igualmente, sugerindo um valor mais baixo para Q_{rank} . A opinião de um engenheiro de projeto ou especialista em ventilação pode ser apropriada em tais circunstâncias.

A taxa de geração (G) é uma função da quantidade (em massa ou número) de aerossóis gerados por unidade de tempo e representa a contribuição de uma fonte em particular para a concentração do contaminante no ar. Não existem medidas diretas das taxas de geração de aerossóis infecciosos por humanos. Com base nas taxas de infecção após exposição a um indivíduo tuberculoso, um investigador estimou a taxa de geração de aerossóis em aproximadamente 250 unidades infecciosas por hora, e a concentração de aerossóis no ar como sendo ao redor de 1 unidade infecciosa por 2000 litros de ar.

McCullough e Brosseau (1999) sugerem um método de ranking qualitativo para a taxa de geração de aerossóis baseado no tipo de fonte ou atividade (Tabela 4). Por exemplo, uma pessoa com tuberculose infecciosa pode ser considerada uma fonte cuja taxa de geração de partículas deverá variar conforme a atividade que estiver desempenhando.

Procedimentos técnicos e de laboratório também podem constituir uma fonte de geração de aerossóis. Atividades que podem originar partículas em suspensão

incluem borbulhamento, quebra de filmes líquidos, mistura, aeração, respingos ou projeção de líquidos, vibração ultrassônica, ou vazamento de líquidos sob pressão.

Tabela 1. Taxas de ventilação recomendadas para estabelecimentos de atenção à saúde.

Estabelecimentos de Atenção à Saúde	ACH Mínimo		Recirculação Permitida
	Ar Externo	Total	
Quarto de pacientes	2	4	Opcional
Quarto de isolamento*	2	6	Não
Corredor de enfermaria	2	4	Opcional
Sala de exames	2	6	Opcional
Sala de traumas	5	12	Não
Sala de necropsia	2	12	Não
Sala de cirurgia (sem recirculação)	15	15	Não
Sala de cirurgia (com recirculação)	5	25	Sim
Sala de parto (sem recirculação)	15	15	Não
Sala de parto (com recirculação)	5	25	Sim

Abreviações: ACH, *air changes per hour* (trocas de ar por hora).

* O CDC recomenda que novos estabelecimentos sejam projetados utilizando 12 ACH.

Fonte: MCCULLOUGH; BROSSEAU (1999)

Tabela 2. Taxas de ventilação recomendadas para ambientes públicos.

Ambientes Públicos	ACH	Mínimo Fluxo de Ar Externo
		(L/s/Pessoa)
Restaurantes	8-12	2,5
Bares	15-20	5
Terminais de aeroportos	8-12	2,5
Terminais rodoviários	8-12	2,5
Salas de aula	ND	8
Aeronaves comerciais	ND	7

Abreviações: ACH, *air changes per hour* (trocas de ar por hora); ND, não disponível.

Fonte: MCCULLOUGH; BROSSEAU (1999)

Tabela 3. Níveis de fluxo de ventilação (Q_{rank}) com base nas normas da ASHRAE para áreas hospitalares.

Exemplos de Locais	Total	Fluxo de Ventilação		
	Mínimo de Trocas de Ar por Hora (ACH)	Calculado com Base em um Volume Ambiente de 1000 pés ³ (pés ³ /min)	Faixas de Fluxo de Ventilação (pés ³ /min)	Ranking de Fluxos de Ventilação (Q_{rank})
Salas de cirurgia	25	417	>300	5
Salas de necropsia, berçários, quartos de isolamento	12	200	151-300	4
Salas de exames, laboratórios, tratamento intensivo, quartos de recuperação	6	100	75-150	3
Armazenamento de artigos estéreis, quartos de pacientes	4	67	10-75	2
Armazenamento de equipamentos	2	33	<10	1

Fonte: MCCULLOUGH; BROSSEAU (1999)

Tabela 4. Níveis de taxa de geração de aerossóis (G_{rank}) por fonte e atividade.

Humanos como Fonte de Aerossóis Infecciosos*	Atividades como Fonte de Aerossóis Infecciosos	Ranking de Taxas de Geração de Aerossóis Infecciosos (G_{rank})
Sem falar, tossir ou espirrar	Manipulação sem possibilidade de geração de aerossol (p. ex., preparação de lâminas)	1
Tossindo e espirrando com a boca coberta	Manipulação com baixo risco de geração acidental de aerossóis (p. ex., propagação de culturas)	2
Tossindo e espirrando com a boca descoberta	Manipulação com alto risco de geração acidental de aerossóis (p. ex., centrifugação)	3
Terapia respiratória, necropsia, ou dessecação	Geração deliberada de aerossóis (p. ex., pesquisa sobre aerossóis)	4

* Aplicável a pessoas com doenças infecciosas suspeitas ou confirmadas transmitidas por via aérea.

Fonte: MCCULLOUGH; BROSSEAU (1999)

4.2.2. Estimativa do grau de risco do contaminante

A eventual manifestação de uma doença depende das características do microorganismo (p. ex., patogenicidade, virulência), fatores ambientais, fatores do hospedeiro (p. ex., susceptibilidade), exposição e dose. Estes fatores, isolados ou combinados, podem ser utilizados para estimar o grau de risco de exposição a um determinado patógeno.

A dose infectante tem sido utilizada como um indicador da toxicidade do organismo infeccioso. Por exemplo, demonstrou-se que uma dose de menos de 10 unidades infecciosas (isto é, células) de *M. tuberculosis*, *Coxiella burnetti*, ou *Francisella tularensis* foi capaz de ocasionar infecção em 25 a 50% da população exposta. No entanto, o parâmetro dose infecciosa não está disponível para todos os patógenos ou enfermidades. Portanto, outras medidas de severidade da doença, tais como taxas de fatalidades ou classificações por grupo de risco publicadas, podem ser necessários para determinar o nível de proteção requerido para uma dada situação.

As classificações por grupo de risco são desenvolvidas por uma variedade de organizações, incluindo o CDC americano, o *National Institutes of Health* (NIH), Federação Européia de Biotecnologia, Comissão Européia, CDC canadense,

e a Organização Mundial da Saúde. A definição dos grupos de riscos, que variam de 1 (baixo risco) a 4 (alto risco), pode sofrer variações entre as organizações. Para os fins deste estudo, foram consideradas as classificações de agentes biológicos por grupos de risco segundo o Anexo II da norma regulamentadora brasileira NR-32, conforme definidos no item 3.2 deste trabalho.

Uma das limitações dos sistemas de classificação de agentes patogênicos por grupo de risco é o fato de que apenas são considerados os possíveis efeitos para trabalhadores saudáveis, não sendo considerados os efeitos particulares para os trabalhadores cuja sensibilidade possa estar afetada, como nos casos de patologia prévia, medicação, transtornos imunológicos, gravidez ou lactação.

4.2.3. Tamanho de partículas

Filtros coletam partículas de modo diverso, dependendo do tamanho da partícula, das características do material filtrante, e do fluxo de ar através do filtro. O tamanho das partículas contendo microorganismos infecciosos tem sido objeto de considerável discussão e especulação. Nas suas recomendações sobre tuberculose, o CDC se baseou em estudos da década de 1950 que descobriram haver bactérias presentes em partículas, denominadas “núcleos de condensação”, variando em tamanho de 1 a 5 μm . Contudo, os métodos analíticos empregados naquela pesquisa não eram capazes de identificar partículas menores que 1 μm . Equações preditivas e medições diretas de bactérias em suspensão no ar sugerem que o diâmetro aerodinâmico de uma única partícula de bactéria pode ser de 0,3 μm ou menor, embora bactérias possam alcançar diâmetros de até 30 μm .

Filtros apresentam níveis de eficiência que, para um determinado fluxo de ar, dependem significativamente do diâmetro aerodinâmico da partícula a ser capturada. A maior parte dos organismos patogênicos deve ser coletada com alto nível de eficiência por filtros de respiradores certificados de acordo com os novos protocolos de teste estabelecidos pelo NIOSH conforme a norma americana 42 CFR Parte 84. Nos países onde respiradores são certificados por outros órgãos que não o NIOSH, a eficiência do filtro na captura de partículas cujo tamanho esteja na

mesma faixa dos aerossóis infecciosos deve ser considerada ao selecionar respiradores contra agentes biológicos.

No Brasil, filtros de respiradores são testados quanto ao seu desempenho pela FUNDACENTRO conforme as normas técnicas da ABNT para equipamentos de proteção respiratória, gerando um relatório de ensaio o qual é submetido ao Ministério do Trabalho e Emprego, juntamente com uma série de outros documentos, para obtenção de um Certificado de Aprovação (CA). Os testes no Brasil são realizados com aerossol de cloreto de sódio, cujo diâmetro aerodinâmico médio é de $0,6\ \mu\text{m}$, permitindo uma penetração máxima de aerossol de 6% para as PFF-2 e os filtros P2, enquanto os testes realizados segundo o protocolo do NIOSH utilizam aerossol de cloreto de sódio com diâmetro aerodinâmico médio de $0,3\ \mu\text{m}$ e permitem uma penetração máxima de aerossol de 5% para os filtros e respiradores da classe N95. Por outro lado, os testes para aprovação de filtros mecânicos e peças semifaciais filtrantes segundo as respectivas normas brasileiras contemplam um fluxo contínuo de ar de 95 lpm, ao passo que o protocolo de testes do NIOSH estabelece um fluxo contínuo de ar de 85 lpm.

Assim, devido à semelhança das condições de ensaio referentes aos protocolos de teste brasileiro (ABNT/NBR 13698) e americano (42 CFR Parte 84), é considerada aceitável a equivalência em termos de desempenho entre as PFF-2 testadas no Brasil pela Fundacentro e os respiradores semifaciais filtrantes da classe N95 testados e aprovados pelo NIOSH nos EUA.

4.2.4. Método dos *rankings* qualitativos

O método de *ranking* qualitativo propõe uma abordagem alternativa aos passos 3 e 4 do processo de decisão lógica descrito anteriormente, buscando estimar os riscos relacionados à concentração e toxicidade do bioaerossol em questão. O procedimento revisado consistiria das seguintes etapas em substituição aos passos 3 e 4 do processo original empregado para agentes químicos:

3. Estimar a concentração de bioaerossóis através dos parâmetros G (taxa de geração de aerossóis) e Q (taxa de ventilação), descritos nas Tabelas 3 e 4. Quando necessário, o *ranking* da taxa de ventilação Q_{rank} deverá ser ajustado para refletir a

efetividade com que o ar é ventilado a partir da fonte geradora. O *ranking* da concentração C de aerossóis (C_{rank}) é, então, calculado a partir da equação:

$$C_{\text{rank}} = (G_{\text{rank}}/Q_{\text{rank}}),$$

cujos valores variam entre 0,2 e 4.

5. Determinar o limite de exposição ocupacional apropriado. Uma estimativa da toxicidade (T_{rank}) pode ser usada em substituição do LEO. Para tanto, são empregadas as classificações de agentes biológicos por grupos de risco disponíveis no Anexo II da Norma Regulamentadora NR-32.

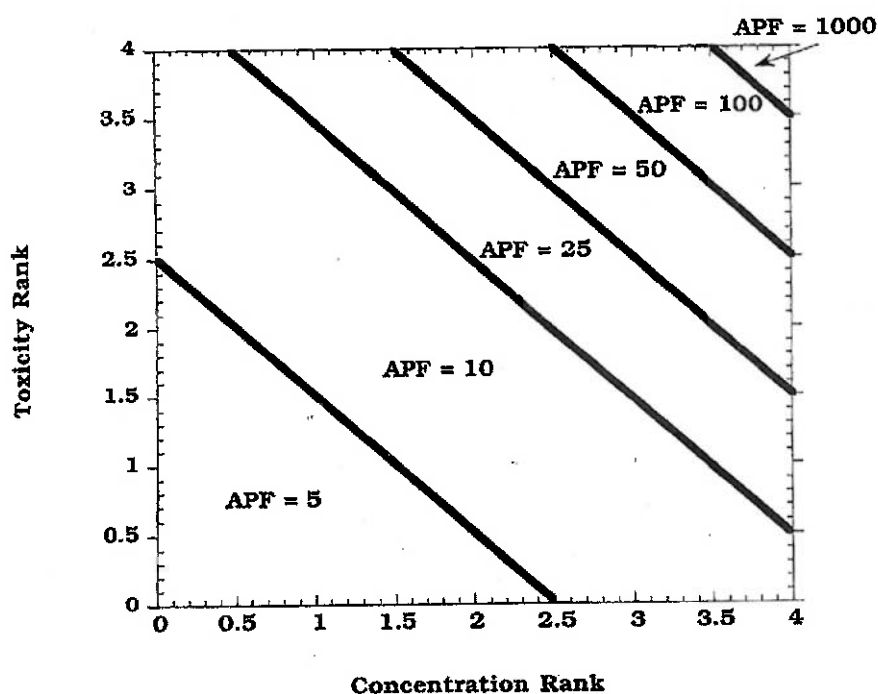


Fig. 11. Identificando fatores de proteção atribuídos (APF) a partir de *rankings* de toxicidade (T_{rank}) e concentração (C_{rank}). Fonte: MCCULLOUGH; BROSSEAU (1999)

Por fim, selecionar o mínimo fator de proteção atribuído (APF) na Figura 1, a partir dos valores obtidos para os *rankings* de concentração (C_{rank}) e toxicidade (T_{rank}). Os valores na Figura 1 foram atribuídos considerando como referência as recomendações do CDC para uso de respiradores em estabelecimentos de saúde.

6. DISCUSSÃO

Por muitos anos, a proteção respiratória tem sido utilizada em ambientes industriais a fim de minimizar a exposição a uma variedade de aerossóis não biológicos. Mais recentemente, o uso de respiradores tem se expandido sendo utilizados também para reduzir a exposição a bioaerossóis tanto em ambientes industriais como não industriais.

Embora os riscos respiratórios a que uma grande parte dos trabalhadores estão expostos sejam de natureza química, existe um número significativo de profissionais, especialmente na área da saúde, que podem estar expostos também a riscos respiratórios de origem biológica em decorrência de suas atividades ocupacionais. Em ambientes de trabalho tais como hospitais (especialmente aqueles especializados no atendimento e tratamento de doenças infecto-contagiosas), serviços de emergência, enfermarias, ambulatórios, consultórios médicos ou odontológicos, clínicas e outros estabelecimentos destinados aos cuidados da saúde humana, bem como laboratórios de análise microbiológica, salas de necropsia, aviários, galerias de esgoto, entre outros, pode ocorrer a exposição ocupacional a agentes biológicos dispersos no ar na forma de particulados denominados bioaerossóis.

A indicação de proteção respiratória para agentes biológicos se torna bem mais complexa do que para produtos químicos devido ao fato de não existirem limites de tolerância bem definidos para estes agentes e, teoricamente, uma única “partícula” viva poder infectar o indivíduo exposto e causar auto-multiplicação.

Uma demonstração prática da aplicabilidade do método qualitativo proposto por McCullough e Brosseau (1999), quando comparado ao método qualitativo baseado na opinião de especialistas conforme recomendado pelo CDC americano, é ilustrada a seguir.

No primeiro cenário, um profissional da saúde está prestando assistência e cuidados a um paciente com tuberculose pulmonar em um quarto de internação típico. Começando pela etapa 3 no processo de decisão lógica, após excluir as possibilidades de incêndio, deficiência de oxigênio, e condições IPVS. O contaminante em questão consiste em um aerossol infeccioso expelido pelo

paciente. Assumindo que o paciente não está tossindo ou espirrando, pode-se adotar o valor mais baixo para a taxa de geração de aerossóis G ($G_{\text{rank}} = 1$). Um fluxo de ar (Q) de 27 pés³/min é determinado assumindo-se as dimensões de um quarto de internação típico (400 pés³) e 4 trocas de ar por hora, o que resulta em $Q_{\text{rank}} = 2$. Estimando-se, então, a concentração de bioaerossóis: $C_{\text{rank}} = G_{\text{rank}}/Q_{\text{rank}} = 1/2 = 0,5$. Sabendo-se que a classe de risco atribuída ao *M. tuberculosis* é $T_{\text{rank}} = 3$, um fator de proteção atribuído (APF) de 10 é encontrado para estes valores de C_{rank} e T_{rank} na Figura 1. Para esta atividade, isso implicaria na seleção de um respirador purificador de ar tipo peça semifacial filtrante ou peça semifacial com filtros, conforme o Quadro I da IN nº 01 do MTE. De acordo como as recomendações do CDC americano para tuberculose, qualquer respirador certificado pelo NIOSH, incluindo a classe mais simples – peças semifaciais filtrantes N95 –, são apropriados para esta exposição.

Em um segundo cenário, uma sessão de terapia respiratória é realizada no mesmo quarto em um paciente com tuberculose infecciosa. Neste caso, a taxa de geração de aerossol G aumentaria para 4. A concentração de aerossol, então, seria: $C_{\text{rank}} = 4/2 = 2$. Usando o mesmo valor de 3 para T_{rank} , o fator de proteção atribuído (APF) para esta situação seria 25. Portanto, profissionais trabalhando com este paciente durante atividades de terapia respiratória devem utilizar um respirador purificador de ar motorizado (PAPR) com uma cobertura facial de vedação frouxa (por exemplo, uma touca), conforme Quadro I da IN nº 01 do MTE, e equipado com filtros P3 de alta eficiência para particulados (HEPA).

Profissionais que realizam necropsias estão sob risco considerável de contrair doenças infecciosas, particularmente a tuberculose. O exemplo a seguir descreve um processo para seleção de proteção respiratória para esta situação. Novamente, assume-se que não há risco de incêndio, deficiência de oxigênio ou condições IPVS, e que os aerossóis infecciosos são os principais contaminantes presentes neste ambiente. Supondo uma sala com 1000 pés³ de volume e 12 trocas de ar por hora, isso resulta em um fluxo de ar de 200 pés³/min que corresponde a um $Q_{\text{rank}} = 4$. A taxa de geração de aerossóis G_{rank} também será igual a 4. O julgamento profissional sugere que a ventilação geral deste tipo de ambiente pode não ser suficiente para reduzir efetivamente a exposição ocupacional durante as

necropsias, de modo que Q_{rank} deve ser corrigido para um nível mais baixo. Neste caso, é sugerido que Q_{rank} seja reduzido a um valor igual a 2, uma vez que os profissionais expostos estão localizados muito próximos ao ponto de geração de aerossóis. Sendo $Q_{\text{rank}} = 2$, então $C_{\text{rank}} = 4/2 = 2$. Visto que o *M. tuberculosis* pertence à classe de risco $T_{\text{rank}} = 3$, a Figura 1 indica a necessidade de um respirador com fator de proteção atribuído $APF = 25$ para estes valores de C_{rank} e T_{rank} . Um fator de proteção requerido de 25 pode ser alcançado selecionando-se um respirador purificador de ar motorizado (PAPR) com uma cobertura facial de vedação frouxa (por exemplo, uma touca), conforme Quadro I da IN nº 01 do MTE, e equipado com filtros P3 de alta eficiência para particulados (HEPA).

Um outro exemplo de aplicação prática desta metodologia seria o caso de um agente do Departamento de Vigilância em Saúde que foi solicitado a investigar um surto de hantavirose e necessita adentrar na casa onde o indivíduo infectado supostamente foi exposto ao vírus da síndrome pulmonar por hantavírus. Para determinar o nível de proteção respiratória necessária para este agente, foi assumido que o volume interno da casa é de aproximadamente 7000 pés³ e que a ventilação é baixa (1 troca de ar por hora). Isso resulta em um fluxo de ar Q de 117 pés³/min e um valor de $Q_{\text{rank}} = 3$. A taxa de geração de aerossóis é provavelmente baixa, uma vez que a maior parte das partículas entrará em suspensão somente a partir de movimentação humana ou do ar; um valor de 2 é atribuído ao G_{rank} (se atividades tais como limpeza tiverem criado maior dispersão dos excrementos de roedores, o valor de G deve ser corrigido para cima apropriadamente). Neste caso, $C_{\text{rank}} = 2/3 = 0,7$ (arredonda-se para 1). Quanto à sua toxicidade, o hantavírus pertence à classe de risco $T_{\text{rank}} = 3$. Estes valores de C_{rank} e T_{rank} indicam que um respirador com fator de proteção atribuído (APF) de 10 deve ser utilizado. Um respirador motorizado (PAPR) com filtro P3 de alta eficiência (HEPA) contra particulados seria apropriado para minimizar a exposição do agente ao hantavírus durante a inspeção. O CDC recomenda o uso de um respirador purificador de ar semifacial ou motorizado (PAPR) com filtros P3 de alta eficiência (HEPA) contra particulados ao proceder a limpeza de casas de pessoas infectadas por hantavírus ou ao trabalhar em prédios com alto nível de infestação de roedores.

Em um último cenário, um pesquisador de campo planeja entrar em uma caverna onde fungos *Histoplasma capsulatum* podem estar presentes nos excrementos de morcegos que recobrem o chão da caverna. Assumindo uma ventilação baixa ou nula ($Q_{\text{rank}} = 1$) e um valor de 2 para a taxa de geração e aerossóis (devido à movimentação do pesquisador e morcegos através da caverna), $C_{\text{rank}} = 2/1 = 2$. Por sua toxicidade, este fungo se enquadra na classe de risco 3; estes valores de C_{rank} e T_{rank} indicam que um respirador com fator de proteção atribuído (APF) de 25 deve ser utilizado. Um respirador motorizado (PAPR) com filtros P3 de alta eficiência fornecerá o nível de proteção necessário. Nesta exposição, deve-se considerar também o nível de oxigênio presente na caverna. O CDC recomenda utilizar um respirador tipo peça semifacial ao realizar pesquisas em áreas com grande concentração de aves.

7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O uso de esporos de antraz nos incidentes terroristas de 2001 nos EUA e as epidemias recentes de síndrome respiratória aguda grave (SRAG/SARS) e influenza aviária altamente patogênica (IAAP) têm reforçado a importância e relevância de mais pesquisas sobre seleção e desempenho de equipamentos de proteção respiratória contra agentes biológicos.

A maioria dos estudos sobre eficiência de filtração de bioaerossóis tem sido realizada em respiradores aprovados segundo os requerimentos da norma americana. Novos estudos devem ser conduzidos a fim de melhor definir as características físicas dos microorganismos capazes de representar riscos respiratórios significativos para trabalhadores e a população em geral.

Os dados de pesquisas anteriores sobre desempenho de filtros em relação a partículas de variados tamanhos e formas não contêm detalhes suficientes para elucidar resultados aparentemente contraditórios. Os reportes de pesquisas futuras detalhando o comportamento de penetração de partículas através de elementos filtrantes de respiradores devem conter uma documentação mais completa dos protocolos utilizados de modo a facilitar a comparação apropriada de resultados. O processo de desenvolvimento de filtros, bem como as recomendações sobre seleção e uso, serão favorecidos por um melhor entendimento e confirmação do conhecimento existente há tempos quanto à performance similar de filtração para partículas biológicas e não biológicas baseado nos diâmetros aerodinâmicos efetivos.

Os avanços recentes em nanotecnologia têm possibilitado novos estudos sobre a capacidade de retenção de nanopartículas em filtros utilizados em equipamentos de proteção respiratória. Especialmente a fluxos inalatórios mais elevados, alguns resultados indicam que respiradores certificados como N95 podem não necessariamente fornecer uma eficiência de filtração de 95% contra agentes virais, que são consideravelmente menores do que o tamanho de partícula de 300 nanômetros ($0,3\ \mu\text{m}$) utilizado nos testes de certificação e considerado o mais penetrante. Assim, mais pesquisas sobre partículas de diferentes dimensões e formas e suas propriedades de penetração através de filtros eletrostáticos precisam

ser conduzidas de modo a caracterizar a performance destes elementos filtrantes contra as diversas razões entre formas e tamanhos encontradas em partículas de microorganismos de diferentes categorias, incluindo os vírus e outros agentes infecciosos com tamanho na faixa de 1 a 100 nanômetros (nm).

A seleção de níveis de proteção respiratória a serem usados contra um dado agente biológico deve estar baseada na dose infectante deste agente mais do que na eficiência do filtro. São necessárias pesquisas sobre as doses infectantes de diferentes microorganismos e concentrações de exposição a fim de melhor especificar equipamentos de proteção respiratória contra bioaerossóis.

O desenvolvimento de novos modelos de distribuição de probabilidades para estimativa dos riscos de infecção real e aceitável, cuja aplicação prática seja simples e direta para várias categorias de agentes biológicos, pode ser um passo importante em direção à seleção da proteção respiratória adequada contra riscos de natureza biológica.

O método proposto por McCullough e Brosseau resultou na seleção de respiradores tecnicamente viáveis e adequados ao risco biológico e, em algumas situações, com maior nível de proteção do que os EPR selecionados exclusivamente com base nas recomendações do CDC.

Avaliações de riscos qualitativas tais como as que foram discutidas neste trabalho devem ser utilizadas com cuidado. As considerações e suposições envolvidas devem ser claramente compreendidas antes de aplicar estes modelos a situações reais. As correções aplicadas ao fluxo de ar (Q) para adequação às circunstâncias reais exige julgamento profissional, supostamente de alguém com treinamento apropriado (tal como um higienista ocupacional).

Avanços recentes em tecnologia de nanofibras e compostos biocidas incorporados às fibras podem resultar em filtros mais eficientes e com melhor capacidade de proteger usuários de respiradores contra microorganismos nos ambientes de trabalho. Estudos com aplicação de nanopartículas impregnadas às fibras do elemento filtrante sugerem que estas podem conferir um efeito antimicrobiano ao respirador, possivelmente reduzindo o risco ocupacional de transmissão de agentes infecciosos.

Pesquisas adicionais com o propósito de mapear a distribuição de perfis antropométricos da face das várias populações de trabalhadores continuam sendo necessárias a fim de que os fabricantes possam projetar equipamentos de proteção respiratória capazes de proteger mais efetivamente um número maior de usuários, com características e dimensões faciais específicas.

Finalmente, uma implementação completa e rigorosa dos procedimentos estabelecidos pela Instrução Normativa nº 01 do MTE, de 11 de abril de 1994, bem como aqueles contidos na publicação da FUNDACENTRO regulamentada por esta normativa, entre eles a seleção de equipamentos de proteção respiratória com base em critérios técnicos, a obrigatoriedade da realização do ensaio de vedação facial, a avaliação médica e o treinamento dos usuários sobre os riscos existentes e todos os aspectos práticos envolvidos no uso de respiradores, deverão contribuir significativamente para uma proteção respiratória mais eficaz nos ambientes de trabalho.

ANEXO A – INSTRUÇÃO NORMATIVA IN Nº 01 DE 11/04/1994 (SSST/MTE)

SECRETARIA DE SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO

Instrução Normativa N.º 1, De 11 De Abril De 1994

A Secretaria de Segurança e Saúde no Trabalho, no uso de suas atribuições e,

CONSIDERANDO a necessidade de um controle eficaz dos ambientes de trabalho por parte das empresas, como condição a uma adequada política de segurança e saúde para os trabalhadores;

CONSIDERANDO que, quando as medidas de proteção coletiva adotadas no ambiente de trabalho não forem suficientes para controlar os riscos existentes, ou estiverem sendo implantadas, ou ainda em caráter emergencial, o empregador deverá adotar, dentre outras, aquelas referentes à proteção individual que garantam condições adequadas de trabalho;

CONSIDERANDO as dúvidas suscitadas em relação à adequada proteção dada aos trabalhadores quando da adoção de equipamentos de proteção respiratória por parte das empresas;

CONSIDERANDO a necessidade de disciplinar a utilização desses equipamentos, dentro de critérios e procedimentos adequados, quando adotados pelas empresas;

CONSIDERANDO os artigos 166 e 167 da Consolidação das Leis do Trabalho - CLT;

CONSIDERANDO a Norma Regulamentadora n.º 06 da Portaria n.º 3.214, de 08/06/78, e alterações posteriores, resolve:

Baixar a presente Instrução Normativa - IN, estabelecendo Regulamento Técnico sobre o uso de equipamentos para proteção respiratória.

Art. 1º O empregador deverá adotar um conjunto de medidas com a finalidade de adequar a utilização dos equipamentos de proteção respiratória-EPR, quando necessário para complementar as medidas de proteção coletiva implementadas, ou enquanto as mesmas estiverem sendo implantadas, com a finalidade de garantir uma completa proteção ao trabalhador contra os riscos existentes nos ambientes de trabalho.

§ 1º As medidas previstas neste artigo deverão observar os seguintes princípios:

- I. 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;
- II. a indicação do equipamento de acordo com os riscos aos quais o trabalhador está exposto;
- III. a instrução e o treinamento do usuário sobre o uso e as limitações do EPR;
- IV. o uso individual dos equipamentos, salvo em situações específicas, de acordo com a finalidade dos mesmos;
- V. a guarda, a conservação e a higienização adequada;
- VI. o monitoramento apropriado e periódico das áreas de trabalho e dos riscos ambientais a que estão expostos os trabalhadores;
- VII. o fornecimento somente a pessoas fisicamente capacitadas a realizar suas tarefas utilizando os equipamentos;
- VIII. o uso somente de respiradores aprovados e indicados para as condições em que os mesmos forem utilizados;
- IX. 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 atmosfera imediatamente perigosas à vida ou à saúde;
- X. 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;

§ 2º Para a adequada observância dos princípios previstos neste artigo, o empregador deverá seguir, além do disposto nas Normas Regulamentadoras de Segurança e Saúde no Trabalho, no que couber, as recomendações da Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho - FUNDACENTRO contidas na publicação intitulada "PROGRAMA DE PROTEÇÃO RESPIRATÓRIA - RECOMENDAÇÕES, SELEÇÃO E USO DE RESPIRADORES" e também as Normas Brasileiras, quando houver, expedidas no âmbito do Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial - CONMETRO.

Art. 2º A seleção das EPR deverá observar, dentre outros, os valores dos fatores de proteção - FP atribuídos contidos no Quadro I anexo à presente L.N.

Parágrafo único. Em atmosferas contendo sílica e asbesto, além dos requisitos estabelecidos neste artigo, o empregador deverá observar, na seleção do respirador adequado, as indicações dos Quadros II e III anexo à presente L.N.

Art. 3º Os EPR somente poderão ser comercializados acompanhados de instruções impressas contendo, no mínimo, as seguintes informações:

- I. a finalidade a que se destina;
- I. a proteção oferecida ao usuário;
- II. as restrições ao seu uso;
- III. a sua vida útil;
- IV. orientação sobre guarda, conservação e higienização;

Parágrafo único. As instruções referidas neste artigo deverão acompanhar a menor unidade comercializada de equipamentos.

Art. 4º Esta L.N. entra em vigor 120 dias após a data de sua publicação, ficando revogada a L.N. SSST/MTb n.º 01, de 13 de julho de 1993.

QUADRO I - FATORES DE PROTEÇÃO ATRIBUÍDOS PARA EPR (5)

TIPO DE RESPIRADOR	TIPO DE COBERTURA DAS VIAS RESPIRATORIAS			
	PEÇA SEMI-FACIAL (1)		PEÇA FACIAL INTEIRA	
PURIFICADOR DE AR	10		100	
DE ADUÇÃO DE AR:				
- MÁSCARA AUTÔNOMA (2) (DEMANDA)	10		100	
- LINHA DE AR COMPRIMIDO (DEMANDA)	10		100	
TIPO DE RESPIRADOR	TIPO DE COBERTURA DAS VIAS RESPIRATORIAS			
	PEÇA SEMI-FACIAL	PEÇA FACIAL INTEIRA	CAPUZ CA-PACETE	SEM VEDAÇÃO FACIAL
PURIFICADOR DE AR MOTORIZADO	50	1000(3)	1000	25
DE ADUÇÃO DE AR:				
LINHA DE AR COMPRIMIDO				
- DE DEMANDA COM PRESSÃO POSITIVA	50	1000	-	-
- FLUXO CONTÍNUO	50	1000	1000	25
MÁSCARA AUTÔNOMA (CIRCUITO ABERTO OU FECHADO)				
- DE DEMANDA COM PRESSÃO POSITIVA	-	(4)	-	-

NOTAS

1. Inclui a peça quarto facial, a peça semifacial filtrante e as peças semifaciais de elastômeros.
2. A máscara autônoma de demanda não deve ser usada para situações de emergência como incêndios.
3. Os fatores de proteção apresentados são de respiradores com filtros P3 ou sorbentes (cartuchos, químicos pequenos ou grandes). Com filtros classe P2, deve-se usar fator de proteção atribuído 100 devido às limitações do filtro.
4. Em situações de emergência, onde as concentrações dos contaminantes possam ser estimadas, deve-se usar um fator de proteção atribuído não maior que 10.000.
5. O fator de proteção atribuído, não é aplicável para respiradores de fuga.

QUADRO II - RECOMENDAÇÕES DE EPR PARA SILICA CRISTALIZADA

CONCENTRAÇÃO AMBIENTAL	EQUIPAMENTO
Até 10 vezes o limite de tolerância	Respirador com peça semifacial ou peça semifacial filtrante Filtros P1, P2 ou P3, de acordo com o diâmetro aerodinâmico das partículas (1)
Até 50 vezes o limite de tolerância	Respirador com peça facial inteira com filtro P2 ou P3 (1) Respirador motorizado com peça semifacial e filtro P2 Linha de ar fluxo contínuo e peça semifacial Linha de ar de demanda e peça semifacial com pressão positiva
Até 100 vezes o limite de tolerância	Respirador com peça facial inteira com filtro P2 ou P3 (1) Linha de ar de demanda com peça facial inteira Máscara autônoma de demanda
Até 1000 vezes o limite de tolerância	Respirador motorizado com peça facial inteira e filtro P3 Capuz ou capacete motorizado e filtro P3 Linha de ar fluxo contínuo e peça facial inteira Linha de ar de demanda e peça facial inteira com pressão positiva Máscara autônoma de pressão positiva
Maior que 1000 vezes o limite de tolerância	Linha de ar de demanda e peça facial inteira com pressão positiva e cilindro de fuga Máscara autônoma de pressão positiva

NOTA

1. Para diâmetro aerodinâmico médio mássico maior ou igual a 2 micra pode-se usar filtros classe P1, P2 ou P3. Para diâmetro menor que 2 micra deve-se usar o de classe P3.

QUADRO III - RECOMENDAÇÕES DE EPI PARA ASBESTO

Até 2 fibras/cm ³	Respirador com peça semifacial com filtro P2 ou peça semifacial filtrante
Até 10 fibras/cm ³	Respirador com peça semifacial com filtro P3 Respirador motorizado com peça semifacial e filtro P2 Linha de ar de demanda com peça semifacial e pressão positiva
Até 100 fibras/cm ³	Respirador com peça facial inteira com filtro P3 Linha de ar de fluxo contínuo com peça facial inteira Linha de ar de demanda Máscara Autônoma de demanda
Até 200 fibras/cm ³	Respirador motorizado com peça facial inteira e filtro P3 Linha de ar fluxo contínuo com peça facial inteira Linha de ar de demanda com peça facial inteira e pressão positiva Capuz ou capacete motorizado com filtro P3 Linha de ar fluxo contínuo com capuz ou capacete
Maior que 200 fibras/cm ³	Linha de ar fluxo contínuo com peça facial inteira e cilindro de escape Linha de ar de demanda com peça facial inteira, pressão positiva e cilindro de escape Máscara autônoma de demanda com pressão positiva

ANEXO B – EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO RESPIRATÓRIA (TORLONI; VIEIRA, 2003)

B.1. Respiradores purificadores de ar

B.1.1. Peças semifaciais filtrantes

Os respiradores purificadores de ar sem manutenção são denominados peças semifaciais filtrantes (PFF), por serem constituídas essencialmente de material filtrante e, conforme o nível de eficiência do filtro para particulados que as compõe, podem ser classificadas em PFF-1, PFF-2 ou PFF-3. O meio filtrante pode conter também uma camada de microfibras impregnadas com carvão ativado, alumina ou outro adsorvente químico destinado a reter alguns gases ou vapores em baixas concentrações. Este tipo de filtro combinado é chamado Filtro de Baixa Capacidade (FBC).



Fig. 12. Peça semifacial filtrante PFF-3 de formato dobrável no eixo horizontal com óculos de segurança do tipo ampla visão. (Cortesia: 3M)

A denominação “sem manutenção” se deve ao fato de que este tipo de respirador não permite substituição de seus componentes. Uma vez danificado qualquer componente (elásticos, espuma, clipe nasal, válvula de exalação, etc.) ou

saturado o elemento filtrante, o respirador sem manutenção deve ser descartado. Segundo a ABNT/NBR 13698:1996, sua utilização deve se restringir a, no máximo, uma jornada de trabalho, ou menos, se antes ficarem deformadas – o que prejudicaria a vedação no rosto do usuário –, se a resistência à respiração aumentar devido à deposição de partículas na camada filtrante ou se ocorrer a saturação da camada de carvão ativo no caso de ser um filtro químico de baixa capacidade.

Podem ter formato tipo concha ou dobrável (segundo o eixo horizontal ou vertical), e estar disponíveis em tamanhos diferenciados. Devem cobrir no mínimo o nariz e a boca e proporcionar vedação adequada sobre a face. Para isso, geralmente são dotadas de uma tira de material metálico e/ou espuma interna para ajuste nasal, a ser moldada pelo usuário sempre que colocar ou ajustar a PFF na face. Podem ou não possuir válvulas de exalação. Os modelos com válvula de exalação proporcionam maior conforto ao usuário, pois facilitam a saída da maior parte do ar quente e úmido proveniente da exalação, reduzindo a sensação de calor e abafamento dentro da peça. Além disso, a eficiência da camada filtrante é preservada por mais tempo, visto que esta não se mantém permanentemente úmida e aquecida pelo ar a cerca de 37 °C proveniente da fase de exalação. Entretanto, se a resistência da válvula de exalação não for suficientemente baixa, a maior parte do ar exalado sairá através da camada filtrante, e a válvula será de muito pouca utilidade neste caso.

Seu peso reduzido, elevada área filtrante (conseqüentemente, baixa resistência à respiração), o fato de dispensarem higienização e manutenção e serem de fácil colocação, ajuste e operação, constituem as principais vantagens dos respiradores sem manutenção, sendo de aceitação mais fácil pelo usuário.

B.1.2 Peças semifaciais com filtros

Os respiradores purificadores de ar tipo peça semifacial com filtros são formados por uma peça semifacial de silicone, borracha ou elastômero sintético, à qual são acoplados filtros substituíveis, aos pares ou único, que não devem interferir no campo visual do usuário. Seu funcionamento é tal que o ar atravessa o(s) filtro(s), passa pela(s) válvula(s) de inalação, chegando às vias respiratórias do

usuário. O ar expirado flui diretamente para o ambiente externo através da válvula de exalação, preservando os filtros do elevado nível de umidade do ar exalado.

Este tipo de respirador é dito “com manutenção”, visto que permite a substituição de partes quando danificadas e de filtros quando saturados. Seus tirantes são ajustáveis e possuem uma ou mais válvulas de inalação e exalação, além de suportes com encaixes para filtros para particulados (filtros mecânicos), para gases e vapores (cartuchos químicos), ou combinados. Estão disponíveis nos tamanhos pequeno, médio e grande a fim de proporcionar vedação adequada para usuários com diferentes dimensões faciais.

As peças semifaciais podem ser utilizadas com filtros mecânicos das classes P1, P2 ou P3, e filtros químicos da classe FBC (1 e 2) ou cartucho pequeno (classe 1). Não podem ser utilizadas com filtros químicos classes 2 ou 3, pois estes provocam o deslocamento da peça facial no rosto devido ao seu peso, comprometendo a vedação na zona de contato.



Fig. 13. Peça semifacial com filtros P3 de alta eficiência para aerossóis.
(Cortesia: 3M)

O uso de peças semifaciais não é recomendado contra agentes químicos que provoquem irritação dos olhos. Nos Estados Unidos, são proibidos os respiradores semifaciais contra substâncias que causam irritação aos olhos.

Como todo respirador com manutenção, este tipo de equipamento requer inspeção e manutenção periódicas a fim de garantir a integridade e funcionalidade de seus componentes, além da higienização permanente das partes, conforme orientações do fabricante.

As principais vantagens deste tipo de respirador são o conforto para o usuário, excelente custo/benefício para o empregador, e a possibilidade de proteção em situações nas quais os respiradores sem manutenção (PFF) não são capazes de proporcionar um nível satisfatório de proteção ao usuário.

B.1.3 Peças faciais inteiras com filtros

Os respiradores purificadores de ar tipo peça facial inteira cobrem a boca e o nariz, além de oferecerem proteção simultânea aos olhos. Podem ser confeccionados em silicone, borracha ou elastômero sintético.



Fig. 14. Peça facial inteira com filtros P3 de alta eficiência para aerossóis. (Cortesia: 3M)

O modo de funcionamento deste tipo de cobertura facial deve ser tal que o ar atravessa primeiro o(s) filtro(s) passando à parte interna do visor, atravessa a(s) válvula(s) de inalação instalada(s) na mascarilha interna, que cobre a boca e o nariz, chegando aos pulmões do usuário. O ar exalado dentro da mascarilha passa diretamente ao ambiente externo por meio da válvula de exalação, minimizando

assim o embaçamento do visor, e impedindo que o ar saturado de umidade proveniente do ar exalado atinja o elemento filtrante. A mascarilha interna, cujo desenho é semelhante ao de uma peça semifacial, tem dupla finalidade: diminuir o volume morto, e por consequência, o teor de dióxido de carbono no ar inalado, além de evitar o embaçamento do visor.

As válvulas de inalação devem ter resistência à respiração e pressão de abertura baixas; não é necessário que vedem tão bem como a de exalação, mas se o projeto permitir retorno significativo de ar úmido, pode ocorrer condensação de vapor d'água dentro dos filtros, com aumento da resistência à respiração. Além disso, se for ineficiente ou eliminada, no caso das faciais inteiras, o volume de dióxido de carbono aumenta no interior do respirador, uma vez que o espaço morto total torna-se maior. O mau funcionamento das válvulas de inalação também provoca o embaçamento do visor. O visor da peça facial inteira deve ser montado de modo a não possibilitar a perda de estanqueidade, mesmo quando submetido a condições de uso muito adversas ou uso inadequado. São geralmente fabricados em material transparente com alta resistência a impactos e riscos.

Os respiradores purificadores de ar tipo peça facial inteira oferecem maior fator de proteção, devido à melhor vedação que proporcionam na face, em razão da zona de contato entre a peça facial inteira e o rosto ser mais plana e menos irregular do que no caso das peças semifaciais. Estão disponíveis nos tamanhos pequeno, médio e grande a fim de proporcionar vedação adequada para usuários com diferentes dimensões faciais.

Existem adaptadores para lentes corretivas na parte interna da peça facial inteira, que não interferem na vedação do rosto. Alguns modelos possuem um diafragma de voz, que facilita a comunicação verbal.

B.1.4 Respiradores purificadores de ar motorizados

Os respiradores purificadores de ar motorizados são equipados com bateria, motor e ventoinha, transportados junto ao corpo do usuário. A ventoinha insufla o ar ambiente pelo elemento filtrante, e o ar purificado é então conduzido até a cobertura das vias respiratórias através de uma traquéia. A cobertura das vias

respiratórias pode ser do tipo peça facial, capuz, capacete, touca ou protetor facial. Os filtros podem ser para particulados (P3), químicos (para gases e vapores) ou combinados (para remoção simultânea de particulados, gases e vapores). Se utilizados em atmosferas que apresentem risco de explosão, a bateria e demais componentes elétricos devem ser classificados como intrinsecamente seguros. As baterias devem ser recarregadas periodicamente, conforme recomendações do fabricante.

Uma das vantagens deste tipo de equipamento é que, em geral, o ar chega com pressão positiva dentro da cobertura facial, isto é, a pressão no interior da cobertura das vias respiratórias é maior do que a pressão atmosférica externa, mesmo na fase de inalação, minimizando a penetração de contaminantes por eventuais falhas na vedação facial e proporcionando maior conforto respiratório ao usuário que não precisa fazer nenhum esforço adicional para que o ar alcance seus pulmões. Isso ocorre pois a vazão de ar que chega à cobertura facial é bastante elevada, freqüentemente superior ao fluxo de ar inalado pelo usuário, inclusive em algumas situações de esforço físico mais intenso onde possa haver picos de inalação. Para garantir que a vazão mínima permaneça dentro dos limites recomendados pelo fabricante, é necessário verificar o fluxo de ar antes de cada uso, ou selecionar um modelo com alarme de baixa vazão.



Fig. 15. Respirador purificador de ar motorizado com filtro P3 montado em peça facial inteira. (Cortesia: 3M)



Fig. 16. Detalhe de uma unidade motorizada AIR-MATE® HEPA com filtro P3. (Cortesia: 3M)



Fig. 17. Respirador purificador de ar motorizado com filtro P3 e cobertura do tipo capacete com visor facial. (Cortesia: 3M)

Uma outra vantagem é o fato de que os purificadores de ar motorizados, quando utilizados com coberturas faciais cuja vedação é considerada não apertada (isto é, sem ajuste através de tirantes elásticos), tais como capuzes, toucas, capacetes ou protetores faciais, não exigem que o usuário esteja barbeado, pois não interferem com a presença de pêlos faciais.

B.2 Respiradores de adução de ar

B.2.1 Linha de ar comprimido

Como em qualquer respirador de adução de ar, a fonte de ar destes equipamentos é externa à atmosfera contaminada. Os respiradores de linha de ar comprimido são compostos por uma peça facial (semifacial ou facial inteira), capuz ou capacete, ligados por uma mangueira de suprimento de ar através de um engate rápido que liga uma das extremidades da mangueira a um compressor, ou uma bateria de cilindros com ar a alta pressão, e a outra extremidade é conectada a um regulador de vazão preso ao cinturão.



Fig. 18. Respirador de adução de ar tipo linha de ar comprimido com cobertura facial do tipo capuz. (Cortesia: 3M)

Dependendo do modo como se regula a vazão de ar para o usuário e da pressão dentro da cobertura facial, os respiradores podem ser de fluxo contínuo, de demanda sem pressão positiva e de demanda com pressão positiva. No de fluxo contínuo, o ar chega ininterruptamente à cobertura das vias respiratórias; nos de demanda, somente durante a inalação. Nos de pressão positiva, a pressão interna é sempre superior à externa, mesmo durante a inalação. A economia de ar respirável é uma das grandes vantagens dos respiradores de demanda sobre os de fluxo contínuo, pois estes fornecem continuamente ao usuário no mínimo 120 litros por

minuto (lpm), enquanto nos de demanda o consumo depende do fluxo respiratório do usuário que, em um trabalho normal, requer cerca de 30 lpm.

O nível de proteção oferecido pelos respiradores de linha de ar pode variar entre 10 e 1000 vezes o valor do limite de exposição ocupacional (LEO) do contaminante, dependendo do tipo de cobertura facial escolhida. Por serem independentes da atmosfera ambiente, podem ser utilizados em ambientes com teor de oxigênio abaixo de 19,5% (ao nível do mar), desde que Não IPVS.

Seu uso é particularmente indicado para substâncias extremamente tóxicas, ou que não apresentem boas propriedades de advertência, tais como odor, gosto ou irritação em baixas concentrações.

Por norma, um respirador de linha de ar comprimido inclui a mangueira, o regulador de vazão, a traquéia e a cobertura facial. Não é permitida a substituição de nenhum destes componentes de um equipamento aprovado por um outro tipo de mesmo fabricante ou de outro fabricante igualmente aprovado, pois a perda de carga do conjunto certamente será diferente. Os diversos fabricantes podem apresentar, entre outras, diferença no diâmetro interno da mangueira, o que invalida a recomendação da pressão de operação para um dado equipamento. Além disso, as mangueiras aprovadas para obtenção do certificado de aprovação do respirador são à prova de estrangulamento, conforme a norma correspondente. Assim, é importante enfatizar que qualquer alteração feita pelo usuário no equipamento, ou mesmo a substituição de componentes de um equipamento aprovado por componentes de outros fabricantes ou de outros equipamentos aprovados do mesmo fabricante, descaracterizam o certificado de aprovação, invalidando-o.

A válvula de fluxo contínuo deve permitir fácil ajuste e garantir vazão mínima, contínua, segundo a ABNT/NBR 14372, de 120 lpm no caso de coberturas das vias respiratórias com vedação facial (peça semifacial e facial inteira) e, segundo a ABNT/NBR 14749, de 170 lpm no caso de coberturas sem vedação facial (capuz, capacete, touca, etc.). O comprimento da mangueira e a pressão de suprimento de ar na entrada da mangueira devem, na combinação mais desfavorável, satisfazer os requisitos mínimos de vazão, mesmo com a válvula reguladora na cintura totalmente fechada. A válvula reguladora faz apenas um ajuste fino da vazão. O controle da pressão é feito na válvula do painel filtrante, em

função do comprimento e diâmetro da mangueira e da cobertura facial. O comprimento máximo da mangueira é de 90 metros, e a pressão máxima no ponto de alimentação da mangueira de suprimento de ar comprimido é de 1 MPa (10 bar). Para respiradores de linha de ar com cobertura das vias respiratórias sem vedação facial, a ABNT/NBR 14749 obriga a utilização de um dispositivo de alerta ao usuário se a vazão do ar atingir valores diferentes do especificado.

Para maior conforto térmico do usuário, é possível utilizar um dispositivo denominado tubo vortex, cuja finalidade é resfriar ou aquecer o ar a ser inalado em até 25 °C.

A qualidade do ar comprimido utilizado, qualquer que seja a procedência (compressor ou cilindros), sempre deve obedecer aos requisitos do ar respirável (grau D da *Compressed Gas Association* – CGA), definidos no Programa de Proteção Respiratória (PPR) da FUNDACENTRO. Para satisfazer estes requisitos, o ar comprimido de qualidade industrial pode requerer a colocação na linha de uma unidade purificadora de ar comprimido, formada por um separador de condensados, para remoção da água, filtro para partículas grosseiras provenientes da tubulação, e filtro de carvão ativado para remoção de possíveis odores. É possível engatar até três mangueiras simultaneamente no mesmo painel filtrante.

Nos compressores lubrificados a óleo, além da água líquida, também aparece como contaminante o óleo mineral na forma de vapor e de partículas líquidas que se emulsionam nas gotículas de água, sendo o responsável pelo cheiro característico do ar comprimido, que também deve ser eliminado na purificação. O sistema de purificação necessário depende do tipo de compressor utilizado e da qualidade do ar no ponto de captação.

Como a água condensada, gerada no processo de compressão, e o vapor d'água, sempre presente no ar comprimido, prejudicam a retenção de outros contaminantes gasosos pelo adsorvente, é necessário que os filtros para a purificação sejam instalados em uma sequência conveniente: primeiro, eliminam-se as partículas condensadas de água utilizando filtros mecânicos de coalescência; depois, o vapor de água através de filtros de sílica gel, por exemplo; e finalmente, os filtros para os outros gases, como o carvão ativo para hidrocarbonetos e seus

odores. Os filtros devem ser periodicamente substituídos de acordo com as recomendações do fabricante.

B.2.2 Máscaras autônomas e respiradores de linha de ar comprimido de demanda com pressão positiva e cilindro auxiliar de escape

Trata-se de um equipamento, independente da atmosfera ambiente, em que o usuário transporta junto ao corpo o próprio suprimento de ar armazenado em cilindro. Em geral, são equipamentos mais voltados ao uso em situações de emergência ou para entrada em ambientes Imediatamente Perigosos à Vida ou à Saúde (IPVS). Assim como no caso dos respiradores de linha de ar comprimido, a qualidade do ar do cilindro deve ser a do ar respirável (grau D da CGA), conforme definido no PPR da FUNDACENTRO.

O modo como o ar chega à cobertura das vias respiratórias define se as máscaras autônomas são de demanda sem pressão positiva ou de demanda com pressão positiva. O termo “demanda” indica que o ar alcança a cobertura das vias respiratórias somente durante a inspiração.

Os componentes mínimos que as máscaras autônomas devem incorporar dependem da autonomia e do uso a que se destinam. Tais componentes estão especificados nas respectivas normas. Dependendo da autonomia e finalidade de uso, devem ter alarme (sonoro e/ou de vibração) que é acionado quando o volume de ar residual no cilindro atinge cerca de 20% da sua capacidade com o propósito de avisar o usuário de que o ar está acabando e que portanto ele deve abandonar a área de risco imediatamente. Alguns modelos emitem um sinal sonoro de “homem morto” se o usuário que está na área de perigo parar de se movimentar.

As máscaras autônomas permitem grande mobilidade, mas o volume e o peso de alguns modelos dificultam a entrada em aberturas estreitas. Esses equipamentos exigem do usuário boas condições físicas e treinamento quanto a suas limitações. Sempre devem ser guardadas em condições de uso imediato e totalmente carregadas. Por essa razão, após o uso devem ser inspecionadas e o cilindro, recarregado.

Em geral, as máscaras autônomas são utilizadas em situações extremas, por sua maior garantia de proteção dentre os equipamentos de proteção respiratória.

O respirador de linha de ar comprimido com cilindro auxiliar para escape é uma combinação de dois respiradores: o de linha de ar comprimido e a máscara autônoma. O ar do cilindro só começa a fluir para a peça facial quando o ar comprimido da mangueira de suprimento deixa de chegar. Quando a mangueira de fornecimento do ar se desconecta e a peça facial recebe ar proveniente do cilindro auxiliar, o equipamento se converte numa máscara autônoma de pequena autonomia (menor ou igual a 15 minutos). A entrada em atmosferas IPVS deve ser feita utilizando a linha de ar comprimido. O cilindro auxiliar é utilizado somente para fuga.



Fig. 19. Respirador de adução de ar tipo linha de ar comprimido de demanda com pressão positiva, peça facial inteira e cilindro auxiliar de escape. (Cortesia: 3M)



Fig. 20. Respirador de adução de ar tipo máscara autônoma de demanda com pressão positiva e peça facial inteira. (Cortesia: 3M)

LISTA DE REFERÊNCIAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Norma Brasileira NBR 12543 – Equipamentos de proteção respiratória – Terminologia**. Rio de Janeiro: ABNT, 1999.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Norma Brasileira 13697 – Equipamento de Proteção Respiratória – Filtros mecânicos**. Rio de Janeiro: ABNT, 1996.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Norma Brasileira 13698 – Equipamento de Proteção Respiratória – Peça semifacial filtrante para partículas – Especificação**. Rio de Janeiro: ABNT, 1996.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Norma Brasileira 14873 – Não tecido para artigos de uso odonto-médico-hospitalar - Determinação da eficiência da filtração bacteriológica**. Rio de Janeiro: ABNT, 2002.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Norma Brasileira 15052 – Artigos de não tecido de uso odonto-médico-hospitalar - Máscaras cirúrgicas – Requisitos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ACGIH. AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS. **TLVs® e BEIs®: Limites de Exposição Ocupacional (TLVs®) para Substâncias Químicas e Agentes Físicos & Índices Biológicos de Exposição (BEIs®)**. São Paulo: ABHO. Tradução, 2006.

ASTM. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS F1862-07. **Standard Test Method for Resistance of Medical Face Masks to Penetration by Synthetic Blood (Horizontal Projection of Fixed Volume at a Known Velocity)**, 2007.

ASTM. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS F2100-07. **Standard Specification and Performance of Materials Used in Medical Face Masks**, 2007.

ASTM. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS F2101-01. **Standard Test Method for Evaluating the Bacterial Filtration Efficiency (BFE) of Medical Face Mask Materials, Using a Biological Aerosol of *Staphylococcus aureus***, 2001.

ASTM. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS F2299-03. **Test Method for Determining the Initial Efficiency of Materials Used in Medical Face Masks to Penetration by Particulates Using Latex Spheres**, 2003.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **RDC nº 185**, de 22 de outubro de 2001. Aprova o Regulamento Técnico que consta no anexo desta Resolução, que trata do registro, alteração, revalidação e cancelamento do registro de produtos médicos na Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA. Diário Oficial da União; Poder Executivo, de 24 de outubro de 2001.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Ciência, Tecnologia e Insumos Estratégicos. Departamento de Ciência e Tecnologia. **Classificação de risco dos agentes biológicos**. Brasília, DF: Editora do Ministério da Saúde, 36 p. (Série A. Normas e Manuais Técnicos), 2006.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. FUNDACENTRO. **Programa Nacional de Prevenção a Exposição aos Agentes Ambientais: Agentes Biológicos**. Disponível em
<<http://www.fundacentro.gov.br/start/conteudo.asp?D=PNPEAA&C=516&C2=600&C3=0>>. Acesso em: 18 de abril de 2007.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. FUNDACENTRO. **Programa de Proteção Respiratória. Recomendações, Seleção e Uso de Respiradores.** Brasília: Ministério do Trabalho e Emprego, 2002. Disponível em <www.fundacentro.gov.br/CTN/seleciona_livro.asp?Cod=211>. Acesso em: 10 de janeiro de 2005.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Norma Regulamentadora nº 6 – Equipamento de Proteção Individual.** Brasília: Ministério do Trabalho e Emprego, 2002. Disponível em <http://www.mte.gov.br/legislacao/normas_regulamentadoras/nr_06.pdf>. Acesso em: 15 de março de 2003.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Norma Regulamentadora nº 9 – Programa de Prevenção de Riscos Ambientais.** Brasília: Ministério do Trabalho e Emprego, 2002. Disponível em <http://www.mte.gov.br/legislacao/normas_regulamentadoras/nr_09.pdf>. Acesso em: 15 de março de 2003.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Norma Regulamentadora nº 32 – Segurança e Saúde no Trabalho em Estabelecimentos de Saúde.** Brasília: Ministério do Trabalho e Emprego, 2005. Disponível em <http://www.mte.gov.br/legislacao/normas_regulamentadoras/nr_32.pdf>. Acesso em: 18 de janeiro de 2006.

BRASIL. SECRETARIA DE SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO. **Instrução Normativa nº 1, de 11 de abril de 1994.** Brasília: SSST, 1994.

CDC. CENTERS FOR DISEASE CONTROL AND PREVENTION. **Guidelines for Preventing the Transmission of Mycobacterium tuberculosis in Health Care Facilities.** Morbidity and Mortality Weekly Report (MMWR), v. 43, n. RR-13, 1994.

CDC. CENTERS FOR DISEASE CONTROL AND PREVENTION. NIOSH. NATIONAL INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH. **TB Respiratory Protection Program in Health Care Facilities - Administrator's Guide**. Centers for Disease Control and Prevention, 1999.

CDC. CENTERS FOR DISEASE CONTROL AND PREVENTION. NIOSH. NATIONAL INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH. **Guide to the Selection and Use of Particulate Respirators Certified Under 42 CFR 84**. Centers for Disease Control and Prevention, Publication n. 96-101, 1996.

CDC. CENTERS FOR DISEASE CONTROL AND PREVENTION. NIOSH. NATIONAL INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH. **Understanding Respiratory Protection Against SARS**, 2005. Disponível em <http://www.cdc.gov/niosh/npptl/topics/respirators/factsheets/respsars.html>. Acesso em: 20 de dezembro de 2005.

COLTON, C.E., WEBER, R.A., **Respirator Filter Collection Efficiency and US Respirator Recommendations for Biological Aerosols: A Review**. In: INTERNATIONAL SOCIETY FOR RESPIRATORY PROTECTION CONFERENCE, 12th, Yokohama, Japão, 2004. ABSTRACTS BOOK & SESSION PLANNER. Japão: ISRP, 2004. N039. (Asian Section ISRP -Twelfth Conference of The International Society for Respiratory Protection – November 9th. – 12th, 2004 – Yokohama, Japan – Abstracts Book & Session Planner). Disponível em http://www.isrp.com.au/isrpcom/journal/jp_abstracts/colton.htm. Acesso em: 18 de abril de 2005.

GUEDES, A. **Agentes biológicos no trabalho: perigos ocultos**. ISHST: Instituto para a Segurança, Higiene e Saúde no Trabalho, 2006. Disponível em http://www.ishst.pt/downloads/Bolsa_textos/Agentes_biologicos_trabalho.pdf. Acesso em: 18 de abril de 2007.

LI, Y.; LEUNG, P.; YAO, L.; SONG, Q. W.; NEWTON, E. **Antimicrobial effect of surgical masks coated with nanoparticles.** J Hosp Infect, v. 62, p. 58-63, 2006.

McCULLOUGH, N.V.; BROSSEAU, L.M. **Selecting Respirators for Control of Worker Exposure to Infectious Aerosols,** Infect Control Hosp Epidemiol, v. 20, p. 136-144, 1999.

OPAS. ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DA SAÚDE. **Influenza aviária (“gripe do frango”) – Informativo Janeiro de 2006.** Disponível em <http://www.opas.org.br/influenza/uploadArq/Informativo_2006.pdf>. Acesso em: 06 de abril de 2006.

RAPPARINI, C. **Riscos biológicos e profissionais de saúde.** Disponível em <<http://www.riscobiologico.org/riscos/riscos>>. Acesso em: 19 de abril de 2007.

RAPPARINI, C. **Tuberculose.** Disponível em <<http://www.riscobiologico.org/patogenos/tb.asp>>. Acesso em: 19 de abril de 2007.

RENGASAMY, A.; ZHUANG, Z. E BERRYANN, R. **Respiratory protection against bioaerosols: Literature review and research needs.** Am J Infect Control, v. 32(6), p. 345-354, 2004.

TORLONI, M.; VIEIRA, A.V. **Manual de Proteção Respiratória.** São Paulo: ABHO, 2003.

BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA

APECIH. ASSOCIAÇÃO PAULISTA DE ESTUDOS E CONTROLE DE INFECÇÃO HOSPITALAR. **Monografia - Precauções e Isolamento**. São Paulo: 2003.

BALAZY, A.; TOIVOLA, M; ADHIKARI, A.; SIVASUBRAMANI, S.; REPONEN, T.; GRINSHUPUN, S. **Do N95 respirators provide 95% protection level against airborne viruses, and how adequate are surgical masks?** Am J Infect Control, v. 34 (2), p. 51-57, 2006.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Guia de Vigilância Epidemiológica**. Brasília, DF: Centro de Documentação, 2005.

BROSSEAU, L.M., McCULLOUGH, N.V.; VESLEY, D. **Bacterial Survival on Respirator Filters and Surgical Masks**. J Am Biol Saf Assoc, v. 2, p. 435-445, 1997.

BROSSEAU, L.M., McCULLOUGH, N.V.; VESLEY, D. **Mycobacterial Aerosol Collection Efficiency of Respirator and Surgical Mask Filters Under Varying Conditions of Flow and Humidity**. Appl Occup Environ Hyg, v. 12(6), p. 435-445, 1997.

CDC. CENTERS FOR DISEASE CONTROL AND PREVENTION. NIOSH. NATIONAL INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH. **Protect Yourself Against Tuberculosis – A Respiratory Protection Guide for Health Care Workers**. Centers for Disease Control and Prevention, Publication n. 96-102, 1995.

CHEN, C.; LEHTIMÄKI, M.; WILLEKE, K. **Loading and Filtration Characteristics of Filtering Facepieces**. Am Ind Hyg Assoc Journal, v. 54(2), p. 51-60, 1993.

CHEN, C.; WILLEKE, K. **Characteristics of face seal leakage in filtering facepieces.** Am Ind Hyg Assoc Journal, v. 53, p. 533-539, 1992.

JOHNSON, B.; WINTERS, D.R.; SHREEVE, T.R.; COFFEY, C.C. **Respirator Filter Reuse Test using the Laboratory Simulant Mycobacterium tuberculosis (H37RA strain).** J Am Biol Saf Assoc, v. 3, p. 105-116, 1998.

LEE, K.; SLAVCEV, A.; NICAS, M. **Respiratory Protection Against Mycobacterium tuberculosis: Quantitative Fit Test Outcomes for Five Type N95 Filtering-Facepiece Respirators.** J Occup Environ Hyg, v. 1, p. 22-28, 2004.

MEDEIROS, E. A. S.; BARSANTI, S. (Editores). **Diretrizes para a prevenção e o controle de infecções relacionadas à assistência à saúde.** São Paulo: Universidade Federal de São Paulo, Comissão de Epidemiologia Hospitalar, 2005.

MORAES, P. C. **Avaliação do poder de filtração das máscaras cirúrgicas e respiradores como equipamentos de proteção individual para profissionais da saúde [Dissertação].** São Paulo: Universidade de São Paulo, Faculdade de Odontologia, 2003.

NICAS, M. **Respiratory Protection and the Risk of Mycobacterium tuberculosis Infection.** Am J Ind Med, v. 27, p. 317-333, 1995.

NICAS, M. **Regulating the Risk of Tuberculosis Transmission Among Health Care Workers.** Am Ind Hyg Assoc Journal, v. 61, p. 334-339, 2000.

NICAS, M.; NAZAROFF, W.; HUBBARD, A. **Toward Understanding the Risk of Secondary Airborne Infection: Emission of Respirable Pathogens.** J Occup Environ Hyg, v. 2, p. 143-154, 2005.

QIAN, Y.; WILLEKE, K.; GRINSHPUN, S.; DONNELLY, J. **Performance of N95 Respirators: Reaerosolization of Bacteria and Solid Particles.** Am Ind Hyg Assoc Journal, v. 58, p. 876-884, 1997.

QIAN, Y.; WILLEKE, K.; GRINSHPUN, S.; DONNELLY, J.; COFFEY, C. **Performance of N95 Respirators: Filtration Efficiency for Airborne Microbial and Inert Particles.** Am. Ind. Hyg. Assoc. Journal, v. 59, p. 128-132, 1998.

REPONEN, T.A., WANG, Z., WILLEKE, K. e GRINSHPUN, S.A., **Survival of Mycobacteria on N95 Personal Respirators.** Infect. Control Hosp. Epidemiol., v. 20, p. 237-241, 1999.

TORLONI, M. **Proteção Respiratória e Respiradores.** J Pneumol, v. 21, p. 48-54, 1995.

US GOVERNMENT OFFICE. DEPARTMENT OF HEALTH AND HUMAN SERVICES. **CODE OF FEDERAL REGULATIONS, Title 42, Part 84 – Respiratory Protection Devices.** Office of the Federal Register, 1996.

WANG, Z., REPONEN, T.A. e WILLEKE, K. **Survival of Bacteria on Respirator Filters.** Aerosol Sci Tech, v. 30, p. 167-173, 1997.

WILLEKE, K.; QIAN, Y.; DONNELLY, J.; GRINSHPUN, S.; ULEVICIUS, V. **Penetration of Airborne Microorganisms Through a Surgical Mask and a Dust/Mist Respirator.** Am. Ind. Hyg. Assoc. Journal, v. 57, p. 348-355, 1996.

WILLEKE, K.; QIAN, Y. **Tuberculosis control through respirator wear: Performance of National Institute for Occupational Safety and Health regulated respirators.** Am J Infect Control, v. 26(2), p. 139-142, 1998.